

Técnicas de reconhecimento de formas para identificação de áreas de irrigação por imagens de satélite

Peter Zeilhofer¹
André Luiz Pereira Álvares²
Gilmar Ferreira da Silva¹
Suzy Mara Klemp¹

¹ Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Departamento de Geografia
Av. F. Corrêa da Costa, s/n - 78060-900 - Cuiabá - MT, Brasil
pitalike@terra.com.br / gilmargeo@gmail.com / suzy_klemp@yahoo.com.br

² Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Curso de Ciência de Computação
Av. F. Corrêa da Costa, s/n - 78060-900 - Cuiabá - MT, Brasil
andre2k2@gmail.com

Abstract. Previous studies appointed for a limited performance of conventional, pixel-based algorithms for classification of multispectral remote sensing imagery. Diverse geographical objects are characterized by an expressive variability of its spectral reflection and could be better identified by its shape. In this context, present paper discusses preliminary results of the applicability of shape recognition techniques for the identification of center pivot sprinkler irrigations in a study area in the Central Brazilian Cerrado region (Upper Rio das Mortes watershed), where this kind of agricultural production systems is increasingly causing conflicts between multiple water users. Results from maximum-likelihood classifications with and without previous segmentation were compared with those obtained from a shape recognition technique, more specifically, a border detection by region growing algorithm (Canny filter) followed by a Hough Transformation.

Palavras-chave: image processing, shape recognition, sprinkler irrigation, processamento de imagens, reconhecimento de formas, irrigação por pivô central.

1. Introdução

De acordo com Santos *et al.* (2005), a crescente demanda por alimentos tornou o uso da irrigação imprescindível em todo o mundo não somente limitado a regiões semi-áridas, a exemplo do Nordeste brasileiro, mas estendendo-se para regiões semi-úmidas, visando um aumento da produtividade ou para possibilitar uma segunda safra. De acordo com uma estimativa de Christofidis (2001) para o ano 1998, no Brasil, apenas 7,7% do total dos 38,3 milhões de hectares cultivados foram irrigados, mas contribuíram com 35% da produção total de alimentos. Ao mesmo tempo estima-se que a agricultura irrigada brasileira consumiu, no mesmo ano (1998), cerca de 61% da demanda total por recursos hídricos (RH), sendo portanto, uma atividade passível a competir com outros tipos de uso de fundamental importância, tais como geração hidráulica de energia ou abastecimento público. A política nacional de recursos hídricos, amparada pela lei federal Nº 9.433 de 1997, salienta a importância de um monitoramento e cadastro sistematizado dos diversos usos de RH, para subsidiar a gestão das águas. Mato Grosso, como diversos outros estados em expansão agrícola recente, não dispõe, entretanto, de um cadastro atualizado para esta atividade. Devido a sua extensão territorial, técnicas de sensoriamento remoto e classificação de imagens digitais são consideradas indicadas para o acompanhamento da expansão desta atividade.

Segundo Martins (2004), a classificação de imagens, consiste na implementação de um processo de decisão para designar grupos de *pixels* como pertencentes a uma classe, sendo seu resultado uma imagem temática, na qual os *pixels* classificados são representados por símbolos ou cores. A classificação digital de imagens de satélite é comumente baseada em

algoritmos “*pixel a pixel*”, nos quais após criação de um conjunto de treinamento, o classificador procura associar determinado *pixel* a uma das classes, tratando o *pixel* como uma entidade isolada e independente dos demais *pixels* da cena. Entretanto, diversos estudos como, por exemplo, os de Oliveira (2002) e Pal et al. (2000), mostram um desempenho limitado destes algoritmos, propondo a utilização de classificadores por regiões que considerem relações de vizinhança no processo decisório. Enquanto técnicas como segmentação ou a classificação orientada a objetos foram amplamente aplicadas em estudos de Sensoriamento Remoto (Lobo 1997; Walter 2004), técnicas de reconhecimento de formas, a maioria delas provenientes da disciplina de “Image Vision” ainda contam somente com aplicação discreta na classificação de imagens de sensores remotos.

