

## Referências

- [1] – GRUEN, A.W., “Adaptive Least Squares Correlation: A powerful Image Matching Technique”. South Africa Journal of Photogrammetry. Remote sensing and cartography, 14(3), 1985, pp 175-187.
- [2] – Lowe, D., “Distinctive Image Features from Scale Invariant Keypoints”, 2004, International Journal of Computer Vision, 60, 2 (2004), pp. 91-110
- [3] – Mikolajczyk, K., Schmid, C., “A performance evaluation of local descriptors”, IEEE, 2005.
- [4] – Jacobsen, K., Büyüksalih, G., “Determination and improvement of digital elevation models based on moms-2P imagery”, Turkish-German Geodetic Days Berlin 2001
- [5] – Mikolajczyk, K., Schmid, C., “Scale & Affine Invariant Interest Point Detectors”, International Journal of Computer Vision 60(1), 63–86, 2004
- [6] – Grodecki, J., “Ikonos Stereo Feature Extraction – RPC Approach”, Proc. ASPRS Annual Conference, St. Louis, 23-27 April 2001
- [7] – Fraser, C.S., Baltsavias, E., Gruen, A., “3D building reconstruction from high-resolution Ikonos stereo imagery”, Automatic Extraction of man-made objects from aerial and space images (III), 331-344, 2001
- [8] – Harris, C., Stephen, M., “A combined corner and edge detector”, In Alvey Vision Conference, pp. 147-151
- [9] – Shapiro, L.G., Stockman, G., “Computer Vision”, Prentice Hall, 2001.
- [10] – Karsten Jacobsen, “Mapping from Space”, Aulas de Mapeamento a partir de imagens de satélite – PUC-Rio – Março 2007
- [11] – Otto, G.P., Chau, T.K.W., “Region-growing algorithm for matching of terrain images”, Images and Vision, V.7, N.2, pp. 83-94, 1989

## **APÊNDICE A: Detalhe do programa DPCOR**

O programa DPCOR, desenvolvido pelo Dr Jacobsen na Universidade Leibniz de Hannover na Alemanha (“Institut für Photogrammetrie und GeoInformation”) calcula a correlação por mínimos quadrados com o algoritmo de crescimento de região. Ele precisa de 5 arquivos de entrada e escreve 2 arquivos de saída.

### **A.1.**

#### **Arquivos de entrada**

##### **A.1.1.**

#### **Os dois lados da imagem**

Utiliza-se um formato (“.kcl”) que é um formato especial utilizando as especificações do (“.pgm”). Começa com um cabeçalho de 79 bits :

```
P5
# For YVI-GUI !!!
# x_canto_cima_esquerda(12bits) y_canto_cima_esquerda(12bits)
largura_sub_imagem(12bits) altura_sub_image(12bits) max_valor_pixel
Dados da Imagem .....
```

Depois do “#” aparece um comentário : uma série de caracteres na primeira linha para comentar a origem do arquivo, e uma outra série de caracteres na segunda linha passando ao programa as coordenadas absolutas do canto de cima a esquerda da imagem.

##### **A.1.2.**

#### **As duas listas de pontos**

As duas listas de pontos são dadas em dois arquivos de texto separados, que têm o mesmo nome das imagens, mas com a extensão (“.pix”) com todas as listas de pixels. A primeira linha do arquivo dá o número da imagem (não utilizamos esse número, então sempre deixamos 1 para a direita e 2 para a esquerda). Nas linhas seguintes aparecem 3 números :

índice      \_coordenada x \_absoluta      \_coordenada y  
\_absoluta

### A.1.3.

#### Arquivo de controle com a lista dos parâmetros

O conteúdo desse arquivo é mostrado aqui, incluindo todas as entradas e todos os parâmetros que o programa precisa (deixados em inglês) :

```
String with the name of the log file
Title
Subtitle
Code of the matching (not used)
String with the name of the left image
Number of the left image (1 for us)
Left Scene Orientation (not used)
Left Incidence Angle (not used)
String with the name of the right image
Number of the right image (2 for us)
Right Scene Orientation (not used)
Right Incidence Angle (not used)
X_scale X_stdev (default value Jacobsen = 1 0)
X_shear X_shear_stdev (default value Jacobsen = 0 1e18)
Y_scale Y_stdev (default value Jacobsen =
Y_shear Y_shear_stdev (default value Jacobsen =
String with the name of the list of conjugate points (not used)
String with the name of the starting points
String with the name of the output list of points file
Size of the Window
Maximum number of iterations
Row_step Col_step
Radial Normalization (Default Jacobsen = 10)
Shift Bound (Default Jacobsen = 0.05)
Scale Bound (Default Jacobsen = 0.01)
Shear Bound (Default Jacobsen = 0.01)
Threshold to accept the correlation
Ellipsoidal Threshold (Default Jacobsen = 5)
Max Difference Initialization (Default Jacobsen = 20)
Upper Bound Correlation (Default Jacobsen = 1.1)
Min_scale_a1 max_scale_a1 (Default Jacobsen = 0.3 3)
Min_scale_b2 max_scale_b2 (Default Jacobsen = 0.3 3)
Min_scale_a2 max_scale_a2 (Default Jacobsen = -1 1)
Min_scale_a1 max_scale_b1 (Default Jacobsen = -1 1)
Radial Normalization (Default Jacobsen = 'Y')
Region Growing
Transfer points (Default Jacobsen = 'N')
Affine parameter (Default Jacobsen = 'N')
```

## A.2.

### Arquivos de saída

#### A.2.1.

##### Lista dos pontos correspondentes

A lista de saída é um arquivo de texto com a extensão (“.pix”) de novo. Tem 5 colunas. A primeira linha dá o número das imagens: “ 10002 0.00 0.00 0.00 0.00”, onde 10002 representa o número das imagens. Trabalhamos com 1 e 2, preenchendo com 0 no meio. As linhas seguintes são as coordenadas respectivamente na imagem da esquerda e da direita, com o índice do ponto :

	índice	$x_1$	$y_1$	$x_2$	$y_2$
E a última linha :	-99	0.00	0.00	0.00	0.00

#### A.2.2.

##### O arquivo “log”

Esse arquivo de texto muito longo contém todas as estatísticas e os resultados. Pode-se abrir diretamente depois da computação do programa DPCOR para aproveitar das informações disponíveis.

## A.3.

### Parâmetros principais do programa DPCOR

Apresenta-se abaixo uma breve descrição dos principais parâmetros utilizados :

- Tamanho da Janela = tamanho em pixels dos blocos com os quais a correlação por mínimos quadrados vai operar. Os melhores resultados foram obtidos com blocos de  $10 \times 10$  pixels.
- Passo de linha = Número de linhas em pixels entre dois blocos para os quais a correlação calcula a correspondência. De fato, não são calculados os correspondentes de todos os pixels devido ao longo tempo de processamento e também por não levar a uma precisão melhor do modelo 3D. Geralmente é escolhido igual a 3.

- Passo de coluna = Número de colunas em pixels entre os blocos (igual à de cima)
- Limiar da correlação = Limite do valor da correlação a baixo do qual não são aceitos dois blocos candidatos a correspondência. Geralmente é utilizado um limiar entre 0.6 e 0.8, dependente da imagem.

