

## Detecção de objetos regulares em imagens de alta resolução utilizando casamento de modelos

Douglas Messias Uba<sup>1</sup>  
Luciano Vieira Dutra<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE  
Caixa Postal 515 – 12245-970 – São José dos Campos - SP, Brasil  
{douglas, dutra}@dpi.inpe.br

**Abstract.** This paper presents an approach for urban regular objects detection applied to high-resolution imagery. The method gets as input one or more spectral channels and a set of polygons from a previous over-segmentation. To make the detection easy, a re-segmentation is previously performed. Using template matching and active contours techniques, the polygons of interesting classes are processed and redefined. The result is a new set of polygons that better represents the urban objects on image. In order to verify the efficiency of the method, experimental results using synthetic data and QUICKBIRD image are presented.

**Keywords:** high spatial resolution image, re-segmentation, template matching, imagens de alta resolução, re-segmentação, casamento de modelos.

### 1. Introdução

O estudo do **ambiente urbano** desperta grande interesse no sensoriamento remoto, dada as implicações sociais e econômicas desse tipo de aplicação. Avanços tecnológicos têm proporcionado a geração de imagens com maior poder de discriminação de alvos da superfície terrestre. Especificamente, o ambiente urbano é constituído por diversos elementos organizados pelo homem de várias maneiras para construção de edificações, sistemas de transportes, áreas de lazer, etc. Imagens de alta resolução, como as obtidas pelos satélites *IKONOS* e *QUICKBIRD*, têm sido utilizadas para obter informações de tais áreas. Estas imagens apresentam alta heterogeneidade espacial e espectral para um mesmo objeto, o que torna o processo de segmentação mais difícil. Dessa forma, novas ferramentas e conceitos de análise têm surgido, visando aprimorar o mapeamento deste espaço.

Os segmentadores em geral detectam regiões espectralmente uniformes, o que nem sempre resulta em objetos com **formas geométricas regulares**, como por exemplo retângulos ou círculos. No entanto, em algumas aplicações é interessante que o algoritmo identifique formas pré-definidas. A Figura 1 apresenta o resultado de uma segmentação de uma área urbana onde é possível observar que os objetos destacados como retangulares são fragmentados em diversos segmentos, ainda que semanticamente representem uma só região. Sendo assim, alguns métodos são utilizados para aprimorar o resultado de uma segmentação inicial, dado o contexto da aplicação.

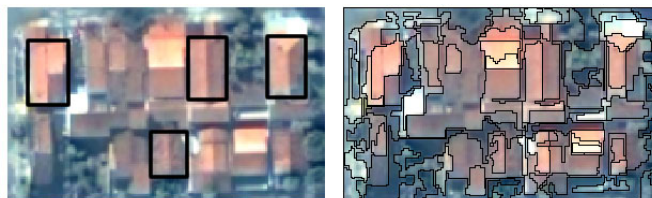


Figura 1: Segmentação de um área urbana: objetos destacados como retangulares são fragmentados em diversos segmentos.

Considerando que a busca por formas pré-definidas é capaz de melhorar os resultados de uma segmentação, este artigo apresenta uma metodologia para detecção de objetos regulares

comuns ao ambiente urbano em imagens de alta resolução utilizando casamento de modelos (*template matching*). O resultado é um conjunto de polígonos que melhor representam os objetos presentes na imagem.

## 2. Metodologia

Uma representação esquemática das principais operações envolvidas na metodologia proposta é mostrada na Figura 2.

