

UNIVERSIDADE DE LISBOA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO



AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE INSTALAÇÃO DE
TELHADOS VERDES NA CIDADE DE LISBOA COM RECURSO A
SIG E DETECÇÃO REMOTA

ALEXANDRE MIGUEL LEANDRO

MESTRADO EM GEOGRAFIA FÍSICA E ORDENAMENTO DO
TERRITÓRIO

2011

UNIVERSIDADE DE LISBOA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO



AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE INSTALAÇÃO DE
TELHADOS VERDES NA CIDADE DE LISBOA COM RECURSO A
SIG E DETECÇÃO REMOTA

ALEXANDRE MIGUEL LEANDRO

MESTRADO EM GEOGRAFIA FÍSICA E ORDENAMENTO DO
TERRITÓRIO

Dissertação orientada pela Prof. Dr.^a Ana Ramos Pereira

2011

"O começo de todas as ciências é o espanto de as coisas serem o que são."

Aristóteles

Dedicado à S., ao Mi, ao A.L. e ao B.J.

RESUMO

Este relatório de estágio desenvolvido com vista à obtenção de grau de Mestre em Geografia Física e Ordenamento do Território, visa demonstrar que a cidade de Lisboa tem aptidão potencial para a construção de “telhados verdes”, os quais podem melhorar o ambiente citadino através de benefícios energéticos, ambientais e económicos, e o possível crescimento de áreas verdes nesta cidade.

Para alcançar aquele objectivo geral, identificaram-se os edifícios que reuniam as condições ideais para a implementação de telhados verdes ou “green roofs” na cidade de Lisboa e conseqüentemente, o aumento dos seus espaços verdes.

São, por isso, objectivos específicos: (i) Identificar os edifícios com coberturas que não sejam de alvenaria; (ii) Identificar as áreas da cidade onde é possível a construção dos telhados verdes; (iii) Correlacionar as áreas com espaços verdes na cidade de Lisboa com a potencial área de construção dos telhados verdes.

Para atingir os objectivos específicos mencionados foi utilizada uma imagem QuicKbird-2 de uma área da cidade de Lisboa, o que permitiu, com recurso a ferramentas de detecção remota e Sistemas de Informação Geográfica, identificar os diferentes tipos de cobertura dos edifícios urbanos, podendo estes serem potenciais candidatos à construção de “green roofs” em Lisboa.

Palavras-chave: Telhados verdes, detecção remota, Sistemas de Informação Geográfica, áreas urbanas, áreas verdes.

ABSTRACT

This report developed aiming to obtain a Master degree in Physical Geography and Spatial Planning, in order to demonstrate that the city of Lisbon has potential ability to "green roofs" construction which can improve the city environment through energy environmental and economic benefits, and the possible growth of green areas in this city.

To achieve this global objective, have been identified the buildings that fulfilled the conditions for the implementation of "green roofs" in Lisbon and, consequently, an increase of the city green areas.

Therefore, they are specific objectives: (i) To identify the buildings with roofs are not masonry; (ii) To identify the areas of the city where it is possible the construction of green roofs; (iii) To correlate the areas of green spaces in the city Lisbon area with the potential construction of green roofs.

To achieve the specific objectives above mentioned, it was used a Quickbird-2 image of an area of Lisbon, which allowed, using the tools of remote sensing and Geographic Information Systems, to identify different types of coverage of urban buildings that may be considered potential candidates for the construction of "green roofs" in Lisbon.

Keywords: Green roofs, remote sensing, Geographic Information Systems, urban areas, green areas.

ÍNDICE

RESUMO.....	i
ABSTRACT	ii
ÍNDICE	iii
AGRADECIMENTOS.....	iv
INTRODUÇÃO	1
CAPITULO I: OBJECTIVOS E ÁREA DE ESTUDO	4
CAPITULO II: ENQUADRAMENTO TEMÁTICO.....	7
CAPITULO III: FONTES, MÉTODOS E TÉCNICAS	19
1. FONTES	19
1.1. IMAGEM DE SATÉLITE QUICKBIRD-2	20
1.2. TEMAS CARTOGRÁFICOS.....	23
1.3. ALTIMETRIA	24
MÉTODOS.....	25
1.1. GEOREFERENCIAÇÃO E CORRECÇÃO GEOMÉTRICA	26
1.2. CLASSIFICAÇÃO DA IMAGEM QUICKBIRD-2.....	28
1.3. EXTRACÇÃO DE DADOS MATRICIAIS PARA VECTORIAIS	29
1.4. SOBREPOSIÇÃO DE DADOS.....	29
1.5. CLASSIFICAÇÃO FINAL.....	30
2. TÉCNICAS.....	30
CAPITULO IV: RESULTADOS	65
CAPITULO V: DISCUSSÃO	68
CAPITULO VI: CONCLUSÕES.....	74
BIBLIOGRAFIA.....	78
ÍNDICE DE FIGURAS.....	84
ÍNDICE DE QUADROS	86

AGRADECIMENTOS

O trabalho apresentado nunca seria possível sem o apoio e a confiança de várias pessoas, que de muitas formas me ajudaram. Não posso deixar de lhes expressar por esta via a minha gratidão pela ajuda e incentivo que sempre me ofereceram.

À Professora Doutora Ana Ramos Pereira, incansável na orientação, incentivo, ânimo e amizade ao longo de todo o percurso académico.

Ao Arquitecto José Pedro Fragata, Director do Departamento de Informação Geográfica e Cadastro da Câmara Municipal de Lisboa, pelo interesse e estímulo demonstrado pelo Projecto.

À Arquitecta Ana Luísa Seabra, Chefe de Divisão do Cadastro Municipal da Câmara Municipal de Lisboa, pelo acolhimento e disponibilidade sempre demonstrados.

Ao Arquitecto Rui Ricardo, Chefe de Divisão do Departamento de Informação Urbana Georeferenciada, pelas horas dispendidas, pela paciência e por todo o trabalho constante no fornecimento dos elementos necessários à execução do Projecto.

À Engenheira Maria José Velho Santos pela ajuda pronta e disponível.

À Engenheira Margarida San-Payo, do Departamento de Ambiente e Espaços Verdes integrado na Direcção Municipal de Ambiente Urbano da Câmara Municipal de Lisboa pelos esclarecimentos e disponibilidade.

À Vera Ferreira pelo apoio sempre pronto, na realização do estágio.

Um muito especial agradecimento à Dr.^a Isabel Santos pela ajuda na concretização do estágio.

Um grande agradecimento a todos os que sempre me apoiaram.

O maior agradecimento de todos tem de ser dirigido à pessoa que mais me tem apoiado e acompanhado, não só no meu percurso académico mas na minha vida: à Susana.

O estágio agora desenvolvido é fruto do gosto e interesse por estas temáticas, adquirido nas aulas de Análise de Ambiente Físico, leccionadas pela Professora Ana Ramos Pereira, e na pós-graduação em Ordenamento Biofísico do Território, onde os Professores Ana Ramos Pereira, Eusébio Reis e António Lopes continuaram a estimular-me para estas matérias académicas.

INTRODUÇÃO

As áreas verdes nas cidades são componentes indispensáveis para a sua qualidade ambiental. Pela aglomeração populacional e pelo mau ordenamento e planeamento das cidades, estas podem ser afectadas por variados problemas que surgem diariamente, e que se agravam com o passar do tempo.

Cidades antigas como Lisboa evoluíram através da passagem de vários povos e foram vividas de forma diferente dependendo do povo que ali se instalavam, que adaptava a cidade à sua forma de viver e principalmente, às suas necessidades.

Actualmente, a cidade de Lisboa é vivida cada vez mais de forma frenética, com exigências cada vez maiores relativamente às componentes ambientais por todos aqueles que utilizam o espaço urbano de Lisboa para visitar, trabalhar e habitar.

A capacidade destes espaços contribuirá directamente para a minimização dos problemas urbanos é razão para que as autoridades responsáveis pela gestão urbana da cidade atribuam cada vez mais importância às áreas verdes, que se pode constatar quando se observa a evolução destas ao longo dos últimos tempos.

Os espaços verdes podem minimizar os impactos dos problemas decorrentes do crescimento urbano, tendo um papel importante na moderação do clima, na redução da quantidade de poluentes, diminuição de gases de estufa como o CO₂, reduzindo os consumos energéticos dos edifícios bem como o escoamento superficial. Além disso, proporcionam diversos habitats que promovem o aumento da biodiversidade nos espaços urbanos (Almeida, 2006).

Hoje em dia, a cidade de Lisboa debate-se com o problema de qualquer cidade histórica – a não existência de locais passíveis para construção de novos espaços verdes nas áreas já construídas –; é desta forma que os telhados verdes ou “green roofs” se assumem como uma das possibilidades de mitigar este problema.

São designados “green roofs”¹ as coberturas de edifícios, geralmente planas (mas que podem também ser inclinadas) onde são plantada vegetação. Pensa-se que este tipo de cobertura tem origem nos países escandinavos, que evoluiu para uma utilização moderna

¹ Neste trabalho será utilizada a terminologia internacional “green roofs” para designar os telhados verdes dissipando a possibilidade de dúvida entre este tipo de cobertura e telhados que possam utilizar a cor verde na sua cobertura.

da aplicação por estas populações há vários séculos, com o propósito de isolamento térmico das habitações.

O trabalho realizado no decorrer deste estágio profissional na Câmara Municipal de Lisboa (CML), que se destina à obtenção do grau de Mestre em Geografia Física e Ordenamento do Território pelo Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa, tem como principal enfoque a avaliação da capacidade de instalação de “green roofs” na cidade de Lisboa através da utilização das ferramentas de detecção remota e Sistemas de Informação Geográfica (SIG) aplicados a uma imagem de satélite QuickBird-2.

O trabalho surge com a colocação de algumas perguntas de partida relacionadas com a definição do plano verde para a cidade de Lisboa, em que foram identificados vários corredores ecológicos que teriam o objectivo de criarem a conectividade entre as áreas verdes e o sistema húmido desta cidade. Esta conectividade mostrava algumas lacunas espaciais na área urbana. As perguntas de partida foram: É possível criar uma conectividade secundária entre estes corredores? Será que existem edifícios com cobertura plana que possam, no seu conjunto, constituir elemento de ligação entre os corredores se transformados em “green roofs”? Será possível a selecção automática destes edifícios através da análise de imagens de satélite?

A pronta disponibilidade para a cedência da informação necessária e a inexistência de estudos deste cariz na CML, perspectivava com este trabalho a obtenção de uma classificação da imagem de satélite dos edifícios planos da área de estudo e a verificação da possibilidade de conectividade entre os corredores verdes.

Este trabalho está organizado em seis capítulos. O primeiro capítulo destina-se à definição dos objectivos e à delimitação da área de estudo onde irá incidir o trabalho. No capítulo dois é realizado o enquadramento temático do trabalho, em que se apresenta a importância dos “green roofs” no contexto das áreas urbanas e os benefícios que estes podem trazer para estas áreas. No capítulo três são demonstradas as fontes, os métodos e as técnicas utilizadas para a execução deste trabalho. Os resultados obtidos através da aplicação da metodologia delineada e executada com recurso às técnicas de detecção remota e SIG são apresentados no quarto capítulo. No quinto capítulo são discutidos os resultados e consideradas as possibilidades de conectividade entre os corredores ecológicos. A conclusão do trabalho é apresentada no sexto e último capítulo, em que se

realizam algumas considerações sobre as condições existentes para a instalação de “green roofs” na cidade de Lisboa.

CAPITULO I: OBJECTIVOS E ÁREA DE ESTUDO

O estágio profissional na CML destina-se à obtenção de experiência profissional e do grau de Mestre em Geografia Física e Ordenamento do Território.

A falta de espaços verdes nas cidades é uma preocupação mundial e a cidade de Lisboa não é excepção.

A cidade de Lisboa pode ser caracterizada como sendo uma área densamente construída e com algumas áreas verdes com dimensões médias, mas com défice das mesmas, embora estas tenham aumentado ao longo dos anos (quadro I).

Segundo a Avaliação Ambiental Estratégica para a revisão do Plano Director Municipal (PDM) são identificadas carências de espaços verdes no Município de Lisboa quando se contabiliza a quantidade de espaços verdes *per capita* ou quando se faz a relação entre as áreas habitacionais e a localização dos espaços verdes (Partidário, 2010).

Aquele documento refere que, segundo as normas da Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo (CCDR LVT), deveria existir um valor de 30m²/habitante de espaços verdes, sendo que:

- I. 20% devem pertencer à Estrutura Verde Principal (EVP) designados como “Sistemas de espaços de maior dimensão e impacto na cidade, constituindo pólos de articulação com a paisagem envolvente.” como sejam “jardins, parques urbanos e suburbanos, zonas desportivas, recintos especiais, e áreas de hortas urbanas,(...)” Magalhães (1992) citado por Almeida (2006, p.8);
- II. 10% devem pertencer à Estrutura Verde Secundária (EVS) considerada como extensão da EVP “no interior do *continuum* urbano, abrangendo os espaços de menor dimensão mais directamente ligados à habitação e equipamentos colectivos.” como “pequenos jardins de bairro/quarteirão, zonas de recreio infantil, zonas verdes escolares (...)” Magalhães (1992) citado por Almeida (2006, p.8).

No entanto, podemos verificar uma evolução positiva nas áreas de espaços verdes entre 1994 e 2007. No ano de 1994, os espaços verdes contabilizavam um valor médio de 19,4m²/hab, que representa um valor muito inferior ao valor médio recomendado de 30m²/hab, sendo que 13,4m²/hab pertenciam à EVP e 6m²/hab à EVS (quadro I). Em 2007, existiu um aumento de 39% dos espaços verdes, passando de 19,4m²/hab para um total de 27m²/hab. A EVP sofreu um aumento de 5m²/hab entre 1994 e 2007, e a EVS registou um

aumento de 3m²/hab (quadro I). Apesar desta evolução positiva, em 2007 a cidade de Lisboa ainda não tinha atingido os valores recomendados pela CCDR LTV.

Quadro I - Valores de espaços verdes/hab. Fonte: CML, 2010

	1994 (pop: 660 000)	2007 (pop: 500 000)
Estrutura Verde Principal	886,5 ha (13,4 m ² /hab)	898,7 ha (18 m ² /hab)
Estrutura Verde Secundária	393,7 ha (6 m ² /hab)	451 ha (9 m ² /hab)

É objectivo central deste trabalho identificar os edifícios que reúnem as condições ideais para a implementação de telhados verdes ou “green roofs” na cidade de Lisboa, e propor, se for esse o caso, o aumento dos espaços verdes na Cidade.

São objectivos específicos:

- I. A identificação de edifícios com coberturas que não sejam de alvenaria, com recurso à imagem de satélite;**
- II. Identificar as áreas da cidade onde existe maior área de possível construção dos telhados verdes;**
- III. Correlacionar as áreas com espaços verdes na cidade de Lisboa com a potencial área de construção dos telhados verdes.**

O trabalho inicial projectado para a realização deste estágio tinha como ideia principal a análise da imagem de satélite QuickBird-2 para a identificação dos espaços verdes não classificados e se estes poderiam assegurar a conectividade entre corredores verdes, bem como outros que poderiam ser reconvertidos em espaços verdes na cidade de Lisboa, indo ao encontro da preocupação ambiental que ocupa os organismos de gestão das áreas urbanas.

Este objectivo foi abandonado após o contacto com os vários departamentos da CML, pois o desenvolvimento dos trabalhos de revisão do PDM do concelho promovia uma análise mais profunda do que o PDM que vigora à data da realização deste trabalho e contempla a maioria das áreas que em princípio seriam destacadas na análise realizada com esse objectivo. Assim, e com a finalidade de contribuir positivamente na elaboração de um trabalho que forneça informação válida que os decisores possam utilizar na promoção da

componente ambiental da cidade de Lisboa e ao mesmo tempo complementar a conectividade entre as áreas verdes da cidade, seguiu o objectivo enunciado no início.

A área de estudo (Fig. 1) não será a totalidade do concelho de Lisboa, pois por razões que são alheias aos serviços da CML, a imagem QuickBird-2 que foi utilizada não totaliza a área deste concelho. O trabalho incidirá em 91% do concelho de Lisboa. Na figura 1, onde está sobreposto o limite do concelho na imagem QuickBird-2, ilustra esta diferença.

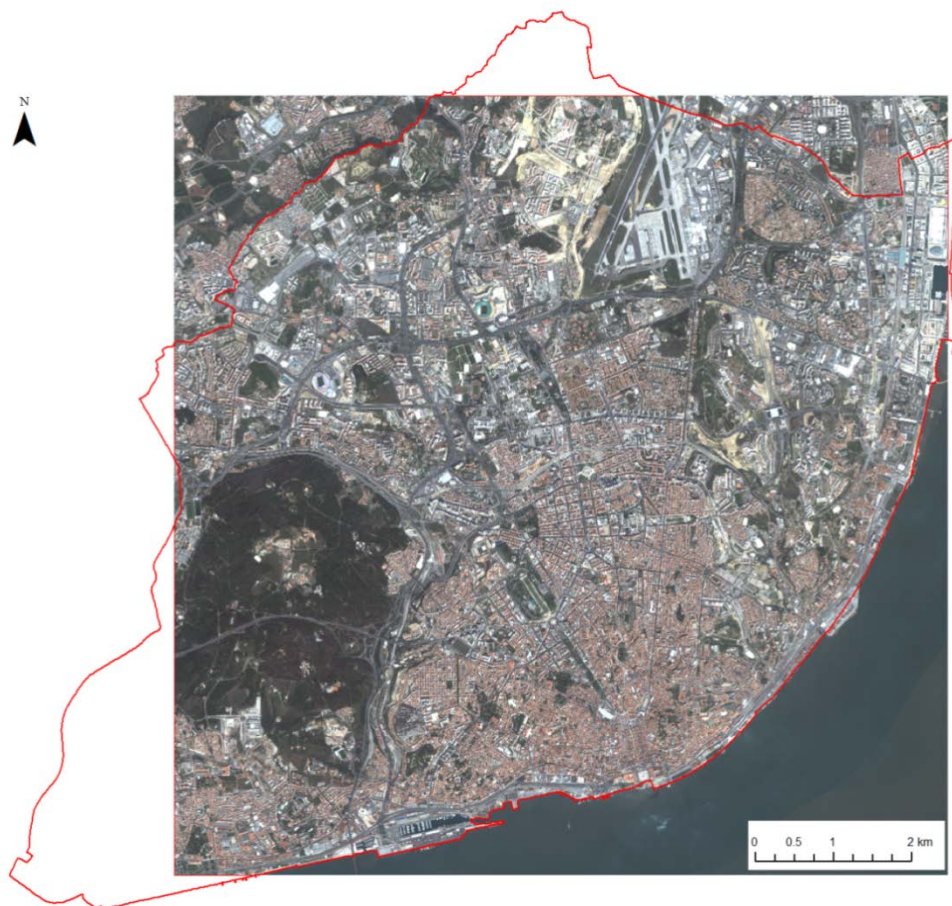


Figura 1 – Área de estudo: o traço a vermelho representa o limite do concelho de Lisboa

CAPITULO II: ENQUADRAMENTO TEMÁTICO

O conceito de capacidade de carga e de resiliência é algo indissociável da análise de qualquer sistema; em termos ambientais o primeiro conceito reflecte a capacidade que um determinado sistema tem de suportar infraestruturas sócio-económicas, criadas pelas actividades humanas desde que os vários processos físicos, químicos e biológicos não sejam afectados ao ponto de não poderem assegurar as futuras utilizações do meio. A capacidade de resiliência reflecte a capacidade que um determinado sistema tem de se regenerar face às agressões que lhe são praticadas.

Se tivermos em conta o sistema ambiental das cidades (que são consideradas áreas de aglomeração por excelência), este é afectado por vários problemas que podem pôr em causa a capacidade de carga e de resiliência do próprio sistema. Assim, podemos considerar os problemas urbanos que afectam directa ou indirectamente o sistema ambiental das cidades como:

- I. Aumento de população;
- II. Poluição do ar e ruído;
- III. Fornecimento de água;
- IV. Catástrofes naturais (ex.: inundações).

À escala mundial, a população tende há muito a localizar-se preferencialmente no litoral e junto aos estuários dos rios, pois são nestes locais que desde os primórdios dos tempos as populações tiveram melhores acessos a alimentos derivados do mar, bem como aos melhores solos para a agricultura, água potável e posteriormente, a capacidade de navegação para conquista de outros territórios e para o comércio.

A aglomeração em áreas urbanas é um fenómeno que existe desde o Neolítico, sendo que a necessidade do ser humano viver em comunidades é algo indissociável do seu modo de vida.

Exemplo disso são as áreas actualmente ocupadas pelo território do Iraque, antiga Mesopotâmia, vale do rio Nilo, vale do rio Amarelo, na China, vale do rio Indo, actualmente Paquistão, e área do golfo do México; todos foram palco de antigas civilizações como os sumérios, os babilónios, os assírios, os egípcios, os olmecas, os maias

e os astecas, com cidades com elevado número de habitantes, que podiam em alguns casos chegar a vários milhares.

A aglomeração em áreas urbanas marca a história do Homem; o seu crescimento e apogeu são claramente marcados pela existência de actividades económicas, rotas comerciais e poderio militar. Desta forma, o conceito e a necessidade de aglomeração marcam a evolução das estruturas urbanas, bem como os serviços e equipamentos necessários à sua população.

Com o crescimento e evolução do modo de vida das populações, as componentes de bem-estar e ambiental apresentam uma importância crescente e actualmente inseparável do modo de vida urbano. Os espaços verdes, além de apresentarem uma franca capacidade de melhorar o estilo de vida dos habitantes pela possibilidade de actividades que podem ser desenvolvidas nestas áreas, contribuem de forma clara na diminuição dos efeitos da poluição das cidades bem como no atenuar dos efeitos extremos climáticos que são sentidos de forma mais radical na cidade.

Assim, o aumento da população nas áreas urbanas diminui a capacidade de carga do próprio sistema ambiental se não forem tomadas medidas que promovam um crescimento sustentável que permita aumentar a capacidade de resiliência do mesmo. Este crescimento sustentável das cidades deve ser claramente apoiado em medidas ecológicas que promovam a melhoria do sistema ambiental, como o aumento dos espaços verdes.

De modo geral, e de acordo com Gonçalves *et al.* (2010) e Sukopp e Wittig (1998) referido por Rowe (2010), a poluição do ar e o ruído nas áreas urbanas são outros dos problemas ambientais, em que as áreas verdes poderão contribuir para a diminuição dos efeitos da poluição e redução dos elementos poluentes como o dióxido de carbono (CO₂), o monóxido de carbono (CO), os óxidos de azoto (NO_x), e os óxidos de enxofre (SO_x). Além disso, as barreiras criadas pelas áreas verdes servem de silenciador, diminuindo o efeito da poluição sonora verificada nas áreas urbanas.

O fornecimento de água surge nas áreas urbanas como um problema pelas quantidades consumidas e pela necessidade constante de fornecimento. A irregularidade intra-anual e inter-anual referida por Ramos (2001) poderá criar problemas no consumo de água visto que nos períodos estivais ou de seca prolongada será utilizada mais água do que o previsto para a rega dos espaços verdes.

Algumas das catástrofes naturais, como é o caso das inundações nas áreas urbanas, são explicadas pela elevada impermeabilização do solo (Oliveira e Ramos, 2002; e Ramos, 2001), o que demonstra a falta de áreas verdes que diminuam o escoamento superficial nestas áreas (Jain, 2006), promovendo a infiltração da água.

Simmons *et al.* (2008), no seu estudo localizado perto de Austin (Texas, EUA) com uma latitude de 30°11' N, e longitude 97°52'W com uma altitude de 247m e valor médio de precipitação de 810 mm, construíram 24 plataformas simulando os diversos tipos de coberturas, sujeitas a três episódios de chuva, e concluíram que os “green roofs” atrasam o escoamento entre picos de maior intensidade em aproximadamente 10 minutos em episódios de médio a grande quantidade de chuva, o que poderá diminuir a ocorrência de cheias em determinadas áreas.

A rede urbana portuguesa não é exceção, no que se refere a estes problemas, nem do trabalho que é necessário pôr em prática para a sua resolução.

A constante pressão urbanística e a renda locativa, associadas à falta de ordenamento e planeamento são algumas das razões para que ao longo dos tempos as cidades tenham crescido com algumas lacunas no que diz respeito à quantidade de espaços verdes capazes de proporcionar um aumento de qualidade de vida da população (Esteves, 1997).

Os espaços públicos são referidos por Nikolopoulou e Steemers (2003) e Thorsson *et al.* (2004), como sendo áreas que contribuem para as actividades ao ar livre e socialização, mas mais importante e atraente para que se possam realizar estas actividades está o efeito que as condições microclimáticas exercem no conforto térmico e mecânico Givoni *et al.* (2003) citado por Oliveira *et al.* (2008b).

As áreas verdes são referidas como contribuintes para uma melhoria das condições ambientais das cidades, regulando o clima urbano, diminuindo os efeitos da ilha de calor urbano, e melhorando, não só o conforto climático como também tendo contribuições hidrológicas positivas (Oliveira *et al.*, 2008b). Os mesmos autores referem ainda que estas áreas apresentam contributos na melhoria da qualidade de vida da população, minimizando a existência de poluentes atmosféricos, na sequência, por exemplo, da assimilação do dióxido de carbono.

A Ontario Medical Association atribui cerca de 9500 mortes prematuras por ano à poluição atmosférica no Canadá (Rowe, 2010). Izard e Guyot (1980) são referidos por

Valério (2010) para descrever os efeitos da vegetação em áreas urbanas e os seus benefícios. Aqueles autores referem a vegetação como moderadora da temperatura, pelos efeitos de oxigenação, efeito de humedificação, efeito de fixação de material particulado (poeiras), controlo de radiação de curto e longo comprimento de onda. A título de exemplo, Johnston e Newton (1996) referem que 2000 m² de relva sem ser aparada num telhado verde pode retirar até 4000 kg de material particulado por ano, através da armadilha formada pela própria vegetação.

Peck e Kuhn (2001) referem que a relva não aparada pode remover uma quantidade de material não particulado de 0,2kg/m²/ano; este valor é estimado a partir dos dados obtidos para as árvores. Esta estimativa vai de encontro aos valores apresentados por Johnston e Newton (1996).

Os telhados verdes assumem-se como uma possibilidade de substituir as áreas verdes perdidas pela construção dos edifícios e de todas as infraestruturas das áreas urbanas. Segundo estudo realizado por Yang *et al.* (2008), a utilização de um modelo seco de deposição permitiu remover 85kg/ha/ano de poluentes atmosféricos na cidade de Chicago através da implementação de telhados verdes.

Exemplo disso podem ser os telhados da Estação de Tratamento de águas residuais (ETAR) de Alcântara, que pode contribuir para a diminuição dos impactos ambientais do eixo rodoviário com elevado tráfego, constituindo também uma forma de enquadramento paisagístico desta infraestrutura, apesar de não ter tido acesso ao tipo de plantas utilizadas é possível verificar figura 2 que nestes telhados são utilizadas plantas rasteiras e de árvores de médio porte.



Figura 2 - Aspecto da ETAR de Alcântara

Este modelo consistiu num modelo de deposição seca de poluentes atmosféricos através de um modelo de resistência por plantas com folha larga que apresentou as seguintes variáveis:

- I. Quantidade de poluentes particulados numa determinada área de “green roof” por um determinado período de tempo;
- II. A velocidade de deposição de um determinado poluente atmosférico;
- III. O valor da resistência do edifício com uma cobertura de relva;
- IV. Valores de resistência dos solos e de outras superfícies que possam modificar a resistência da área;
- V. Peso do material particulado.

Através destes dados foi medida a quantidade de poluentes particulados que se depositaram num determinado período de tempo, tendo em conta a velocidade de deposição e os valores de resistência que a relva do “green roofs” e de todas as outras superfícies ofereciam à passagem do ar, sendo que consideraram que a deposição dos poluentes atmosféricos era inversa à resistência oferecida por estas superfícies. Por fim, a velocidade final de deposição foi calculada tendo em conta o peso do material particulado que se tinha depositado.