#### **A.4.**

#### **Como utilizar o programa DPCOR?**

##### **A.4.1.**

##### **Diretamente na janela de comanda DOS**

Pode-se digitar “DPCOR” sozinho numa janela de comanda DOS. O programa vai então pedir o nome do arquivo de controle onde todas as informações dos arquivos de entrada estão armazenadas. Pode-se também digitar diretamente na janela

```
dpcor "string_name_control_file"
```

##### **A.4.2.**

##### **Chamando do Matlab**

Utilizamos o comando Matlab para lançar um programa DOS e mostrar diretamente os resultados na tela : “dos( ... )” o que resulta no nosso caso :

```
eval( ['dos("dpcor "', string_control_file, '"");']);
```

## APÊNDICE B: Detalhe do protótipo

P/ara avaliar o funcionamento e o desempenho do método híbrido proposto nessa dissertação, foi desenvolvido um protótipo no MATLAB para realizar todas as operações. São detalhadas nesse anexo B. Todos os resultados podem ser visualizados e as operações automatizadas

### B.1.

#### Arquivos necessários ao programa

Todos os arquivos e as funções necessários ao lançamento do programa foram colocados pasta “yvi\_gui\_hybrid\_matching” fornecida no CD.

Primeiro as funções Matlab :

- |                           |                           |
|---------------------------|---------------------------|
| - yhk_gui_features.fig    | - yhk_gui_mainprogram.fig |
| - yhk_gui_preprocess.fig  | - yhk_custom_match.m      |
| - yhk_get_F_epipolar.m    | - yhk_getline.m           |
| - yhk_gui_features.m      | - yhk_gui_mainprogram.m   |
| - yhk_gui_preprocess.m    | - yhk_inedi.m             |
| - yhk_keys_part1_harris.m | - yhk_keys_part1_log.m    |
| - yhk_keys_part1_sift.m   | - yhk_questdlg.m          |
| - yhk_sift_part2.m        | - yhk_sift_part3.m        |
| - yhk_tightsubplot.m      | - yhk_wallis_filter.m     |

E as funções anexas - bibliotecas :

- |                      |                    |
|----------------------|--------------------|
| - DPCOR.exe          | - imsmooth.dll     |
| - siftdescriptor.dll | - siftlocalmax.dll |
| - siftmatch.dll      | - siftormx.dll     |

A função principal da interface que o usuário tem que chamar é “yhk\_gui\_mainprogram.m”. Pode ser diretamente da comanda Matlab. Então se abre o programa, como mostrado na figura B.1.

## B.2.

### Janela principal do programa

Todas as operações principais são disponíveis nessa janela. Foram separadas em seis grupos :

- Criação da vista geral (“Overview Creation”, vide B.2.1)
- Seleção da sub-imagem (“Select Sub-Image”, vide B.2.2)
- Seleção do pre-processamento (“Pre-Processing”, vide B.2.3)
- Definição da grade de avaliação (“Evaluation Grid”, vide B.2.4)
- Cálculo das correspondências baseadas em feições (“Features Match Computing”, vide B.2.5) junto com os atalhos de automatização (“Full Auto 1 step” e “Full Auto 2 steps”, vide B.2.6).
- Cálculo das correspondências baseadas em áreas (“Area Matchung”, vide B.2.7), junto com a avaliação final (“Eval”, vide B.2.8)

A maioria desses grupos de operações necessitam uma outra janela para deixar acessível ao usuário todas os parâmetros e as opções de cálculo. É o caso do pre-processamento (vide B.3), da definição da grade de avaliação (vide B.4), da correspondência baseada em feições (vide B.5), dos atalhos de automatização (vide B.2.6) e da avaliação final dos resultados (vide B.6).

#### B.2.1.

#### Abertura da imagem – Criação da vista geral (“Overview Creation”)

Descreve-se aqui o primeiro grupo de operações, no primeiro círculo em preto da figura B.1. Nota-se que todos os botões da interface ligam-se em laranja uma vez a operação realizada com sucesso.

- **Tamanho da vista geral (“Size Overview”)** : Parâmetro para a criação da vista geral (“overview”). As imagens de satélite do Ikonos no formato “tif” são gigantes: da ordem de 10000\*10000 pixels, e codificadas em 16 bits por pixel, ou seja um tamanho de 200Mo. Para abrir a imagem e não saturar a memória, cria-se uma imagem sub-amostrada com uma porcentagem selecionada na caixa “Size Overview”, em porcentos. Se o

valor de 5% for escolhido, a sub-amostragem será de 1 ponto a cada 20 pontos, se escolhe-se 10%, será de 1 a cada 10 pontos... Essa porcentagem  $p$  se modifica automaticamente tal que  $1/p$  seja um número inteiro.

- **Abertura das imagens (“Open Full Left” e “Open Full Right”) :**  
Botões para abrir as imagens. O programa pode abrir 2 tipos de imagem : o formato tif utilizado pelo Ikonos, que tem 16 bits por pixel (na verdade são 11 bits reais codificados com 16 na memória), e o bitmap bmp 8 bits por pixel, com as especificações normais do bmp do Windows. As imagens são então visualizadas em baixo a direita ou a esquerda, com um coeficiente de zoom dado pelo número na caixa “Zoom Visualization” (Zoom da Visualização).
- **Escolha do Zoom (“Zoom Visualization” e “Fit”) :** É possível escolher o tamanho da visualização das vistas gerais entrando diretamente o coeficiente de zoom desejado nas caixas correspondentes, ou de apertar o botão “Fit” (Ajuste) para ajustar a imagem inteira no espaço disponível.