Uma destas técnicas, chamada de acordo com seu idealizador, a Transformação de *Hough* (TH), possui potencial para uma aplicação mais ampla em estudos de Sensoriamento Remoto (Shankar et al. 1998, Van der Werff 2006), pode ser utilizada no reconhecimento de padrões descontínuos em imagens ruidosas, e é apta para o reconhecimento de linhas, curvas ou outras formas que possam ser parametrizadas (Kimme et al. 1975). A TH utiliza para o reconhecimento apenas os *pixels* das bordas de objetos, necessitando assim, a utilização prévia de um algoritmo de detecção de bordas, tais como o algoritmo de Canny, de eficiência comprovada (Hou e Koh 2003).

Neste contexto, presente trabalho discute resultados preliminares da aplicabilidade de técnicas de reconhecimento de formas para a identificação de irrigações por pivô central em uma área de estudo na região de Cerrado no Centro Oeste Brasileiro (Bacia do Alto Rio das Mortes), onde este sistema de produção agrícola está causando conflitos crescentes entre os múltiplos usuários de Recursos Hídricos.

2. Área em estudo

A bacia do Alto Rio das Mortes está localizada nos municípios de Campo Verde, Dom Aquino, Poxoréu e Primavera do Leste, região leste do Estado de Mato Grosso (**Figura 1**).

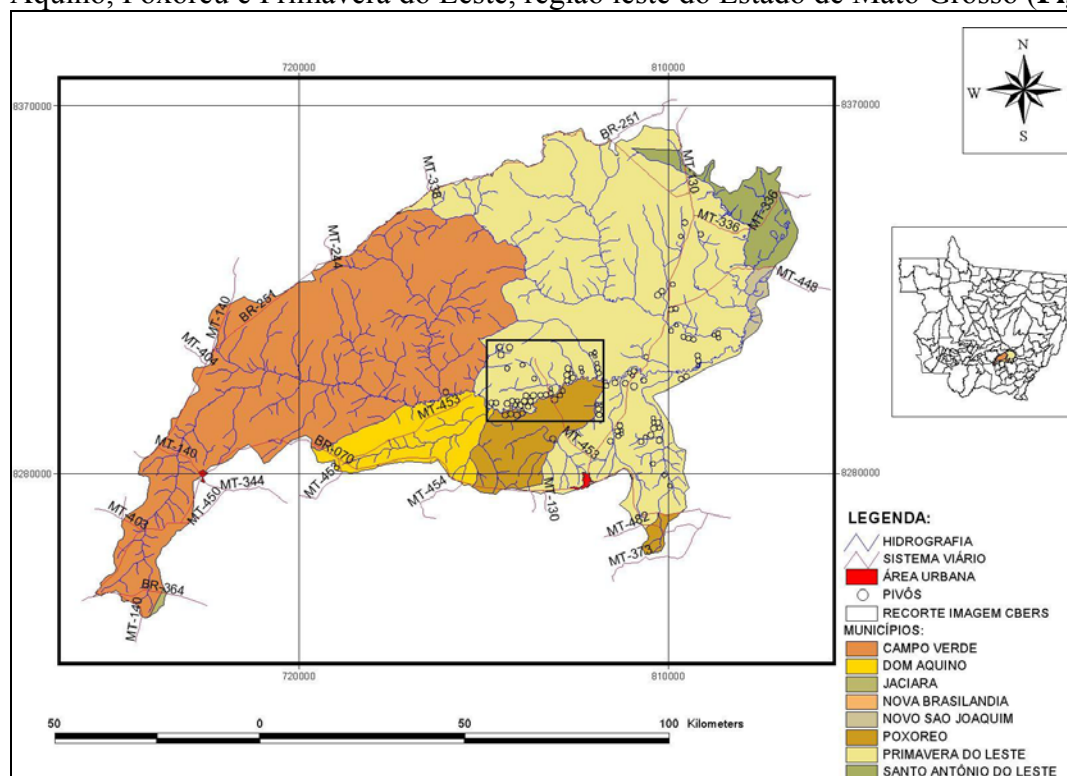


Figura 1. Área em estudo - Bacia do Alto Rio das Mortes, MT.

