

# A ESTAÇÃO FOTOGRAMÉTRICA DIGITAL EDUCACIONAL LIVRE E-FOTO: CONSIDERAÇÕES SOBRE O DESENVOLVIMENTO EVOLUTIVO E METAS FUTURAS

*O. Bernardo Filho<sup>1</sup>, J. L. N. S. Brito<sup>1</sup>, I. S. Badolato<sup>1</sup>,  
J. A. Ribeiro<sup>1</sup>, G. L. A. Mota<sup>1</sup>, R. D. Lima<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

**Comissão IV – Sensoriamento Remoto, Fotogrametria e Interpretação de Imagens**

## RESUMO

Este trabalho apresenta as principais funcionalidades, bem como repercussões e perspectivas do desenvolvimento contínuo de um aplicativo de software livre para o ensino e pesquisa em Fotogrametria Digital, pelo Laboratório de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto (LFSR) da UERJ. O produto ora em tela é o componente principal dos resultados do projeto de pesquisa e desenvolvimento tecnológico denominado “Projeto E-Foto”. O Projeto E-Foto visa ao desenvolvimento de materiais para uso educacional (manuais, software, dados, livro etc.). O software resultante, denominado “e-foto”, possui versões de código-fonte e pacotes de instalação para os sistemas operacionais Windows e Linux publicados desde agosto de 2002.

**Palavras-chave:** E-Foto, Software Livre para Educação em Fotogrametria, Estação Fotogramétrica Digital.

## ABSTRACT

This work presents the main functionalities, as well as repercussions and perspectives of the continuous development of a free software application for teaching and research in Digital Photogrammetry, by the Laboratory of Photogrammetry and Remote Sensing of The Rio de Janeiro State University. This free software is the main component from technological research and development project called “E-Foto Project”. The E-Foto Project aims to create materials for educational use (manuals, software, data, book, etc.). The software created is called “e-foto”, and has source code versions and installation packages for Windows and Linux operating systems released since August 2002.

**Keywords:** E-Foto, Free-Software for Education in Photogrammetry, Digital Photogrammetric Workstation.

### 1- INTRODUÇÃO

O Projeto E-Foto tem sido desenvolvido pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro, há cerca de 14 anos, por uma equipe composta por professores e alunos dos departamentos de Engenharia de Sistemas e Computação e Engenharia Cartográfica.

O projeto objetivou o desenvolvimento, em linguagem de programação de alto nível, de rotinas de fotogrametria digital, a fim de se desenvolver uma estação fotogramétrica digital com finalidade educacional. O conceito de estação fotogramétrica digital educacional envolve dois pilares básicos: a gratuidade dos programas componentes e o princípio de autoaprendizagem, permitindo a utilização da mesma sem nenhum ônus por qualquer pessoa que esteja disposta a fazê-lo.

O licenciamento de software adotado neste projeto permite o uso para averiguação da qualidade e

incorporação de novos recursos para processamento e interpretação de imagens fotogramétricas digitais por qualquer membro da sociedade, perfazendo assim um diferencial em termos da solução disponibilizada pelo Projeto E-Foto. Portanto, estudantes, profissionais do ramo e pesquisadores que utilizarem os resultados da pesquisa e inovação tecnológicas materializadas no código-fonte e nos pacotes de instalação para os sistemas operacionais Windows e Linux, não se limitarão ao uso de soluções em pacotes fechados, também chamados “caixas-pretas”, onde o acesso aos processos desenvolvidos é limitado aos interesses do proprietário; ao contrário, é esperado que qualquer interessado em fotogrametria possa não somente aprender os conceitos e algoritmos adotados, mas, sobretudo, ser capaz de criar e desenvolver suas próprias soluções e extensões para o E-Foto.

Este artigo encontra-se organizado em seis seções, sendo a última a conclusão do trabalho. Na

próxima seção são comentadas as realizações mais recentes do Projeto E-Foto, seguida da seção 3, onde são expostas as funcionalidades atualmente disponíveis no software. A seção 4 contém uma análise comparativa do Projeto E-Foto com alguns outros produtos de software para fotogrametria. Por fim, a seção 5 lista as próximas inovações a serem incorporadas pelo Projeto E-Foto.

