

UM MÉTODO PARA CONTROLE DE PLANTAS INVASORAS DA CULTURA DO MILHO BASEADO NO USO DA VISÃO DE MAQUINA

PAULO E. CRUVINEL¹, DÉCIO KARAM²

¹Pesquisador da Embrapa, Doutor em Automação, Embrapa Instrumentação – Rua XV de Novembro 1452, 13560-970 São Carlos, SP, paulo.cruvinel@embrapa.br;

²Pesquisador da Embrapa, Doutor em Ciências de Pragas Agrícolas, Embrapa Milho e Sorgo - Km 65 Rodovia MG 424, Caixa Postal 151, 35701-970 - Sete Lagoas, MG, decio.karam@embrapa.br.

Apresentado no
XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014
27 a 31 de julho de 2014- Campo Grande- MS, Brasil

RESUMO: A agricultura enfrenta desafios para aumentar a produção em resposta à crescente população mundial. Dentre esses desafios encontra destaque a minimização do uso de insumos associada às boas práticas de produção. A eficiência na aplicação de insumos pode viabilizar a diminuição do custo de produção e a redução de impactos ambientais, bem como proporcionar ganhos de produtividade. Assim, de forma a colaborar nesse atendimento a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) em conjunto com parceiros tem desenvolvido pesquisas que visam, entre outras ações, à diminuição do uso de agrotóxicos para a produção de alimentos. Este trabalho apresenta resultados de um método para aplicação de herbicida e controle de plantas invasoras da cultura do milho. Resultados mostram que é viável a utilização de descritores geométricos na caracterização das espécies de plantas, assim como das técnicas de visão computacional para a construção dos mapas de aplicação em taxa variada, considerando a variabilidade espacial, a geometria das folhas, como também o grau de concentração de plantas invasoras da cultura do milho.

PALAVRAS-CHAVE: PRAGAS, PRODUÇÃO DE MILHO, MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA.

A METHOD FOR WEED CONTROL INTO A MAIZE PRODUCTION BASED ON THE USE OF MACHINE VISION

ABSTRACT: The current agriculture is facing new challenges to increase production to respond the world population growing. Among these challenges lies the needs to minimize the use of inputs associated with the good production practices. Such efficiency based on the reduction of the inputs can facilitate the production costs and reduced environmental impacts as well as it may raise up the productivity gains. Thus, in order to collaborate in answering the Brazilian Corporation for Agricultural Research (Embrapa) together with partners has sought, among other actions, the conduction of research aimed at reducing the use of pesticides for food production. This paper presents a method for weed control in corn. Results show that it is feasible to use geometric descriptors for the characterization of plant species, as well as the computer vision techniques for the construction of maps for herbicide application at variable rate, considering the spatial variability, the geometry of the leaves, as well as the degree of concentration of the weed plants into the agricultural field.

KEYWORDS: WEED, MAIZE PRODUCTION, AGRICULTURAL MECHANIZATION.

INTRODUÇÃO

O campo de visão computacional ou visão de máquina tem caráter diverso e tem encontrado uma expressiva evolução quando o mesmo é tratado de maneira geral e teórica. Por outro lado, quando a questão se refere a aplicações reais o mesmo requer um maior cuidado, sendo necessários mais investimentos em pesquisa e desenvolvimento tecnológico, como é o caso da agricultura. Apesar de existirem trabalhos já reconhecidos, somente após o final da década de 70 começaram a serem realizados estudos mais aprofundados. Não existe, pois, até o momento, uma formulação padrão para o problema de visão computacional, assim como não existe uma formulação padrão de como os problemas a serem tratados com essa técnica devem ser resolvidos. O que existe atualmente são métodos especializados que raramente podem ser generalizados.

Este trabalho trata de um método que auxilia o tomador de decisão em ganho de produtividade e sustentabilidade na cultura do milho com base no manejo fundamentado no uso de visão de máquina e técnicas da agricultura de manejo em sítio específico decorrente da ocorrência de problemas que possam apresentar externalidades negativas, como no caso da presença de plantas invasoras nas áreas de cultivo.

