

## 4

### O Método Proposto

O método proposto tem como objetivos identificar e extrair edificações em áreas de assentamentos informais no Brasil, a partir de um par de imagens estéreo e de um MDS de entrada (MDSe) extraído por métodos fotogramétricos convencionais (LSM, por exemplo), e melhorar a exatidão do MDSe.

O esquema geral do método proposto é apresentado na figura 4.1. O primeiro passo consiste na “Detecção dos topos” das edificações em cada imagem do par estéreo, que gera como saída dois conjuntos de segmentos de topos, correspondentes a cada uma das imagens de entrada. Assim, tem-se a identificação individualizada de edificações (semântica) no espaço-imagem.

No passo seguinte, realiza-se a “Determinação de regiões homólogas” com base nos segmentos dos topos e com auxílio do MDSe.

Após a determinação de regiões homólogas procede-se à “Reconstrução 3D” das edificações, gerando o Modelo Digital dos topos das edificações encontradas (MDSt), impondo-se a injunção de que, dentro de cada segmento, a altura seja constante. Há que ressaltar que o fato de que essa injunção é válida para o contexto brasileiro, onde os telhados de áreas edificadas em assentamentos informais são do tipo laje plana de cimento ou argamassa.

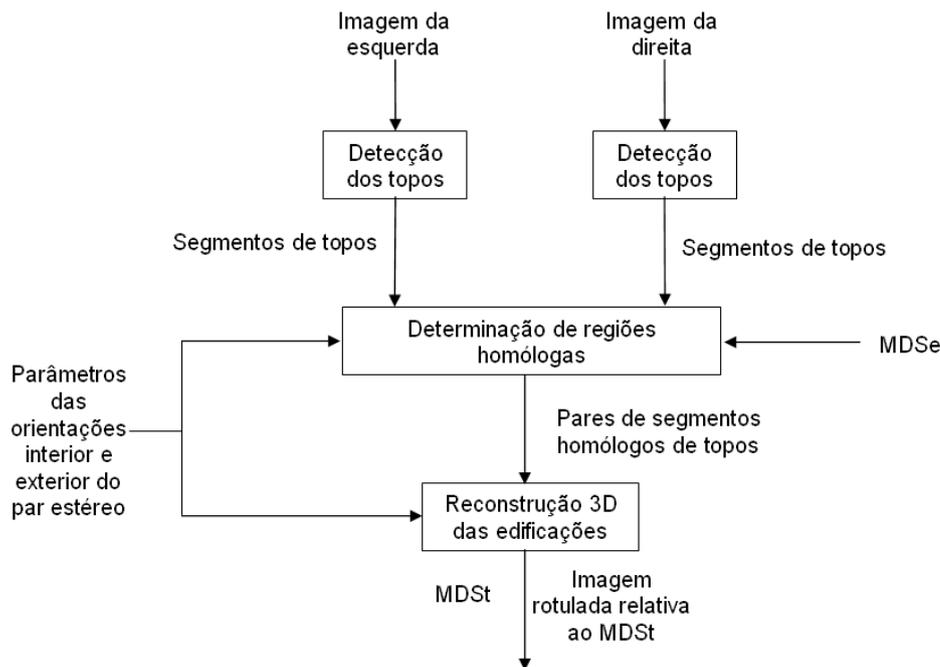


Figura 4.1: Modelo geral proposto.

Na seção 4.1 será abordada a etapa de detecção de topos das edificações. A seção 4.2 aborda o pareamento de segmentos homólogos. A reconstrução 3D através dos dois métodos propostos é discutida na seção 4.3.

#### 4.1 Detecção dos topos

A primeira etapa do método proposto é a “Detecção dos topos” das edificações. A solução desenvolvida para esta etapa baseia-se no segmentador proposto por Müller e Zaum (2005). O algoritmo original foi concebido para edificações em assentamentos urbanos da Alemanha. Nesta tese propõem-se alterações no algoritmo de Müller e Zaum de modo a ajustá-lo à realidade dos assentamentos informais brasileiros, conforme se verá mais adiante.

O método original foi desenvolvido para a detecção de telhados de casas isoladas, cercadas de vegetação. Nele, o uso da informação de cor é fundamental para a identificação de edificações. Outro aspecto explorado no algoritmo original é o fato de os telhados possuírem duas ou mais águas. Nesta situação, faz-se necessária uma etapa do algoritmo para unir segmentos de uma mesma edificação

detectados como segmentos separados.

Boa parte das edificações em assentamentos informais no Brasil não possui telhado, sendo a laje a principal cobertura. Quando possui telhado, o material normalmente utilizado é o amianto (de cor acinzentada), devido ao seu baixo custo de instalação em comparação com os telhados tradicionais. Como todo o ambiente em torno das edificações é de cor acinzentada, o atributo cor não é útil para a distinção de edificações neste caso. Outra característica dos topos dessas edificações é que geralmente são áreas homogêneas.

Como as áreas de assentamento informal normalmente são densamente ocupadas, outro atributo útil para a detecção de edificações é a sombra projetada das mesmas. A sombra pode ser utilizada para indicar a proximidade de uma edificação ou até mesmo para indicar e descartar segmentos que possuam boa parte de sua área sobre ela. Além disso, os topos das edificações têm em geral cores claras. Assim, uma filtragem simples pode eliminar os segmentos que estiverem sobre áreas escuras.

A figura 4.2 mostra o método de detecção de edificações proposto nesta tese que incorpora modificações ao método original de Müller e Zaum anteriormente mencionado. A primeira alteração diz respeito à eliminação de uma etapa de pré-processamento baseada numa análise de cor que precede a segmentação no método original. Antes da etapa de Classificação foi ainda introduzida uma etapa de pré-classificação, que elimina segmentos de sombras e áreas escuras, bem como segmentos cujos atributos não atendem a certas condições que serão definidas mais adiante. Por último, a etapa de classificação final utiliza um classificador que extrai do conjunto de segmentos encontrados até aquela etapa somente os segmentos de topo de edificações.

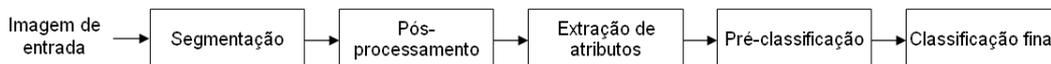


Figura 4.2: Método proposto para detecção de tipos de edificações em assentamentos informais.

### 4.1.1 Segmentação

O primeiro passo da *detecção de topos* é a segmentação de cada uma das imagens de entrada que compõem o par estereoscópico. O objetivo do segmentador é subdividir a imagem em regiões homogêneas. Dois segmentadores foram utilizados:

- Um segmentador baseado no algoritmo de Baatz & Schäpe (Baatz e Schäpe, 2000; Happ et al., 2011)
- Um segmentador baseado na técnica de *Watershed* (Beucher e Meyer, 1993).

O segmentador de Baatz & Schäpe é um segmentador utilizado com frequência em *softwares* de segmentação de imagens como, por exemplo, o eCognition. Já o segmentador *Watershed* foi utilizado porque sua técnica se baseia em detecção dos contornos dos objetos, ideal para a aplicação em áreas de assentamentos informais.

