



## Fototriangulação

**Autores:** Lia de Souza e Simões Figueiredo, Rodrigo Dacome Lima, e Letícia de Assis Gomes da Silva

Revisão: Jorge Luís Nunes e Silva Brito

## Introdução

A Fotogrametria é a técnica que tem por objetivo recriar a geometria do espaço objeto a partir do espaço imagem, possibilitando obter dados deste espaço objeto com precisão conhecida. Divide-se em fotogrametria orbital, área e terrestre e nas chamadas aplicações especiais.

O espaço imagem é composto por imagens fotográficas, que são tomadas em faixas, de forma a terem superposição longitudinal e lateral. A superposição longitudinal é necessária para garantir o exame estereoscópico; a superposição lateral assegura a existência de áreas em comum entre as faixas, possibilitando a ligação entre as mesmas. Recomenda-se a superposição longitudinal de 60% e lateral de 20 a 30% para a execução de um recobrimento aerofotogramétrico para fins de mapeamento topográfico; contudo os valores dessas superposições poderão variar, em função dos requisitos técnicos do projeto.

A **Fototriangulação** é a técnica de cálculo e ajustamento das coordenadas dos centros de perspectiva e dos ângulos de atitude do sensor no momento da aquisição de cada uma das imagens fotográficas que compõem um bloco fotogramétrico, de forma a permitir a obtenção de coordenadas tridimensionais no espaço objeto (terreno) a partir do espaço imagem.

A fototriangulação pode ser feita pelo Método dos Modelos Independentes ou pelo Método de Ajustamento por Feixes Perspectivos. No caso de fotografias aéreas, normalmente utiliza-se o termo aerotriangulação ou triangulação aérea. O Método dos Modelos Independentes trata apenas um modelo (área de superposição longitudinal entre duas imagens consecutivas) de cada vez. O Método de ajustamento por feixes perspectivos, conhecido também como múltipla resseção espacial ou *bundle block adjustment*, caracteriza-se pelo fato de todas as imagens fotográficas que compõem o espaço imagem terem suas coordenadas do respectivo centro de perspectiva – CP – e os respectivos ângulos de atitude ajustados de forma conjunta e simultânea. Quando esta operação é realizada para apenas uma imagem recebe a denominação particular de resseção espacial.

No software livre e-foto foi implementada a fototriangulação pelo método dos feixes perspectivos para imagens aerofotogramétricas digitais ou digitalizadas. Mais detalhes sobre este método podem ser encontrados em (SILVEIRA, F. J. C., **Fototriangulação pelo método dos feixes perspectivos**, Rio de Janeiro, 2004).



Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ  
Laboratório de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto  
Projeto E-Foto

## Fototriangulação

**Autores:** Lia de Souza e Simões Figueiredo, Rodrigo Dacome Lima, e Letícia de Assis Gomes da Silva

Revisão: Jorge Luís Nunes e Silva Brito

## Apresentação

Após executar o Software Livre E-Foto aparecerá a sua respectiva tela de abertura, conforme mostrado na figura 1 a seguir. No menu principal temos as opções **Project**, **Execute** e **Help**.



Figura 1 – Tela inicial de abertura do E-Foto.



## Fototriangulação

**Autores:** Lia de Souza e Simões Figueiredo, Rodrigo Dacome Lima, e Letícia de Assis Gomes da Silva

**Revisão:** Jorge Luís Nunes e Silva Brito

## Iniciando a Fototriangulação

**Passo 1:** Para executar a fototriangulação, na tela **Project Manager**, do software e-Foto, devemos buscar a opção **Project** e, em seguida, **Load File**.

Uma janela se abrirá e permitirá ao usuário navegar pelos diretórios até encontrar a pasta onde foi gravado o arquivo do projeto fotogramétrico (*Caso você não esteja familiarizado com a criação de um projeto fotogramétrico no ambiente e-foto sugerimos que consulte e execute o respectivo tutorial, disponível na página principal do e-foto*) no formato epp, que contém os pontos de controle cadastrados no projeto e os valores dos parâmetros das orientações interior das imagens que formam o bloco, conforme mostra a figura 02 a seguir. Para esse exemplo, utilizaremos o arquivo “UERJ\_io-pontos.epp”.