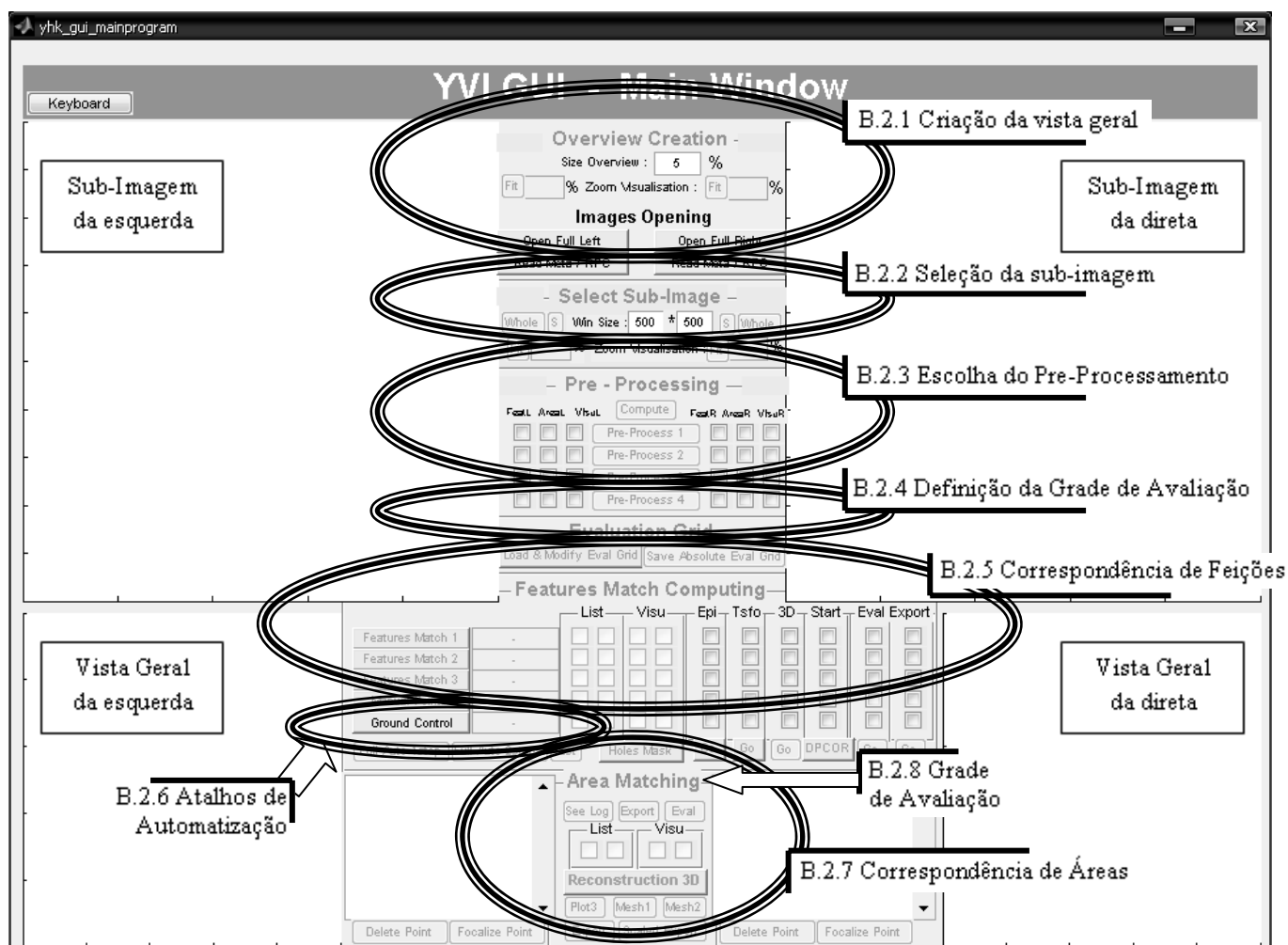


Figura B.1: Grupos de operações do programa

- **Parâmetros RPC (“Read Meta / RPC” a esquerda ou direita) :** Botões para carregar os metadados e os coeficientes RPC (dados para a reconstrução 3D), diretamente dos arquivos fornecidos por Ikonos. Se o arquivo da imagem chama-se “po\_219791\_pan\_0000000.tif”, então o arquivo com os parâmetros RPC correspondente chama-se “po\_219791\_pan\_0000000\_rpc.txt”.

## B.2.2.

### Seleção da sub-imagem (“Select Sub-Image”)

Em seguida deve-se escolher a sub-imagem com a qual o programa vai trabalhar. As opções para essa escolha são mostradas no segundo círculo em preto da figura B.1 :

- **Seleção da sub-imagem:** Quando o cursor fica em cima da vista geral em baixo (overview), um retângulo aparece e pode-se escolher a sub-imagem clicando com o botão esquerdo do mouse. Essas se abrem em cima a esquerda ou a direita de acordo com o lado escolhido.
- **Seleção do tamanho da sub-imagem (“Win Size”, “S” et “Whole”):** Pode-se entrar diretamente o tamanho desejado para essas sub-imagens, geralmente 500\*500, nas caixas “Win Size”. Os botões “Whole” (Inteiro) selecionam a imagem inteira. A sub-imagem é então igual a imagem inteira. Tenha cuidado com imagens muito grandes que vão saturar a memória. Os botões “S” (para Selecionar) permitem ao usuário de entrar manualmente o tamanho e as coordenadas exatas das sub-imagens, o que é muito útil nos testes para selecionar exatamente a mesma sub-imagem várias vezes com precisão.
- **Escolha do Zoom (“Zoom Visualization” e “Fit”)** : O zoom se escolhe da mesma maneira do que para o overview com as caixas “Zoom Visualization” e os dois botões “Fit”.



Figura B.2: Detalhe da parte do pre-processamento

### B.2.3.

#### Seleção do pre-pocessamento (“Pre-Processing”)

Pode-se escolher um tipo diferente de pre-processamento para cada lado e para cada tipo de operação. Porém, essa parte não foi utilizada na dissertação, porque foi finalmente decidido trabalhar com as imagens originais. A figura B.2 mostra em detalhe a parte da janela correspondente :

- **Organização das caixas** : Têm quatro linhas de caixas, correspondendo cada uma a um tipo de pre-processamento. Quatro pre-processamentos diferentes podem ser gravados na memória e aplicados a todos os

passos da computação, materializado pelas seis colunas : A primeira coluna (“FeatL” para “Features Left”) significa que o pre-processamento escolhido será aplicado à computação das feições da imagem da esquerda, a segunda (“AreaL”) à computação das correspondências baseada em áreas da esquerda, a terceira (“VisuL”) somente à visualização da imagem da esquerda na tela, a quarta (“FeatR”) à computação das feições da imagem da direita, a quinta (“AreaR”) à computação das correspondências baseada em áreas da direita e a sexta (“VisuR”) à visualização da imagem da direita na tela. Ativa-se uma caixa simplesmente clicando nela, como mostrado na figura B.2 a direita (linha 2, coluna 3).

- **Definição dos pre-processamentos :** Os quatro botões pre-processamento “Pre-Process 1” até “Pre-Process 4” lançam a janela dos pre-processamentos (vide seção B.3) para definir os parâmetros da computação.

- **Cálculo dos pre-processamentos :** Na definição dos parâmetros, aplica-se o pre-processamento à imagem da esquerda, ou da direita se essa for selecionada (caixa na posição ativa). Quando uma configuração é disponível para uma imagem (ou seja já foi calculada), as caixas correspondentes estão cercadas de laranja (como a primeira linha a direita na figura B.2 da direita). Se não, pode-se lançar a computação dos pre-processamentos faltando (caixa ativa mas não laranja) apertando o botão “Cálculo” (“Compute”). Se todos os pre-processamentos que o usuário pedir estiverem calculados, então as duas luzes laranjas em cima são acesas (a direita e a esquerda do título “Pre-Process”).

#### **B.2.4.**

##### **Definição da grade de avaliação (“Evaluation Grid”)**

O grupo de operações seguintes se refere à grade de avaliação dos resultados, ou seja a definição dos tetos para calcular as medidas de cobertura nos topos e de topos atingidos pelas correspondências. O primeiro botão “Carregar and modificar a grade de avaliação” (“Load and Modify Eval Grid”) lança uma nova janela da interface (vide seção B.4) para definir ou carregar, ou modificar as máscaras dos tetos. O segundo “Salvar a grade de avaliação absoluta” (“Save Absolute Eval Grid”) salva a grade de avaliação em coordenadas absolutas (coordenadas na vista geral).

### B.2.5.

#### Cálculo das correspondências de feições (“Features Match Computing”)

Foi escolhido uma organização compacta com caixas para ter acesso ao número máximo de operações num espaço mínimo, como mostrado na figura B.3.