## 2- REALIZAÇÕES RECENTES

O contínuo aperfeiçoamento do Projeto E-Foto gerou mais de 80 publicações técnico-científicas, as quais incluem trabalhos de fim de curso (de Engenharia Cartográfica e de Engenharia de Sistemas e Computação), dissertações de mestrado, teses de doutorado e artigos acadêmicos.

Podem-se destacar, a título de exemplo, três artigos mais recentemente publicados, a saber:

1. O trabalho de (Ribeiro et al., 2014), que relata os benefícios da integração do projeto E-Foto com o software MicMac o qual, por sua vez, também é usado para processar dados para fotogrametria no domínio da imagem, em linha de comando. O MicMac vem sendo desenvolvido pela *École Nationale des Sciences Géographiques*, IGN/LOEMI, na Universidade de Paris, França.
2. O trabalho de (Laranja et al., 2013), intitulado “*Mapeamento Fotogramétrico Digital: Um Estudo Comparativo da Bacia Hidrográfica do Rio Piabanha nos Ambientes E-Foto e LPS*” tratou-se do estudo, planejamento e confecção de uma metodologia de comparação entre duas estações fotogramétricas, o *Leica Photogrammetry Suite* (LPS), um software comercial do pacote *Erdas Imagine 9.2*, com o software livre educacional do Projeto E-Foto. A metodologia utilizada se mostrou capaz de comparar o E-Foto com o LPS no que diz respeito às orientações interior, exterior e às coordenadas de terreno de pontos medidos estereoscópicamente em ambas as plataformas. Com base nos resultados obtidos concluiu-se que não há diferenças significativas, em nível de confiança de 90%, entre as medidas estereoscópicas realizadas no E-Foto e no LPS.
3. O trabalho de (Moffati et al., 2013), intitulado “*Avaliação da qualidade das medições fotogramétricas realizadas na versão integrada 1.0β do software livre de fotogrametria digital e-foto*” também comparou os resultados do E-Foto com o software LPS, só que desta vez foi empregada a versão mais atual do E-Foto na época. A conclusão deste trabalho evidenciou que o software E-Foto possibilita resultados em sua metodologia de modelagem semelhantes aos obtidos com o LPS, que é um software de fotogrametria consagrado no mercado.

O Projeto E-Foto tem despertando interesse de muitas pessoas no mundo. Tal fato pode ser comprovado por intermédio das estatísticas de acesso à sua página na Internet, pelas interações em fóruns e pelas premiações internacionais. A título de exemplo, somente no ano de 2016, foram efetuados mais de 20.000 (vinte mil) *downloads* do software, sendo que aproximadamente três quartos desses tiveram origens em computadores fora do Brasil.

O reconhecimento e a qualidade do Projeto E-Foto têm impulsionado o estabelecimento de parcerias que vêm auxiliando no financiamento do projeto para o seu amplo desenvolvimento e aplicação. Pode-se citar como uma dessas parcerias, a qual foi concluída em 2012, um contrato com o Exército Brasileiro em conjunto com a Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais (FUNCATE) para criar e incorporar um módulo de fotogrametria para o Sistema de Informações Geográficas da FUNCATE que já vinha sendo desenvolvido para o Exército.

Outro exemplo de produto que adveio do reconhecimento do Projeto E-Foto foi a publicação do livro “*Digital Aerial Mapping — a Hands-On Course*” por Martin Vermeer e Getachew Tesfaye Ayehu em Helsink, na Finlândia, em novembro de 2016. Nesse livro, o Projeto E-Foto foi usado como ferramenta de fotogrametria digital. O professor Martin Vermeer interagiu diversas vezes com a equipe do E-Foto, apontando erros encontrados e fornecendo sugestões para a sua correção ao longo do tempo em que ele vinha editando o seu livro.

As correções solicitadas pelo professor Martin Vermeer e por outros usuários espalhados pelo mundo têm sido consideradas e implementadas, o que vem tornando a cada dia o Projeto E-Foto mais confiável e útil para a produção e ensino de fotogrametria.