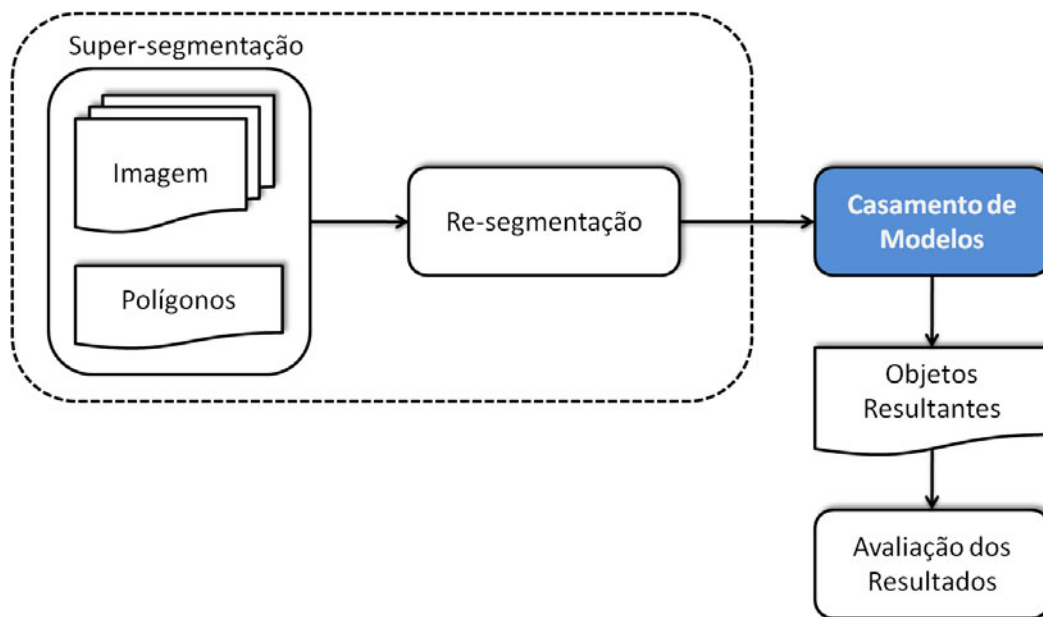


Figura 2: Fluxograma da metodologia proposta.

A entrada é composta por uma ou mais imagens e um conjunto de polígonos resultantes de uma super-segmentação. Partindo-se de uma super-segmentação, pretende-se eliminar o tempo gasto pelo usuário na inspeção dos resultados obtidos a partir das diferentes configurações dos parâmetros dos segmentadores, *i.e.*, similaridade e área mínima. Em seguida, ajustes são realizados por um algoritmo de re-segmentação.

A re-segmentação tem como objetivo reorganizar um conjunto de polígonos, agregando elementos deste conjunto para gerar objetos com características morfológicas e geométricas adequadas ao contexto da aplicação. Korting (2007) apresenta um algoritmo para re-segmentação de objetos regulares em imagens urbanas de alta resolução baseada em grafos. Dado que os polígonos foram processados por esse algoritmo, uma ou mais classes são do interesse da aplicação, sobre as quais serão realizadas operações de casamento de modelos. O objetivo é que os novos segmentos melhor representem os objetos regulares comuns ao ambiente urbano. Para este trabalho, a classe de interesse é formada por objetos que possuem forma **retangular**, como edificações. Posteriormente, o método pode ser estendido para outras formas geométricas regulares, como por exemplo círculos. A seguir, a operação de **casamento de modelos** será descrita e detalhada.

### 2.1. Casamento de modelos

O casamento de modelos representa a **principal etapa** desenvolvida neste trabalho e as operações envolvidas neste processo são apresentadas separadamente na Figura 3. Define-se uma classe de interesse, onde cada polígono dessa classe é processado individualmente pelo método de casamento de modelos.