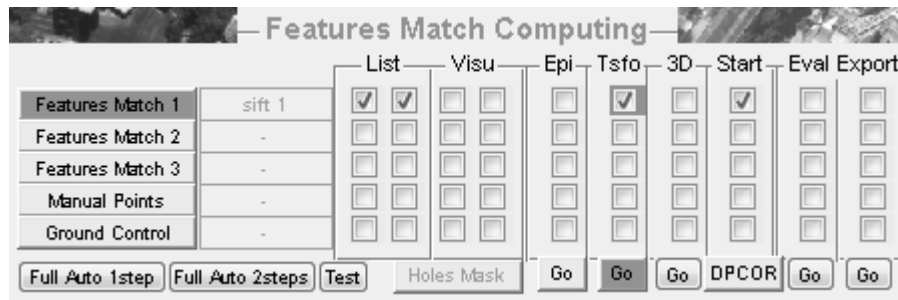


Figura B.3: Detalhe da parte da correspondência de feições

- **Organização das caixas** : Têm cinco linhas de caixas. As três primeiras servem para calcular três correspondências de feições diferentes (chamando uma nova janela, vide seção B.5), a quarta para entrar pontos manuais e a última para carregar pontos de um arquivo texto, geralmente pontos de referência (“Ground Control”). Cada coluna corresponde a uma operação ou a uma opção que pode ser aplicada a cada linha separadamente ou em conjunto (pode-se ativar várias caixas por linha ao mesmo tempo).

- **Cálculo das feições (“Features Match”)** : Lança-se com esses botões uma nova janela para o cálculo das feições, como descrito na seção B.5. Quando estiver calculadas, aparecem em laranja. Na segunda coluna aparece o nome escolhido pelo operador ao calcular essas feições. Os pontos manuais são definidos também em uma outra janela onde o operador pode zoomar e clicar diretamente nos pontos escolhidos.

- **Lista (“List”)** : Pode-se visualizar as coordenadas dos pares de pontos encontrados pela correspondência de feições. Escolhe-se nessa coluna qual lista de pontos é mostrada. Selecionar um ponto na lista desenha uma cruz na imagem onde ele se encontra. As duas colunas correspondem às imagens da esquerda e da direita.

- **Visualização (“Visu”)** : Pode-se visualizar diretamente nas imagens a localização dos pares de pontos encontrados. As duas colunas correspondem às imagens da esquerda e da direita.
- **Utilização da geometria epipolar (“Epi”)** : Escolha-se nessa coluna os conjuntos de pontos que vão ser utilizados para calcular a matriz epipolar, uma opção que finalmente não foi utilizado nessa dissertação.
- **Homogeneidade a priori (“Tsfo” para Transformação)** : Escolha-se nessa coluna os conjuntos de pontos que vão ser gravados como pontos de referência para a homogeneidade a priori, como descrito na seção 3.2.1. Apertar o botão “Go” grava os pontos selecionados.
- **Reconstituição do modelo 3D (“3D”)** : Escolha-se nessa coluna os conjuntos de pontos para calcular um modelo 3D, o que não foi investigado nessa dissertação. Apertar o botão “Go” lança o modelo 3D.
- **Lançamento da correspondência de áreas DPCOR (“Start”)** : Escolha-se nessa coluna os conjuntos de pontos que vão se tornar as sementes da correspondência em áreas, calculada pelo programa DPCOR (vide anexo A). Apertar o botão “DPCOR” lança a correspondência.
- **Lançamento da avaliação (“Eval”)** : Escolha-se nessa coluna os conjuntos de pontos a ser avaliados (vide seção B.6). Apertar o botão “Go” lança a avaliação.
- **Salvar num arquivo texto (“Export”)** : Pode-se salvar um arquivo de texto com as coordenadas absolutas dos pares de pontos encontrados. O arquivo segue o formato “.pix” do programa DPCOR, como descrito no anexo A. Como para as outras colunas, é possível salvar um conjunto sozinho ou vários em seguida no mesmo arquivo.
- **Definição das máscaras dos buracos (“Holes Mask”)** : Quando uma correspondência baseada em áreas já estiver calculada, pode-se definir a máscara dos seus buracos por esse botão. Apertá-lo mostra e grava os buracos. Poderão então ser utilizados na próxima correspondência de feições.

### B.2.6.

#### Atalhos de Automação

Dois botões para a automização são disponíveis na janela. O primeiro efetua o método híbrido em 1 passo (“Full Auto 1 step”) e o segundo efetua o método híbrido em 2 passos (“Full Auto 2 steps”). Em ambos os casos, várias janelas para a definição dos parâmetros abrem-se. A primeira (figura B.5) é para os parâmetros da correspondência de feições, onde pode-se também escolher os melhores conjuntos de parâmetros encontrados na dissertação com os três botões de acesso rápido em cima : “Satélite - Rápido” (“Satellite – Faster”), “Satélite – Mais Preciso” (“Satellite – More Precise”) ou “Aéreo” (“Plane”). A segunda janela (figura B.4) é para a definição dos parâmetros da correspondência baseada em área, calculada com o programa DPCOR. Os parâmetros os mais comuns já estão carregados. No método em 1 passo, são então duas janelas que se abrem em seguida, enquanto no método em 2 passos são 3 janelas de parâmetros no total (são os mesmos parâmetros para a primeira e a segunda correspondência de áreas).

**Set DPCOR Config**

Title :  Project File :

Log File :

1st Image File :   Rows & Columns 1 : 500 500

Upper Left Corner 1 : 1369 1389

2nd Image File :   Rows & Columns 2 : 500 500

Upper Left Corner 2 : 328 1469

Output Points :

**Parameters :**

Window Size	Num Max Iteration	Row Step	Column Step	Correlation Coef	Radial Normalize	Region Growing
10	10	3	3	0.6	Y	Y

Figura B.4: Janela de definição dos parâmetros da correspondência de áreas

Compute the Keypoints Configuration		Compute the Keypoints Configuration	
Sigma_0	1.6	Kind of Descriptor	SIFT
Sigma_N	0.5	CORR Size of the Neighborhood	4
First Octave	-1	SIFT Magnification of Frames	3
Number of Octaves	5	SIFT Number of Spatial Bins	4
Number of Levels	3	SIFT Number of Orientation Bins	4
Kind of Points	DoG	Force Orientation to Zero	0
Do Pre-elimination	1		
Pre-elimin Threshold	0.005	Matching Configuration	
		Do Threshold	1
		Value Threshold	0.3
		Do Proba	1
		Value Proba	0.7
		Do Similar	1
		Value Similar Neighborhood	50
		Do Epipolar	0
		Value Epipolar Neighborhood	50
		Do Global Transfo	0
		Value Global Transfo Neighborhood	50
Refining Configuration			
Low Contrast Refine ON	0		
Low Contrast Threshold	0.03		
On Edge Refine ON	1		
On Edge Kind of Criterion	Lowe		
On Edge Lowe Threshold	15		
On Edge Harris Threshold	0		
On Edge Coef sigma int/deriv Harris	1.4		
Index of the feature	1	Ok - Go	

Figura B.5: Janela de definição dos parâmetros da correspondência de feições

### B.2.7.

#### Cálculo das correspondências de áreas (“Area Matching”)

A parte da janela principal reservada ao cálculo das correspondência de áreas (na caixa “Area Matching”) é organizada da mesma maneira do que para as feições. Pode-se visualizar as coordenadas dos pares de pontos numa lista (“List”), ou diretamente na imagem (“Visu”), pode-se salvar essas listas em arquivos de texto (“Export”), pode-se avaliar os resultados (“Eval”, vide B.7), pode-se lançar uma reconstituição 3D com os parâmetros RPC (não utilizado na dissertação, “Reconstruction 3D”), ou pode-se visualizar o arquivo “log” que descreve o histórico do cálculo. Nota-se que o lançamento da correspondência baseada em

área é feito pelo botão “DPCOR” (é o nome do programa utilizado) na coluna “Start” da caixa acima (caixa das correspondências de feições “Features Match”), depois de ter escolhido o conjunto de sementes a ser utilizado pelo crescimento de região. Abre-se então a janela de definição dos parâmetros (a mesma da figura B.5). Durante o processo, uma barra de espera indica que o programa está calculando. De fato essa barra não avança porque o matlab não tem como saber a porcentagem de avanço do programa em C utilizado, ainda mais que não pode se prever a duração do crescimento de região.

