

SISTEMA COMPUTACIONAL DE BAIXO CUSTO PARA RECONHECIMENTO DA VARIABILIDADE DE PLANTAS DANINHAS BASEADO EM IMAGEAMENTO ESTEREOSCÓPICO

P. E. CRUVINEL¹, F. B. TAKEDA², J. H. SAITO³, V. A. OLIVEIRA⁴, E. C. MANTOVANI⁵

RESUMO

A agricultura de precisão com a incorporação de tecnologia avançada no campo vem provocando uma revolução nos processos, sistemas e métodos do manejo agrícola, trazendo principalmente novas soluções para aumento da produtividade e redução do impacto ambiental. Este trabalho apresenta um sistema computacional que envolve imageamento estereoscópico de baixo custo e modelo computacional para o reconhecimento de planta daninha e sua variabilidade, com particular aplicação para as que apresentam primitivas fundamentadas em padrões circulares. Resultados ilustram a aplicabilidade e a confiabilidade do sistema desenvolvido com estudo de caso e reconhecimento do balãozinho (*Cardiospermum halicacabum*), o qual é uma espécie de planta daninha de difícil controle químico.

PALAVRAS-CHAVES: Agricultura de Precisão, Imageamento estereoscópico, Plantas Invasoras, Reconhecimento de Padrões

A LOW COST COMPUTATIONAL SYSTEM FOR VARIABILITY RECOGNITION OF WEED INFESTATION BASED ON STEREO SCOPIC IMAGING

SUMMARY

Precision agriculture, which is strongly based on the application of advanced technology, brought a new concept in terms of crop production and management. Like a revolution in agriculture it is being used to increase productivity and to reduce environmental impacts. This work presents a low cost computational system for recognition of weed infestation and its variability, with particular application for those presenting primitives shapes based on circular patterns. Results illustrate the applicability and the reliability of the method for a case of study, i.e., considering the *Cardiospermum halicacabum*, which is a weed species that presents a difficult chemical control.

KEYWORDS: Precision Agriculture, Stereoscopic Imaging, Weed Infestation, Pattern Recognition

INTRODUÇÃO

O uso da agricultura de precisão vem se tornando cada vez mais freqüente nos países em desenvolvimento e desenvolvidos, onde como nos Estados Unidos e Japão os governos vêm enfatizando a pesquisa e o desenvolvimento nesta área como uma estratégia nacional (NRC, 1997; JAPANESE GOVERNMENT, 1996). Na Europa vários países têm divulgado seus resultados de aumento de produtividade com o uso da agricultura de precisão (BLACKMORE, 1994; LARSCHIED, 1996; LARSCHIED, 1997). No Brasil é encontrado no plano plurianual do Governo Federal do Brasil (PPA) o programa em Agricultura de Precisão (BRASIL, 1999).

Convencionou-se chamar de agricultura de precisão a prática agrícola que leva em conta a variabilidade espacial e temporal das propriedades da cultura do solo e do clima para viabilizar um

¹ Doutor em Automação. Pesquisador, Embrapa Instrumentação Agropecuária, Caixa Postal 741, 13560-970 São Carlos SP. e-mail:

² Mestre em Ciência da Computação. Doutorando, UFSCar - Departamento de Computação

³ Doutor em Ciência da Computação. Docente e Pesquisador, UFSCar - Departamento de Computação

⁴ Doutora em Engenharia Elétrica. Docente e Pesquisadora, EESC-USP - Departamento de Engenharia Elétrica

⁵ Doutor em Engenharia Agrícola. Pesquisador. Embrapa Milho e Sorgo

adequado processo de gerenciamento da produção, em função de condições metricamente localizadas (COGHLAN, 1995; NIELSEN et al., 1996; PLUCKNETT & WINKELMANN, 1995). Como parte histórica que auxiliou a fundamentar essa prática são encontrados os trabalhos de HUBBARD et al. (1983), HOWELL et al. (1984), CURRY et al. (1981) e SARGENT (1986), os quais trataram respectivamente do controle de pragas, de uso intensivo de estações climatológicas automatizadas que forneciam dados para o controle de irrigação, de previsão de geadas e a previsão de enchentes. Além dos dados climatológicos, parâmetros do solo, como umidade, salinidade, pH e temperatura, bem como parâmetros das plantas, como crescimento, porcentagem de cobertura, taxa de fotossíntese e transpiração, são alguns exemplos de dados adquiridos automaticamente para a composição de complexos vetores de decisão. GRISMER (1992) propôs um modelo conceitual de uma rede de sensores integrados para o sistema solo-planta-atmosfera. Esse modelo foi criado para atender a grande demanda de dados necessários ao desenvolvimento de sistemas especialistas e modelos integrativos que auxiliam o gerenciamento da produção agrícola.

Como pode ser notado nos exemplos citados tem havido uma tendência crescente na integração de diversas fontes de dados com a finalidade de melhor gerenciar a produção agrícola. Porém, há uma questão que vem se tornando o alvo principal da automação na agricultura. Trata-se do reconhecimento cada vez maior por parte dos especialistas agrícolas que as culturas, os solos e também as pragas e doenças não devem ser manejados individualmente e de forma homogênea. Entretanto, mesmo frente à esta realidade, há vários segmentos da produção agrícola, tais como os dos fabricantes de agroquímicos, os de desenvolvimento de produtos seletivos de baixa toxicidade e mobilidade reduzida, entre outros, que tratam o campo agrícola de maneira uniforme e mantêm o desenvolvimento de técnicas conservacionistas que sejam economicamente viáveis. Essas práticas se complementam, muito embora já existam indícios dos benefícios trazidos com o uso da agricultura de precisão. ROBERT (2002) revisou 108 estudos dedicados à análise da viabilidade econômica da adoção da agricultura de precisão, verificando que em 63% dos casos a adoção resultou em benefícios, em 26% dos casos não houve melhora e em 11% os resultados foram negativos. Entretanto, as análises não consideraram os benefícios do ganho tecnológico e ambiental devido a dificuldade de quantificá-los.

