

## Comparação dos Contornos Ativos Paramétricos e Geométricos na Extração de Corpos D'Águas em Imagens Orbitais

Rodrigo Bruno Zanin <sup>1</sup>  
Erico Fernando de Oliveira Martins <sup>1,2</sup>  
Aluir Porfírio Dal Poz <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT/FACET – Sinop - MT  
Avenida dos Ingás, 3001 - 78555-000 - Sinop – MT, Brasil  
rodrigo.zanin@unemat.br, profericomartins@unemat-net.br

<sup>2</sup> Universidade Estadual Paulista – UNESP/FCT – Presidente Prudente – SP  
Rua Roberto Simonsen, 305 - 19060-900 - P. Prudente, SP  
aluir@fct.unesp.br

**Abstract.** The need to update information for Geographic Information Systems (GIS) and considering the ease of obtaining orbital images and Remote Sensing data, implies an increasing need to obtain tools that can translate data from Remote Sensing, normally orbital images, in information, this work has as main objective to compare the two main active contour models, which are: parametric and geometric, known as Snakes and Level Set, respectively, to extract water bodies in orbital images. The proposed methodology was to make a qualitative comparison in this work. The images used to apply the models were binarized according to the well-known method of Otsu (1979), creating the same conditions for comparisons. The application of the active contour models were initialized with points, for the Level Set and small initial contours for the Snakes, always in the same positions. The methodology was applied in clippings of a scene taken in the Pantanal region of the State of Mato Grosso, with the PAN sensor, of the satellite CBERS-4, of April 2016. The results show that the application of the contour is directly linked to Characteristic of the feature in question and show that both models have reasonable behavior, given the characteristics of the features.

**Palavras-chave:** remote sensing, image processing, Level Set, Snakes, active contour models, extract water bodies.

### 1. Introdução

A utilização de imagens digitais advindas de plataformas aéreas ou orbitais é a principal fonte de informação para mapeamento e, conseqüente, tomada de decisão. Esta informação é gerada através das ferramentas de extrações de feições, que permitem a geração e atualização de dados cartográficos e/ou topográficos.

Segundo Mena (2003), a extração de informações baseando-se nestes dados é uma área de grande interesse para aplicações em Geociências e, nesse sentido, a extração de feições em imagens digitais vem sendo amplamente pesquisada em Análise de Imagens, Fotogrametria e Visão Computacional, alcançando papel de destaque nas pesquisas para geração e atualização de bancos de dados SIG's (Sistemas de Informações Geográficas).

Com os avanços tecnológicos e a redução dos custos para aquisição de imagens, estas vêm se popularizando cada vez mais e suas aplicações vêm se expandindo para várias áreas. No entanto, a interpretação e a análise dos dados provenientes dessas imagens ainda são tarefas difíceis, exigindo esforço manual em boa parte das aplicações (POULLIS e YOU, 2010).

Em particular, os trabalhos vinculados à extração de feições para geração e atualização de SIG's são normalmente divididos em dois problemas. Um deles é dedicado a extração de edificações e/ou rodovias, que são feições definidas como antrópicas; enquanto que o outro está voltado para extração de feições naturais como, por exemplo, vegetação ou corpos d'água, normalmente categorizando o uso e a ocupação do solo em uma determinada região.

A maioria destes trabalhos, independentemente de serem vinculados a extração de feições antrópicas ou não, utilizam extração baseada em detecção de bordas que, normalmente, são focadas na variação da intensidade dos tons de cinza ao longo da estrutura da feição na qual se deseja realizar a extração nas imagens (PENG, et al., 2005).

Esses processos de extração quando aplicado sobre dados de sensoriamento remoto são definidos como processamento de baixo nível, normalmente, vinculados à presença de saliências nas imagens digitais tais como rios, lagos, construções, etc (Quackenbush, 2004).