No entanto, quando se utiliza o modelo energético do Departamento de Energia dos Estados Unidos da América, explicado por Sailor (2008), e que se traduz na poupança energética de electricidade e gás no aquecimento/arrefecimento dos edifícios, verifica-se que o balanço energético dos edifícios sofre uma redução na ordem dos 2% no consumo de energia eléctrica e 9 a 11% no consumo de gás natural. Com esta base e utilizando o mesmo modelo, Rowe (2010) refere que se os 1,1 km² de telhados planos do campus da Universidade Estatal do Estado do Michigan fossem transformados em “telhados verdes”, poder-se-ia evitar 3.640.263 kg de CO₂ pela diminuição de consumo de gás e electricidade, o que equivaleria a retirar 661 veículos das estradas dos Estados Unidos todos os anos.

O crescimento das áreas urbanas e a sua densificação vai provocar modificações no clima urbano, nomeadamente a diminuição das áreas verdes. Além disso, as redes de drenagem naturais são substituídas por sistemas artificiais que aumentam o escoamento superficial (Ramos, 2001) e diminuem a capacidade de evaporação, o que reduz consideravelmente a humidade do ar (Barbosa, 2005). Estas situações, aliadas aos

materiais de construção utilizados nos edifícios e restantes infraestruturas urbanas, alteram o balanço térmico das áreas urbanas, pois estes materiais têm valores de albedo inferiores ao meio natural e maior capacidade de absorção calorífica, o que induz alterações climáticas principalmente aos valores de temperatura do ar.

No estudo realizado por Alcoforado e Andrade (2006), é referido que em 68% das tardes de verão e 78% das tardes de inverno existe um aumento de temperatura em direcção ao centro/sul da cidade de Lisboa devido aos efeitos da ilha de calor urbano.

A ilha de calor urbano é definida por Oke (1995) como a mudança climática provocada inadvertidamente pelo homem (*in* Lopes, 2003). A ilha de calor urbano traduz-se pela frequência de temperaturas do ar mais elevadas no espaço ocupado por construção em comparação com as temperaturas sentidas nos arredores em ambiente rural (Landsberg, 1981).

Contudo, a redução das áreas verdes nas áreas edificadas tem também repercussões no conforto térmico, que se traduzem pela sensação de diminuição do bem-estar relacionada com a temperatura, e neste caso, se a reduzida quantidade de áreas verdes influi no aumento de temperatura é claramente natural que influa também no conforto térmico.

Cada vez se dá maior importância aos estudos de conforto térmico nas cidades, e a conclusão extraída desses estudos é quase sempre comum. Os fenómenos microclimáticos no interior das cidades reflectem muitas vezes a falta de espaços verdes.

O trabalho realizado por Oliveira *et al.* (2008b) refere que nas temperaturas medidas no jardim Braamcamp Freire (Lisboa), os valores são mais baixos entre 2 a 4°C de temperatura média e máxima no inverno, que em locais fora da área ajardinada, e que esses valores chegam a 8°C no verão.

É verdade que os espaços verdes contribuem para uma melhor qualidade de vida nas cidades, e contribuem também para minimizar a ocorrência do fenómeno de ilha de calor urbano. Sailor (2008), citado por Lopes (2008), traça duas estratégias para a mitigação da ilha de calor urbano: a modificação do albedo das superfícies e o aumento das áreas permeáveis com vegetação. O autor indica ainda que no âmbito das estratégias por ele propostas existem diversas formas de poder mitigar o problema, entre as quais se podem destacar no campo da engenharia a escolha de materiais que aumentem o albedo e técnicas de construção que promovam um correcto escoamento dos ventos nas áreas críticas das

idades, mas propõe igualmente uma aposta no campo de uma acção mais ecológica, como a utilização de “green roofs” ou telhados verdes para solucionar os problemas inerentes à ilha de calor.

Susca *et al.* (2011), nas suas revisões bibliográficas citam vários autores que referem que a evolução da ilha de calor urbano depende principalmente da modificação do balanço energético nas áreas urbanas devido aos seguintes factores:

- I. Canhões urbanos Landsberg (1981)²;
- II. Propriedades térmicas dos materiais de construção (Montavez *et al.*, 2000);
- III. Substituição das áreas verdes por áreas impermeabilizadas que diminuam ou limitem a evapotranspiração (Takebayashi e Moriyama, 2007; Imhoff *et al.*, 2010);
- IV. Materiais que diminuam o albedo urbano (Akbari e Konopacki, 2005).

Os mesmos autores pretendiam verificar não só os efeitos que os telhados verdes poderiam ter na redução da temperatura, mas também como se comportavam comparativamente aos outros tipos de cobertura, no estudo realizado na cidade de Nova Iorque. Os resultados que atingiram são muito interessantes quanto à utilização de telhados verdes em comparação com os tradicionais telhados de cobertura com membrana negra e com cobertura com membrana branca muito usuais nesta cidade.

Concluíram que se verificou uma redução de fluxos de calor através dos telhados, quer durante o inverno quer durante o verão.

Durante o período de inverno (fig. 3) verificou-se que com a insolação adicional fornecida pelo solo e pela biomassa existente, a temperatura se manteve praticamente constante e apenas se registaram variações que atingiram 10°C.

No que diz respeito aos edifícios com a cobertura de membrana, estes registaram oscilações de cerca de 30°C, um valor máximo de 40°C, enquanto que nos telhados com membrana branca as oscilações variaram entre 10 e 20°C, com um valor máximo de 30°C. Além disso, na parte inferior do solo dos telhados verdes a frequência de ocorrência de temperaturas $\leq 0^\circ\text{C}$ foram inferiores em cerca de 50% quando comparados com a dos edifícios de telhado com membrana negra.

² Designação utilizada por Landsberg (1981) e que corresponde ao posicionamento de edifícios que pela sua disposição podem simular os efeitos de um canhão natural.

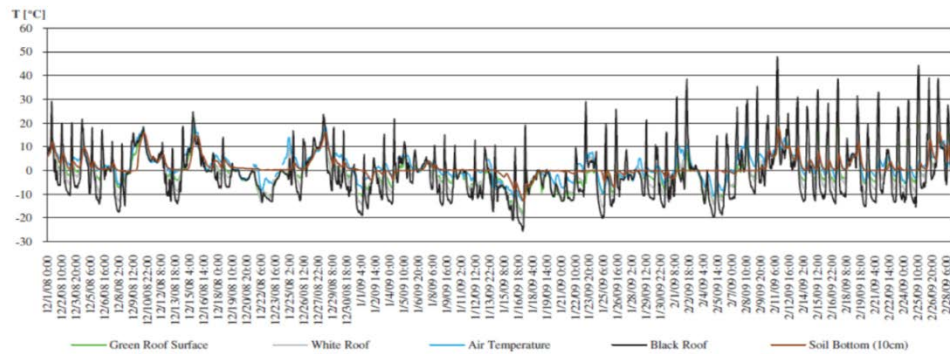


Figura 3 – Temperatura do ar e valores de temperatura registados em Con Edison no topo das árvores e à altura do solo em “green roofs” (Dezembro 2008 a Fevereiro de 2009). (Dados: Center for Climate Systems Research, Columbia University, New York City, New York, U.S.A.). Fonte: Susca *et al.* (2011).

Durante o verão, nos telhados verdes (Fig. 4), devido à cobertura do solo e principalmente à biomassa existente, as oscilações térmicas na parte inferior do solo são inferiores a 20°C devido ao aumento da evapotranspiração. No mesmo período, as oscilações à superfície dos telhados com cobertura de membrana negra é de 60°C e nos telhados de cobertura com membrana branca bem como nos telhados verdes é de aproximadamente 30°C.

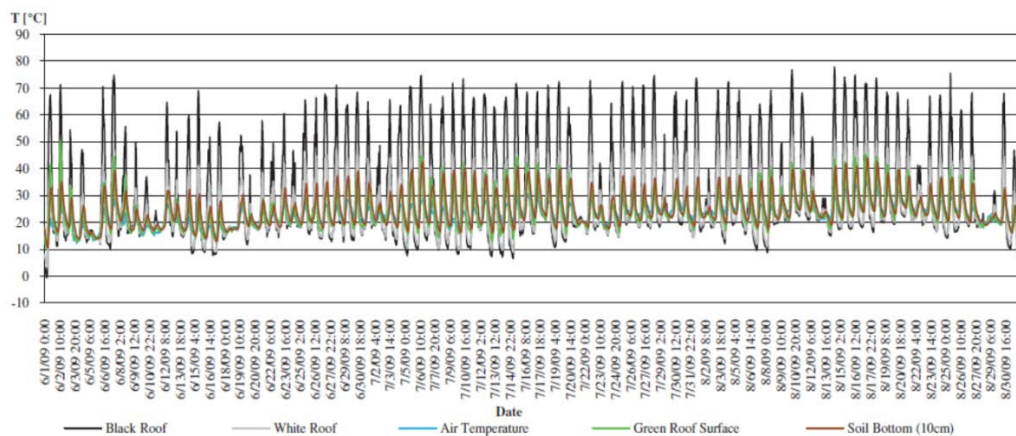


Figura 4 – Temperatura do ar e valores de temperatura registados em Con Edison no topo das árvores e à altura do solo em “green roofs” (Junho a Agosto de 2009). (Dados: Center for Climate Systems Research, Columbia University, New York City, New York, U.S.A.). Fonte: Susca *et al.* (2011).

Os telhados verdes são geralmente aplicados em telhados planos (Fig. 5), com a construção de um solo artificial que vai constituir o suporte para diversas espécies vegetais

que trazem benefícios para o clima e ambiente urbano e para a economia energética da cidade, visto que ao providenciarem sombra aos edifícios promovem um arrefecimento dos mesmos.

No complemento desta ideia, Susca *et al.* (2011) acrescentam ainda que o consumo de energia para arrefecimento ou aquecimento pode ser reduzido entre 40 e 110% quando se substitui o telhado “negro” por um telhado de membrana branca ou verde.



Figura 5 – Exemplo de "green roof". Fonte: <http://www.flickr.com/photos/markturner/1723220883/>

Parizotto e Lamberts (2011) chegam às mesmas conclusões gerais: os telhados verdes apresentam uma variação positiva na redução da temperatura ambiente bem como na diminuição da amplitude térmica diária. Este estudo foi realizado na cidade de Florianópolis (Brasil), na semana de 1 a 7 de Março de 2008, para que representasse uma semana de verão típica nesta cidade, nas seguintes condições: temperatura média 25,7°C, humidade relativa de 73% e um valor de radiação médio durante o dia de 1 kW/m² (Figs. 6 e 7).

Durante o estudo realizado, a temperatura máxima durante o dia, verificada nos telhados de alvenaria e metálicos foi de 57,5°C e 51,7°C, respectivamente, enquanto que o valor máximo medido no telhado verde foi substancialmente mais baixo: 39,4°C. Durante o

período nocturno, o telhado verde verificou temperaturas aproximadas ao valor das temperaturas do ar com um diferendo máximo de 2°C, enquanto que as coberturas de alvenaria e metálicas tiveram uma diferença de 3,2 e 2,6°C.



Figura 6 – Fachada norte (a) e quarto vista exterior (b) do edifício experimental. Fonte: Parizotto e Lamberts (2011)

Outro dado importante a que chegaram foi que a variação diária entre os diferentes tipos de cobertura também foi diferente para os vários tipos. Enquanto que nos telhados verdes esse valor foi de 17,7°C, nas coberturas de alvenaria e metálicas foi de 37,2 e 32,6°C, respectivamente.

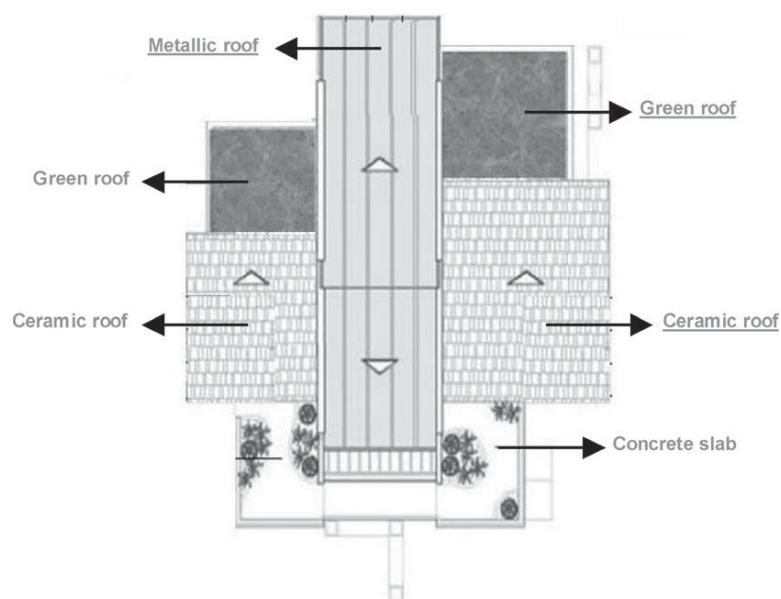


Figura 7 – Distribuição espacial dos telhados. Fonte: Parizotto e Lamberts (2011)

O quadro II demonstra a distribuição espacial entre as duas cidades anteriormente referidas e podemos verificar que a sua localização é bastante diferente, quer em valores de latitude quer em valores de longitude. Além disso, o tipo de clima segundo a classificação de Koppen para estas duas áreas também apresenta diferenças.

Nova Iorque apresenta uma classificação Dfa, ou seja, um clima continental em que a temperatura média do ar do mês mais quente é superior a 10°C e a temperatura média do mês mais frio é inferior a -3°C, apresentando estações de verão e inverno bem definidas.

Por seu turno, Florianópolis apresenta um clima Cfa; um clima temperado subtropical em que as temperaturas médias do ar dos meses mais frios estão compreendidas entre -3°C e 18°C, e a temperatura média do ar do mês mais quente é superior a 10°C.

No entanto, e como foi referido anteriormente, os resultados apresentados pelos dois autores não diferem muito um do outro visto que ambos demonstram a diminuição de valores extremos nos “green roofs”.

Quadro II – Localização das cidades de Nova Iorque e Florianópolis

Cidade	Latitude	Longitude	Clima Classificação Koppen
Nova Iorque	40° 47' N	73° 58' W	Dfa
Florianópolis	27° 36' S	48° 31' W	Cfa

Porém, Lopes (2008) refere que o aumento de vegetação ao nível do solo é mais vantajoso, pelo tipo de plantas que podem ser utilizadas (nomeadamente árvores), não só pelo albedo da maioria das árvores plantadas ser superior a 18% em relação aos telhados verdes como também contribuirão para o arrefecimento da atmosfera junto ao solo, filtrarem a poluição e fornecerem sombra para os utilizadores dos espaços urbanos. Conclui ainda que “a eficiência energética dos edifícios pode ser conseguida implementando técnicas de arquitectura bioclimática, que tiram partido das condições térmicas, ventilação e ecológicas dos espaços exteriores” (p. 50).

Os solos construídos que servem de cobertura para os edifícios são na sua generalidade solos de baixa espessura que albergam uma cobertura extensiva (cerca de

10cm) e solos superiores a 20cm para solos que suportem uma cobertura intensiva ou ajardinada (Britto, 2001).

Na construção dos “green roofs”, existe a necessidade de construir as infraestruturas necessárias para que os edifícios possam albergar os solos de suporte às plantas. Estes solos apresentam geralmente a constituição demonstrada na figura 8, em que por cima da cobertura de betão do edifício é colocada uma placa de protecção que poderá ser em vários tipos de materiais que apresentem uma baixa deterioração, como é o caso do polyester; de seguida é aplicada uma membrana à prova de água para evitar qualquer tipo de infiltração no edifício e depois uma placa de insolação visto que as tradicionais coberturas são substituídas por estas.

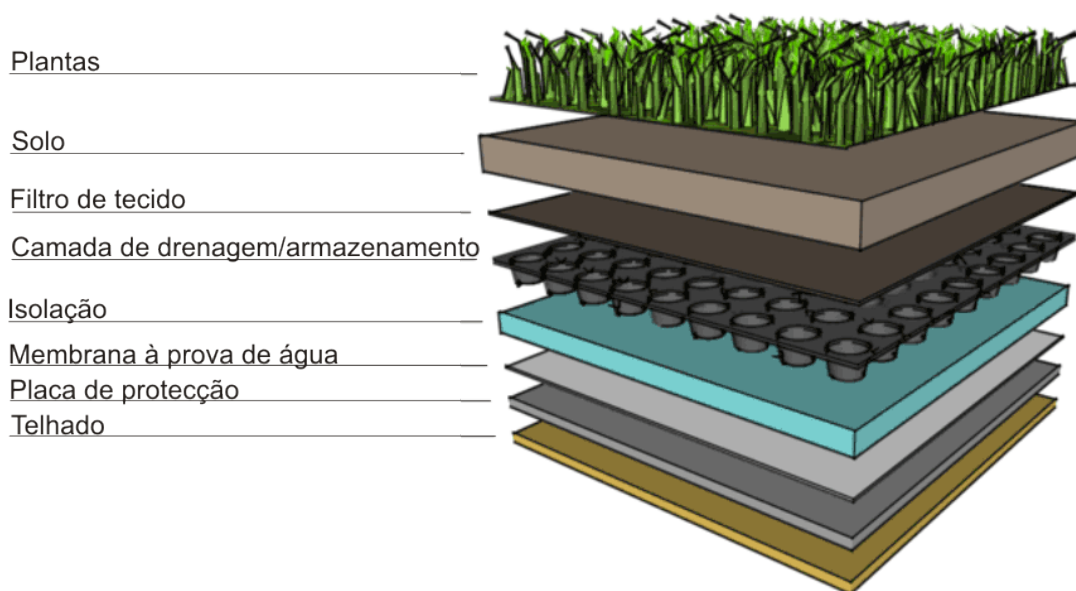


Figura 8 – Esquema de "green roof" adaptado de: <http://greengarage.ca/greenroofs/features.php>

Após o isolamento do edifício, é colocada uma placa que irá servir de camada de drenagem ou armazenamento da água da chuva ou da rega que é coberta por um filtro de tecido. Depois destas operações, é construído o solo artificial que irá servir de base para as plantas que irão constituir o “green roof”.

As espécies vegetais que são plantadas nos “green roofs” são sujeitas a condições extremas, nomeadamente temperaturas muito elevadas, elevada intensidade luminosa, grandes velocidades do ar, elevado risco de danos físicos e seca (Dunnett e Kingsbury,

2004, citados por Oberndorfer *et al.*, 2007). Neste mesmo artigo, os autores referem Lee e Kim (1994), que afirmam que as plantas utilizadas devem ter um elevado grau de resistência e apresentarem características como um baixo crescimento, terem folhagem perene ou com folhas suculentas, ou seja, com elevada capacidade de armazenamento de água.

Britto (2001) defende duas tipologias para o tipo de coberturas verdes, a cobertura intensiva e a cobertura extensiva. No tipo de cobertura intensiva são geralmente utilizadas plantas como árvores, arbustos ou outras plantas que são usualmente utilizadas nos jardins mas que necessitam de solos superiores a 20cm. A cobertura extensiva utiliza plantas autóctones e a espessura dos solos geralmente não ultrapassa os 10cm.

A ideia de utilização de plantas autóctones vai ao encontro dos problemas enunciados por Dunnett e Kingsbury (2004) e Lee e Kim (1994) citados por Oberndorfer *et al.*, 2007, porque uma selecção criteriosa das plantas autóctones que possam suportar as adversidades enunciadas por estes autores são à partida a melhor escolha, pois não só estão adaptadas às condições climáticas gerais da região de onde são originárias, mas também porque não existe o perigo de se tornarem plantas infestantes.

CAPITULO III: FONTES, MÉTODOS E TÉCNICAS

1. FONTES

Na perspectiva de delinear uma estratégia de aumento e conservação das áreas verdes, melhorando a sua conectividade, utilizaram-se neste trabalho várias fontes cartográficas, que poderão ser actualizadas de modo a acompanhar a evolução dinâmica da cidade, mantendo a actualidade do trabalho.

As fontes cartográficas utilizadas neste trabalho são:

- I. Imagem de satélite QuickBird-2, de Abril de 2005 (banda pancromática);
- II. Temas cartográficos actualizados dos edifícios, das vias de comunicação, do limite do concelho, dos elementos contidos na Estrutura Ecológica Municipal (EEM) e espaços verdes;
- III. Altimetria nas escalas de 1:10 000 e 1:25 000 e pontos cotados;

Toda esta informação foi fornecida pelo Departamento de Informação Geográfica e Cadastro – Divisão de Informação Urbana Georeferenciada.

1.1. IMAGEM DE SATÉLITE QUICKBIRD-2

A imagem disponibilizada pelos serviços da CML é uma imagem captada pelo sensor QuickBird-2, satélite comercial da empresa DigitalGlobe, que foi lançado a 18 de Outubro de 2001 na Califórnia. Este satélite faz uma órbita em volta da Terra a uma altitude operacional de 482km. O sensor deste satélite recolhe dados na banda pancromática com um tamanho de pixel de 0,6m e de 2,4m nas bandas multiespectrais (quadro III).

Quadro III – Características das imagens captadas pelo sensor do satélite QuickBird-2

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área da Imagem	Resolução Radiométrica
PANCROMÁTICO	PANCROMÁTICA	445 - 900 nm	61 a 72 cm	1 a 3,5 dias, dependendo da latitude	16,5 x 16,5 km	11 bits
MULTIESPECTRAL	AZUL	450 - 520 nm	2,4 a 2,8 m	1 a 3,5 dias, dependendo da latitude	16,5 x 16,5 km	
	VERDE	520 - 600 nm				
	VERMELHO	630 - 690 nm				
	INFRAVERMELHO PRÓXIMO	0 - 900 nm				

Rocha (2002) refere que a informação adquirida pelos satélites, que posteriormente dá origem à imagem de satélite em diferentes bandas do espectro electromagnético, é registada numa matriz de pixéis ou imagens digitais. O espectro electromagnético é utilizado para a teledetecção e destacam-se algumas regiões essenciais:

- I. Os comprimentos de onda do principal fluxo de radiação solar incidente;
- II. Da radiação terrestre emitida;
- III. Da radiação emitida pelos sistemas de radar.

Assim, os valores de cada pixel resultam da radiância dos corpos na superfície da Terra, que depende da quantidade de energia electromagnética reflectida e/ou emitida pela superfície terrestre correspondente a esse pixel.

O mesmo autor sintetiza a informação das diferentes regiões do espectro e indica a sua utilidade (quadro IV).

Quadro IV – Regiões do espectro electromagnético. Fonte: Rocha (2002)

Região	Comprimento de Onda	Características
Raios Gama	<0,0	Toda a radiação incidente é absorvida pela alta atmosfera, Não se encontrando disponível para a Teledetecção.
Raios X	0,03a30nm	Completamente absorvida pela atmosfera. Não é utilizada Em Teledetecção.
Ultravioleta	0,03a0,4µm	A radiação comum comprimento de onda inferior a 0,3µm é completamente absorvida pela camada de Ozono na alta atmosfera.
Ultravioleta Fotográfico	0,3a0,4µm	Transmitida através da atmosfera. Pode ser detectada com câmaras fotográficas, mas é fortemente influenciada pela dispersão atmosférica.
Visível	0,4a0,7µm	Compreende as bandas do azul (0,4µm-0,5µm), verde (0,5µm-0,6µm) e vermelho (0,6µm – 0,7µm).A sua designação reside no facto de abranger as únicas regiões do espectro perceptíveis ao olho humano; permite a obtenção de fotografias e inclui o pico de energia emitida pelo Sol.
Infravermelho Reflectido	0,7a3,0µm	Radiação solar reflectida que não possui qualquer informação acerca das características térmicas dos materiais. O intervalo de 0,7 a 0,9µm é detectável com película fotográfica e consequentemente designado por banda do infravermelho fotográfico.
Infravermelho Térmico	3a5µm 8a14µm	Principal janela atmosférica na região do térmico. As imagens caracterizadas por estes comprimentos de onda são adquiridas com sensores óptico-mecânicos e sistemas especiais de vídeo, mas não através de película fotográfica.
Microondas (radar)	0,1a100cm	Longos comprimentos de onda, podendo penetrar nuvens, nevoeiro e chuva. Usada em teledetecção através de um sistema activo.
Rádio	> 100 cm	Não utilizado em Teledetecção.

A informação multiespectral refere-se a um conjunto de valores numéricos dispostos em matrizes que correspondem aos níveis radiométricos captados pelos sensores do satélite, sendo separadas em bandas consoante o intervalo considerado para cada uma das bandas (Quadro III).

As imagens de satélite (na sua composição colorida) não são mais do que a combinação de três bandas, geralmente denominada como imagem RGB (R – RED, G –

GREEN, B – BLUE). São a forma mais comum de analisar a informação multiespectral. No entanto, existe a necessidade de explicar a diferença entre a imagem multiespectral e a imagem pancromática no que respeita aos níveis radiométricos. A imagem multiespectral apresenta uma matriz que tem um intervalo de captura de energia reflectida e/ou emitida que no caso da banda RED – Vermelho apresenta um intervalo de valores entre 630-690nm, a banda GREEN – Verde apresenta um valor entre 520-600nm, e a BLUE – Azul apresenta um valor de 450-520nm (Quadro III). Temos assim um intervalo entre 450 a 690nm mas separadas por três bandas ou por três matrizes de valores. Já a imagem pancromática capta um intervalo entre 445-900nm numa só banda.

Outra das diferenças entre as imagens pancromáticas e as imagens multiespectrais é que o tamanho de pixel difere entre elas: 0,6m para a banda pancromática e 2,4m nas bandas multiespectrais.

A opção de realização do trabalho com uma imagem produzida pelo sensor do satélite QuickBird-2 foi tomada tendo em conta não só a disponibilidade desta imagem mas também as diferenças em relação a outras imagens de satélite, nomeadamente as imagens do Landsat5 ou 7tm+³. A resolução espacial dos satélites varia consoante a capacidade e avanço tecnológico que vai sendo aplicado a este equipamentos (Fig. 9).

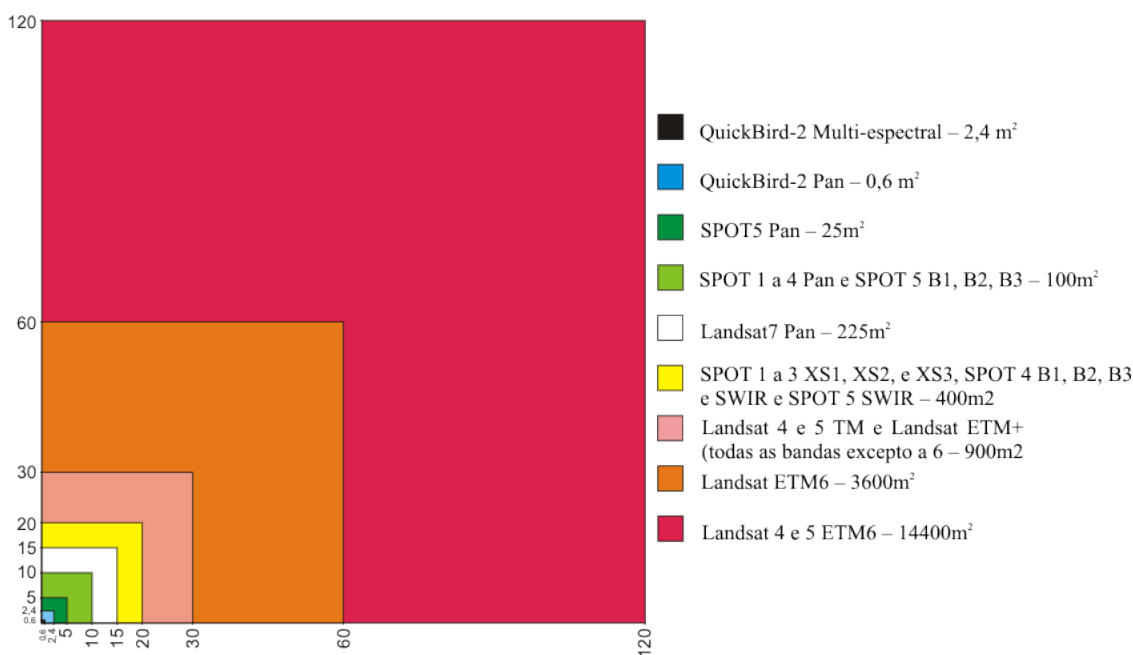


Figura 9 – Resolução espacial das imagens captadas pelos vários satélites

³ A referência ETM+ está relacionada com o tipo de sensor que o satélite Landsat 7 está equipado.

