

# Projeto E-FOTO: O Desenvolvimento de um Ambiente Integrado para o Ensino de Fotogrametria Digital em Software Livre

Jorge L. N. e S. Brito<sup>1</sup>, Luiz C. T. Coelho Filho<sup>1</sup>, Francisco J. C. da Silveira<sup>1</sup>,  
Guilherme L. A. Mota<sup>2</sup>, Orlando Bernardo Filho<sup>2</sup>, João A. Ribeiro<sup>2</sup>, Marcelo T.  
Silveira<sup>2</sup> e Rodrigo J. M. da Fonseca<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia Cartográfica

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia de Sistemas e Computação  
Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) – Rio de Janeiro, RJ – Brasil

efoto@yahoogroups.com

***Abstract.** The academic community has been experiencing the benefits of the development of Free-software in many areas of knowledge. However, Digital Photogrammetry is a field that remains practically unexplored. One exception is the E-FOTO project which aims at developing a Digital Photogrammetric Workstation (DFW) for educational purposes. This project is based upon the self-learning approach and on the principles of the Free-Software community. The E-FOTO project brings the only GNU/GPL educational DFW integrating an environment for teaching and self-learning of Digital Photogrammetry. This paper presents the main achievements and repercussions of E-FOTO.*

***Resumo.** A comunidade acadêmica vem experimentando os benefícios da filosofia de Software Livre em diversas áreas do conhecimento. Contudo, o campo da Fotogrametria Digital ainda permanece praticamente inexplorado. Uma exceção é o projeto E-FOTO que visa ao desenvolvimento de uma Estação Fotogramétrica Digital (EFD) com finalidade educacional. Este projeto baseia-se na filosofia de auto-aprendizagem e na gratuidade dos programas componentes, em código aberto e livre, atendendo aos princípios da comunidade de Software Livre. O projeto E-FOTO desenvolve e disponibiliza o único ambiente GNU/GPL integrado por uma EFD para ensino e auto-aprendizado de Fotogrametria Digital. Este trabalho apresenta as principais realizações e repercussões do E-FOTO.*

## 1. Introdução

**Fotogrametria** é o conjunto de técnicas e rotinas de processamento de imagens fotográficas, visando à modelagem e à reconstituição do espaço tridimensional (espaço-objeto) por intermédio de imagens bidimensionais (espaço-imagem). O estado da arte da fotogrametria é representado pela **fotogrametria digital**, que emprega imagens digitais ou digitalizadas e métodos e processos computacionais. O equipamento capaz de executar esse conjunto de tarefas denomina-se **Estação Fotogramétrica Digital** (EFD) – estação de trabalho voltada para a execução de tarefas fotogramétricas [Brito e Coelho Filho 2005].

A fotogrametria digital é usada em diversas áreas do conhecimento, que vão da

Realidade Virtual, à Medicina (por exemplo, a quantificação volumétrica de nódulos pulmonares a partir de imagens de um tomógrafo helicoidal [Mota e Brito 2005]), passando pelo levantamento não-invasivo de sítios arqueológicos e monumentos históricos, denominada **fotogrametria arquitetônica** [Kraus 2000]. Além de, no contexto da Engenharia Cartográfica, ser empregada para a reconstrução da superfície terrestre, bem como de sua cobertura.

A tecnologia de fotogrametria digital começou a ser utilizada em larga escala a partir de 1995, tendo chegado ao Brasil a partir de 1998 [Brito e Coelho Filho 2005]. Entretanto, devido ao elevado custo das EFDs comerciais – da ordem de milhares de dólares – e à falta generalizada de recursos financeiros, em geral, os programas acadêmicos brasileiros que oferecem em seus *curricula* matérias relacionadas à fotogrametria apresentam escassez de equipamentos modernos. Em consequência, estudantes e pesquisadores raramente têm acesso a equipamentos fotogramétricos de última geração. Além disto, mesmo em instituições com recursos suficientes para a aquisição de EFDs comerciais, os pesquisadores e estudantes não raramente encontram-se impossibilitados de incorporar às mesmas novos algoritmos, que porventura estejam sendo desenvolvidos, devido a arquitetura fechada das EDF proprietárias. Portanto, sua utilização com finalidades didáticas e de pesquisa é demasiadamente limitada.