Enquanto que para o caso da extração de feições em áreas urbanizadas, as mais clássicas são as rodovias e os telhados de construções (Dal Poz et al., 2005), para áreas pouco urbanizadas ou nativas tem-se na extração de rios uma aplicação bastante importante, principalmente em grandes áreas de vegetação (Dillabaugh et al, 2002) e (Soille e Grassini, 2007).

A extração de rios em imagens orbitais tem modelos que propõe a exploração das características geométricas, topológicas e seus atributos (Soille et al. ,2007), tais como os modelos que utilizam segmentação baseada em *watershed* ou morfologia matemática. Shah et al. (2011), também propõe uma metodologia para extrair rios em imagens de satélites baseando-se em um cluster k-média em uma imagem colorida processada com o um histograma específico para esse tipo de imagem.

Zanin et al. (2013) propõe um modelo para extração de rios que filtra as características dos rios, como base em nas suas características topológicas e um processo de esqueletização da feição de interesse (rios). Neste trabalho a extração é realizada como um contorno ativo paramétrico.

Neste contexto, uma das metodologias atrativas para a extração de feições e em especial para rios e corpos d'águas baseia-se em contorno ativo, que podem ser paramétricos (*snakes*) ou geométricos (*level set*). Propostos originalmente em Kass et al. (1987) um modelo de contorno ativo se trata de em uma curva, que tem sua representação de forma paramétrica ou geométrica, que podem ser controladas por injunções fotométricas e geométricas para se adaptar a feição de interesse, extraindo a mesma.

Este trabalho propõe realizar uma avaliação qualitativa dos modelos de contornos ativos paramétricos e geométricos na extração de corpos d'águas em imagens orbitais. Dessa forma o trabalho vai realizar uma breve revisão do modelo de binarização, como proposta de normalizar as imagens e aplicar os modelos de contornos ativos que são revisados na metodologia empregada (seção II). A seção III apresenta uma avaliação, baseando-se na aplicação dos modelos de contornos ativos para o mesmo conjunto de imagens, já binarizadas e a seção V dedica-se as conclusões do trabalho.

## 2. Metodologia

A metodologia para este trabalho poderá ser dividida em duas subseções, as quais são a binarização da imagem, seguida da aplicação dos modelos de contornos ativos paramétricos e geométricos.

### 2.1 Binarização

Segundo Gonzalez e Woods (2000), a segmentação da imagem é o processo que permite a subdivisão de uma imagem em suas diversas partes e regiões de significância, constituindo um dos primeiros passos na análise de imagens.

A segmentação de regiões é normalmente baseada em duas características básicas da resposta espectral da imagem, que são a descontinuidade e a similaridade. Métodos baseados em descontinuidade, geralmente empregados em imagens pancromáticas, baseiam-se nas mudanças bruscas dos valores em nível de cinza da imagem. Já os métodos baseados em similaridade estão fundamentados no agrupamento de pixels que tenham alguma semelhança na resposta espectral, sempre baseados em um parâmetro de tolerância (GONZALEZ e WOODS, 2000).

Um objeto pode ser separado do fundo em uma imagem através da limiarização, o que normalmente requer um limiar  $T$ . Assim, sendo  $I(x,y)$  a intensidade em tons de cinza num pixel de coordenadas  $(x, y)$ , pode-se definir uma imagem limiarizada  $L(x,y)$  como:

$$L(x,y) = \begin{cases} 255 & \text{se } I(x,y) > T \\ 0 & \text{se } I(x,y) \leq T \end{cases} \quad (01)$$

Segundo Gonzalez e Woods (2000), o limiar  $T$  pode ser visto como uma função  $T$  da forma:

$$T = T[x,y,p(x,y),I(x,y)] \quad (02)$$

em que  $p(x,y)$  denota alguma propriedade local no pixel  $(x, y)$  como, por exemplo, o nível de cinza médio de uma vizinhança centrada em  $(x,y)$ . Quando  $T$  depender apenas de  $I(x,y)$  o limiar é denominado global, e quando  $T$  depender de  $I(x,y)$  e  $p(x,y)$  o limiar é denominado dinâmico.