### **B.2.8.**

#### **Avaliação dos resultados (Botões “Eval”)**

Dois tipos de avaliações podem ser lançadas na janela principal. A primeira avalia a repartição dos pares de pontos encontrados pela correspondência de feições, que não fornece um mapa denso de pontos. Para utilizar essa funcionalidade, deve-se escolher os pontos a ser avaliados na coluna “Eval” da caixa “Features Match” e apertar o botão “Go”. A segunda, lançado com o botão “Eval” da caixa “Area Matching”, avalia a cobertura e a repartição dos pontos obtidos pela correspondência baseada em área. Nos dois casos, abre-se uma nova janela descrita em detalhe na seção B.6.

### **B.3.**

#### **Janela dos pre-processamentos**

Operações de pre-processamento são disponíveis numa nova janela (vide figura B.6), divididas em duas partes : a esquerda os filtros que podem ser aplicados às imagens e a direita a modificação dos histogramas. Em baixo da janela aparecem a imagem original a esquerda e a imagem modificada a direita. Quatro configurações diferentes ficam na memória para poder ser utilizada diferentemente com as imagens 1 ou 2 para a visualização (para melhorar a visualização na tela) ou a correspondência de feições ou de áreas, como detalhado na seção B.2.3. Finalmente não foi utilizado nos resultados dessa dissertação.



Vários filtros básicos foram implementados diretamente com as funções do Matlab: filtro Gaussiano de suavização, filtro Laplaciano, *unsharp masking*, detector de bordas de Canny, ou um filtro parametrizável manualmente (a ser convoluido com a imagem), e finalmente o filtro de Wallis (filtro estatístico dando ênfase nas variações dos valores dos pixels, impondo os momentos locais de primeira ordem – a média – e de segunda ordem – o desvio padrão – a valores escolhidos pelo usuário, é muito utilizado para imagens aéreas e de satélite).

Pode-se também modificar diretamente os histogramas das imagens, equalizando (“Histogram Equalization”), esticando (“Histogram Stretch”) ou ajustando com uma gaussiana de desvio padrão escolhido (“Fit Gaussian”).

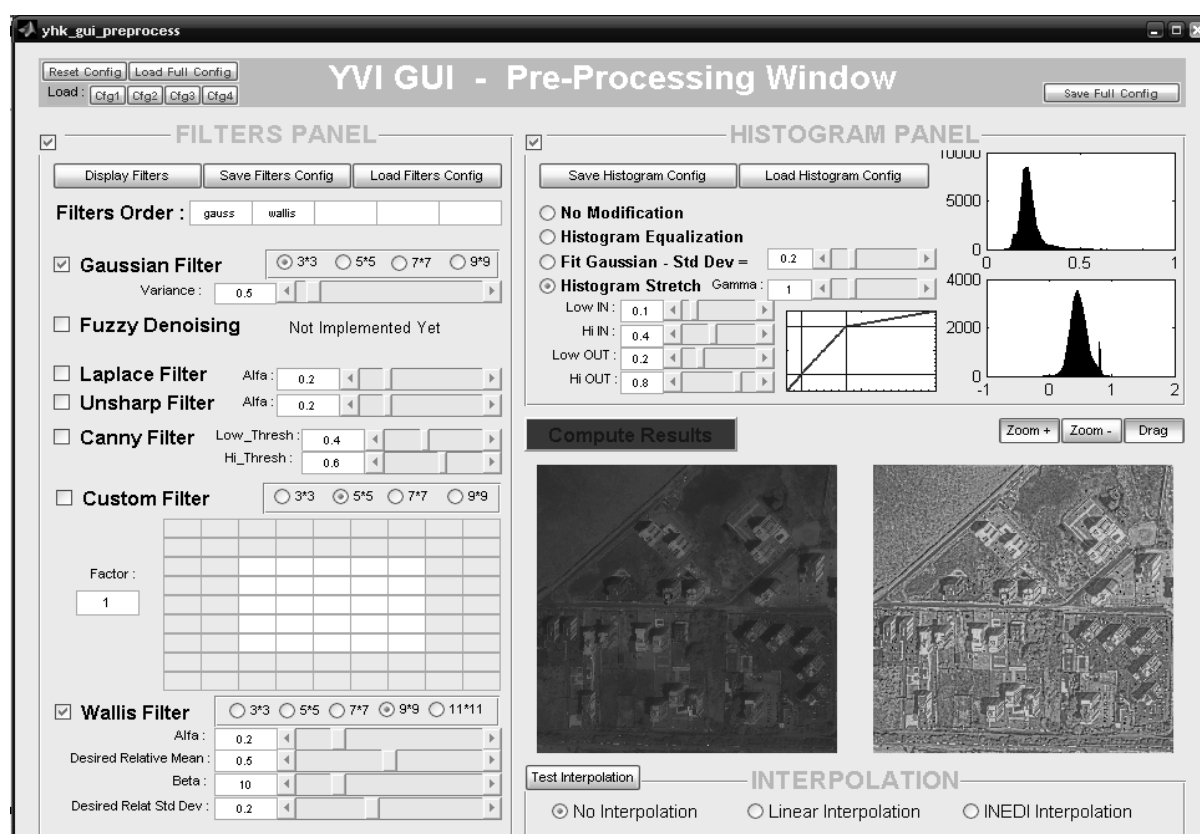


Figura B.6: Janela de definição e de cálculo dos pre-processamentos

## B.4.

### Janela de definição da grade de avaliação

Para definir os topos de prédios (vide seção 4.2.2), cria-se uma máscara com polígonos. Essa parte é opcional, e só utiliza-se nos casos onde o usuário

quer avaliar os resultados especificamente nos topos. A figura B.7 mostra um exemplo da janela da interface que permite a um operador definir essa máscara. Em branco aparecem os topos que já foram definidos pelo operador. As operações disponíveis são :

- **Definir um novo topo (“New Building Top”)** : Quando apertar esse botão, o operador pode definir um novo polígono, clicando na imagem na localização das suas esquinas. A tecla “Enter” fecha o polígono, e a tecla “Backspace” cancela o último ponto escolhido. É aconselhado fazer um zoom antes de definir um novo topo par ser mais preciso, pois todas as operações habituais das figuras Matlab (Zoom, deslocamento, ...) são acessíveis na janela.