Ao final da segmentação é gerada, para cada imagem de entrada, uma imagem rotulada contendo os segmentos numerados sequencialmente de 1 em diante. O valor 0 indica a ausência de segmento. A figura 4.3 mostra o exemplo de uma imagem rotulada e sua respectiva representação matricial.

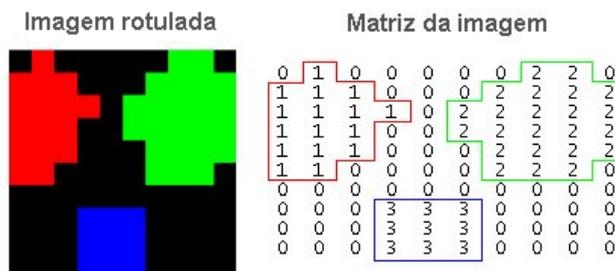


Figura 4.3: Imagem rotulada e sua representação matricial.

### 4.1.2 Pós-processamento

Após a etapa de segmentação, os segmentos de topo resultantes podem apresentar buracos ou pequenos filamentos. Uma operação morfológica de abertura seguida de fechamento é aplicada a cada segmento individualmente, de forma a fechar os buracos e eliminar eventuais filamentos, conforme ilustra a figura 4.4:

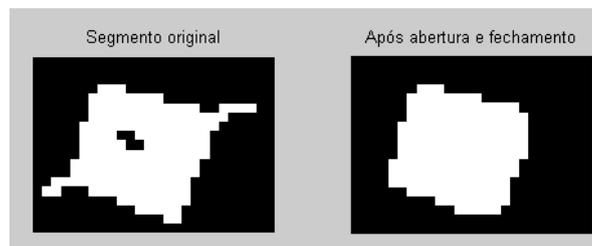


Figura 4.4: Segmento original e após as operações de abertura e fechamento.

Após a aplicação das operações de abertura e fechamento, poderão ocorrer situações em que um segmento seja fragmentado em duas ou mais partes. Nestes casos será necessário criar novos rótulos para os fragmentos. A figura 4.5 mostra um exemplo de re-rotulação de segmento fragmentado.



Figura 4.5: Re-rotulação de segmento fragmentado.

### 4.1.3 Extração de atributos geométricos dos segmentos

Calcula-se após o pós-processamento, um conjunto de atributos, calculados para cada segmento, e relacionados na tabela 4.1. Esses atributos são os mesmos propostos no trabalho original de Müller e Zaum. As primeiras 5 linhas da tabela

contêm os atributos utilizados para descrever os segmentos. As demais linhas contêm atributos auxiliares utilizados nos cálculos dos primeiros. A tabela indica ainda na coluna à esquerda os símbolos que denotarão deste ponto em diante no texto cada um dos atributos considerados.

Símbolo	Atributo
$A$	Área
$\alpha$	Anisometria
$B$	Robustez
$C$	Compacidade
$r$	Arredondamento
$P$	Perímetro
$M_{ij}$	Momento de ordem $ij$ , onde $(i,j) \in \{(0,2),(1,1),(2,0)\}$
$\varphi$	Ângulo da elipse envoltória em relação ao plano horizontal
$R_a$	Semi-eixo maior da elipse envoltória
$R_b$	Semi-eixo menor da elipse envoltória

Tabela 4.1: Atributos utilizados para descrever os segmentos.

Os atributos utilizados são calculados com base nas definições de atributos utilizadas no *software* de Visão Computacional Halcon 9.3 da empresa MVTec (2010). Desta forma, tem-se:

- A área é dada pelo número de *pixels* do segmento.
- O perímetro é dado pelo número de *pixels* do contorno do segmento.
- O momento de um segmento é calculado de acordo com a equação 4.1:

$$M_{ij} = \sum_{k=1}^n (x_0 - x_k)^j (y_0 - y_k)^i \quad (4.1)$$

onde  $x_0$  e  $y_0$  são as coordenadas do centróide do segmento,  $x_k$  e  $y_k$  as coordenadas de cada pixel do segmento, e  $i$  e  $j$  são as ordens do momento. As coordenadas do centróide de um segmento são calculadas através da média das coordenadas de todos os *pixels* do segmento.

- A orientação  $\varphi$  da elipse envoltória do segmento, o semi-eixo maior  $R_a$ , e semi-eixo menor  $R_b$  podem ser calculados respectivamente

pelas equações 4.2, 4.3 e 4.4.

$$\varphi = -0,5 \cdot \text{atan2}(2 M_{11}, M_{02} - M_{20}) \quad (4.2)$$

onde

$$\text{atan2}(x,y) = \begin{cases} \arctan\left(\frac{y}{x}\right) & , \text{ para } x > 0 \\ \pi + \arctan\left(\frac{y}{x}\right) & , \text{ para } y \geq 0, x < 0 \\ -\pi + \arctan\left(\frac{y}{x}\right) & , \text{ para } y < 0, x < 0 \\ \frac{\pi}{2} & , \text{ para } y > 0, x = 0 \\ -\frac{\pi}{2} & , \text{ para } y < 0, x = 0 \\ \textit{indefinido} & , \text{ para } y = 0, x = 0 \end{cases}$$

$$R_a = \frac{\sqrt{8\left(M_{20} + M_{02} + \sqrt{(M_{20} - M_{02})^2 + 4M_{11}^2}\right)}}{2} \quad (4.3)$$

$$R_b = \frac{\sqrt{8\left(M_{20} + M_{02} - \sqrt{(M_{20} - M_{02})^2 + 4M_{11}^2}\right)}}{2} \quad (4.4)$$

- A anisometria ( $\alpha$ ) é definida como a razão entre o semi-eixo maior ( $R_a$ ) e o semi-eixo menor ( $R_b$ ) da elipse envoltória, ou seja,

$$\alpha = \frac{R_a}{R_b} \quad (4.5)$$

- A robustez e a compacidade são definidas pelas equações 4.6 e 4.7:

$$B = \frac{\pi \cdot R_a \cdot R_b}{A} \quad (4.6)$$

$$C = \frac{P^2}{4.A.\pi} \quad (4.7)$$

- O arredondamento  $r$  é uma medida de semelhança entre a forma do segmento e a de um círculo. As equações 4.8, 4.9 e 4.10 definem o cálculo do arredondamento.

$$D = \frac{1}{A} \sum_{p_i \in \text{contorno}} \|p_{\text{centróide}} - p_i\| \quad (4.8)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{A} \sum_{p_i \in \text{contorno}} (\|p_{\text{centróide}} - p_i\| - D)^2 \quad (4.9)$$

$$r = 1 - \frac{\sigma}{D} \quad (4.10)$$

onde  $p_{\text{centróide}}$  e  $p_i$  representam respectivamente o vetor de coordenadas do centróide do segmento e de um pixel pertencente ao contorno do segmento.

Ao final do processo de “Detecção dos topos” de edificações, um arquivo com os atributos extraídos dos segmentos é gerado, complementando a informação contida na imagem rotulada.