A técnica mais simples de binarização é o particionamento do histograma da imagem por um limiar único  $T$ . Nesta técnica, a segmentação da imagem é efetuada através da varredura dos pixels desta, rotulando-os individualmente como parte do objeto ou do fundo segundo o nível do pixel, o qual pode ser maior ou menor que o limiar  $T$ . Segundo Gonzalez e Woods (2000), o sucesso deste método depende inteiramente da qualidade do particionamento do histograma.

Dentro desse contexto, o processo de binarização indicado nesse trabalho é o baseado na determinação de um limiar ótimo  $T$ , o qual pode ser determinado em uma imagem pancromática através do algoritmo desenvolvido por Otsu (1979).

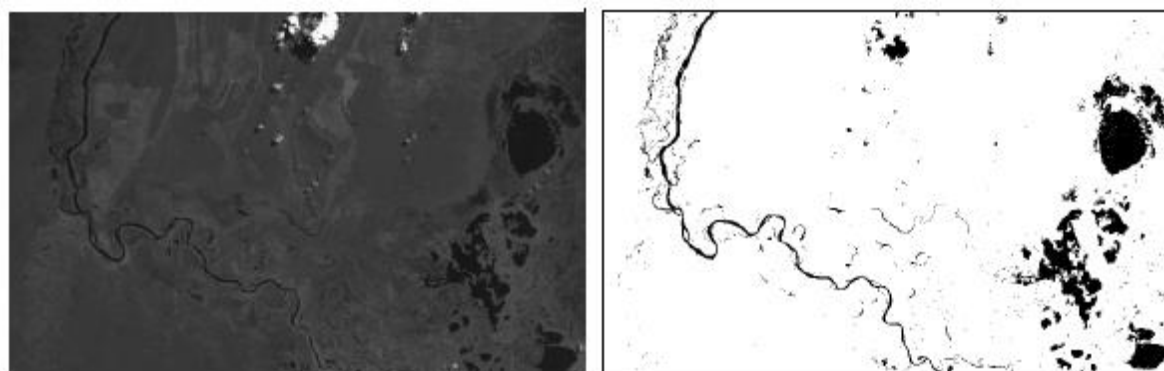


Figura 01 – Recorte de imagem PAN do CBERS – 4 de uma região de Pantanal – MT, com aplicação do algoritmo de OTSU (1979).

## 2.2 – Modelos de Contornos Ativos

A proposta para esse trabalho é avaliar dois métodos de contornos ativos na extração de corpos d'água, considerando que as imagens já estão binarizadas, segundo o método de Otsu (1979) e ambos os processos precisam de uma inicialização para realizar a extração, sendo um contorno para o *Snakes* e um ponto para o *Level Set*.

### 2.2.1 – Contorno Ativo Paramétrico

Entre os contornos ativos paramétricos, o principal método é a *Snakes*, que foi inicialmente proposta por Kass et al. (1988). A *Snakes* é um modelo deformável de segunda ordem (a energia interna do modelo é constituída por derivadas de primeira ( $v(s)_s$ ) e segunda ( $v(s)_{ss}$ ) ordem da função  $v(s)$ ), com curva parametrizada pelo seu comprimento  $s$  e com dois graus de liberdade de deformação (coordenadas planas da curva  $x(s)$  e  $y(s)$ ). Assim se  $\zeta$  é uma curva

plana que age como um modelo deformável sobre uma imagem digital, representada por uma função vetorial bidimensional da forma  $v(s) = (x(s), y(s))$  que mapeia o parâmetro  $s$  pertencente ao intervalo  $[a, b]$  (comprimento de um arco da curva desde a origem até o ponto considerado) para os pontos  $x(s)$  e  $y(s)$  na imagem digital, a energia de deformação da *Snakes*  $E(v)$  é expressada por (OLIVEIRA, 2003):

$$E(v) = \int_a^b (w_1(s)|v_s|^2 + w_2(s)|v_{ss}|^2) ds + \int_a^b w(s)P(v(s)) ds = \lambda E_{int}(v) + (1 - \lambda)E_{ext}(v) \quad (03)$$

A primeira integral da Equação 03 está relacionada com a energia interna ( $E_{int}$ ) da *Snakes*, responsável pelo controle dos parâmetros de elasticidade ( $w_1(s)$ ) e rigidez ( $w_2(s)$ ) da curva no ponto parametrizado por  $s$ .

