

# UTILIZAÇÃO DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA VOLUNTÁRIA PARA A CRIAÇÃO/VALIDAÇÃO DE MAPAS DE COBERTURA E USO DO SOLO

CIDÁLIA C. FONTE

Departamento de Matemática – Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal  
Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores em Coimbra (INESC Coimbra), Coimbra, Portugal  
cfonte@mat.uc.pt

**RESUMO** – Atualmente está disponível uma grande variedade de Informação Geográfica Voluntária (IGV), que vai desde fotografias e descrições georreferenciadas até mapas vetoriais. A partir de algumas dessas fontes de dados é possível extrair informação sobre a cobertura e uso do solo, que pode ser útil de várias formas para a produção de mapas de cobertura e uso do solo, por exemplo, através da identificação de áreas de treino para a classificação de imagens de satélite, construção de bases de dados de referência para a validação dos mapas ou até mesmo a criação destes mapas diretamente a partir da IGV. No entanto, várias questões são levantadas pelo uso deste tipo de dados. Neste artigo é explicado o potencial e as limitações do uso da IGV para auxiliar na criação de mapas de cobertura e uso do solo. São identificadas iniciativas que fornecem dados potencialmente úteis, são apresentados exemplos de aplicação de IGV para a criação e validação de mapas de cobertura e uso do solo e são identificados algumas questões que requerem mais investigação.

**Palavras chave:** Informação Geográfica Voluntária, Mapas de cobertura/uso do solo, Treino, Validação.

**ABSTRACT** - A large variety of Volunteered Geographical Information (VGI) is currently available, ranging from geo-referenced photographs and descriptions to vector maps. From some of these sources of data it is possible to extract land use and land cover information, which may be useful for the production of Land Use/Cover Maps in several ways, such as, for example, the identification of training sites for the classification of satellite imagery, construction of reference databases for their validation or even the creation of these maps directly from VGI. However, several issues are raised by the use of this type of data. In this article the potential and limitations of the use of VGI to assist in the creation of LCM is explained. Initiatives that provide data potentially useful are identified, examples of application of VGI for the creation and validation of LULC maps are presented and topics that need further research are pointed out.

**Key words:** Volunteer Geographic Information, Land Use/Cover Maps, Training, Validation.

## 1 INTRODUÇÃO

A criação de mapas de cobertura e uso do solo é fundamental para muitos tipos de aplicações, como, por exemplo, para a avaliar impactos ambientais das atividades humanas, planear o ordenamento do território ou avaliar o impacto das alterações climáticas (Nie et al., 2011; Redo et al., 2012; Swanson et al., 2013). A criação destes mapas é normalmente feita através da classificação automática de imagens de satélite. Muitos dos classificadores usados requerem a seleção de áreas de treino que caracterizem cada uma das classes a considerar, sendo estas regiões normalmente definidos manualmente pelos técnicos, através de fotointerpretação ou de dados recolhidos no terreno.

Depois da criação dos mapas estes têm de ser validados. A validação de mapas é feita recorrendo a conjuntos de dados de referência, que são normalmente compostos por uma amostra de pontos ou regiões nas quais é identificada a “verdadeira” classe, o que pode ser feito através de fotointerpretação ou de visitas de campo (Olofsson et al., 2014). A comparação da “verdade do terreno” com os mapas obtidos é feita construindo matrizes de confusão e calculando medidas de exatidão estatística, entre as quais, as mais habitualmente usadas são a “Exatidão do Utilizador”, que permite avaliar erros de comissão, a “Exatidão do Produtor”, que permite avaliar os erros de omissão presentes no mapa, e a “Exatidão Global”, que traduz a percentagem de pontos da amostra corretamente classificados (Foody, 2002).

