

Extracção de edifícios em Lisboa com imagens QuickBird e dados LiDAR

Teresa Santos, Sérgio Freire, José António Tenedório, Ana Fonseca*

e-GEO, Faculdade de Ciências Sociais e Humana, FCSH, Universidade Nova de Lisboa, Av. de Berna, 26-C, 1069-061 Lisboa; teresasantos@fcs.unl.pt; sfreire@fcs.unl.pt; ja.tenedorio@fcs.unl.pt;

**Laboratório Nacional de Engenharia Civil - Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa; anafonseca@lnec.pt*

No âmbito do projecto GeoSat, a aplicação *Feature Analyst* é testada para extracção automática de elementos ao nível municipal a partir dados espectrais e altimétricos numa área de estudo localizada em Lisboa.

A metodologia apresentada baseia-se na extracção semi-automática de features, tendo por base informação proveniente de uma imagem QuickBird e de dados LiDAR. A imagem QuickBird permite delimitar os diferentes elementos à superfície com base no seu comportamento espectral. Porém, esta tarefa é tanto melhor sucedida quanto mais rica for a informação auxiliar utilizada no processo de extracção. Assim, com a introdução de dados LiDAR, pretende-se estudar o efeito da contribuição desta informação no processo de classificação de dados orbitais.

Os resultados obtidos mostram que a introdução da informação altimétrica, no conjunto de dados espectrais, permite uma melhoria na qualidade da informação extraída por meios semi-automáticos.

Palavras-chave: *QuickBird, LiDAR, edifícios, 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. Esta dinâmica traduz-se na variação das respostas espectrais e/ou na forma dos elementos à superfície. Uma forma de avaliar a distribuição das classes de uso e ocupação do solo ao nível municipal é através da cartografia a grande escala.

Actualmente, os municípios são, de acordo com o Decreto-Lei nº. 380/99 de 22 de Setembro, obrigados a produzir, no âmbito da elaboração do seu Plano Director Municipal (PDM), cartografia de base e temática à escala 1: 10 000 (concelhos com ocupação urbana) ou 1: 25 000 (concelhos rurais). O mesmo decreto-lei determina que o período de vigência do referido plano é de 10 anos.

Porém, no que diz respeito à cartografia para estes planos, principalmente em câmaras onde a pressão urbanística é elevada, esta periodicidade não é satisfatória.

Em municípios cuja dinâmica é forte, as alterações irreversíveis são do ponto de vista espacial mais amplas e do ponto de vista temporal mais rápidas (e.g., Lisboa, Oeiras). Estas alterações decorrem da evolução de obras na rede viária a decorrer no terreno, novos projectos de loteamento, alteração da carta de classes e uso do solo urbano, novos arruamentos, etc. Deste modo, a obtenção de cartografia digital expedita a escalas compatíveis com as exigências das autarquias e da própria lei, é um requisito imperativo. Actualmente, os principais entraves a uma produção/actualização de cartografia municipal compatível com as necessidades reais, prendem-se com o facto do catálogo de objectos a respeitar ser muito complexo e o custo da actualização elevado e moroso, o que conduz à desactualização e, conseqüente desadequação da cartografia aos requisitos diários com que um município se depara.

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 projecto GeoSat prevê que os dados geográficos para uso municipal sejam extraídos de imagens de alta resolução, para actualizar cartografia de base já existente e para produzir cartografia temática com periodicidade anual. O trabalho aqui apresentado decorre da experiência adquirida ao longo do projecto, 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.

2. Métodos

2.1 Área de estudo

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).