Por outro lado, é importante observar que, apesar de todos os avanços de aplicações de *software* livre no ambiente acadêmico, a área de fotogrametria digital permanece ainda hoje como um campo praticamente inexplorado, fato que reafirma o caráter inovador do projeto E-FOTO, que desenvolve um ambiente integrado para o ensino de fotogrametria digital em *software* livre que incorpora uma EFD educacional.

Este trabalho tem por objetivo apresentar à comunidade brasileira de *software* livre uma visão geral do desenvolvimento e das principais repercussões obtidas pelo projeto E-FOTO, tanto no ambiente acadêmico, quanto na comunidade fotogramétrica.

## **2. O Projeto E-FOTO**

O projeto E-FOTO tem por objetivos a pesquisa, o desenvolvimento e a implementação de um ambiente para o ensino e auto-aprendizagem de fotogrametria digital, a partir de duas premissas básicas [Brito e Coelho Filho 2002]: (1) a liberdade dos programas componentes, em consequência da utilização da licença GNU/GPL e; (2) do livre uso da documentação associada, sob licença GNU/FDL – tudo acessível no endereço eletrônico [www.efoto.eng.uerj.br](http://www.efoto.eng.uerj.br).

O Projeto E-FOTO teve seu início marcado por um projeto de final de curso de Graduação em engenharia cartográfica no Instituto Militar de Engenharia, em 2002 [Coelho Filho 2002]. Atualmente, o projeto E-FOTO está em andamento no contexto do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Computação, área de Concentração Geomática (PGEC Geomática), da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Nesta instituição, contando com suporte financeiro do CNPq, torna-se um projeto interdisciplinar, agregando pesquisadores e alunos, tanto de graduação, quanto de pós-graduação, com diferentes formações.

A vertente principal do projeto E-FOTO envolve o desenvolvimento e o gerenciamento de uma Estação Fotogramétrica Digital educacional dentro do paradigma do *software* livre. Em linhas gerais, EFDs executam diferentes tarefas do fluxo de

trabalho fotogramétrico, cada uma realizada por um diferente **módulo** – subsistema da EFD. O projeto E-FOTO desenvolve e disponibiliza o único ambiente para ensino e auto-aprendizado de Fotogrametria Digital livre e integrado por uma EFD educacional.

Outro aspecto do projeto que deve ser destacado corresponde à filosofia de auto-aprendizado, considerando três níveis de interação entre o usuário e o sistema. No nível 1, enquadram-se os usuários que desejam apenas realizar alguma tarefa fotogramétrica utilizando os executáveis. Os documentos de ajuda *on-line* dos módulos, que abrangem sua utilização e os conceitos básicos de fotogrametria associados, foram concebidos para atender às necessidades deste grupo. Os usuários do nível 2 desejam também entender o funcionamento dos algoritmos. Para isso, contam com um livro eletrônico, *e-book*, em fotogrametria digital [Brito e Coelho Filho 2005] que cobre os principais temas da fotogrametria. Sob a forma de um tutorial, o *e-book*, cujo estudo não requer conhecimento prévio de fotogrametria, apresenta, além dos princípios teóricos, as equações, algoritmos e comparações entre métodos e resultados. No nível 3, após os níveis 1 e 2, os interessados podem participar ativamente do projeto, melhorando o código, enviando sugestões e desenvolvendo novos módulos, textos e algoritmos.

### 3. Modelagem da Estação Fotogramétrica Digital Educaional

A análise e projeto orientado a objetos (APOO) do conjunto do processo fotogramétrico, modelo orientado a objetos da EFD educacional, abordado na presente seção, destina-se principalmente aos usuários dos níveis 2 e 3. Seu desenvolvimento é tema da dissertação de mestrado do aluno Rodrigo Jardim Monteiro da Fonseca, em andamento no PGEC Geomática da UERJ.