A segunda integral da Equação 03 está relacionada com energia externa ( $E_{ext}$ ) é responsável pela atração da curva *Snakes* por parte da feição de interesse utilizando a energia da imagem. O parâmetro  $\lambda$  é proveniente das funções dos pesos  $w_1(s)$ ,  $w_2(s)$  e  $w(s)$ , utilizados para balancear as energias interna e externa. Quando o valor de  $\lambda$  se aproxima ou é igual a zero, a solução fornecida é eficiente na captura das feições de interesse, mas ao mesmo tempo torna-se vulnerável aos ruídos da imagem e a situação oposta ocorre quando  $\lambda$  se aproxima a um. Um exemplo de aplicação da *Snakes* aplicada em um recorte da imagem utilizada na Figura 01 pode ser vista na Figura 02, sendo o contorno inicial da *Snakes* indicada na Figura 02 (b).

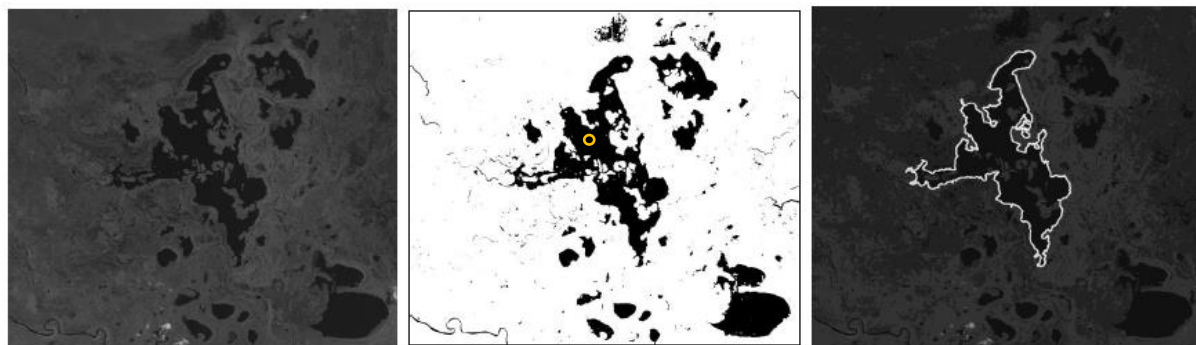


Figura 02 – Exemplo de aplicação da *Snakes*. (a) Recorte da imagem da Figura 01; (b) Imagem Binária com contorno inicial em amarelo para o desenvolvimento da *Snakes*; (c) Resultado da *Snakes* com o contorno do Corpo d’água delimitado.

### 2.2.2 – Contorno Ativo Geométrico

De forma alternativa a *Snakes*, existem os métodos de contornos ativos geométricos, também conhecidos como *Level Set*. Nesse sentido um *Level Set* pode ser definido com base em uma curva  $\gamma$  fechada e simples em um domínio (imagem)  $\Omega$ . A evolução da curva  $\gamma$  ocorre em função de um parâmetro velocidade aplicado na direção normal à curva em cada um dos seus pontos como ilustra a Figura 03.

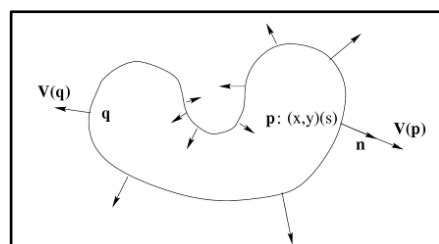


Figura 03 – Contorno ativo com velocidades aplicadas nas direções normais.