#### 4.1.4 Pré-classificação

Na etapa de pré-classificação são eliminados os segmentos situados em regiões de sombra e os segmentos cujos atributos exorbitem uma determinada faixa de valores.

#### 4.1.4.1

##### Eliminação de segmentos situados em regiões de sombra

Os segmentos em regiões de sombra são identificados criando-se uma máscara de sombras. Esta é formada pelos *pixels* com baixa intensidade, que na verdade podem corresponder a sombra, vegetação ou corpo d'água. Então, define-se um limiar para os níveis de cinza, onde atribui-se o valor “0” para os valores abaixo desse limiar (regiões de sombra) e “1” para as demais regiões na máscara criada.

O algoritmo de Müller e Zaum explora a informação da sombra projetada de para identificar as edificações. Conforme pode ser observado na figura 4.6, edificações de assentamentos informais são muito próximas entre si e nem sempre projetam sombra sobre as áreas vizinhas. Portanto, ao contrário do que faz o algoritmo original de Müller e Zaum, em nossa proposta a máscara de sombra é utilizada somente para rejeitar segmentos que estejam sobre essas áreas.

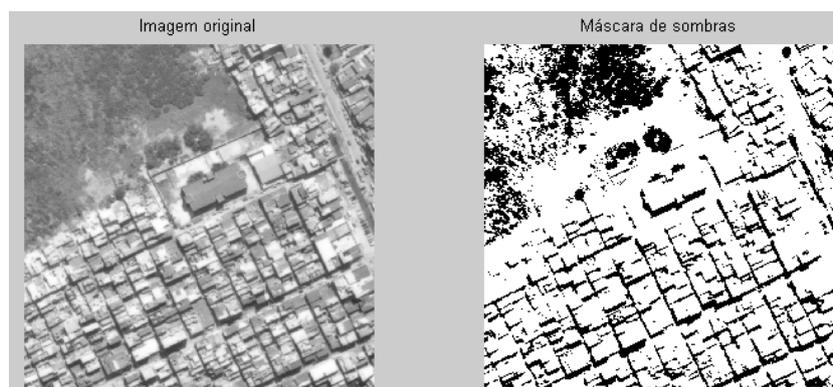


Figura 4.6: Exemplo de detecção de sombras – indicadas pelas áreas escuras na imagem à direita.

#### 4.1.4.2

##### Faixa de aceitação para alguns atributos

Ainda na pré-classificação impõem-se restrições quanto à geometria dos segmentos encontrados. Em nossa abordagem definem-se faixas de aceitação para os valores dos atributos utilizados nesta etapa.

No caso da área e da anisometria, é possível determinar a faixa de valores

aceitação para esses atributos, baseando-se em conhecimento à *priori* sobre as áreas imageadas.

Verificou-se experimentalmente que entre os atributos compacidade, robustez e arredondamento, o atributo compacidade isoladamente já permite separar com boa exatidão as classes “topo de edificação” e “não-topo de edificação”. Os procedimentos para determinação destes limites e seus valores são apresentados no capítulo 5. Assim, os seguintes atributos foram utilizados nesta etapa:

- Área ( $A$ ),
- Anisometria ( $\alpha$ ), e
- Compacidade ( $C$ ).

#### 4.1.5 Classificação final

Os segmentos remanescentes da etapa de pré-classificação são submetidos à etapa de classificação final, que impõe restrições adicionais à forma dos segmentos. A classificação baseia-se nos seguintes atributos (seção 4.1.3):

- *Anisometria* ( $\alpha$ ),
- *Robustez* ( $B$ ),
- *Compacidade* ( $C$ ), e
- *Arredondamento* ( $r$ ).

Utiliza-se nesta etapa a técnica conhecida como Análise Linear de Discriminante (LDA - do inglês *Linear Discriminant Analysis*) de Fisher. Maiores detalhes sobre *Análise Linear de Discriminantes* podem ser encontrados, por exemplo, em (Johnson & Wichern, 1998). Basicamente, determina-se a combinação linear dos atributos de entrada

$$V = \sum_i x_i \cdot w_i \quad (4.11)$$

que propicia a melhor separação entre as classes “topo de edificação” e “não-topo de edificação”, onde  $x_i$  é o valor do  $i$ -ésimo atributo e  $w_i$  é o peso associado ao atributo. Os pesos são determinados da seguinte forma: Sejam  $\mu_T$  e  $\mu_{\#T}$ , os centróides das duas classes em questão no espaço de atributos. Sejam ainda  $\Sigma_T$  e  $\Sigma_{\#T}$  as respectivas matrizes de covariância das mesmas classes.

O vetor de pesos  $\mathbf{w}=(w_1, \dots, w_n)$  é dado por

$$\mathbf{w} = (\mu_T - \mu_{\#T}) \Sigma_p^{-1} \quad (4.12)$$

onde  $\Sigma_p = (\Sigma_T + \Sigma_{\#T})$ .

Os centróides e matrizes de covariância são estimados pela média e covariância amostrais computadas a partir de um conjunto de amostras de ambas as classes. A regra de decisão para o classificador final é simplesmente:

*Atribua  $\mathbf{x}$  à classe “topo de edificação” se  $V > L$  e à classe “não-topo de edificação”, caso contrário.*

$L$  denota o valor de limiar para o qual a regra de decisão acima produz o maior número de acertos quando aplicada ao conjunto de amostras usadas para determinar os pesos na equação 4.12. No capítulo 5, será apresentado como foi calculado o valor do limiar  $L$  para a classificação final.

## 4.2 Determinação de regiões homólogas

Cada segmento encontrado no passo anterior representa a região do topo de uma edificação. Para cada edificação, poderão ser encontradas as seguintes situações:

- O topo é representado por um segmento em cada uma das imagens do par estereoscópico;
- O topo é representado por um segmento apenas em uma das

- imagens; e
- O topo não é representado por qualquer segmento.

Para as duas primeiras situações, é possível determinar as regiões de topo homólogas. O método adotado para encontrar as regiões de topo homólogas é a correlação de regiões, onde as duas primeiras situações são tratadas. Este método será explicado mais adiante.

A estratégia para a determinação de regiões homólogas é dividida em duas etapas. O objetivo da primeira etapa é restringir a área de busca de regiões homólogas na segunda etapa.

#### **4.2.1 Restrição da área de busca**

Na primeira etapa, o MDSe é varrido de forma a identificar os segmentos detectados na fase de “Detecção dos topos”. Para os segmentos detectados em cada imagem extraem-se ainda nesta etapa informações quanto à localização aproximada de seus homólogos na outra imagem do par. A figura 4.7 apresenta o fluxograma das ações executadas para cada ponto do MDSe na etapa de restrição da área de busca.

