

## Detecção de áreas de oclusão para geração de ortoimagens verdadeiras, utilizando dados LiDAR

Henrique Cândido de Oliveira<sup>1</sup>  
Mauricio Galo<sup>1,2</sup>

Universidade Estadual Paulista – FCT / UNESP

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas - PPGCC

<sup>2</sup> Departamento de Cartografia

Rua Roberto Simonsen, 305 – 19060-900 – Presidente Prudente / SP

henrique.cartografia@gmail.com, galo@fct.unesp.br

**Abstract** - This work aims to show the results got by a method of occlusion detection for true orthophoto generation using LiDAR data. Experiments were performed with digital aerial images and a set of LiDAR data from Presidente Prudente/SP/Brazil. The occlusion detection method uses, instead of a previously created digital building model (DBM), only a digital surface model (DSM) provided by the LiDAR data. The LiDAR data is the base for the height gradient calculation, that allows the identification of the beginning of the occlusion area, that is essential to the fully projection of this areas in the image. The proposed method was first applied on simulated data from an ideal urban area, without noise, and also in real data, whose approximate density is 8 points/m<sup>2</sup>. As results, it was created pieces of orthorectified images, with occlusion areas filled up automatically. Using visual verification of the detected occlusion areas it was possible to note the results coherence, indicating the potential of this method.

**Palavras-chave:** ortoimagem verdadeira, true orthophoto, detecção de oclusão, occlusion detection, LASER, LiDAR, gradientes de altura.

### 1. Introdução e Objetivos

Diversos projetos de engenharia voltados para as áreas ambiental, civil, planejamento urbano, entre outros, utilizam produtos cartográficos em etapas que vão do planejamento ao controle de qualidade. Um destes produtos é a ortoimagem, sendo esta uma imagem na qual cada pixel é corrigido da variação do relevo e da orientação do sensor, por meio de modelos digitais de terreno (MDT) e parâmetros de orientação, respectivamente (MILLER, 2004).

Com o avanço tecnológico, e surgimento de novas formas de aquisição de dados, a busca por um alto nível de detalhamento tem se tornado algo rotineiro. Nestas melhorias relacionam-se as resoluções dos dados, tanto das imagens quanto dos MDTs. Com isso tem-se a necessidade de atualização das metodologias para geração destes produtos, para que estes, possam ser utilizados em sistemas de informação geográfica - SIG (NIELSEN, 2004).

Apesar de se utilizar ortoimagens em diversas aplicações, quando se trata de projetos em áreas urbanas, principalmente com alta densidade de edificações, a correção devido ao relevo, por meio de MDTs, não é suficiente para se ter um produto com alto nível de detalhamento (CHEN et al., 2007). Uma vez que as feições presentes na superfície, como edificações, pontes e árvores, não estão inseridas no MDT, elas não são consideradas no processamento (XIE e ZHOU, 2008) e como consequência essas feições aparecem “deitadas” sobre vias, limites de lotes e outras informações úteis (Figura 9.(a)), sendo estas áreas, que não aparecem, denominadas áreas de oclusão. Para que não ocorram esses problemas, são utilizados modelos digitais de superfície (MDS). Este modelo engloba além dos elementos do MDT, também as feições sobre a superfície, e podem ser obtidos por sistemas de varredura LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) aerotransportados ou por correspondência fotogramétrica, como apresentado por Haala et al. (2010).

A correção destes efeitos, com o uso do MDS, juntamente com a orientação do sensor, permite a criação de ortoimagens verdadeiras. Porém, para se fazer o uso destes modelos deve-se tratar da determinação de áreas de oclusão, que é um elemento chave para criação

dessa ortoimagem. Diversos trabalhos atuais tratam do assunto, como Volotão (2001), Nielsen (2004), Habib et al.(2007), Mendonça Júnior (2010) e Wang e Xie (2012).

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma metodologia original para detecção de áreas de oclusão, essencial para geração de ortoimagens verdadeiras, utilizando MDS provindo de dados LiDAR (*Light Detection And Ranging*) adquiridos por sistemas de varredura a LASER.