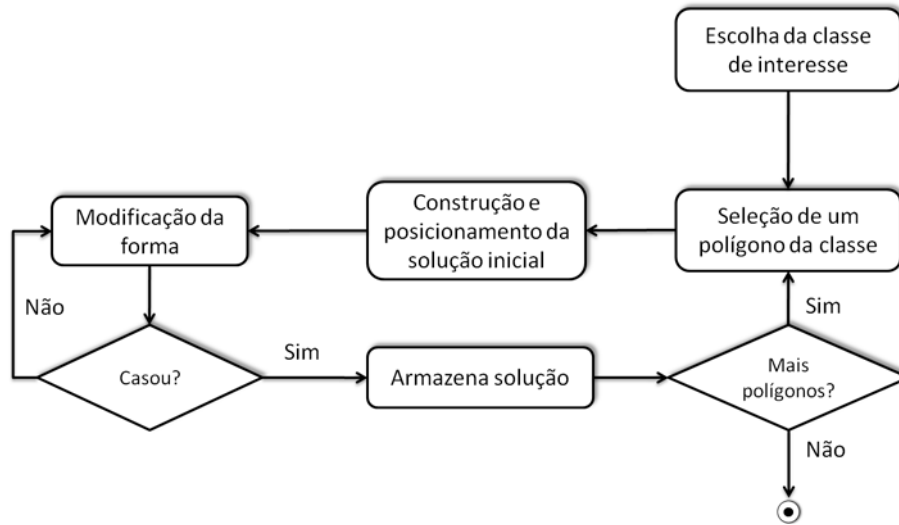


Figura 3: Etapas envolvidas no processo de casamento de modelos.

### 2.1.1. Construção e posicionamento da solução inicial

Dado um polígono irregular  $P$ , a construção e o posicionamento da solução inicial são realizados a partir da análise por principais componentes. Primeiramente, as coordenadas espaciais de todos os pontos internos ao polígono  $P$ ,  $C = \{\{x, y\} / \{x, y\} \in P\}$ , são obtidas. Em seguida é calculada a matriz de covariância do conjunto  $C$ . O ângulo do primeiro auto-vetor (AV) dessa matriz representa a angulação do polígono  $P$  (Fig. 4.a), calculada pela equação

$$\alpha = \arctan \left( \frac{AV_y}{AV_x} \right). \quad (1)$$

O polígono  $P$  é então rotacionado pelo ângulo  $\alpha$  e transladado para a origem com base no seu centro de gravidade  $G$ . Em seguida, calcula-se o *bounding box*  $B$  e as médias das coordenadas  $x$  e  $y$  positivas e negativas, utilizadas para a construção do polígono  $M$ . Nota-se que os vértices desse polígono são dados pela combinação das médias das coordenadas positivas e negativas do polígono irregular. Finalmente, a solução inicial  $S$  é obtida, sendo o polígono médio entre o *bounding box* e o polígono  $M$  (Fig. 4.b)

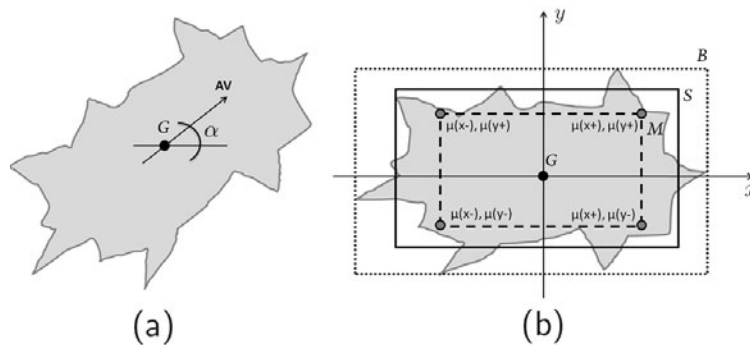


Figura 4: Construção e posicionamento da solução inicial: (a) polígono irregular, ângulo principal  $\alpha$  e centro de gravidade  $G$  e (b) polígono irregular rotacionado e transladado para a origem, *bounding box*  $B$ , polígono  $M$  gerado pela média das coordenadas e solução inicial  $S$ .

### 2.1.2. Aproximação de polígonos

O método proposto para realização do casamento de modelos tem como base os métodos de contornos ativos. O modelo de contornos ativos, também conhecido como *snakes*, foi proposto originalmente por (KASS; WITKIN; TERZOPOULOS, 1988) e desde então vem sendo aplicado em vários problemas relacionados a visão computacional e análise de imagens. Basicamente o modelo trabalha via deformação de uma curva inicial sobre a imagem, estabilizando-se quando a curva contornar o objeto de interesse (Fig. 5). A deformação do contorno ocorre a partir da ação de forças internas e externas, de forma a minimizar um funcional de energia, basicamente dado pela combinação das energias da curva e da imagem.