O milho é um conhecido cereal, cultivado em grande parte do mundo. Devido às suas qualidades nutricionais tem sido principalmente utilizado na alimentação humana e na produção de ração animal (KARAM *et al.*, 2006). Também, em algumas partes do planeta para a produção de combustíveis. Evidências científicas o caracterizam como uma planta de origem mexicana, da área central da Meso-América. O milho é uma planta da família Gramineae e da espécie *Zea mays*. Comumente, o termo se refere à sua semente, de altas qualidades nutritivas, contendo a maioria dos aminoácidos conhecidos.

No Brasil, o milho já era cultivado pelos índios antes da chegada dos portugueses. Sobretudo os índios guaranis tinham no cereal o principal ingrediente de sua dieta. Com a chegada dos portugueses, há pouco mais de 500 anos, o consumo aumentou e novos produtos à base de milho incorporaram-se aos hábitos alimentares dos brasileiros. Dados de 2012 apontam os estados de Mato Grosso, Paraná e Goiás como sendo (CONAB, 2013) os estados líderes na sua produção e cerca de 5% de sua produção se destina ao consumo humano. A maior parte de sua produção é utilizada na alimentação animal bovina, suína, de aves e peixes. No País, a cultura do milho é uma das principais atividades produtivas, destacando-se no cenário estratégico mundial como um dos fundamentais segmentos a serem explorados.

Em 2013 a produção mundial de milho atingiu a casa de 945 milhões/t. O Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) estimou que a produção de milho para o período 2012/13 no planeta seria de 8,6% a mais que na safra 2011/12 (870,5 milhões/t) e 14% acima da safra 2010/11 (829 milhões/t). A Figura 1 apresenta a relação entre produção e consumo de milho que ocorreu para o biênio 2012/2013.

A média de produtividade do milho deve duplicar nos próximos anos e grande desafio se impõe à sua produtividade e manutenção da sustentabilidade dos sistemas de produção. Por outro lado, o incremento da produtividade do milho é consequência do maior uso de tecnologia na lavoura, como também do plantio direto, da correção e da fertilização adequada do solo, do manejo de plantas invasoras e pragas, como também da adoção de sementes geneticamente modificadas.

Na cultura do milho, as plantas invasoras são responsáveis por aproximadamente um terço das perdas estimadas em função dos fatores bióticos (YAMADA & SPTIPP, 2006). Isso ocorre principalmente devido às suas características de agressividade, envolvendo a competição por espaço, luz, água e nutrientes. Também, soma-se a estes aspectos a longevidade e dispersão de sementes de plantas invasoras, o rápido desenvolvimento inicial, bem como o efeito alelopático. Para a cultura do milho, a maximização do potencial produtivo depende não somente de se utilizar de forma eficiente as recomendações fitossanitárias para a cultura, mas também e principalmente de que as medidas sejam aplicadas no momento adequado.