## 2. Revisão Teórica

Desde a publicação dos primeiros trabalhos relacionados à detecção de oclusão para geração de ortoimagens verdadeiras, como Amhar et al. (1998), surgiram diversas metodologias para tal tarefa. Com o surgimento dos sistemas de varredura LASER, a obtenção de MDS se tornou mais rápida (HABIB et al., 2007) e eficiente para uso nesta aplicação, evitando-se a etapa de edição de MDS quando são utilizadas imagens ópticas para a sua geração.

Neste capítulo serão apresentadas três maneiras de detecção de áreas de oclusão encontradas na literatura.

### 2.1 Z-buffer

O método Z-buffer é muito utilizado em computação gráfica e também aplicado na detecção de oclusão, como apresentado por Amhar et al. (1998) e descrito detalhadamente por Habib et al. (2007). Este método utiliza como métrica para identificação de pixels oclusos a distância entre o centro perspectivo (CP) e os elementos do MDS. Na situação apresentada na Figura 1 dois pontos do MDS (A e B) disputam por um mesmo *pixel* na imagem. Portanto, a decisão sobre qual é ocluso e qual é visível é feita pela comparação da distância entre ambos e o CP. Na situação apresentada, a célula 'A' possui uma distância até o CP menor que a obtida por 'B', logo 'B' é considerado um *pixel* ocluso e 'A' visível. Após varrer todo MDS obtém-se um mapa de visibilidade contendo todos os *pixels* com a informação de visibilidade.

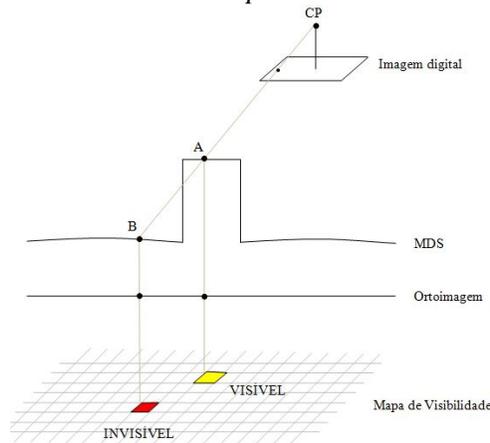


Figura 1. Princípio da detecção de oclusão utilizando o método Z-buffer. Adaptado de Habib et al. (2007).

Este método apresenta alguns problemas, como falsa rotulação de visibilidade em algumas situações. Isto ocorre em áreas contendo edifícios altos e estreitos, pois células situadas em região de oclusão formam um alinhamento com o CP passando pela lateral oposta da edificação, não possuindo um pixel concorrente, como na Figura 1. Essa falsa visibilidade faz com que a ortoimagem verdadeira gerada apresente áreas com duplo mapeamento. Outro fator problemático é a não correspondência entre a resolução da imagem (no topo da edificação) e o tamanho das células do MDS.

## 2.2 Angular

Outro método desenvolvido é o angular, cuja métrica utilizada é o ângulo (denominado  $\alpha$ ) formado entre o alinhamento vertical de projeção do CP na imagem e o alinhamento que conecta o CP à célula do MDS. Como a geometria de obtenção da imagem é perspectiva, conforme se afasta do CP projetado na imagem e dirige-se a borda (direção radial), existe um deslocamento sistemático, crescente, como apresentado na Figura 2.(a). A partir dessa característica sabe-se que os ângulos ( $\alpha$ ) devem ter uma sequência crescente, porém, quando existe uma variação abrupta de altura (edificações) essa característica crescente é violada, em determinadas situações, e com isso, são identificados os *pixels* oclusos (Figura 2.(b)). A rotulação é feita da seguinte forma: parte-se da projeção do CP até um elemento da borda, os ângulos apresentarão magnitude crescente, quando essa observação decai indica-se o início da oclusão, que segue até o instante em que o ângulo  $\alpha$  seja maior que o último da sequência crescente. Analisando desta forma, o exemplo abaixo teria apenas a célula 'D' como oclusa.