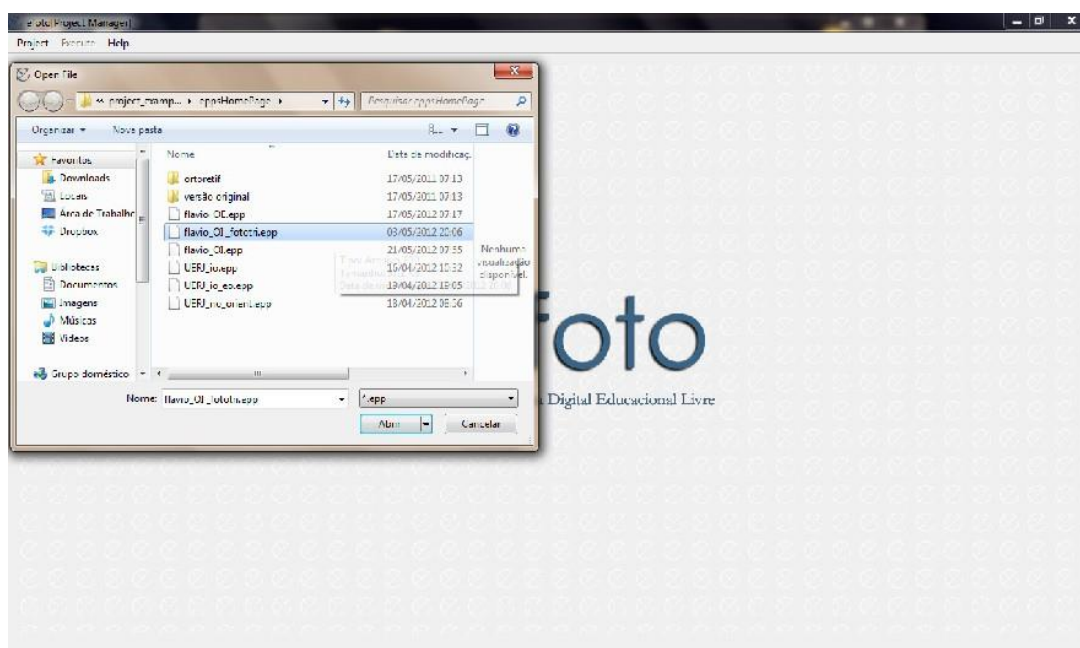


Figura 2 – Tela inicial de carregamento do Projeto Fotogramétrico a partir do qual a Fototriangulação será realizada.



## Fototriangulação

**Autores:** Lia de Souza e Simões Figueiredo, Rodrigo Dacome Lima, e Letícia de Assis Gomes da Silva

Revisão: Jorge Luís Nunes e Silva Brito

**Exemplo 1:** Fototriangulação a partir das 3 imagens-exemplo do Projeto Fotogramétrico sobre o Campus Maracanã da UERJ. Essas imagens estão disponíveis no seguinte endereço: <<http://www.efoto.eng.uerj.br/br/dados-e-exemplos>>.

**Passo 2:** Vamos começar com a Fototriangulação. No menu, opte por **Execute** e em seguida **Phototriangulation**, conforme mostra a figura 3 a seguir.

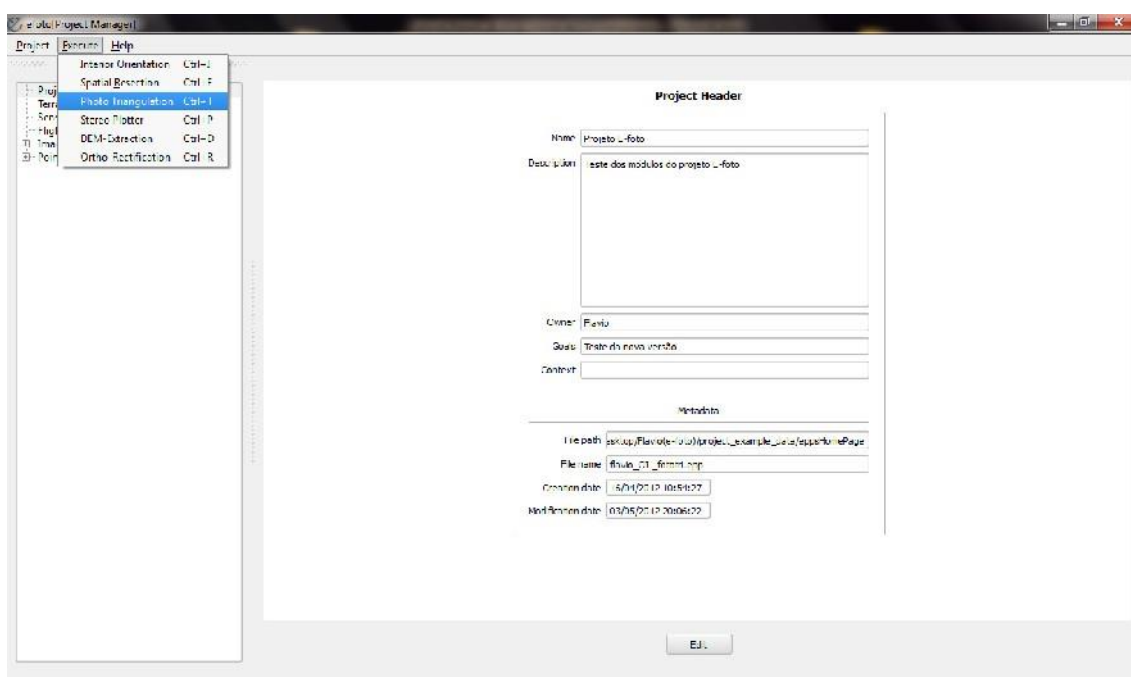


Figura 3 – Chamada para a Fototriangulação no ambiente e-foto integrado.