A resolução espacial tem vindo a melhorar com os avanços tecnológicos (Fig. 9) e a possibilitar uma melhor utilização deste manancial de informação. Independentemente das imagens utilizadas, podem ser calculados índices de vegetação utilizando as bandas do vermelho e do infravermelho próximo, calcular variações de temperatura, energia recebida por unidade de superfície terrestre, identificar espécies vegetais ou variações de áreas ocupadas.

Uma imagem captada pelo sensor da Landsat 5 ou Landsat 7ETM+ apresenta uma resolução espacial de 30 metros nas bandas do RGB (Quadro V) enquanto que a imagem QuickBird-2 apresenta nas bandas RGB uma resolução espacial de 2,4m e na banda pancromática 0,6m (quadro V).

Quadro V – Características dos satélites Landsat 5 e Landsat 7ETM+

Satélite	Sensor	Bandas espectrais	Resolução espectral	Resolução espacial	Área da imagem	Resolução radiométrica
Landsat5	TM (tematic mapper)	Azul	450-520 nm	30 metros	185 km	8 bits
		Verde	520-600 nm	30 metros		
		Vermelho	630-690nm	30 metros		
		Infravermelho próximo	760-900nm	30 metros		
		Infravermelho médio	1550-1750nm	30 metros		
		Infravermelho termal	10400-12500nm	80 metros		
		Infravermelho médio	2080-2350nm	30 metros		
Satélite	Sensor	Bandas espectrais	Resolução espectral	Resolução espacial	Área da imagem	Resolução radiométrica
Landsat7	ETM+	Azul	450-515 nm	30 metros	185 km	8 bits
		Verde	525-605 nm	30 metros		
		Vermelho	630-690nm	30 metros		
		Infravermelho próximo	750-900nm	30 metros		
		Infravermelho médio	1550-1750nm	30 metros		
		Infravermelho termal	10400-12500nm	60 metros		
		Infravermelho médio	2090-2350nm	30 metros		
		Pancromática	520-900nm	15 metros		

1.2. TEMAS CARTOGRÁFICOS

Os temas cartográficos utilizados neste trabalho foram igualmente fornecidos pelos serviços da CML, no formato shapefile (*.shp).

A informação disponibilizada é referente aos edifícios, vias de comunicação, limite do concelho e os elementos integrantes da Estrutura Ecológica Municipal (EEM). No entanto, existe a necessidade de ressaltar que este tipo de temas cartográficos serão

denominados, a partir de agora, como tema edifícios, tema vias de comunicação, tema limite do concelho, tema EEM e tema espaços verdes.

O tema edifícios contém a informação actualizada dos edifícios existentes à data do início do trabalho. A esta informação cartográfica está associada uma tabela que inclui as informações necessárias para a execução deste projecto, nomeadamente um código interno da CML que identifica o edifício em causa, a sua área e o perímetro.

O tema vias de comunicação abrange todas as vias de comunicação existentes na cidade de Lisboa, e igualmente o código interno da CML e a área que consta na tabela de atributos deste tema.

Os dados relativos à EEM estão contidos no tema EEM, no qual estão patentes todos os elementos que constam da proposta da EEM que fará parte integrante do novo PDM.

Os espaços verdes contêm a informação relativa às áreas verdes e ajardinadas contempladas pelo departamento da CML.

Os formatos vectoriais cedidos pelo Departamento de Informação Georeferenciada da CML têm uma projecção do sistema de coordenadas Lisboa Hayford Gauss IPCC Transverse Mercator, sistema de coordenadas que é utilizado pelos serviços camarários.

1.3. ALTIMETRIA

Os valores de altimetria necessários para a execução deste trabalho foram cedidos pelo mesmo departamento e são referentes a curvas de nível e a pontos cotados. No que respeita às curvas de nível foram considerados os dados com uma equidistância de 10m e com uma equidistância de 25m, aos quais passaremos futuramente a chamar curvas de nível à escala de 1:10 000 e curvas de nível à escala de 1:25 000. Embora não se saiba a proveniência dos dados nem como foram obtidos considera-se que estes apresentam um elevado nível de confiança.

Os pontos cotados fornecidos detêm uma elevada cobertura do território em questão e irão permitir melhorar a informação altimétrica fornecida pelas curvas de nível de 10 000 e de 1:25 000.

MÉTODOS

A realização deste trabalho é apoiada pela utilização de vários procedimentos de teledetecção e Sistemas de Informação Geográfica (SIG), do cruzamento dos dados dos temas cartográficos e da utilização das curvas de nível à escala de 1:10 000 e 1:25 000, bem como dos dados dos pontos cotados.

A teledetecção é definida por Rocha (2002) como “todo um encadeamento de processos, composto essencialmente pela aquisição, transmissão, armazenamento, processamento e visualização de dados geográficos. (...) o conjunto das tecnologias e a arte, que permite obter informação sobre objectos, áreas ou fenómenos, através da análise de informação adquirida por aparelhos de observação (sensores) sem contacto com o objecto, área, ou fenómeno em estudo”(p. 6).

Reis (1996) afirma que a definição de SIG é controversa e que não existe uma definição concreta para os Sistemas de Informação Geográfica. No entanto, o autor diz poder considerar-se como “um conjunto de meios e procedimentos que possibilita a aquisição de dados espaciais, a sua edição e saída, de forma adaptada a exigências específicas, e permite a realização intermédia de diversos tipo de análise de informação georeferenciada”, que um SIG “(...) poderá incluir tanto os sistemas de informação manual como computadorizado” e que “a definição de Sistema de Informação Geográfica deverá ser independente da sua utilização específica”(p. 7).

Na maioria dos casos esta última ideia leva a erros de denominação de temas cartográficos. A maioria dos utilizadores tende a utilizar uma terminologia errada, por exemplo, quando denomina um tema como edifícios de shape, edifícios ou shapefile edifícios. No entanto, o termo shape (abrev.) ou shapefile diz respeito ao formato de dados utilizados para temas cartográficos lineares, poligonais ou pontuais. Para o programa ArcGis da empresa ESRI. Este mesmo programa define o formato grid para os dados em formato matricial.

Reis (1996) define assim os modelos de dados utilizados nos SIG: quadrícula, poligonais, triângulos irregulares, isolinhas, pontuais regulares e pontuais irregulares, esclarecendo que os dados em quadrícula são constituídos por pixéis e que este é o elemento espacial básico que define um valor único para a área por ele coberta. O modelo poligonal define que a área de interesse é dividida em regiões contínuas e que muda

abruptamente quando se passa de um polígono para outro. Por sua vez, o modelo de triângulos irregulares divide a área representada em faces triangulares planas, em que qualquer ponto dentro do mesmo triângulo representa um valor único. Os dados no modelo de isolinhas são concebidos para representarem um fenómeno linear em que o valor da linha é o mesmo em qualquer ponto desta linha. Os modelos pontuais regulares representam valores únicos de cada intercepção da quadrícula rectangular enquanto que os dados em modelos pontuais irregulares representam um valor para variáveis com distribuição irregular.

O programa ArcGis da empresa ESRI foi utilizado para a execução deste trabalho, pois a CML utiliza este mesmo programa na sua versão 9.3.1, e como foi referido anteriormente, todos os dados serão denominados de temas para que não existam confusões entre o formato dos dados e o modelo de dados utilizados. Além disso, e como apenas foi utilizado este programa na execução do trabalho, as várias extensões ou módulos fornecem variadas aplicações que serão denominadas de ferramentas.

Foi criado um modelo metodológico para as opções tomadas no decorrer do trabalho serem perceptíveis. Estas foram previamente esquematizadas com o objectivo de prever uma forma de actuação (Fig. 10).

A metodologia aplicada pressupõe que no final do trabalho se consigam atingir os objectivos já definidos, que se traduzem pela identificação dos edifícios que poderão ser potenciais “green roofs” no contexto dos espaços edificados da cidade de Lisboa.

Assim, pressupõe-se as seguintes etapas metodológicas:

- I. Georeferenciação e correcção geométrica;
- II. Classificação da imagem QuickBird-2;
- III. Extração de dados matriciais para vectoriais;
- IV. Sobreposição e selecção de dados;
- V. Classificação final.

1.1. GEOREFERENCIAÇÃO E CORRECÇÃO GEOMÉTRICA

O programa ArcGis pressupõe a utilização de um ambiente de trabalho com uma determinada projecção cartográfica para que todos os dados adicionados possam ser exibidos da mesma forma e com correspondência espacial correcta.



Figura 10 – Esquema metodológico do trabalho realizado

Como a maioria dos temas cartográficos a utilizarem o sistema de coordenadas Lisboa Hayford Gauss IPCC, que apresenta como principais características ser uma projecção Transversa de Mercator, e ter como ponto central Melriça com as seguintes coordenadas 39° 40' N e 8° 07' 54''W, este foi o sistema de coordenadas escolhido para georeferenciar o ambiente de trabalho. No entanto, a imagem de satélite QuickBird-2

utilizada para a realização deste trabalho tinha um sistema de coordenadas diferente, o sistema ETRS 1989 Portugal TM06, que apresenta como características ser uma projecção Transversa de Mercator e ter as seguintes coordenadas do ponto de origem 39° 40' 05.73'' N e 8° 07' 59.19'' W.

Os objectos captados por uma imagem de satélite resultam “dos valores da radiação electromagnética reflectida ou emitida pela superfície terrestre, ou pela atmosfera, em diferentes domínios do espectro electromagnético” (Rocha, 2002). O sensor de qualquer satélite que tenha por objectivo captar imagens tem a capacidade de obter os valores de radiação electromagnética reflectidos, absorvidos ou transmitidos pelos “objectos”⁴ na superfície terrestre.

Desta forma, os valores de energia captada pelo sensor são valores “brutos” que não observam as interferências que podem surgir no momento da captura dos dados.

Rocha (2002) refere que a obtenção dos valores pelos sensores dos satélites pode ser dificultada ou até mesmo impossibilitada devido aos efeitos de difusão, absorção e transmitância, causados pela atmosfera. A existência de gases e poeiras na atmosfera pode interferir com os valores obtidos, devendo-se assim realizar uma correcção radiométrica. Este tipo de correcção foi realizado anteriormente pelos serviços da CML visto que esta imagem não era a imagem original mas sim a imagem já com as correcções radiométrias, pois já tinha sido utilizada para a realização de outros estudos.

Desta forma, procedeu-se apenas à correcção geométrica da imagem. Esta correcção é necessária pois o sensor do satélite não tem em conta o relevo aquando da obtenção da imagem. Para isso, foi necessário utilizar os ficheiros com a informação altimétrica para que fosse realizado um Modelo de Elevação do Terreno (MET).

1.2. CLASSIFICAÇÃO DA IMAGEM QUICKBIRD-2

Para a classificação da imagem QuickBird-2 e de forma que se pudessem obter dados para prosseguir com o trabalho foram realizados dois testes. Um primeiro teste com uma classificação não supervisionada, que consiste numa análise automática dos elementos

⁴ Pretende-se designar por “objectos” na superfície terrestre todos os elementos que estejam à superfície com a capacidade de reflexão, absorção ou transmissão como exemplo temos: edifícios, viaturas, plantas, rochas, entre outros.

constantes na imagem e em que estes são agrupados pela máxima verosimilhança após uma primeira análise estatística dos valores de pixel da imagem, e em que através dessa análise o sistema define as classes de classificação que irá utilizar. Um segundo teste foi feito através de uma classificação supervisionada, que implica a criação de “áreas amostra” que no programa ArcGis são denominadas “assinaturas” e que se resume a uma definição por parte do operador de áreas correspondentes às classes que se pretendem que o sistema classifique.

Nenhum destes testes mostrou resultados satisfatórios ao que se pretendia. Desta forma, aplicou-se uma classificação de componentes principais que consiste numa rotação dos eixos à informação original com o objectivo de compactação dos dados e eliminação da redundância.

Através deste método foi então possível a aplicação de uma classificação supervisionada obtendo-se assim os resultados pretendidos.

1.3. EXTRACÇÃO DE DADOS MATRICIAIS PARA VECTORIAIS

A extracção da informação obtida através da classificação efectuada à imagem de satélite QuickBird-2 só seria possível comparar com o tema edifícios se estivesse no mesmo formato. Por isso, foi necessário realizar essa transformação, que consistiu na criação automática de um tema com um sistema de dados poligonais que correspondem à área ocupada com um determinado valor resultante da anterior classificação.

1.4. SOBREPOSIÇÃO DE DADOS

Com toda a informação no mesmo modelo de dados – poligonais – é possível realizar várias análises entre estes dois temas, Edifícios e Classificação. Destas análises identificaram-se os edifícios que tinham telhados planos e que correspondem aos potenciais “Green roofs”.

1.5. CLASSIFICAÇÃO FINAL

Este ponto consistiu na verificação e validação dos dados obtidos no ponto anterior. Além disso, verificou-se também a sua distribuição espacial e comparou-se essa mesma distribuição com a existência e distribuição espacial das áreas verdes de Lisboa.

As vantagens da utilização desta metodologia, comparativamente a uma metodologia que envolvesse o levantamento exaustivo de todos os edifícios do concelho, podem ser enumeradas da seguinte forma: existência de imagens de satélite mais actualizadas, bem como a possibilidade de verificação rápida no terreno ou visual através de outras fontes, como ortofotomapas ou fotografia aérea. Além disso, o levantamento exaustivo edifício a edifício pode ter custos tempo/monetários bastante onerosos para a CML. Este processo evita assim a deslocação de técnicos para a verificação do tipo de cobertura dos edifícios, podendo esta ser realizada apenas em caso de dúvidas quanto à classificação realizada.

2. TÉCNICAS

A utilização do programa ArcGis na versão 9.3.1 possibilita utilizar e desenvolver as técnicas que permitem a manipulação de dados e de informação cartográfica, que facultam a execução do trabalho que me propus realizar. Trata-se de um *software* que permite não só a análise e manipulação de dados no modelo matricial mas também nos modelos de dados poligonais, lineares, pontuais e triangulares irregulares.

A diversidade de *softwares* com capacidades similares é neste momento muito elevada e com especificidades muito diferentes; apesar disso, a opção de utilização deste *software* foi tomada por este ser o *software* utilizado pelos serviços da CML e porque a utilização de outro(s) *software(s)* implicaria a transformação de todos os temas cartográficos utilizados, quer no início quer no fim do mesmo, visto que para disponibilizar os resultados à CML seria necessário transformar todo o manancial de informação no formato shapefile ou grid para que pudesse ser utilizado no programa ArcGis, e inclusive debater-me com problemas de transformação da informação.

Assim, visto que este programa oferecia todas as condições necessárias para a realização do trabalho optou-se pela utilização do mesmo.

Por outro lado, e como já tinha sido referido anteriormente, para assegurar a fiabilidade do trabalho, toda a informação cedida pela CML foi verificada, antes mesmo de se iniciar o tratamento dos dados,

A imagem QuickBird-2 era o único tema cartográfico que utilizava um sistema de coordenadas diferente (ETRS 1989 Portugal TM06) do que se estava a utilizar no ambiente de trabalho do projecto,. Passando-se a utilizar a ferramenta “project raster” do programa ArcGis 9.3.1, a imagem foi projectada para o datum de Lisboa Hayford Transverse Mercator. A imagem foi cortada pela denominada área de estudo, pois apresentava uma área a negro sem informação, que posteriormente traria falsos resultados nas classificações de imagem (Fig. 11), passando a ser esta a área de estudo do estágio.



Figura 11 – Imagem de satélite original que mostra a área de estudo

Para a realização deste corte foi criado um tema denominado “área de estudo” que consistiu na criação de um polígono em que os limites correspondiam à área visível da imagem QuickBird-2 e que pode ser visualizado na figura 12.

Através da ferramenta “extract by mask”, que executa a extracção dos pixéis contidos na área correspondente à área do polígono anteriormente criado, a imagem resultante será denominada de área de estudo (Fig. 12). O output realizado por esta ferramenta dispensa uma nova georeferenciação da imagem, visto que a imagem original já se encontrava no sistema de coordenadas pretendido.

Desta forma, obteve-se a informação que é necessária para os próximos procedimentos de correcção geométrica da imagem. Porém, é fundamental criar um Modelo de Elevação do Terreno (MET) para efectuar esses procedimentos futuros, isto porque a correcção geométrica da imagem corresponde à diminuição do efeito de sombra aquando da captação da imagem de satélite.



Figura 12 – Área de estudo

A correcção da imagem irá permitir um ajustamento da imagem de satélite à realidade da topografia do terreno. Neste processo foi criado um MET através da informação vectorial das curvas de nível e dos pontos cotados (Figs. 13 e 14).

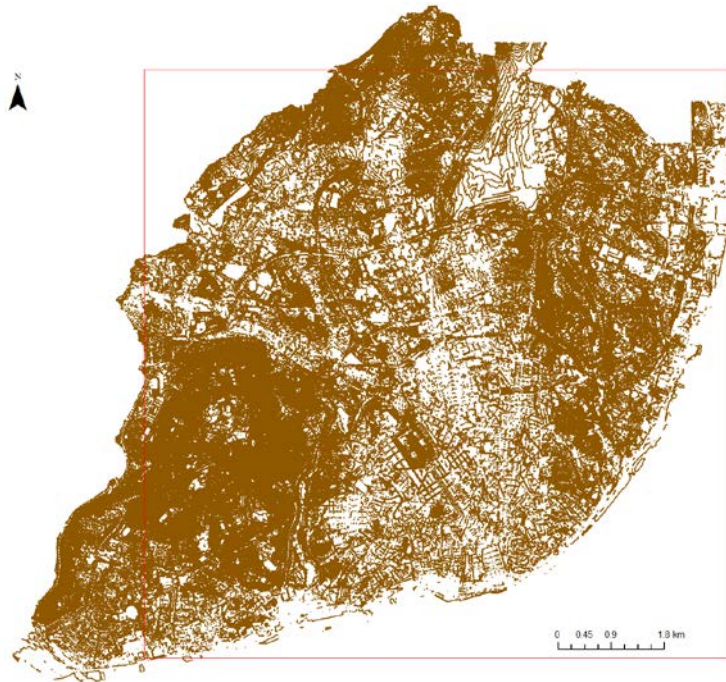


Figura 13 – Curvas de nível 1:10 000 do concelho de Lisboa

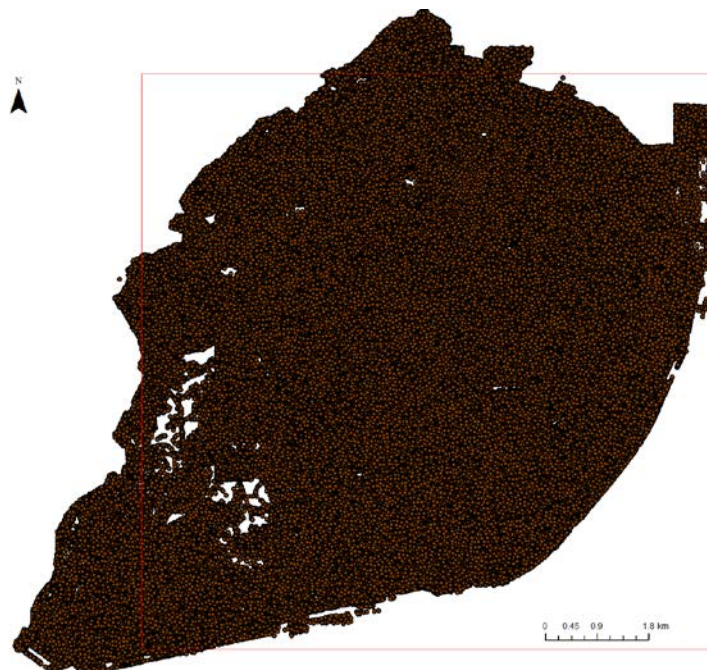


Figura 14 – Pontos cotados da cidade de Lisboa

Além das curvas de nível à escala de 1:10 000 e dos pontos cotados, para poder ser construído o MET que não envolvesse um corte brusco nos limites modelo, foi também utilizada a informação cartográfica à escala de 1: 25 000. A construção de um modelo de elevação poderá implicar uma construção com erros se não forem tomadas em consideração algumas variáveis. Este tipo de modelo trata-se de uma rede de triângulos irregulares criada através da interpolação de valores de altimetria contidos nas curvas de nível à escala de 1:10 000 e 1:25 000 e nos pontos cotados da cidade de Lisboa.

Esta construção implica a existência de uma fronteira (pois não se pretende que este modelo exceda os limites da área de estudo); assim, utiliza-se o tema área de estudo que anteriormente foi usado para o corte da imagem de satélite e que servirá de fronteira para a construção do modelo de elevação.

Porém, é necessário que a informação altimétrica exceda os limites desta fronteira. Apesar do limite estar definido pela área de estudo, a interpolação do modelo tem de ser realizada fora desses limites. Caso contrário, surgem erros como os demonstrados na figura 15, em que como se pode verificar em comparação com a figura 16, parte do modelo de elevação não é construído e inclusive, existem áreas com erros de modelação.

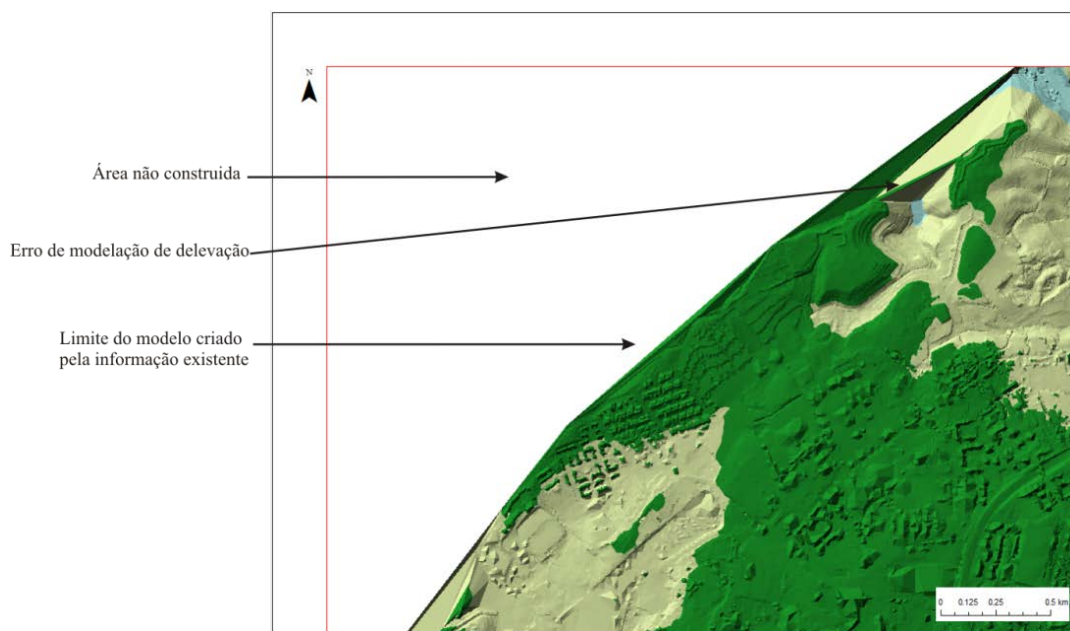


Figura 15 – Construção do MET sem curvas de nível 1:25 000: traço a vermelho representa a área de estudo

(0,6m)⁵ para que fossem posteriormente possíveis os cálculos entre os vários ficheiros raster.

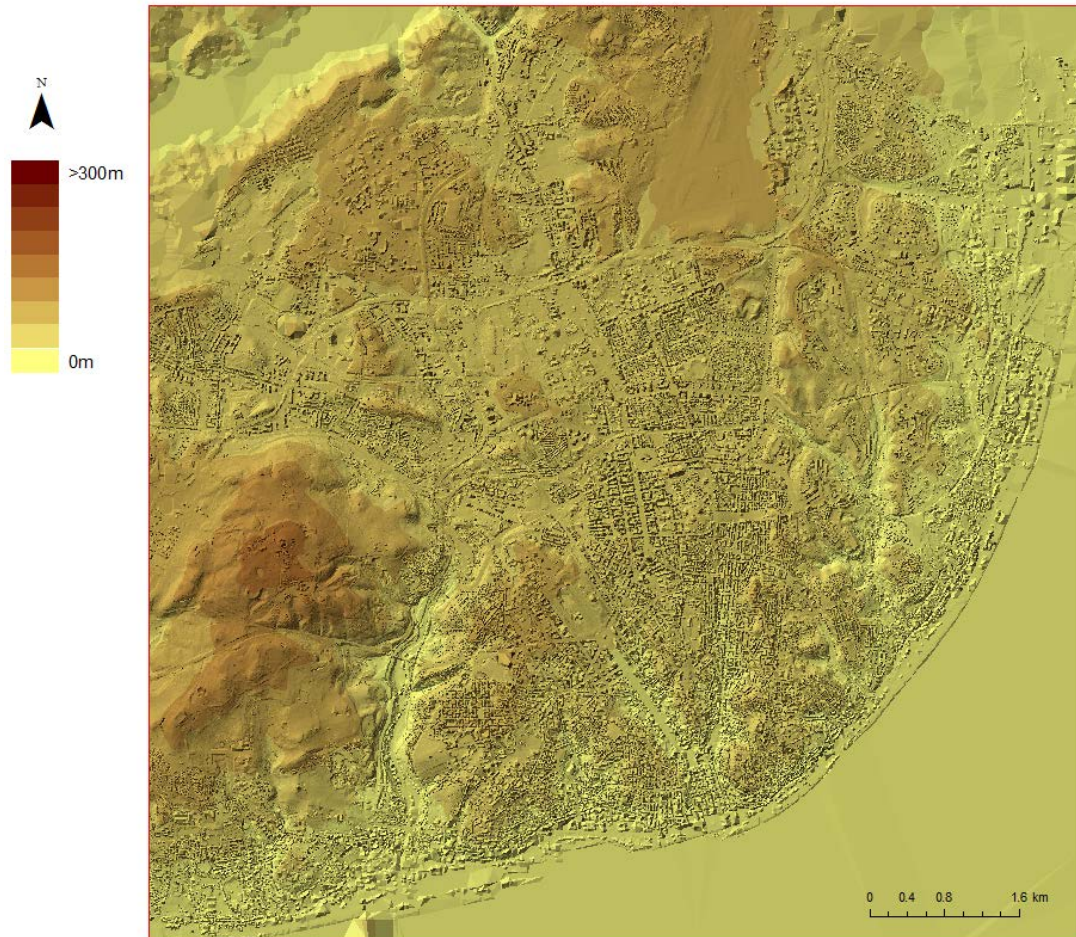


Figura 17 – Modelo de Elevação do Terreno (MET)

Após esta operação, obteve-se uma imagem raster em que os valores do pixel correspondiam aos valores calculados aquando da criação do MET. A esta imagem passarei a chamar TINGRID (Fig. 18).

⁵ As ferramentas do ArcGis que utilizam cálculos ou outras operações entre formatos grid ou raster apenas são possíveis se o valor de pixel for igual.

