



**XII Colóquio Ibérico
de Geografia**

Sérgio Freire,
*e-GEO, Centro de Estudos de Geografia e
Planeamento Regional, Faculdade de Ciências
Sociais e Humanas – Universidade Nova de Lisboa*
sfreire@fcsh.unl.pt

Nuno Gomes,
*e-GEO, Centro de Estudos de Geografia e
Planeamento Regional, Faculdade de Ciências
Sociais e Humanas – Universidade Nova de Lisboa*
nunogomes@fcsh.unl.pt

Aplicação de mapeamento dasimétrico inteligente na modelação da distribuição espaço-temporal da população na Área Metropolitana de Lisboa.

Tecnologias de Informação e Cartografia em Geografia

1. Introdução

Bases de dados detalhadas e actuais sobre a distribuição da população no espaço e no tempo são essenciais para suporte à tomada de decisão numa variedade de domínios, nomeadamente em protecção civil (Freire, 2008; 2010; Freire e Aubrecht, 2010), geomarketing, planeamento e ordenamento do território, estudos ambientais, de saúde (Freire, 2007), e em defesa e segurança nacional. Tais dados podem ser úteis em praticamente todas as aplicações que envolvam a distribuição geográfica da população, se forem produzidos a escalas espaciais e temporais apropriadas (Sutton et al., 2003). A espacialização destes dados num formato matricial aumenta significativamente a sua utilidade e facilita a sua integração com outros dados espaciais para análise ou modelação (Deichmann et al., 2001).

Na utilização directa de dados dos Censos de população, é habitual assumir-se uma distribuição exaustiva e de densidade constante em cada zona censitária habitada, o que na realidade está longe de se verificar. De entre as diversas abordagens que têm sido seguidas para estimar a distribuição espacial de um quantitativo populacional, o mapeamento dasimétrico permite limitar a distribuição da variável às áreas em que de facto está presente através da utilização de dados auxiliares que com esta estejam relacionados, no processo de interpolação zonal. Em Portugal, Néry et al. (2007) demonstraram a utilidade destes métodos na desagregação espacial de dados censitários, e que esta melhora com a utilização de informação auxiliar sobre uso e ocupação do solo. Silva (2009) desagregou a população residente da região Oeste e Vale do Tejo para pixéis de 30 metros de resolução, tendo experimentado mapeamento dasimétrico binário e inteligente, bem como diferentes fontes de informação auxiliar. O autor gerou seis modelos distintos de distribuição populacional, cada qual com diferente grau de qualidade, tendo concluído que para as escalas em análise (municipal e regional), o método dasimétrico inteligente, conjugado com informação auxiliar do edificado residencial, extraído de cartografia topográfica, permite obter as melhores estimações (Silva, 2009).

Adicionalmente, a população não é estática, sendo a sua variação temporal significativa para a maioria das aplicações práticas: numa dada área, a quantidade e/ou distribuição da população no período diurno normalmente difere substancialmente da verificada no período nocturno devido às deslocações induzidas pelas actividades humanas, como trabalho, estudo e lazer. Porém, os recenseamentos populacionais apenas registam com rigor o local de residência e pernoita habitual da população, que disponibilizam de forma agregada para uma zona de dimensão variável.

Uma forma bem sucedida de incorporar a dimensão temporal na distribuição da população é através da estimação probabilística de “população ambiente” em vez da população “residencial”. Dobson et al. (2000), no contexto do LandScan, propuseram o conceito de “população ambiente” como uma média temporal da densidade populacional que tem em consideração as actividades humanas. Porém, esta métrica constitui um compromisso entre distribuições diurna e nocturna que em rigor não representa nenhuma destas. Assim, foi reconhecida a necessidade de dados que possuam resolução espacial e temporal acrescidas (Dobson, 2002), pelo que se estão a desenvolver superfícies diurnas e nocturnas de população para os EUA com resolução de 3 segundos de arco (cerca de 90 m) - o LandScan USA (Bhaduri et al., 2002). Com vista a melhorar a estimação da população exposta em situações de emergência, o Laboratório Nacional de Los Alamos (EUA) combinou vários tipos de dados existentes para modelar as distribuições diurnas e nocturnas da população desse país com uma resolução de 250 metros (McPherson e Brown, 2003). Em Portugal esta abordagem foi adaptada para se modelar e cartografar a distribuição da população de dia e de noite nos concelhos de Cascais e Oeiras, com 25 m de resolução (Freire, 2007; 2008).