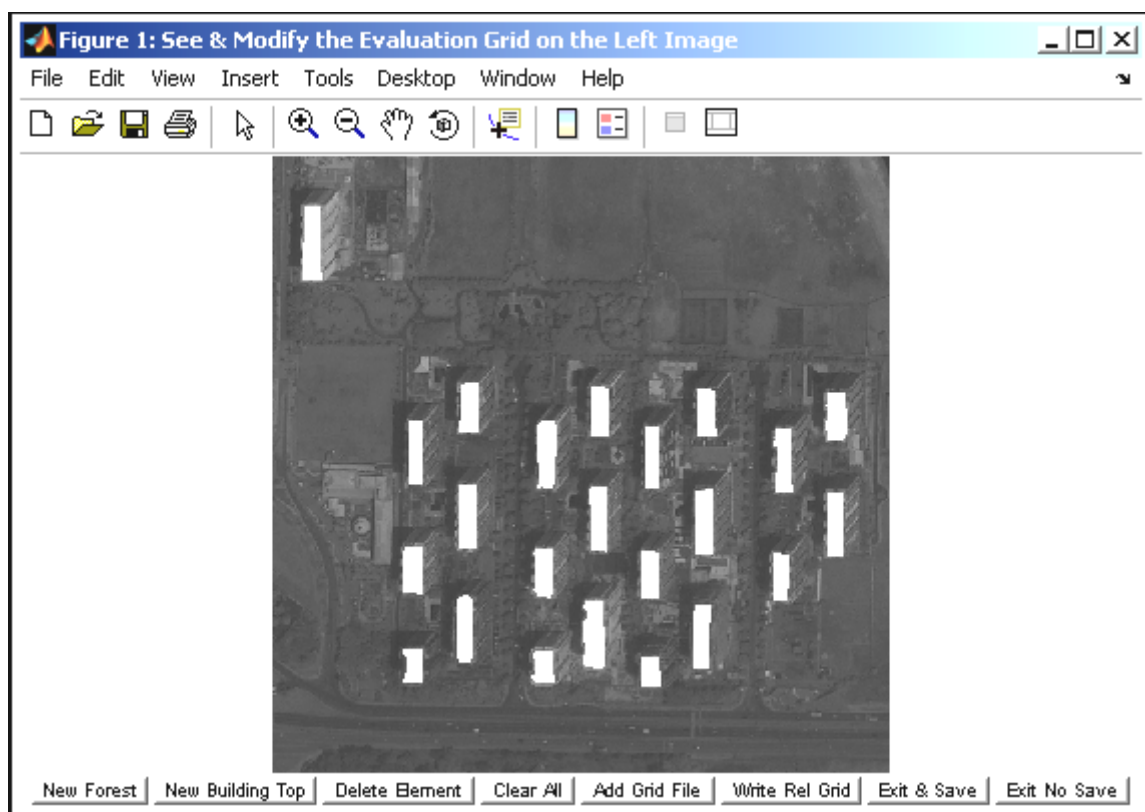


Figura B.7: Janela de definição da grade de avaliação

- **Definir nova floresta (“New Florest”)** : Pode-se também definir florestas na imagem, mais essa opção finalmente não foi utilizada na dissertação.

- **Apagar um polígono já definido (“Delete Element”)** : Apague-se um polígono apertando esse botão, clicando numa área e confirmando a operação.
- **Reinicializar a máscara (“Clear All”)** : para apagar todas os polígonos.
- **Carregar uma máscara já definida (“Add Grid File”)** : Pode-se carregar uma máscara já definida por um usuário e salvo num arquivo matlab pela interface em coordenadas relativas ou absolutas.
- **Salvar a máscara atual (“Write Rel Grid”)** : Para salvar a máscara atual em coordenadas relativas. Pode-se também salvar a grade em coordenadas absolutas com o botão “Save Absolute Eval Grid” da janela principal
- **Sair e salvar a máscara (“Exit & Save”)** : Saí dessa janela passando as informações para a janela principal. A grade será considerada como definida e disponível para a avaliação dos pontos.
- **Sair sem salvar a máscara (“Exit No Save”)** : Saí dessa janela sem passar as modificações para a janela principal que fica com a máscara definida antes ou sem máscara se nenhuma foi definida.

## B.5.

### Janela da correspondência de feições

Calcula-se a correspondência baseada em feições na janela da figura B.8. Aparecem todas as operações e todos os parâmetros na coluna da esquerda e no meio entre as duas sub-imagens. A vista da esquerda do par estéreo fica acima, enquanto a outra fica abaixo.

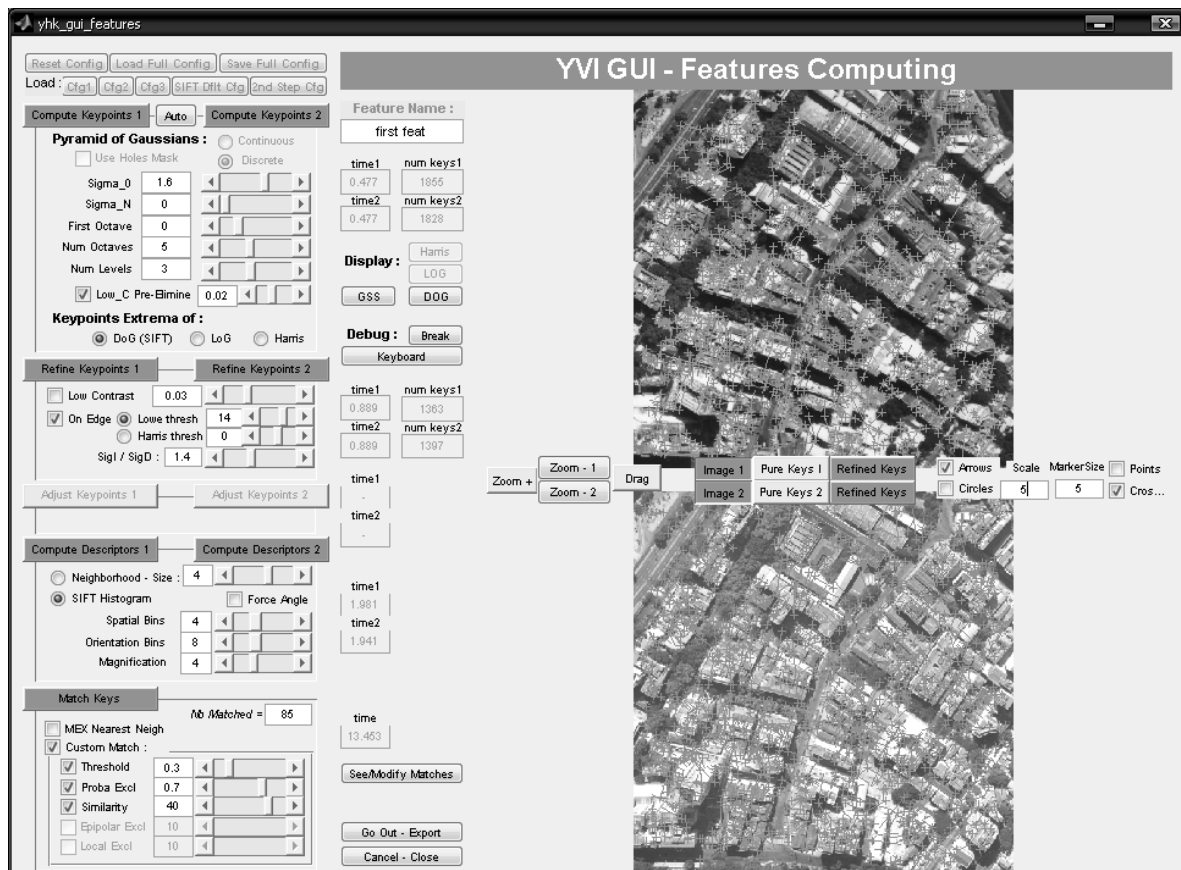


Figura B.8: Janela da correspondência de feições

Na coluna esquerda são acessíveis os campos para:

- Carregar e salvar as configurações** : Algumas configurações usuais são gravadas nas “Cfg1”, “Cfg2”, “Cfg3”, “SIFT Dflt Cfg” (configuração proposta pelo Lowe no [2]) e “2nd Step Cfg”. Pode-se salvar a configuração atual (“Save Full Config”) para carregá-la depois (“Load Full Config”).
- Procurar os pontos chaves (“Compute Keypoints”)** : Lança-se a busca dos pontos chaves do SIFT separadamente na imagem da direita (“Compute Keypoints 1”) ou da direita (“Compute Keypoints 2”) com a escolha de todos os parâmetros definidos na seção 2.2 e detalhados no [2]. Pode-se escolher ainda que os pontos chaves sejam os extremos da função DoG (o SIFT mesmo), da função LoG ou os cantos de Harris. Nessa parte também aparece a opção “Use Hole Mask”, para buscar os pontos chaves somente nos buracos da imagem, quando a máscara dos buracos da correspondência baseada em área já estiver definida. Do lado

direto da coluna aparece o tempo de computação assim como o número de pontos obtidos nas caixinhas, e pode-se visualizar as pirâmides das imagens filtradas e das funções escolhidas (DoG ou LoG ou Harris).