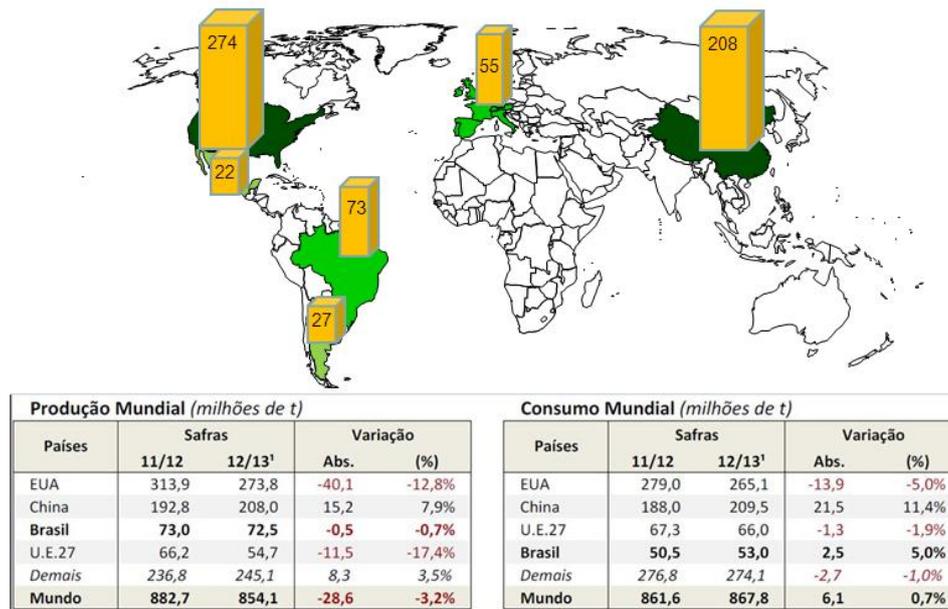


FIGURA 1. Produção mundial de milho no biênio 2012/2013 (Fonte: USDA, 2013).

Com relação ao manejo de plantas invasoras na cultura do milho, o período crítico de prevenção de interferência inicia-se por volta de 15 a 20 dias após a emergência e vai até 40 a 45 dias após a emergência. Este período é normalmente observado para as condições de cultivo de verão, onde, em função da agressividade das plantas invasoras é necessário o controle contínuo durante todo o período crítico de prevenção da interferência. O início do período crítico de prevenção de interferência acarreta reduções na produtividade, a qual será maior quanto maior for o atraso para o início do controle. Embora os investimentos em tecnologia, como mecanização, transporte, armazenamento, melhoramento genético e manejo cultural tenham promovido ganhos expressivos em produtividade na cultura do milho, alguns fatores continuam desafiando as estratégias de proteção do potencial produtivo das áreas plantada requerendo o pensar de novas estratégias para a composição de novas soluções que possam minimizar as perdas de produção.

MATERIAL E MÉTODOS

Como base para o desenvolvimento do método foi considerada a arquitetura apresentada na Figura 2 para identificação de plantas invasoras de folhas largas e estreitas e a geração de mapas de recomendação para aplicação taxa variada de herbicidas.

Para as etapas de aquisição de imagens de campo, bem como para o pré-processamento técnicas de filtragem e limiarização foram utilizadas. Utilizou-se também para a determinação da textura das imagens modelos de descrição estatística no domínio espacial com descrição híbrida, ou seja, combinando as abordagens estatísticas e sintáticas. Esta técnica expõe a textura de forma adequada para o reconhecimento de padrões das folhas das plantas invasoras integrando-se ao modelo físico estabelecido com base em suas características geométricas. O resultado decorrente do uso desta técnica pode ser apresentado como um vetor de propriedades que representam um ponto em um espaço multidimensional. Adicionalmente, para a obtenção dos mapas de textura a partir das imagens foram utilizados cálculos de momentos invariantes.