Tal confiabilidade e qualidade do E-Foto o levou a ganhar o prêmio de segundo lugar no *Computer Assisted Teaching CONtest* (CATCON) em 2016. O CATCON é o nome de um concurso de software organizado pela *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (ISPRS) e patrocinado por empresas doadoras. O principal objetivo do concurso é promover o desenvolvimento e a disseminação de software eficaz e com interface amigável para os seus usuários, projetado e utilizado especificamente para o ensino auxiliado por computador. O projeto E-Foto já havia conquistado o prêmio de terceiro lugar em 2012 com uma versão mais antiga do software. Isso demonstra o reconhecimento internacional da relevância do projeto.

Um dos principais avanços recentes do desenvolvimento do Projeto E-Foto foi a codificação do método `saveOrthoGeoTiffEfoto (char * filename) const` da classe `Orthorectification` do pacote `photogrammetry` que faz a gravação das imagens geradas pelo Módulo de Ortoretificação em formato GeoTIFF.

Convém destacar também, como mais um dos últimos avanços do Projeto E-Foto, a adoção da biblioteca ShapeLib a qual foi empregada no Módulo de Visualização Estéreo para gravar arquivos em formato *shapefile*, do tipo vetorial, após o usuário proceder com suas atividades de restituição fotogramétrica de objetos no espaço 3D a partir das imagens fotográficas. O método que faz tal gravação de arquivo foi necessário e importante, pois ele permite a integração do E-Foto com outros produtos de software que fazem a leitura de tal formato, como é o caso dos Sistemas de Informações Geográficas.

Para finalizar o destaque das funcionalidades do E-Foto, ele também teve elaboradas customizações que atuam como *plugins* para gravação em bancos de dados segundo o padrão da Estrutura de Dados Geoespaciais Vetoriais (EDGV), que é parte da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), para o uso de imagens provenientes de aeronaves remotamente pilotadas (RPA), bem como para a integração de modelos numéricos provenientes da fotogrametria com aqueles adquiridos em áreas submersas por técnicas de batimetria e de levantamento topográfico.

### 3- FUNCIONALIDADES DISPONÍVEIS

O Projeto E-Foto possui funcionalidades para se elaborar uma aplicação fotogramétrica completa, como pode ser observado pelo seu fluxo de trabalho exibido na Figura 1. Uma aplicação fotogramétrica típica é a reconstrução 3D do terreno a partir de imagens aéreas. Entre os produtos de mapeamento derivados da fotogrametria, pode-se mencionar: 1) Modelos Digitais de Elevação (MDE) ou Modelos Digitais de Superfície (MDS); 2) Ortoimagens e Ortomosaicos digitais; 3) Banco de dados espaciais de vetores e; 4) Mapas vetoriais que mostram características artificiais ou naturais de interesse.

A Figura 1 exibe as seguintes etapas de um trabalho fotogramétrico:

- Criação e Gestão de Projetos Fotogramétricos → Nesta etapa, o E-Foto permite ao seu usuário criar um projeto fotogramétrico, definindo os seus parâmetros iniciais.
- Orientação Interior → Nesta etapa, o usuário pode reconstruir a geometria de uma imagem digital, seja por uma câmera de filme ou por uma câmera digital do tipo quadro (*frame*).
- Fototriangulação → Nesta etapa, o usuário pode calcular os parâmetros de orientação exterior para todas as imagens de um projeto fotogramétrico e as coordenadas completas do solo de pontos fotogramétricos.
- Orientação Exterior por Ressecção Espacial → Nesta etapa, os parâmetros de orientação exterior

de uma única imagem são calculados, a partir de pelo menos quatro pontos de apoio de campo ou pontos de controle.

- Visualização Estereoscópica → Nesta etapa, o usuário pode gerar as características cartográficas de interesse para fins de mapeamento (traçado vetorial).