## Fototriangulação

**Autores:** Lia de Souza e Simões Figueiredo, Rodrigo Dacome Lima, e Letícia de Assis Gomes da Silva

**Revisão:** Jorge Luís Nunes e Silva Brito

**Passo 3:** Após o comando **Execute**, a respectiva janela da fototriangulação se abrirá conforme mostra a figura 4 a seguir.

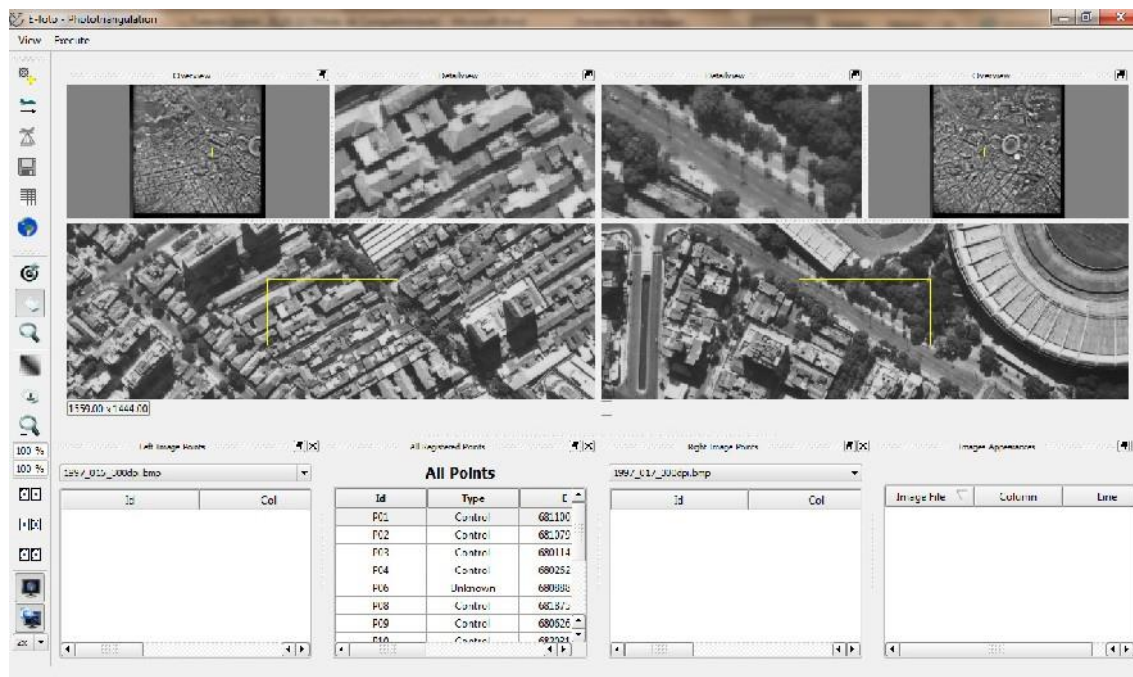


Figura 4 – Tela principal da Fototriangulação.

Observe que as imagens 16 e 17 estão carregadas na tela conforme destacado em imagem ampliada na figura 4b a seguir.