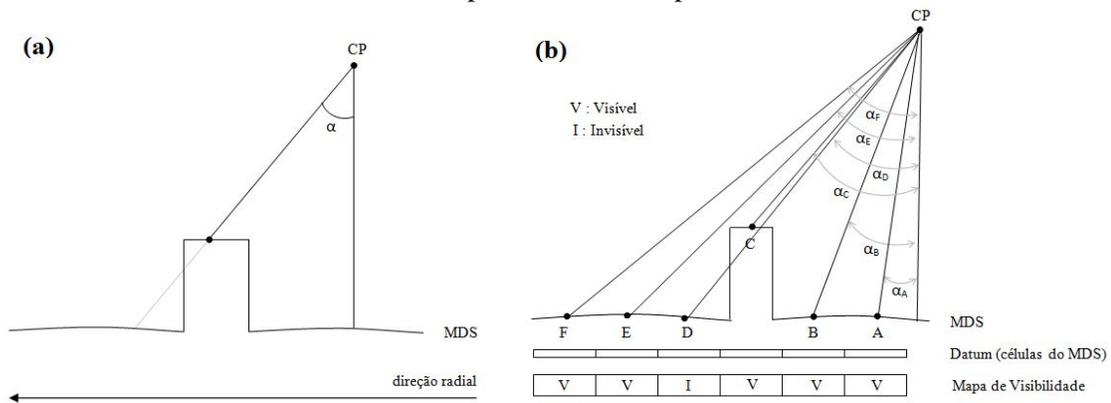


Figura 2. (a) Representação do ângulo  $\alpha$ . (b) Princípio da detecção de oclusão utilizando o método angular. Adaptado de Habib et al. (2007).

Um fator que pode demandar um alto custo computacional é a necessidade de varrer todo o MDS, célula a célula, realizando o procedimento descrito anteriormente.

## 2.3 Projeção

O método de projeção faz com que se obtenha a região de oclusão (para cada direção radial) utilizando uma relação de colinearidade. A Figura 3 contém um exemplo de projeção das bordas do telhado da edificação, que formam a área de oclusão. Wang e Xie (2012) empregaram este princípio para a detecção de oclusão, utilizando um modelo digital de construção (MDC) como dado de entrada do processo. Este modelo contém informações adicionais sobre a superfície, tais como rótulos que identificam paredes, telhados, solo, entre outros. O uso destes modelos facilita o processo de detecção das áreas de oclusão.

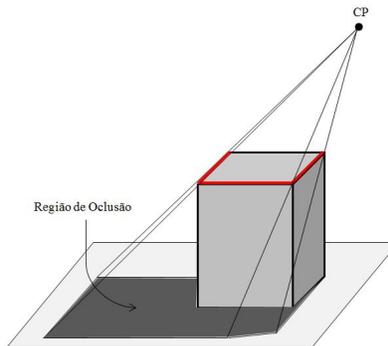


Figura 3. Princípio da detecção de oclusão utilizando o método angular. Adaptado de Wang e Xie (2012).

O MDC representa a superfície de uma maneira consistente, com alto nível de informação. Porém, sua produção é trabalhosa, o que implica em um aumento do custo do produto final. Deste modo, caso seja possível a aplicação deste método, com o MDS original e, portanto, sem esse tratamento prévio necessário à obtenção do Modelo Digital da Construção, é o ideal.

### 3. Metodologia

Este tópico apresentará a metodologia proposta neste trabalho, que será dividido em três sub tópicos: Varredura, Métrica e Mapa de Visibilidade.

#### 3.1 Varredura

Devido à visão perspectiva, na qual são tomadas as imagens, o deslocamento dos objetos presentes sobre a superfície se dá na direção radial. Conseqüentemente, as regiões de oclusão também aparecem com este efeito. Portanto, para identificação destas áreas a busca deve ser realizada, também na direção radial.

A varredura do método proposto é feita utilizando o algoritmo de Bresenham (ROGERS, 1985). Esse algoritmo recebe como dados de entrada as coordenadas planimétricas da projeção do CP no plano imagem (CP') – em vermelho na Figura 4 - e de um elemento do extremo (borda) da imagem; em amarelo. Com esses dois pontos identificados, determina-se o conjunto de pixels que melhor represente uma reta entre eles, formando assim um vetor contendo todos os *pixels* numa determinada direção radial, como apresentado na Figura 4. Estes *pixels* possuem coordenadas tridimensionais, referentes à superfície, conhecidas.