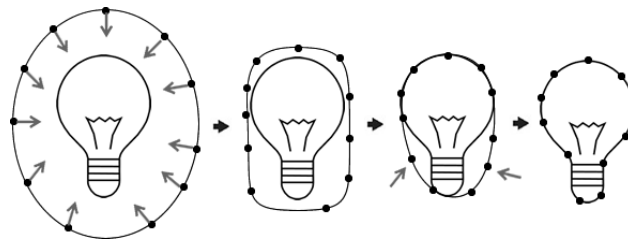


Figura 5: Caso ideal de um contorno ativo (*snake*) em ação.

Seja  $P$  um polígono **irregular** da classe de interesse e  $S$  um polígono **retangular**, chamado solução inicial (Fig. 6.a). A idéia principal é modificar o polígono  $S$  iterativamente em direção ao polígono  $P$ , de forma que se consiga o melhor ajuste possível entre eles (*matching*). A modificação do polígono  $S$  é realizada a partir de transformações geométricas de escala e o melhor ajuste pode ser obtido maximizando o número de interseções entre os segmentos de reta que compõem o polígono  $S$  e o polígono  $P$  (Fig. 6.b).

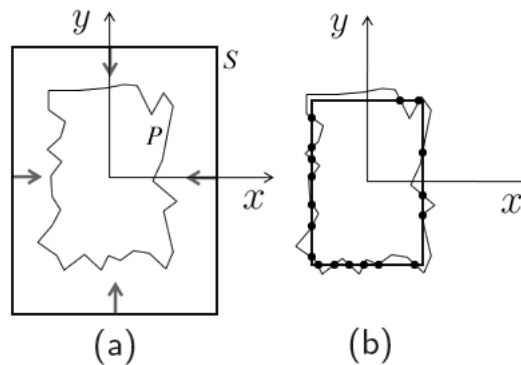


Figura 6: Modelo para casamento de modelos: (a) polígono  $P$  da classe de interesse e solução inicial  $S$  e (b) melhor ajuste pela maximização das interseções.

## 3. Experimentos e resultados

### 3.1. Dados sintéticos

Para avaliar o método de casamento de modelos proposto foi utilizando um conjunto teste de polígonos irregulares gerados sinteticamente. Inicialmente, é construído um quadrado com uma quantidade determinada de pontos em cada aresta, separados por um espaçamento  $\Delta$  (Fig. 7.a). Em seguida, é aplicada uma transformação geométrica de escala com valores aleatórios contidos em um determinado intervalo, obtidos de uma distribuição uniforme (Fig. 7.b). Posteriormente, cada ponto é deslocado por um valor aleatório obtido de uma distribuição

Gaussiana com média  $\mu$  e desvio padrão  $\sigma$  na direção normal ao segmento (Fig. 7.c). Por último, é aplicada uma transformação geométrica de rotação com valores aleatórios também obtidos de uma distribuição uniforme (Fig. 7.d).