A variação da curva  $\gamma$  em função do tempo define sua evolução, que é dada por um parâmetro  $V$  aplicado na sua direção normal ( $\vec{n}$ ). O parâmetro  $V$  é definido por uma função velocidade calculada para um dos pontos de curvatura como indica  $V(p)$  e  $V(q)$  na Figura 03. A equação que define a evolução da curva  $\gamma$  em função do  $t$  é indicado por  $\frac{\partial \gamma}{\partial t} = V\vec{n}$ .

Nesse sentido, dado um conjunto  $\Gamma$  de curvas  $\gamma: s \in [0,1] \rightarrow \gamma(s) \in \Omega$  as quais sejam planas, diferenciáveis ( $C^2$ ), fechadas, simples e regulares, um contorno ativo será representado por uma família de curvas em  $\Gamma$  com parâmetros  $t$  e  $s$ , sendo  $t$  o parâmetro tempo. Assim a curva  $\gamma$  passa a ser representada por  $\gamma: s, t \in [0,1] \times \mathbb{R}^+ \rightarrow \gamma(s, t) = (x(s, t), y(s, t)) \in \Omega \times \mathbb{R}^+$ , tal que para qualquer que seja  $t$ , tem-se que a curva  $\gamma_t: s \rightarrow (x(s, t), y(s, t))$  estará em  $\Gamma$ .

Com a implementação do *Level Set*, um contorno ativo  $\gamma$  é representado implicitamente como o nível zero da função *Level Set*  $\phi: \mathbb{R}^2 \times \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}$ :

$$\forall s, t \quad \phi(\gamma(s, t)) = \phi(x(s, t), y(s, t), t) = 0 \tag{04}$$

Considerando a derivada total da Equação (04) com relação ao tempo  $t$  dado e assumindo que  $\phi$  seja diferenciável tem-se:

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{\partial \phi}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial t} + \frac{\partial \phi}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial \phi}{\partial t} = \langle \nabla \phi, \frac{\partial \gamma}{\partial t} \rangle + \frac{\partial \phi}{\partial t} = 0 \tag{05}$$

Como  $\frac{\partial \gamma}{\partial t} = V\vec{n}$ , a Equação (05) pode ser escrita da seguinte forma:

$$\langle \nabla \phi, \frac{\partial \gamma}{\partial t} \rangle + \frac{\partial \phi}{\partial t} = 0 \Rightarrow \frac{\partial \phi}{\partial t} = -\langle \nabla \phi, \frac{\partial \gamma}{\partial t} \rangle \Rightarrow \frac{\partial \phi}{\partial t} = -\langle \nabla \phi, V\vec{n} \rangle \Rightarrow \frac{\partial \phi}{\partial t} = -V\langle \nabla \phi, \vec{n} \rangle \tag{06}$$

De forma análoga, a derivada para o parâmetro  $s$ , na Equação 04 pode ser dado por:

$$\forall s \in [0,1] \text{ tem-se } \frac{\partial \phi}{\partial s} = \frac{\partial \phi}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial s} + \frac{\partial \phi}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial s} = \langle \nabla \phi, \frac{\partial \gamma}{\partial s} \rangle = 0 \tag{07}$$

Assim  $\frac{\partial \gamma}{\partial s}$  é tangente à curva para  $s$  e  $\nabla \phi$  é normal à curva. Como convencionou-se que  $n$  é orientado para o exterior  $\phi$  é positivo no seu interior, logo  $n = -\frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|}$  e substituindo na Equação 06, obtém-se a equação para evolução temporal  $\phi$ , dad por:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = V|\nabla \phi| \Rightarrow \frac{\partial \phi}{\partial t} - V|\nabla \phi| = 0 \tag{08}$$

A Equação 08 é conhecida como a equação de *Level Set* definida por Osher e Sethian (1988). Esta equação descreve a evolução da função *Level Set*  $f$  no tempo, de tal forma que a função  $f$  possa ser interpretada com uma propagação através das curvas de nível que podem ser construídas para essa função, conforme mostra a Figura 04.