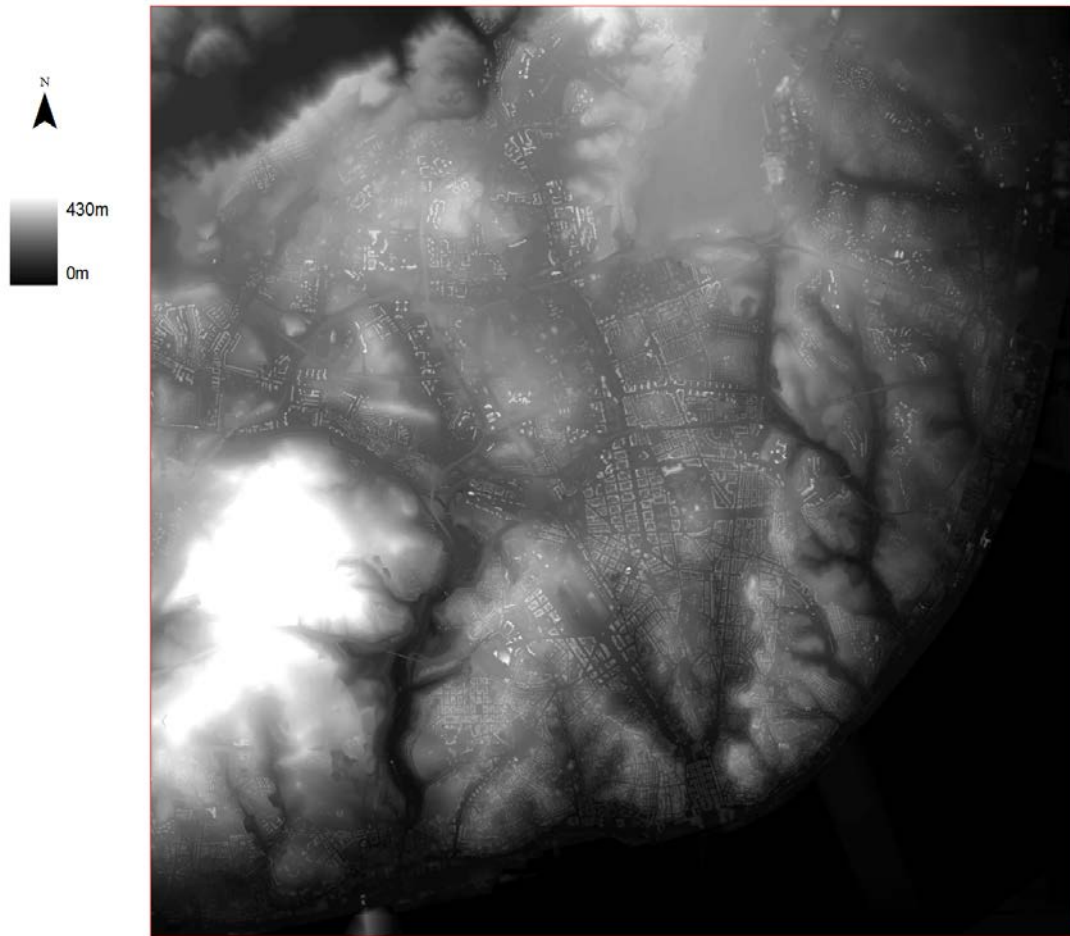


Figura 18 – TINGRID da área de estudo

Desta forma, foi possível aplicar a correcção geométrica utilizando os valores do TINGRID através da ferramenta “create ortho corrected raster dataset” que se aplica à imagem de satélite, obtendo-se uma imagem com a diminuição do efeito de sombra causado pelo relevo.

Após este trabalho de preparação, tínhamos a imagem de satélite pronta para ser utilizada nas várias classificações que se pretendiam realizar.

Como enunciado anteriormente, foram realizados dois testes: a classificação não supervisionada e a classificação supervisionada. Estes dois tipos de classificação consistem na análise e na classificação dos pixels, elaborando novas imagens que correspondem às classes de pixels classificados.

No caso da classificação não supervisionada, a primeira acção realizada é uma análise estatística através da ferramenta “iso cluster” que através da definição do número de classes que queremos identificar, aplica um algoritmo de agrupamento dos valores de

pixel iguais pré-determinado pelo próprio *software* para definir os possíveis grupos de pixel da imagem (Fig. 19). Os resultados deste processo pode ser visualizado sob a forma de dendrograma (Fig.20), que mostra as distâncias entre os atributos definindo assim automaticamente entre que intervalos dos valores de pixel serão agrupados para classificar a imagem dentro do número de classes pretendido. Para este teste foram utilizadas três classes.

$$Z = \frac{(X - oldmin) \times (newmax - newmin)}{(oldmax - oldmin)} + newmin$$

- Em que:
- *Z* é a saída raster com os novos valores (output).
- *X* é a imagem raster original (input).
- *oldmin* é o valor mínimo do input.
- *oldmax* é o valor máximo do input.
- *newmin* é o valor mínimo desejado para o output.
- *newmax* é o valor máximo desejado para o output.

Figura 19 – Algoritmo da ferramenta "iso cluster". Fonte: ESRI

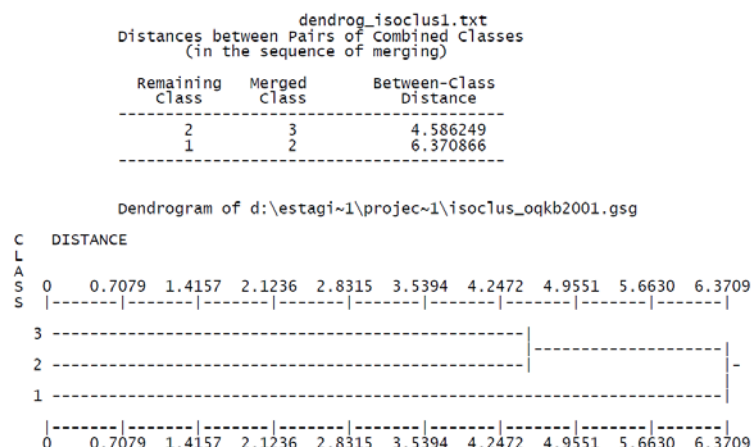


Figura 20 – Dendrograma resultante da aplicação da ferramenta “dendrogram” com 3 classes de agrupamento

Posteriormente, é realizada uma classificação de máxima verosimilhança com igualdade de prioridade entre classes, através das análises previamente criadas em que o resultado é uma imagem raster com classes bem definidas, com a utilização da ferramenta “maximum likelihood classification”. Para verificar os resultados das classificações e da evolução do trabalho, foi efectuado um teste numa área reduzida, área amostra, tendo em conta a dimensão da área de trabalho. Esta área está localizada na área do Lumiar, confinando com o estádio José de Alvalade. Nestas imagens, podem ser facilmente distinguidas as áreas com vegetação no canto superior direito da imagem bem como as áreas residenciais e as áreas construídas com as infraestruturas rodoviárias (Fig. 21).



Figura 21 – Área amostra QuickBird-2 no Lumiar

No caso desta classificação não supervisionada (Fig. 22), o resultado não foi satisfatório tendo em conta que se pretendia uma divisão entre as classes: edifícios com telhados com cobertura de alvenaria, telhados com outro tipo de cobertura e outras áreas

que incluíssem, por exemplo, infraestruturas, áreas verdes, solo nu, entre outras áreas que não tinham influência directa na execução do trabalho.

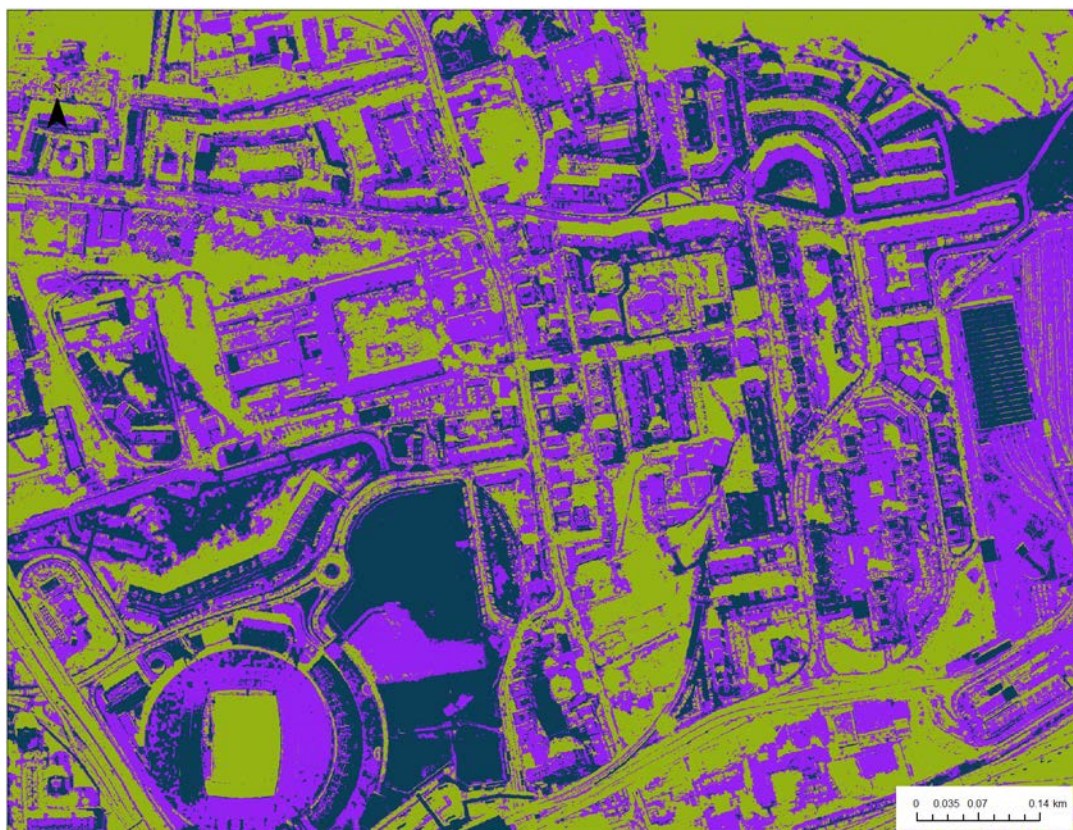


Figura 22 – Classificação não supervisionada da área amostra

A divisão de classes visível na imagem resultante da classificação não supervisionada é claramente efectuada entre as áreas edificadas, infraestruturas rodoviárias e vegetação, não realizando qualquer separação entre os telhados de alvenaria e os telhados planos. Neste caso concreto, os telhados planos nem foram classificados como outra classe, aparecendo da mesma forma que as infraestruturas rodoviárias.

No teste seguinte foi utilizada a classificação supervisionada para verificar se seria possível realizar uma classificação que permitisse separar os telhados de alvenaria dos telhados planos.

Para a realização desta classificação foi necessário criar um ficheiro de assinaturas⁶, que começa pela criação de um ficheiro de polígonos (Fig. 23); este ficheiro tem de conter as classes pretendidas e um valor de identificação para cada uma das classes.

As áreas de assinatura foram definidas manualmente sobre a imagem de satélite, e consistem na criação de polígonos independentes e com valores únicos sobre áreas da imagem que correspondam exactamente às classes de classificação através desta técnica de classificação supervisionada.

Com a criação deste ficheiro e em função das classes pretendidas, definiu-se assim que as classes seriam: 1 para telhados de alvenaria, 2 para áreas verdes, 3 para telhados planos e 4 para vias de comunicação (Fig. 23). No entanto, estes polígonos não foram unicamente criados na área amostra mas em toda a área de estudo, isto para que houvesse um intervalo mais representativo e exacto do que pretendia classificar

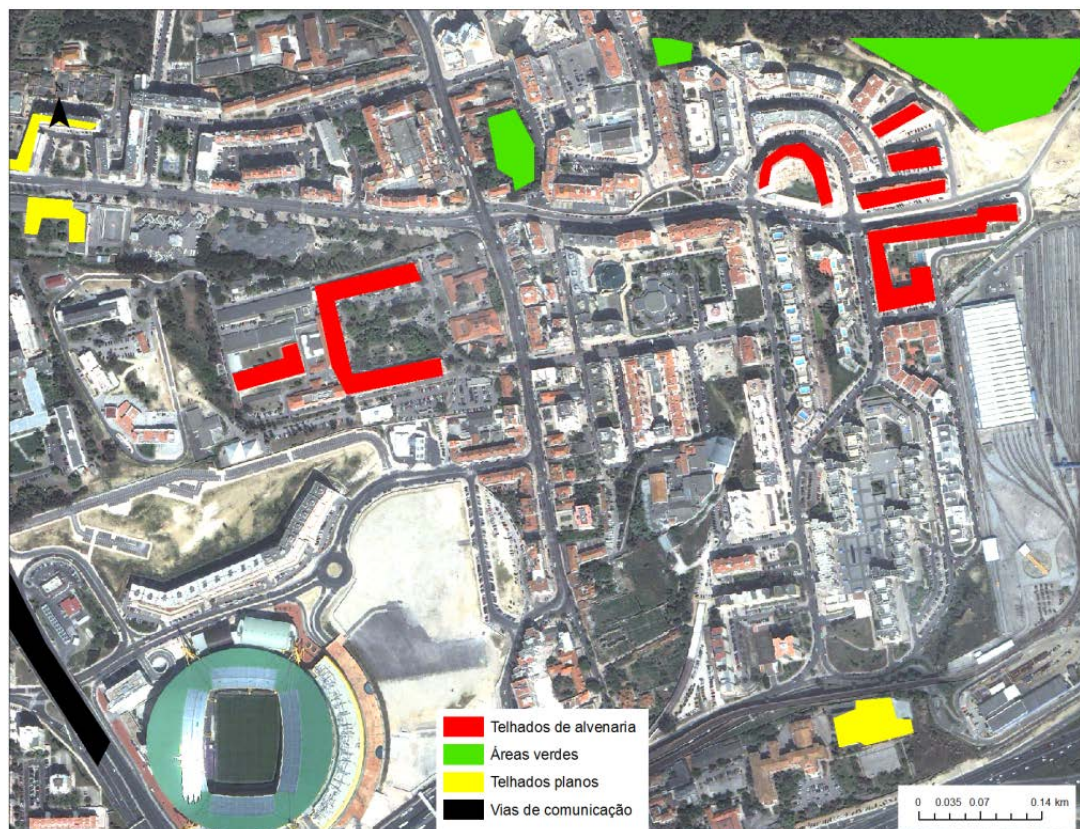


Figura 23 – Assinaturas e Classes de classificação da área amostra

⁶ Ficheiro de assinaturas (tradução directa da terminologia utilizada no ArcGis) corresponde à criação de polígonos sobre exemplos de áreas a classificar para que posteriormente o *software* identifique os intervalos de valores dessas áreas.

De uma forma simples, estamos a dar indicação ao *software* que os valores de pixel contidos/inseridos na área do polígono corresponderão a uma determinada classe e é através desse intervalo de dados contidos nos polígonos da mesma classe que posteriormente o *software* irá realizar a classificação total da imagem.

A classificação daí resultante (Fig. 24) não foi novamente a mais esperada, pois apesar de existir uma melhoria na classificação em determinados pontos da imagem, verificou-se também um aumento do erro noutras áreas. Isso é visível junto ao estádio, onde uma área claramente sem construção foi classificada como telhado de alvenaria.

Este tipo de classificação gera imensos erros em áreas urbanas, e para obter uma excelente classificação teriam de ser criadas inúmeras classes. O número de classes a criar seria quase equivalente aos objectos existentes na imagem, o que era contra procedente com o que se pretendia.

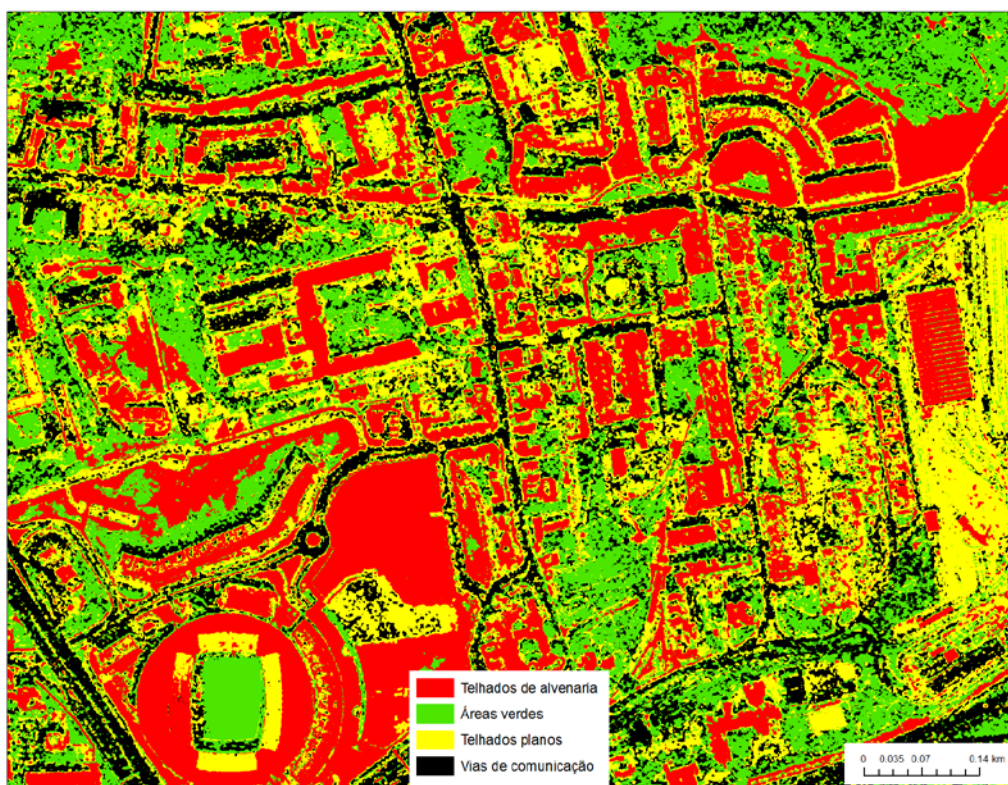


Figura 24 – Classificação supervisionada da área amostra

As classificações efectuadas não resultaram no objectivo primário deste trabalho – a identificação de telhados de alvenaria – para em contraposição sabermos quais os edifícios que tinham uma cobertura plana e potencialmente capaz para suportar a criação

dos telhados verdes. Após exploração das ferramentas da extensão “spatial analyst tools”, o módulo “principal components tool” oferecia uma série de mais-valias para a classificação das imagens.

Segundo a Esri 2010, o módulo “principal components tool” é utilizado para transformar a informação em várias bandas raster através da rotação dos eixos relativamente à informação original. O principal objectivo desta análise é compactar os dados e eliminar a redundância.

A aplicação desta ferramenta resulta numa classificação que mostra nitidamente uma clara separação dos objectos (Fig. 25). Como se pode verificar nessa figura, todos os edifícios com telhados de alvenaria aparecem com uma cor violeta, as áreas cobertas com vegetação são facilmente identificadas pelo verde, e as áreas de solo nu estão visivelmente representadas a azul, e mais importante, as áreas de edifícios com outro tipo de coberturas que não são de alvenaria aparecem com uma cor idêntica às áreas ocupadas por vias de comunicação.

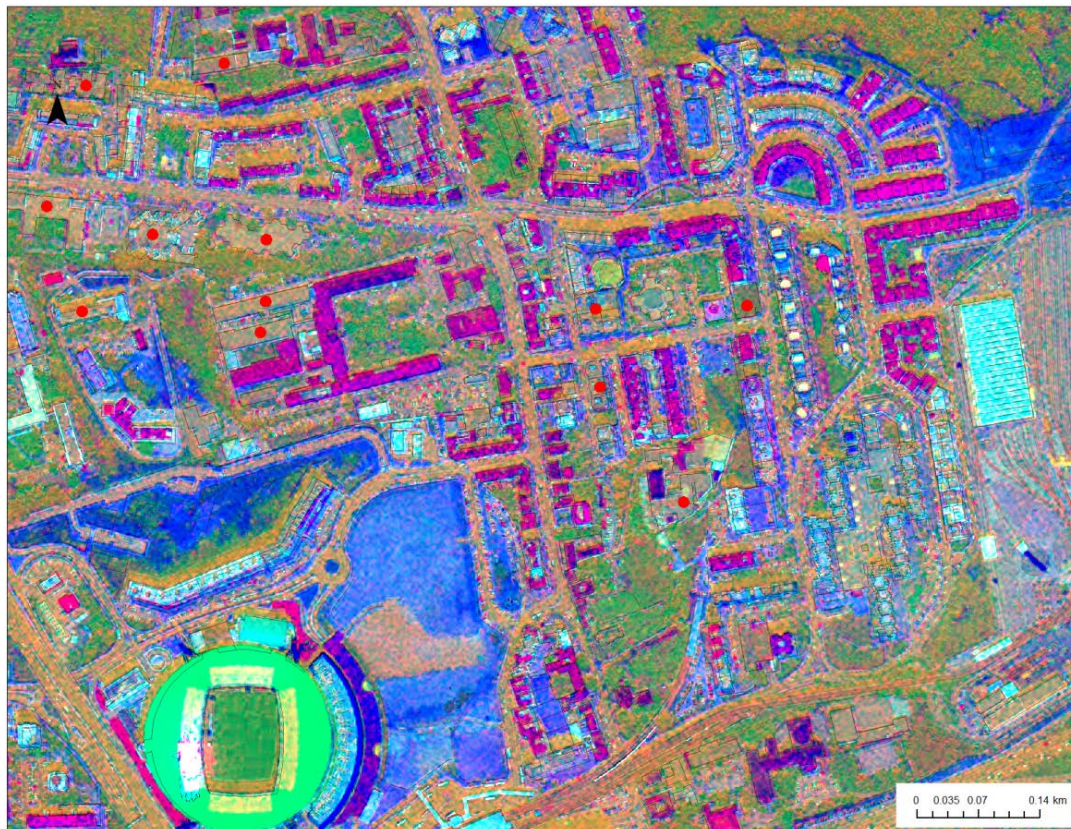


Figura 25 – Classificação por componentes principais bandas activas: verde, vermelho e azul (RGB): pontos a vermelho representam exemplos de edifícios fantasma

Inclusive, pode verificar-se que existem áreas na imagem (assinaladas com os pontos a vermelho) onde os próprios edifícios parecem ter ficado ocultos, permanecendo apenas o limite dos mesmos; para referências futuras a este fenómeno passarei a chamar edifícios “fantasma”.

No entanto, apesar de existir uma maior facilidade de identificação dos edifícios que apresentam uma cobertura de alvenaria, ainda era difícil definir os limites exactos dos mesmos. Para que essa tarefa fosse facilitada, foi extraída a banda azul, permitindo assim que a imagem apresentada (Fig. 26) fosse apenas a conjugação das bandas vermelha e verde, que iria realçar a cor vermelha dos telhados de alvenaria.

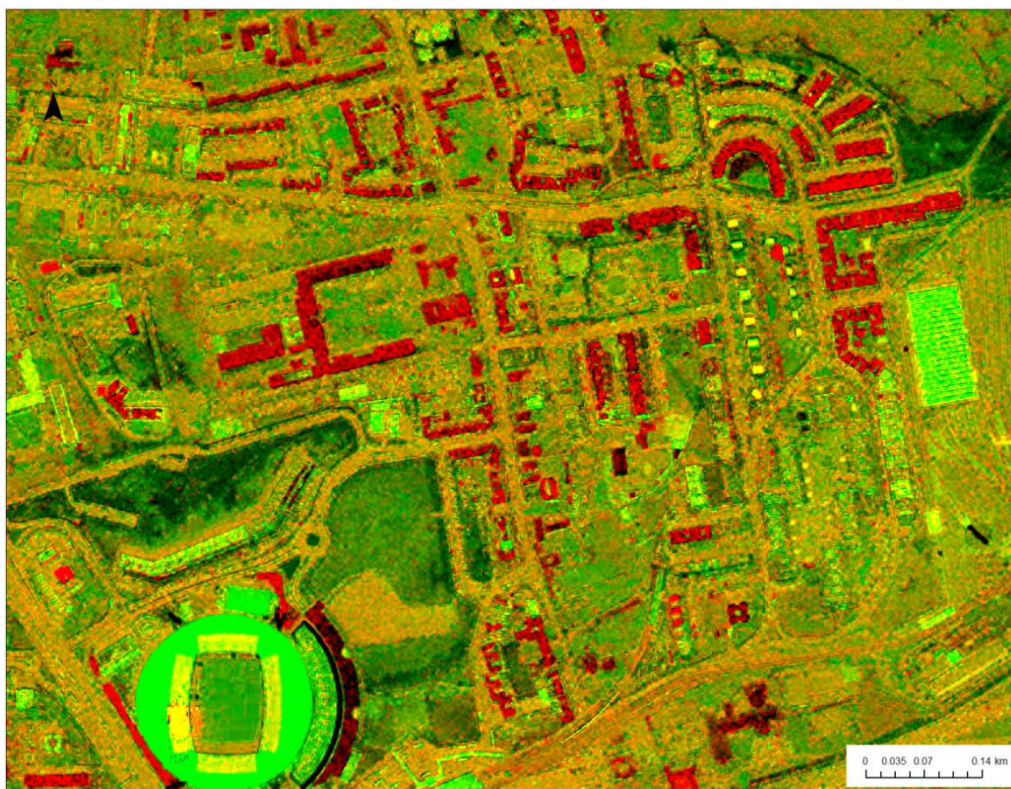


Figura 26 – Imagem RG resultante da classificação por componentes principais bandas activas: verde e vermelho

A imagem resultante da combinação entre as bandas vermelha e verde será referenciada futuramente como imagem RG.

O realce da cor vermelha na imagem RG possibilita uma rápida e fácil identificação dos telhados de alvenaria e uma maior exactidão dos limites dos mesmos (Fig. 26), permitindo perspectivar uma maior capacidade de delimitação com o menor erro possível

na criação de um futuro ficheiro de “assinaturas”, que será utilizado para realizar uma classificação supervisionada à imagem RG.

A verificação destes pressupostos é confirmada quando é sobreposto o tema edifícios à imagem RG, e se apura que os limites deste tema são correspondentes com os telhados de alvenaria bem como com os limites dos edifícios “fantasma” (Fig. 27).

Esta situação permitiu aferir que a metodologia e as técnicas aplicadas até este momento são as correctas de acordo com os objectivos que se pretendem alcançar.

O realce da cor vermelha dos edifícios permitiu, não só certificar que a metodologia estava correcta mas também repensar a estratégia de classificação da imagem resultante, isto porque no teste de classificação supervisionada foram utilizadas quatro classes de objectos que se pretendiam classificar. No entanto, com os resultados obtidos na imagem RG seria apenas necessário obter as áreas ocupadas pelos edifícios com telhados de alvenaria. Isso obrigava a que o ficheiro de assinaturas fosse feito com apenas uma classe em que todos os polígonos do tema assinaturas correspondessem à classe telhados de alvenaria.

