



G

TRUNFOS DE UMA
EOGRAFIA ACTIVA

DESENVOLVIMENTO LOCAL,
AMBIENTE,
ORDENAMENTO
E TECNOLOGIA

Norberto Santos
Lúcio Cunha

COORDENAÇÃO

Teresa Santos¹, Sérgio Freire¹, José António Tenedório¹, Ana Fonseca²

¹ *e-GEO Centro de Estudos de Geografia e Planeamento Regional da Faculdade de Ciências Sociais e Humanas*

² *Laboratório Nacional de Engenharia Civil*

CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS DE SATÉLITE DE ALTA RESOLUÇÃO COM INTRODUÇÃO DE DADOS LIDAR. APLICAÇÃO À CIDADE DE LISBOA

1. INTRODUÇÃO

A Detecção Remota é uma ciência, uma técnica e uma tecnologia ao serviço da observação da Terra e em particular das cidades. As cidades representadas em imagens de satélite são objectos, no sentido físico do termo, caracterizados por uma grande diversidade de respostas espectrais. Estas respostas espectrais só ganham sentido quando associadas a conteúdos temáticos, interpretados à luz da forma e da morfologia dos diferentes elementos do espaço urbano.

A grande dinâmica de alterações físicas nas cidades requer correspondência por parte da informação geográfica, para monitorização, planeamento e ordenamento do território. Porém, a cartografia de grande escala utilizada pelos municípios, considerando as elevadas exigências técnicas para a sua produção, apenas é actualizada aquando da elaboração do Plano Director Municipal (PDM). O PDM tem uma vigência legal de 10 anos, conseqüentemente, a informação que está na sua base cartográfica é, regra geral, apenas actualizada com aquela periodicidade. Ora este intervalo de 10 anos entre dois produtos cartográficos não se adequa a uma resposta célere que qualquer serviço de urbanismo tem que dar a pedidos de loteamento, à monitorização de obras na cidade ou à manutenção do cadastro. A gestão de um território em permanente transformação requer assim cartografia que represente essa dinâmica, e que não se compadece com o período de actualização que actualmente se verifica. A existência de uma cartografia mais expedita, passa por uma alteração dos métodos e especificações associadas à produção convencional. A recente disponibilização de imagens de satélite de alta resolução espacial permite-nos estudar o seu uso como fonte de informação sobre o território alternativa às fotografias aéreas. Os métodos convencionais de extracção de informação a partir de imagens de satélite baseiam-se em abordagens *pixel a pixel*. Porém, o aumento de resolução dos sensores digitais levou ao surgimento de novos paradigmas de classificação, que pretendem replicar a identificação dos elementos nas imagens de forma análoga à interpretação realizada pelo cérebro humano. Esta nova abordagem resultou do facto de a utilização de classificadores ao nível do pixel, fazendo uso apenas da informação espectral, ter-se revelado ineficaz na extracção de informação de imagens de muito alta resolução (Herold *et al.*, 2003; Thomas *et al.*, 2003). Como alternativa têm sido desenvolvidas ferramentas para extracção automática de elementos cujo objectivo é a identificação e digitalização de forma expedita dos objectos de interesse para o analista. Uma dessas ferramentas

é o *Feature Analyst*, desenvolvido pela *Virtual Learning Systems* especificamente para classificar imagens com alta resolução espacial, recorrendo a técnicas de inteligência artificial (VLS, 2006).