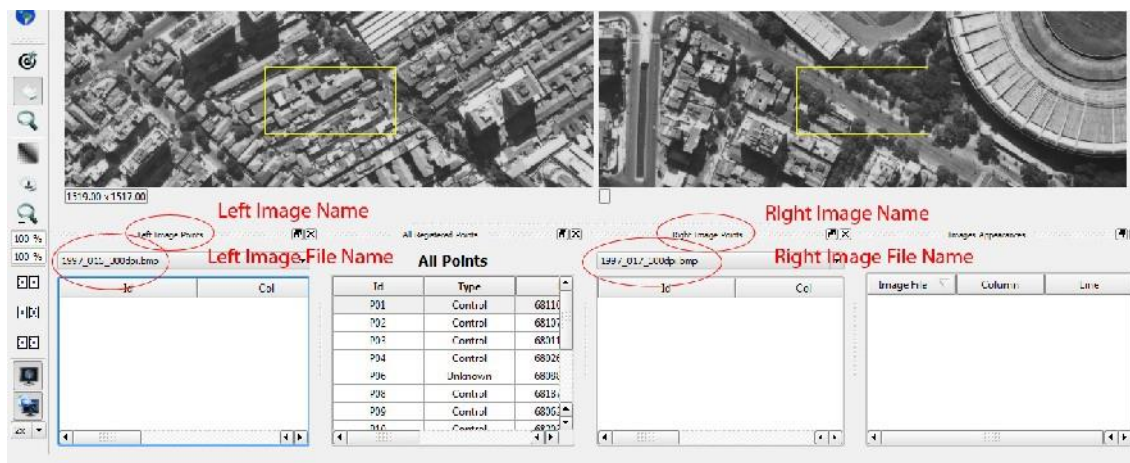


Figura 4b – Detalhe ampliado da Tela principal da Fototriangulação.





## Fototriangulação

**Autores:** Lia de Souza e Simões Figueiredo, Rodrigo Dacome Lima, e Letícia de Assis Gomes da Silva

Revisão: Jorge Luís Nunes e Silva Brito

A visualização das imagens nos permite ter uma visão geral nas telas de *Overview*. As regiões delimitadas nas telas principais com um quadrado amarelo, aparecem ampliadas na *DetailView*.


As tabelas contidas na parte inferior da janela principal da fototriangulação (figura 4) apresentam, da direita para a esquerda, os seguintes significados:

**Left Image Points** >> Apresenta a identificação dos pontos contidos na imagem da esquerda e seus respectivos posicionamentos em pixels (colunas e linhas).

**All Points** >> Apresenta a identificação dos pontos contidos em ambas as imagens, sua respectiva classificação quanto ao tipo ( ponto de controle ou ponto fotogramétrico ) e os valores das coordenadas UTM (E, N ) e altitude do ponto (H).

**Right Image Points** >> Mostra a identificação dos pontos contidos na imagem da direita e seus respectivos posicionamentos em pixels ( colunas e linhas ).

**Point Measurements (Images Appearances)** >> Para um determinado ponto selecionado nas tabelas anteriores, nesta tabela são identificadas em que imagens foi medido este ponto e em quais colunas e linhas para cada imagem.

Devemos informar a direção de voo para cada uma das imagens do projeto. A título de exemplo, faremos isso para as imagens 16 e 17. Para isso, basta clicar no botão  e a janela **Flight Direction** se abrirá, conforme mostra a figura 5 a seguir. Conforme a direção de vôo é marcada nas imagens, o programa sinaliza através da marca em cor verde na figura 5 abaixo. Caso a direção de vôo ainda não tenha sido marcada, a sinalização é dada pela marca em cor vermelha.



## Fototriangulação

**Autores:** Lia de Souza e Simões Figueiredo, Rodrigo Dacome Lima, e Letícia de Assis Gomes da Silva

Revisão: Jorge Luís Nunes e Silva Brito

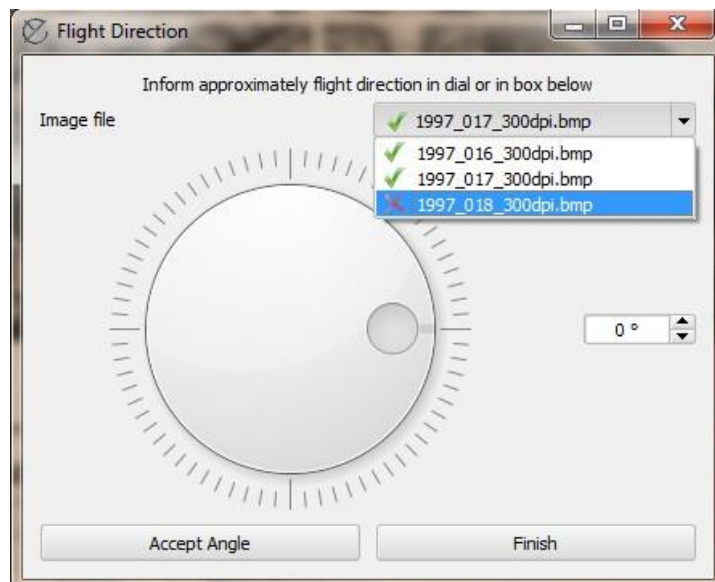



Figura 5 – Tela Janela Flight Direction exibida imagem por imagem.

Caso o usuário deseje incluir algum ponto fotogramétrico nas imagens será necessário entrar no modo de inserção de pontos. Para isto, basta clicar no botão  Insert Mode. Para melhor ajustar a visualização das imagens e facilitar a inserção de novos pontos, na tela da Fototriangulação, temos disponíveis os seguintes botões com suas respectivas funcionalidades, apresentadas no quadro a seguir.