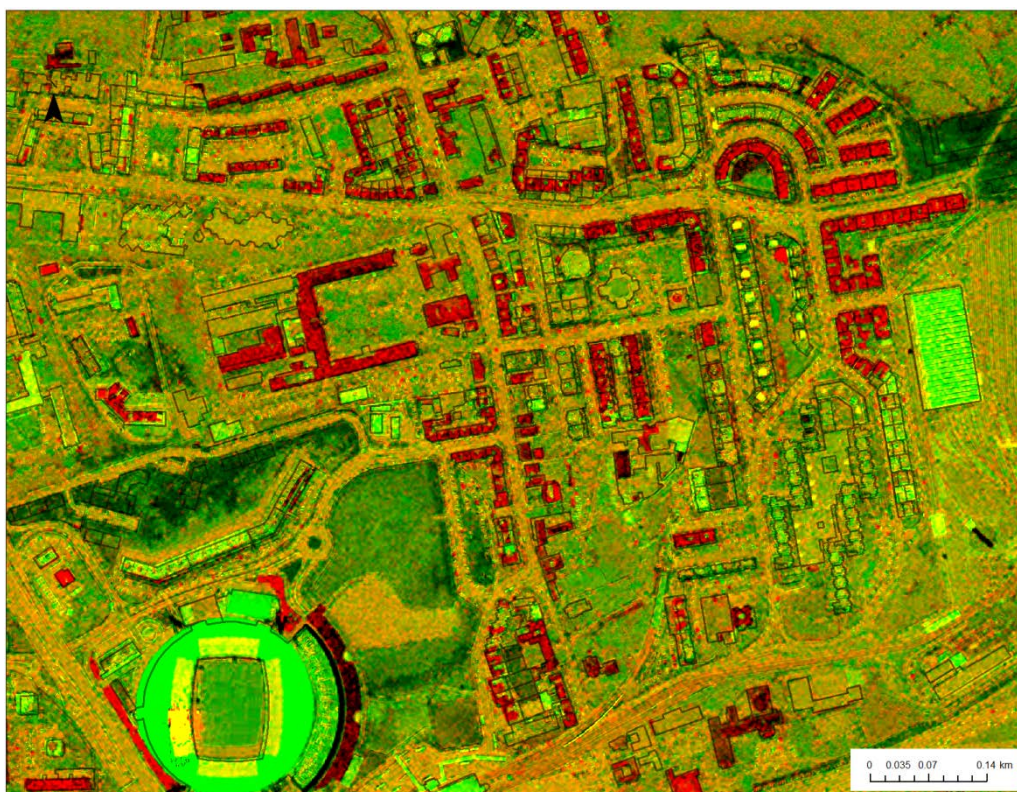


Figura 27 – Tema edifícios sobreposto à imagem RG

Realizou-se então uma nova classificação supervisionada, através dos mesmos procedimentos que anteriormente foram referidos aquando da realização do teste de classificação supervisionada. A imagem resultante desta classificação será denominada de imagem classificação supervisionada.

Apesar de apenas se ter utilizado uma única classe nas “assinaturas”, a classificação gerou duas classes: “telhados de alvenaria” e “outras áreas”.

A decisão de apenas utilizar uma classe foi tomada com o propósito de não aumentar a probabilidade de erro na classificação de outras áreas, criando assim mais erros de classificação e dificultando a obtenção dos resultados pretendidos.

Os resultados obtidos foram bastante satisfatórios, visto que se alcançou uma imagem raster apenas com duas classes, o que em suma correspondia ao objectivo desta classificação, condizendo ao que era visualizado a vermelho na imagem RG (Fig. 28). Esta situação pode ser visualizada quando se compara a sobreposição entre a imagem gerada pela classificação e a imagem RG.

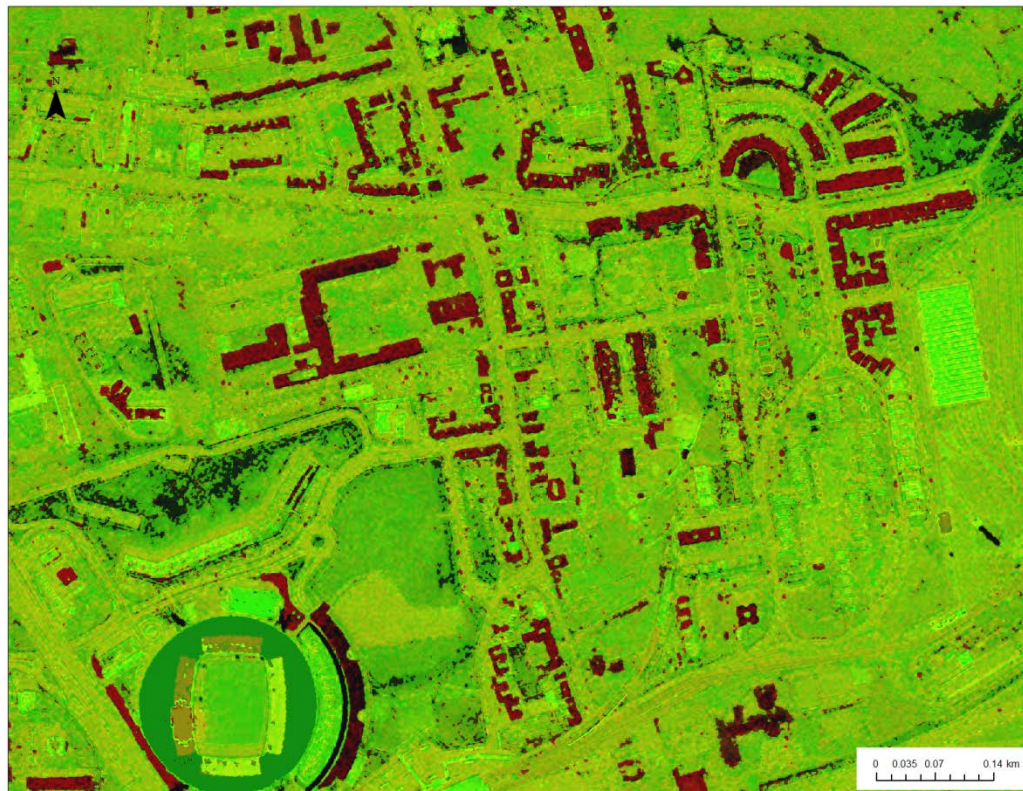


Figura 28 – Comparação entre imagem RG e a imagem classificação supervisionada

Neste ponto, tínhamos os dados da classificação supervisionada em modelo matricial, mas era necessário transformar estes dados em modelo poligonal para que fosse possível avançar com o trabalho e se pudesse comparar com o tema edifícios. Para efectuar essa transformação, foi utilizada a ferramenta “raster to polygon” que transmuta todos os pixéis (ou conjunto de pixéis) da imagem classificação supervisionada para polígonos com dois valores: um valor para a classe “telhados de alvenaria” e outro para a classe “outras áreas”.

Após esta transformação, confrontei-me com um novo problema: esta classificação mostra todas as áreas que contêm vermelho, inclusive áreas fora das áreas dos edifícios.

Apesar da classificação supervisionada ser muito precisa em relação aos locais onde existem edifícios com cobertura de alvenaria, a classificação devolveu muitas áreas que não correspondiam à área ocupada pelos edifícios (Fig. 29). Essas áreas não eram necessárias para o trabalho em questão, pois o objectivo derradeiro era classificar os edifícios e destes apurar os que tinham potencial para uma possível construção de “green roofs”.

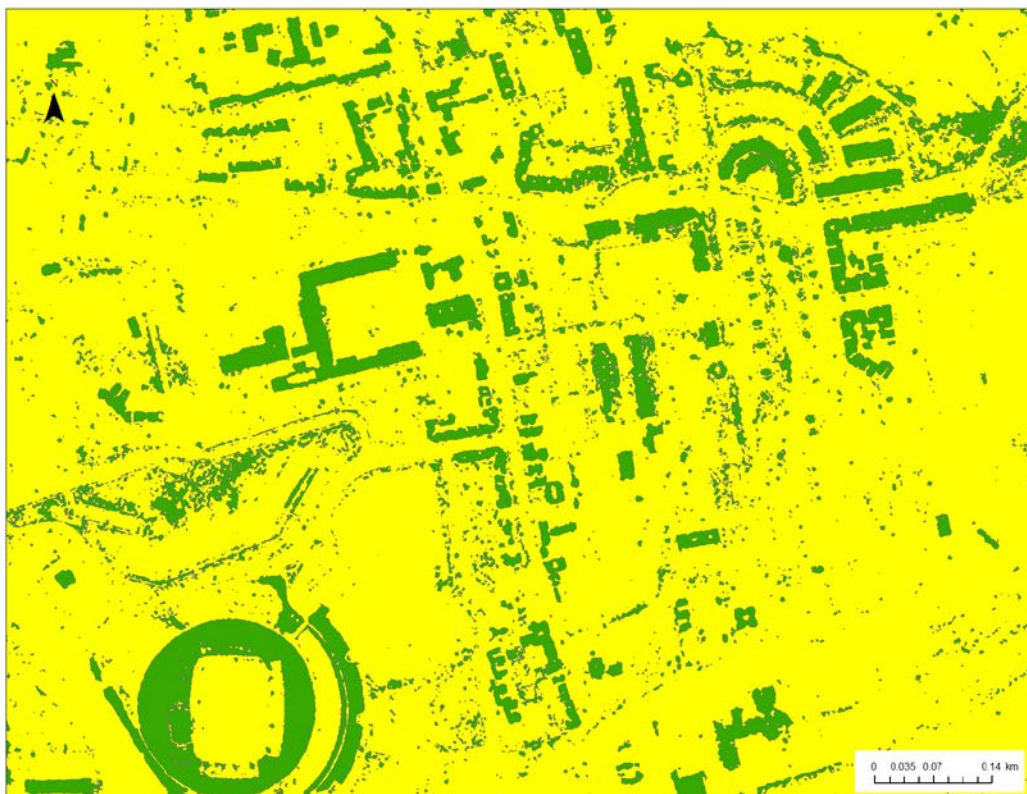


Figura 29 – Transformação imagem matricial classificação supervisionada para modelo de dados poligonais

Utilizando o tema edifícios, foi utilizada a ferramenta “clip” que serviu para cortar estes polígonos pelas áreas correspondentes ao tema edifícios; foi assim criado o tema classificação.

Neste momento do trabalho, já tinha sido possível extrair a informação da imagem QuickBird-2 que iria permitir a execução do trabalho e a obtenção de resultados. Porém, esta informação estava contida num ficheiro de dados no modelo poligonal que englobava as classes resultantes da classificação supervisionada.

Esta situação apresentava agora novos desafios. Por um lado, a coexistência dessa informação num único tema, por outro, a necessidade de fazer uma selecção dos edifícios que tinham telhados sem cobertura de alvenaria. Como se pode verificar na figura 30, no tema classificação, os polígonos têm apenas os limites entre classes, não mostrando a separação edifício a edifício como existe no tema edifícios (Fig. 31).

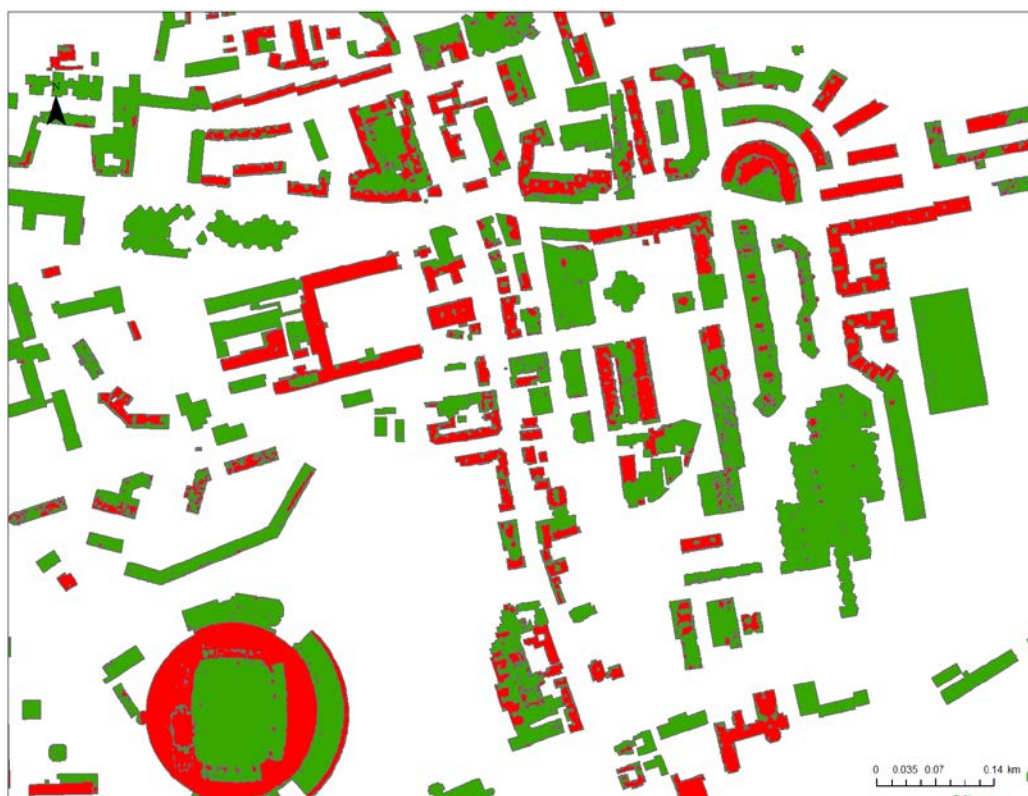


Figura 30 – “Clip” da área classificada através dos edifícios

Isto constituía mais uma dificuldade, pois não era possível seleccionar os edifícios com telhados de alvenaria, podendo assim, em contrapartida extrair os edifícios que

tivessem outro tipo de cobertura, nem seria possível verificar a quantidade de edifícios potenciais “green roofs” na cidade de Lisboa.

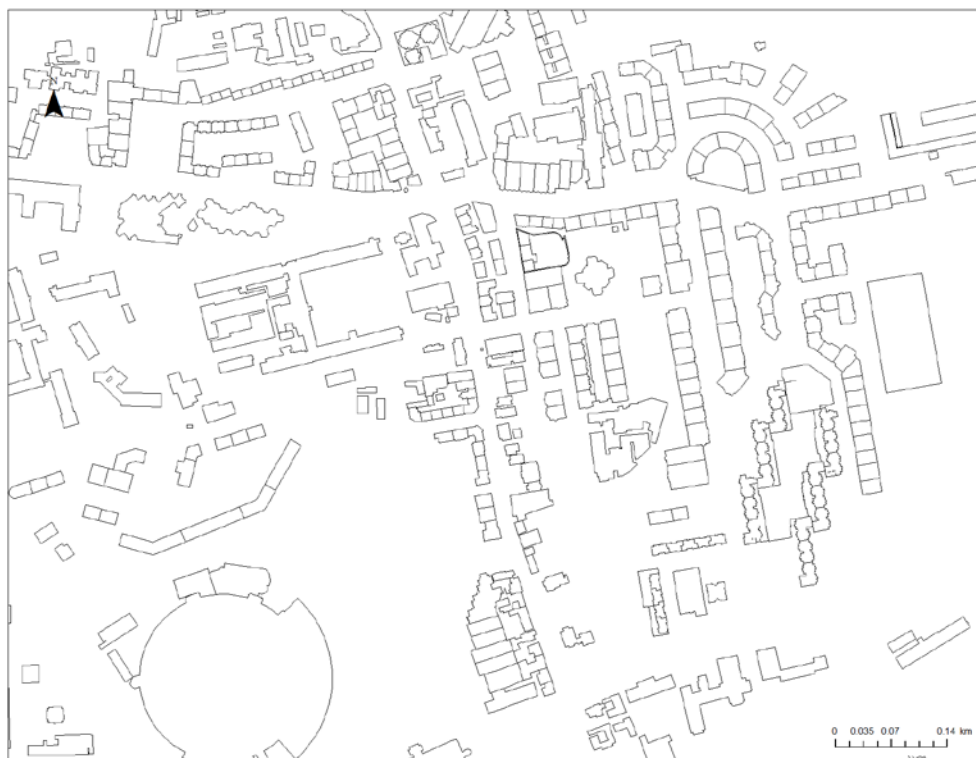


Figura 31 – Tema edifícios

A solução deste problema passava então por conseguir atribuir ao tema classificação a divisão que existia no tema edifícios. Essa separação iria permitir o avanço do trabalho e alcançar o seu segundo objectivo específico.

A forma mais eficaz de realizar a separação de informação seria utilizar a tabela de atributos⁷. Através da informação nela contida foi possível extrair para um novo tema todos os polígonos que tivessem a informação relativa à classe “telhados de alvenaria” e para outro todos os polígonos referentes à classe “outras áreas”. Estes novos temas passam a ser referenciados como tema “telhados de alvenaria” e tema “outras áreas” (Figs. 32 e 33).

⁷ Tabela anexa a cada um dos ficheiros de dados em modelo pontual, linear e poligonal que contém, não só um campo com chave primária, em que cada valor é único, mas também todos os valores definidos pelo operador, como: nome, área, valor de altimetria ou qualquer outro valor pretendido.

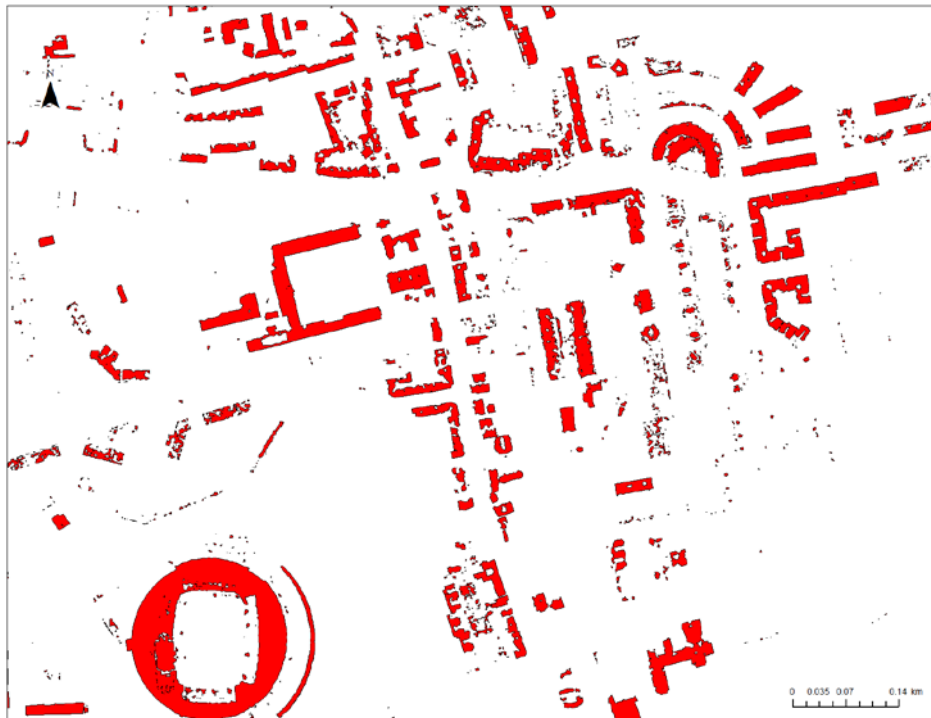


Figura 32 – Tema telhados de alvenaria

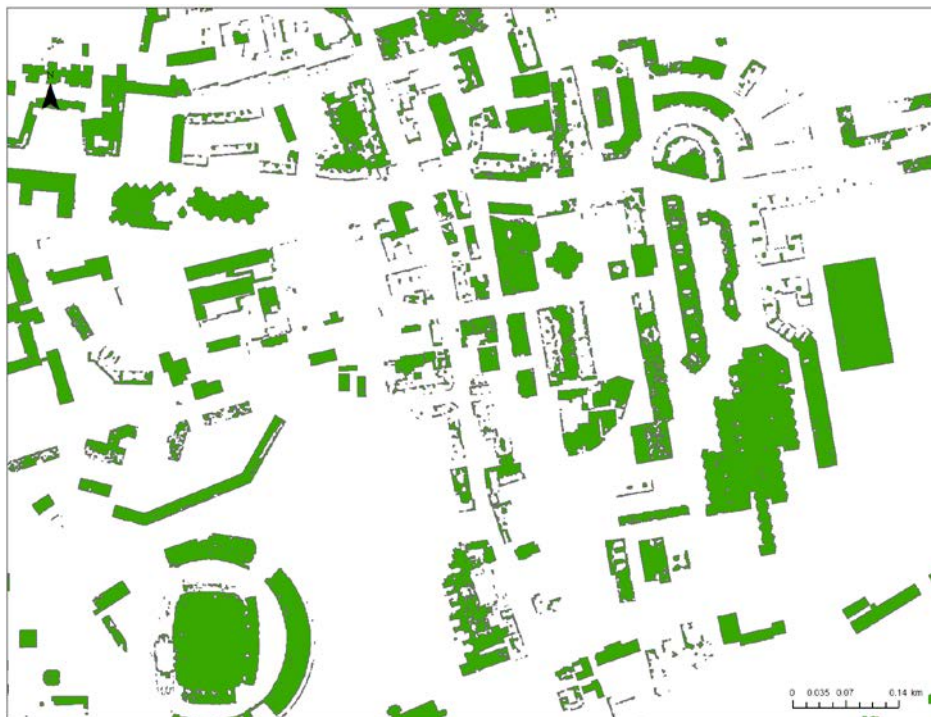


Figura 33 – Tema outras áreas

Porém, ainda persistia o problema da separação destes polígonos com a mesma divisão que existia no tema edifícios, para que fosse possível realizar uma comparação polígono a polígono e seleccionar o que realmente correspondia aos telhados sem cobertura de alvenaria.

Para resolver esta situação, recorri à ferramenta “erase” utilizando os temas edifícios e outras áreas para realizar uma subtracção dos polígonos contidos no tema outras áreas aos polígonos do tema edifícios. Isto iria permitir obter um tema com a divisão dos polígonos patente no tema edifícios e em que o resultado seria o correspondente às áreas cobertas por alvenaria.

Como a obtenção dos edifícios com telhados de alvenaria já tinha sido delineada no modelo metodológico (Fig. 10), foi seguida esta opção.

Contudo, neste ponto era indiferente qual o tema utilizado para realizar a subtracção, visto que o resultado seria sempre correspondente à outra área, ou seja, se subtraísse o tema telhados alvenaria teria as áreas correspondentes às outras áreas; se fosse realizada a subtracção com o tema outras áreas teria as áreas relativas ao tema telhados de alvenaria. No entanto como já tinha delineado no modelo metodológico (Fig. 10) a obtenção dos edifícios com telhados de alvenaria, foi seguida esta opção.

Ao tema resultante da aplicação da ferramenta “erase” chamei tema edifícios alvenaria (Fig. 34).

Nesta etapa, poderia pensar-se que bastaria realizar esta operação para obter directamente os edifícios que eram telhados de alvenaria e os que não o eram.

Todavia, nesta fase do trabalho existia o acumular de algumas dificuldades residuais que poderiam criar problemas na obtenção final dos edifícios com telhados planos e com telhados de alvenaria. Esses problemas prendiam-se com o facto da correcção geométrica poder fazer corresponder a imagem QuickBird-2 à realidade do terreno. Simultaneamente com a continuidade dos edifícios, isso fez com que fosse subtraída área de alvenaria a telhados que correspondiam a telhados planos.

O programa ArcGis permite realizar selecções através dos atributos de cada tema e se fosse realizada neste momento uma selecção de todos os edifícios que tivessem área classificada como telhados de alvenaria, teríamos um enorme erro na classificação dos edifícios, pois iríamos obter edifícios que têm realmente uma cobertura que não é de alvenaria classificados como se de um telhado de alvenaria se tratasse (Fig.35).

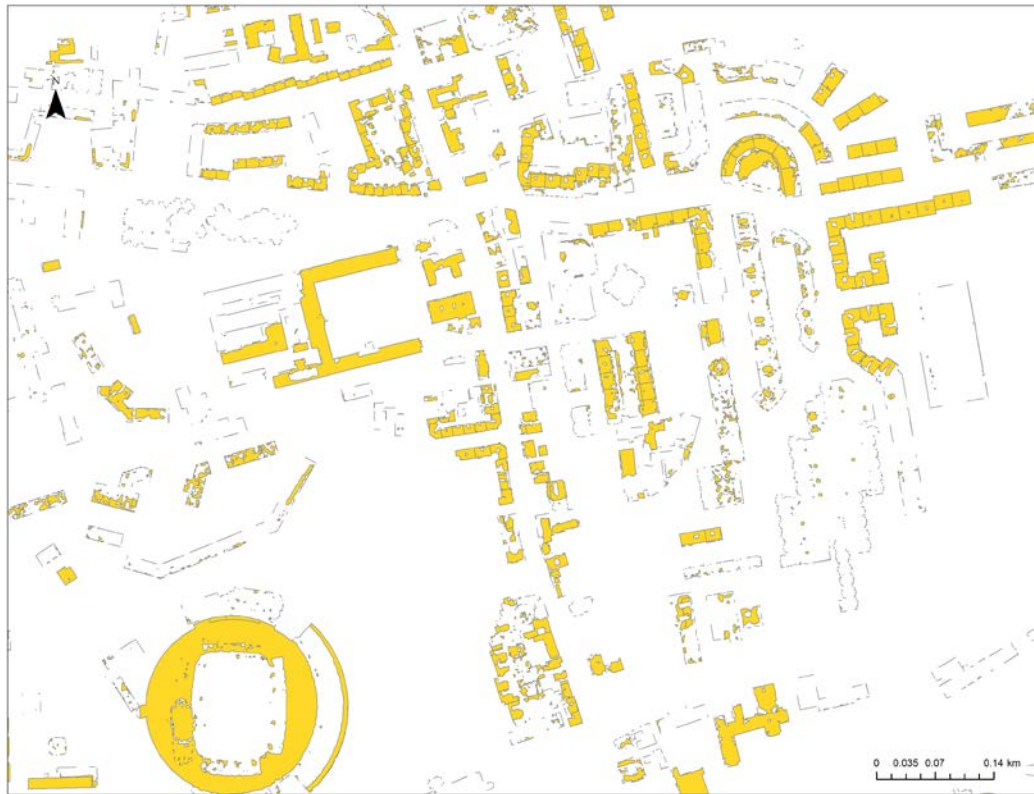


Figura 34 – Tema edifícios alvenaria

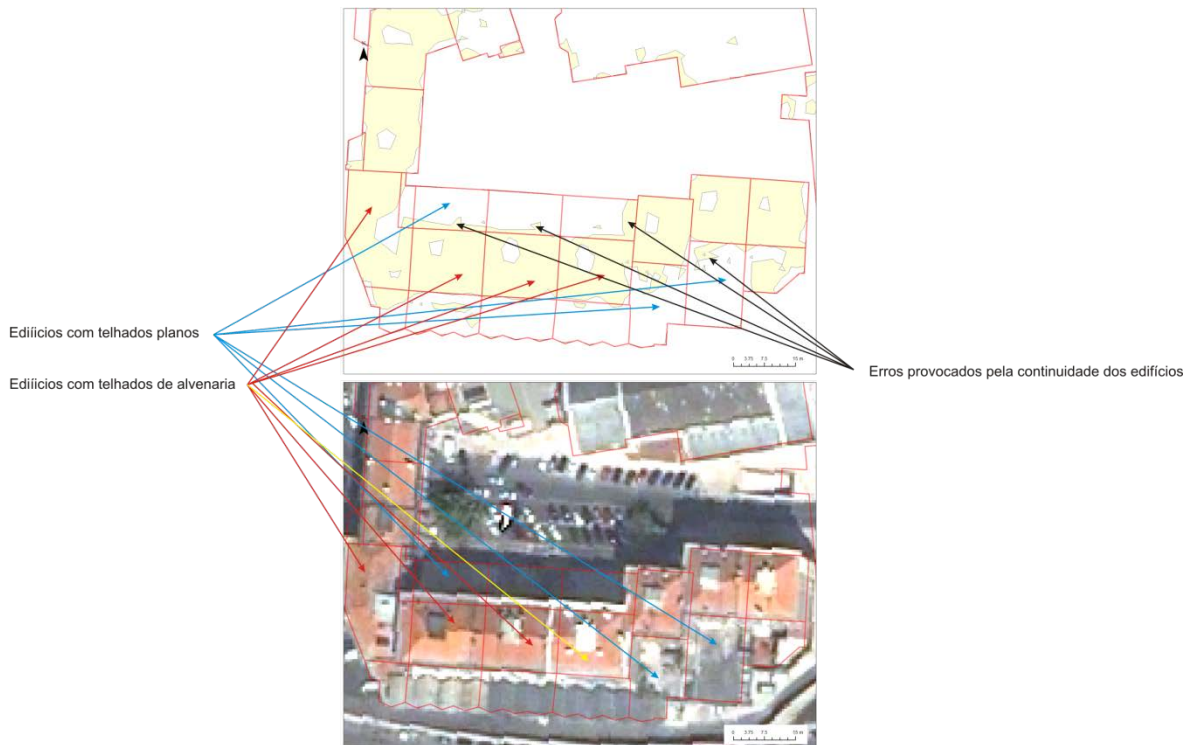


Figura 35 – Erros provocados pela continuidade de edifícios

Os programas com a capacidade de utilização e manipulação de temas cartográficos, como é o caso do ArcGis, apresentam funcionalidades de uma base de dados e fornecem a possibilidade de poder manipular os dados contidos nas tabelas de atributos como numa base de dados normal. Desta forma, é possível realizar junções ou adições de tabelas de uns temas para os outros ou de tabelas externas, criando relações através de um determinado campo.