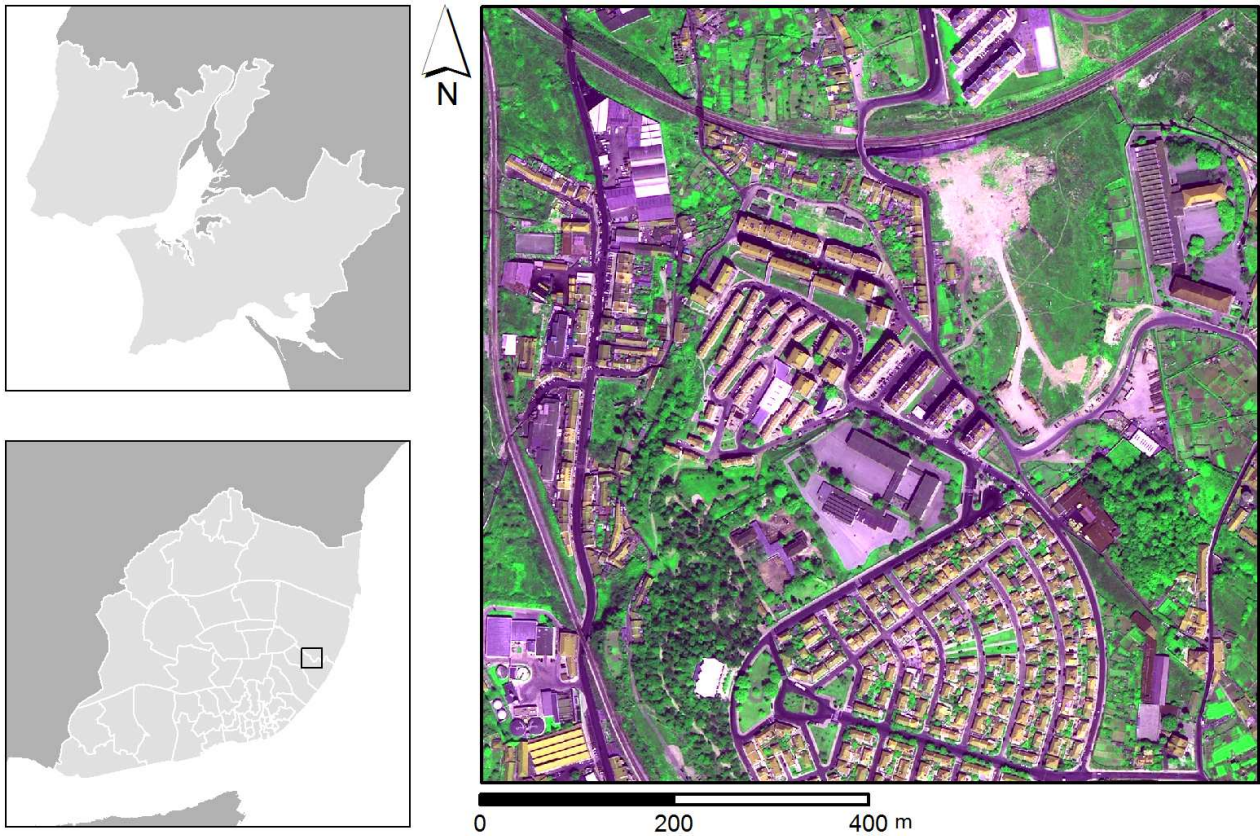


Figura 1. Localização da área de estudo

2.2 Dados e pré-processamento

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 $12,2^\circ$. A imagem não apresentava cobertura nebulosa nas áreas de estudo, mas devido às suas características e hora de aquisição verifica-se a presença de sombras projectadas por edifícios e árvores.

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 que 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.

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 Terreno e 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 que 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 que 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 (Figura 2).