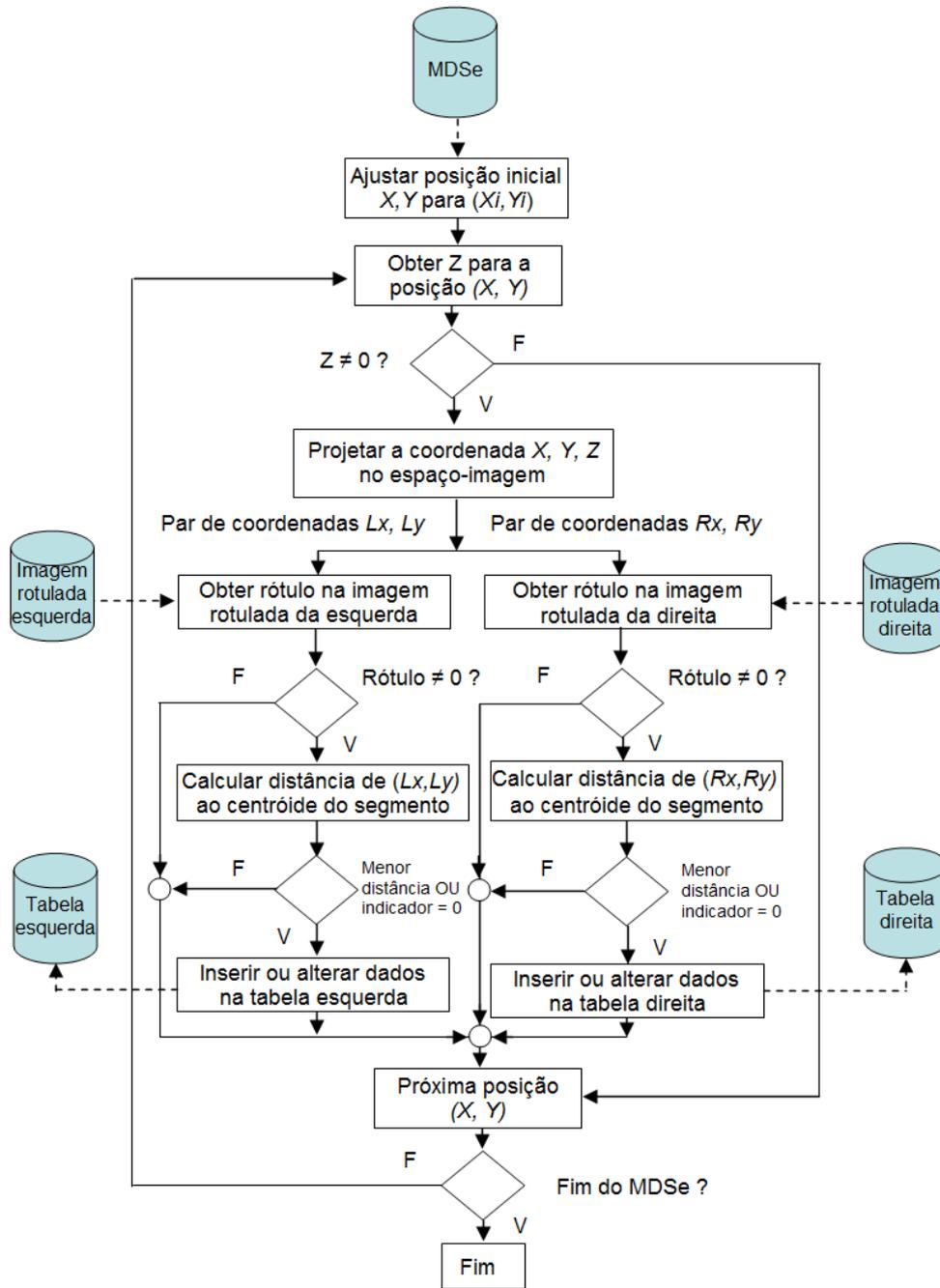


Figura 4.7: Fluxograma das ações executadas para cada ponto do MDSe na etapa de restrição da área de busca.

O MDSe tem delimitadas áreas de interesse caracterizados por um valor de  $Z$  diferente de “0”. Assim, consideram-se nesta etapa apenas os pontos do MDSe com  $Z$  diferente de “0”. Deve-se ressaltar ainda que a resolução espacial do MDSe é geralmente igual ou inferior à resolução das imagens do par estéreo. Desta forma, o passo da varredura no MDSe deverá ser compatível com a resolução espacial das imagens.

Durante a restrição da área de busca, duas tabelas são criadas, uma para cada imagem. Cada tabela tem uma entrada para cada rótulo de segmento existente na imagem correspondente. Cada entrada possui 7 campos, a saber:

- Rótulo do segmento correspondente na outra imagem;
- Indicador de que o rótulo correspondente ao segmento foi ou não encontrado;
- Distância do melhor ponto ao centróide do segmento. O melhor ponto é o ponto mais próximo ao centróide do segmento, dentre os pontos já visitados até a iteração corrente.
- Coordenadas do melhor ponto e de seu correspondente na outra imagem.

Note que o rótulo do ponto analisado corresponde ao número da entrada da tabela e não precisa, portanto, ser armazenado. Os indicadores que informam se o rótulo já foi encontrado em iterações anteriores, recebem inicialmente o valor lógico “falso”.

A varredura do MDSe inicia-se na origem (posição  $X_i$ ,  $Y_i$ ). Para cada posição  $X$ ,  $Y$  do MDSe, primeiramente o valor de  $Z$  é verificado. Caso seja diferente de zero e, portanto, válido, obtém-se projeção da coordenada  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  no espaço-imagem, obtendo-se os pares de coordenadas  $L_x$ ,  $L_y$  na imagem da esquerda e  $R_x$ ,  $R_y$  na imagem da direita. Para isto, utilizam-se as equações de colinearidade (Capítulo 3).

A partir deste ponto, o processo se divide em dois caminhos similares: o da imagem da esquerda e o da imagem da direita. Para cada imagem rotulada, verifica-se a existência de um rótulo válido para as coordenadas calculadas associado a algum segmento gerado pelo detector de edificações (figura 4.8). Caso o rótulo seja válido, ou seja, diferente de zero, modifica-se o indicador para “verdadeiro” deste rótulo na tabela correspondente e determina-se a distância do ponto calculado ao centróide desse segmento. Se essa distância for menor do que a menor distância calculada nas iterações anteriores, ou se esta for a primeira ocorrência desse rótulo, armazenam-se na posição da tabela correspondente ao rótulo encontrado:

- Os valores das coordenadas  $Lx$ ,  $Ly$ ,  $Rx$  e  $Ry$ ;
- A distância ao centróide; e
- O rótulo correspondente na outra imagem rotulada.

Como o segmento resultante da etapa de detecção de topos é a representação de um topo de edificação, é verificado se para um determinado segmento encontrado há também na outra imagem um segmento representando o mesmo topo. Se existir, armazena-se o rótulo desse segmento correspondente na tabela. Caso contrário, o campo rótulo correspondente na outra imagem é marcado com o valor zero.

Cabe justificar o papel e a importância do procedimento de buscar pontos mais próximos ao centróide. O objetivo deste procedimento é minimizar a probabilidade de se encontrarem falsos rótulos e, portanto, falsos segmentos correspondentes. Note que, quanto mais distantes do centróide dos seus segmentos estiverem os pontos encontrados, maior a probabilidade de que um deles recaia sobre um outro segmento que não o seu homólogo numa das imagens. A figura 4.9 ilustra esta situação. Observe nesta figura que a iteração número 1 (indicada pelo ‘x’ acompanhado do número “1”), foi a que encontrou um par de pontos mais próximos aos centróides (indicado pela cruz ‘+’ azul). As outras duas iterações (2 e 3) encontraram seus pares em segmentos vizinhos, e gerariam falsos pareamentos.