Como já tinha sido referido, a tabela de atributos contém a informação referente a cada um dos objectos contidos nesse tema, e é possível, não só visualizar ou manipular essa informação mas também adicionar informação externa, existente em tabelas externas e independentes, como por exemplo, a informação contida numa folha de cálculo ou de uma tabela de atributos de outro tema. Para isso, é requisito que exista uma coluna dessa tabela que tenha o mesmo tipo de dados.

Nesta fase do trabalho, a informação no modelo de dados poligonais referente à área ocupada por cobertura de alvenaria já tinha sido obtida, mas continuava a existir o problema de áreas de alvenaria em edifícios com telhados planos.

Retirar essas áreas dos edifícios que correspondiam a telhados planos só poderia ser realizado se fosse visualizado e editado polígono a polígono, tornando-se um trabalho hercúleo, e provavelmente impossível de executar no tempo estipulado para a realização deste trabalho. Além disso, teria um rumo contrário ao que pretendia, que era chegar de forma automática ou semiautomática e com resultados de elevada confiança e através de várias análises à selecção dos edifícios que tinham uma cobertura plana.

Seria ainda necessário efectuar os cálculos das áreas dos temas edifícios alvenaria e edifícios, para que pudesse estabelecer uma relação entre os edifícios que realmente eram edifícios com a cobertura de alvenaria e sem esse tipo de cobertura.

Às tabelas de atributos foi adicionada uma coluna com o nome de área, na qual foi calculada a área correspondente a cada um dos polígonos em m^2 de cada tema através da ferramenta “field calculator”, que permite executar essa tarefa automaticamente.

Numa base de dados normal, geralmente são criadas relações de dados que na sua maioria envolvem a existência de uma chave primária em que os dados são únicos para cada linha da tabela.

Neste caso concreto, tal não seria necessário pois apesar de cada tema ter uma coluna que corresponde à chave primária desse tema existia um outro código que

apresentava maior confiança de utilização e que correspondia a um código interno da CML, que na tabela de atributos do tema edifícios tinha como nome COD_SIG. Esta coluna era comum nos dois temas cartográficos (edifícios e edifícios alvenaria), visto que o tema edifícios corresponde à informação base fornecida pela CML e o tema edifícios alvenaria corresponde a essa mesma informação à qual tinham sido subtraídas as áreas do tema outras áreas.

Além disso, como o ficheiro tinha sido manipulado existia o risco dos valores da coluna correspondente à chave primária não corresponderem exactamente aos valores da chave primária do tema edifícios. A ideia pré concebida para resolver esta situação referente à existência de áreas de alvenaria onde não era suposto estas existirem, passa pela comparação das áreas originais e das áreas do tema edifícios alvenaria, em que a diferença determinará se o edifício em questão é ou não um edifício de alvenaria (Fig. 36).

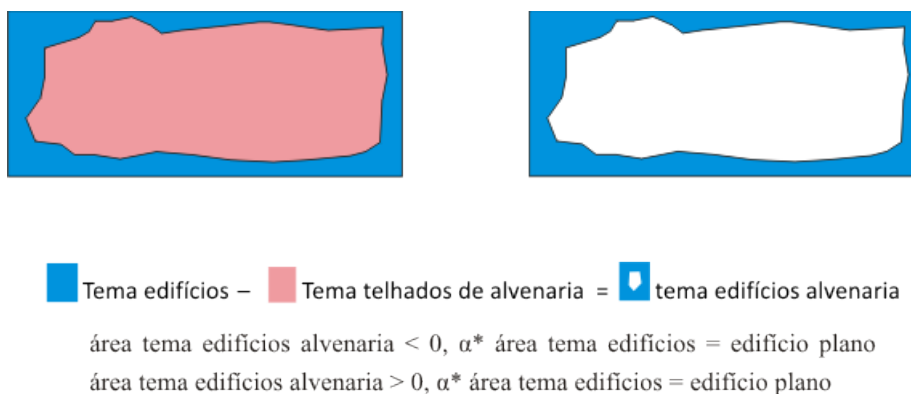


Figura 36 – Esquema de definição de edifícios planos e de alvenaria

A operação de junção foi realizada através da ferramenta “join table”, que permitiu a fusão dos dados da tabela de atributos do tema edifícios alvenaria com a tabela de atributos do tema edifícios; estas foram agregadas através do campo COD_SIG (Fig. 37).

Apesar do tema edifícios ter neste ponto do trabalho uma tabela de atributos com a agregação dos dados do tema edifícios alvenaria, esta junção não era definitiva. Por esse motivo, realizei uma exportação deste tema para outro tema, que designei edifícios final e no qual constava a mesma informação que no tema edifícios, mas em que a tabela tinha, de forma definitiva, a junção anteriormente realizada. No entanto, para que a fórmula matemática utilizada posteriormente fique esclarecida, existe a necessidade de ressaltar que os dados agregados na tabela de atributos do tema edifícios final continham as

seguintes colunas: FID, que equivale à chave primária do tema edifícios; Shape, referente ao modelo de dados constante neste tema; COD_SIG, relativo ao código interno da CML; e “area”, respeitante à área dos polígonos desse tema. Após estas colunas surgem as colunas dos dados agregados, que têm exactamente os mesmos nomes, com excepção da coluna Shape, que como é alusiva ao modelo de dados não é repetida. Aos nomes destas novas colunas foi acrescentado automaticamente o número 1, para diferenciar entre os dados originais do tema e os dados agregados.

FID	Shape	COD_SIG	Area	FID 1	COD_SIG 1	Area 1
0	Polygon	0100307001001	67.303713	0	0100307001001	67.303713
1	Polygon	0100307006001	84.598813	1	0100307006001	84.598813
2	Polygon	0100307019001	71.983544	2	0100307019001	71.983544
3	Polygon	0100307027001	78.742655	3	0100307027001	78.742655
4	Polygon	0100307031001	52.602577	4	0100307031001	52.602577
5	Polygon	0100307035001	31.423292	5	0100307035001	31.423292
6	Polygon	0100307036001	54.899954	6	0100307036001	54.899954
7	Polygon	0100307037001	25.444583	7	0100307037001	25.444583
8	Polygon	0100307043001	41.35645	8	0100307043001	41.35645
9	Polygon	0100318004001	1328.961804	9	0100318004001	1328.961804
10	Polygon	0100604001001	152.912023	10	0100604001001	152.912023
11	Polygon	0100604002001	132.172649	11	0100604002001	132.172649
12	Polygon	0100604003001	153.914825	12	0100604003001	153.914825
13	Polygon	0100604004001	154.830472	13	0100604004001	154.830472
14	Polygon	0100604005001	153.3911	14	0100604005001	153.3911
15	Polygon	0100604006001	154.684568	15	0100604006001	154.684568
16	Polygon	0100604007001	154.884439	16	0100604007001	154.884439
17	Polygon	0100604008001	152.541146	17	0100604008001	152.541146
18	Polygon	0100604009001	153.748369	18	0100604009001	153.748369
19	Polygon	0100604010001	154.111374	19	0100604010001	154.111374
20	Polygon	0100604011001	152.841386	20	0100604011001	152.841386
21	Polygon	0100604012001	142.094413	21	0100604012001	142.094413
22	Polygon	0100604013001	136.290117	22	0100604013001	136.290117
23	Polygon	0100604014001	129.793977	23	0100604014001	129.793977
24	Polygon	0100604015001	127.418719	24	0100604015001	127.418719
25	Polygon	0100604016001	132.145027	25	0100604016001	132.145027
26	Polygon	0100604017001	134.227623	26	0100604017001	134.227623
27	Polygon	0100604021001	676.828631	27	0100604021001	676.828631
28	Polygon	0100605001001	181.722876	28	0100605001001	181.722876
29	Polygon	0100605002001	291.056875	29	0100605002001	291.056875

Figura 37 – Tabela de atributos do tema edifícios conjugação da tabela do tema edifícios alvenaria

A coexistência no mesmo tema da informação dos temas referidos anteriormente permitiu a utilização da expressão matemática “edifícios final (area1 =< 0, x.area)”, através da ferramenta “select by attributes”, em que o campo “area1” corresponde à área dos dados poligonais do tema edifícios alvenaria e o campo “area” corresponde à área dos dados poligonais do tema edifícios. A substituição do valor de x na equação entre 1 e 9 facultou a selecção dos edifícios em que a área do tema edifícios alvenaria fosse igual ou inferior a 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 ou 90% à área original dos polígonos do tema edifícios.

Através da aplicação desta fórmula matemática, que se resumia na selecção de edifícios com a relação de áreas anteriormente expressa, foi possível seleccionar os edifícios que tinham áreas inferiores em 10%, 20% e assim sucessivamente. Foi também

possível chegar a áreas totais por classes de percentagem e ao número de polígonos seleccionados para cada uma das percentagens, como é demonstrado no quadro VI.

Quadro VI – Distribuição de áreas e n.º de edifícios por percentagem

	Total m²	N.º Edifícios
Áreas 10 %	13.694.347,79	35.356
Áreas 20 %	13.694.347,79	35.356
Áreas 30 %	10.509.895,78	20.412
Áreas 40 %	9.475.022,39	16.689
Áreas 50 %	8.671.907,97	14.223
Áreas 60 %	7.792.405,78	12.374
Áreas 70 %	7.235.523,11	11.064
Áreas 80 %	6.550.104,42	9.735
Áreas 90 %	5.225.656,54	8.039

A conclusão imediata a que se chega quando se realiza uma análise visual dos edifícios seleccionados é que os polígonos correspondentes à classe 10% (Fig. 38), faziam uma total correspondência com a maioria dos edifícios, pois os edifícios de cobertura plana que tinham pequenas áreas classificadas como alvenaria eram aqui seleccionados como os edifícios com total cobertura de alvenaria.

Por outro lado, a imagem gerada com área igual ou inferior a 90% (Fig. 39) correspondia quase na totalidade a edifícios com telhados planos que não sofriam com o erro de classificação.

Como referido previamente, os problemas associados à impossibilidade de uma melhoria na correcção geométrica e a contiguidade dos telhados planos e dos telhados de alvenaria traduzem-se numa incorrecção de classificação. Nesta fase do trabalho, iria reflectir e representar um altíssimo erro de selecção de um elevado número de edifícios com telhados de alvenaria nesta classe extrema de 10%, e por outro lado, num reduzido número de telhados planos seleccionados no outro extremo, ou seja, na classe de 90%.

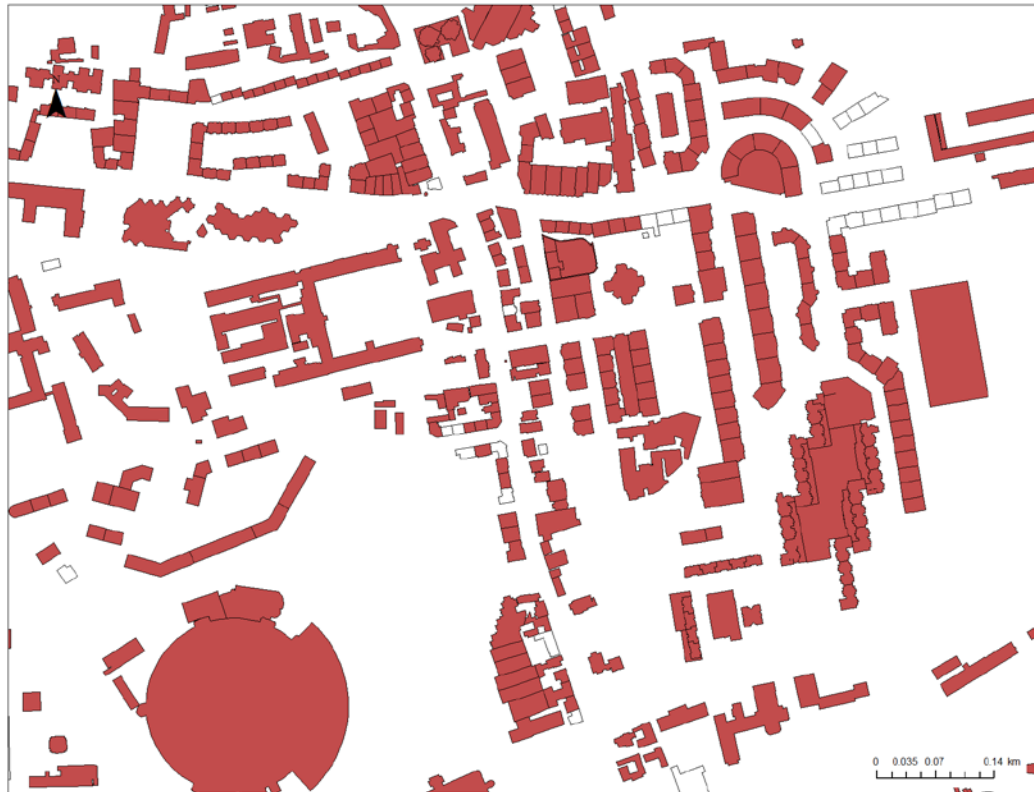


Figura 38 – Seleção de edifícios da classe de percentagem 10%



Figura 39 – Seleção de edifícios com área classificada inferior em 90%

Por isso, era fundamental encontrar a classe percentual que oferecesse uma maior confiança na selecção de edifícios com as características pretendidas. Essa tarefa foi cumprida com recurso à imagem matricial QuickBird-2 e com a sobreposição de cada uma das classes percentuais produzidas através da aplicação da fórmula matemática.

Tal como em outros processos, este trabalho de verificação e validação visual foi aplicado na imagem amostra e em outras áreas da imagem QuickBird-2 (Fig. 40).

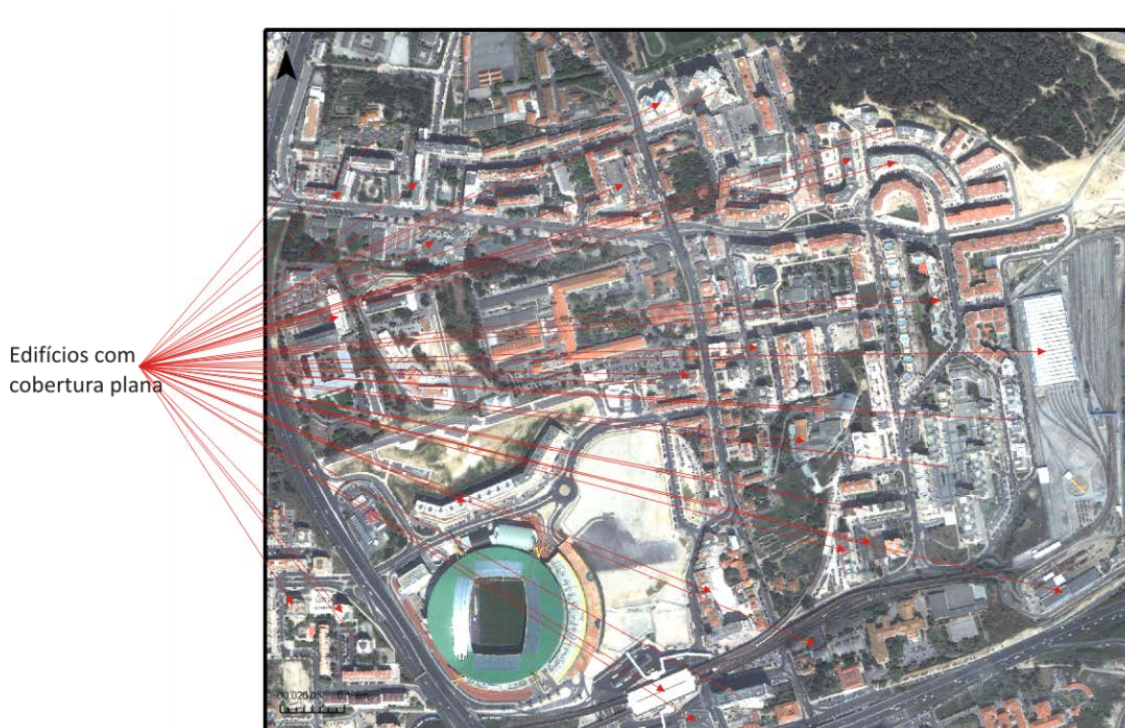


Figura 40 – Identificação visual dos edifícios com cobertura plana

Verificou-se então que a classe mais correcta para utilizar era a de 60%, pois oferecia uma enorme confiança na obtenção dos edifícios com coberturas planas, como se pode confirmar na figura 40, em que estão assinalados os edifícios que visualmente correspondiam aos telhados planos da imagem amostra. Na figura 41, a classe de 60% está sobreposta à imagem QuickBird-2, e na qual se pode observar que a quase totalidade dos edifícios com cobertura plana estavam seleccionados; além disso, não eram seleccionados telhados com cobertura de alvenaria.

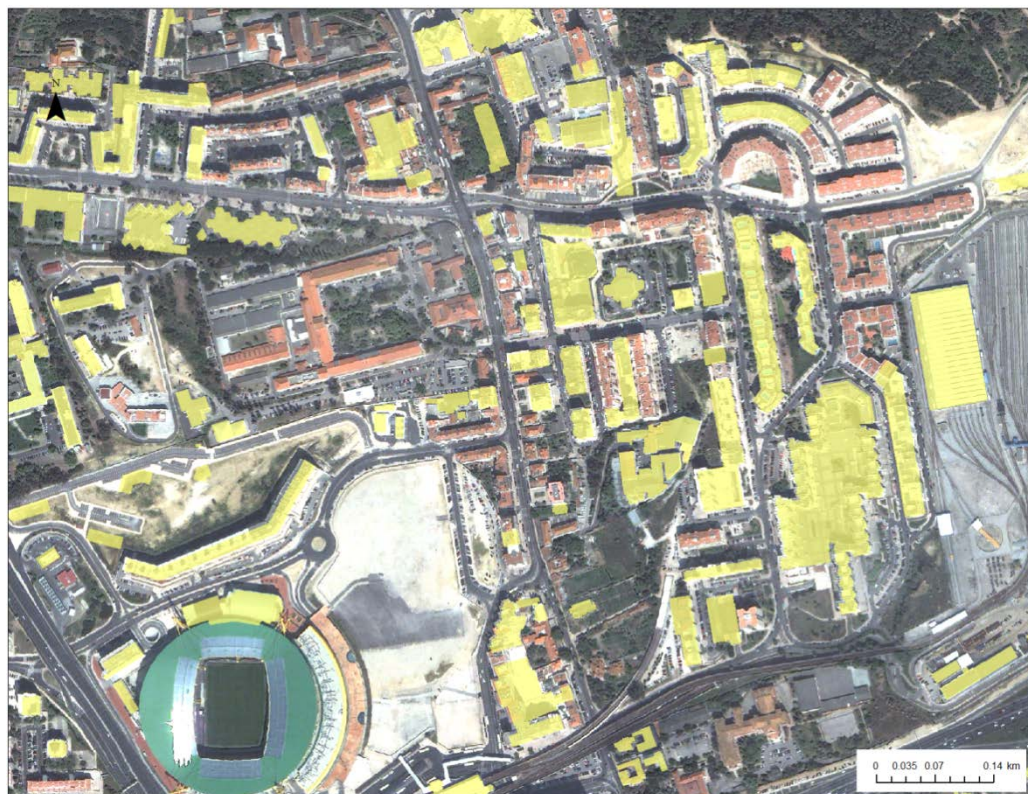


Figura 41 – Sobreposição da classe 60% à Imagem QuickBird-2

Também é possível analisar esta situação quando a classe 60% foi sobreposta à imagem RG (Fig. 42).

Porém, existiam erros na selecção de edifícios que foram prontamente identificados, como por exemplo o edifício referente às instalações do Hospital Pulido Valente. Este problema relaciona-se com a existência de diferentes fases de construção dos edifícios, em que não foram utilizados os mesmos tipos de cobertura. No exemplo indicado, o Hospital Pulido Valente apresenta edifícios na mesma unidade hospitalar com cobertura de alvenaria e edifícios com cobertura plana.

Por outro lado, o polígono do tema edifícios que representa esta unidade hospitalar é único, não existindo a separação dos vários edifícios que constituem esta unidade.

Esta situação gera um erro de selecção, pois uma grande área do edifício poderia ser classificada como área potencial para a construção dos “green roofs”, sendo no entanto descartada pela selecção automática.



Figura 42 – Sobreposição da classe 60% à Imagem RG

Desta forma, temos uma área classificada como telhado de alvenaria (sensivelmente 60% do edifício, equivalente a uma área de 10.830m^2), mas também uma área de telhados com área plana (cerca de 8.600m^2), que passa assim a não ser contabilizada nas áreas finais do trabalho (Fig. 43).

A selecção final dos edifícios apenas poderia ser aferida de três formas: verificação visual de todos os edifícios seleccionados através da classe 60%, verificação no terreno, com um levantamento exaustivo dos edifícios e tipos de cobertura, e por último, estabelecendo uma relação entre esta selecção e os dados do registo predial.

No entanto, nenhuma delas é passível de realização durante o período do estágio profissional. As duas primeiras formas de verificação seriam tarefas que levariam imensos meses ou até anos a executar, e a última também não é possível cumprir, pois só desde 2004 é que os novos edifícios ficaram obrigados a identificarem no registo predial o tipo de coberturas que os edifícios têm (DL n.º 68/2004, de 25 de Março).

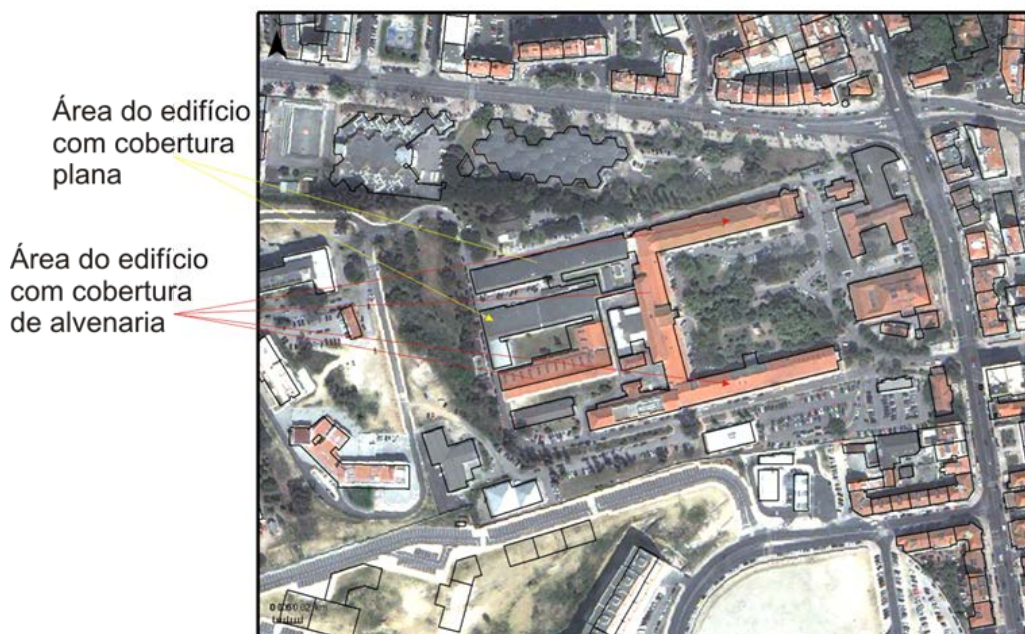


Figura 43 – Erro de selecção da classe 60%: caso do hospital Pulido Valente

Neste ponto do trabalho praticamente já estavam realizados os procedimentos que permitiriam a conclusão de quase todos os objectivos. Faltavam apenas criar os dados que permitissem concluir o último objectivo específico definido.

Havia a necessidade de obter uma forma de relacionar os edifícios seleccionados através da classe 60% com a distribuição espacial na cidade de Lisboa, podendo assim relacionar essa distribuição com o tema espaços verdes da Cidade.

Para o cumprimento deste último objectivo específico, foram transformados pontos todos os polígonos correspondentes à classe 60%, sendo que cada ponto representa o correspondente polígono mas está localizado na área mais central desse mesmo polígono. Para esta operação, recorri à ferramenta “feature to point”. De seguida, foi construída a rede de polígonos Thiessen através da ferramenta denominada “create Thiessen Polygons” (Fig. 44).

A construção desta rede de polígonos permite observar as áreas com maior densidade de edifícios seleccionados pela classe 60%, que apresenta uma distribuição mais ou menos homogénea por toda a área do município, excepto na área ocupada pelo parque de Monsanto e pelo aeroporto de Lisboa (Fig. 44).

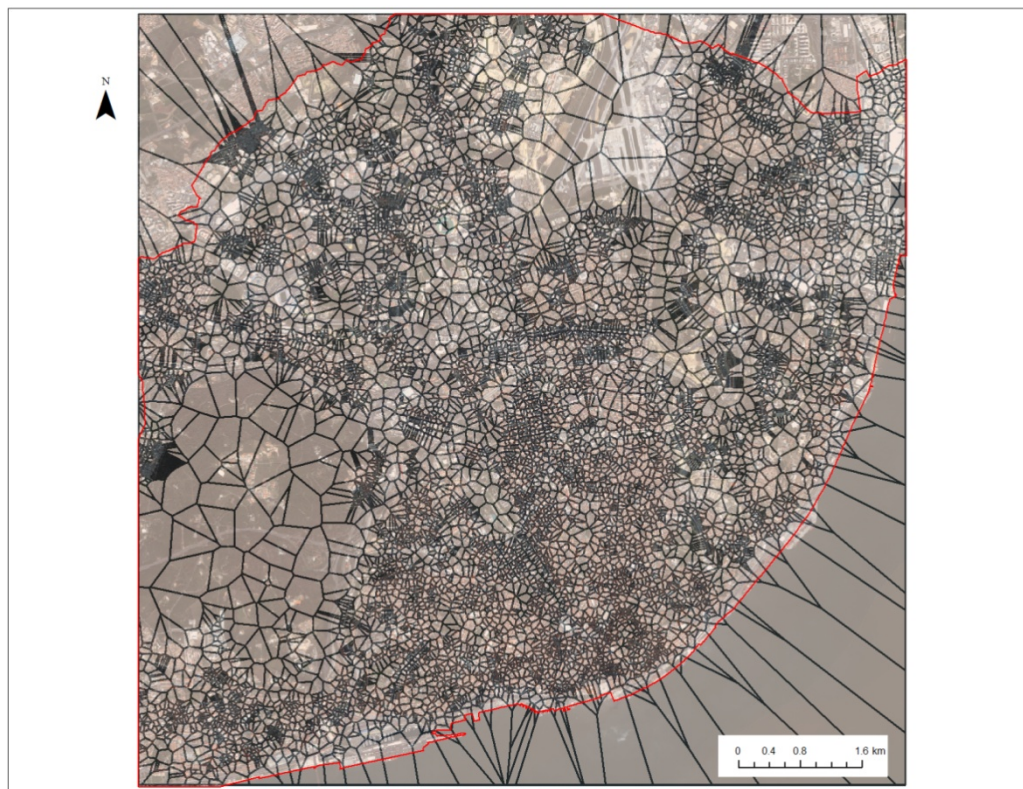


Figura 44 – Sobreposição da rede de polígonos Thiessen sobre imagem QuickBird-2: traço a vermelho representa limite do concelho

Esta distribuição mais ou menos homogénea anteriormente referida pode também ser verificada através do tema gerado a partir da ferramenta “point density”, que cria um tema matricial em que o valor atribuído ao pixel é resultante da densidade por unidade de área respeitante à área ocupada pelo pixel (Fig. 45).