Foi efetuado recorte de uma área de 67,96 km², compreendida entre 54°15'22'' e 54°31'58'' O e 15°15'20'' e 15°27'27'' S com maior adensamento de irrigações. Foram identificados 46 pivôs centrais, o que representa 8,41% do total da área de estudo, a maioria sendo demonstrados como círculos esverdeados. Percebe-se que a maior concentração dos equipamentos de irrigação está localizada às margens do Rio das Mortes, o principal manancial da área, drenando-a no sentido oeste-leste.

3. Materiais e métodos

As classificações foram efetuadas a partir de uma imagem de satélite multi-espectral, proveniente do sistema sensor CBERS-2/CCD, órbita 164 e ponto 117, do dia 26 de junho de 2004. A imagem foi georreferenciada para a projeção UTM (SAD 69) a partir de 12 pontos de controle, extraídos da carta topográfica digital, 1:100.000 (folha SD-21-Z-D-III).

Para a validação, foi elaborado um Plano de Informação (PI) de referência por interpretação visual, do composto colorido #2/#3/#4. Supõe-se que, a interpretação permite uma identificação perfeita das lavouras irrigadas, devido aos contrastes espectrais expressivos.

O pré-processamento, a interpretação visual e a classificação supervisionada a partir do algoritmo *Batacharya* com segmentação prévia por crescimento de regiões, foram efetuados a partir do programa de geoprocessamento SPRING, versão 4.2 (INPE 2006).

A técnica de reconhecimento de formas aplicada engloba dois passos consecutivos, uma detecção de bordas pelo operador de *Canny* (Canny 1986), seguida pela transformação de *Hough* para a identificação das formas circulares das irrigações.

O operador de *Canny* constitui um processo multi-estágio (Ali & Clausi 2001) no qual uma imagem é primeiramente tratada com um filtro de passa-baixa, chamado “convolução de Gauss”. Em seguida, regiões que possuem altos primeiros derivados espaciais (fortes contrastes entre *pixels* vizinhos) são identificadas. A detecção de bordas únicas e afinadas em imagens com ruído depende da determinação empírica de três parâmetros requeridos pelo algoritmo: o desvio-padrão σ da função *gaussiana*, que define o grau de suavização da imagem e os limiares alto (T_a) e baixo (T_b) que determinam a limiarização dupla (histerese) implícita no algoritmo de *Canny*, com a extração definitiva dos máximos locais de descontinuidade, minimizando, ao mesmo tempo a fragmentação da borda (Silva et. al. 2004). Neste processo, a imagem em escala de cinza é transformada em uma imagem binária, representando as descontinuidades detectadas (bordas).

A transformação de *Hough* se tornou uma ferramenta padrão no domínio na área da “Visão Computacional” (*Image Vision*) para reconhecimento de linhas, círculos, elipses e outras formas facilmente parametrizadas em imagens binárias (**Figura 2**).

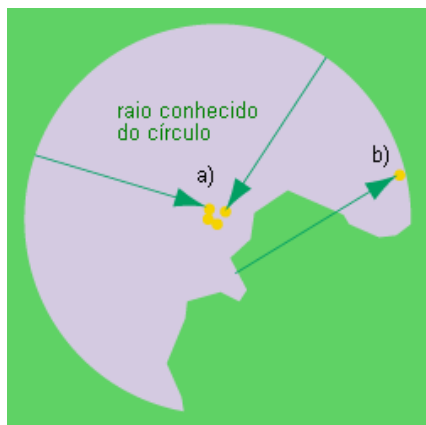


Figura 2. Detecção de círculos a partir da Transformação de *Hough*.