O trabalho apresentado decorre da experiência adquirida ao longo do projecto GeoSat, existindo já publicados diversos estudos utilizando a imagem de satélite incluída nos dados aqui analisados. Freire *et al.* (2008), testaram a extracção de objectos geográficos em duas áreas da região de Lisboa, utilizando uma imagem QuickBird, não ortorectificada. Os autores concluíram que os resultados obtidos mostraram discordâncias e que a sua variação espacial, face à aplicação de uma mesma metodologia de extracção de informação, demonstrou que o tipo de ocupação do solo e a morfologia urbana influenciam, de forma evidente, a dificuldade de replicação de processos de tratamento de imagem em contextos urbanos distintos. Santos *et al.* (2009) estudaram a qualidade da extracção de edifícios de telha na mesma imagem. A metodologia incluiu o processamento digital para extracção dos edifícios, seguido da generalização dos elementos extraídos e posterior análise de qualidade com dados de referência. Os resultados do ponto de vista temático foram satisfatórios assim como a análise da forma geométrica. A avaliação de completude, embora tenha também sido satisfatória, requer um esforço adicional para classificar edifícios individuais. Freire *et al.* (2009) apresentaram um estudo sobre a caracterização da agricultura urbana, aliando o resultado da extracção semi-automática a partir da imagem QuickBird não ortorectificada, com a análise de um índice de vegetação e dados topográficos. Yuan (2008) usando o *Feature Analyst* numa imagem QuickBird e fotografia aérea, discriminou satisfatoriamente floresta, agricultura, superfícies impermeáveis, água e respectivas transições. Num teste em ambiente urbano realizado a várias ferramentas para extracção automática de elementos, o *Feature Analyst* demonstrou uma performance superior às aplicações *eCognition* e *Genie Pro* na identificação de aviões, edifícios e veículos a partir de imagens de alta resolução, embora as métricas de qualidade tenham apresentado valores baixos (Lavigne *et al.*, 2006).

2. DADOS E ÁREA DE ESTUDO

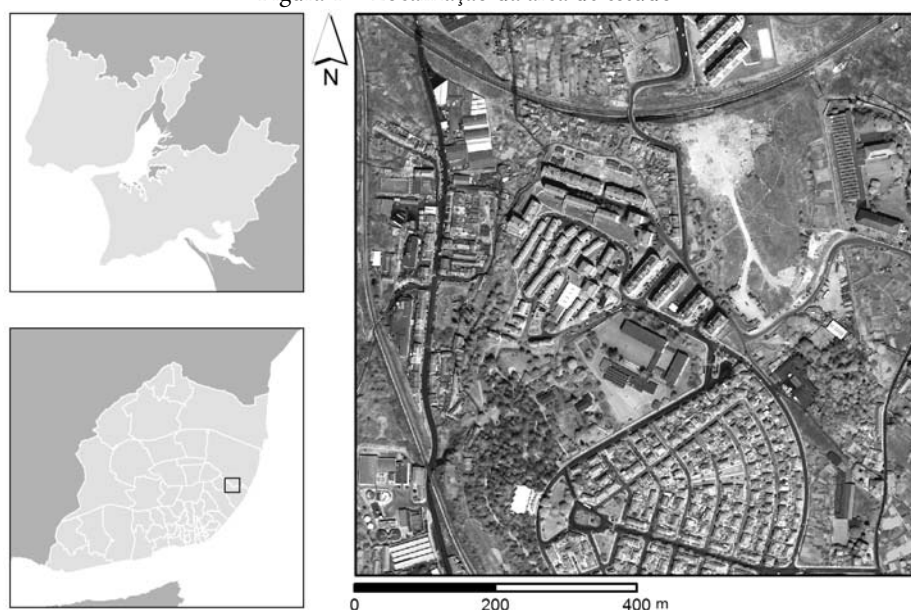
O conjunto de dados utilizados neste trabalho compreendeu dados espectrais, obtidos por satélite, e dados altimétricos obtidos por avião. Os dados espectrais resultam de uma imagem de satélite obtida pelo sensor QuickBird, em Abril de 2005. Originalmente, a imagem foi georreferenciada no sistema de coordenadas UTM (datum WGS84). Esta imagem tem uma resolução espacial de 2,4 m nas 4 bandas espectrais, de 0,6 m na banda pancromática, e uma resolução radiométrica de 11 bits. A imagem apresenta ainda um ângulo off-Nadir de 12,2°.