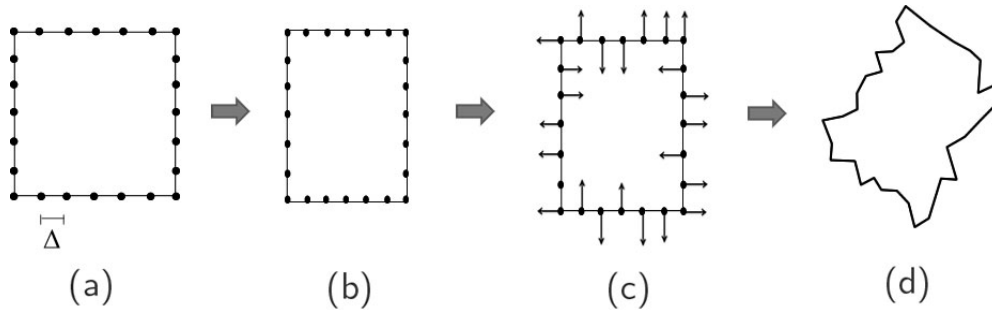


Figura 7: Etapas para a geração do conjunto teste de polígonos irregulares: (a) quadrado discretizado com  $n$  pontos e espaçamento  $\Delta$ , (b) transformação de escala, (c) deslocamento Gaussiano na direção normal e (d) transformação de rotação.

O primeiro conjunto teste foi gerado utilizando espaçamento de  $2m$ , 10 pontos em cada aresta, valores aleatórios para a transformação de escala contidos no intervalo  $[0,6, 1,4]$ , deslocamento Gaussiano com  $\mu = 0$  e diferentes valores para o desvio padrão  $\sigma$  (Fig. 9). Os valores para a transformação de rotação estão no intervalo  $[0, 360)$ .

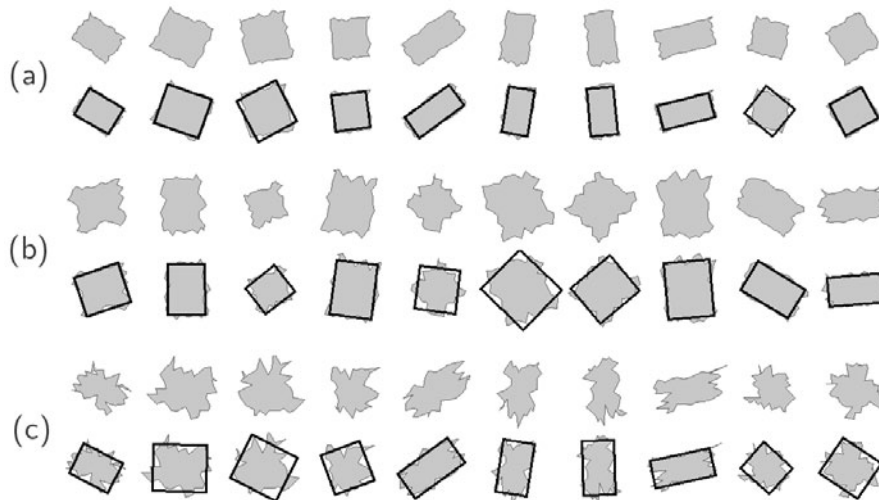


Figura 8: Primeiro conjunto teste e soluções obtidas: (a)  $\sigma = 0,5$ ; (b)  $\sigma = 1$  e (c)  $\sigma = 2$ .

O segundo conjunto possui espaçamento de  $1m$ , 20 pontos em cada aresta, os mesmos intervalos para transformação de escala e rotação e deslocamento Gaussiano com  $\mu = 0$  e  $\sigma = 1$ . Com o objetivo de gerar irregularidades maiores e isoladas (*spikes*), alguns pontos foram selecionados em cada aresta e deslocados segundo uma distribuição Gaussiana com  $\mu = 0$  e  $\sigma = 3.5$ .

Para o terceiro experimento, foi gerada uma imagem de resolução  $1m$  com retângulos em diferentes configurações de escala e rotação (Fig. 10.a). Em seguida, realizou-se a degradação espacial da imagem usando uma função de espalhamento pontual normal (Fig. 10.b) e posteriormente, adição de ruído Gaussiano com  $\sigma = 20$  (Fig. 10.c). A imagem foi segmentada pelo algoritmo de Crescimento de Regiões (BINS et al., 1996), disponível no sistema SPRING (CAMARA et al., 1996). Os limiares de similaridade e área mínima ( $d, a$ )