O trabalho que aqui se apresenta tem por objectivos o teste e aperfeiçoamento de uma metodologia para cartografar as distribuições diurnas e nocturnas da população nos dezoito concelhos da Área Metropolitana de Lisboa (AML) com alta resolução espacial. A modelação baseia-se em ‘mapeamento dasimétrico inteligente’ (matricial) e amostragem empírica usando os eixos de via, caracterizados funcionalmente, para redistribuir a população de forma a permitir análises à escala local. Este esforço corresponde à segunda tentativa com este objectivo, em que foram ligeiramente melhorados os dados de *input* e algumas regras, de forma a se obterem resultados com maior qualidade.

2. Área de estudo e dados

Os dezoito concelhos da Área Metropolitana de Lisboa (AML), definidos com base nos limites administrativos oficiais de 2001, constituem a área deste estudo (Figura 1).

A AML é a principal área metropolitana de Portugal, sendo responsável por 36% do PIB e tendo 30% das empresas nacionais aí localizadas. A região ocupa uma superfície de 2963 km² e tem uma população total residente de 2.661.850 habitantes, 26% da população do país (INE, 2001). Apesar da densidade populacional média ser 898 habitantes/km², esta varia significativamente no espaço e no tempo. Para além das zonas fortemente urbanizadas, a região inclui vastas áreas rurais com povoamento disperso cuja desigual densidade populacional não é adequadamente capturada e representada pelas zonas censitárias, que podem ter grande dimensão mesmo ao nível da subsecção estatística. Para além disso, devido aos movimentos pendulares efectuados por razões de trabalho ou estudo, a população diurna de concelhos na área de estudo chega a diferir em mais de 50% dos valores censitários (INE, 2003). As características da área de estudo e a disponibilidade de informação geográfica e estatística propiciam um contexto apropriado para o presente trabalho.



Figura 1. Localização e configuração da área de estudo

Os dados usados no presente estudo foram de três tipos principais (Tabela 1): a) dados fisiográficos (arruamentos, ocupação e uso do solo), b) informação censitária e estatística (censos, movimentos pendulares) e c) superfície de distribuição diurna da população de Cascais e Oeiras. A informação estatística mais recente (2001) fornece os quantitativos populacionais a serem espacializados, enquanto os restantes dados permitem definir as unidades espaciais e parâmetros usados para desagregar os valores dos Censos.

Tabela 1. Dados e respectivas características principais

Dados	Data	Tipo
Eixos de via	2004	Vectorial
LULC (COS90; CLC2000)	1990; 2000	Vectorial
Secções estatísticas	2001	Vectorial
População residente censo	2001	Base de dados
Movimentos pendulares	2001	Matriz O/D concelhia
População diurna	2001	Matricial (25m)

3. Metodologia

3.1. Modelação da distribuição da população

O processamento de dados e modelação foi realizado com recurso a um Sistema de Informação Geográfica, o ArcGIS 9.3 (ESRI®). As principais tarefas envolvidas na modelação são sintetizadas no fluxograma da Figura 2. Na figura, dados de entrada estão assinalados a cinzento claro, produtos intermédios ou sub-produtos a cinzento mais escuro, e resultados principais a cinzento-escuro e a negrito.