Os dados altimétricos incluem uma imagem LiDAR (Light Detection And Ranging), uma nuvem de pontos cotados e curvas de nível. O LiDAR determina a distância a um objecto na superfície através da medição do intervalo de tempo entre a emissão de um pulso laser e o retorno do sinal reflectido. Geralmente numa mesma campanha LiDAR podem-se registar mais do que um sinal de retorno (ou eco) para cada ponto. Neste caso a altitude referente ao 1º pulso corresponderá a todos os objectos situados sobre a superfície como árvores, carros, edifícios, etc., enquanto a cota do último pulso corresponderá a elementos não atravessados pelo laser tais como os edifícios e o próprio terreno.

A imagem LiDAR utilizada neste estudo foi obtida num voo realizado em 2006, e consiste em dados com 1 m de resolução com a informação relativa ao 2º pulso do sensor. Os pontos cotados (pontos no terreno e na superfície) e as curvas de nível foram retirados da cartografia 1:1000 de 1998, da Câmara Municipal de Lisboa.

A área de estudo seleccionada para este trabalho localiza-se na zona oriental de Lisboa e inclui porções das freguesias de Marvila, Beato e São João (Figura 1). A área corresponde a 64 ha (800 m x 800 m), e caracteriza-se por uma diversidade de usos e ocupações do solo. O coberto vegetal inclui zonas de vegetação herbácea, áreas de relvado, árvores isoladas e em linha, bem como áreas agrícolas com cultura e solo lavrado. As áreas artificializadas incluem edifícios de diferentes usos como residências unifamiliares (bairro Madre de Deus) e plurifamiliares, uma escola, diversas áreas industriais, e vias de comunicação rodoviária e ferroviária (linha da Azambuja e ramal de Santa Apolónia).

Figura 1 – Localização da área de estudo



3. METODOLOGIA

A cadeia de produção cartográfica a partir de dados obtidos remotamente, passa obrigatoriamente por uma fase prévia de correcção geométrica (ortorrectificação) e co-registo, seguida do processamento digital de todos os dados para obtenção de um mapa com a localização dos elementos urbanos desejados. Neste trabalho, pretende-se avaliar se há melhoria na qualidade do mapa, quando se incluem dados altimétricos, juntamente com os dados espectrais, no processo de classificação. Para tal, a mesma metodologia é aplicada para extrair as mesmas classes de ocupação e uso do solo, sobre dois conjuntos de dados distintos: dados espectrais e dados espectrais e altimétricos.

3.1 Pré-processamento

Na fase de pré-processamento realizaram-se todas as tarefas que permitem na fase seguinte utilizar os dados geometricamente corrigidos e no mesmo sistema de coordenadas. Também nesta fase se trataram os dados altimétricos de forma a obter o Modelo Digital de Superfície normalizado (nDSM).

As imagens QuickBird foram ortorectificadas com o objectivo de reduzir os efeitos geométricos introduzidos pelo relevo e atribuir um sistema de coordenadas nacional. Previamente, produziu-se uma imagem de fusão das bandas multiespectrais com a imagem pancromática, pelo método *pansharp*, implementado no software PCI. Seguiu-se a ortorectificação das bandas multiespectrais e da imagem *pansharp*. Para tal, recorreu-se aos Coeficientes Racionais Polinomiais (RCP) disponibilizados juntamente com a imagem, e a pontos de controlo recolhidos sobre a cartografia planimétrica e altimétrica de 1998, à escala 1:1000, da Câmara Municipal de Lisboa. Os dados multiespectrais foram corrigidos usando o método de reamostragem do vizinho mais próximo, enquanto a imagem *pansharp* foi corrigida com o método da convolução cúbica, por produzir uma imagem com melhor definição visual. O sistema de coordenadas adoptado foi o ETRS89. A partir das bandas do Vermelho e do Infra-vermelho próximo, construiu-se uma imagem do índice de vegetação NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) a integrar no processo de extracção de elementos.