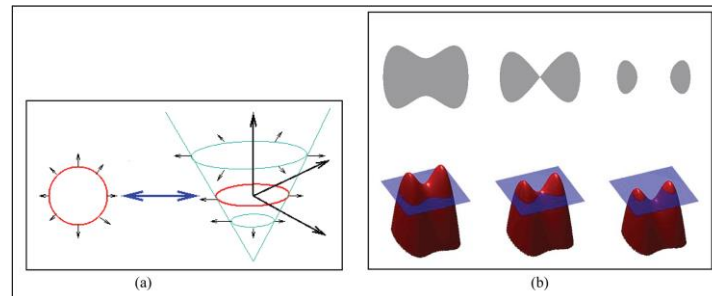


Figura 04 – Metodo de *Level Set* para imagens digitais (OSHER e SETHIN, 1998)

Um exemplo da aplicação do contorno ativo geométrico (*Level Set*) foi aplicado no mesmo recorte da Figura 02, com a imagem já no seu formato binário e seus resultados podem ser verificados na Figura 05 a seguir.

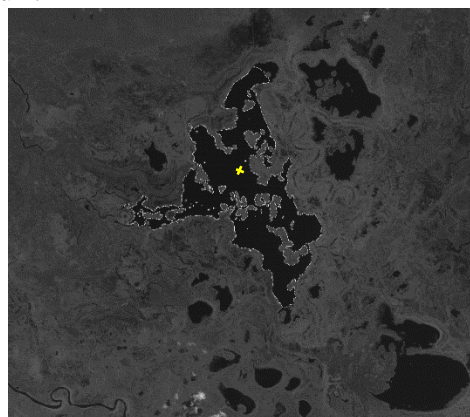


Figura 05 – Resultado de aplicação do *Level Set* com ponto inicial indicado em amarelo.

### 3. Resultados e Discussão

Para comparar os modelos de contornos ativos na extração de corpos d'água selecionou-se um conjunto com recortes de regiões de rios e lagoas, provenientes do sensor PAN do satélite CBERS 4, tomada da região do Pantanal no Mato Grosso no dia 07/04/2016. Os recortes estão apresentados na Figura 06, em que várias situações foram escolhidas para comparar o comportamento dos métodos de contornos ativos na extração de corpos d'água em imagens orbitais. As dificuldades propostas para comparar os modelos levam em consideração a larguras dos rios presentes nas imagens, a presença de ilhas nos rios e larguras dos canais que o compõem, além da quantidade de lagoas presentes nos recortes da cena, como mostra a Figura 06.

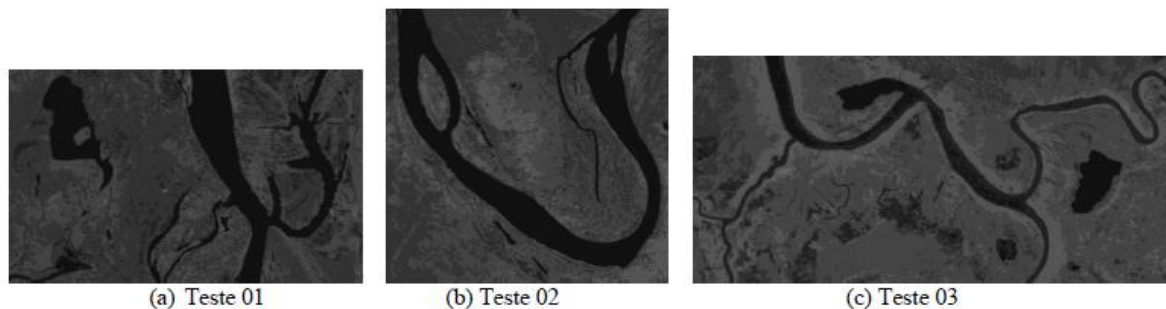


Figura 06 – Imagens Teste 01 – 03

Os resultados para a imagem Teste 01 mostram que os corpos d'água que não tinham ilhas apresentam melhores resultados para o Snakes, no entanto o mesmo não consegue contornar o