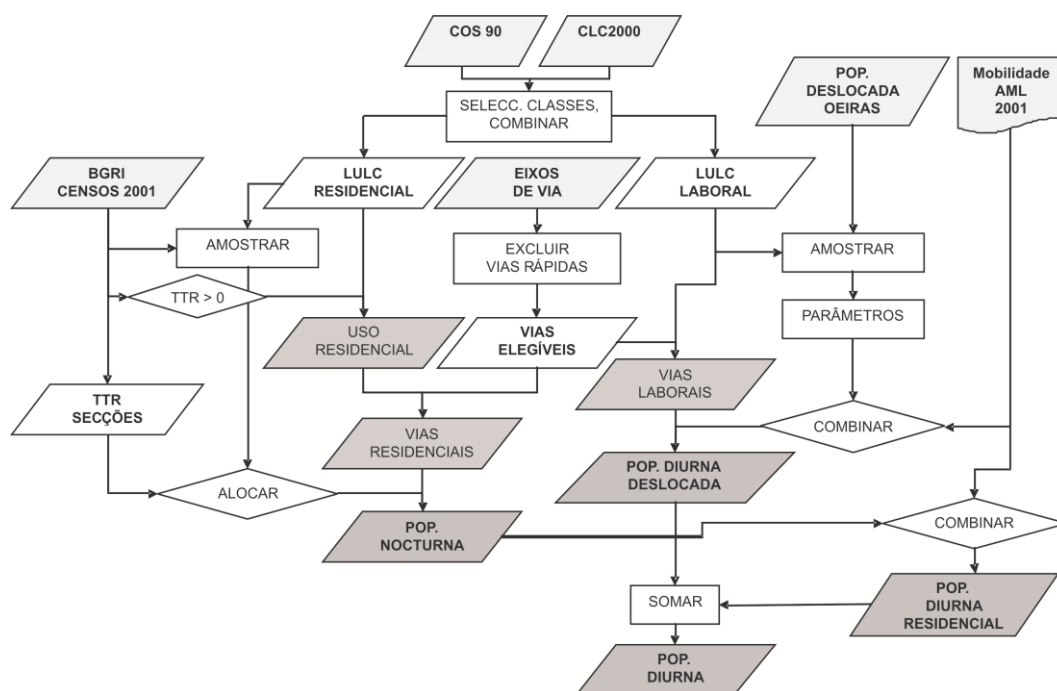


Figura 2. Modelo usado para estimar a distribuição da população

A modelação da distribuição da população assenta em mapeamento dasimétrico matricial usando os eixos de via, caracterizados funcionalmente, para redistribuir a população. A abordagem é baseada em McPherson e Brown (2003) com modificações e adaptações. Para os municípios da AML foram geradas quatro superfícies matriciais de densidade populacional: população (residencial) nocturna, população diurna residencial, população diurna deslocada nos locais de trabalho ou estudo, e população diurna total. A abordagem geral foi testada e apresentada previamente para os municípios de Cascais e Oeiras, integrantes da AML (Freire, 2007). No entanto, devido à sua morosidade e custo, a metodologia original foi adaptada e melhorada para tornar viável a modelação de toda a AML, nomeadamente através da introdução de amostragem empírica e “mapeamento dasimétrico inteligente” (Mennis e Hultgren, 2006).

A distribuição nocturna (residencial) foi obtida através da redistribuição da população residente das secções censitárias (zonas de origem) para as vias consideradas residenciais (zonas de destino). Primeiro, dos mapas de uso e ocupação do solo (COS90 e CLC2000) foram seleccionadas e combinadas classes relevantes de forma a identificar-se zonas com verdadeira função residencial (classes ‘111’ e ‘112’). Por forma a minimizar erros e limitações desta cartografia, foram aplicadas algumas regras, como excluir subsecções sem população residente. Duas classes residenciais foram consideradas para definir duas densidades populacionais: ‘Tecido Urbano Contínuo’ e ‘Tecido Urbano Descontínuo’ (Figura 3).

Para definir a densidade média geral de cada classe, estas foram amostradas usando a população residente por sub-secção estatística, através do método da inclusão total (Mennis e Hultgren, 2006). Seguidamente, vias rápidas foram excluídas e as vias elegíveis assim resultantes foram intersectadas com uso do solo residencial de forma a definirem-se as vias residenciais. Este processo está ilustrado na Figura 4.

As vias residenciais classificadas em duas classes foram então rasterizadas a 25 m e a população residente das secções censitárias foi interpolada para as células residenciais de acordo com a respectiva fracção de densidade, ponderada pela área de cada classe.