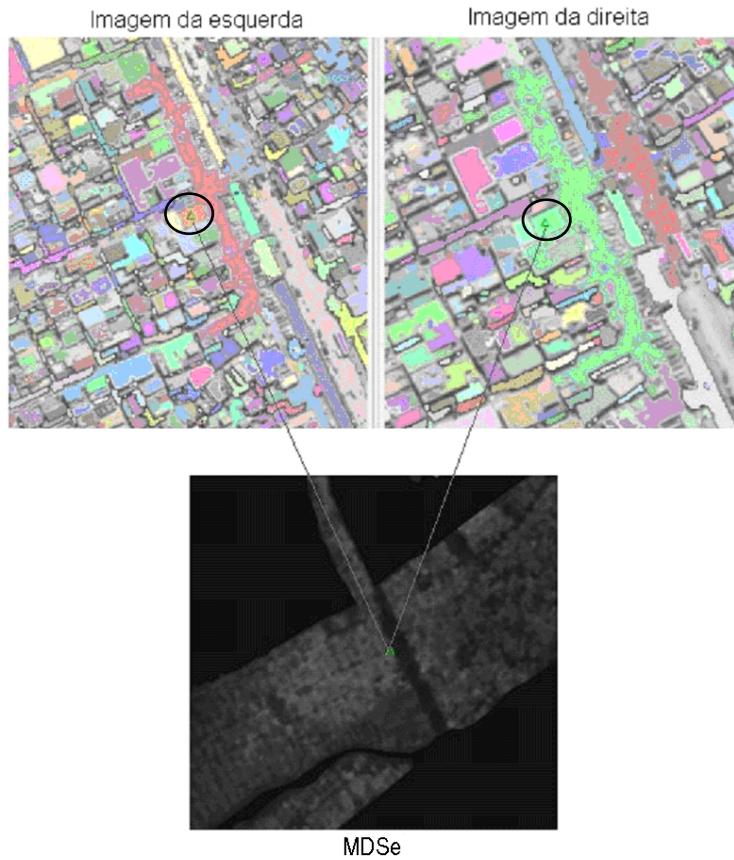


Figura 4.8: Localização de segmentos através do MDSe.

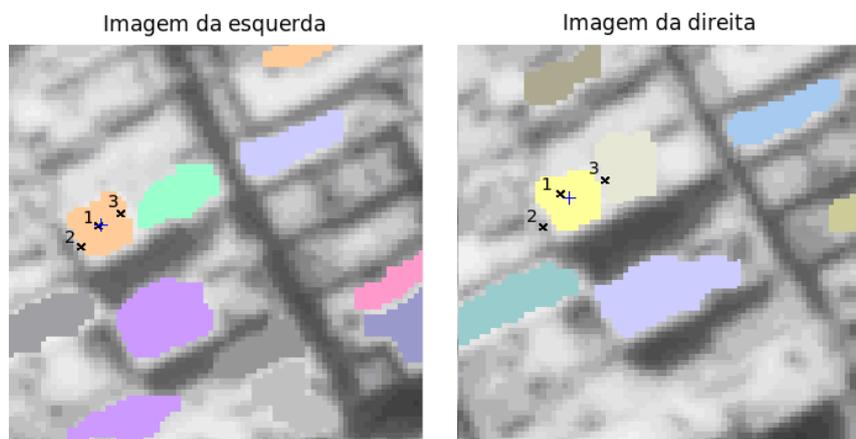


Figura 4.9: Ressecção espacial no par estéreo em três iterações.

#### 4.2.2

#### Determinação de regiões homólogas por correlação

Após o término da varredura do MDSe, inicia-se a etapa de correlação de regiões homólogas. A estratégia é fazer a correlação das áreas dos topos das

edificações a partir das imagens de entrada. Para isso, delimita-se do topo das edificações utilizando os segmentos assinalados na etapa de restrição de área de busca e as coordenadas da provável localização do topo como centro da janela de pesquisa. O termo “região” será utilizado deste ponto em diante no texto para referir-se à área na imagem de entrada correspondente a um dado segmento.

Primeiramente, cria-se uma lista vazia de pares de segmentos homólogos. O índice da lista corresponde à identificação do par de segmentos homólogos. Cada entrada da lista contém os seguintes campos:

- Rótulo da imagem da esquerda;
- Rótulo da imagem da direita; e
- Valor de  $Z$  do topo ( $Z_t$ ).

A correlação de regiões homólogas é realizada em dois processos diferentes: no primeiro, a imagem da esquerda é utilizada como imagem de referência e a da direita como imagem de busca. No segundo, as imagens invertem seus papéis. A figura 4.10 apresenta o fluxograma das ações executadas para a busca de regiões homólogas, utilizando-se a imagem da esquerda como referência, que corresponde à tabela esquerda.