**Obs. 1:** Movimentando-se o dial com o botão esquerdo do mouse ou digitando-se a angulação no campo ao lado, pode-se definir com precisão (em graus) a direção do voo para cada uma das imagens. Em seguida, deve-se clicar no botão **Accept Angle** para que este seja salvo para a imagem selecionada. Para a imagem seguinte, basta selecioná-la no combo “Image file”. Após definida a direção de voo, deve-se novamente clicar no botão **Accept Angle**. Após realizada essa operação para todo o conjunto de imagens, deve-se clicar no botão **Finish** e então essa janela se fechará.














## Fototriangulação

**Autores:** Lia de Souza e Simões Figueiredo, Rodrigo Dacome Lima, e Letícia de Assis Gomes da Silva

Revisão: Jorge Luís Nunes e Silva Brito

**Obs. 2:** Após determinada a direção de voo para cada uma das imagens que compoem o bloco de imagens do exemplo, o botão  se tornará disponível e, somente então, poderemos executar a fototriangulação.

| Botão   | Descrição   |
|---|---|
|    | Habilita a medição de novos pontos fotogramétricos nas imagens.   |
|    | Movimenta a imagem dentro do espaço de tela, acionando-se o botão esquerdo do mouse.                        |
|    | Zoom específico na imagem ativa, clicando-se com o botão esquerdo e arrastando-se o mouse sobre a região.   |
|   | Antialias (desfoca ligeiramente a imagem).  |
|  | Habilita a realização de movimentos idênticos nas duas imagens.   |
|  | Executa o “Zoom” em mesma proporção para ambas as imagens.  |
|  | Porcentagem de zoom desejada para imagem da esquerda (caixa superior) e imagem da direita (caixa inferior). |
|  | Retorno ao zoom inicial apenas na imagem da esquerda.   |
|  | Retorno ao zoom inicial apenas na imagem da direita.  |
|  | Retorno ao zoom inicial para ambas as imagens.  |

**Passo 3:** Antes de selecionarmos a direção de voo, e executarmos a fototriangulação, é preciso que determinemos a localização dos pontos de controle e dos pontos fotogramétricos nas 3 imagens. Para isso devemos, simplesmente, através do botão  localizar os respectivos pontos nas imagens em que eles estão presentes. Tendo realizado essa etapa, a seguinte interface abaixo será obtida, como mostra a figura 6.







## Fototriangulação

**Autores:** Lia de Souza e Simões Figueiredo, Rodrigo Dacome Lima, e Letícia de Assis Gomes da Silva

Revisão: Jorge Luís Nunes e Silva Brito

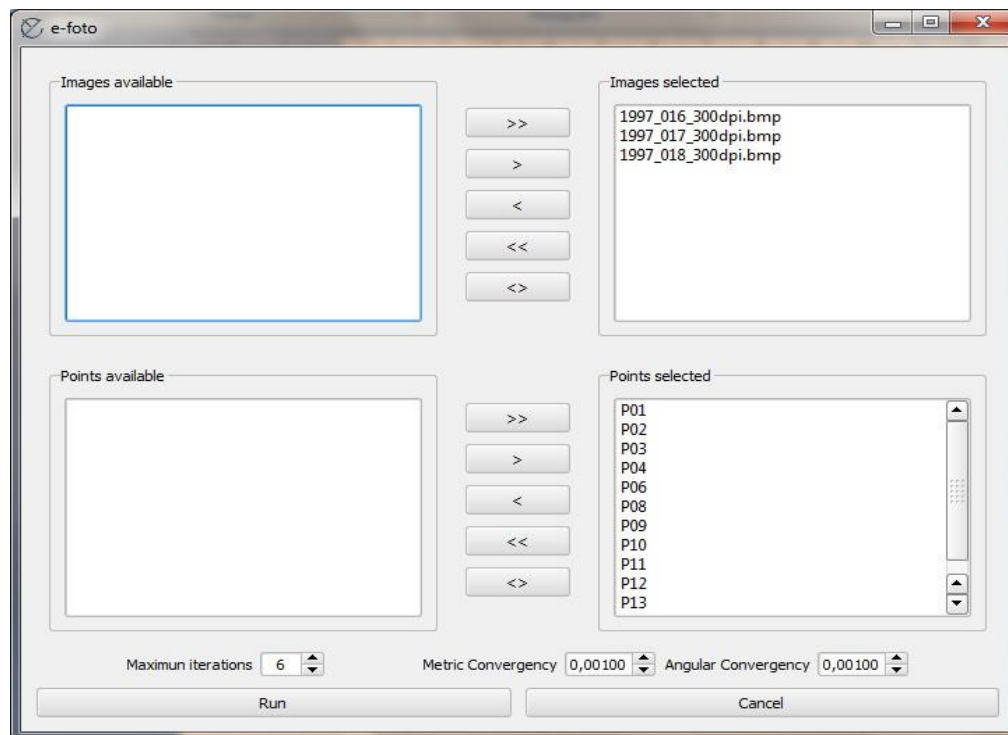


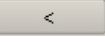




Figura 7 – Tela com os dados disponíveis e selecionados para a execução, bem como para adefinição dos parâmetros de ajustamento.