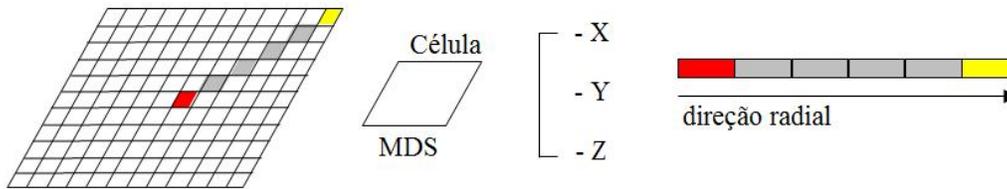


Figura 4. Representação dos pixels em dada direção radial e seus elementos (X, Y, Z).

Portanto, para identificar as áreas de oclusão e gerar o mapa de visibilidade é necessário varrer toda a imagem, nas quatro direções (laterais).

#### 3.2 Métrica

Como apresentado no tópico anterior, algumas métricas vêm sendo utilizadas para identificação dos *pixels* oclusos e visíveis. A métrica utilizada neste trabalho são os gradientes de altura, ou seja, a partir de uma diferença de altura é possível identificar as áreas de oclusão.

Ao obter a direção radial a ser analisada, utiliza-se o perfil da mesma, de acordo com o atributo “Z” presente na célula do MDS. Assumindo que esse perfil é composto por n células com  $Z_n$  elementos, ou seja:  $i = \{1, 2, \dots, n-1, n\}$ , pode-se fazer a determinação dos gradientes de altitude na direção radial  $\frac{\partial Z}{\partial r}$  desse conjunto de células da seguinte forma:

$$\text{Se } i = 1, \quad \frac{\partial Z}{\partial r_i} \cong \frac{Z_2 - Z_1}{r_2 - r_1}; \quad (1)$$

$$\text{Se } 1 < i < n, \quad \frac{\partial Z}{\partial r_i} \cong \frac{Z_{i+1} - Z_i}{r_{i+1} - r_i}; \quad (2)$$

$$\text{Se } i = n, \quad \frac{\partial Z}{\partial r_i} \cong \frac{Z_n - Z_{n-1}}{r_n - r_{n-1}}; \quad (3)$$

A Figura 5 representa este perfil, a informação de altura (h), o vetor de gradientes e o vetor com o sinal dos gradientes para um perfil hipotético, no qual se tem na direção radial uma edificação.

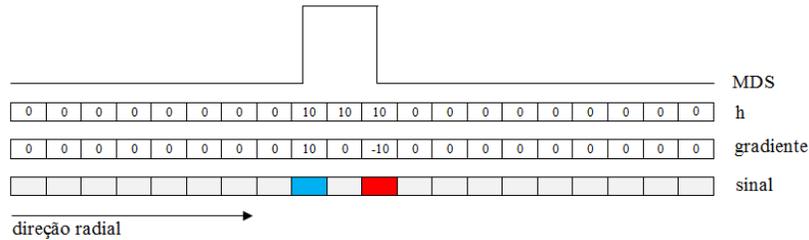


Figura 5. Perfil da direção radial com elemento ‘h’ e gradiente de altura.

### 3.3 Mapa de Visibilidade

Com o vetor contendo os sinais dos gradientes obtidos, é possível iniciar a determinação de área de oclusão, pois o elemento com gradiente negativo indica o início de uma dessas áreas (em vermelho na Figura 5). Em conjunto a esses dados (MDS e vetor gradiente), bem como a partir da posição e atitude do sensor no momento da obtenção da fotografia, pode-se determinar a posição ( $x_a$  e  $y_a$ ) na imagem, da célula do MDS que se refere ao início da oclusão, em dada direção radial. Com a posição conhecida, obtêm-se a posição no MDS relativa ao final da área de oclusão (em amarelo – Figura 6), por meio do decréscimo do gradiente na altura do ponto. A Figura 6 apresenta os elementos necessários para este desenvolvimento.

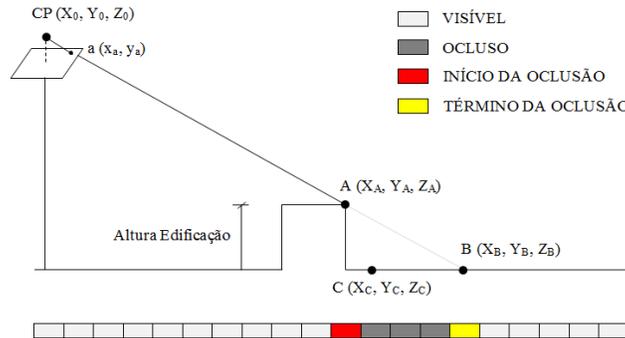


Figura 6. Geometria utilizada para determinação do término da oclusão.