O MDT foi gerado a partir da nuvem de pontos cotados e das curvas de nível, de 1998, à escala 1:1000, da Câmara Municipal de Lisboa. Previamente, estes dados foram corrigidos por eliminação de pontos que não correspondiam ao terreno, e por correcção de curvas de nível com valores negativos, altitudes improváveis ou com valores diferentes ao longo duma mesma curva. Uma vez que estes dados estavam no sistema Hayford Gauss, Datum73, foram também convertidos para ETRS89. Com os dados altimétricos validados, construiu-se uma rede irregular triangular (TIN) que depois se converteu para formato matricial com 0,50 m de resolução espacial. Para obter o nDSM, recorreu-se à imagem LiDAR e ao MDT. A imagem apenas sofreu uma conversão de coordenadas para o sistema ETRS89, enquanto o MDT foi reamostrado para 1 m, para ser compatível com a resolução do LiDAR. O nDSM foi então calculado pela subtracção do MDT à imagem LiDAR, obtendo-se assim um ficheiro matricial com a informação da altura de todos os elementos acima do terreno.

3.2 Extracção de informação

A fase de extracção de informação teve como objectivo inicial a correcta identificação e classificação dos objectos geográficos de interesse municipal, mas também avaliar o impacto na qualidade da extracção resultante da introdução de dados altimétricos no conjunto de dados espectrais. Assim, testa-se a extracção em dois conjuntos de dados distintos: um conjunto apenas com os dados espectrais (bandas multiespectrais, imagem *pansharp* e NDVI) e outro com os mesmos dados espectrais mais o nDSM.

No nível 1 da nomenclatura, as classes seleccionadas, de acordo com o interesse municipal foram os Edifícios, Zonas pavimentadas, Agricultura e Árvores. No nível 2 são identificadas 7 subclasses: Edifícios de telha, Edifícios com cobertura branca e Edifícios com

outra cobertura, Vias de comunicação e Outras áreas alcatroadas (incluindo parques de estacionamento e áreas industriais alcatroadas), Culturas agrícolas e Solo lavrado.

Todo o processamento foi realizado no software *Feature Analyst* para ArcGIS, versão 4.2. Este software baseia-se numa abordagem supervisionada, pelo que o passo inicial consiste na digitalização de áreas de treino pelo utilizador, para a classe de interesse. De seguida, indica-se a informação a usar (e.g., bandas da imagem) e o tipo de representação espacial. Esta representação permite fazer uso do contexto espacial, e a sua escolha é fundamental para determinar a relação do pixel com os seus vizinhos. Para cada método é possível ajustar a dimensão (janela) do padrão ao elemento de interesse. Existe também a opção de agregar áreas de forma a identificar objectos com um número mínimo de *pixels*. Para classificar são disponibilizados três algoritmos, tendo-se usado a primeira abordagem pois produziu melhores resultados, de acordo com o recomendado (VLS, 2006). Após o treino do classificador e obtenção dos resultados vectoriais iniciais, é permitido ao utilizador indicar exemplos de elementos correctos, incorrectos, e elementos omitidos. A reclassificação do mapa inicial permite assim a aprendizagem hierárquica do classificador, e o aperfeiçoamento da identificação dos elementos geográficos até à obtenção do mapa final.

No presente trabalho, e seguindo a lógica assistida do *Feature Analyst*, o primeiro passo do processo de classificação foi a selecção de áreas de treino para cada classe. Uma vez que o software oferece a possibilidade de extrair várias classes num mesmo passo, ou extrair uma classe de cada vez, optou-se por numa primeira fase separar toda a área de estudo em duas classes – vegetação e não-vegetação – e, nos passos seguintes, extrair cada classe independentemente das restantes. De forma a tornar mais comparáveis os mapas finais, utilizaram-se as mesmas áreas de treino e os mesmos parâmetros de classificação na extracção de cada classe.