É possível neste momento selecionar quais imagens farão parte do bloco de imagens a ser processado e quais pontos farão parte dos cálculos da fototriangulação. É possível realizar o movimento do quadro **Images Available** para **Images Selected** clicando-se no botão  e movendo-se todo o conjunto, ou no botão  e movendo uma imagem selecionada.

Para incluir alguma imagem que esteja a princípio fora do bloco ou o contrário, de Images Selected transferí-las para Images Available através do botão  de movimentação ou para repetir esse processo para todas as imagens, utilizar o botão . O mesmo ocorre para os pontos. Através da movimentação de Points Available para Points Selected. Se desejarmos inverter o que for Available com o que for Selected e vice-versa basta clicarmos no botão .






## Fototriangulação

**Autores:** Lia de Souza e Simões Figueiredo, Rodrigo Dacome Lima, e Letícia de Assis Gomes da Silva

Revisão: Jorge Luís Nunes e Silva Brito

Para finalizar a confirmação para o processamento da fototriangulação podemos também estipular o número de iterações para alcançar a convergência. Isto é realizado através do combo **Max iterations** bem como com os valores de precisão para a convergência em metros, através do combo **Metric convergency** e o valor angular através do combo **Angular Convergency**.

Após escolhidas as imagens, os pontos e configurados os parâmetros relativos ao número máximo de iterações e às convergências métrica e angular devemos clicar no botão  conforme faremos neste exemplo. No entanto, se o usuário não desejar realizar a Fototriangulação neste momento, basta clicar no botão . Após apertar o botão , há a opção de se calcular a fototriangulação em um sistema topocêntrico local, caso se aceite a opção clicando em **Yes**, como mostra a figura 7b a seguir.

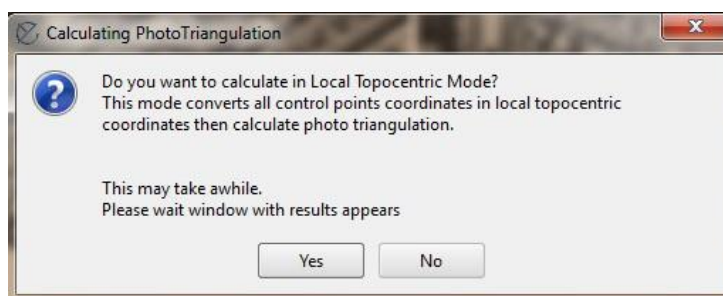


Figura 7b – Tela com opção de efetuar os cálculos em um sistema topocêntrico local.

**Passo 5:** Após executarmos a Fototriangulação, aparecerá a janela mostrada na figura 8a seguir, onde poderemos observar os resultados obtidos, avaliá-los e, se necessário, executar novamente a fototriangulação para novos parâmetros de número máximo de “iterações” e precisões métrica e angular de convergência.



## Fototriangulação

**Autores:** Lia de Souza e Simões Figueiredo, Rodrigo Dacome Lima, e Letícia de Assis Gomes da Silva

**Revisão:** Jorge Luís Nunes e Silva Brito

| ImageId         | $\omega$ | $\phi$  | $\kappa$ | $X_0$       | $Y_0$        | $Z_0$     | $\delta\omega$ | $\delta\phi$ | $\delta\kappa$ | $\delta X_0$ | $\delta Y_0$ | $\delta Z_0$ |
|-----------------|----------|---------|----------|-------------|--------------|-----------|----------------|--------------|----------------|--------------|--------------|--------------|
| 1 1997_015_3... | 1.9474   | -0.8706 | -0.2470  | 590558.8753 | 7465039.4560 | 1317.1758 | 0.00001        | 0.00001      | 0.00000        | 0.00022      | -0.00034     | 0.00003      |
| 2 1997_017_3... | 0.6770   | -0.7280 | -1.0927  | 581277.6880 | 7465033.5250 | 1321.4665 | 0.00000        | -0.00000     | 0.00000        | -0.00000     | 0.00000      | -0.00001     |
| 3 1997_019_3... | 1.5442   | 0.7464  | 2.2471   | 582002.0040 | 7465012.8500 | 1319.9784 | 0.00000        | 0.00000      | 0.00000        | 0.00001      | 0.00000      | 0.00000      |

Figura 8 – Tela com os resultados da Fototriangulação no ambiente e-foto integrado.