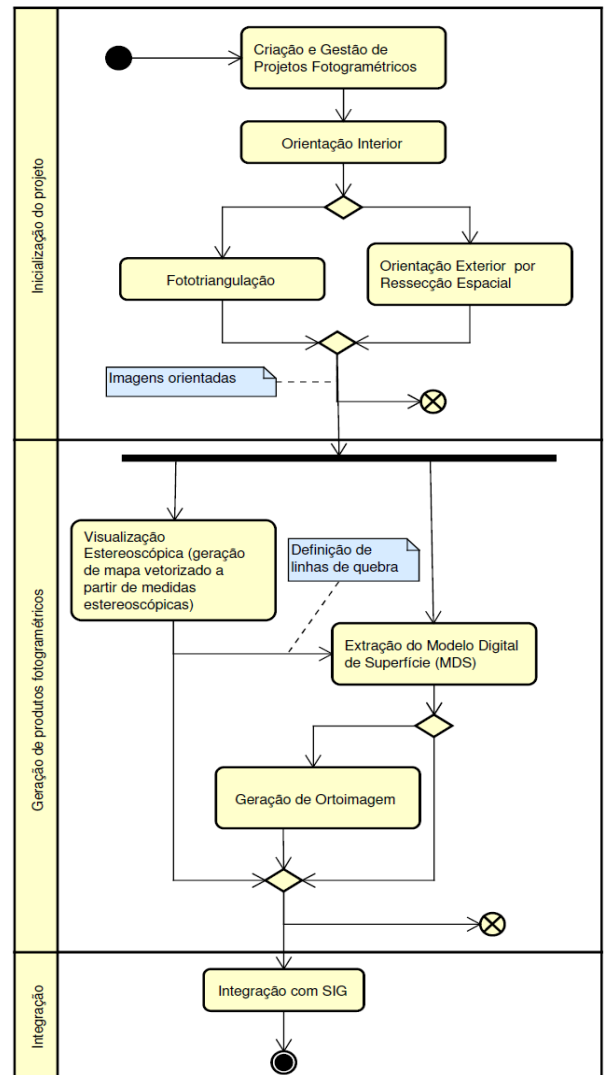


Fig. 1 – Fluxo de trabalho do software E-Foto.

- Extração do MDE e Ortorretificação → Nesta etapa, o usuário pode gerar automaticamente um modelo digital de elevação (MDE) e a partir dele executar a geração automática de uma ortoimagem.
- Integração com um Software de SIG → Nesta etapa, o usuário pode exportar os produtos do E-Foto para um software de Sistema de Informações Geográficas.

### 4- ANÁLISE COMPARATIVA

A comparação do Projeto E-Foto com outros produtos de software de fotogrametria é de suma

importância, pois, levando-se em conta a natureza educacional da estação fotogramétrica, o ensino da ciência e da tecnologia deve se manter sempre atual e aderente com o que se utiliza no mercado de trabalho que atua na área do seu objeto de estudo.

Os seguintes produtos de software de fotogrametria foram destacados para comparação com o Projeto E-Foto:

1. LPS → A comparação com esta ferramenta já foi objeto de publicação de trabalhos sobre o E-Foto como foram os casos de (Laranja et al., 2013) e (Moffati et al., 2013) já mencionados na seção 2.
2. PhotoScan → Este é um produto de software autônomo da empresa Agisoft (<http://www.agisoft.com/>), que realiza o processamento fotogramétrico de imagens digitais e gera dados espaciais em 3D para ser utilizado em aplicações nos Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Este produto foi criado para processar as fotos de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) o que ainda está sendo implementado pelo E-Foto. Todavia o E-Foto, assim como o PhotoScan, já é dotado de integração com SIGs.
3. Photomod → A família de software PHOTOMOD (<http://www.racurs.ru/?page=553>) da empresa russa RACURS compreende uma ampla gama de produtos para o processamento fotogramétrico de dados de sensoriamento remoto. Este software permite a extração de informações espaciais de quase todos os tipos de imagens disponíveis, obtidas por filmes ou câmeras digitais, VANT e por satélites imageadores de alta resolução.  
  
Este produto oferece praticamente os mesmos produtos fotogramétricos que o E-Foto; no entanto, assim como no caso anterior, ele já está preparado para processar dados oriundos de VANT o que será um próximo avanço do Projeto E-Foto.
4. PhotoModeler → Este produto é uma aplicação de software que realiza modelagem baseada em imagens e em medições 3D a partir de fotografias terrestres, o que é denominado de “fotogrametria a curta distância”. A fotogrametria terrestre pode significar o uso de fotografias tiradas do chão com uma câmera de mão, ou tiradas de um VANT em altitude relativamente baixa (Luhmann, 2006). O PhotoModeler (<http://www.photomodeler.com/index.html>), lançado pela primeira vez em 1993, foi o primeiro sistema de fotogrametria digital e de modelagem baseada em imagem totalmente digital.