A figura 1 apresenta o diagrama de classes UML da EFD do projeto E-FOTO, produzido durante a APOO. Diagramas de Classes UML apresentam umacoleçãodeclasses e suas inter-relações no domínio de um dado problema, expressando a estrutura estática do sistema. Sua utilização permite a distribuição das estruturas de dados e das funcionalidades necessárias.

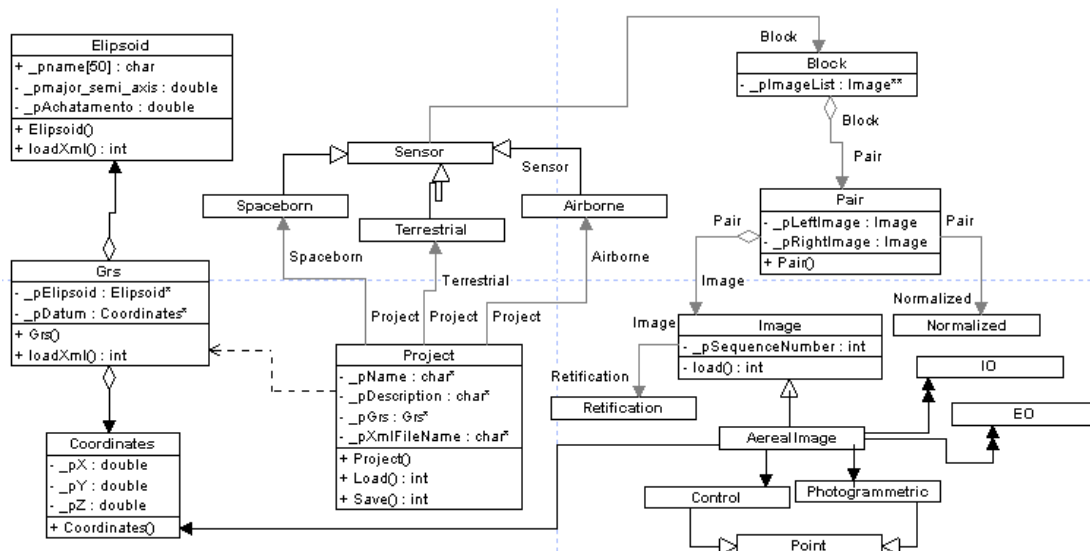


Figura 1. Diagrama de classes da EFD educacional

Neste contexto, **classe** corresponde a um modelo genérico, em *software*, que traduz o conjunto de características (dados) e comportamentos (métodos) comuns a uma categoria de entidades do mundo real ou abstrato.

No centro da porção inferior da figura 1, pode ser observada a classe *Project*, que compreende a estrutura para a representação de projetos fotogramétricos. Esta classe possui uma relação de dependência com a classe *Grs*, que modela Sistemas Geodésicos de Referência, e associação com uma das subclasses da hierarquia de sensor – *Spaceborn*, *Terrestrial* e *Airborn*. Desta forma, a APOO permite a definição de projetos baseados em imagens obtidas por sensores carregados por plataformas aéreas, orbitais (satélites), ou terrestres fixas [Brito e Coelho Filho 2005].

#### 4. Implementação

O modelo definido pela APOO, apresentado na seção anterior, corresponde à recentemente iniciada implementação da geração 2 da EFD. Dentre as classes implementadas, podem ser enumeradas: ***Project***; ***Coordinates***; ***Elipsoid***; e ***Grs***. A geração 1 do projeto E-FOTO, que não segue a mesma APOO, está sendo finalizada. Dentre os módulos atualmente disponíveis na página, se encontram: **Orientação Interior**; **Orientação Exterior**; **Visualização e Medição Estereoscópicas**; **Intersecção Espacial**; **Extração do Modelo Numérico de Elevações**; e **Restituição Digital**. Os módulos de **Normalização** e **Ortorectificação** estão sendo finalizados. Apesar das diferenças, ambas as linhas de desenvolvimento seguem o paradigma da orientação a objetos, utilizando a linguagem C++ em ambiente de *software* livre com base na plataforma *linux*. As interfaces gráficas da geração 1 empregam a biblioteca Qt, versão 3, com licenciamento para código aberto. Entretanto, está previsto, para o desenvolvimento da interface gráfica da geração 2, o uso da versão 4 da Qt.