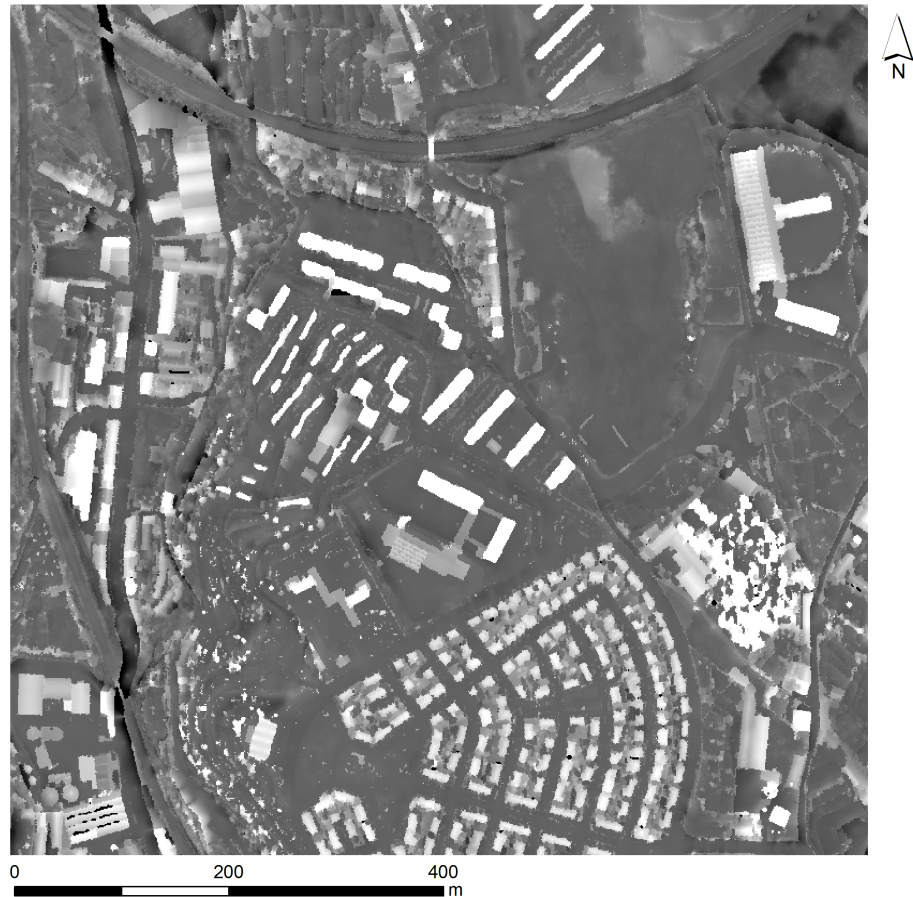


Figura 2. Modelo Digital de Superfície normalizado (nDSM) da área de estudo

2.3 Extracção de informação

A fase de extracção de informação teve como objectivo a correcta identificação e classificação dos objectos geográficos correspondentes ao edificado. Assim, no nível 1 da nomenclatura, as classes seleccionadas, foram os Edifícios, Zonas pavimentadas, e Vegetação. No nível 2 são identificadas 5 subclasses: Edifícios de telha, Edifícios com cobertura branca e Edifícios com outra cobertura, Vias de comunicação, Ferrovias e Outras áreas alcatroadas (incluindo parques de estacionamento e áreas industriais alcatroadas). Embora o objectivo não seja a correcta classificação das zonas pavimentadas ou ferrovias bem como das áreas de vegetação, estas classes são utilizadas como classes auxiliares na extracção dos edifícios.

Todo o processo de classificação foi realizado no software Feature Analyst para ArcGIS, versão 4.2, parametrizando a extracção de acordo com cada classe individual. 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. A base de dados utilizada no treino e na extracção incluiu as 4 bandas multiespectrais QuickBird, o índice NDVI, a imagem pansharp e o nDSM. 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. 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 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. A ordem de extracção 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.

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

A Figura 3 apresenta o resultado da extracção da classe Edifícios na área de estudo.

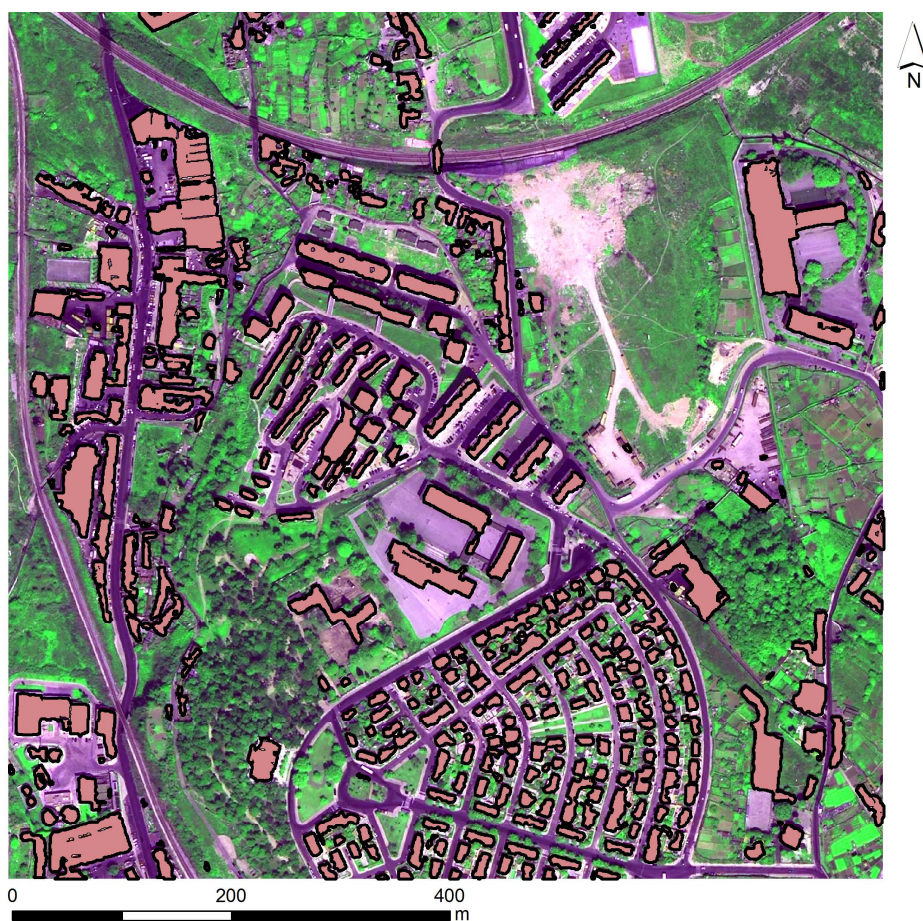


Figura 3. Resultado da extracção da classe Edifícios na área de estudo.

2.4 Pós-processamento dos resultados

A fase de pós-processamento ocorreu em duas etapas. Inicialmente, as classes de nível 2 obtidas na extracção, foram agrupadas na classe hierárquica superior Edifícios, seguindo-se a sua generalização cartográfica. Este é um passo necessário para beneficiar a qualidade geométrica dos elementos extraídos e trata-se de uma etapa metodológica que permitiu melhorar resultados já obtidos em estudos anteriores (Freire et al., 2008; Santos et al., 2009).