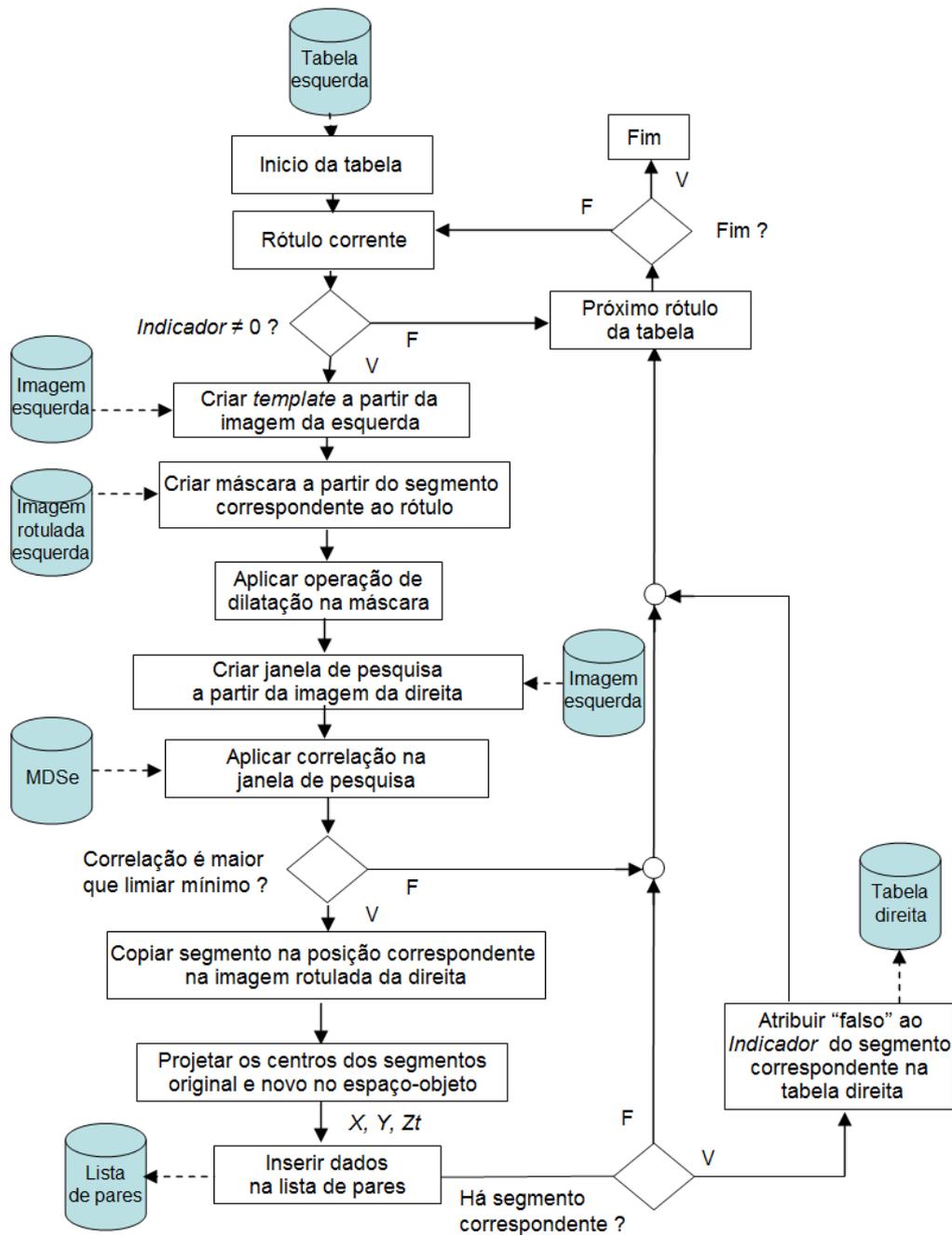


Figura 4.10: Fluxograma que descreve as ações executadas para a correlação de regiões a partir da imagem da esquerda.

O processo de correlação inicia utilizando-se a imagem da esquerda como referência. Primeiramente, um rótulo é lido da tabela relativa à imagem da esquerda. Caso o *indicador* correspondente a este rótulo seja verdadeiro, cria-se um *template* na imagem da esquerda com base na informação das coordenadas do retângulo envoltório do segmento correspondente ao rótulo, dilatado em uma unidade para cada lado do retângulo. Então, cria-se uma máscara com a mesma

forma do *template*. Nota-se experimentalmente que em geral, os segmentos gerados não incluem os *pixels* relativos ao contorno do topo da edificação na imagem original. Para agregar estes *pixels* aos segmentos, aplica-se a operação morfológica de dilatação na máscara criada (observe na figura 4.12, sob o título “*Template* com máscara”). Os experimentos realizados para validar a presente proposta indicaram que a dilatação do segmento contribui para uma melhor exatidão do segmento homólogo.

Na imagem da direita, é criada uma janela de pesquisa centrada nas coordenadas  $R_x$  e  $R_y$ , calculadas na etapa de restrição da área de busca. Então, executa-se a “Correlação”, levando em consideração nos cálculos da correlação cruzada apenas os *pixels*, onde a máscara possui valor “verdadeiro”. A figura 4.11 apresenta o fluxograma com os passos executados no processo de correlação. Para melhorar o resultado da correlação e eliminar falsos candidatos a regiões homólogas, a cada iteração é calculada a projeção no espaço-objeto do centróide do *template* com o centro da janela de correspondência. Então calcula-se o módulo da diferença da coordenada  $Z$  do ponto projetado com o valor da coordenada  $Z$  do MDSe correspondente à mesma posição  $X, Y$ . Esta diferença é chamada de erro altimétrico. Caso o erro altimétrico esteja acima de um determinado limiar (“Erro altimétrico máximo”), descarta-se a posição analisada na iteração corrente.

Assim que a busca pela região homóloga é concluída, o valor do coeficiente de correlação encontrado é comparado com um dado limiar. Caso este valor seja maior do que o limiar, o pareamento é validado e uma cópia do segmento utilizado como referência é criada na posição calculada na imagem rotulada correspondente à imagem de pesquisa, conforme pode ser visto na figura 4.12. Isto é plausível uma vez que boa parte dos topos das edificações em assentamentos informais têm altura constante. Desta forma, não há distorção geométrica significativa desses topos de uma imagem em relação à outra, tendo em vista que a sobreposição longitudinal existente no par estereoscópico é de no mínimo 60%. Tal raciocínio não poderá ser aplicado a telhados com inclinação significativa e fachadas. O apêndice C apresenta dois testes realizados que comprovam tais afirmações. A figura 4.12 ilustra os passos da correlação de regiões.

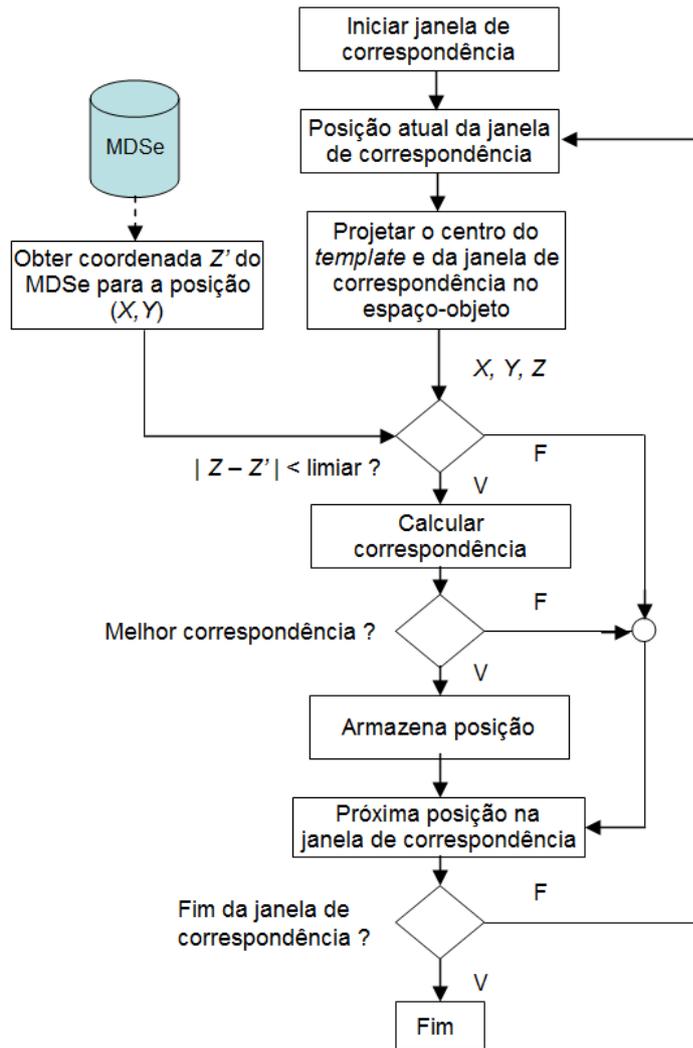


Figura 4.11: Fluxograma que descreve as ações executadas para o processo de correlação.