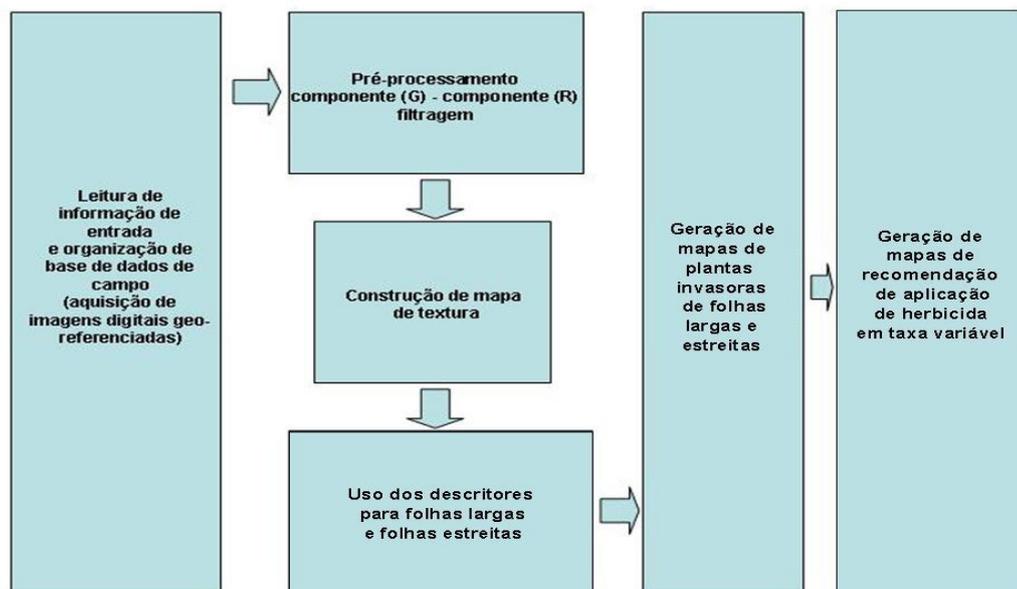


FIGURA 2. Diagrama de blocos da arquitetura para identificação da área de ocupação de plantas invasoras de folhas largas e estreitas da cultura do milho (*Zea mays* L.) e respectivo mapa de aplicação de herbicida em taxa variável.

O processamento baseado em análise de textura possibilita extrair características de uma imagem, as quais fornecem informações com relação à sua superfície como, por exemplo, sua rugosidade, homogeneidade ou mesmo identificação de formas e objetos. Segundo Vieira o campo de pesquisa em textura tem concentrado esforços para desenvolver métodos computacionais que recuperem características de imagens e interpretem seu conteúdo a partir das suas propriedades (VIEIRA, 2013).

Devido à subjetividade do termo textura, várias definições permanecem na literatura dependendo da perspectiva e enfoque da aplicação, sendo por este motivo um campo de fronteira no uso do processamento de imagens em função da especificidade da aplicação, em particular quando aplicada como base para o reconhecimento de padrões de plantas.

Textura se refere às propriedades que representam a ordem do arranjo de uma estrutura ou superfície de um objeto em estudo e apresenta elementos mutuamente relacionados, ou grupos de pixels relacionados, sendo, entretanto, altamente dependente de escala (HARALICK *et al.*, 1973; HARALICK, 1979). A textura consiste de primitivas ou elementos de textura, que também podem ser chamados de *texels*. Uma primitiva de textura é um conjunto de pixels

contíguos que possuem alguma propriedade tonal ou regional em comum (JULESZ, 1981). As texturas podem ser classificadas como rugosas, que são constituídas de primitivas geométricas de maior escala e possuem baixa frequência espacial, bem como lisas, sendo as mesmas constituídas de primitivas geométricas de pequena escala e que possuem alta frequência espacial. As características texturais estão diretamente ligadas à escala das primitivas de origem que lhe definem.

A descrição de uma textura presente em uma imagem digital pode ser feita considerando-se as tonalidades dos pixels e a estrutura que a compõe. A tonalidade descreve as propriedades de intensidade de um pixel na primitiva, enquanto a estrutura se refere à relação espacial entre as primitivas (SONKA *et al.*, 1998). A análise por textura viabiliza descrever a informação visual de uma imagem, ou de suas regiões que são estatisticamente homogêneas. Quatro diferentes caminhos podem ser utilizados para se descrever uma determinada textura. Neste contexto encontram-se os métodos estatísticos, que calculam diferentes propriedades da textura e que são adequados quando a primitiva utilizada possui tamanho comparável ao dos pixels, os métodos sintáticos, que são adequados quando as propriedades das primitivas de textura podem facilmente ser determinadas, os métodos híbridos, que consideram tanto os métodos estatísticos como os métodos sintáticos e os métodos espectrais, que tem base em propriedades do espectro de Fourier para descrever padrões globais de textura.

Para o manejo das plantas invasoras foram consideradas etapas de coleta da informação georeferenciada, pré-processamento para qualificar a informação de interesse, construção de mapa de textura, extração de características geométricas, geração de mapas de plantas invasoras de folhas largas, integração de resultados e geração de mapa de recomendação para a aplicação de herbicida em taxa variável. Utilizou-se assim, como método de reconhecimento das plantas invasoras técnicas de visão computacional e algoritmos de processamento de imagens. A etapa do processamento que subtrai componentes da imagem de entrada permite extrair das mesmas, informações que não são oriundas das plantas invasoras (informações de fundo, como palha, milho e solo).