Esta imagem confirma uma distribuição mais ou menos homogénea na cidade de Lisboa, onde as áreas a negro representam uma menor densidade enquanto que as áreas mais claras representam densidades mais elevadas. Nesta imagem, verificam-se assim as áreas com muito baixa densidade (representadas a negro), caso da área de Monsanto e do aeroporto de Lisboa, e áreas a branco, localizadas na área norte e oeste da imagem, que caracterizam uma muito elevada densidade e que estão todas relacionadas com o elevadíssimo índice de construção que se pode analisar através da imagem de satélite QuickBird-2.

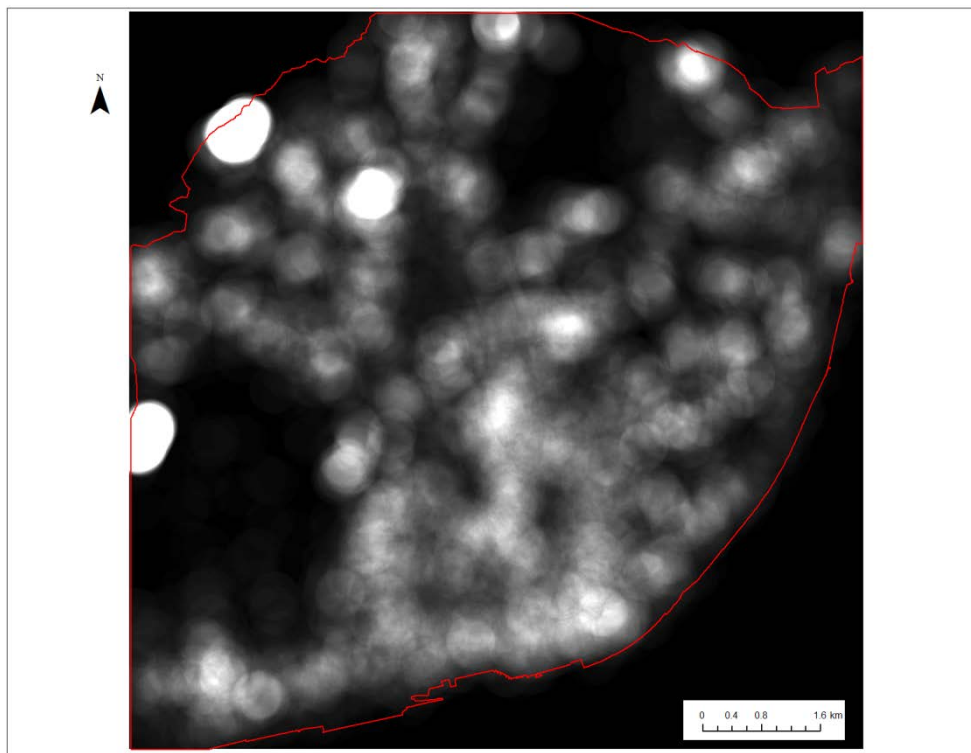


Figura 45 – Densidade de edifícios da classe 60%

Por outro lado, era também necessário efectivar uma sobreposição dos polígonos de Thiessen criados a partir dos centróides dos edifícios com o tema áreas verdes, para poder correlacionar as áreas verdes da cidade de Lisboa com a densidade dos edifícios com potencial para serem construídos os “green roofs”, de modo a finalizar o terceiro e último objectivo específico deste trabalho.

Esta sobreposição (Fig. 46) mostra-nos a distribuição espacial das áreas verdes do município e a distribuição dos polígonos de Thiessen em que existe uma clara relação entre as áreas verdes e os locais com menor densidade, à excepção da de menor densidade, que corresponde à área do aeroporto, podendo-se ainda apurar que a área onde se localiza o parque de Monsanto é, naturalmente, uma área com menor densidade.

Além disso, verifica-se também que as áreas com menor quantidade de áreas verdes na cidade de Lisboa se encontram fundamentalmente na área central da cidade e na área ribeirinha. Podemos ainda observar, através da sobreposição das áreas verdes assinaladas pela CML com a classificação de edifícios potencialmente passíveis de serem utilizados como “green roofs” na cidade de Lisboa, que as áreas que mais iriam beneficiar com o aumento de áreas verdes seriam as áreas central e ribeirinha (Fig. 47).



Figura 46 – Sobreposição dos polígonos de Thiessen com áreas verdes



Figura 47 – Sobreposição dos polígonos de Thiessen, áreas verdes, e potenciais edifícios "green roofs"

CAPITULO IV: RESULTADOS

Este trabalho realizado permitiu a identificação de edifícios com os dois tipos de cobertura mais frequentes na cidade de Lisboa (alvenaria e plana), através da aplicação das metodologias e técnicas aqui apresentadas.

Além disso, o trabalho efectuado gerou também vários resultados, que permitem afirmar que a cidade tem uma elevada capacidade potencial para a construção de “green roofs”.

As áreas totais dos edifícios com esse potencial, calculadas pelos métodos e técnicas aqui descritas, são de 7.792.405m², para um total de 12 576 edifícios. As áreas da cidade de Lisboa em que se podem verificar as maiores áreas de possíveis “green roofs” encontram-se nas freguesias de Santa Maria dos Olivais, com um valor aproximado de 1.356.000m² (1092 edifícios), Lumiar, Marvila e Carnide, respectivamente com áreas de 760.233m² (1046 edifícios), 701.307m² (847 edifícios) e 602.619m² (1151 edifícios), como mostrado no quadro VII.

Quadro VII – Distribuição de áreas com potencial para "green roofs" e nº de edifícios por freguesia

Freguesia	Área potencial "green roof" m ²	Nº de edifícios	Freguesia	Área potencial "green roof" m ²	Nº de edifícios
SÃO FRANCISCO XAVIER	3.838	15	LAPA	85.350	169
SÃO MIGUEL	4.098	32	SANTº CONDESTÁVEL	87.194	262
SANTIAGO	4.225	18	SÃO JOÃO	88.995	236
CASTELO	4.724	29	ALTO DO PINA	96.022	132
SANTO ESTEVÃO	5.877	32	SÃO PAULO	99.076	125
S. CRISTOVÃO e S. LOURENÇO	5.989	30	AMEIXOIRA	105.724	190
SÉ	6.543	28	CORAÇÃO DE JESUS	107.954	195
SOCORRO	8.334	56	PRAZERES	117.519	186
MERCES	10.600	52	ALVALADE	132.630	187
SACRAMENTO	12.242	26	AJUDA	142.834	306
MADALENA	12.796	31	CHARNECA	161.732	204
SANTA CATARINA	18.543	64	S. SEBASTIÃO DA PEDREIRA	162.783	235
ENCARNAÇÃO	20.745	63	BEATO	170.061	263
MARTIRES	22.539	32	SÃO JOÃO DE DEUS	175.485	135
GRAÇA	27.264	76	SÃO JORGE DE ARROIOS	188.570	268
PENA	28.721	61	CAMPOLIDE	203.611	458
SÃO NICOLAU	28.848	70	SÃO JOÃO DE BRITO	239.441	384
SÃO VICENTE DE FORA	36.568	73	N. SENHORA DE FÁTIMA	328.604	461
SANTA ENGRÁCIA	38.063	80	ALCÂNTARA	377.740	389
SÃO JOSÉ	40.967	92	CAMPO GRANDE	384.543	279
SANTA MARIA DE BELÉM	42.667	86	BENFICA	414.972	999
ANJOS	45.035	138	S.DOMINGOS DE BENFICA	502.658	661

PENHA DE FRANCA	51.310	110	CARNIDE	602.619	1.151
SANTOS O VELHO	56.994	105	MARVILA	701.308	847
SANTA JUSTA	72.465	73	LUMIAR	760.234	1.046
SÃO MAMEDE	75.466	139	STª Mª DOS OLIVAIS	1.356.003	1.092
SANTA ISABEL	76.481	105			

Ao invés, constata-se que as áreas onde este valor é menor se encontram nas freguesias de São Francisco Xavier, com uma área de 3.838m² (15 edifícios), São Miguel com 4.098m² (38 edifícios) e Santiago com 4.225m² (18 edifícios).

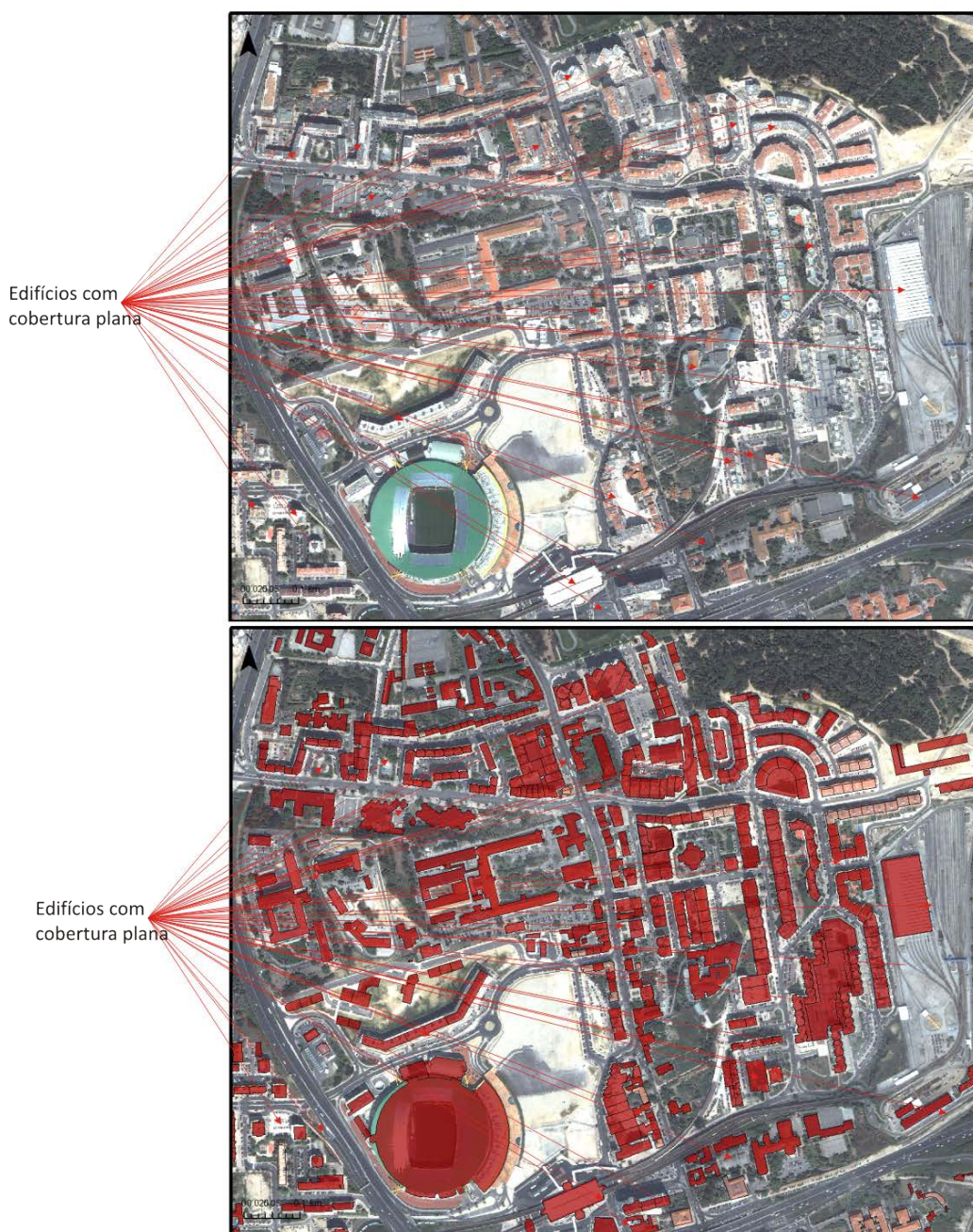


Figura 48 – Erros detectados na classe edifícios 10%

Como foi referido no decurso do trabalho, deparei-me com alguns problemas que devem ser discutidos.

Após a aplicação da fórmula matemática que permitiu a selecção dos edifícios por classes de percentagem, foi referido que foram abandonadas logo à partida as classes de 10 e 90%, por apresentarem muitos erros. No caso da classe de 10%, esses erros referiam-se à selecção de todas as áreas que tivessem apenas uma pequena redução de área comparativamente com as áreas originais, o que pode ser demonstrado através da figura 48.

Através destas duas imagens verificam-se a quantidade de erros que esta classe apresentava. A classe 90% apresentava erros contrários, ou seja, muitos dos edifícios que deveriam ter sido seleccionados não o foram.

Porém, os edifícios potenciais – como anteriormente já tinha sido referido – ofereciam uma elevada fiabilidade em relação aos edifícios que tinham sido seleccionados; no entanto, não existe nenhum mecanismo de dados exteriores à CML que permita a validação dos dados.

Apesar de existir um Cadastro Predial, este não contém dados que possam servir de validação dos dados obtidos, isto porque só após a publicação do DL n.º 68/2004 de 25 de Março, é que os construtores dos edifícios são obrigados (a partir da data de entrada em vigor deste normativo legal) a especificar, entre outras informações, a cobertura dos edifícios.

Tendo em conta que este Decreto-lei entrou em vigor há apenas sete anos, o número de edifícios construídos não serviria de método de validação dos dados tendo em conta o total de edifícios seleccionados (12.374 edifícios).

A densidade e a distribuição dos edifícios com potencial para a construção de “green roofs” revelam que é possível aumentar as áreas verdes da cidade em áreas em que estas não abundam. Devido à sua densidade, seria também possível desenvolver projectos que sectorizassem o crescimento deste tipo de cobertura desenvolvendo, por exemplo, esse crescimento em áreas em que existisse uma maior escassez de áreas verdes.

Além disso, e como se pode verificar na figura 47, existe a possibilidade de aumentar a conectividade entre as áreas verdes através da construção dos “green roofs”, o que, como foi exposto ao longo do trabalho, poderia trazer imensos benefícios futuros para o município e para os seus habitantes.

CAPITULO V: DISCUSSÃO

Após a fase anterior, torna-se essencial realizar uma análise crítica aos resultados que se pretendem defender neste trabalho, e a primeira situação está associada com os dados de base relacionados com a imagem QuickBird-2. Esta imagem foi fornecida já com algumas operações de correcção radiométrica e não no seu formato original, o que à partida pode gerar alguma desconfiança no que diz respeito aos processos empregados e se realmente foram bem utilizados.

No entanto, esta referência não pretende descredibilizar, nem lançar suspeitas sobre os autores desse trabalho, visando apenas referir que apesar de não ter sido realizado no âmbito deste trabalho, pensa-se que não tenha tido qualquer tipo de influência nos dados apurados aquando da realização das classificações supervisionada e não supervisionada.

O Plano Verde da cidade de Lisboa estruturado através da proposta para a definição da Estrutura Ecológica Municipal (EEM), integrada no processo de revisão do Plano Director Municipal, disponibiliza no sítio <http://museutransportesmunicipais.cm-lisboa.pt>, as medidas cautelares do plano, em que define que existem entre outras medidas que devem ser tornadas ideias chave para o desenvolvimento desse estudo salvaguardando as áreas essenciais da EEM, as seguintes:

- I. Garantir a continuidade entre os sistemas ecológicos da cidade de Lisboa e os concelhos contíguos da Área Metropolitana de Lisboa;
- II. Consolidar a ligação dos corredores inter-concelhios para a implementação de redes de actividades de recreio e produção agrícola urbana e de protecção, valorização e dinamização do património paisagístico natural e cultural.

Segundo o mesmo documento a EEM foi definida a partir do “conceito de Organização e Ligação” cujos pressupostos utilizados resultam do cruzamento do sistema de “Corredores/unidades estruturantes municipais” e do “Sistema Húmido”. A EEM consagra como corredores/unidades estruturantes as seguintes variáveis: 1 – parque de Monsanto, 2 – parque periférico, 3 – anel interior, 4 – zona ribeirinha, 5 – corredor Monsanto/Av. Liberdade, 6 – corredor verde oriental, 7 – vale de Alcântara, 8 – corredor da Alta de Lisboa e 9 – corredor de Telheiras (Fig. 49).

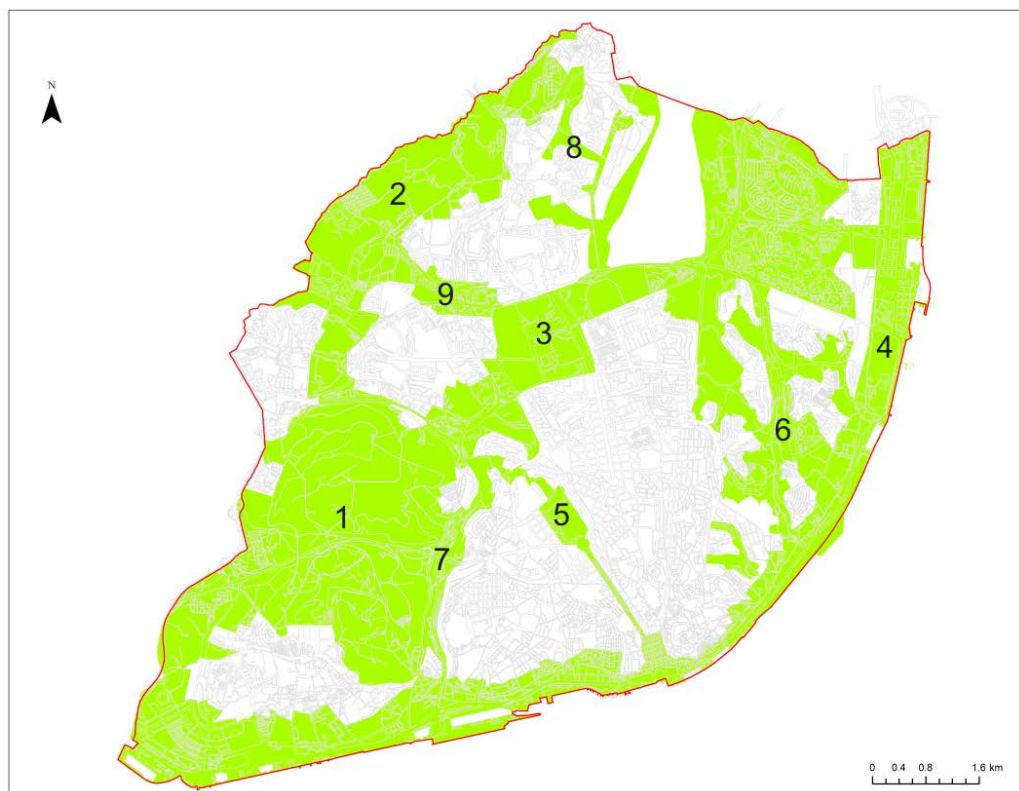


Figura 49 – Corredores/unidades estruturantes municipais

O sistema húmido é composto pelas áreas que correspondem às linhas de drenagem a céu aberto, às linhas de drenagem subterrâneas, às bacias de recepção de águas pluviais, às zonas de ressurgências hídricas, às zonas aluvionares inundáveis e ao subsistema de transição fluvial estuarino.

Este último é composto basicamente pela área de contacto entre o fluxo proveniente dos sistemas de drenagem pluviais e linhas de água afluentes e o fluxo proveniente do estuário do Tejo (Fig. 50).

O cruzamento destes dois tipos de variáveis vai de encontro às necessidades que as cidades têm de aumentar a capacidade de recuperação das áreas verdes.

Como foi enunciado ao longo do trabalho, Lisboa é uma das cidades que necessita de apresentar soluções e de criar mecanismos que permitam travar a diminuição das áreas verdes dentro da cidade, não só pela utilização directa dos habitantes mas também pelos benefícios que essas áreas trazem ao próprio ambiente citadino.

A proposta de EEM é claramente um sinal de mudança positiva para a preservação das áreas verdes e sistemas ecológicos existentes na cidade de Lisboa e que demonstra a preocupação constante que existe na preservação e melhoria do meio ambiente neste município.

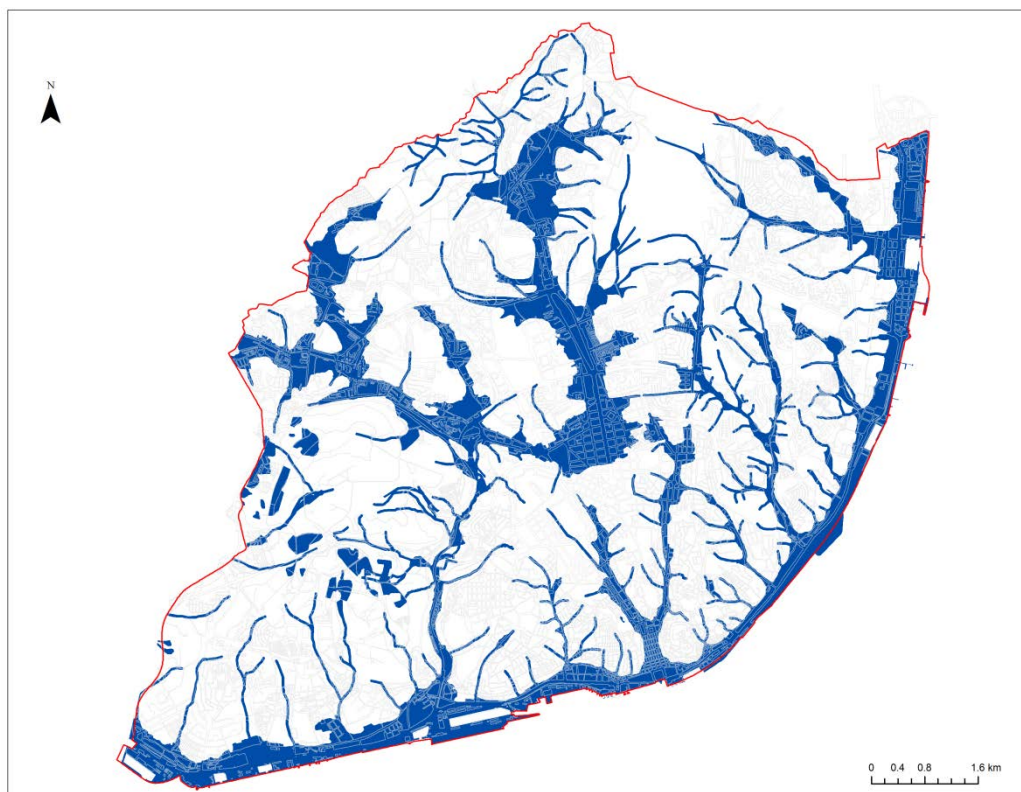


Figura 50 – Sistema húmido da EEM

No entanto, quando me propus iniciar este trabalho foi não só com o sentido de demonstrar que existia uma possibilidade metodológica de avaliação da capacidade potencial de construção de edifícios com “green roofs” mas também procurar adicionar informação válida que ajudasse na conectividade entre os principais corredores verdes considerados na proposta de EEM.

Neste sentido, e avaliando a figura 51, pode-se verificar que a conectividade principal se estabelece pelos corredores da área ribeirinha, parque de Monsanto, parque periférico e anel interior (Fig. 49), e que a conectividade secundária é assegurada pelos

restantes elementos dos chamados corredores/unidades estruturantes municipais que constituem assim corredores de interligação secundária.

Contudo podemos também analisar que existem áreas que não são abrangidas por nenhum destes sistemas e que constituem autênticos “buracos” do ponto de vista da conectividade entre os vários corredores e unidades estruturantes para o município. Esta falta de conectividade é claramente imposta pela densidade de construção existente nestas áreas, provavelmente por nunca se ter acautelado um crescimento das várias áreas da cidade sem ter em conta a preservação ou manutenção deste tipo de unidades.

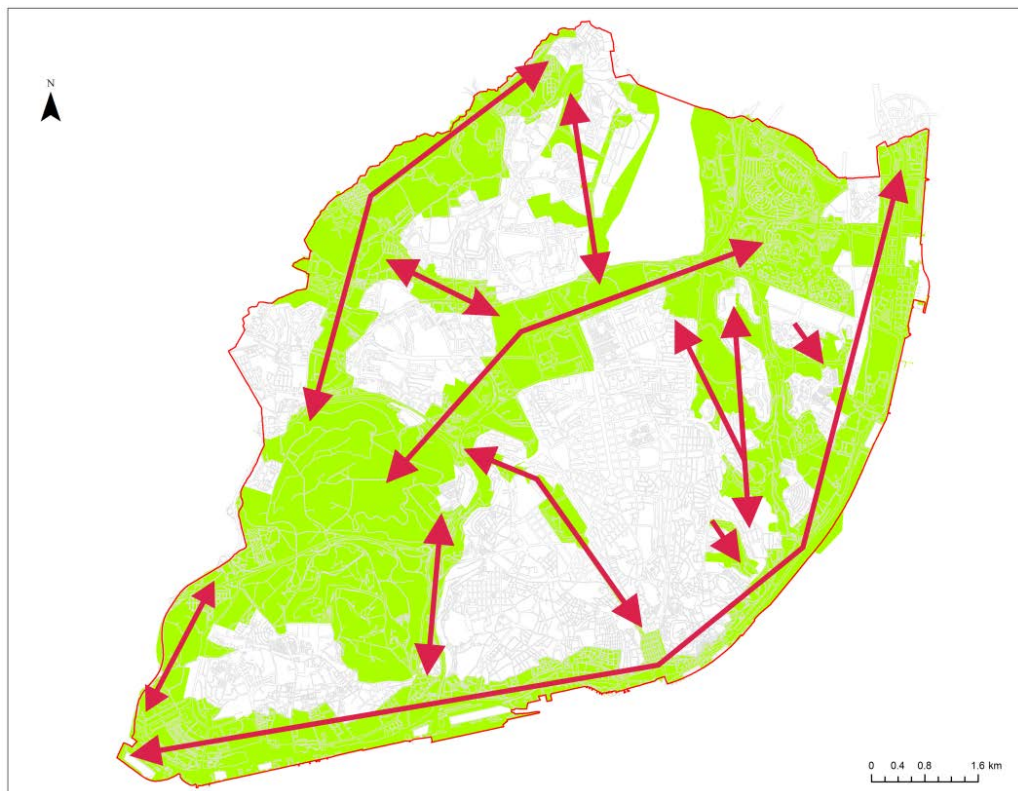
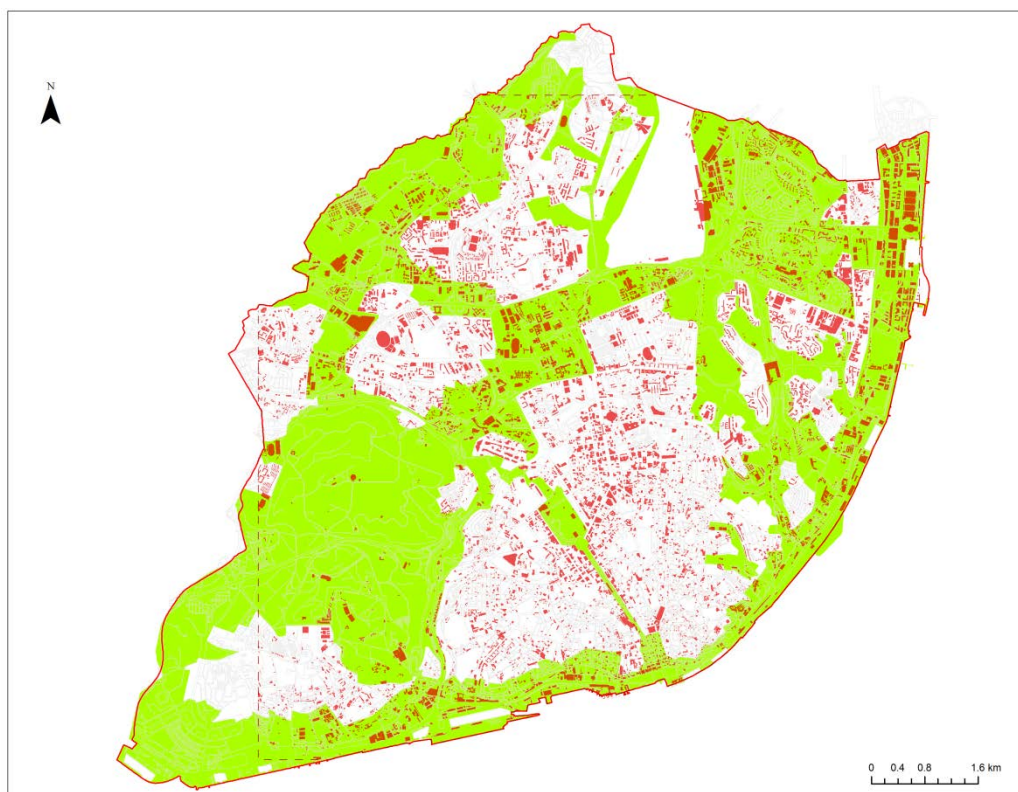


Figura 51 – Conectividade entre corredores/unidades estruturantes municipais

Nesse sentido, é desta forma que este trabalho pode ajudar, não só na perspectiva do aumento das áreas verdes na cidade de Lisboa mas também poder contribuir para a conectividade secundária entre os corredores principais projectados na proposta de EEM.