A versão atual do E-Foto ainda não está capacitada para processar imagens terrestres, embora ele possua as demais funcionalidades presentes no PhotoModuler.

## 5- METAS FUTURAS

Para próximas versões, o time de desenvolvimento, que conta com docentes do quadro permanente da UERJ, além de seus alunos de graduação e pós-graduação ou com colaboradores externos a ela, está levantando os requisitos para criar uma versão 2.0 do software. Desse modo, as perspectivas apontam para um sistema distribuído, com simplificação dos modelos de dados e adoção de interfaces que permitam abstrair detalhes de implementação, onde seja possível viabilizar uma melhor modularização dos processos e acelerar a distribuição de revisões.

Julga-se que tal estratégia venha a permitir a colaboração mais ativa dos membros da comunidade. Do ponto de vista do usuário com menor nível de comprometimento, entende-se a necessidade de manutenção de uma aplicação com interface gráfica. Para usuários mais avançados observa-se a necessidade de suporte nativo à extensão por linguagens de script.

Destacando, as próximas funcionalidades do Projeto E-Foto a serem desenvolvidas encontram-se listadas a seguir:

1. Além da gravação do formato GeoTIFF já disponível, pretende-se que o E-Foto possa também ler esse formato de arquivo.
2. Possibilidade também de leitura de arquivo de imagem em formato EXIF.
3. Adequação ao processamento de imagens provenientes de VANT, ora em desenvolvimento.
4. Restituição 3D/publicação no Google Earth e em EDGV.
5. Implementação do E-Foto de forma distribuída, envolvendo desde a arquitetura cliente-servidor direta, como também o emprego de *web service* de modo a possibilitar um processamento on-line de cálculos fotogramétricos.
6. Compatibilização com linha de comando (console) e com interpretador de scripts embarcado.
7. Uso mais amplo da biblioteca GDAL, Biblioteca de Abstrações de Dados Geoespaciais, a qual possibilitará o tratamento de imagens grandes cujos arquivos são da ordem de gigabytes.
8. Uso da biblioteca de cálculos fotogramétricos fornecida pelo software MicMac. O MicMac é utilizado em diversos cenários de reconstrução 3D e diferentemente do Projeto E-Foto, ele privilegia a interface de linha de comando, o que pode intimidar o usuário iniciante, porém possui uma biblioteca poderosa e bem amadurecida de cálculos fotogramétricos que pode ser utilizada pelo E-Foto para acelerar o desenvolvimento de novos módulos, notadamente no que tange ao uso de imagens de VANT.

A Figura 2 exibe a arquitetura prevista para a versão 2.0 do Projeto E-Foto, cujo desenvolvimento continuará seguindo a prática de programação em camadas, baseada no padrão *Model, View, Controller* (MVC), o qual favorece a manutenção de código e permite um projeto melhor estruturado.