Figura 3. Uso do solo residencial para amostra da área de estudo

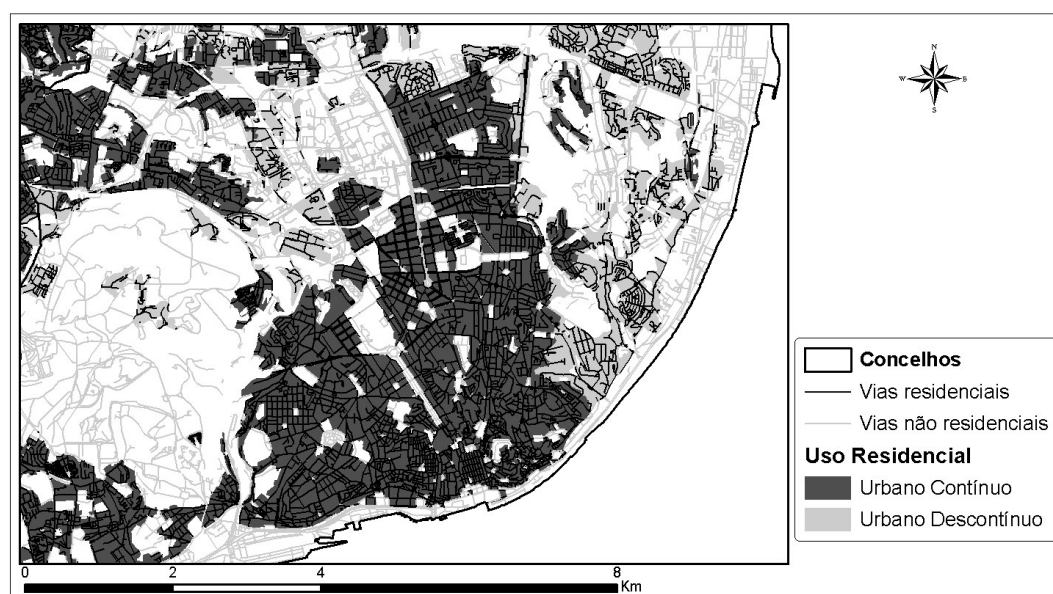


Figura 4. Definição das vias residenciais para amostra da área de estudo

A modelação da distribuição diurna da população iniciou-se com a estimação da população diurna residencial. Esta superfície foi obtida através da multiplicação da distribuição nocturna pela percentagem da população residente que, de acordo com as estatísticas de mobilidade disponíveis (INE, 2003), não se desloca regularmente para o local de trabalho ou estudo.

A *grid* de população diurna deslocada obteve-se através da alocação do total de população deslocada em cada concelho para vias consideradas 'laborais', de forma análoga à usada para modelar a distribuição nocturna. A partir da cartografia de usos e ocupação do solo e aplicação de regras, duas classes de uso 'laboral' foram definidas: uma correspondendo a áreas exclusivamente industriais, comerciais, e de serviços (públicos ou privados), e outra 'mista', de

tipologia predominantemente residencial mas com presença de actividades comerciais ou serviços (Figura 5).

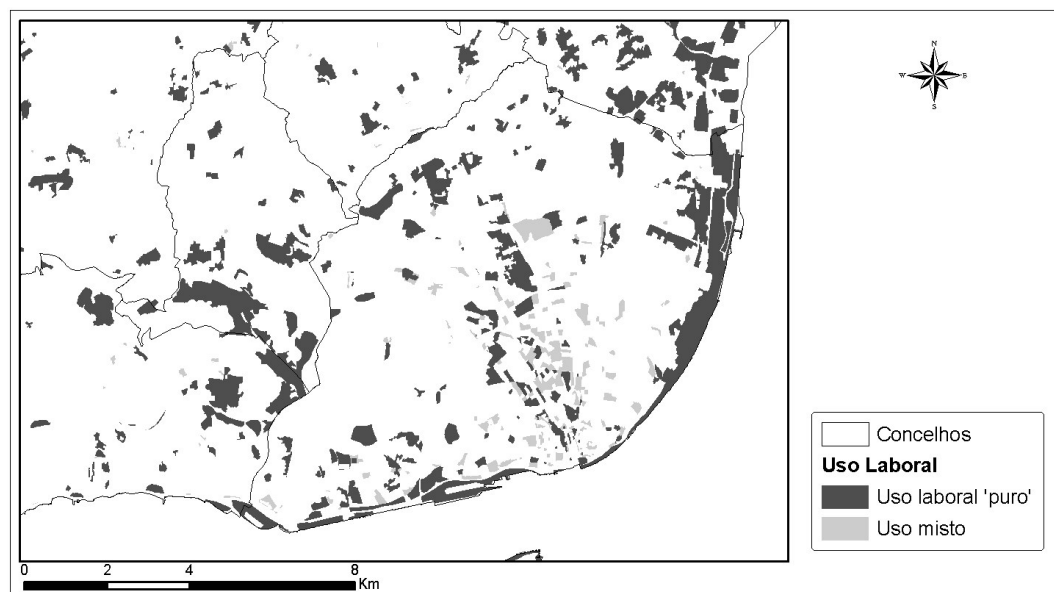


Figura 5. Uso do solo laboral para amostra da área de estudo

De forma a obter a densidade populacional média da classe, estas classes foram amostradas usando a superfície detalhada de população deslocada que foi previamente gerada para Cascais, com resolução de 25 m (ver Freire, 2007).