Assim, após a extracção das classes que constituem o edificado na área de estudo, aplicaram-se diversos algoritmos de generalização. Testaram-se várias abordagens, em diferentes formatos.

No formato vectorial, algoritmos testados foram o Simplify Polygon e Simplify Building implementados no ArcGIS-ArcInfo, que se baseiam na simplificação de fronteiras por remoção de vértices ou segmentos supérfluos com base numa tolerância indicada. Também se testaram as possibilidades oferecidas pelo Feature Analyst: a suavização através dos métodos Bezier, Douglas-

Peucker, e Square Up. Estes métodos permitem parametrizar valores de tolerância de suavização, a área mínima desejada, considerar a presença de elementos agregados bem como de orientações preferenciais. Testou-se o método Convex Hull, que representa um polígono pelo seu mínimo invólucro convexo, disponível na ferramenta X-Tools para ArcGIS. Por último testou-se um algoritmo de generalização desenvolvido por Aubrecht et al. (2007) que se baseia na noção de mínima caixa delimitadora e orientação do eixo maior de cada polígono.

Qualquer destas aplicações opera sobre os dados vectoriais. Testou-se ainda outra abordagem híbrida que opera nos formatos vectorial e matricial. Esta abordagem compreendeu a eliminação de polígonos inferiores a uma dada área, a conversão do resultado desta agregação para formato matricial e aplicação de um algoritmo de limpeza de fronteiras (Boundary Clean).

3. Resultados

O passo seguinte consistiu na avaliação da qualidade da extracção efectuada. Esta tarefa exigiu a produção de um mapa de referência com a distribuição espacial da classe Edifícios na área de estudo. Este mapa foi obtido 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 a classe Edifícios, três métricas quantitativas (Figura 2). 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 que a área que se encontra na classificação mas não existe na referência é indicada pelo Erro de Comissão.



Figura 2. Edifícios extraídos e pós-processados na área de estudo (a preto) e a referência obtida por análise visual (vermelho)

Todas as abordagens de generalização cartográfica apresentadas na secção 2.4 foram avaliadas quantitativamente. A tabela 2 mostra os resultados da melhor abordagem. Esta resultou da aplicação de um processo de agregação e limpeza de fronteiras à classe nível 1 Edifícios.

Tabela 2. Métricas obtidas para a classe Edifícios

Classe (Nível 1)	Dados espectrais e altimétricos		
	Omissão (%)	Comissão (%)	Ex. Global (%)
Edifícios	24	6	73

Embora os resultados da extracção sejam razoáveis 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.

4. Conclusões

Em ambiente urbano, o ritmo elevado de alterações de ocupação do solo exige formas expeditas de actualizar a cartografia de suporte ao planeamento e gestão municipais. As imagens de satélite com alta resolução espacial constituem-se como uma alternativa a fontes de dados tradicionais, podendo mesmo apresentar vantagens ao nível da disponibilidade, facilidade de revisita, e preço por unidade de área. No entanto, a sua utilização de forma mais eficiente sugere o desenvolvimento de novos métodos que permitam uma correcta discriminação, inventariação, e digitalização de elementos intra-urbanos.

Os resultados obtidos na área de estudo para a classe Edifícios foram: 73% de Exactidão Global, 24% de Erro de Omissão e 5% de Erro de Comissão. Estes valores denotam que é possível extrair de forma semi-automática e em pouco tempo, informação georeferenciada sobre a localização de edifícios, tornando a tarefa da actualização cartográfica mais expedita. Porém, um esforço futuro terá que ser feito no sentido de minorar os Erros de Omissão pois numa fase posterior de edição manual, será preferível eliminar falsos edifícios (comissões) do que digitalizar novos elementos.

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.

Bibliografia

Aubrecht, C., M. Dutter, M. Hollaus, K. Steinnocher. 2007. Objekt-orientierte Analyse von Fernerkundungsdaten mit anschließender Gebäudegeneralisierung als Basis für 3D Visualisierungen im urbanen Raum. In: Strobl, Blaschke, Griesebner (Hrsg.): *Angewandte Geoinformatik 2007. Beiträge zum XIX. AGIT Symposium Salzburg* (pp. 25-34). Heidelberg, Germany: Herbert Wichmann.

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.

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.

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.

Santos, T., Freire, S., Tenedório, J. A. e Fonseca, A. 2009. 'Classificação de imagens de satélite de alta resolução com introdução de dados LiDAR. Aplicação à cidade de Lisboa'. *VII Congresso da Geografia Portuguesa*, Coimbra, 26 a 28 de Novembro de 2009

Verificar as referências