O controle de plantas daninhas, por exemplo, é uma prática de elevada importância para a obtenção de altos rendimentos em qualquer exploração agrícola. Na cultura da soja, por exemplo, as plantas daninhas constituem grande problema e a necessidade de controlá-las, um imperativo. Conforme a espécie, a densidade e a distribuição da invasora na lavoura, as perdas são significativas. A invasora prejudica a cultura, porque com ela compete pela água, pelos nutrientes e pela energia solar, podendo também dificultar a operação de colheita e comprometer a qualidade do grão. Neste contexto, tem-se verificado um grande esforço de pesquisadores que têm procurado minimizar os problemas encontrados com o grande volume de defensivos utilizados. THOMPSON et al. (1990) afirmaram que é possível reduzir o volume aplicando baixas doses, por meio de um sistema de aplicação mais eficiente, com utilização de defensivos somente nas áreas infestadas. Entretanto, o conceito de manejo baseado em agricultura de precisão não é de aplicação trivial quanto às operações de campo, onde o controle diferenciado de plantas daninhas é uma operação complexa, bem como a prática tradicional de controle químico é uma das principais causas da contaminação do solo, das águas superficiais e do lençol subterrâneo (TORRE-NETO et al., 1997; TIAN et al., 1999).

O mapeamento da ocorrência de plantas daninhas pode ser feito utilizando técnicas que incluem a utilização do geoprocessamento através de um veículo dedicado durante a colheita, com amostragem intensiva do campo (grade ou pontos) ou por imagens aéreas. Porém, estas técnicas, apesar de se mostrarem capazes, o tempo para processamento e interpretação dos mapas e seu custo têm limitado seu uso comercial. Assim, com vistas à obtenção de técnicas que permitam uma melhor figura de mérito entre custo e benefício uma série de novos dispositivos e sensores têm sido explorados, sendo que há potencial na utilização de sistemas de visão artificial como sensores para coleta de dados de campo (CASH & HATAMIAN, 1987; CRUVINEL et al., 1996; FAN et al., 1998; BURKS et al., 1998; CRUVINEL et al., 1999; GOEL et al., 2000; BURKS et al., 2000; GOPALAPILLAI et al., 2000; PINTO et al., 2001; ALVES et al., 2002; HEMMING & RATH, 2002; TAKEDA, 2003).

Este trabalho apresenta um sistema de visão computacional de baixo custo com o uso de imageamento estereoscópico e modelo computacional dedicado ao reconhecimento de plantas daninhas e sua variabilidade, com particular aplicação às que apresentam primitivas geométricas fundamentadas em padrões circulares.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para modelar uma imagem estereoscópica pode-se optar por configuração que considere configuração canônica ou geometria epipolar, conforme ilustrado na Figura 1.

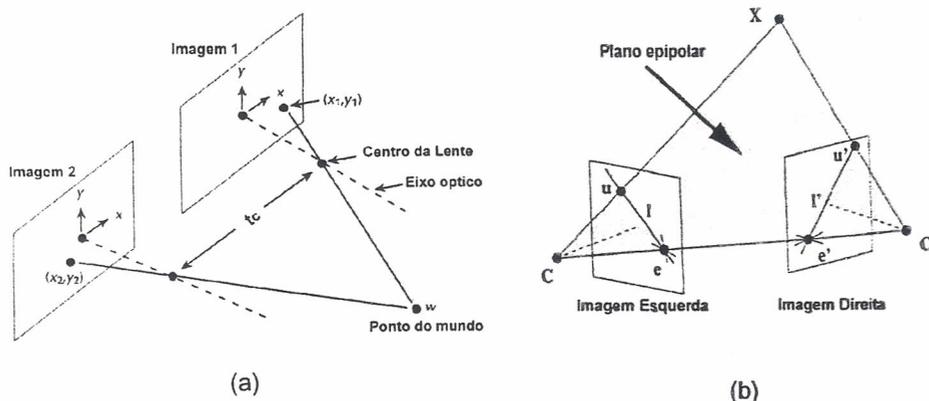


FIGURA 1 - Em (a) tem-se a configuração canônica de câmeras; em (b) tem-se a configuração com geometria epipolar.

Para a configuração canônica a reconstrução 3D de uma imagem estereoscópica pode ser alcançada através das coordenadas (x_1, y_1) da imagem 1 e (x_2, y_2) da imagem 2 que representam a imagem respectiva a cada uma das câmeras (FU et al., 1987). Por outro lado, os centros ópticos denotados por C e C' na (linhas de base) respectivo a câmera da esquerda e da direita definem um plano epipolar e assim com a intersecção dos planos de imagem gera linhas epipolares denotadas por l e l'. A geometria epipolar expressa a relação entre duas imagens e um corpo rígido. Formalmente, epipolo é o ponto de intersecção de uma linha com os centros ópticos (linha de base) com o plano da imagem. Considerando a linha direta que intercepta os epipolos criando a intersecção o plano epipolar com o plano da imagem, é chamada de linha epipolar. Finalmente, um plano epipolar é definido pela área entre o ponto de coordenada do mundo real e as linhas epipolares.

Quando há uma movimentação em X que denota um ponto no horizonte, todas as linhas epipolares passam através dos epipolos e e e', que são a intersecção da linha de base com a perspectiva dos planos de imagem. As projeções da cena do ponto X são denotados por u e u'. Logo, u será a projeção da imagem da esquerda e u' será a projeção da imagem direita.

Assim, a descrição matemática para esta configuração de eixos ópticos não paralelos pode ser dada por:

$$\begin{cases} u \approx [k|0] \begin{bmatrix} X \\ 1 \end{bmatrix} = KX \\ u' \approx [K'R|K'Rt] \begin{bmatrix} X \\ 1 \end{bmatrix} = K'(RX - Rt) = K'X' \end{cases} \quad (1)$$

em que:

K e K' - são as matrizes de calibração das câmeras esquerda e direita respectivamente, número de pixels;

R - rotação da imagem;

t - translação da imagem.