- **Refinar esses pontos (“Refine Keypoints”)** : Nesse grupo pode-se refinar ou conjunto de ponto, ou seja eliminar os pontos que estiverem em áreas de baixo contraste ou em arestas retas. Essa parte é opcional, pois pode-se continuar com os pontos iniciais. O primeiro critério (áreas de baixo contraste) é simplesmente um limiar aplicado no DoG ou LoG. Tem a escolha para o segundo (as arestas retas), como descrito na seção 2.2.1.3 entre o limiar de Lowe ou de Harris. Para critério de Harris, define-se também a razão entre o desvio padrão da função de integração “SigI” (área em são adicionados os pixels para criar a matriz de segunda ordem) e o desvio padrão da função de derivação “SigD” (escala na pirâmide do DoG). Aparece do lado o tempo de computação e o número de pontos obtidos.
- **Calcular os descritores (“Compute Descriptors”)** : Pode-se aqui escolher entre dois tipos de descritores dos pontos chave. O primeiro é a vizinhança mesmo : Coloca-se no vetor descritor diretamente os pixels da vizinhança, sem nenhuma modificação (se  $p$  é o tamanho escolhido, então a vizinhança tem um tamanho  $(2p+1) \times (2p+1)$ ). A segunda opção é o histograma do SIFT, como descrito na seção 2.2.2, para o qual pode-se definir todos os parâmetros de tamanho. Também aparece do lado o tempo de computação para cada lado.
- **Buscar a correspondência entre os pontos (“Match Keys”)** : O botão “Match Keys” lança a correspondência entre os pontos chaves encontrados acima. Define-se todos os parâmetros detalhados nas seções 3.2.2 e 3.3.3. Os conjuntos de pontos chaves utilizados são os que aparecem nas imagens do lado (sem refinamento ou com refinamento). O tempo de computação assim como o número de pares encontrados estão indicados.
- **Salvar, ver ou modificar as correspondências** : Três botões são acessíveis para sair salvando os pontos obtidos (“Go Out – Export”),

sair sem salvar os pontos (“Cancel – Close”), ou para ver e modificar os pares de pontos (“See / Modify Matches”)

- **Cálculo automático (botão “Auto” em cima no meio) :** Esse botão acelera os processamentos, lançando todas as operações em seguida com um click só : “Compute Keypoints 1”, “Compute Keypoints 2”, “Refine Keypoints 1”, “Refine Keypoints 2”, “Compute Descriptors 1”, “Compute Descriptors 2”, e “Match Keys”, utilizando os parâmetros que estiverem selecionados na tela.

No meio das duas imagens aparecem as opções de visualização. Assim, pode-se :

- **Escolher o tamanho da janela de visualização :** Pode-se fazer um zoom positivo (“Zoom +”) ou negativo nas duas imagens (“Zoom – 1” e “Zoom – 2”), ou se deslocar na imagem (“Drag”).
- **Escolher a visualização da imagem :** Pode-se visualizar ou não as imagens com os botões “Image 1” e “Image 2” que aparecem em laranja se a imagem estiver ativa.
- **Escolher que pontos chaves visualizar :** Pode-se visualizar os pontos chave sem refinamento com os botões “Pure Keys 1” e “Pure Keys 2” que também aparecem em laranja quando estiver ativo, ou os pontos com refinamento com os botões “Refined Keys”. Os descritores são calculados com os pontos que estão selecionados aqui. (mesmo se o refinamento já estiver calculado, os descritores podem utilizar os pontos sem refinamento se o botão “Pure Keys” estiver selecionado)
- **Escolher como aparecem os pontos chaves :** Pode-se definir a forma como são representados os pontos chave, com setas, círculos, cruzes ou pontos, e de que tamanho e espessura.

## B.6.

### Janela final de avaliação

A figura B.9 mostra a janela de avaliação. A direita aparece um lado da imagem com todos os pontos encontrados e todos os tetos definidos, e a esquerda todas as medidas como descritas na seção 4.2. As três principais estão sublinhadas aqui.

A primeira parte detalha a repartição dos pontos (“Position os the Points”) :

- Número total de Pontos (“Nb Total Points”),
- Número desses pontos localizados nos tetos (“Nb Points On Top”),
- Porcentagem de pontos localizados nos tetos (“% On Top Points”), comparado ao número total de pontos.

A segunda parte calcula as coberturas (“Density of Points”) :

- Superfície total da imagem, tirando a superfície que não pode ser atingida nos lados da imagem por causa do tamanho dos descritores (“Total Area”),
- **Cobertura Simples** = Porcentagem da superfície total coberta pelos pontos (em %, “Total Density”),
- Superfície do retângulo mínimo envolvendo todos os pontos encontrados, (“Bound Area”, sempre menor ou igual à superfície total)
- Porcentagem da superfície desse retângulo coberta pelos pontos (em %, “Bounding Density”, sempre maior do que a porcentagem total),
- Área dos topos (“On Top Area”) : área dos polígonos definidos nas máscaras dos topos da grade de avaliação (vide B.4),
- **Cobertura nos Topos** = Porcentagem coberta nos topos (em %, “On Top Density”)

A terceira parte estuda o caso especial dos topos (“Special Case of Tops”) :

- Número total de topos definidos (“Nb of Tops”),
- Número de topos atingidos por pelo menos um ponto (“Touched Tops”),
- **Número de topos atingidos** = topos com pelo menos 25% das suas superfícies cobertas por pontos (“Selected Tops”),
- **Porcentagem de topos atingidos** (em porcentos, “% Selected Tops”),

Finalmente propõe-se um histograma do número de pontos encontrados por topo, o que pode ser útil para analisar a relevância das coberturas dos topos.