foram ajustados para gerar uma imagem super-segmentada ( $d = 10$  e  $a = 10$ ) (Fig. 11.a). Aplicou-se então o algoritmo de re-segmentação proposto por (KORTING, 2007), com parâmetro mínimo de retangularidade igual a 70% (Fig. 11.b). Por último, o método proposto para casamento de modelos foi utilizado em cada polígono (Fig. 11.c). Para a avaliação, utilizou-se o erro médio quadrático ( $RMSE$ ) entre a área de cada retângulo da imagem e a área dos segmentos resultantes da re-segmentação ( $RMSE = 0,428 \text{ pixels}$ ) e do casamento de modelos ( $RMSE = 0,215 \text{ pixels}$ ). Nota-se também uma significativa simplificação dos segmentos, dado que para representar os retângulos, resultado do casamento de modelos, são necessários apenas 2 vértices.

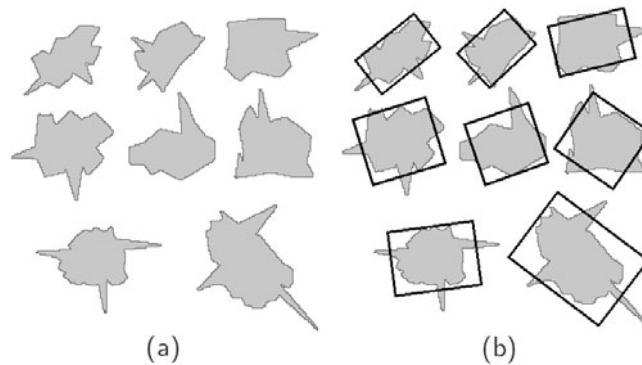


Figura 9: Segundo conjunto teste: (a) irregularidades maiores e isoladas (*spikes*) e (b) soluções obtidas.

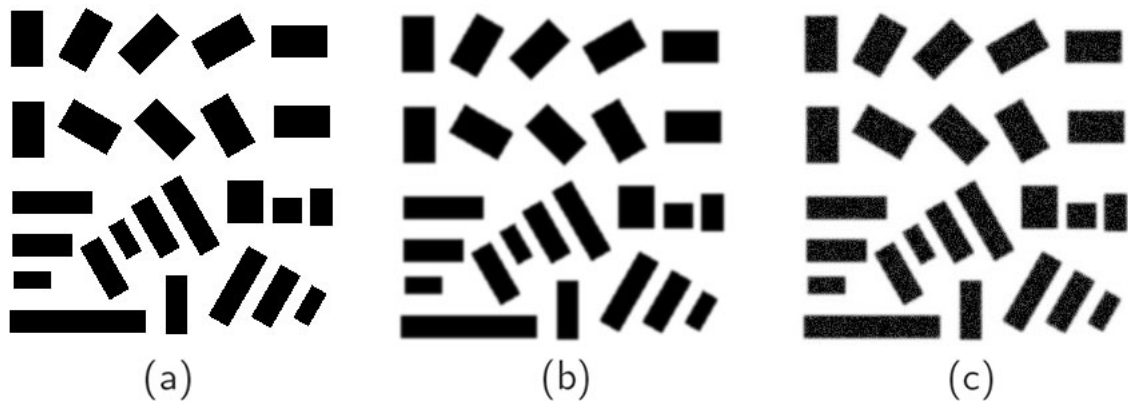


Figura 10: Imagem sintética: (a) retângulos em diferentes configurações de escala e rotação, (b) degradação espacial e (c) adição de ruído Gaussiano.