A partir das imagens que contenham apenas plantas invasoras, as mesmas são selecionadas para reconhecimento com base na utilização de descritores computacionais e método de análise baseado na textura, bem como nas características geométricas dos objetos a serem identificados. Neste contexto, um mapa de textura foi calculado com janelamento de 30x30 pixels. As medidas estatísticas foram realizadas considerando uma matriz de co-ocorrência e o contraste das imagens.

A base do método de reconhecimento dos padrões de plantas largas e estreitas utiliza a análise de mapas de textura, a qual é um atributo espacial com origem na sensação visual causada pelas variações tonais existentes em uma determinada região de uma imagem. Neste contexto, foi a análise de textura utilizada para a segmentação sobre os atributos espaciais da imagem no seu processamento. Ainda como parte do método foi utilizado a abordagem do contraste, com a extração de janelas pertencentes à uma determinada classe, com o processamento das imagens através de uma janela móvel, viabilizando a confecção de mapas de texturas das imagens coletadas.

Imagens de situações reais foram obtidas a partir de recortes matemáticos nas imagens digitais de áreas de produção de milho, contendo solo, palha, folhas da cultura do milho, folhas de plantas invasoras. Para este estudo de caso foi utilizada análise de textura baseada no segundo momento de Hu para a segmentação de folhas largas sobre os atributos espaciais

da imagem no seu processamento (HU, 1962). Foi utilizada a abordagem do contraste, com a extração de janelas pertencentes a uma determinada classe. Da análise do contraste foi obtida a matriz de co-ocorrência dos níveis de cinza. Através do cálculo do valor desses atributos em diversas imagens, constatou-se que existem relações entre eles. A granularidade definida para a textura foi estabelecida em relação ao objeto de análise, ou seja, plantas invasoras que foram selecionadas como classes presente na imagem classificada.

As imagens foram adquiridas em um campo experimental com 38 ha. de área da Embrapa Milho e Sorgo (Rodovia MG 424 km 45 - Sete Lagoas, MG, Brasil), dividido em 41 parcelas espaçadas de 100,0×100,0m e com área de 12m² (4,0×3,0m). Para a aquisição das imagens foi utilizada uma câmera digital da marca Canon, modelo PowerShot Pro 1, com 180 *pixels*/polegadas de resolução, a qual apresenta tamanho de imagens de 600x600 *pixels* no espectro visível e um quadro de madeira medindo 0,5×0,5m como elemento de escala para a caracterização de dimensões das plantas e quadro de captação.

O sistema para auxílio à decisão foi desenvolvido em plataforma Builder C++ 5.0 da Borland, sendo executado em um processador *Intel Core P8600* 3,50 GHz, 4,0 GB de memória RAM e sistema operacional *Windows 8*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta a informação de borda obtida para folhas largas com operador laplaciano, as bordas dilatadas com algoritmo para dilatação para o fechamento dos objetos convexos da imagem, a imagem limiarizada obtida no pré-processamento e a nova imagem limiarizada, retirando a informação das bordas dilatadas da imagem limiarizada original.

Neste contexto a textura das imagens analisadas foi obtida tomando o uso dos momentos estatísticos do histograma de intensidade de toda a imagem por estudo ou região. O momento $\rho_r(z)$ em torno da média pode ser formalizado como:

$$\rho_r(z) = \sum_{i=0}^{L-1} (z_i - \beta)^r p(z_i) \quad (1)$$

onde:

z é uma variável aleatória que denota intensidade;

$p(z_i)$ é o histograma correspondente a z , $i = 0, 1, 2 \dots L - 1$, onde L é o número de níveis distinto de intensidades;

β é o valor médio de z (intensidade média).