#### 5. Resultados Obtidos

Como exemplo dos resultados do projeto, serão apresentadas descrições sucintas do módulo de **Retificação** e do módulo de **Visão e Medição Estereoscópicas**:

##### 5.1. Retificação

O módulo de retificação foi concebido para que o usuário da EFD educacional possa acompanhar visualmente os resultados de diversas transformações geométricas [Bernardo Filho *et al.* 2004]. Assim, é possível comparar os resultados produzidos pelos diferentes métodos e escolher a transformação mais adequada ao problema.

O módulo de retificação aborda seis tipos de transformações geométricas de imagens 2D, além de quatro soluções de interpolação de pixels. O usuário pode acompanhar o desenrolar de sua transformação geométrica, visualmente e através de um relatório que mostra os parâmetros de entrada, os valores intermediários e os parâmetros da qualidade do procedimento. A figura 2 (a) apresenta a tela principal deste módulo.

##### 5.2. Visão e Medição Estereoscópicas

O módulo em questão permite realizar tanto a visualização 3D quanto a medição estereoscópica, tendo sido tema de dissertação de mestrado de Marcelo Teixeira Silveira [Silveira 2005], desenvolvida no âmbito do PGEC Geomática, da UERJ. O objetivo

deste trabalho foi a recriação do modelo de medição fotogramétrica realizado a partir de um par de imagens, um estereoscópio e uma barra de paralaxe. Para isto, foi estudada a adaptação de técnicas de visualização em estereoscopia para um sistema digital.

Este módulo permite a medição da altura de objetos nas imagens através de duas técnicas de visualização: separação espacial e separação espectral [Brito e Coelho Filho 2005]. A figura 2 (b) exibe a tela principal do presente módulo.

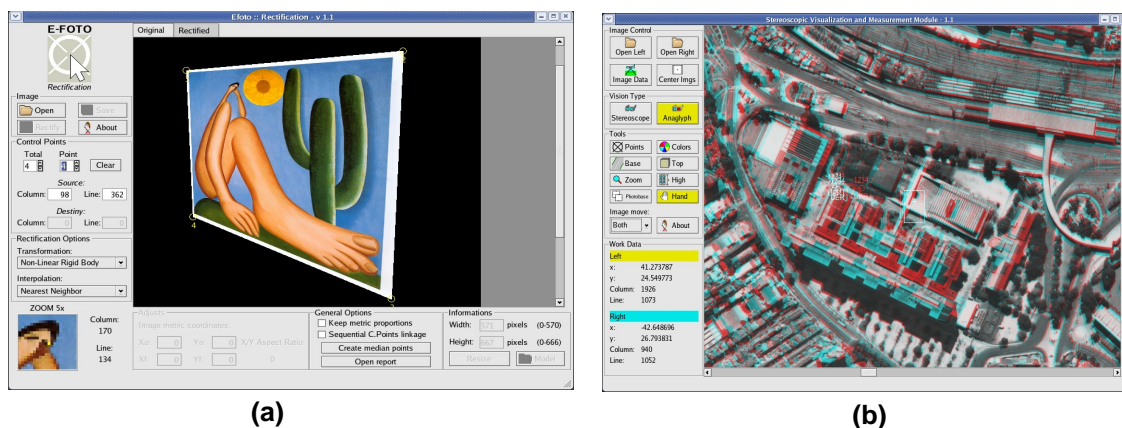


Figura 2. (a) Módulo de Retificação (b) Módulo de Visão e Medição Estereoscópicas.

## 6. Perspectivas Futuras

Paralelamente à implementação da geração 2, o modelo produzido na APOO vai sendo aperfeiçoado. Há a expectativa de que este trabalho facilite a colaboração de desenvolvedores externos e torne a integração dos módulos mais efetiva. Este modelo norteará as implementações das interfaces dos módulos da geração 2 da EFD educacional.

Pelo lado dos usuários, há um grande potencial de utilização deste sistema por estudantes universitários, tanto em nível de graduação quanto de pós-graduação. Uma prova desta tendência é o aumento do número de acessos mensais à página do projeto, que saltou de uma média de 150, em agosto de 2005, para cerca de 1000, em fevereiro de 2006.