A crescente disponibilidade de imagens de satélite, com uma resolução temporal cada vez maior, requer a identificação de métodos e fontes de informação alternativas, que permitam, por um lado, agilizar os processos de criação das amostras de treino ou de referência, e por outro lado reduzir os custos associados à recolha dos dados sobre a “verdade do terreno”. Foram já propostas fontes alternativas de dados para gerar os dados de referência, como por exemplo a utilização de mapas existentes (Mayaux et al., 2006). No entanto estas abordagens apresentam limitações.

Com o surgimento da web 2.0, foi possível aos cidadãos contribuírem para diversos tipos de projetos com dados georreferenciados. Estes dados podem ser de vários tipos, nomeadamente texto, fotografias, ou mesmo mapas vetoriais. A este tipo de informação Goodchild chamou Informação Geográfica Voluntária (IGV) (Goodchild, 2007). Na secção 2 deste artigo faz-se uma breve explicação dos tipos de IGV existentes e das suas principais características.

Na Secção 3 faz-se uma revisão dos trabalhos publicados que propõem a utilização de IGV para apoiar o processo de criação e validação de mapas de cobertura e uso do solo, quer através da criação de amostras de treino a usar para a classificação de imagens, quer na criação de dados de referência para a sua validação, quer para a criação direta destes mapas a partir da IGV.

Por fim, na Secção 4, são identificados as questões principais que se colocam com a utilização deste tipo de dados para este fim, e identificam-se tópicos que requerem investigação e desenvolvimentos futuros.

## 2 INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA VOLUNTÁRIA

Designa-se por IGV a informação georreferenciada disponibilizada por cidadãos voluntariamente. Esta designação engloba dados com características muito diferentes. Na Tabela 1 indicam-se exemplos de projetos que recolhem IGV de vários tipos.

Tabela 1 – Tipos de IGV e exemplos de projetos que recolhem os tipos de dados indicados.

<b>Tipo de IGV</b>	<b>Exemplos de projetos</b>
Texto	Facebook Twitter
Fotografias	Flickr Instagram Geograph Degree Confluence Project
Mapas vetoriais	OpenStreetMap Wikimapia WikiLoc
Videos	Facebook Twitter YouTube

Algumas das principais características da IGV são: 1) O carácter dinâmico dos dados disponíveis, uma vez que numa grande parte destes projetos os voluntários

podem contribuir continuamente, o que se traduz na variação continua dos dados disponíveis; 2) Nos projetos bem-sucedidos, que atingem elevados níveis de disseminação e popularidade entre os cidadãos, estão disponíveis grandes quantidades de dados; 3) Estes dados estão em muitos projetos disponíveis para *download* sem custos financeiros, o que permite a sua utilização para fins científicos ou mesmo operacionais; 4) a informação disponibilizada pelos cidadãos pode incluir conhecimento local privilegiado, que seria dificilmente adquirido por profissionais não conhecedores da região; 5) os dados criados por voluntários apresentam uma grande heterogeneidade em várias vertentes da qualidade, nomeadamente na qualidade posicional e temática, completude e consistência lógica ou temporal.

Todas estas questões fazem com que a IGV tenha características diferentes da informação geográfica tradicional, criada normalmente por profissionais. Estas diferenças abrem caminhos para novas oportunidades, mas também levantam vários tipos de dificuldades e novas questões. Os aspetos ligados à qualidade da IGV são um dos principais entraves à maior utilização deste tipo de dados, pelo que estão em desenvolvimento metodologias que têm como objetivo desenvolver novas formas de validar e avaliar a confiança associada a este tipo de dados (Fonte et al., 2017a)

## 3 USO DE IGV PARA A CRIAÇÃO/VALIDAÇÃO DE MAPAS DE USO E COBERTURA DO SOLO

A utilização de IGV para apoiar a criação e/ou a validação de mapas de cobertura e uso do solo foi alvo de desenvolvimentos na última década. Este tipo de utilização requer ou a criação de projetos com este objetivo ou a utilização de dados disponibilizados pelos cidadãos para outros fins, a partir dos quais é possível obter informação sobre a cobertura e uso do solo. Esta informação pode ser utilizada para: 1) a criação de conjuntos de treino de classificadores, 2) criação de dados de referência para validar mapas de cobertura/uso do solo, 3) criar diretamente a partir da IGV mapas de cobertura/uso do solo. Qualquer que seja a utilização a dar aos dados voluntários, é sempre necessário atribuir uma classe de cobertura/uso do solo a locais no terreno.