Inicialmente, calculam-se as coordenadas fotogramétricas do ponto A, por meio da equação de colinearidade direta (Equação 4), em que  $m_{ij}$  (elementos da Matriz de rotação) é obtida em função dos ângulos de rotação do sensor no instante da tomada da fotografia, ou seja:

$$x_A = -f * \left[ \frac{m_{11} * (X_A - X_0) + m_{12} * (Y_A - Y_0) - m_{13} * (Z_A - Z_0)}{m_{31} * (X_A - X_0) + m_{32} * (Y_A - Y_0) - m_{33} * (Z_A - Z_0)} \right] \quad (4)$$

$$y_A = -f * \left[ \frac{m_{21} * (X_A - X_0) + m_{22} * (Y_A - Y_0) - m_{23} * (Z_A - Z_0)}{m_{31} * (X_A - X_0) + m_{32} * (Y_A - Y_0) - m_{33} * (Z_A - Z_0)} \right]$$

em que,

- $x_A$  e  $y_A$  são as coordenadas fotogramétricas do ponto A;
- $f$  é a distância focal da câmara utilizada;
- $m_{xx}$  são os elementos da matriz de rotação do sistema sensor;
- $X_A, Y_A$  e  $Z_A$  são as coordenadas tridimensionais do ponto no MDS;
- $X_0, Y_0$  e  $Z_0$  são as coordenadas tridimensionais do CP.

Com essas coordenadas obtidas (fotogramétricas), determinam-se as coordenadas no espaço objeto do ponto B ( $X_B$ ,  $Y_B$ ), por meio da colinearidade inversa (Equação 5), utilizando-se como dado de entrada a altura  $Z_C$ . Esta altura é determinada por:  $Z_C = Z_A + \frac{\partial Z}{\partial r_A} \cdot (r_c - r_A)$ . Sendo  $Z_A$  a altura do ponto referente ao início da oclusão e  $\frac{\partial Z}{\partial r_A}$ , o gradiente referente ao ponto A. Com isso, encontram-se as coordenadas planimétricas da célula B, presente na mesma linha do elemento A, porém com altitude diferente ( $Z_B$ ). O valor de  $Z_B$  é calculado por método iterativo, utilizado no processo de monorrestituição (RADWAN e MAKAROVIC, 1980).

$$X_B = X_0 + (Z_C - Z_0) * \left[ \frac{m_{11} * x_A + m_{21} * y_A - m_{31} * f}{m_{13} * x_A + m_{23} * y_A - m_{33} * f} \right] \quad (5)$$

$$Y_B = Y_0 + (Z_C - Z_0) * \left[ \frac{m_{12} * x_A + m_{22} * y_A - m_{32} * f}{m_{13} * x_A + m_{23} * y_A - m_{33} * f} \right]$$

Estabelecidos, portanto, o início e o fim da área de oclusão, as células presentes entre os dois elementos são encontradas e armazenadas no mapa de visibilidade como partes oclusas.

#### 4. Resultado e Discussão

Para testes e validação preliminar da metodologia fez-se, inicialmente, a aplicação de dados simulados, sem ruídos. Posteriormente foram usados dados reais obtidos por um sistema LASER aerotransportado da cidade de Presidente Prudente/SP – Brasil.

##### 4.1 Experimentos com Dados Simulados

Para a validação do código implementado foi elaborado um conjunto de dados simulados que representam um conjunto de nove edificações, composto por uma grade regular de 1 milhão de pontos tridimensionais, cujas alturas definem edificações em uma área plana (Figura 7.(a)).

Aplicando a varredura e métrica proposta no tópico anterior obteve-se, como primeiro resultado, um mapa de gradientes, contendo os positivos (em azul) e negativos (em vermelho) como visto na Figura 7.(b).