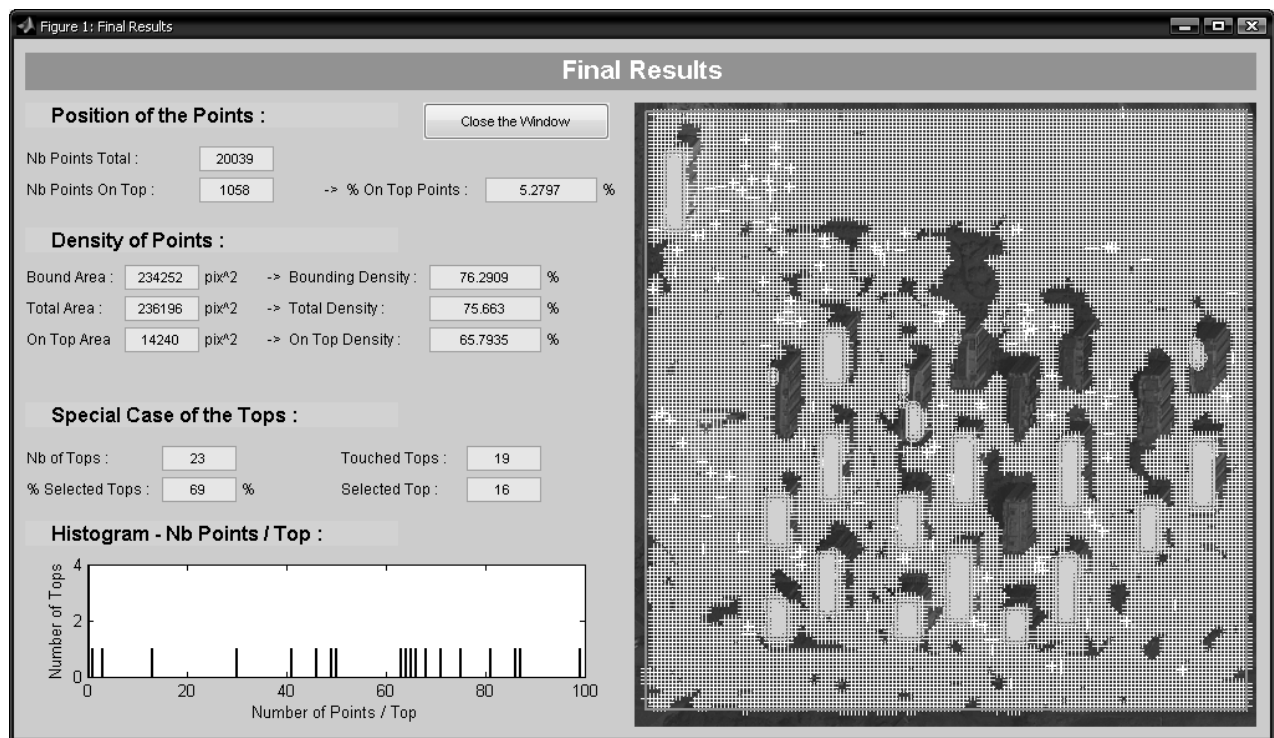


Figura B.9: Janela de avaliação de resultados



## APÊNDICE C: Coordenadas detalhadas das 12 sub-imagens

Aqui estão detalhadas as localizações exatas das 12 sub-imagens utilizadas na dissertação para a avaliação do desempenho. São sub-imagens de tamanho 500 por 500 pixels. São dadas nas tabelas as coordenadas  $x$  (linhas) e  $y$  (colunas) do ponto de cima à esquerda da sub-imagem, assim como o nome da imagem utilizada, para as 2 imagens de satélite e as 5 imagens aéreas.

Tabela C.1: Coordenadas das 12 sub-imagens selecionadas para os testes

Tipo	Aérea			Satélite		
Floresta	Sub-imagem A1			Sub-imagem S1		
	Arquivo	2000_foto05	2000_foto06	Arquivo	219791_000	219791_002
	x	2240	1720	x	11440	11000
	y	420	420	y	7440	7475
Rural	Sub-imagem A2			Sub-imagem S2		
	Arquivo	2000_foto05	2000_foto06	Arquivo	219791_000	219791_002
	x	600	100	x	8900	8440
	y	1220	1220	y	8000	8100
Residencial	Sub-imagem A3			Sub-imagem S3		
	Arquivo	2000_foto05	2000_foto06	Arquivo	219791_000	219791_002
	x	1700	1190	x	4605	4150
	y	1300	1300	y	5960	6050
Prédios a	Sub-imagem A4a			Sub-imagem S4a		
	Arquivo	1997_016	1997_017	Arquivo	219791_000	219791_002
	x	1560	580	x	3600	3150
	y	2230	2230	y	7600	7700
Prédios b	Sub-imagem A4b			Sub-imagem S4b		
	Arquivo	1997_017	1997_018	Arquivo	219791_000	219791_002
	x	1500	450	x	4800	4350
	y	1020	1090	y	7640	7730
Prédios c	Sub-imagem A4c			Sub-imagem S4c		
	Arquivo	1997_017	1997_018	Arquivo	219791_000	219791_002
	x	1410	380	x	7370	6910
	y	1680	1750	y	7770	7870

## APÊNDICE D: Detalhes do primeiro experimento

São detalhadas na tabela D.1 todos os resultados feitos para o primeiro experimento, já que na seção 4.4.2 são apresentadas médias dos cinco experimentos realizados aqui para diminuir a dependência às sementes escolhidas.

Tabela D.1: Resultados completos da primeira experiência – o método manual

	Imagem	Cobertura simples	Cobertura topos	% topos selecionados	
Floresta	A1	97.8 %			
		97.8 %			
		97.9 %			
		97.8 %			
		97.9 %			
	S1	0.6 %			
		0.6 %			
		0.6 %			
		0.7 %			
		0.7 %			
Rural	A2	100 %			
		100 %			
		100 %			
		100 %			
		100 %			
	S2	96.7 %			
		96.7 %			
		96.7 %			
		96.8 %			
		96.8 %			
Residencial	A3	98.9 %			
		98.9 %			
		98.8 %			
		98.9 %			
		98.8 %			
	S3	65.4 %			
		3.7 %			
		65.4 %			
		65.3 %			
		65.0 %			
Prédios Altos	A4a	28.0 %	1.5 %	4.5 %	1 / 22
		2.9 %	0 %	0 %	0 / 22
		9.2 %	0.3 %	0 %	0 / 22
		32.3 %	1.9 %	4.5 %	1 / 22
		11.4 %	0.6 %	0 %	0 / 22
	A4b	12.4 %	18.1 %	0 %	0 / 2
		2.0 %	0 %	0 %	0 / 2
		22.8 %	0 %	0 %	0 / 2
		3.9 %	4.9 %	50 %	1 / 2
		8.5 %	1.3 %	0 %	0 / 2
	A4c	2.6 %	0.0 %	0 %	0 / 39
		5.1 %	12.5 %	5.1 %	2 / 39
		4.1 %	0.0 %	0 %	0 / 39
		10.1 %	4.6 %	2.6 %	1 / 39
		11.4 %	2.4 %	0 %	0 / 39
	S4a	73.5 %	8.5 %	8 %	2 / 25
		74.6 %	8.5 %	8 %	2 / 25

		73.5 %	7.9 %	8 %	2 / 25
		73.5 %	8.5 %	8 %	2 / 25
		73.4 %	8.3 %	8 %	2 / 25
	S4b	68.3 %	7.0 %	4.4 %	1 / 23
		68.4 %	7.9 %	4.4 %	1 / 23
		68.0 %	6.1 %	4.4 %	1 / 23
		68.2 %	7.0 %	4.4 %	1 / 23
		68.2 %	6.4 %	4.4 %	1 / 23
	S4c	75.6 %	3.5 %	0 %	0 / 17
		75.6 %	3.4 %	0 %	0 / 17
		75.8 %	3.4 %	0 %	0 / 17
		75.8 %	3.5 %	0 %	0 / 17
		75.7 %	3.5 %	0 %	0 / 17