A distribuição diurna da população resulta da soma 'célula a célula' de duas superfícies matriciais: (1) população diurna deslocada nos locais de trabalho ou estudo, e (2) a população diurna residencial (Figura 6).

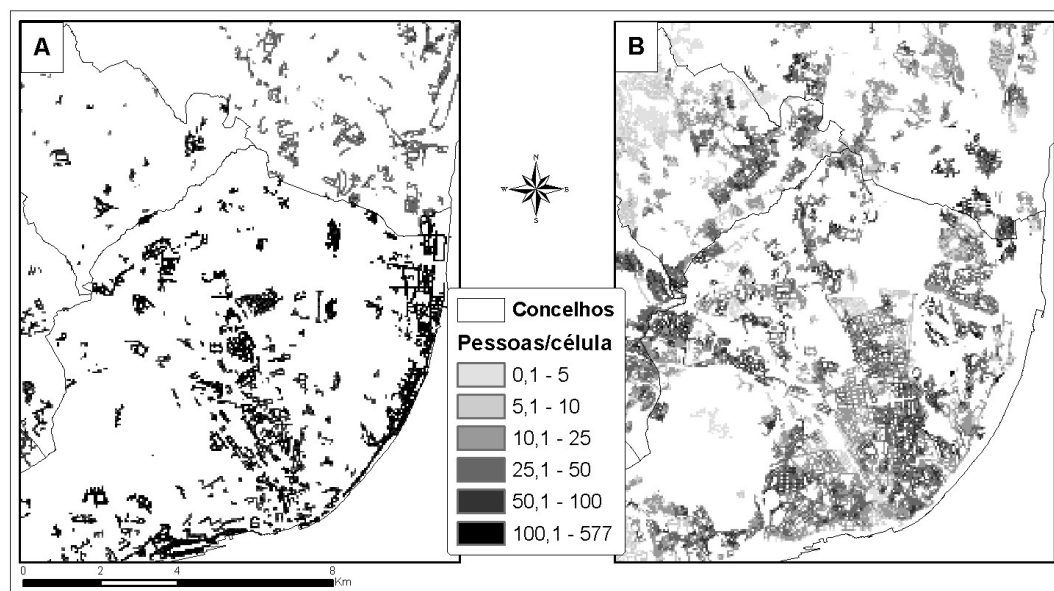


Figura 6. Amostra de superfícies centrada no concelho de Lisboa: (A) população diurna deslocada e (B) população diurna residencial

4. Resultados e discussão

As *grids* com resolução de 25 m foram agregadas para 50 m para fins de visualização e utilização, sendo assim os resultados constituídos por superfícies matriciais com densidades populacionais por célula com 2500 m² (0,25 ha) de área: 1) população (residencial) nocturna, 2) população diurna residencial, 3) população diurna deslocada nos locais de trabalho ou estudo, e 4) população diurna total. Na Figura 7 apresenta-se um extracto da distribuição populacional nocturna e diurna, centrada no município de Lisboa.