A Tabela 2 mostra os tipos de IGV usados para extrair informação sobre cobertura e uso do solo (Fonte et al., 2015a).

Tabela 2 – Tipos de IGV e projetos cujos dados foram usados para obter dados sobre cobertura e uso do solo.

<b>Tipo de IGV</b>	<b>Exemplos de projetos</b>
Fotografias e descrições	Degree Confluence Project Flickr Instagram Panoramio Geograph
Classificação de imagens	Geo-Wiki VIEW-IT
Mapas vetoriais	OpenStreetMap

### 3.1 Utilização de fotografias e descrições

A disponibilização pelos voluntários de fotografias georreferenciadas tiradas no terreno permite observar o que existe nesses locais, e em muitos casos obter informação sobre a cobertura/uso do solo.

Uma das fontes de dados utilizada foram os dados recolhidos pelo projeto *Degree Confluence Project* (<http://confluence.org/>), que tem uma cobertura global e recolhe fotografias e descrições do que se observa em pontos correspondentes ao valor inteiro da longitude e latitude em todo o planeta. A Figura 1 mostra os pontos disponíveis para o Brasil, estando os pontos onde os dados foram recolhidos representados a vermelho, os pontos com dados por recolher a cinzento e os pontos onde os dados necessários estão incompletos a azul.

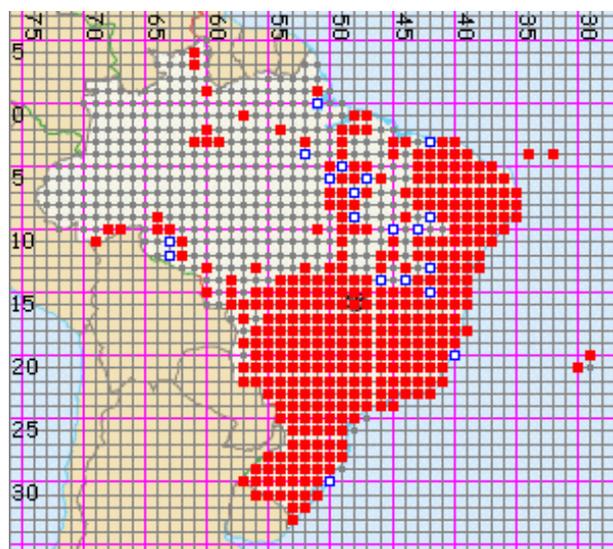


Figura 1 – Pontos com valor inteiro de latitude e longitude localizados no Brasil (731 pontos), com dados recolhidos (a vermelho – 360 pontos), com dados por recolher (a cinzento – 352 pontos), incompletos (a azul – 19 pontos). (fonte: Degree Confluence Project - copyright © 2008 by Alex Jarrett).

O facto de neste projeto ser criada uma grade de pontos igualmente espaçados para recolher os dados apresenta a vantagem de criar uma amostra sistemática de pontos (Stehman, 2009), o que apresenta características adequadas para usar na validação de mapas. Assim, estes dados foram usados como apoio para validação de mapas globais ou continentais (Foody and Boyd, 2013; Iwao et al., 2006, 2011). No entanto, devido à distância entre os pontos os dados obtidos por este projeto não podem ser usados em zonas com áreas pequenas, pois existem muito poucos pontos disponíveis. Por exemplo, em Portugal continental existem apenas 14 pontos.