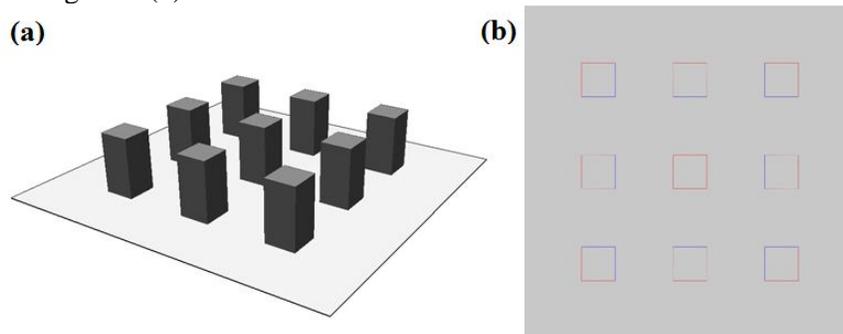


Figura 7.(a) Representação dos dados LiDAR simulados para testes. (b) Mapa de gradiente das alturas do MDS.

Com a identificação do início da oclusão é possível, como proposto pelo método, determinar o seu término, delimitando assim, a área de oclusão e rotulando os pixels presentes na área como oclusos. A Figura 8.(a) mostra a posição dos pixels que definem o fim da área de oclusão, para cada direção radial. A Figura 8.(b), por sua vez, apresenta o mapa de visibilidade, ou seja, a representação dos pixels visíveis e pixels oclusos.

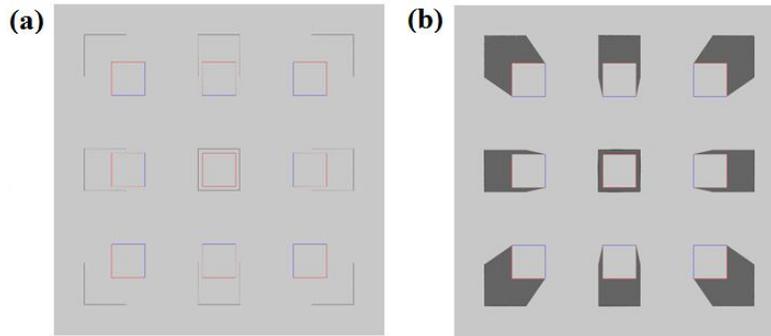


Figura 8. (a) Mapa de gradiente com os *pixels* referentes ao início (em vermelho) e fim da oclusão (em preto). (b) Mapa de visibilidade, com *pixels* visíveis em cinza claro e oclusos em cinza escuro.

Ao analisar os dados de entrada e o mapa de visibilidade gerado, é possível notar a coerência das áreas de oclusão.

#### 4.2 Experimentos com Dados Reais

Assim como os dados simulados, realizaram-se alguns testes com dados reais. A imagem utilizada tem resolução espacial aproximada de 7 cm e o conjunto de dados LiDAR disponível possui uma densidade média de 8 pontos por  $m^2$ . A Figura 9 apresenta todas as etapas para determinação das áreas de oclusão. Sendo:

(a) Ortorectificação da imagem utilizando o MDS, sem o tratamento da oclusão. Inicialmente pode-se notar que este processo gera a chamada imagem fantasma – duplo mapeamento;

(b) Cálculo dos gradientes de altura utilizando os dados do sistema LIDAR, por uma varredura radial, por meio do algoritmo de Bresenham. Obtiveram-se os gradientes positivo e negativos, este último sendo considerado como início da área de oclusão, para cada direção radial;

(c) Com os gradientes identificados, foi aplicado o método de proposto, obtendo inicialmente a posição dos pixels finais da área de oclusão, a partir do uso das equações de colinearidade na forma inversa para a projeção;

(d) Por fim foram preenchidos os pixels localizados entre o início da oclusão (gradiente negativo – vermelho) e o fim da oclusão, obtendo-se assim uma detecção parcial da oclusão.

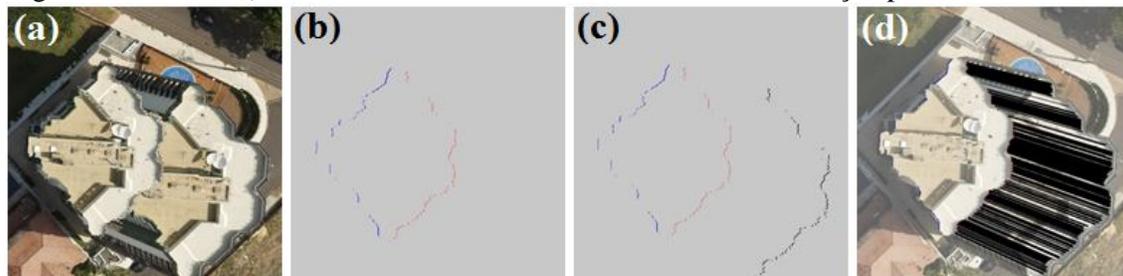


Figura 9. Sequência de etapas para detecção de oclusão.