Sabendo-se que X, X' e t são co-planares pode-se distinguir as câmeras pelos índices E e D , respectivos à câmera esquerda e direita. Pode-se escrever as coordenadas de rotação como:

$$X'_D = RX'_E \quad (2)$$

$$X'_E = R^{-1}X'_D \quad (3)$$

O uso da geometria epipolar em sistema estereoscópico tem sido preferido por questão de facilidade na obtenção dos pontos de correspondência entre duas imagens automaticamente. Entretanto, ao se adquirir imagens em equipamentos estereoscópicos com eixos não paralelos é aconselhado que seja realizado uma retificação da imagem que irá resultar em um novo conjunto de imagens com linhas epipolares tipicamente paralelas.

A retificação de uma imagem é realizada quando cada pixel é recalculado utilizando-se a transformação linear da projeção do espaço.

A Figura 2 ilustra as imagens antes da retificação apresentada de forma pontilhada e a linha sólida representa a imagem com as linhas epipolares. Após a retificação as imagens são obtidas com coordenadas descritas por:

$$A = \begin{bmatrix} ((C \times C') \times C)^T \\ (C \times C')^T \\ ((C - C') \times (C \times C'))^T \end{bmatrix} [m_2 \times m_3, m_3 \times m_1, m_1 \times m_2] \quad (4)$$

$$B = \begin{bmatrix} ((C \times C') \times C)^T \\ (C \times C')^T \\ ((C - C') \times (C \times C'))^T \end{bmatrix} [m'_2 \times m'_3, m'_3 \times m'_1, m'_1 \times m'_2] \quad (5)$$

$$u = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} \quad u' = \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = B \begin{bmatrix} u' \\ v' \\ 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

em que:

m_1, m_2 e m_3 - denotam um vetor criado a partir da matriz de projeção M da imagem esquerda;

m'_1 , m'_2 e m'_3 - denotam um vetor criado a partir da matriz de projeção M da imagem direita.

Este procedimento é comumente utilizado pelo baixo esforço computacional que apresenta (SONKA et al., 1998).

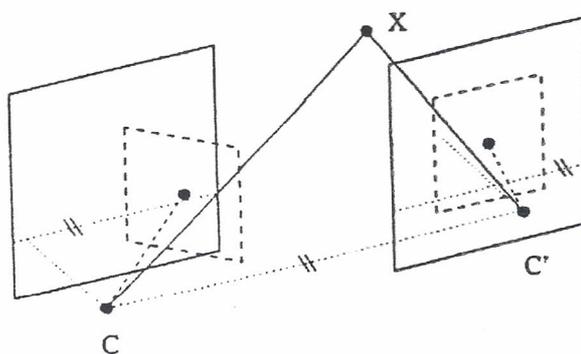


FIGURA 2 - Imagem retificada para alcançar linhas epípolares paralelas.

Adicionalmente, após obtidas as imagens 1 e 2 busca-se a correspondência das imagens por blocos. Isto porque na maioria dos casos as câmeras utilizadas no imagiamento não são calibradas e não se tem informação sobre a forma que foi realizada a aquisição da imagem. Entretanto, é necessário que se encontre o ponto de correspondências das imagens e assim, construir a imagem 3D, o que será possível com o uso dos parâmetros intrínsecos e extrínsecos. Parâmetros intrínsecos de uma câmera, dizem respeito às medidas métricas de uma imagem, já os parâmetros extrínsecos de uma câmera dependem da orientação das coordenadas Euclidianas.

A matriz M expressa a projeção perspectiva da primeira imagem que será dividido pelos vetores m_1^T , m_2^T e m_3^T , o que ocorrerá similarmente na segunda imagem conforme apresentado nas equações (5) e (6), onde Q é a matriz de projeção derivada de M .

$$\text{Primeira Imagem } u = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \cong MQ = \begin{bmatrix} m_1^T \\ m_2^T \\ m_3^T \end{bmatrix} Q \quad (7)$$

$$\text{Segunda imagem } u' = \begin{bmatrix} h' \\ i' \\ j' \end{bmatrix} \cong M'Q = \begin{bmatrix} m'^T_1 \\ m'^T_2 \\ m'^T_3 \end{bmatrix} Q \quad (8)$$

A partir das equações anteriores chega-se à matriz dada pela Equação 9, a qual representa a calibração das câmeras, ou seja:

$$\begin{bmatrix} hm_3^T - jm_1^T \\ im_3^T - jm_2^T \\ h' m_3^T - j m_1^T \\ i' m_3^T - j m_2^T \end{bmatrix} X := AX = 0 \quad (9)$$

Uma vez calibradas as câmeras é necessário encontrar os pixels de correspondência de uma imagem na outra, ou seja, é necessário definir um ponto na primeira imagem e posteriormente encontrar o mesmo pixel na segunda imagem. Em termos de organização de código do sistema para reconhecimento de pixels correspondentes de uma imagem em outra, chamado de correspondência entre blocos, as medidas de similaridade entre os blocos tomada podem ser, por exemplo, a raiz quadrada do erro da intensidade e a disparidade é encontrada onde a raiz quadrada do erro é mínima. Este procedimento pode ser otimizado se as câmeras estiverem em uma superfície plana e com o sistema de coordenadas calibrados, sendo assim possível diminuir o tempo do procedimento com o cálculo de correspondência apenas de um bloco e as demais disparidades serão correspondentes a primeira coordenada encontrada.