A iniciativa Geograph (<http://www.geograph.org/>) tem também como objetivo recolher fotografias nas células de uma grade previamente definida (com área de

cada célula igual a 1 km<sup>2</sup>), o que permite obter dados com uma distribuição espacial conveniente para validação de mapas, e com uma grande cobertura espacial. No entanto, esta iniciativa só está disponível para o Reino Unido, Irlanda, Alemanha e Ilhas do Canal (Ilhas Anglo-Normandas), o que inviabiliza a sua utilização para criar/validar mapas de outras zonas.

Iniciativas como o Flickr e o Panoramio foram usadas como apoio para a validação de mapas de cobertura e uso do solo (Lindquist et al., 2012). No entanto, os dados disponíveis neste tipo de iniciativas, onde não existem restrições nem indicações sobre os locais onde as fotografias podem ser recolhidas, levanta problemas de representatividade, uma vez que amostras em que os dados de referência são criados apenas com esta fonte de dados estão enviesadas no que diz respeito à sua distribuição espacial, não permitindo obter amostras de referência adequadas para a obtenção de indicadores de exatidão com validade estatística (Estima and Painho, 2013; Estima et al., 2014). A Figura 2 mostra os pontos extraídos do Panoramio para uma região de cidade de Coimbra, podendo observar-se claramente uma maior concentração de pontos nas regiões mais visitadas da cidade, enquanto que as regiões agrícolas e rurais têm muito poucas fotografias disponíveis.



Figura 2 – Pontos (a amarelo) representando a localização das fotografias disponíveis no “Panoramio” para a cidade de Coimbra em 2014.

Apesar de apresentarem problemas para a utilização na validação de mapas com única fonte de informação, estas podem permitir definir zonas adequadas para treino de classificadores, desde que seja possível obter informação sobre a cobertura/uso do solo a partir das fotografias. Com o objetivo de verificar até que ponto é possível utilização de fotografias disponíveis neste tipo de projetos colaborativos, onde os cidadãos partilham

fotografias tiradas em quaisquer contextos, para a extração de classes de cobertura do solo, foi feito um estudo que demonstrou que a extração de informação sobre cobertura/uso do solo a partir destas fotografias levanta alguns problemas, como, por exemplo, o campo de visão limitado da fotografia ou a dificuldade em perceber, a partir da fotografia, o que está exatamente no local onde esta foi tirada (Antoniou et al., 2016). No entanto, esta fonte de dados não deverá ser colocada de lado, uma vez que a quantidade de fotografias disponíveis é muito grande (da ordem dos milhões) logo, mesmo que apenas uma percentagem desta seja utilizável, podem disponibilizar informação importante sobre o terreno e as condições locais.

### 3.2 Utilização de classificações feitas por voluntários

Outro tipo de dados voluntários usados para obter informação sobre cobertura/uso do solo, são classificações de imagens de satélite ou imagens aéreas feitas por voluntários. Neste caso, os voluntários executam o trabalho de fotointerpretação e atribuem uma classe de cobertura e/ou uso do solo, normalmente a partir de uma nomenclatura disponível, a locais previamente selecionados. Este é o procedimento utilizado em projetos como o Geo-Wiki (<https://www.geo-wiki.org/>) ou o View-IT (não disponível para o público em geral). O Geo-Wiki é um projeto do *International Institute for Applied Systems Analysis* (IIASA), que está disponível desde 2009. No âmbito deste projeto foram criados vários subprojectos com objetivos específicos, que permitem recolher dados para várias aplicações em várias partes do globo. Atualmente, estão ativos projetos como o Picture Pile (<http://geo-wiki.org/games/picturepile>), que tem como objetivo identificar variações observadas na cobertura vegetal em fotografias de épocas diferentes, ou o projeto FotoQuest Go (<http://fotoquest-go.org/>), que tem como objetivo recolher fotografias e informação sobre a classe de cobertura de solo que se observa numa amostra de pontos previamente selecionada no espaço europeu. Estas iniciativas estão neste momento a funcionar sob a forma de jogos, para que sejam mais apelativas para os cidadãos recorrerem os dados necessários, que são depois usados para fins científicos.