O segundo momento estatístico, fornece uma medida de contraste de intensidade, usado para determinar a suavidade relativa. As medidas calculadas apenas pelo histograma não possuem informações sobre as posições relativas entre pixels, sendo que para descrever uma textura de forma adequada é importante considerar tanto as intensidades quanto a distribuição espacial dos pixels, por isso é importante incorporar a análises de textura não apenas a distribuição de intensidades, mas também as posições relativas dos pixels contidos na imagem digital sob análise.

Uma imagem de textura é normalmente dividida em pequenos quadros de sub-imagem não sobrepostos, se o tamanho da sub-imagem for $M \times M$. A escala de cinza de seus pixels pode

ser interpretada como um vetor de dimensão M^2 e a imagem representada por um conjunto de vetores. Aplicando a transformada de Fourier, Hadamard, ou outra transformação discreta de imagem nesses vetores, são obtidas novas coordenadas em relação à frequência espacial da imagem original, que podem ser usadas para a sua descrição (ROSENFELD, 1976).

As ocorrências de níveis configurações de níveis de cinza podem ser descritas por matrizes de frequências relativas, chamadas de matrizes de co-ocorrência, apresentando quão frequente é o aparecimento de dois pixels com determinados tons de cinza com uma determinada distancia e direção angular.

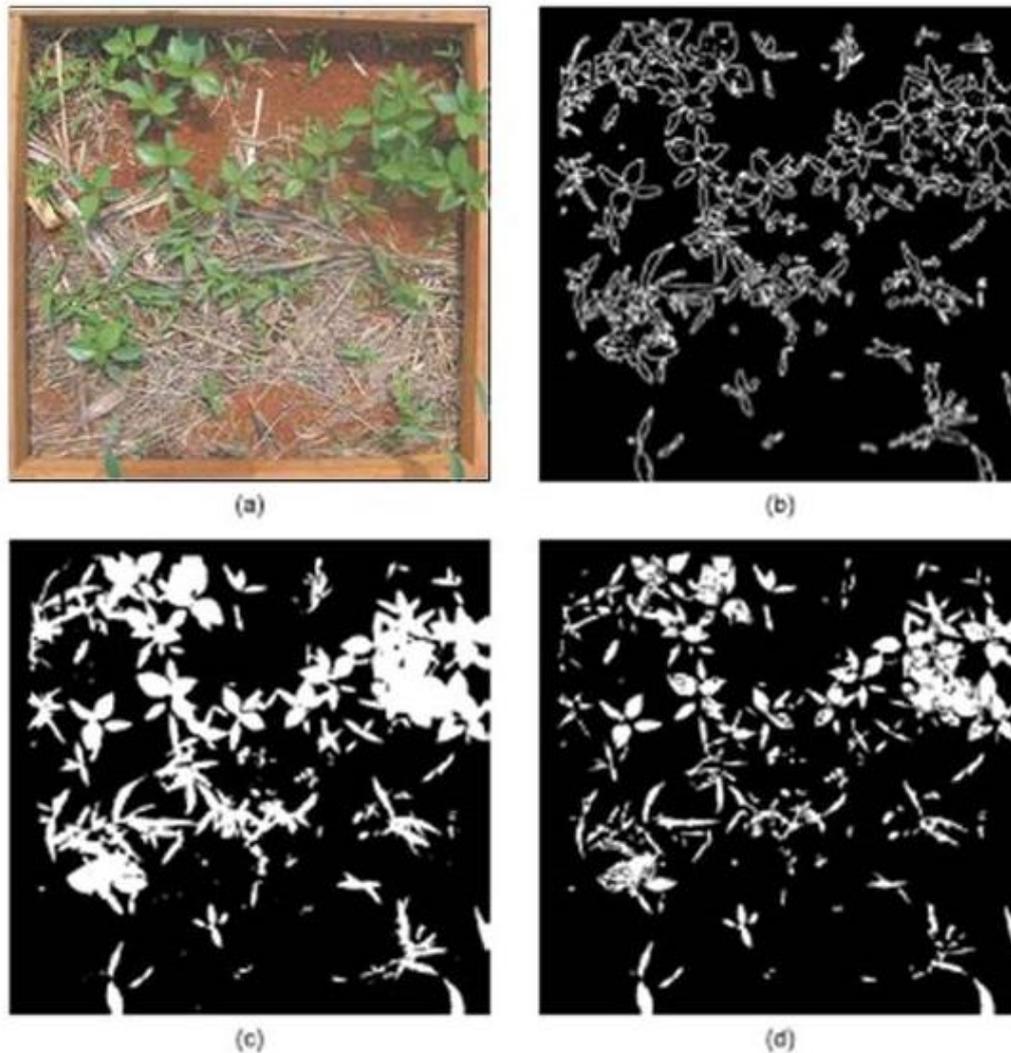


FIGURA 3. Imagens do processo de visualização das regiões das folhas largas da planta invasora Leiteira (*Euphorbia heterophylla* L.): (a) imagem obtida com visão de máquina no campo; (b) imagem das bordas dilatadas, com máscara 3×3 , e erodidas, com máscara 2×2 , em seguida; (c) imagem limiarizada para ilustrar as regiões das folhas presentes na imagem; (d) imagem resultante da subtração das bordas, letra b, da imagem das regiões, letra c.

O uso de pré-processamento auxiliou na eliminação das informações de fundo (palha e solo) das imagens obtidas em experimentos de campo. Para este processamento as componentes R,

G e B (*Red, Green, Blue*) das imagens foram utilizadas. Avaliação de equivalência entre reconhecimento de folha larga considerando visão especialista e visão computacional apresentou um coeficiente de correlação igual a 0,8424 (Figura 4).

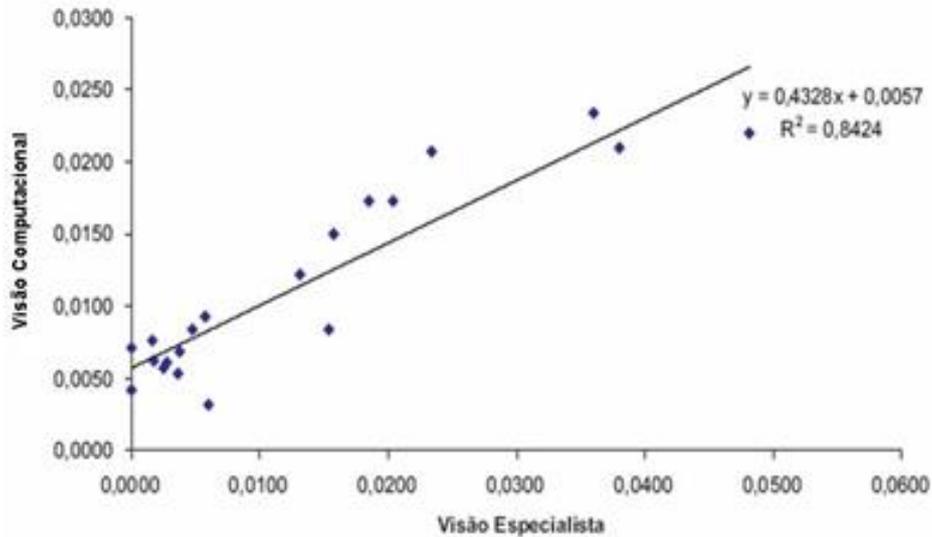


FIGURA 4. Avaliação de equivalência entre reconhecimento de folha larga considerando visão especialista e visão computacional.

Assim, após a identificação do percentual de ocupação em cada quadro ou imagem considerada foi possível organizar o mosaico geral (Figura 5), contendo os quadros analisados para a área contendo o percentual de ocupação de plantas invasoras de folhas largas.