- a) votos computados para o centro de um círculo incompleto;
- b) votos podem ocorrer em posições randômicas, a maioria dos votos ocorre, entretanto na proximidade do centro real.

(alterada após Davies 2001)

Na TH procura-se efetuar um mapeamento do espaço da imagem para o espaço de parâmetros. Cada borda de uma imagem é transformada por esse mapeamento para determinar células no espaço de parâmetros, indicadas pelas primitivas definidas através do ponto analisado. Essas células são incrementadas (votos), e indicarão no final do processo, através da máxima local de um acumulador, quais os parâmetros correspondentes a forma especificada (Duda & Hart 1972; Duarte 2003). Aplicado a uma forma circular, a TH seleciona sucessivamente cada *pixel* de borda, move-se ao longo da normal da tangente por dentro, acumulando, de acordo com o comprimento de um raio conhecido, um voto no espaço de parâmetros. A sensibilidade do TH no reconhecimento pode ser influenciada a partir de um parâmetro de tolerância.

Para presente estudo foram utilizados os softwares “*Canny Edge Detector*” e “*DUTH Circle Detection*”, desenvolvidos por Nikos Papamarkos (Universidade de Democritus, Grécia, disponíveis em <http://ipml.ee.duth.gr/~papamark/free_software2.htm>). Foram efetuados estudos comparativos com um módulo de MatLab, implementado por Duarte (2003) que inclui código para a detecção de bordas pelo operador de *Canny* e a própria TH.

4. Resultados

A **figura 3** mostra o resultado preliminar de uma detecção de bordas a partir da Banda 4 do CBERS CCD, utilizando o software “*Canny Edge Detector*”, utilizando um valor de dois para o σ e valores de 5 e 10 como liminares inferior e superior do operador de *Canny*. Com os liminares escolhidos, o algoritmo de *Canny* detecta por completo os limites de áreas de irrigação com refletância uniforme e contraste expressivo (flechas sólidas), mas somente mostra êxito parcial, se as lavouras foram divididas, com manejo diferenciado (flechas tracejadas). Devido a sua semelhança espectral com as áreas no entorno, apenas dois curtos fragmentos da borda de uma irrigação menor foram detectados (flecha pontilhada).



Figura 3. Detecção de bordas de uma imagem CBERS CCD (banda 4) a partir do software “*Canny Edge Detector*” de N. Papamarkos.

Em seguida, as imagens resultantes da detecção de bordas foram submetidas ao algoritmo da TH, implementado em MatLab7 (Duarte 2003). A primeira imagem (**Figura 4a**) mostra as bordas encontradas com o algoritmo de *Canny*, na sua implementação no software “*Canny*

Edge Detector”. Os círculos em vermelho mostram as irrigações detectadas após aplicação da Transformação de *Hough* (Figura 4b). Observa-se que além das três irrigações com completa detecção das suas bordas foram também identificados os círculos das duas áreas de pivôs centrais, cujas margens foram detectadas parcialmente (flechas). A sexta irrigação menor, entretanto, continua sem detecção.