problema de modificações na topologia da curva no meio da sua evolução. Contudo o Level Set não foi capaz de realizar a extração em áreas com grande variação de curvatura, como indicam os quadros em vermelho na Figura 07.

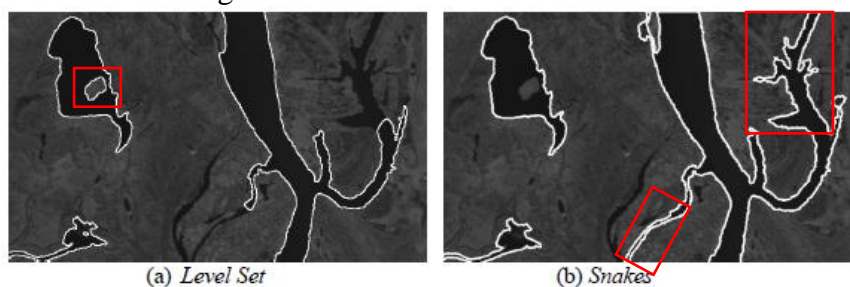


Figura 07 – Resultado da Imagem Teste 01 para o Level Set (a) e o Snakes (b)

No caso da imagem Teste 02 os resultados seguem o mesmo padrão da situação anterior, ou seja as ilhas não foram detectadas na aplicação da Snakes, em contrapartida o Level Set não extraiu a região com características mais lineares e com forte impacto de curvatura, com indicam os quadros em vermelho na Figura 08.

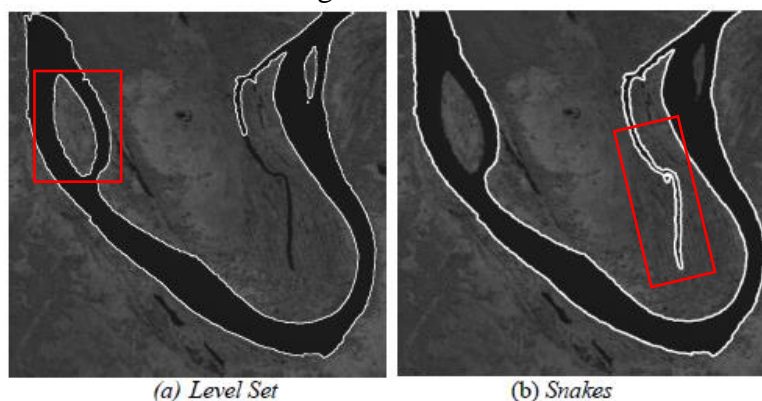


Figura 08 – Resultado da Imagem Teste 02 para o Level Set (a) e o Snakes (b)

Por fim, na imagem Teste 03, não apresentou mudanças significativas, uma vez que os problemas indicados para ambos os contornos não chegaram a ser significativos nesse caso, ou seja, neste recorte não existem ilhas no leito dos corpos d'água nem variações significativas nas larguras dos rios e braços presentes na cena, como pode ser verificado na Figura 09.