### 3.2. Dados reais

Foi utilizado um recorte de imagem *QUICKBIRD* da cidade de São José dos Campos - SP, adquirida em Dezembro de 2005, com resolução espacial de  $1m$ . Para a avaliação do método, foram utilizados retângulos de referência, gerados a partir de uma segmentação manual (Fig. 12.a). Os polígonos de entrada foram obtidos pelo algoritmo Crescimento de Regiões ( $d = 20$  e  $a = 20$ ) (Fig. 12.b). Em seguida, aplicou-se o algoritmo de re-segmentação com parâmetro mínimo de retangularidade igual a 75% (Fig. 12.c). A Figura 12.d destaca os segmentos da classe de interesse telhado, posteriormente processados pelo método de casamento de modelos (Fig. 12.e). Os retângulos encontrados são mostrados sobre a imagem na Figura 12.f. O

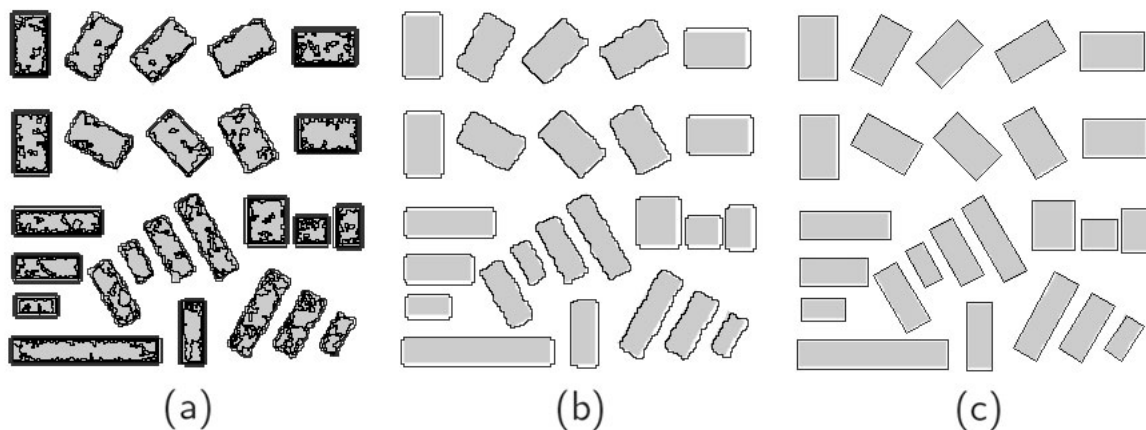


Figura 11: Segmentos obtidos e imagem sintética: (a) super-segmentação, (b) resultado obtido pelo algoritmo de re-segmentação e (c) resultado obtido com a aplicação do método de casamento de modelos.

resultado da re-segmentação apresentou  $RMSE = 0,646 \text{ pixels}$ , enquanto o casamento de modelos obteve  $RMSE = 0,263 \text{ pixels}$ .