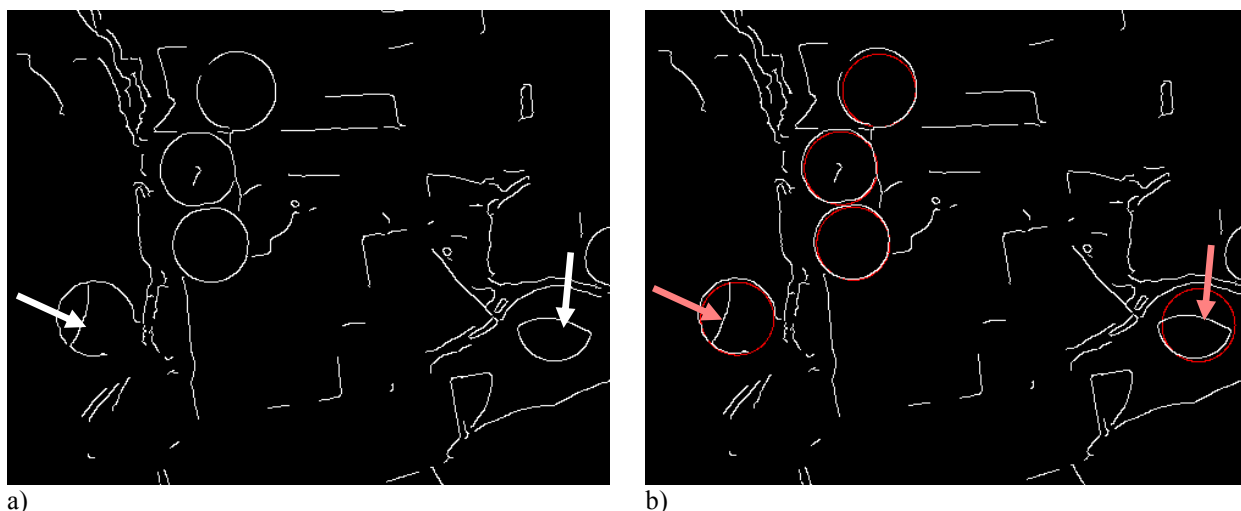


Figura 4. Bordas detectadas (em branco) a partir do filtro de *Canny* (a) e pivôs reconhecidos (em vermelho) pela Transformação de *Hough* (b). Banda #4, CBERS CCD.

Estudos prévios avaliaram o desempenho de classificadores supervisionados e não-supervisionados, implementados no software SPRING 4.2 (INPE) na identificação de pivôs centrais (Zeilhofer et al. 2006). As melhores acurácias foram obtidas para o algoritmo não-supervisionado ISOSEG e supervisionado *Batacharya* com segmentação prévia por crescimento de regiões (similaridade 10; área mínima: 1250 pixels). A figura 5 mostra as acurácias de produção e de usuário obtidas para as três classificações. Observa-se um desempenho limitado do algoritmo ISOSEG que a classificação não supervisionada resultou em resultados inferiores a 70% de acertos. O algoritmo *Batacharya* (Bata) mostra desempenho similar como obtido pelas técnicas de reconhecimento de formas (*Canny/TH*).