O sistema utiliza linguagem C++, a qual foi uma opção de projeto com vistas à portabilidade e utilização de versões para vários sistemas operacionais, sendo utilizada a plataforma de programação da *Inprise* chamado *C++ Builder*. O ambiente computacional é operativo com um computador *LapTop* com processador Pentium III da Intel, com mínimo de 256 MBytes de memória RAM, funcionando sob o sistema operacional *Windows 2000 NT Professional* da Microsoft.

Neste caso, o reconhecimento de padrões de primitivas foi realizado com o uso de transformada rápida de Hough (DUDA & HART, 1972) para padrões circulares, conforme ilustra a Figura 3 com o fluxograma do algoritmo de reconhecimento.

A aplicação da transformada de Hough consiste em mudar a imagem do plano cartesiano para o espaço de parâmetros. Isto significa que cada pixel do plano cartesiano (imagem) será convertido em circunferência no espaço de parâmetros.

Desta forma, dada uma imagem com pixels e querendo saber se existe pixels que possam compor a imagem de uma circunferência monta-se um arranjo acumulador com o espaço de parâmetros.

Define-se, assim, um arranjo acumulador, onde serão armazenadas as circunferência traçadas com centro nos pixels da imagem (plano cartesiano). O arranjo acumulador, em princípio pode ser definido com as dimensões iguais às da imagem no plano cartesiano. Porém, observa-se que se existir um pixel no plano da imagem (cartesiano) que esteja ultrapassando os limites impostos pela borda (uma das quatro extremidades do plano da imagem), a colocação de uma circunferência gerada como centro na borda ultrapassaria os limites do arranjo acumulador. Observa-se que neste caso haveria perda de informações.

Para solucionar esse problema, são definidas as dimensões de um arranjo acumulador tridimensional, isto é, com a inclusão do raios de curvatura das circunferências. Este método, permite detectar circunferências no plano imagem, mesmo que esta seja descontínua ou incompleta.

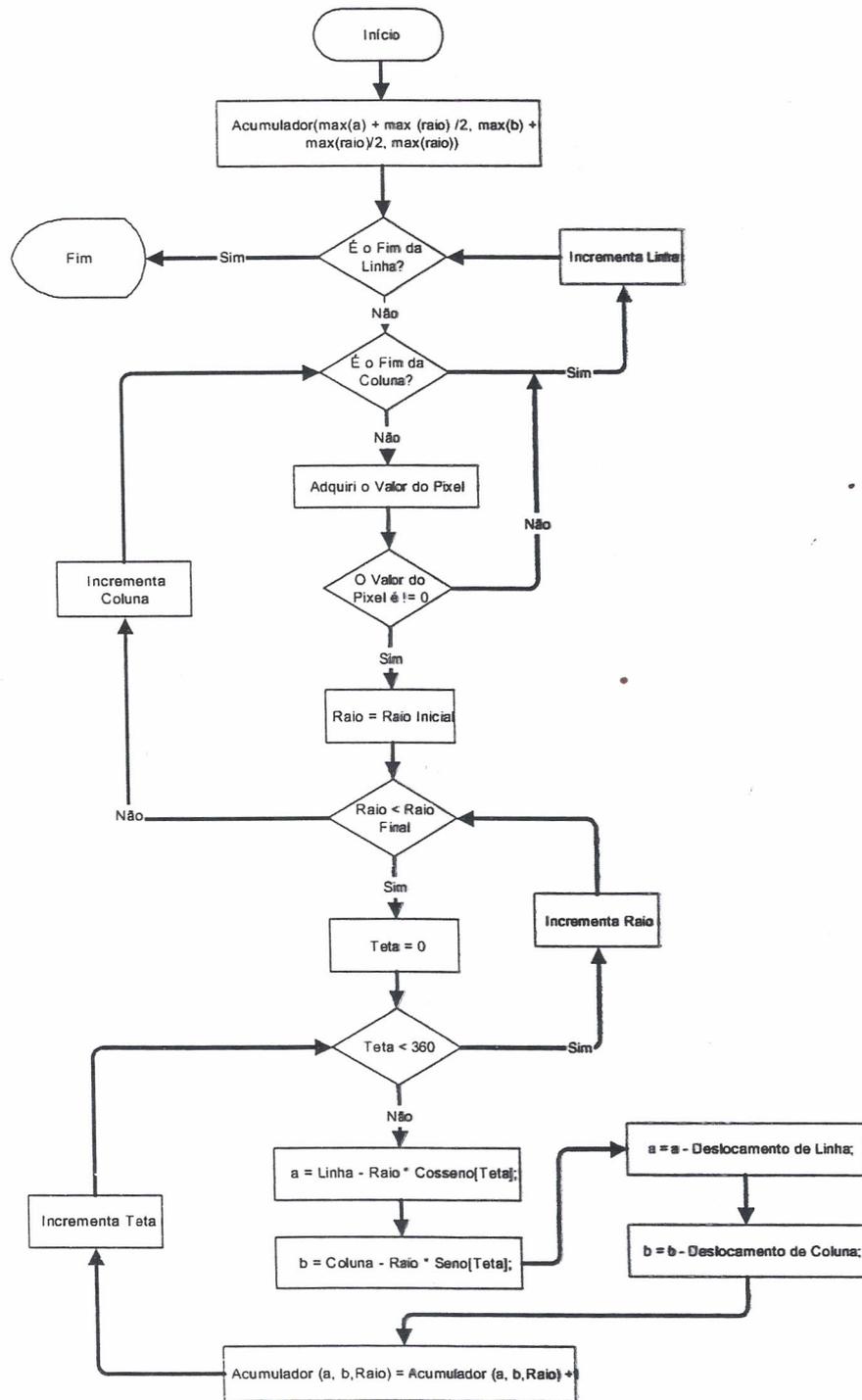


FIGURA 3 - Algoritmo de reconhecimento de padrões circulares com transformada rápida de Hough.