Nalguns subprojectos do GeoWiki foram recolhidos tantos dados que estes permitiram criar mapas de mapas de cobertura de solo através de métodos de regressão (See et al., 2015).

### 3.3 Utilização de mapas vetoriais criados por voluntários

Mapas vetoriais criados pelos cidadãos apresentam também potencial para ser usados para obter informação sobre a cobertura e uso do solo, em particular os mapas criados na iniciativa OpenStreetMap (<https://www.openstreetmap.org/>). Estes podem ser utilizados apenas como auxiliar através da análise visual dos mapas disponíveis, ou através da conversão dos dados

em classes de cobertura do solo, o que permite gerar mapas de cobertura/uso do solo a partir dos dados do OSM. Foi desenvolvida uma abordagem (Arsanjani et al., 2013) que mostrou que esta transformação era possível, que foi posteriormente desenvolvida e convertida num processo automático de conversão dos dados disponíveis no OSM em mapas de cobertura e uso do solo com diversas nomenclaturas, nomeadamente para a nomenclatura usada no “Urban Atlas” (<http://land.copernicus.eu/local/urban-atlas>), a nomenclatura do “CORINE Land Cover” (<http://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/>) e a nomenclatura do GlobeLand30 (<http://www.globallandcover.com/>) (Fonte et al., 2016, 2017b). A Figura 3 mostra o tipo de mapa que se pode obter a partir da conversão automática dos dados existentes no OSM (Figura 3a) para um mapa de cobertura do solo, neste caso considerando a nomenclatura de nível 2 do Urban Atlas (Figura 3b).

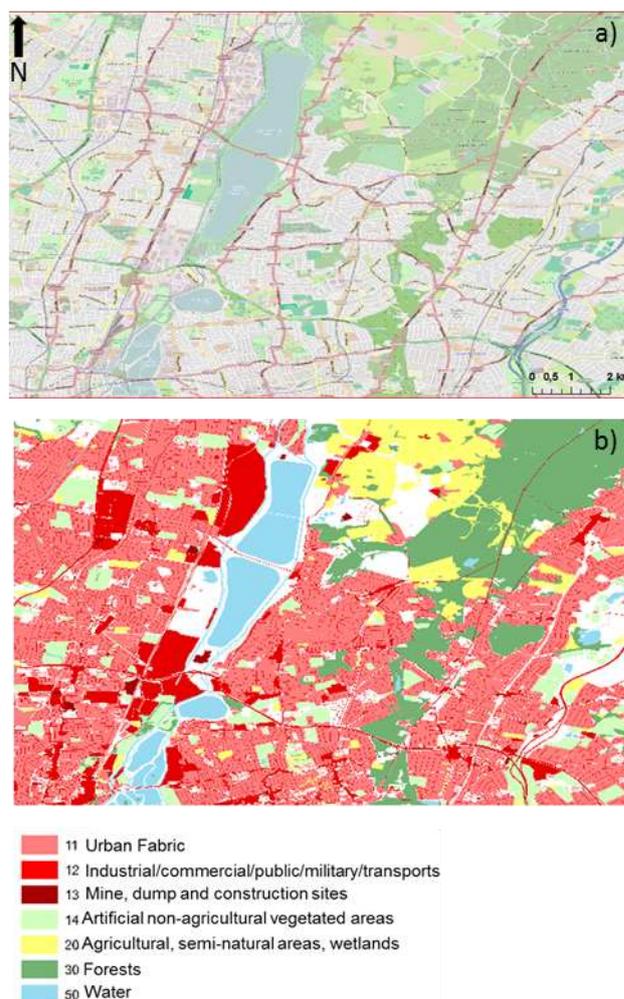


Figura 3 – a) Dados disponíveis no OSM para uma região de Londres (fonte: © OpenStreetMap contributors), b) Mapa obtido através da conversão automática dos dados do OSM para as classes do Urban Atlas.