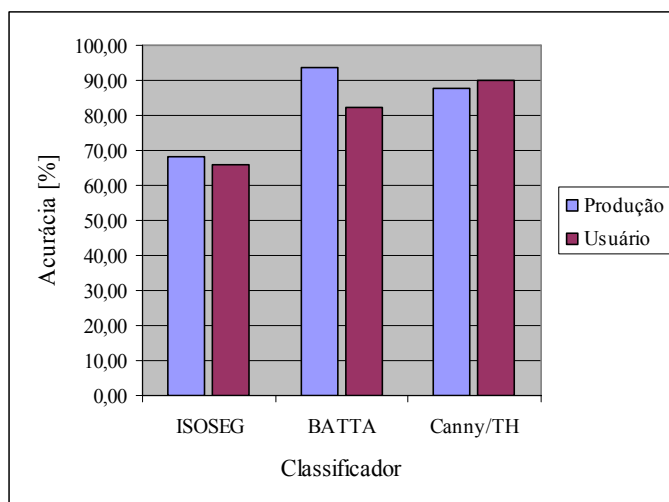
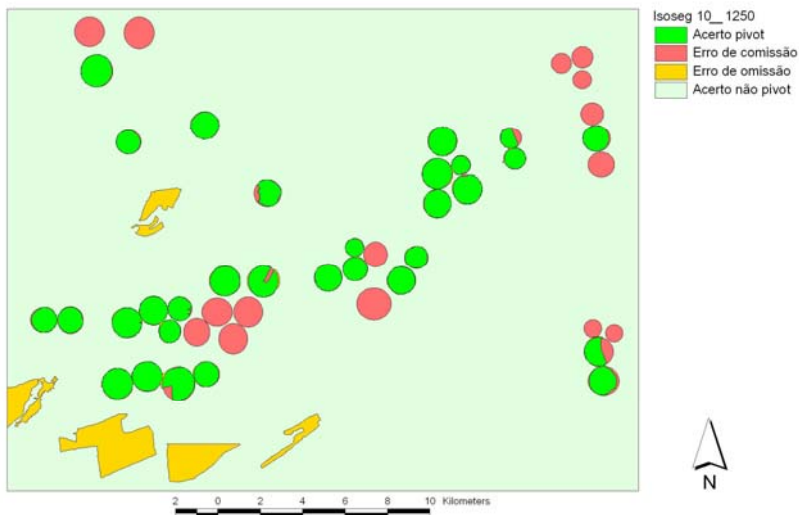
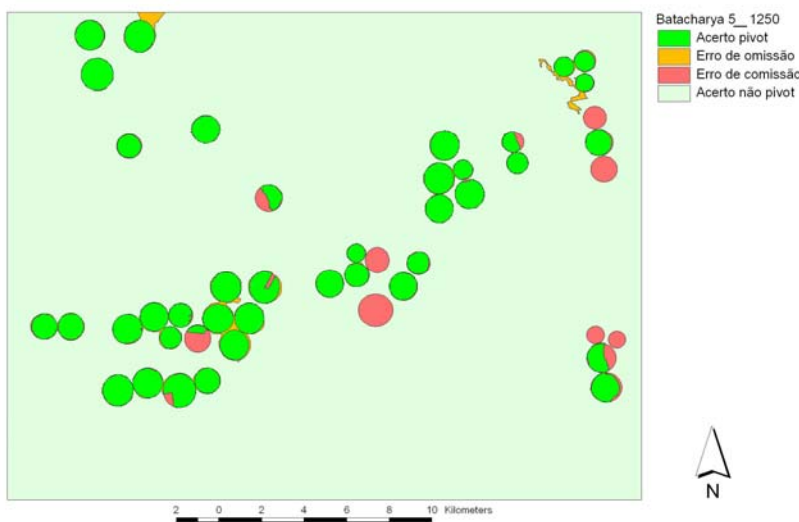


Figura 5. Comparativo das acurácias de produtor e de usuário obtidas na classificação de áreas de irrigação por pivô central. Algoritmos ISOSEG (não-supervisionado), *Batacharya* (Bata, supervisionado), ambas com segmentação prévia e técnicas de reconhecimento de formas (*Canny/TH*). Bandas #2/#3#4, CBERS CCD. Parâmetros: σ : 0,7; T_a : 7; T_b : 1 (*Canny*); 50% (TH)

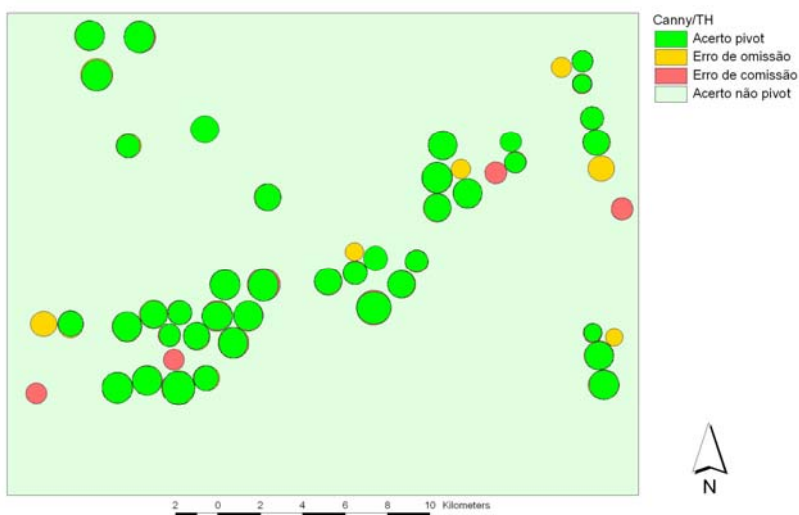
As **figuras 6a-c** mostram os resultados das três classificações em intersecção com o PI de referência. Erros de comissão correspondem ao nível de acerto na acurácia do usuário, erros de omissão ao nível de acerto na acurácia do produtor.