Para visualização de resultados, o sistema possibilita duas formas básicas. A primeira é em tempo de execução, as imagens são adquiridas com o uso de câmeras tipo *WebCam*, de baixo custo, e já entram em rotina de análise e reconhecimento ou a segunda que é utilizada quando o sistema for utilizado somente para aquisições das imagens e posterior análise dos dados. O imageamento é realizado através de uma componente chamado *TImage* que ao ser associado a uma imagem exibe-a no sistema, em conjunto com uma ferramenta baseado em *openGL*[®] chamada de *VTK*, a qual possui diretivas simplificadas das funções da *openGL*[®].

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação do método foi realizada com uma etapa de calibração e um estudo de caso para o reconhecimento de primitivas do balãozinho (*Cardiospermum halicacabum*), o qual é uma espécie de planta daninha de difícil controle químico e que apresenta primitivas geométricas com padrões circulares. O balãozinho se destaca pelo prejuízo que tem provocado à cultura da soja no Brasil (VOLL et al., 1998), cujo convívio com a cultivar Embrapa 62 reduziu o rendimento da cultura em 16,11 kg/ha por planta de balãozinho/m² em semeadura convencional e 21,30 kg/ha em semeadura direta.

A Figura 4 ilustra a interface do modelo computacional que é base da metodologia de análise, onde é possível visualizar as imagens nas suas diversas fases de processamento, bem como o conjunto de ferramentas disponibilizadas, com o uso de abas que garantem facilidade operacional e ambiente amigável ao usuário.

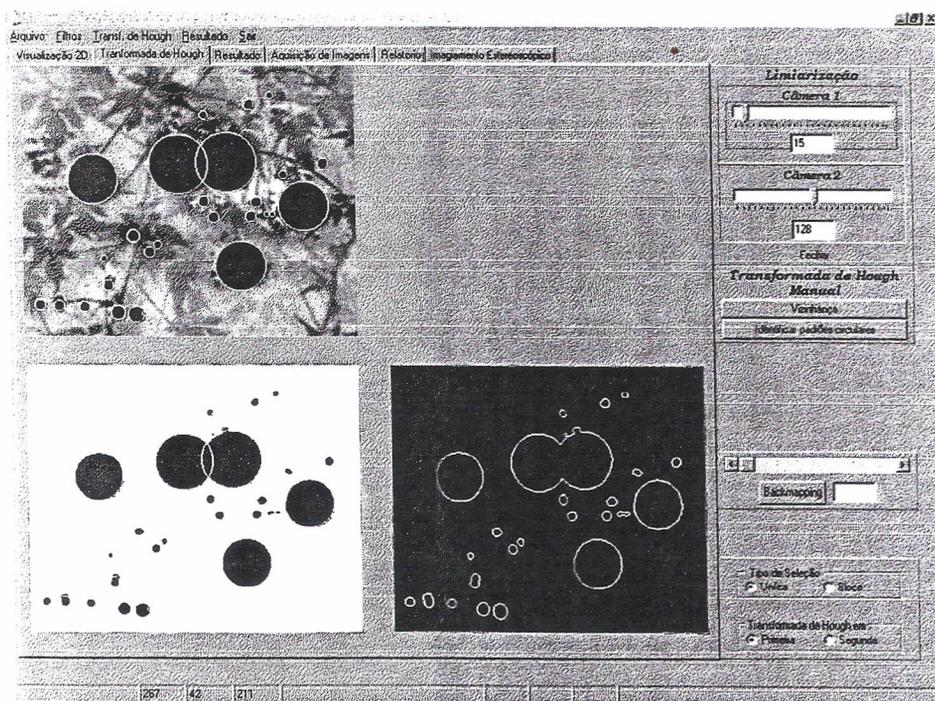


FIGURA 4 – Interface para o usuário do sistema computacional de baixo custo baseado em imageamento estereoscópico para reconhecimento de primitivas de padrões circulares

O sistema foi calibrado com o uso de duas câmeras idênticas de marca *Creative*[®] conectadas através das portas USB (Universal Serial Bus) do computador *LapTop*. Estas câmeras utilizam um sensor CMOS com matriz de pixels de 352x288, bem como apresentam controle automático de exposição à claridade. Na

fase de calibração da resposta do modelo computacional foram utilizados três tipos básicos de filtros digitais, ou seja, Filtro *Threshold* (Limiarização), Filtro Laplaciano e Filtro de Média. A limiarização possibilitou a remoção de informação não desejada no resultado retornado com o uso da transformada rápida de Hough. O Filtro Laplaciano possibilitou a extração de bordas de objetos da cena. Finalmente, o Filtro de Média, foi utilizado na entrada do sistema para que as imagens adquiridas pelas duas câmeras apresentassem relação sinal/ruído em ordem de magnitude equivalente.

Para aferição da calibração foram utilizadas imagens adquiridas de esferas, de tamanhos variando entre 0,025m a 0,097m em diâmetro, alocadas em intervalos referenciados à uma profundidade máxima de cena de até 3,000m em relação às duas câmeras digitais utilizadas. O erro médio percentual de medida não foi maior que 5% nos diâmetros das esferas utilizadas.

A Figura 5 ilustra etapas do processamento de imagens adquiridas no estudo de caso com base no método de estereoscopia, respectivamente com a apresentação de: uma das imagens obtidas em cultura com infestação (a); imagem pós-processada com agregação de informação especializada, como base de referência para validação do método (b); imagem pós-processada com inversão da paleta de tons para a preparação à aplicação de limiarização e retirada de outros elementos da imagem sem interesse no processo de reconhecimento (c); imagem pós-processada com aplicação de limiarização com limiar igual a 18 (a paleta de tons é expressa no intervalo de 0 a 255). Com a aplicação deste limiar, todos os pixels da imagem com tons que se encontram no intervalo entre 0 e 18 recebem o valor 0 e todos os pixels da imagem com tons que estejam no intervalo entre 19 e 255 recebem o valor 255 (d); imagem pós-processada com aplicação de filtragem no domínio espacial com Filtro Laplaciano, onde pode-se observar a extração das bordas dos objetos circulares apresentados na imagem anterior (e); imagem pós-processada com o uso da transformada rápida de Hough, a qual ilustra os objetos reconhecidos, incluindo a solução do *cluster* devido a sobreposição parcial de objetos de interesse para o processo de reconhecimento (f).