Como se pode ver na Figura 3, quando existem zonas onde não há dados disponíveis no OSM, estas zonas ficam “vazias” nos mapas de cobertura e uso do solo resultantes. Foi demonstrado (Fonte and Martinho, 2017) que, apesar deste problema, a informação disponível pode ser útil para obter informação para a criação de dados de referência considerando uma amostra estratificada por classe. Nos locais da amostra onde não existem dados no OSM, os dados de referência podem ser obtidos com as metodologias habituais (no caso do artigo indicado referido, através de fotointerpretação). Esta abordagem permite no entanto diminuir o tempo e esforço necessário para a criação dos dados de referência, uma vez que a conversão dos dados do OSM para as classes de cobertura e uso do solo é automática (Fonte et al., 2016, 2017c). A informação disponível nestes mapas pode também ser usada para identificar áreas de treino para a classificação de imagens de satélite ou imagens aéreas (Jokar Arsanjani and Vaz, 2015).

### 3.4 Atualização de mapas com IGV

A utilização de mapas de cobertura e uso do solo globais, como o Global Land Cover (GLC2000) (<http://forobs.jrc.ec.europa.eu/products/glc2000/glc2000.php>) ou o GlobeLand30 (<http://www.globallandcover.com>) apresenta dois tipos de limitação. Por um lado, a sua criação é um processo demorado e dispendioso, pelo que não são atualizados com grande frequência, por outro lado, têm uma resolução relativamente baixa, sendo úteis para alguns tipos de aplicações, mas pouco adequados para estudos regionais mais detalhados, pois apresentam resoluções espaciais baixas. Foi feito um estudo para averiguar a utilidade dos dados disponíveis no OSM para: a) atualizar os dados do GlobeLand30, que é o mapa de uso e cobertura do solo disponível com maior resolução espacial (30m), e b) obter mapas com mais detalhe, identificando subclasses, em particular nas zonas urbanas (Fonte et al., 2017b). As metodologias utilizadas foram aplicadas a duas áreas (Catmandu - Ásia e Dar er Salaam - África) onde os dados disponíveis no OSM têm bastante detalhe, devido a campanhas decorridas no âmbito do projeto *Humanitarian OpenStreetMap Team* (HOT) (<https://www.hotosm.org/>). Os resultados mostraram que os dados disponíveis no OSM permitiram, por um lado, obter informação atualizada sobre a extensão da área urbana (principalmente em Catmandu), e sobre a localização de linhas de água (principalmente em Dar es Salaam). Além disso, foi ainda possível diferenciar classes correspondentes, por exemplo, a vias de comunicação e vegetação urbana, que não estava disponível nos mapas originais do GlobeLand30.

## 4 CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

O trabalho já realizado demonstra que a IGV pode ser útil no processo de criação e validação de mapas de cobertura e uso do solo, podendo ser usados na criação de zonas de treino, na validação de mapas, e até gerar mapas,

nomeadamente a partir dos dados disponíveis no OSM, em particular em regiões onde existe muita informação inserida disponibilizada pelos cidadãos.