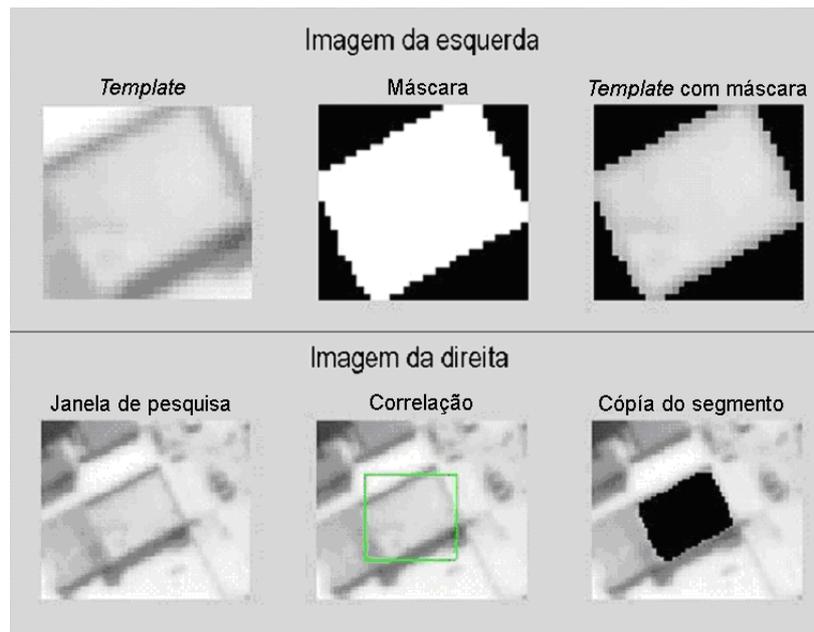


Figura 4.12: Exemplo de correlação de regiões.

Assim, inclui-se na lista de pares de segmentos homólogos o rótulo do segmento da imagem da esquerda, o rótulo do novo segmento gerado na imagem da direita e o valor do plano  $Z$  ( $Z_t$ ) obtido através de ressecção espacial das coordenadas do centro desse par de segmentos.

O novo segmento gerado na imagem rotulada da direita poderá se sobrepor a um segmento original obtido na etapa de detecção de topos. Esta condição foi verificada na etapa de restrição da área de busca, através do campo “Rótulo correspondente” da tabela esquerda. Desta forma, se o valor do campo “Rótulo correspondente” for diferente de zero, este segmento deverá ser excluído no processo de busca a partir da imagem da direita. Para isso, atribui-se ao *indicador* correspondente a este rótulo o valor “falso” na tabela direita.

Terminado o processo de correspondência baseado na imagem da esquerda, inicia-se o processo de correspondência baseado na imagem da direita. O processo é o mesmo aplicado no processo de correspondência baseado na imagem da esquerda, com exceção da necessidade de se excluir segmentos na tabela esquerda, uma vez que o processo de busca a partir da imagem da esquerda já foi realizado. O fluxograma da figura 4.13 mostra como a correlação é feita a partir da imagem da direita.

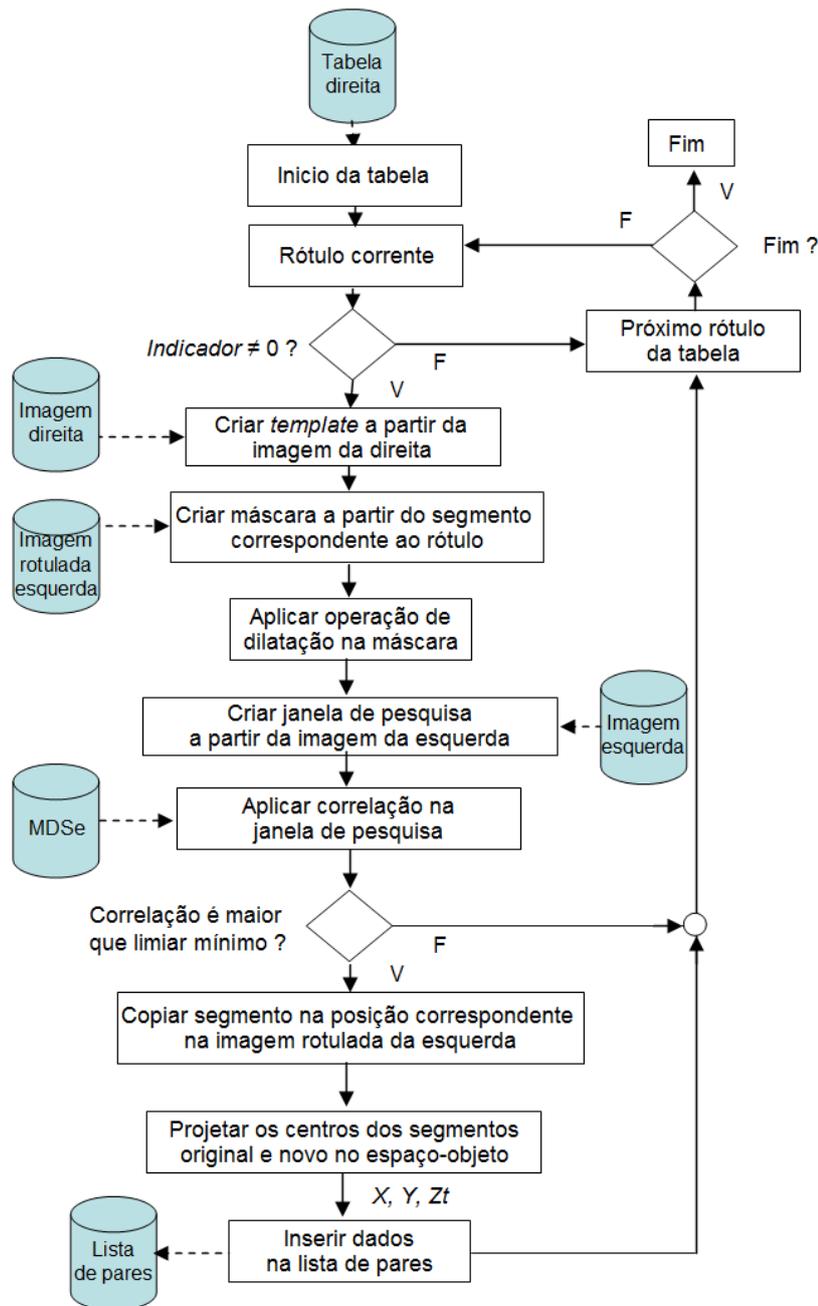


Figura 4.13: Fluxograma que descreve as ações executadas para a correlação de regiões, a partir da imagem da direita.

### 4.3 Reconstrução 3D a partir dos segmentos

Uma vez que os segmentos homólogos obtidos na etapa de determinação de regiões homólogas têm a mesma forma, os centros de massa dos segmentos são igualmente homólogos. Conforme mencionado anteriormente, em áreas de

assentamentos informais os topos das edificações normalmente são lajes. Nestes casos, pode-se considerar que os valores de  $Z$  são constantes para toda a área do topo de cada edificação. Em vista disso, pode-se realizar a reconstrução 3D de uma edificação por intermédio do algoritmo apresentado na figura 4.14.