Tabela 1 – Parâmetros de classificação seleccionados para cada classe na área de estudo

Classe	Áreas de treino (polígonos)	Método	Janela (pixels)	Agregação (pixels)	Máscara de exclusão
Vegetação-Não-veg.	167	Manhattan	5	10	
Ed. Telha	24	Manhattan	5	10	Vegetação
Ed. Cob. Branca	2	Manhattan	5	10	Vegetação
Ferrovias	7	Bull's Eye 2	9	400	Vegetação
Vias comunicação	37	Bull's Eye 2	7	50	Vegetação, Ferrovias
Outras áreas alcatroadas	13	Bull's Eye 2	31	50	Vegetação, Ferrovias, Vias de comunicação
Ed. Outra Cobertura	25	Manhattan	5	100	Todas as anteriores
Árvores	22	Bull's Eye 3	11	15	Não-vegetação
Solo Lavrado	12	Manhattan	5	50	Árvores
Cultura Agrícola	9	Manhattan	7	15	Não-vegetação, Árvores, Solo Lavrado

Após a separação inicial em duas classes (vegetação e não-vegetação), a classificação recorreu ao uso de máscaras de exclusão, para eliminar da classificação *pixels* já classificados em passos anteriores. Assim, dentro da classe vegetação identificaram-se as Árvores e Culturas agrícolas (subclasse da classe Agricultura). Na classe complementar (i.e., não-vegetação),

identificaram-se os Edifícios de telha, Edifícios com cobertura branca e Edifícios com outras coberturas (subclasses da classe Edifícios), Vias de comunicação e Outras áreas alcatroadas e Solo lavrado (subclasse da classe Agricultura). A ordem de extração não é arbitrária, seguindo antes uma lógica de extrair primeiro aqueles elementos que não apresentam confusão espectral (e.g., Edifícios de telha e Edifícios com cobertura branca), seguindo-se aqueles elementos que apresentam algum grau de confusão (e.g., Vias de comunicação e Edifícios com outra cobertura). A tabela 1 indica para cada classe os parâmetros seleccionados. Note-se que as classes Vegetação, Não-vegetação e Ferrovias funcionaram apenas como classes auxiliares na extração, e não foram por isso alvo de validação posterior.

4. RESULTADOS

O primeiro passo no processo de avaliação da qualidade das duas extrações efectuadas com as duas abordagens foi a produção de mapas de referência com a distribuição espacial das classes na área de estudo. Estes mapas foram obtidos por interpretação visual da imagem *pansharp*, pois é aquela que melhor resolução espacial oferece. Esta interpretação foi auxiliada por dados recolhidos no terreno (fotografias e pontos GPS), bem como noutras fontes de imagens de domínio público como as fotografias aéreas oblíquas do Instituto Geográfico Português (IGP) disponibilizadas no *website* maps.live.com. Cruzando espacialmente os dados de referência com os dados classificados obteve-se, para cada classe, três métricas quantitativas. Assim, a área comum aos dois mapas considera-se correctamente classificada e traduz-se no índice de Exactidão Global. A área que se encontra na referência mas que não foi classificada é indicada pelo Erro de Omissão, enquanto a área que se encontra na classificação mas não existe na referência é indicada pelo Erro de Comissão. Através da análise destas métricas pode-se concluir quais as classes melhor extraídas e avaliar o efeito da introdução dos dados altimétricos na qualidade da extração. A tabela 2 mostra para cada classe, os valores das métricas de qualidade obtidas no mapas com os dados espectrais e no mapa com os dados espectrais mais os dados altimétricos.

Tabela 2 – Métricas obtidas em cada extração

Classe (Nível 1)	Dados espectrais			Dados espectrais e altimétricos		
	Omissão (%)	Comissão (%)	Ex. Global (%)	Omissão (%)	Comissão (%)	Ex. Global (%)
Zonas pavimentadas	46	8	52	29	12	65
Edifícios	36	9	60	25	5	72
Agricultura	39	48	39	33	37	48
Árvores	56	22	35	55	14	40