Apesar de todos os resultados positivos obtidos, continua a existir uma questão fundamental que se prende com a qualidade da IGV. Em todas as aplicações acima referidas mostrou-se que os dados disponibilizados por voluntários apresentavam uma qualidade aceitável. No entanto, a qualidade da IGV é muito heterogénea, em vários aspetos. A qualidade dos dados pode, por exemplo, ser diferente em regiões diferentes, pode variar em função dos voluntários que a criaram (gerando alguns voluntários melhores dados que outros), pode ainda variar na mesma zona em função do tipo de informação. Esta natureza heterogénea e dinâmica da IGV é uma fonte de incerteza relativamente ao potencial da sua utilização para diversos fins. Assim, é necessário desenvolver metodologias que permitam minimizar os problemas levantados pela qualidade e incerteza. Neste âmbito podem identificar-se boas práticas que possam contribuir para a minimização deste problema. Algum trabalho foi já desenvolvido com este objetivo (Fonte et al., 2015b), tendo sido identificados um conjunto de boas práticas a ter em consideração na conceção das plataformas de recolha de dados voluntários, na fase de aquisição de dados posteriormente, e através do processamento adicional dos dados recolhidos (Fonte et al., 2015c). No entanto, esta continuar a ser uma área que necessita de desenvolvimento, uma vez que é fundamental conhecer a qualidade da IGV para avaliar o seu potencial de utilização em cada aplicação em particular.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi parcialmente financiado pela bolsa UID/MULTI/00308/2013 da FCT (Fundação para a Ciência e Tecnologia – Portugal).

## REFERÊNCIAS

ANTONIOU, V., FONTE, C., SEE, L., ESTIMA, J., ARSANJANI, J., LUPIA, F., MINGHINI, M., FOODY, G., AND FRITZ, S. (2016). Investigating the Feasibility of Geo-Tagged Photographs as Sources of Land Cover Input Data. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 5, 64.

ARSANJANI, J.J., HELBICH, M., BAKILLAH, M., HAGENAUER, J., AND ZIPF, A. (2013). Toward mapping land-use patterns from volunteered geographic information. *International Journal of Geographical Information Science* 27, 2264–2278.

ESTIMA, J., AND PAINHO, M. (2013). Flickr geotagged and publicly available photos: Preliminary study of its adequacy for helping quality control of Corine land cover. In *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2013*, B. Murgante, S. Misra, M. Carlini, C.M.