Na figura 8 podemos observar os indicadores da qualidade do ajustamento da fototriangulação, a saber:

**Iterations:** Número de iterações com que o ajustamento do bloco convergiu, em função das tolerâncias preestabelecidas.

**Converged (yes/no):** Indica se o ajustamento do bloco convergiu ou foi interrompido pelo fato do número máximo de iterações ter sido atingido.

**RMSE:** Indica o valor do erro médio quadrático dos resíduos das coordenadas dos pontos de controle, sendo expresso em milímetros.



## Fototriangulação

**Autores:** Lia de Souza e Simões Figueiredo, Rodrigo Dacome Lima, e Letícia de Assis Gomes da Silva

Revisão: Jorge Luís Nunes e Silva Brito

Na parte central da figura 8 são listadas as identificações (números) e as coordenadas de terreno calculadas para os pontos fotogramétricos, bem como os seus respectivos resíduos.

Na parte inferior da figura 8, tem-se a possibilidade de se aceitar ou descartar os resultados do ajustamento da fototriangulação.

O significado de cada uma das colunas apresentadas na figura 8 é apresentado no quadro 1 a seguir.

| Botão    | Descrição  |
|----------|--|
| Image Id | Identificador da imagem  |
| w        | (Ômega) ângulo de atitude ou rotação do sistema imagem em torno do eixo X                                      |
| Phi      | ângulo de atitude ou rotação do sistema imagem em torno do eixo Y  |
| K        | Ângulo de rotação do sistema imagem em torno do eixo Z, ângulo coincidente com a direção do vôo fotogramétrico |
| Botão    | Descrição  |
| Xo       | Coordenada X do centro de perspectiva  |
| Yo       | Coordenada Y do centro de perspectiva  |
| Zo       | Coordenada Z do centro de perspectiva  |
| Dw       | Resíduo do ajustamento do ângulo omega   |
| Dphi     | Resíduo do ajustamento do ângulo phi   |
| Dk       | Resíduo do ajustamento do ângulo kapa  |
| dXo      | Resíduo do ajustamento da coordenada Xo  |
| dYo      | Resíduo do ajustamento da coordenada Yo  |
| dZo      | Resíduo do ajustamento da coordenada Zo  |
| Id       | Identificação do ponto fotogramétrico  |
| E        | Coordenada Este (UTM)  |
| N        | Coordenada Norte (UTM)   |
| H        | Altitude ortométrica ou altura no sistema adotado para o ajustamento   |
| dE       | Resíduo do ajustamento da coordenada E   |
| dN       | Resíduo do ajustamento da coordenada N   |
| dH       | Resíduo do ajustamento da coordenada H   |

Figura 8 – Quadro 1






## Fototriangulação

**Autores:** Lia de Souza e Simões Figueiredo, Rodrigo Dacome Lima, e Letícia de Assis Gomes da Silva

Revisão: Jorge Luís Nunes e Silva Brito

**Passo 6:** Para salvarmos os resultados da fototriangulação em formato “kml” e os visualizarmos no GoogleEarth, basta clicar no botão  da tela principal da Fototriangulação. Aparecerá em seguida uma janela para você escolher o nome do arquivo que deseja gravar em formato “kml”, conforme mostra a figura 9 a seguir. Em seguida busque no diretório onde salvou o arquivo e clique duas vezes nele. Se você tiver o Google Earth instalado aparecerá em sua tela os respectivos perímetros da projeção ortogonal de cada imagem sobre o terreno (rodapé da imagem) do seu projeto fotogramétrico e os pontos de controle e fotogramétricos referenciados pelo Google Earth, conforme mostra a figura 10 a seguir.

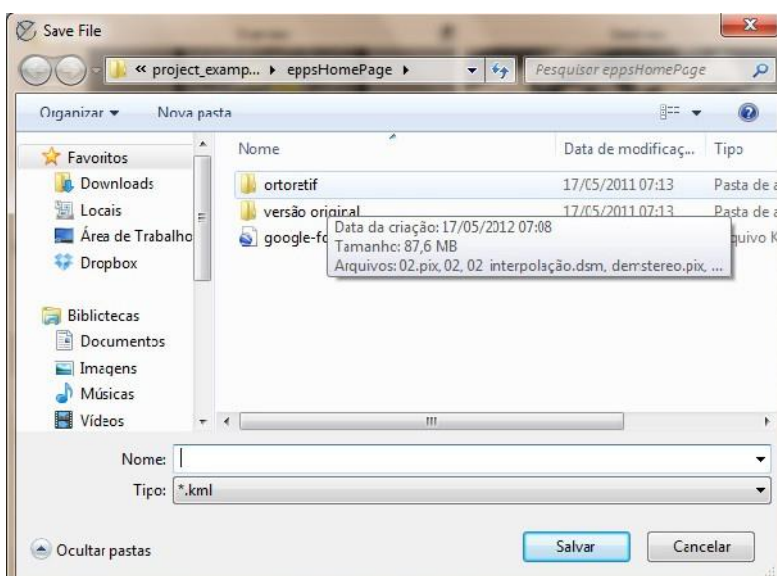


Figura 9 – Tela para salvar o arquivo em formato “Kml” (visualizador do Google Earth).