6a) Classificação não-supervisionada a partir do algoritmo ISOSEG, com segmentação prévia.



6b) Classificação supervisionada a partir do algoritmo Batacharaya, com segmentação prévia.



6c) Classificação por reconhecimento de formas. Detecção de bordas pelo operador de Canny, identificação de círculos pela Transformação de *Hough*. Parâmetros: σ : 0,7; T_a : 7; T_b : 1 (*Canny*); 50% (*TH*)

Nas três técnicas de classificação podem ser observados erros de omissão e comissão, entretanto, os erros de comissão (áreas de irrigação que não foram identificadas como tais, baixa acurácia de usuário) predominam nas classificações convencionais. Observa-se que as irrigações com erros de comissão (cor vermelha) na classificação supervisionada (**Figura 6b**) deixam de ser classificadas também pelo algoritmo não-supervisionado (**Figura 6a**). O procedimento de reconhecimento de formas gera resultados com equilíbrio nos erros de comissão e omissão, com valores de classificação errônea de 11% e 10% respectivamente (**Figura 6c**). Testes empíricos mostram que o desempenho geral como também a relação entre as acurácias os resultados do próprio reconhecimento de formas pelo algoritmo da TH são fortemente influenciados pela detecção de bordas. Devem ser utilizados liminares baixas para garantir a identificação de bordas de pivôs de baixo contraste espectral com as áreas de entorno. Supõe-se que o desempenho no reconhecimento de formas pode ser aprimorado na utilização de imagens dos meses do auge da seca (Agosto-Outubro), nas quais a umidade do solo / biomassa verde entre áreas irrigadas e não irrigadas é mais expressivo do que na imagem utilizada proveniente do mês de Junho.

5. Conclusões

Os resultados preliminares de estudos comparativos para identificação de áreas de irrigação por pivô central por uma imagem CBERS/CCD indicam boa aplicabilidade de técnicas de reconhecimento de formas, utilizando o operador de *Canny* seguida por uma Transformação de *Hough*. As validações indicam desempenho superior ao que obtido em classificações não-supervisionadas (ISOSEG, após segmentação). Comparado com classificações supervisionadas (*Batacharya*, após segmentação), a técnica *Canny*/TH mostrou desempenho de no mínimo equivalente. Determinados os liminares aptos para a detecção das formas em questão, o método exige interação mínima para inicialização de uma classificação. Em vista de uma possível aplicação operacional do método para fins de monitoramento deve ser ressaltado, entretanto, que a TH exige alta capacidade de processamento.