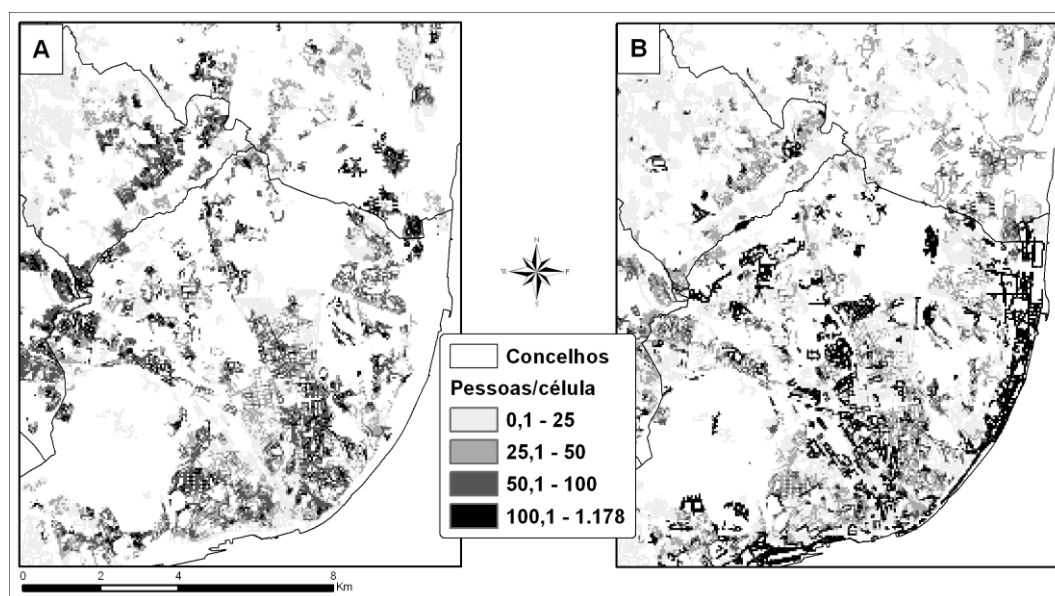


Figura 7. Amostra de resultados centrada no concelho de Lisboa: (A) população nocturna e (B) população diurna

As distribuições nocturna e diurna representam aproximadamente a densidade máxima num dia útil, assumindo que de noite toda a população está nas suas residências, e que no período diurno toda a população trabalhadora e estudante está presente nos locais de trabalho e estudo, e a remanescente na sua residência. Esta situação constitui uma simplificação da realidade, mas mesmo assim preferível a uma simples média zonal da população residente por polígono censitário.

Procedimentos de validação e avaliação da qualidade dos resultados foram efectuados para as distribuições populacionais nocturna, e diurna deslocada. A distribuição nocturna foi validada usando todas as sub-seções estatísticas como referência, comparando a sua população residente com a estimada pelo modelo, numa análise de correlação. Como o presente esforço corresponde a uma segunda tentativa de modelação, em que foram melhorados os dados de input e as regras, obteve-se um coeficiente de correlação (r) de 0,86, pouco acima de 0,85 obtido na primeira tentativa. Avaliação da distribuição diurna deslocada foi limitada pela ausência de dados de referência independentes e com maior resolução distribuídos por toda a área de estudo. Assim, a validação foi feita apenas para Oeiras usando a superfície detalhada de população deslocada já existente para esse concelho como referência, definindo uma grelha de 500 m e amostrando aleatoriamente 50% dos sectores. Da análise de correlação resultou um coeficiente (r) de 0,64, acima do valor 0,60 obtido na primeira tentativa.

A superfície de distribuição populacional nocturna apresenta resolução superior aos dados censitários, enquanto a distribuição diurna era previamente inexistente. Como as superfícies de distribuições nocturna e diurna são espacialmente compatíveis e comparáveis, podem ser usadas, através de simples álgebra de mapas, para calcular a variação de densidade

populacional da noite para o dia e identificar zonas que perdem e que ganham população (Figura 8).



Figura 8. Variação de densidade populacional da noite para o dia para parte do concelho de Lisboa

As superfícies populacionais nocturna e diurna podem ainda ser combinadas através de uma média ponderada de forma a obter-se uma superfície de 'população ambiente', representando uma média temporal da densidade populacional que tem em consideração as principais actividades humanas – repouso, trabalho e estudo.

5. Conclusões

Neste trabalho modelou-se a distribuição da população com base em 'mapeamento dasimétrico inteligente' (matricial) e amostragem empírica usando os eixos de via, caracterizados funcionalmente, para re-distribuir a população. A abordagem implementada permite modelar distribuições nocturnas e diurnas da população na Área Metropolitana de Lisboa em 2001 com elevada resolução espacial, permitindo melhorar a análise ao nível local para múltiplos fins. Ambas as superfícies são espacialmente compatíveis e comparáveis (i.e., permitem o cálculo e representação cartográfica da variação noite-dia). Por via do mapeamento dasimétrico, a distribuição nocturna tem resolução espacial superior aos dados censitários (subsecção). Na distribuição diurna, previamente inexistente, consideram-se os locais de trabalho e estudo, e os movimentos pendulares. São ainda estimadas as distribuições da população deslocada e residencial no período diurno, sendo preservados no modelo os quantitativos populacionais oficiais para cada concelho. Esta abordagem contempla situações em que o local de trabalho é o domicílio, pelo que é preferível a usar valores de população activa.