De forma a validar o método, o estudo de caso foi desenvolvido considerando aprendizado supervisionado, o qual leva em consideração que todos os dados que um sistema necessita para formar um modelo dos mesmos estão disponíveis e são conhecidos. O modelo é formado a partir destes dados atuando como um especialista. Estes dados já estão previamente subdivididos em classes pelo supervisor, que sabe a quantidade de classes que devem ser criadas e quais serão estas classes para a geração do modelo de representação. Neste modelo de validação foi considerado somente uma classe de interesse, ou seja o reconhecimento do balãozinho (*Cardiospermum halicacabum*). Entretanto, no próximo passo desta pesquisa será considerado o aprendizado não supervisionado, o qual leva em consideração que os dados se encontram de forma bruta, não subdivididos em classes e não tendo conhecimento de quais serão estas. Não exigem a presença de um supervisor para determinar as classes, e se caracterizam por gerar agrupamentos de dados com características semelhantes.

É objetivo do homem compreender o sistema de funcionamento e armazenamento do córtex visual, para construir modelos cibernéticos que se aproximem da capacidade humana de discriminação, sendo o segmento de aplicação de imagens digitais um importante assunto da área do processamento de sinais bidimensionais e tridimensionais, possuindo ramificações em ilimitadas aplicações para a obtenção de soluções onde a análise visual desempenha um importante papel na classificação. Para avaliação destas formas de interpretação visual que trabalham computacionalmente no reconhecimento de padrões e formas visuais. Neste contexto, métodos com aprendizado supervisionado e não supervisionado ganham um novo espaço abrangendo um intervalo de aplicações do processamento de imagens com trabalhos que seguramente estarão envolvendo o uso de redes neurais, seu funcionamento e aplicações; classificadores estatísticos ótimos e similares; técnicas de inteligência artificial, como aprendizado por reforço ou por construção de conhecimento; técnicas de mineração de dados, buscando correlações entre os dados adquiridos; entre outros.

A Figura 6 ilustra o histograma de distribuição das primitivas dos padrões reconhecidos na imagem analisada, como parte do conjunto de imagens obtidas neste exemplo em estudo de caso, como função de seus diâmetros. Este resultado é base para a geração de mapas sobre o grau de infestação, não somente em função do seu estágio de desenvolvimento como também em função de suas coordenadas geodésicas se durante a tomada das imagens for utilizado um GPS padrão, de forma tal que cada imagem corrigida em profundidade estará relacionada à informações de longitude e latitude.