Apesar do resultado não apresentar a área de oclusão identificada de forma completa (na Figura 9(b)), existe coerência do resultado, o que mostra a eficiência do método e da métrica empregada.

#### 5. Conclusão

O método proposto neste trabalho visa à detecção de áreas de oclusão, utilizando-se gradientes de altura obtidos a partir de dados LiDAR, provindos por sistemas de varredura a LASER. Os gradientes de altura estimados permitem a projeção das áreas de oclusão e,

consequentemente, sua identificação, para posterior preenchimento das áreas oclusas com informações de intensidade provenientes de imagens onde estas regiões não sofreram oclusão.

Os resultados preliminares obtidos são consistentes, mas ainda passíveis de melhoria. Em relação aos resultados com dados simulados o método mostrou-se eficiente, pois detectou corretamente as áreas de oclusão. Porém, ao se tratar de dados reais, principalmente de sistemas LiDAR – que possuem ruídos inerentes ao sistema e ainda provenientes de múltiplos retornos de um mesmo feixe, por exemplo, surgem diferenças em relação aos simulados.

Para trabalhos futuros pretende-se implementar algumas modificações no algoritmo, tais como: determinação dinâmica de limiares para a obtenção dos gradientes e seleção de edificações de diferentes elevações, estudar situações de múltipla oclusão bem como o preenchimento de toda área de oclusão.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem à **UNESP, Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas** e ao **CNPq** pelo suporte, bem como a **Engemap Geoinformação** pelos dados fornecidos e utilizados nos experimentos com dados reais.

### **Referências Bibliográficas**

AMHAR, F.; JANSÁ, J.; RIES, C., The generation of true orthophotos using a 3D building model in conjunction with a conventional DTM. In: **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**, vol. 32, p.16-2, 1998.

CHEN, L.; TEO, T.; WEN, J.; RAU, J. Occlusion-Compensated True Orthorectification For High-Resolution Satellite Images. **The Photogrammetric Record**. v. 22 (117). p. 2-113. 2007.

HABIB, A. F.; KIM, E.; KIM, C. New Methodologies for True Orthophoto Generation. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. v.73(1). p. 025–036. 2007.

HAALA, N.; CRAMER, M.; JACOBSEN, K. The german camera evaluation project - results from the Geometry group. In: ISPRS, Calgary. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**. Calgary: ISPRS, 2010, v. XXXVIII.

MENDONÇA JÚNIOR, M. G. **Reconstrução de edificações para geração de ortoimagens verdadeiras com empregos de dados LIDAR**. Tese de Doutorado apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná – Curitiba – Fevereiro de 2010.

MILLER, S.; Photogrammetric products. In: McGlone, J. C. (Ed.). **Manual os Photogrammetry**. 5 ed. Bethesda: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2004. cap 13, 983 – 1012.

NIELSEN, M. O. **True Orthophoto Generation**. Dissertação. Universidade Técnica da Dinamarca. Informatics and Mathematical Modelling. Kgs. Lyngby. 2004.

RADWAN, M.; MAKAROVIC, B. Digital mono-ploting system-improvements and tests. **ITC Journal**, p. 510-533, 1980.

ROGERS, D. F. **Procedural Elements for Computer Graphics**. New York: McGraw-Hill International Editions. 1985.422 p.

VOLOTÃO, C. F. S. **Geração de ortoimagens para aplicações urbanas: desenvolvimento das equações e protótipo experimental**. Dissertação de Mestrado apresentada ao curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) - São José dos Campos – Setembro de 2001.

WANG, X.; XIE, J. A method for true orthophoto generation based on projection and iteration strategy. **ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Volume I-4, Melbourne, Australia. 2012.

XIE, W.; ZHOU, G. Experimental Realization of Urban Large-Scale True Orthoimage Generation. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**. Volume 37. Part B1. Beijing, 2008.