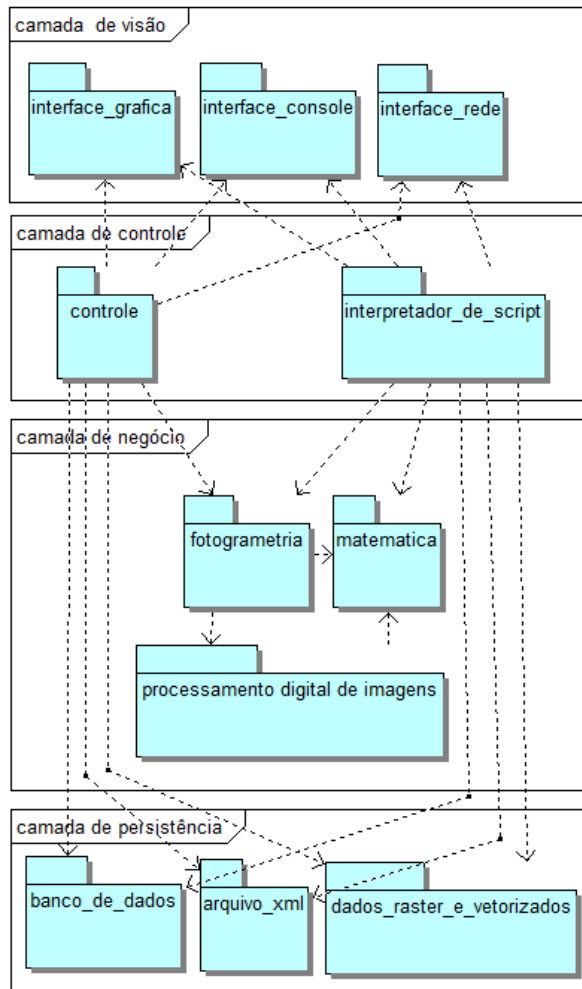


Fig. 2 – Arquitetura da versão 2.0 do Projeto E-Foto.

Na Figura 2, podem-se observar todas as camadas do E-Foto, a saber:

**Camada de visão** → conterà os pacotes com a implementação da interação do software com o ambiente externo, ou seja, o pacote *interface\_grafica* responsável pela criação e manipulação de janelas, o pacote *interface\_console*, responsável pelo acionamento das funcionalidades do E-Foto via linha de comando, e o pacote *interface\_rede*, responsável pela comunicação entre o servidor do E-Foto e um programa cliente.

**Camada de controle** → conterà a implementação do pacote *controle* responsável pela interação com todas as camadas, além da codificação das classes do pacote *interpretador\_de\_script*, responsável pela execução de novas funcionalidades do E-Foto criadas pelo usuário.

**Camada de negócio** → conterà o pacote responsável pelo processamento dos produtos fotogramétricos

propriamente ditos do E-Foto. Tal pacote, chamado de *fotogrametria*, utilizará os pacotes *matematica* e *processamento digital de imagens* como suporte para auxiliar em seus cálculos.

**Camada de persistência** → conterà o pacote com a implementação das classes para acessar banco de dados espaciais (*banco\_de\_dados*), o pacote responsável pela leitura e gravação de informações no arquivo XML (*arquivo\_xml*) e o pacote que armazena os resultados do processamento do E-Foto, em formato vetorial (*shapefile*) ou raster (*dados\_raster\_e\_vetorizados*).

## 6- CONCLUSÕES

O desenvolvimento do Projeto E-Foto tem contribuído bastante para a formação dos profissionais que atuam na sua área, pelo fato de ter qualidade e de ser um software livre. Ele foi selecionado recentemente pelo site GISGeography (<http://gisgeography.com/open-source-remote-sensing-software-packages/>) de classificação de software livre para geoprocessamento, como um dos 13 melhores.

A partir da análise comparativa (seção 4) é possível concluir que diversos produtos de software no mercado possuem funcionalidades especializadas para certas aplicações. Na medida em que o Projeto E-Foto incorpore tais funcionalidades especializadas, ele pode se tornar uma das ferramentas livre de fotogrametria mais completas e existente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Laranja, R.M., N.C. Correa e J. L. Brito, 2013. Mapeamento Fotogramétrico Digital: Um Estudo Comparativo da Bacia Hidrográfica do Rio Piabanha nos Ambientes E-Foto e LPS, em Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, J. C. Epiphanyo e L. S. Galvão eds. pp. 2134-2140.

Luhmann, T.; K. Robson; Kyle e Harley 2006, Close Range Photogrammetry: Principles, Methods and Applications, Dunbeath, Scotland: Whittles Publishing.

Moffati, M.S., J.L.N.S. Brito, L.G. Barbosa, G.L.A. Mota e J.G. Bahia, 2013. Avaliação da qualidade das medições fotogramétricas realizadas na versão integrada 1.0β do software livre de fotogrametria digital e-foto, em Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, J.C. Epiphanyo e L. S. Galvão eds. pp. 2092-2099.

Ribeiro, J.A., M. Pierrot-Deseilligny, J.L.N.S. Brito, O. Bernardo Filho e G. L.A. Mota, 2014. The Synergy of Open-Source Educational Software Development: The integration of the E-Foto and MicMac Software tools for Digital Photogrammetry, em Proceedings of the 3rd Open Source Geospatial Research & Education Symposium OGRS, Jolma, Ari, Sarkola, Pekka, Lehto e Lassi eds. pp. 47-54.