## Fototriangulação

**Autores:** Lia de Souza e Simões Figueiredo, Rodrigo Dacome Lima, e Letícia de Assis Gomes da Silva

Revisão: Jorge Luís Nunes e Silva Brito

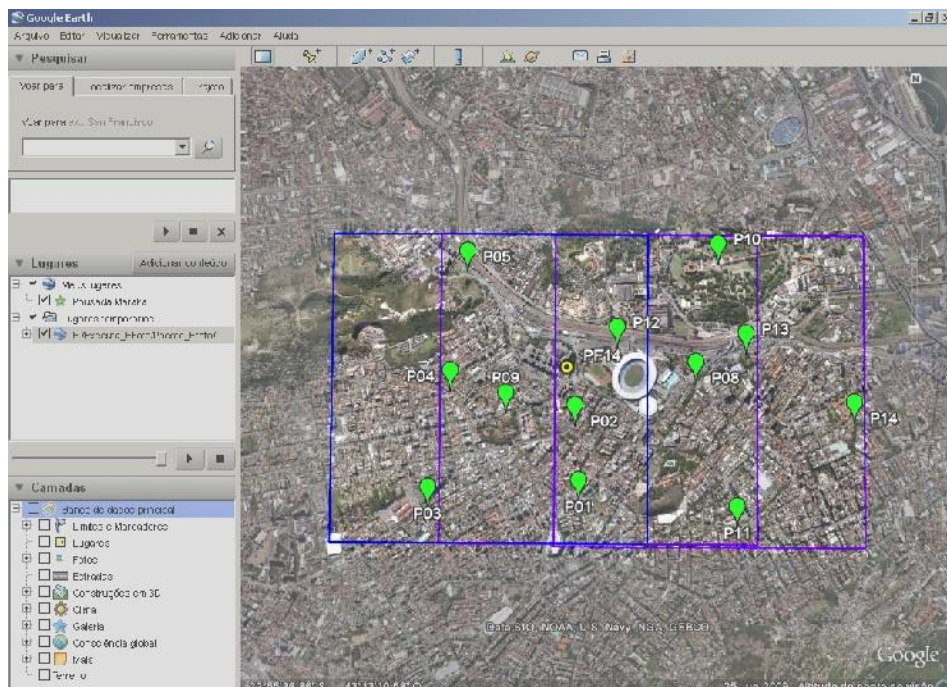



Figura 10 – Tela do visualizador do Google Earth com os pontos utilizados no processamento da Fototriangulação (representados por valores verdes) bem como a visualização dos rodapés das imagens do projeto fotogramétrico (representados pelas linhas violetas).

**Observação:** Caso a janela de resultados seja fechada e se deseje rever os resultados da Fototriangulação, basta clicar no botão  da tela principal da Fototriangulação e aparecerá uma nova janela de resultados, conforme mostra a figura 11 a seguir.



## Fototriangulação

**Autores:** Lia de Souza e Simões Figueiredo, Rodrigo Dacome Lima, e Letícia de Assis Gomes da Silva

Revisão: Jorge Luís Nunes e Silva Brito

EO Parameters

| Iterations: 4 |                      | Converged: yes |         |          | RMSE: 1.31749 m |              |           |
|---------------|----------------------|----------------|---------|----------|-----------------|--------------|-----------|
|               | Image Id             | $\omega$       | $\phi$  | $\kappa$ | X0              | Y0           | Z0        |
| 1             | 1997_016_300dpi.b... | 1.9386         | -0.8403 | -0.9346  | 680558.8466     | 7465039.4860 | 1317.2273 |
| 2             | 1997_017_300dpi.b... | 0.6704         | -0.7385 | -1.7803  | 681277.6729     | 7465033.5271 | 1321.5799 |
| 3             | 1997_018_300dpi.b... | 1.5360         | -0.7717 | -2.9344  | 682002.9367     | 7465012.8766 | 1320.0409 |

Figura 11 – Resultados da fototriangulação.

Uma vez aceitos os resultados do ajustamento da fototriangulação todas as imagens utilizadas no ajustamento do bloco terão seus valores dos parâmetros da orientação exterior salvos no arquivo de projeto e gravados nos respectivos formulários da imagem.

< FIM DO TUTORIAL >