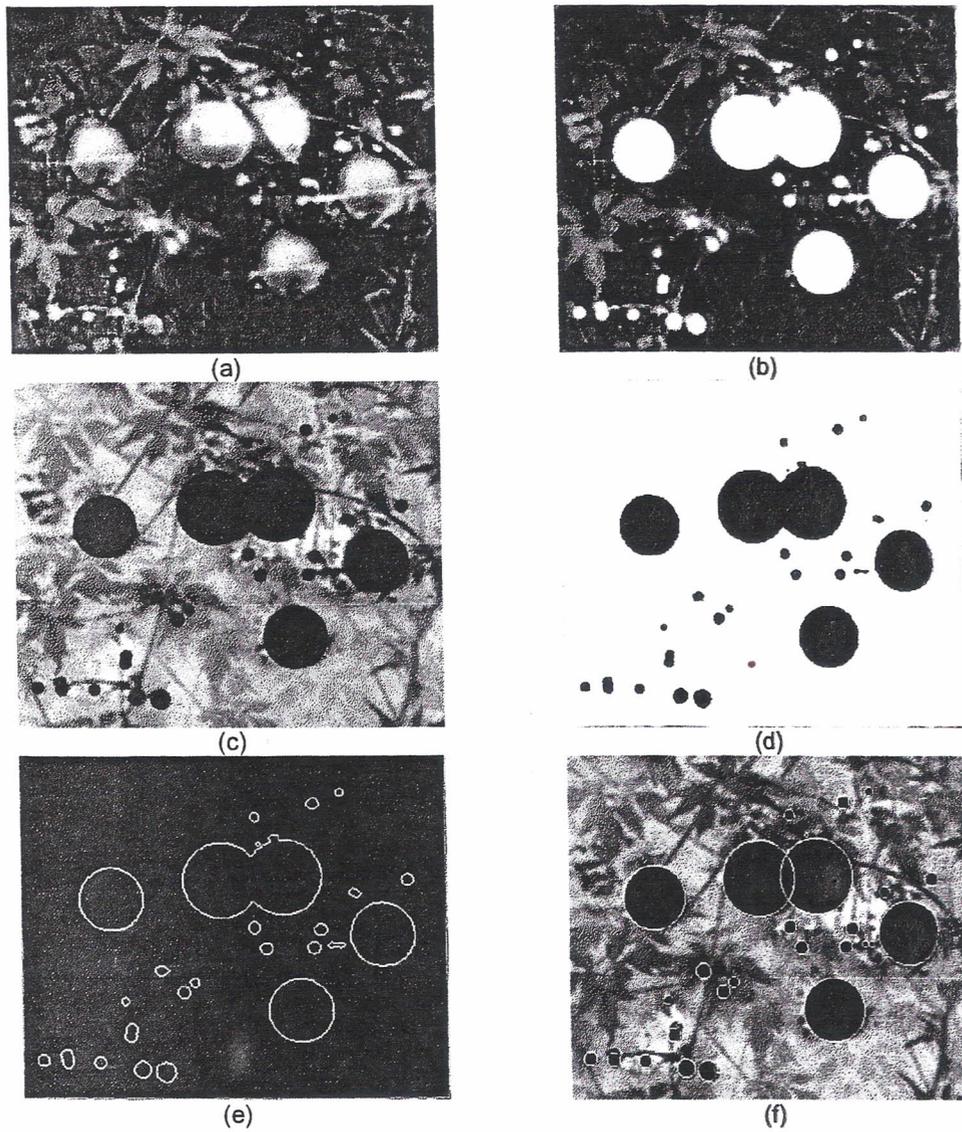


FIGURA 5 - (a) Imagem bidimensional com correção de profundidade, obtida a partir do imageamento estereoscópico; (b) Imagem pós-processada com informação especialista; (c) imagem pós-processada com inversão da paleta de tons (d) Imagem pós-processada com limiar igual a 18 para retirada de elementos sem interesse ao processo de reconhecimento; (e) Identificação de bordas dos componentes da imagem com filtro Laplaciano; (f) Imagem resultante do processamento de padrões circulares através da transformada rápida de Hough.

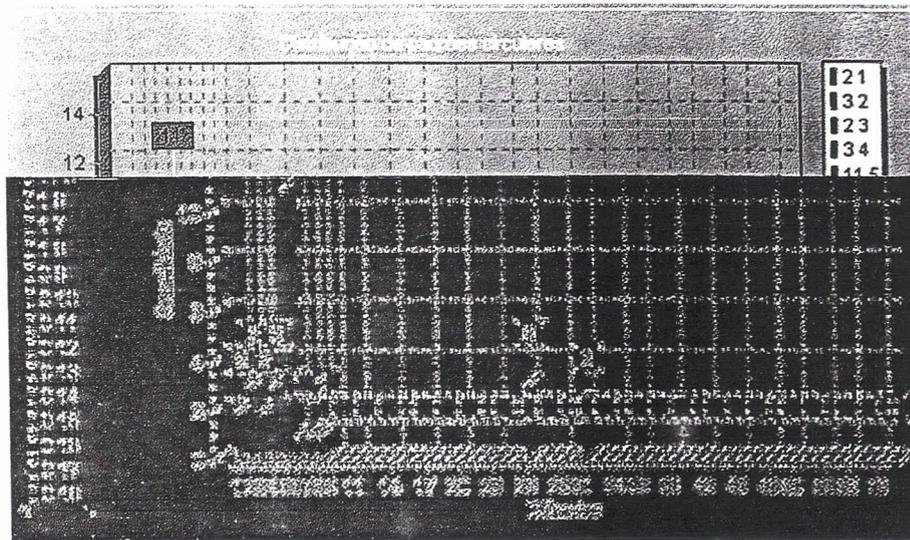


FIGURA 6 - Histograma de primitivas de padrões circulares identificados

CONCLUSÕES

Foi apresentado um sistema de visão artificial de baixo custo para o reconhecimento de padrões de plantas daninhas que tenham primitivas geométricas fundamentadas em formas circulares. O método de análise proporcionou a elaboração de histogramas de distribuição em função do diâmetro dos objetos reconhecidos em imagens bidimensionais, os quais foram obtidos com correção de profundidade pelo uso da técnica de estereoscopia. Uma vez georeferenciadas as imagens, tais resultados de distribuição poderão ser organizados em uma base de dados para a geração de mapas da variabilidade espacial ou do estágio de desenvolvimento da infestação. Os resultados apresentados indicam a qualidade do método de análise, onde o processo de calibração apresentou erro médio percentual não maior que 5%, bem como confiabilidade com o reconhecimento supervisionado de primitivas em estudo de caso para a planta daninha conhecida popularmente como balãozinho (*Cardiospermum halicacabum*). Tais resultados são promissores quanto ao desenvolvimento dos próximos passos, os quais envolverão a complementação do método com a inclusão de reconhecimento não supervisionado, bem como geração automática de mapas com informação em sítios específicos para o auxílio à tomada de decisão.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ALVES, E. A.; KHOURY JUNIOR, J. K.; PINTO, F. A. C.; QUEIROZ, D. M. Classificação de plantas daninhas utilizando características texturais em imagens digitais. In: II SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, *Anais...* Viçosa, MG, CD Rom, 2002.

BLACKMORE, S. Precision Farming: An Introduction. *Outlook on Agriculture*, 23(4), p. 275-280, 1994.