Da análise da tabela 2, verifica-se que a introdução dos dados altimétricos resulta em geral num aumento da qualidade dos elementos extraídos. De notar que, para as classes artificiais, essa melhoria resultou essencialmente da redução do erro de omissão, enquanto para as classes

de vegetação resultou essencialmente da redução do erro de comissão. Porém, as classes de vegetação apresentam ainda assim valores de exactidão baixos. Na classe “Agricultura”, mesmo ao fim de várias iterações de eliminação e adição, permaneceu a confusão entre culturas agrícolas e outro tipo de vegetação (vegetação natural e relva). Por outro lado, esta é uma classe com grande dinâmica sazonal que implica o uso de mais do que uma data de imagem para a sua correcta asserção. Na classe “Árvores”, apenas foram razoavelmente identificadas áreas densamente arborizadas, enquanto a discriminação de árvores isoladas foi ineficiente. Esta situação deve-se ao facto de os dados LiDAR corresponderem ao 2º pulso, ao qual correspondem geralmente materiais artificiais. A classe “Zonas pavimentadas” apresentou algumas dificuldades devido à diversidade dos materiais que compõem as ruas, da sua largura ser variável, e da existência dos parques escolares e dos acessos industriais. Os Edifícios, por seu lado, foram a classe cuja extracção foi mais bem sucedida em grande parte devido ao uso de dados altimétricos (Figura 2). Porém, elementos como anexos ou prédios com diferentes coberturas ou caixas de elevador dificultaram a classificação, bem como a presença de diversas tipologias residenciais mistas versus predomínio das residências unifamiliares.

Figura 2 – Resultado da extracção da classe “Edifícios” utilizando os dois conjuntos de dados.



5. CONCLUSÕES

Este trabalho enquadra-se na avaliação do potencial de utilização de imagens digitais de alta resolução espacial para obtenção de informação geográfica de interesse municipal. Na presente análise, fez-se uma primeira avaliação da contribuição da utilização combinada de dados espectrais com dados altimétricos para a extracção de classes de uso e ocupação do solo. Embora os valores obtidos com esta avaliação de qualidade apenas tenham sido razoáveis para a classe “Edifícios”, confirmou-se que a introdução dos dados altimétricos melhorou a extracção de todas as classes experimentadas.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado no âmbito do projecto GeoSat – Metodologias para extracção de informação GEOgráfica a grande escala a partir de imagens de SATélite de alta resolução,

financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (PTDC/GEO/64826/2006). Agradece-se à empresa Logica a possibilidade de testar os dados LiDAR.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Freire, S., Santos, T., Tenedório, J.A. & Fonseca, A. 2008, 'Extracção de objectos geográficos em áreas urbanas densas a partir de imagens de satélite com alta resolução espacial', *X ESIG*, Oeiras, pp. 279-293.
- Freire, S., Santos, T., Boavida-Portugal, I. & Tenedório, J.A. 2009, 'Mapping and characterization of urban agriculture with QuickBird imagery in Lisbon', *33rd ISRSE*, Stresa, Italy.
- Lavigne, D., Hong, G., & Zhang, Y. 2006, 'Performance assessment of automated feature extraction tools on high resolution imagery', *ASPRS*, TX.
- Santos, T., Freire, S., Boavida-Portugal, I., Fonseca, A. & Tenedório, J.A. 2009, 'Accuracy assessment of features extracted from QuickBird imagery for urban management purposes', *33rd ISRSE*, Stresa, Italy.
- Herold, M., Liu, X. & Clarke, K.C. 2003, 'Spatial metrics and image texture for mapping urban land use', *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 69, pp. 991-1001.
- Thomas, N., Hendrix, C. & Congalton, R.G. 2003, 'A comparison of urban mapping methods using high-resolution digital imagery', *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 69, pp. 963-972.
- VLS (Visual Learning Systems) 2006, *Reference Manual, Feature Analyst for ArcGIS*.
- Yuan, F. 2008, 'Land-cover change and environmental impact analysis in the Greater Mankato area of Minnesota using remote sensing and GIS modelling', *International Journal of Remote Sensing*, vol. 29, no. 4, pp. 1169-1184.