- Torre, H.-Q. Nguyen, D. Taniar, B.O. Apduhan, and O. Gervasi, eds. (Springer Berlin Heidelberg), pp. 205–220.
- ESTIMA, J., FONTE, C.C., AND PAINHO, M. (2014). Comparative study of Land Use/Cover classification using Flickr photos, satellite imagery and Corine Land Cover database. In **17th AGILE International Conference on Geographic Information Science**, (Castellon, Spain).
- FONTE, C.C., AND MARTINHO, N. (2017). Assessing the applicability of OpenStreetMap data to assist the validation of Land Use/Land Cover Maps. **International Journal of Geographical Information Science** *In press*.
- FONTE, C.C., BASTIN, L., SEE, L., FOODY, G., AND LUPIA, F. (2015a). Usability of VGI for validation of land cover maps. **International Journal of Geographical Information Science** 29, 1269–1291.
- FONTE, C.C., BASTIN, L., SEE, L., FOODY, G., AND ESTIMA, J. (2015b). Good Practice Guidelines for Assessing VGI Data Quality. In **Proceedings of the 18th AGILE International Conference on Geographic Information Science**, (Lisbon).
- FONTE, C.C., BASTIN, L., SEE, L., FOODY, G., KELLENBERGER, T., KERLE, N., MOONEY, P., OLTEANU-RAIMOND, A.-M., AND SEE, L. (2015c). VGI Quality Control. **ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences II-3/W5**, 317–324.
- FONTE, C.C., MINGHINI, M., ANTONIOU, V., SEE, L., PATRIARCA, J., BROVELLI, M.A., AND MILCINSKI, G. (2016). An Automated Methodology for Converting OSM Data into a Land Use/Cover Map. In **Proceedings of the 6th International Conference on Cartography and GIS**, (Albena).
- FONTE, C.C., ANTONIOU, V., BASTIN, L., ESTIMA, J., ARSANJANI, J.J., LASO-BAYAS, J., AND VATSEVA, R. (2017a). Assessing VGI data quality. In **Mapping and the Citizen Sensor**, (London: Ubiquity Press). *In press*.
- FONTE, C.C., MINGHINI, M., PATRIARCA, J., ANTONIOU, V., SEE, L., AND SKOPELITI, A. (2017b). Generating Up-to-Date and Detailed Land Use and Land Cover Maps Using OpenStreetMap and GlobeLand30. **ISPRS International Journal of Geo-Information** 6, 125.
- FONTE, C.C., PATRIARCA, J.A., MINGHINI, M., ANTONIOU, V., SEE, L., AND BROVELLI, M.A. (2017c). Using OpenStreetMap to Create Land Use and Land Cover Maps: Development of an Application. In **Volunteered Geographic Information and the Future of Geospatial Data**, (Hershey: IGI Global), p. 25.
- FOODY, G. (2002). Status of land cover classification accuracy assessment. **Remote Sensing of Environment** 80, 185–201.
- FOODY, G.M., AND BOYD, D.S. (2013). Using Volunteered Data in Land Cover Map Validation: Mapping West African Forests. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing** 6, 1305–1312.
- GOODCHILD, M.F. (2007). Citizens as sensors: the world of volunteered geography. **GeoJournal** 69, 211–221.
- IWAO, K., NISHIDA, K., KINOSHITA, T., AND YAMAGATA, Y. (2006). Validating land cover maps with Degree Confluence Project information. **Geophysical Research Letters** 33, n/a–n/a.
- IWAO, K., NASAHARA, K.N., KINOSHITA, T., YAMAGATA, Y., PATTON, D., AND TSUCHIDA, S. (2011). Creation of new global land cover map with map integration. **Journal of Geographic Information System** 3, 160–165.
- JOKAR ARSANJANI, J., AND VAZ, E. (2015). An assessment of a collaborative mapping approach for exploring land use patterns for several European metropolises. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation** 35, Part B, 329–337.
- LINDQUIST, E.J., D’ANNUNZIO, R., GERRAND, A., MACDICKEN, K., ACHARD, F., BEUCHLE, R., BRINK, A., EVA, H.D., MAYAUX, P., SAN-MIGUEL-AYANZ, J., ET AL. (2012). **Global Forest Land-Use Change 1990–2005** (Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations and European Commission Joint Research Centre).
- MAYAUX, P., EVA, H., GALLEGU, J., STRAHLER, A.H., HEROLD, M., AGRAWAL, S., NAUMOV, S., DE MIRANDA, E.E., DI BELLA, C.M., ORDOYNE, C., ET AL. (2006). Validation of the global land cover 2000 map. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing** 44, 1728–1739.
- NIE, W., YUAN, Y., KEPNER, W., NASH, M.S., JACKSON, M., AND ERICKSON, C. (2011). Assessing impacts of Landuse and Landcover changes on hydrology for the upper San Pedro watershed. **Journal of Hydrology** 407, 105–114.
- OLOFSSON, P., FOODY, G.M., HEROLD, M., STEHMAN, S.V., WOODCOCK, C.E., AND WULDER, M.A. (2014). Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. **Remote Sensing of Environment** 148, 42–57.

REDO, D.J., GRAU, H.R., AIDE, T.M., AND CLARK, M.L. (2012). Asymmetric forest transition driven by the interaction of socioeconomic development and environmental heterogeneity in Central America. **Proceedings of the National Academy of Sciences**.

SEE, L., SCHEPASCHENKO, D., LESIV, M., MCCALLUM, I., FRITZ, S., COMBER, A., PERGER, C., SCHILL, C., ZHAO, Y., MAUS, V., ET AL. (2015). Building a hybrid land cover map with crowdsourcing and geographically weighted regression. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing** 103, 48–56.

STEHMAN, S.V. (2009). Sampling designs for accuracy assessment of land cover. **International Journal of Remote Sensing** 30, 5243–5272.

SWANSON, A.K., DOBROWSKI, S.Z., FINLEY, A.O., THORNE, J.H., AND SCHWARTZ, M.K. (2013). Spatial regression methods capture prediction uncertainty in species distribution model projections through time. **Global Ecology and Biogeography** 22, 242–251.