Estes resultados podem ser úteis numa variedade de aplicações envolvendo população, nomeadamente em protecção civil, análise de transportes, ambiente e planeamento, saúde, e geomarketing. Como exemplo, a distribuição de população diurna pode ser agregada por Freguesia para ser considerada no planeamento da localização e capacidade de equipamentos públicos, como creches e centros de saúde.

Futuras versões beneficiariam da utilização de cartografia de uso e ocupação do solo mais actualizada e detalhada quanto à caracterização funcional, bem como de incorporação de estatísticas de movimentos pendulares mais desagregados do que o nível do concelho. Seria

ainda importante produzir segmentações temporais acrescidas (e.g., dentro do ciclo diário ou variações sazonais).

6. Bibliografia

Bhaduri B, Bright E, Coleman P, Dobson J (2002) LandScan: locating people is what matters. *Geoinformatics*, 5(2): 34-37.

Deichmann U, Balk D, Yetman G (2001) Transforming population data for interdisciplinary usages: from census to grid. *NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC)*, Columbia University, Palisades, NY, USA. Disponível em: <http://sedac.ciesin.columbia.edu/plue/gpw/GPWdocumentation.pdf>.

Dobson J E, Bright E A, Coleman P R, Durfee R C, Worley B A (2000) A global population database for estimating population at risk. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 66(7): 849-857.

Dobson J E (2002) War is God's way of teaching GIS. *Proceedings of the Merrill Conference on Science at a Time of National Emergency*. Disponível em <http://www.merrill.ku.edu/publications/2002whitepaper/dobson.html>.

Freire S (2007) O projecto DemoCarto: modelação a alta resolução das distribuições diurna e nocturna da população para planeamento e tomada de decisão. *Congresso Internacional sobre Planeamento Urbano - Avaliação do Impacte na Saúde*. Poster. Lisboa, Portugal, 23 Outubro 2007.

Freire S (2008) Do dia para a noite: modelação em SIG da distribuição espacial e temporal da população com alta resolução para avaliação de risco e gestão de emergências. *Actas do ESIG'2008-X Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica*. Oeiras, 14-16 de Maio, 2008, pp. 233-246.

Freire S (2010) Modeling of spatiotemporal distribution of urban population at high resolution - value for risk assessment and emergency management. In Konecny M, Zlatanova S, Bandrova T L (eds.) *Geographic Information and Cartography for Risk and Crisis Management. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*. Springer, Berlin Heidelberg: 53-67.

Freire S, Aubrecht C. (2010) Towards improved risk assessment - Mapping spatio-temporal distribution of human exposure to earthquake hazard in the Lisbon Metropolitan Area. In Boccardo P et al. (eds.), *Remote Sensing And Geo-Information For Environmental Emergencies. International Symposium on Geo-information for Disaster Management (Gi4DM)*. Torino, Italy.

INE (2001) Recenseamento Geral da População e da Habitação. Lisboa.

INE (2003) Movimentos Pendulares e Organização do Território Metropolitano: Área Metropolitana de Lisboa e Área Metropolitana do Porto 1991-2001. Lisboa.

McPherson T N, e Brown M J (2003) Estimating daytime and nighttime population distributions in U.S. cities for emergency response activities. *Preprints: 84th AMS Annual Meeting*. AMS, Seattle, WA, 10 pp.

Mennis J e Hultgren T (2006) Intelligent dasymmetric mapping and its application to areal interpolation. *Cartography and Geographic Information Science*, 33(3): 179-194.

Néry F, Monterroso P, Santos A, Matos J (2007) Interpolação zonal de estatísticas sócio-económicas. *Actas V Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia*. Lisboa, Ed. Lidel: 89-99.

Silva, F.B. (2009) Modelação cartográfica e ordenamento do território: Um ensaio metodológico de cartografia dasimétrica aplicado à região Oeste e Vale do Tejo. *Dissertação apresentada à Faculdade de Letras da Universidade do Porto, Portugal, para obtenção do grau de mestre*. Policopiado.

Sutton P, Elvidge C, Obremski, T (2003) Building and evaluating models to estimate ambient population density. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 69(5): 545-553.