Outra característica importante do projeto é a formação e capacitação de recursos humanos para o desenvolvimento de *software* livre em ambiente cooperativo. É importante frisar o fato de que para muitos dos desenvolvedores, inclusive dentre os atualmente entusiastas do *software* livre, o projeto E-FOTO foi o primeiro contato regular com esta filosofia. Para universalizar e homogeneizar o conhecimento da equipe, principalmente no tocante ao desenvolvimento de tecnologias livres, a definição de cada etapa do projeto carrega dentre seus objetivos o desenvolvimento das habilidades de cada participante. Desta forma, a partir do ambiente universitário, o projeto contribui para o crescimento da comunidade de *software* livre.

## 7. Conclusão

O projeto E-FOTO, que visa o desenvolvimento de um ambiente educacional para o ensino e auto-aprendizado de fotogrametria digital, leva os benefícios dos princípios das tecnologias livres a um campo extremamente carente. Sobretudo, deve ser salientado

seu caráter pioneiro e inovador, já que este projeto desenvolve o único ambiente GNU/GPL integrado por uma EFD educacional disponível para o ensino e auto-aprendizado nesta área.

Como resultados do projeto, devem ser listadas a EFD educacional, os respectivos manuais, a produção bibliográfica e o *e-book* GNU/FDL sobre fotogrametria digital [Brito e Coelho Filho 2005]. Os programas e todo material restante podem ser acessados livremente na página [www.efoto.eng.uerj.br](http://www.efoto.eng.uerj.br). Deve ser destacado, que o desenvolvimento deste ambiente tem grande importância para o avanço do conhecimento no campo da fotogrametria digital em nosso país, permitindo que estudantes e pesquisadores se familiarizem com o uso e desenvolvimento de algoritmos fotogramétricos. Assim, os interessados neste tema não ficam limitados a pacotes fechados, criados por empresas que, estrategicamente, mantêm as soluções em segredo.

Outro aspecto importante do projeto é a formação e capacitação de recursos humanos para o desenvolvimento de *software* livre em ambiente cooperativo e a propagação da filosofia do conhecimento livre.

## 8. Agradecimentos

Os autores gostariam de expressar sua gratidão pelo apoio institucional e financeiro recebido da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq.

## Referências

- Bernardo Filho, O., Ribeiro, J. A., da Silva, R. P., Brito, J. L. N. e S. e Bastos, D. L. (2004) “E-FOTO: Módulo de Retificação de Imagens em uma Estação Fotogramétrica Digital”, In: Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia – GO, Brasil.
- Brito, J. L. N. e S.; Coelho Filho, L. C. T. (2002) “The E-Foto Project: An Educational Digital Photogrammetric Workstation.” In: ISPRS Commission VI Mid Term Symposium on New approaches for Education and Communication, 2002, São José dos Campos.
- Brito, J. L. N. e S.; Coelho Filho, L. C. T. (2005) “Fotogrametria digital”, e-book, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, [www.efoto.eng.uerj.br](http://www.efoto.eng.uerj.br).
- Coelho Filho, L. C. T. (2002) “Projeto E-FOTO: Uma Estação Fotogramétrica Digital Educacional”, Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação em Engenharia Cartográfica - Instituto Militar de Engenharia. 55 páginas.
- Kraus, K. (2000) Photogrammetry v. 1: Fundamentals and Standard Processes, Dümmlerbuch, Vienna, 398 páginas.
- Mota, G. L. A. e Brito, J. L. N. e S. (2005) “Projeto Tomógrafo: Cálculo do Volume de Nódulos Pulmonares a Partir de Imagens de um Tomógrafo Helicoidal”, Projeto de Fixação de Pesquisador. FAPERJ, Rio de Janeiro, RJ, 2005 (em andamento)
- Silveira, M. T. (2005) “Visualização e Medição Estereoscópica em Imagens Fotogramétricas Digitais”, Dissertação de Mestrado em Engenharia de Computação. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 104 páginas.