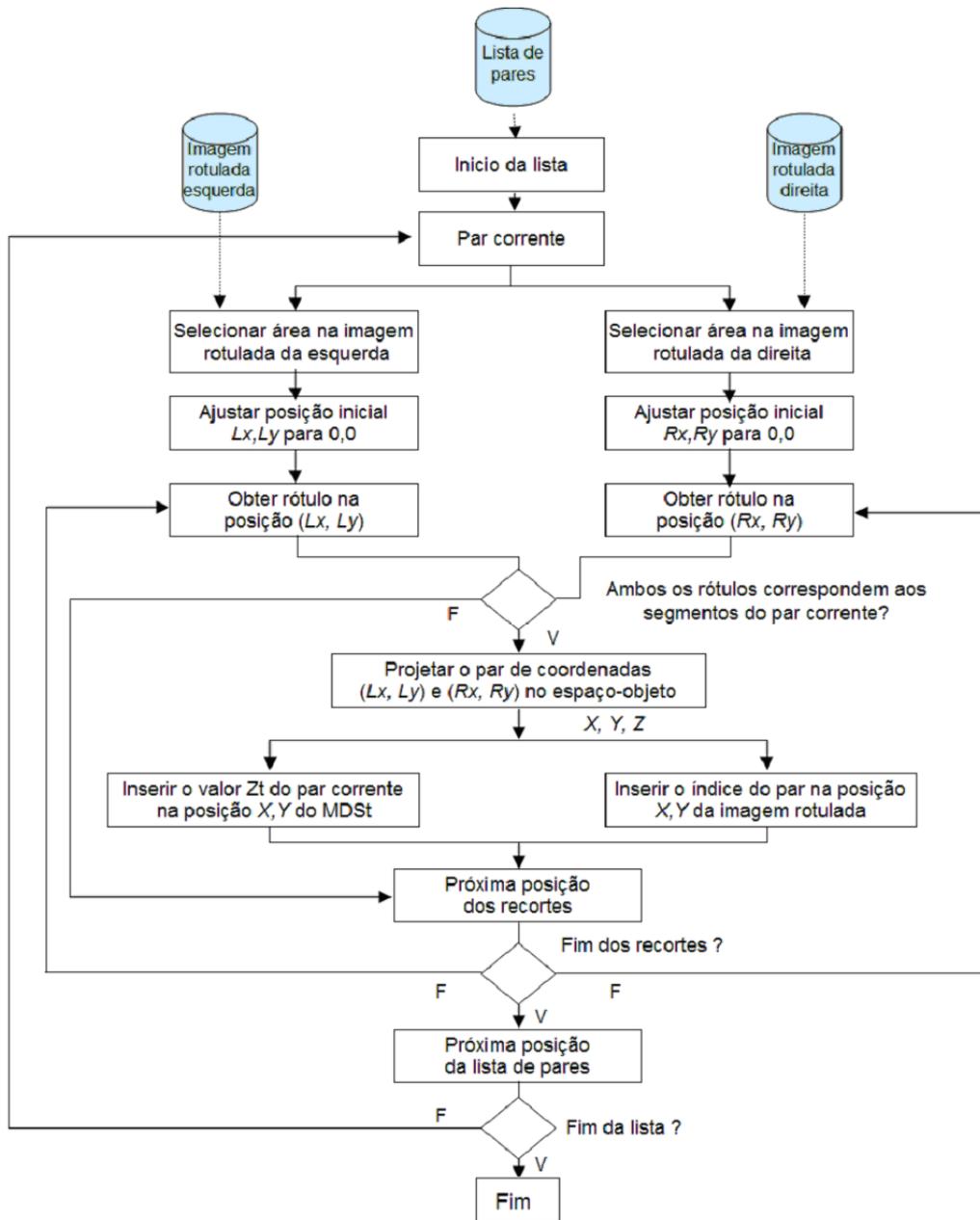


Figura 4.14: Fluxograma de ações executadas para a reconstrução 3D.

Primeiramente, criam-se duas matrizes, ambas com a origem  $(X_i, Y_i)$ , o tamanho e a mesma resolução espacial do MDSe. Para cada linha da lista de pares, obtém-se um “Par corrente”, que contém as informações do rótulo do

segmento da imagem rotulada da esquerda, do rótulo do segmento da imagem rotulada da direita e o valor de  $Z_t$ . Cria-se então um recorte com base no retângulo envoltório dos segmentos em cada imagem rotulada. Como os segmentos são iguais, os recortes terão o mesmo tamanho. As coordenadas relativas dos recortes em relação às imagens rotuladas ( $L_x, L_y$  para a esquerda e  $R_x, R_y$  para a direita), com origem em 0,0, são ajustadas para a posição inicial. Então, os recortes são varridos em conjunto, verificando se para cada posição, ambos os rótulos obtidos nas posições  $L_x, L_y$  e  $R_x, R_y$  correspondem aos respectivos rótulos do “Par corrente”. Em caso verdadeiro, projeta-se este par de coordenadas no espaço-objeto, obtendo uma coordenada  $X, Y, Z$ , conforme mostra a figura 4.15. No MDSt, o valor de  $Z_t$  é inserido na coordenada  $X, Y$ , enquanto que na imagem rotulada, o código do par (índice da lista) é inserido também na coordenada  $X, Y$ . Este procedimento é repetido para os demais pares da lista.

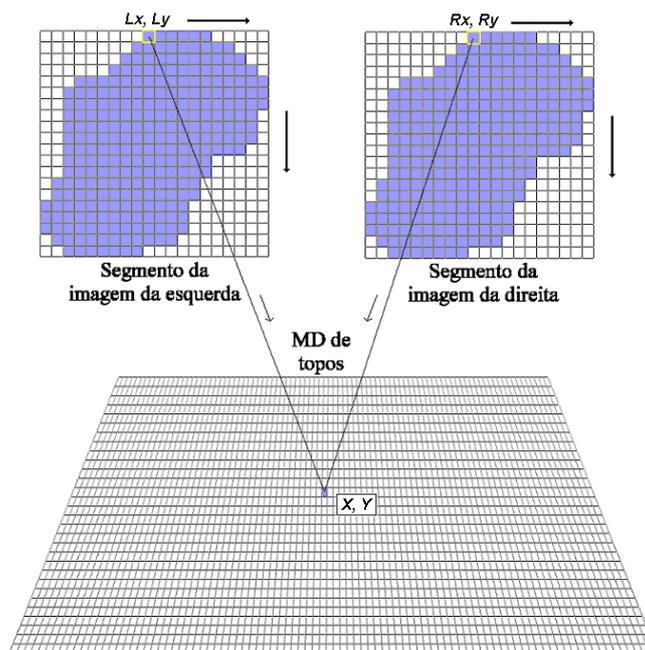


Figura 4.15: Reconstrução 3D de topos de edificações a partir dos segmentos homólogos.

O modelo digital assim gerado contém apenas as edificações identificadas, assinalando-se nos espaços vazios o valor igual a 0.

O capítulo 4 apresentou o modelo proposto, discursando sobre as diversas etapas envolvidas no processo de identificação e extração 3D em áreas de assentamento informal.