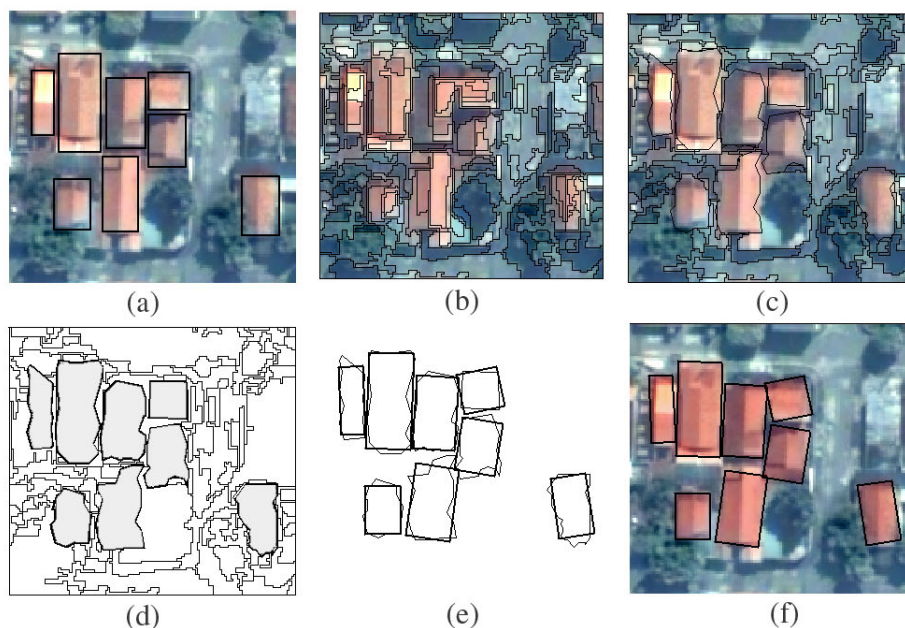


Figura 12: (a) Recorte da imagem *QUICKBIRD* e retângulos referência, (b) super-segmentação, (c) resultado da aplicação do algoritmo de re-segmentação, (d) destaque para os polígonos da classe telhado, (e) soluções obtidas pelo método de casamento de modelos e (f) retângulos resultantes sobre a imagem.

#### 4. Considerações finais

Dada a complexidade do problema de segmentação de imagens, pode-se dizer que não existe um método único que seja adequado para todos os tipos de aplicações e dados. Este trabalho apresentou uma metodologia com o objetivo de melhorar os resultados de uma segmentação inicial. O método para casamento de modelos é baseado nas técnicas de contornos ativos e utiliza aproximação de polígonos para processar e redefinir os segmentos de forma que estes

melhor representem os objetos de interesse. Especificamente a proposta é resolver o problema da segmentação de objetos de forma retangular comuns ao contexto urbano em imagens de alta resolução.

Os experimentos com polígonos gerados sinteticamente mostraram, a partir de uma avaliação visual, que o método de casamento de modelos proposto fornece bons resultados quanto ao ajuste dos retângulos. Observa-se ainda uma significativa simplificação dos segmentos, mantendo ao mesmo tempo uma boa aproximação para o contexto da aplicação. Do ponto de vista da metodologia, os resultados obtidos para a imagem sintética e para o recorte *QUICKBIRD* mostraram que é possível melhorar o resultado de uma segmentação a partir da busca por formas pré-definidas. Partindo-se de uma super-segmentação, o algoritmo de re-segmentação proposto por (KORTING, 2007) busca redefinir os segmentos com base em relações de vizinhança e segundo um atributo de retangularidade. Os polígonos resultantes da classe de interesse são então processados pelo método de casamento de modelos e na comparação com os segmentos referência, apresentaram um erro médio quadrático inferior. Entretanto, em alguns retângulos, é possível observar um desvio aparente em relação ao eixo principal do objeto. Isso acontece devido as irregularidades maiores (*spikes*) encontradas nos polígonos, que prejudicam a estimativa do ângulo principal.

O métodos foram implementados em C++ utilizando a biblioteca TerraLib (CAMARA et al., 2000). TerraLib é uma biblioteca de classes que permite a construção de aplicativos geográficos, com código fonte aberto e distribuída como um software livre (<http://www.terralib.org>). Trabalhos futuros incluem melhorias no método de casamento de modelos, considerando polígonos que representam objetos com ligação de vizinhança, *i.e.*, casa e garagem (casa em “L”), métodos para melhorar a estimativa do ângulo principal e adição de novas formas regulares, como círculos.

### **Agradecimento**

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pelo suporte financeiro.

### **Referências**

- BINS, L. S. et al. Satellite imagery segmentation: a region growing approach. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 1996. p. 677–680. ISBN 85–17–00014–5. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/deise/1999/02.05.09.30>>.
- CAMARA, G. et al. Terralib: technology in support of gis innovation. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE GEOINFORMATICA, 2., 2000, São Paulo. *Anais...* Sao Paulo, 2000.
- CAMARA, G. et al. Spring: Integrating remote sensing and gis by object-oriented data modelling. *Computer and Graphics*, v. 20, n. 3, p. 395–403, May - June 1996. ISSN 0097–8493.
- KASS, M.; WITKIN, A.; TERZOPOULOS, D. Snakes: Active contour models. *International Journal of Computer Vision*, V1, n. 4, p. 321–331, January 1988.
- KORTING, T. S. *Um paradigma para re-segmentação de imagens de alta resolução*. Dissertação (Mestrado) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2007.