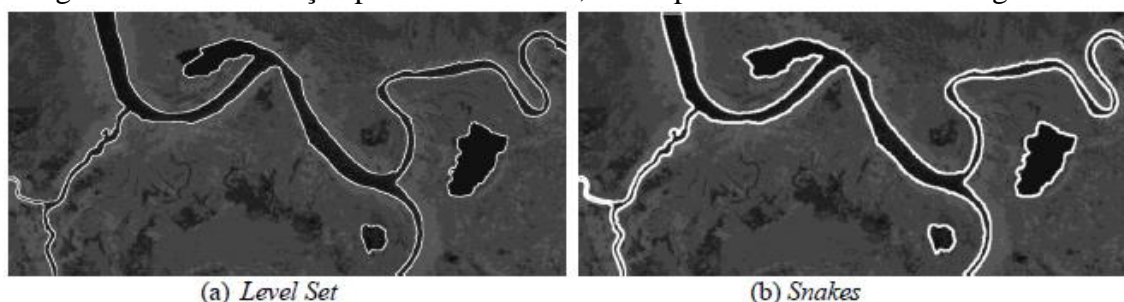


Figura 09 – Resultado da Imagem Teste 03 para o Level Set (a) e o Snakes (b)

#### 4. Conclusões

Considerando o propósito desse trabalho que era realizar uma comparação qualitativa dos contornos ativos para extração de corpos d'água em imagens orbitais é possível concluir que ambos os métodos tem suas vantagens e desvantagens para esse propósito, uma vez que nas comparações realizadas, por meio da aplicação de ambos os métodos nas mesmas cenas, que

foram binarizadas nas mesmas condições, os resultados indicam que não é possível estabelecer qual o melhor método e sim quando utilizar um ou outro ou ambos.

O Método de Contorno Ativo paramétrico (*Snakes*) é superior para situações que não apresentam ilhas, uma vez que esse tipo de feição provoca uma modificação na topologia da curva e na sua parametrização como já é previsto na teoria gerando assim uma falha na extração para essa feição (Kass et al, 1988).

Por outro lado, o Método de Contorno Ativo geométrico (*Level Set*) apresenta resultados satisfatórios quando a feição sofre modificações topológicas, tais como a criação de um “buraco” no objeto de interesse, ou feições a ser extraída como as ilhas no caso dos corpos d’águas. Essa qualidade também está prevista na teoria segundo Osher e Sethian (1988). No entanto as *Level Set* começam a ter problemas em feições que sofrem variações muito acentuados nas suas características, principalmente as que são influenciadas pela curvatura na evolução da curva.

De forma geral algumas conclusões podem ser aprofundadas com esse trabalho que é avaliar se feições lineares e não lineares devem optar por uma modelo de contorno ativo paramétrico ou geométrico. No entanto essa é uma recomendação para trabalhos futuros que devem realizar avaliação quantitativas para projetar de forma segura qual método utilizar, segundo a feição e/ou tipo de imagem.

## Agradecimentos

É importante agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, que através do processo número 48530-5/2013-5 financiou parte dessa pesquisa, bem como a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Mato Grosso – Fapemat que também financia os recursos para o LAID (Laboratório de Análise de Imagens Digitais) da Universidade do Estado de Mato Grosso – Unemat, local onde parte dessa pesquisa foi desenvolvida.

## Referências Bibliográficas

MENA, J. B.; State of the art on automatic road extraction for GIS update: a novel classification. **Pattern Recognition Letters**, Vol. 24, n.16, pp.3037–3058, 2003.

Dillabaugh, C., Niemann, K., Richardson, D. “Semi-automated extraction of rivers from digital imagery” *Geoinform.* v. 6, n. 3, p. 263-284, 2002.

PENG, J., ZHANG, D., LIU, Y.; An improved snake model for building detection from urban aerial images, **Pattern Recognition Letters**, Vol. 26, n. 5, pp. 587-595, 2005.

POULLIS, C.; YOU, S.; Delineation and geometric modeling of road networks. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, Vol. 65, pp. 165-181, 2010.

Otsu, N. “A thresholding selection method from gray-level histogram.”, *IEEE Transactions. Systems Man Cybernet.* v.1, p. 62–66, 1979.

Osher, S., Sethian, J. A. “Fronts propagating with curvature-dependent speed: Algorithms based on Hamilton-Jacobi formulations”, *J. Comput. Phys.*, 1998.