- BRASIL. Presidência da República (Fernando Henrique Cardoso). *Avança Brasil: plano plurianual do governo federal do Brasil* (PPA 2000-2003). Brasília, 55p, 1999.
- BURKS, T. F.; SHEARER, S. A.; GATES, R. S.; DONOHUE, K. D. Backpropagation neural network design and evaluation for classifying weed species using color image texture. *Transactions of the ASAE*, v. 43, n° 4, p. 1029-1037, 2000.
- BURKS, T. F.; SHEARER, S. A.; PAYNE, F. A. Evaluation of statistical discriminant analysis techniques for classification of weed species using machine vision. *ASAE Annual International Meeting*. Orlando, Florida. Paper n° 983037, 18p, 1998.
- CASH, G. L., HATAMIAN, M.. Optical character recognition by the method of moments. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 39:291-310, 1987.
- COGHLAN, A. Hi-tech farming to save the environment? *New Scientist* n.23, p.25, Sept., 1995.
- CRUVINEL, P.E.; MINATEL, E.R.; MUCHERONI, M.L.; VIEIRA, S.R.; CRESTANA, S. An automatic method based on image processing for measurements of drop size distribution from agricultural sprinklers. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO GRÁFICA E PROCESSAMENTO DE IMAGENS, 9., *Anais...Caxambu-MG*, p.39-46, out. 1996.
- CRUVINEL, P. E.; VIEIRA, S. R.; CRESTANA, S.; MINATEL, E. R.; MUCHERONI, M. L.; TORRE-NETO, A. Image processing in automated measurements of raindrop size and distribution. *Computers and Electronics in Agriculture*, Amsterdam, p. 205-217, 1999.
- CURRY, R. B.; KLINK, J. C.; HOLMAN, J. R.; SCJARINI, M. J. Development of an automated weather station network in Ohio. St. Joseph: *Transactions of the ASAE*, (ASAE Paper, 81-4502), 1981.
- DUDA, R.O.; HART, P. E. Use of the Hough transformation to detect lines and curves in pictures. *Graphics and Image Processing*, v.12, n.1, p.11-15, 1972.
- FAN, G.; ZHANG, N.; PETERSON, D. E.; LOUGHIN, T. M. Real-time weed detection using machine vision. *The 1998 ASAE annual International Meeting*. Orlando, Florida. Paper n° 98032, 17p, 1998.
- FU K. S., GONZALEZ R. C., LEE C. S. G., *Robotics: Control, Sensing, Vision, and Intelligence*, McGraw-Hill: 1987.
- GOEL, P. K.; PRASHER, S. O; PATEL, R. M.; DITOMMASO, A.; SMITH, D. L. Airborne optical remote sensing for detection of weed infestation in site specific management of field crops. *The 2000 ASAE Annual International Meeting*. Milwaukee, WI. Paper n° 003056, 13p, 2000.
- GOPALAPILLAI, S.; TIAN, L.; GOERING, C.; TANG, L. Identification and mapping of weed density in a soybean field using DMS images. *The 2000 ASAE Annual International Meeting*. Milwaukee, WI. Paper n° 003058, 2000.
- GRISMER, M.E. Field sensor networks and automated monitoring of soil water sensors. *Soil Science*, Baltimore, v.154, n.6, p.482-489, Dec. 1992.
- HEMMING, J.; RATH, T. Computer-vision-based weed identification under field conditions using controlled lighting. *Journal Agricultural Engineering Research*, v. 78, n° 3, p. 233-243, 2001.
- HOWELL, T.A.; MEEK, D.W.; PHENE, C.J.; DAVIS, K.R.; MCCORMICK, R.L. Automated weather data collection for research on irrigation scheduling. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.27, n.2, p.386-391, 1984.

- HUBBARD, K.G.; ROSENBERG, N.J.; NIELSEN, D. C. Automated weather data network for agriculture. *Journal of Water Resources Planning and Management*, n.109, p.213-222, 1983.
- JAPANESE GOVERNMENT. *Ministry of Agriculture in Japan. Statistics in the White Paper for Japanese Agriculture*, 1996.
- LARSCHIED, G.; BLACKMORE B. S.; MOORE M. *Management Decisions Based on Yield Maps. First European Conference on Precision Agriculture. September 7-10 Warwick University Conference Centre, Warwick, UK. J. V. Stafford (Ed.) Volume II, Precision Agriculture '97*, 1997
- LARSCHIED, G., BLACKMORE, B. S. Interactions Between Farm Managers and Information Systems with Respect to Yield Mapping. In: 3rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE. *Proceedings...* June 23-26 1996 Minneapolis USA. P. C., 1996.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). *Precision Agriculture in the 21st Century. Committee on Assessing Crop Yield: Site-Specific Farming, Information Systems and Research Opportunities*, National Academy Press, Washington DC., pp. 149, 1997.
- NIELSEN, D.R.; WENDROTH, O.; JÜRSCHIK, P.; KÜHN, G.; HOPMANS, J.W. Precision agriculture: challenges and opportunities of instrumentation and field measurements. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA, 1, São Carlos-SP, nov. 1996. *Anais...* São Carlos: EMBRAPA-CNPDIA, 1996.
- PINTO, F. A. C.; SENA Jr, D. G.; QUEIROZ, D. M.; GOMIDE, R. L. Visão artificial na agricultura de precisão, In: SIMPÓSIO SOBRE AGRICULTURA DE PRECISÃO, *Anais...* Piracicaba, SP, 2001.
- PLUCKNETT, D.L.; WINKELMANN, D.L. Technology for sustainable agriculture. *Scientific American*, p.182-186, Sept. 1995.
- ROBERT, P. C. The economical feasibility of precision agriculture. In: II SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO. *Anais...* Viçosa, MG., CD Rom, 2002.
- SARGENT, R. J. Telemetry for a flood prevention scheme. *Water Pollution Control*, v.85, n.2, p.153-159, 1986.
- SONKA, M., HLAVAC, V., BOYLE, R., *Imagem Processing, Analysis, and Machine Vision*, 2nd. ed., Brooks/Cole Publishing Company, 1999.
- TAKEDA, F. B., *Sistema para tomada de decisão baseado na geração de imagens estereoscópicas e reconhecimento de padrões circulares*, 2003, pp. 136 Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação), Departamento de Computação, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003.
- THOMPSON, J. F.; STAFFORD, J. V.; MILLER, P. C. H. Selective application of herbicides to UK cereal crops. *ASAE Annual International Meeting*. St. Joseph, Mich. Paper n° 901629, 1990.
- TIAN, L.; REID, J. F.; HUMMEL, J. W. Development of a precision sprayer for site-specific weed management. *Transactions of the ASAE*, v. 42, n° 4, p. 893-900, 1999.
- TORRE-NETO, A.; CRUVINEL, P.E.; SLAETS, J.F.W.; CRESTANA, S. Remote monitoring of environmental variables for modeling of pesticide transport in soil. *Applied Engineering in Agriculture*, St. Joseph, v.13, n.1, p.115-122, Jan. 1997.



VOLL E., GAZZIERO D.L.P., LELIS FILHO, Dinâmica do Estabelecimento e Competição de Desmido, SBHED, In: XIX CONGRESSO BRASILEIRO DE HERBICIDAS E PLANTAS DANINHAS, *Anais...* Londrina, Resumos, Paraná, p.384, 1998.