Referências

- Ali, M.; Clausi, D. Using the Canny edge detector for feature extraction and enhancement of remote sensing images. In: Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS '01), 2001, Sydney, Australia. **Proceedings IGARSS '01**, Sydney: IEEE, 2001, vol. 5, p. 2298-2300. ISBN: 0-7803-7031-7. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org>>. Acesso em: 02 out. 2006.
- Canny, J. F. A computational approach to edge detection. **IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v. 8, p. 679-698, 1986.
- Christofidis, D. Os recursos hídricos e a prática da irrigação no Brasil e no mundo. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, n. 49, p. 8-13, 2001.
- Cooper, G. R. J. & Cowan, D. R. The detection of circular features in irregularly spaced data. **Computers & Geosciences**, v. 30, p. 101-105, 2004.
- Chutatape, O.; Guo, L. A modified Hough transform for line detection and its performance. **Pattern Recognition**, v. 32, n. 22, p. 181-192, 1999.
- Davies, E. R. Low-level vision requirements. **Computing and Control - The Computer Forum**, 2001 <<http://www.iee.org/OnComms/Sector/Computing>>
- Duarte, G. D. Uso da Transformada de Hough na Detecção de Círculos em Imagens Digitais. **Thema - Revista Científica do Centro Federal de Educação Tecnológica**, vol. 4, n. 1, p. 51-58, 2003.
- Duda, R. & Hart, P. Use of the Hough transform to detect lines and curves in pictures. **Comm. Assoc. Comp. Machine**, v. 15, p. 11-15, 1972.
- Hou, Z.; Koh, T. S. Robust edge detection. **Pattern Recognition**, v. 36, p. 2083-2091, 2003.

Kimme, C.; Ballard, D. H.; Sklansky, J. Finding circles by an array of accumulators. **Communications of the Association for Computing Machinery**, v. 18, p. 120-122, 1975.

Lobo, A.; Chic, O.; Casterad, A. A Classification of Mediterranean crops with multisensor data: per-pixel versus per-object statistics and image segmentation. **International Journal of Remote Sensing**, v. 17, n. 12, p. 2385-2400, 1996.

Lobo, A. Image segmentation and discriminant analysis for the identification of land cover units in ecology. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 35, p. 1136-1145, 1997.

Martins, S. P. Classificação textural de imagens Radarsat-1 para discriminação de alvos agrícolas. 140 p. (INPE-12137-TDI/967). Dissertação - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2004. Biblioteca digital URLib: <<http://iris.sid.inpe.br:1913/rep-/sid.inpe.br/jeferson/2004/04.14.13.08>>. Acesso em: março 2006.

Pal, S. K.; Ghosh, A.; Shankar, B. U. Segmentation of remotely sensed images with fuzzy thresholding, and quantitative evaluation. **International Journal of Remote Sensing**, vol. 21, n. 11, p. 2269-2300, 2000.

Papamarkos, N. Software “Canny Edge Detector”, Universidade de Democritus, Grécia, <http://ipml.ee.duth.gr/~papamark/free_software2.htm>. Acesso em: 09 maio 2003.

Santos, M. F. G.; Oliveira, F. A.; Cavalcante, L. F.; Medeiros, J. F.; Souza, C.C. Solo sódico tratado com gesso agrícola, composto de lixo urbano e vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 307-313, 2005.

Shankar, B. U.; Murthy, C.A.; Pal, S. K. A new gray level based Hough transform for region extraction: An application to IRS images. **Pattern Recognition Letters**, v. 19, n. 2, p. 197-204, 1998.

Silva, J. F. C.; Barbosa, R. L.; Gallis, R. B. A.; Pereir, L. M. Avaliação da Qualidade da Detecção de Bordas em uma Sequência de Imagens de Ruas e Rodovias. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 56, n. 2, p. 96-103, 2004.

Van der Werff, H. M. A.; Bakker, W. H.; van der Meer, F. D.; Siderius, W. Combining spectral signals and spatial patterns using multiple Hough transforms: An application for detection of natural gas seepages. **Computers & Geosciences**, v. 32, n. 9, p. 1334-1343, 2006.

Walter, V. Object-based classification of remote sensing data for change detection. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 58, n. 3-4, p. 225-238, 2004.

Zeilhofer, P.; Cabral, I. L. L.; Rodrigues, W. S.; Silva, G. F. Técnicas de Classificação Digital para o Estudo de Pivôs Centrais na Bacia do Rio das Mortes - MT. In: IV Seminário Latinoamericano de Geografia Física: Novos Paradigmas e Políticas Ambientais, 2006, Maringá, Brasil. **Anais do IV Seminário Latinoamericano de Geografia Física**, Maringá: UEM, 2006. v. 1. p. 1-9.