Ao sobrepor os temas corredores/unidades estruturantes municipais e edifícios potenciais verifica-se a existência de edifícios potenciais nas áreas que não são abrangidas pelos corredores e áreas estruturantes (Fig. 52).



**Figura 52 – Sobreposição dos temas corredores/unidades estruturantes municipais e edifícios potenciais.
Tracejado: área de estudo**

A possibilidade de transformação de todos estes edifícios potenciais em “green roofs” pode traduzir-se num elevado incremento de áreas verdes, no entanto temos de encarar esta hipótese meramente teórica, pois existem problemas de ordem variada que poderão inviabilizar essa possibilidade não deixa de ser uma hipótese, por essa razão as propostas de conectividades que vou formalizar de seguida são baseadas nessa suposição.

A possibilidade de formalizar novas propostas de conectividades secundárias entre as já definidas na proposta de EEM são assinaladas na figura 53.

Estas estão assinaladas a cor verde e resultam exactamente da existência de um número elevado de edifícios potenciais para “green roofs” e que claramente preenchem as

áreas que anteriormente classifiquei de autênticos “buracos” no que respeitava a conectividades primárias e secundárias (Fig. 53).

Assim como novas conectividades secundárias temos:

1. Entre Monsanto e o corredor de Telheiras
2. Entre o corredor de Telheiras e o corredor Alta de Lisboa;
3. Entre o Vale de Alcântara e corredor Monsanto/Av. Liberdade;
4. Entre o Corredor de Monsanto/Av. Liberdade e corredor Verde Oriental;
5. Entre o Anel Interior e Zona Ribeirinha;
6. Entre Monsanto e Zona Ribeirinha.



Figura 53 – Conectividades propostas para a EEM e proposta de novas conectividades secundárias

Apesar da importância de todas elas, é de salientar as conexões que podem ser criadas entre o Vale de Alcântara e o corredor Monsanto/Av. Liberdade, que em conjugação com a conectividade proposta entre o Anel Interior e a Zona Ribeirinha, permitem eliminar a maior área que não apresenta qualquer tipo de conectividade. Além

destas, deve ser ainda salientada a conectividade entre o vale de Alcântara e o corredor Monsanto/Av. Liberdade, que permitiriam também criar outra conectividade bastante importante.

As restantes propostas de conectividade criam pequenas mas importantes ligações entre os corredores e as unidades estruturantes municipais que em conjugação com as anteriormente referidas permitem melhorar o *continuum* ambiental na cidade de Lisboa.

CAPITULO VI: CONCLUSÕES

O estudo realizado no âmbito do estágio profissional no Departamento de Informação Geográfica e Cadastro – Divisão de Informação Urbana Georeferenciada da Câmara Municipal de Lisboa, com o propósito da obtenção do grau de Mestre em Geografia Física e Ordenamento do Território, permite concluir que é possível realizar uma análise através de uma imagem de satélite Quickbird-2 para a classificação de edifícios com dois tipos de cobertura – alvenaria e plana –, sendo que a cobertura de alvenaria é geralmente realizada através da colocação de telha de barro, enquanto que a cobertura plana é, na sua maioria, coberta por tela e/ou materiais impermeáveis, por forma a conseguir o isolamento da humidade e da infiltração da água da chuva.

Neste último caso, as áreas superiores dos edifícios são maioritariamente planas e sem qualquer tipo de utilização por parte dos proprietários, o que representa área útil para ser potencialmente utilizada para a colocação de “green roofs”. Esta possível forma de utilização está dependente das condições estruturais dos edifícios e do estado de conservação que não foram contemplados neste trabalho por não fazerem parte do tema central do mesmo e pela curta duração do trabalho. Porém, recomenda-se para trabalhos futuros a contemplação destas variáveis. No entanto, é possível pensar que se podem aumentar as áreas verdes da cidade de Lisboa, tornando-a mais sustentável e energeticamente mais eficiente.

A actualização deste trabalho poderá ser feita através dos mesmos métodos aplicados, mas poderá também sofrer um aumento de informação para o futuro, através dos dados provenientes do chamado B.I. dos Edifícios, criado através do DL n.º 68/2004 de 25

de Março, que obriga os construtores dos edifícios (a partir da data de entrada em vigor do D.L.), a especificar, entre outras informações, a cobertura dos edifícios.

Futuramente, o aumento deste tipo de informação irá permitir o aditamento dos novos edifícios que tenham coberturas planas e poderá ainda servir como chave de validação para a classificação supervisionada que foi efectuada no decorrer deste trabalho, e que deverá ser realizada aquando de futuras actualizações do mesmo.

A possibilidade de poupança de energia por parte dos proprietários dos edifícios – como referido por Susca *et al.* (2011) e Parizotto e Lamberts (2010) –, a diminuição dos efeitos de ilha de calor urbano, do escoamento superficial da água da chuva mencionado por Simmons *et al.* (2008), a atenuação dos efeitos climáticos urbanos, indicado pelos autores Nikolopoulou e Steemers (2003), Thorsson *et al.* (2004), Givoni *et al.* (2003) e Oliveira (2008b), bem como a diminuição da poluição atmosférica citadina, exposta por Yang *et al.* (2008), são razões suficientes para pôr em prática a opção ecológica de “green roofs”.

Se tivermos em conta os valores de área total para a área de estudo (7.792.405,78m²), segundo Johnston e Newton (1996), poderia ser possível retirar da cidade de Lisboa 15.584.811,56 kg de material particulado por ano, isto se todos os edifícios estivessem aptos para a construção dos “green roofs” e se estivessem cobertos por relva não aparada.

Por outro lado, e utilizando o modelo usado por Peck e Kuhn (2001), poderiam ser retirados 15.584.811,156kg/m²/ano de material particulado nesta área do município através de relva não aparada que funcionaria como armadilha para este tipo de material.

Rowe (2010) refere que se os 1,1 km² de telhados planos do campus da Universidade Estatal do Estado do Michigan fossem transformados em “telhados verdes”, poder-se-ia evitar 3 640 263 kg de CO₂ assim extrapolando este estudo para a área estudada seria possível retirar 25.787.642 toneladas de CO₂ por ano para a cidade de Lisboa o que equivaleria a retirar cerca de 4.682.527.473 veículos da cidade por ano. Aplicando os dados explanados por Yang *et al.* (2008), seria possível retirar 66.235kg de poluentes por ano desta área.

Neste sentido, podemos verificar as mais-valias que a implementação de “green roofs” poderia trazer ao município de Lisboa, sendo que muitos dos problemas urbanos mencionados no início do trabalho poderiam ser minimizados através da construção destas

infraestruturas, tendo sempre em conta que não será a única solução para ajudar na mitigação daquelas situações.

Existe a necessidade de relembrar que o ajuste dos materiais de construção mais eficazes e de acordo com as preocupações ambientais e energéticas podem também, em conjugação com os “green roofs”, constituir um avanço num sentido mais ecológico e sustentável de melhorar o ambiente citadino de Lisboa.

Esta cidade enfrenta alguns problemas no que concerne a implementação deste tipo de projectos. A idade, o envelhecimento e a degradação de muitos edifícios, bem como as condições económicas que o país e os seus habitantes atravessam, poderão constituir entraves para o aumento deste tipo de projectos.

Além disso, estas áreas não seriam áreas de usufruto directo dos habitantes e possivelmente nem dos proprietários, o que automaticamente poderá também ser um obstáculo para a implementação de “green roofs”.

Neste ponto específico, a consciência ambiental teria de ser construída e impulsionada, sempre no sentido crescente de que as apostas sustentáveis realizadas hoje em relação ao ambiente terão consequências no futuro.

Tendo em conta o número de habitantes do município de Lisboa em 2011 segundo os censos 2011 (545.245 habitantes), teríamos um aumento de $14,29\text{m}^2/\text{hab}$ de áreas verdes se considerássemos a construção de “green roofs” na totalidade dos edifícios seleccionados.

Se os “green roofs” fossem considerados áreas de estrutura verde secundária, isso representaria um aumento de $5,29\text{m}^2/\text{hab}$ em relação aos dados de 2007 e $8,29\text{m}^2/\text{hab}$ em relação ao ano de 1994 (quadro I). Apesar de serem áreas que não permitiriam um acesso directo ao público, trariam benefícios ambientais e energéticos a todos os habitantes.

Outra das conclusões a que podemos chegar neste trabalho é através do aumento das áreas verdes da possível instalação de “green roofs” estas áreas podem, em complemento com os benefícios anteriormente enunciados, assegurar a conectividade entre as áreas verdes estruturantes e corredores ecológicos da cidade de Lisboa, elevando a qualidade ambiental desta cidade.

A componente ambiental das áreas urbanas como sistema que é necessita de estabelecer conectividades para que possa existir, e a proposta da EEM no âmbito da revisão do PDM para o município de Lisboa faz relativamente ao PDM em vigor em

enorme esforço por proteger as unidades consideradas estruturante e os corredores ecológicos existentes nesta cidade. No entanto este esforço pode ser complementado com as propostas produzidas com base nos resultados deste trabalho.

A contribuição para a construção de um futuro mais sustentado e sustentável, com uma poupança económica e energética e com melhor qualidade de vida só pode ser suportado pelas melhorias das condições ambientais, e os “green roofs” podem claramente ser “a” contribuição para que isso seja possível.

BIBLIOGRAFIA

- Alcoforado M J (1999) Aplicação da climatologia ao planeamento urbano. Alguns apontamentos. *Finisterra – Revista Portuguesa de Geografia*, XXXIV (67-68): 83-94.
- Alcoforado M J, Lopes A, Andrade H, Vasconcelos J (2005) *Orientações climáticas para o ordenamento em Lisboa*. Área de investigação Geo-Ecologia, 4, Centro de Estudos Geográficos, Lisboa, 83p. ISBN978-972-636-165-7.
- Alcoforado M J, Andrade H (2006) Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal): main features and modeling attempts. *Theoretical and Applied Climatology*, 84(1-3): 151-159.
- Alcoforado M J (2006) Planning procedures towards high climatic quality cities. Example referring to Lisbon. *Finisterra – Revista Portuguesa de Geografia*, XLI (82): 49-64.
- Alcoforado M J, Andrade H, Fragoso M, Lopes A, Vasconcelos J (2009) Application of climatic guidelines to urban planning. The example of Lisbon (Portugal) *Landscape and Urban Planning*, (90): 56-65.
- Almeida A (2006) *O valor das árvores - Árvores e Floresta Urbana de Lisboa*. Dissertação de Doutoramento, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.
- Andrade H (1996) A Qualidade do Ar Em Lisboa. Valores médios e situações extremas. *Finisterra – Revista Portuguesa de Geografia*, XXXI (61): 43-66.
- Andrade H (2000) Bioclimatologia Humana: Novas Perspectivas. *Finisterra – Revista Portuguesa de Geografia*, XXXV (69): 157-159.
- Andrade H, Alcoforado M J (2008) Microclimatic variation of thermal comfort in a district of Lisbon (Telheiras) at night. *Theoretical and Applied Climatology*, 92(3-4): 225-237.
- Andrade H, Vieira R (2007) A Climatic Study of an Urban Green Space: The Gulbenkian Park in Lisbon (Portugal). *Finisterra – Revista Portuguesa de Geografia*, XLII (84): 27-46.
- Araújo E, Kux H, Albuquerque P (2007) *Ortorretificação de imagens QuickBird Orstandard – Levantamento planialtimétrico de pontos de apoio e métodos de correção geométrica*, Ministério da Ciência e Tecnologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

- Barbosa R (2005) *Áreas verdes e qualidade térmica em ambientes urbanos: Estudo em microclimas de Maceió (AL)*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos – Departamento de Hidráulica e Saneamento, São Paulo.
- Borges B, Duarte A, Pancada R, Pedro P, Ramos C (2005) Cheias rápidas em áreas urbanas e sua percepção: o caso da bacia da R^a de Odivelas. *Actas do X Colóquio Ibérico de Geografia*. Universidade de Évora, Évora, 15.
- Britto C (2001) *Análisis de la Viabilidad y Comportamiento Energético de la Cubierta Plana Ecológica*. Dissertação de Doutoramento, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, Madrid.
- Câmara Municipal de Lisboa (CML) (2009) *Estrutura Ecológica Municipal – Relatório da proposta preliminar* Revisão do PDM, Lisboa.
- Carvalho A (2010) *Regulação e concorrência dos transportes colectivos urbanos: a região metropolitana de Lisboa*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Economia e Gestão, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Decreto-lei n.º 68/2004 de 25 de Março. *Diário da República n.º 72- I Série A*. Presidência do Conselho de Ministros. Lisboa.
- DigitalGlobe (2010) Radiometric Use of WorldView-2 Imagery (Prepared by: Todd Updike, Chris Comp), Longmont, Colorado.
- Esteves A, Hortas M, Caldeira M (1997) Transformações recentes na rede urbana portuguesa. Dinâmicas da População e Território – JNICT/DGOT. *III Congresso da Geografia Portuguesa*. Porto. (eds.) Edições Colibri e Associação Portuguesa de Geógrafos, 1999, 237-248, Lisboa.
- Encarnação S, Rocha J, Tenedório J A, Estanqueiro R (2007) Cartografia de uso em ambiente urbano análise orientada por objecto de imagens Quickbird. *Finisterra – Revista Portuguesa de Geografia*, XLII(84): 87-102.
- Gaspar L (2003) Auto-segregação sócio-espacial em Lisboa. *Revista Portuguesa de Estudos Regionais*, (4): 75-92.

- Goés E (2010) *Os Partidos Políticos e a insegurança urbana em Portugal*. Centro de Estudos Sociais, Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Gonçalves A, Ribeiro A, Feliciano M (2008) Estudos de Conforto Térmico em Espaços Verdes na Cidade de Bragança. Cidades e Alterações Climáticas. Que futuro?. *Conferência Internacional de Lisboa*, Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa, Lisboa, 15 e 16 de Maio de 2008, 44.
- Gonçalves A, Ribeiro A, Azevedo J, Carvalho A, Feliciano M (2010) Planeamiento de estructuras verdes para la mejoría de la calidad de vida urbana – lecciones del plan verde de Bragança (Portugal). *I Jornadas Europeas sobre Eficiencia Energética y Sostenibilidad en la Arquitectura y el Urbanismo*. Donostia-San Sebastián, 28 a 30 Junho 2010, 219-227. ISBN 978-84-693-3502-4
- Jain A K (2006) The concept of bio-drainage in flood prevention and the avoidance of water scarcity. *International Journal of Environmental Studies*, 63(1): 39-48.
- Johnston J Newton J (1996) *Building Green, a Guide for Using Plants on Roofs and Pavement*. The London Ecology Unit, London. ISBN: 9780230284456 90101
- Kowalczak P, Kundzewicz Z (2011) Water-related conflicts in urban areas in Poland. *Hydrological Sciences Journal*, 56(4): 588-596 .
- Kux H, Pinheiro E (2005) Dados do satélite QuickBird para o mapeamento do uso e cobertura da terra numa seção da Mata Atlântica no Estado do Rio Grande do Sul, *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 16-21 abril 2005, INPE, 4509-4516, Goiânia, Brasil,.
- Landsberg H (1981) *The urban climate*, Academic Press, New York. ISBN: 978-0-12-435960-4
- Lopes A (2003) *Modificações no clima de Lisboa como consequência do crescimento urbano: Vento, Ilha de calor de superfície e balanço energético*. Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Lopes A (2008) O sobreaquecimento das cidades causas e medidas para a mitigação da ilha de calor de Lisboa. *TERRITORIUM, Revista da Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança*, 15: 39-52.

- Lloréns M, Torres M, Álvarez H, Arrechea A, García J, Acosta R, Senciales C, Petit X, León Y, Llaguno Y, Montano R, Navarrete J, Lezcano H, Agramonte M, Despaigne E, Machín A, Alvariño C, Navarro R, Aguirre S, Valiente M, Colomina A (2005) Caracterización de los Residuos Sólidos Urbanos en Ciudad de La Habana, un aporte a la solución de un problema medioambiental, *Revista CENIC Ciências Biológicas*, Vol. 36, N° Especial, Havana.
- Mileu N (2003) Definição automática de áreas censitárias na freguesia de Algés. *Finisterra – Revista Portuguesa de Geografia*, XXXVIII(75): 13-28.
- Nikolopoulou M, Steemers K (2003) Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. *EnergyBuild*, 35: 95-101.
- Nunes A (2007) *Detecção automática do coberto florestal com imagens de satélite com grande e muito grande resolução espacial*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Oliveira P, Ramos C (2002) Inundações na cidade de Lisboa durante o século XX e seus factores agravantes. *Finisterra – Revista Portuguesa de Geografia*, XXXVII(74): 33-54.
- Oliveira S, Andrade H, Vaz T (2008) *Condições microclimáticas do Jardim Teófilo de Braga (Lisboa) e influência na área envolvente*. *Cidades e Alterações Climáticas. Que futuro?* Poster in Conferência Internacional Cidades e Alterações Climáticas. Que futuro? 15 e 16 Março 2008, Lisboa.
- Oliveira S, Andrade H, Alcoforado M, Vaz T (2008a) *O contributo potencial dos espaços verdes para a adaptação às alterações climáticas nas cidades. O exemplo de dois jardins de Lisboa*” Poster in *Clima 08 1º Congresso nacional sobre as Alterações climáticas*. 20-30 Setembro Universidade de Aveiro 2008, Aveiro.
- Oliveira S, Andrade H, Alcoforado M, Vaz T (2008b) *O contributo potencial dos espaços verdes para a adaptação às alterações climáticas das cidades. O exemplo de dois jardins de Lisboa*. No âmbito do UrbKlim: Clima e sustentabilidade urbana. Percepção do conforto e riscos climáticos, CEG Universidade de Lisboa. <http://www.ceb.ul.pt/urbklim/index.html>

- ONU (2010) *Relatório de desenvolvimento humano 2010. A verdadeira riqueza das nações: Vias para o desenvolvimento humano*. Programa das Nações Unidas para o desenvolvimento. Nova Iorque. ISBN: 9780230284456 90101
- Oberndorfer E (2007) Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services. *Bioscience*, 57(10): 823-833.
- Parizotto S, Lamberts R (2011) Investigation of green roof thermal performance in temperate climate: A case study of an experimental building in Florianópolis city, Southern Brazil. *Energy and Buildings* 43, 1712-1722.
- Partidário M, Vicente G, Belchior C, Nespen S, Frade S, Martins R, Santos P (2010) *Avaliação Ambiental Estratégica Relatório Ambiental Plano Director Municipal*. Lisboa
- Peck Kuhn (2003) Design Guidelines for Green Roofs *Ontario Association of Architects and CMHC SCHL*
- http://www.cityofchicago.org/webportal/COCWebPortal/COC_ATTACH/design_guidelines_for_green_roofs.pdf
- Ramos C (2001) Cheias no Sul de Portugal em diferentes tipos de bacias hidrográficas. *Finisterra – Revista Portuguesa de Geografia*, XXXVI(71): 61-82.
- Reis E (1996) *Aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica na análise morfológica de bacias hidrográficas*. Dissertação de mestrado, Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Rocha J (2002) *Integração de dados estatísticos na classificação de imagem de satélite*. Dissertação de mestrado, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Rocha J (2005) Detecção remota e Sistemas de informação Geográfica para a produção de cartografia Integração de dados estatísticos na classificação de imagem de satélite. *Finisterra – Revista Portuguesa de Geografia*, XL(80): 23-39.
- Rocha J, Tenedório J, Estanqueiro R, Sousa P (2007) Classificação de uso de solo urbano através da análise linear de mistura espectral com imagens de satélite. *Finisterra – Revista Portuguesa de Geografia*, XLII(83): 47-62.

- Rowe D (2010) Green roofs as a means of pollution abatement. *Environmental Pollution* 159: 2100-2110.
- Santos T, Freire S, Tenedório J A (2010) Extracção de edifícios em áreas urbanas densas com imagens QuickBird e dados LiDAR. *e-GEO*, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Lisboa.
- Sailor D J (2008) A green roof model for building energy simulation programs. *Energy and Buildings*, 40:1466-1478.
- Simmons M, Gardiner B, Windhager S, Tinsley J (2008) Green roofs are not created equal: the hydrologic and thermal performance of six different extensive green roofs and reflective and non-reflective roofs in a sub-tropical climat. *Urban Ecosyst* 11:339–348.
- Susca T, Gaffin S R, Dell’Osso G R (2011) Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. *Environmental Pollution* 159:2119-2126.
- Thorsson S, Lindqvist M, Lindqvist S (2004) Thermal bioclimatic conditions and patterns of behaviour in an urban park in Goteborg, Sweden. *International Journal of Biometeorology* 48(3): 149-156.
- Valério M (2010) *Critérios de Sustentabilidade da Ocupação Urbana Caso de Estudo na Cidade de Aveiro*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Yang J, Yu Q, Gong P (2008) Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. *Atmospheric Environment*, 42: 7266-7273.

SITES CONSULTADOS:

- <http://www.esri.com> [Acedido em 30 de Maio de 2011].
- <http://www.flickr.com/photos/markturner/1723220883/> [Acedido em 20 de Setembro de 2011].
- <http://greengarage.ca/greenroofs/features.php> [Acedido em 20 de Setembro de 2011].
- <http://museutransportesmunicipais.cm-lisboa.pt> [Acedido em 30 de Setembro de 2011].
- http://www.digitalglobe.com/downloads/spacecraft/Radiometric_Use_of_WorldView-2_Imagery.pdf [Acedido em 30 de Junho de 2011]

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Área de estudo: o traço a vermelho representa o limite do concelho de Lisboa	6
Figura 2 - Aspecto da ETAR de Alcântara	10
Figura 3 – Temperatura do ar e valores de temperatura registados em Con Edison no topo das árvores e à altura do solo em “green roofs” (Dezembro 2008 a Fevereiro de 2009). (Dados: Center for Climate Systems Research, Columbia University, New York City, New York, U.S.A.). Fonte: Susca <i>et al.</i> (2011).....	14
Figura 4 – Temperatura do ar e valores de temperatura registados em Con Edison no topo das árvores e à altura do solo em “green roofs” (Junho a Agosto de 2009). (Dados: Center for Climate Systems Research, Columbia University, New York City, New York, U.S.A.). Fonte: Susca <i>et al.</i> (2011). ...	14
Figura 5 – Exemplo de "green roof". Fonte: http://www.flickr.com/photos/markturner/1723220883/	15
Figura 6 – Fachada norte (a) e quarto vista exterior (b) do edifício experimental. Fonte: Parizotto e Lamberts (2011)	16
Figura 7 – Distribuição espacial dos telhados. Fonte: Parizotto e Lamberts (2011).....	16
Figura 8 – Esquema de "green roof" adaptado de: http://greengarage.ca/greenroofs/features.php	18
Figura 9 – Resolução espacial das imagens captadas pelos vários satélites.....	22
Figura 10 – Esquema metodológico do trabalho realizado	27
Figura 11 – Imagem de satélite original que mostra a área de estudo	31
Figura 12 – Área de estudo.....	32
Figura 13 – Curvas de nível 1:10 000 do concelho de Lisboa	33
Figura 14 – Pontos cotados da cidade de Lisboa.....	33
Figura 15 – Construção do MET sem curvas de nível 1:25 000: traço a vermelho representa a área de estudo	34
Figura 16 – Construção do MDT com curvas de nível 1:25 000: traço a vermelho representa a área de estudo	35
Figura 17 – Modelo de Elevação do Terreno (MET)	36
Figura 18 – TIN GRID da área de estudo.....	37
Figura 19 – Algoritmo da ferramenta "iso cluster". Fonte: ESRI.....	38
Figura 20 – Dendrograma resultante da aplicação da ferramenta “dendrogram” com 3 classes de agrupamento	38
Figura 21 – Área amostra QuickBird-2 no Lumiar	39
Figura 22 – Classificação não supervisionada da área amostra.....	40
Figura 23 – Assinaturas e Classes de classificação da área amostra	41
Figura 24 – Classificação supervisionada da área amostra	42
Figura 25 – Classificação por componentes principais bandas activas: verde, vermelho e azul (RGB): pontos a vermelho representam exemplos de edifícios fantasma.....	43
Figura 26 – Imagem RG resultante da classificação por componentes principais bandas activas: verde e vermelho	44
Figura 27 – Tema edifícios sobreposto à imagem RG.....	45
Figura 28 – Comparação entre imagem RG e a imagem classificação supervisionada	46
Figura 29 – Transformação imagem matricial classificação supervisionada para modelo de dados poligonais	47
Figura 30 – “Clip” da área classificada através dos edifícios.....	48
Figura 31 – Tema edifícios	49
Figura 32 – Tema telhados de alvenaria	50
Figura 33 – Tema outras áreas.....	50
Figura 34 – Tema edifícios alvenaria	52
Figura 35 – Erros provocados pela continuidade de edifícios.....	52
Figura 36 – Esquema de definição de edifícios planos e de alvenaria.....	54
Figura 37 – Tabela de atributos do tema edifícios junção da tabela do tema edifícios alvenaria.....	55
Figura 38 – Selecção de edifícios da classe de percentagem 10%	57
Figura 39 – Selecção de edifícios com área classificada inferior em 90%.....	57
Figura 40 – Identificação visual dos edifícios com cobertura plana.....	58
Figura 41 – Sobreposição da classe 60% à Imagem QuickBird-2.....	59
Figura 42 – Sobreposição da classe 60% à Imagem RG.....	60

Figura 43 – Erro de selecção da classe 60%: caso do hospital Pulido Valente	61
Figura 44 – Sobreposição da rede de polígonos Thiessen sobre imagem QuickBird-2: traço a vermelho representa limite do concelho.....	62
Figura 45 – Densidade de edifícios da classe 60%.....	63
Figura 46 – Sobreposição dos polígonos de Thiessen com áreas verdes	64
Figura 47 – Sobreposição dos polígonos de Thiessen, áreas verdes, e potenciais edifícios "green roofs"	64
Figura 48 – Erros detectados na classe edifícios 10%	66
Figura 49 – Corredores/unidades estruturantes municipais	69
Figura 50 – Sistema húmido da EEM.....	70
Figura 51 – Conectividade entre corredores/unidades estruturantes municipais.....	71
Figura 52 – Sobreposição dos temas corredores/unidades estruturantes municipais e edifícios potenciais. Tracejado: área de estudo.....	72
Figura 53 – Conectividades propostas para a EEM e proposta de novas conectividades secundárias.....	73

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro I - Valores de espaços verdes/hab. Fonte: CML, 2010.....	5
Quadro II – Localização das cidades de Nova Iorque e Florianópolis	17
Quadro III – Características das imagens captadas pelo sensor do satélite QuickBird-2.....	20
Quadro IV – Regiões do espectro electromagnético. Fonte: Rocha (2002)	21
Quadro V – Características dos satélites Landsat 5 e Landsat 7ETM+	23
Quadro VI – Distribuição de áreas e n.º de edifícios por percentagem.....	56
Quadro VII – Distribuição de áreas com potencial para "green roofs" e nº de edifícios por freguesia.....	65