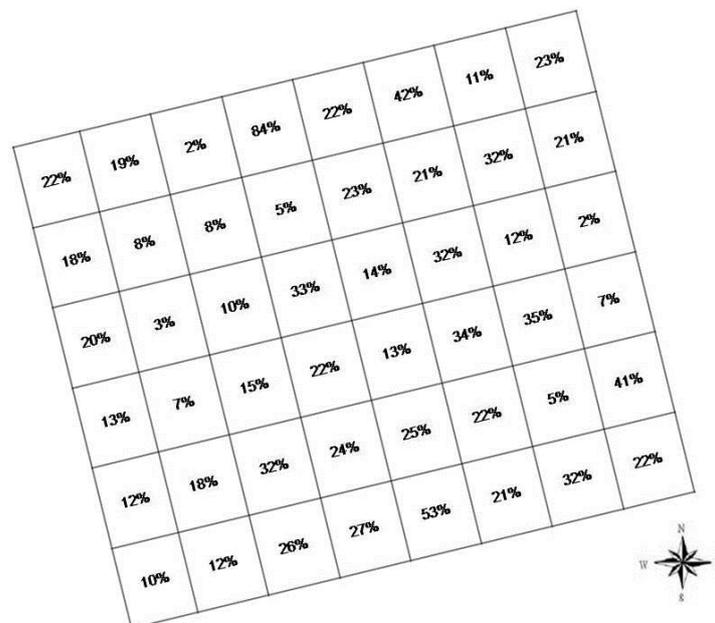


FIGURA 5. Exemplo de mapeamento da taxa de ocupação de plantas invasoras de folhas largas em uma parcela de 12m² (4 × 3 m), com sítio de informação de ocupação amostrado em uma área de 0,5 × 0,5 m.

O mapeamento para os quadros amostrados e a área de ocupação de plantas invasoras de folhas largas foi realizado com base no sistema descrito, possibilitando observar a variabilidade na ocupação e a derivação para um mapa de recomendação para aplicação de herbicida em taxa variável.

CONCLUSÕES

As infestações das plantas invasoras normalmente não ocorrem de modo uniforme nas áreas agrícolas e com o uso das técnicas do processamento de imagens sua variabilidade espacial e localização puderam ser determinadas. Desta forma, a variabilidade espacial e a densidade de plantas invasoras puderam ser associadas a mapas de infestação, os quais poderão ser utilizados como referência no controle da aplicação dos herbicidas. Os resultados mostraram uma taxa de acerto em ambiente de campo da ordem de 84% para folhas largas. A metodologia apresentada mostrou ser viável o uso das informações morfológicas da espécie de planta invasora, onde houve o relatado de um estudo de casos relacionado á planta invasora de folhas largas, Leiteira (*Euphorbia heterophylla* L.), considerando seus reconhecimentos e suas variabilidades espaciais com uso de visão de máquina para manejo baseado em modelo de decisão não supervisionado. A metodologia desenvolvida com base no uso de análise de momentos invariantes demonstrou ser possível considerar a aplicação de herbicidas em função da assinatura geométrica da planta invasora e seu percentual de área de ocupação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Embrapa no âmbito da Rede em Aplicação Aérea de Agrotóxicos como Estratégia para o Controle de Pragas Agrícolas de Interesse Nacional e da Rede em Agricultura de Precisão (em atual desenvolvimento no Macro Programa 2 e Macro Programa 1 respectivamente).

REFERÊNCIAS

- CONAB, 2013. Acompanhamento da Safra Brasileira, Companhia Nacional de Abastecimento, Décimo Primeiro Levantamento, Agosto de 2013. Disponível em http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/1308094735_boletim_portugues_agosto_2013_port.pdf. Julho de 2013.
- HARALICK, R. M. Statistical and structural approaches to texture. Proceedings of IEEE, Volume 67, N° 5, 1979.
- HARALICK, R. M., SHANMUGAM K., DINSTEN I. Textural features for image classification. Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Volume: SMC-3, N° 6, U.S.A., 1973.
- HU, M. K. Visual Pattern Recognition by Moment Invariants, IRE Transactions on Information Theory, Volume 8, N°2, 1962.
- JULESZ, B. Textons, the elements of texture perception and their Interactions. Nature - International Journal of Science, 1981.
- KARAM D.; MELHORANÇA A. L.; OLIVEIRA M. F. Plantas daninhas na cultura do Milho, Circular Técnica, Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1679-1150, 2006.
- ROSENFELD, A. Digital Picture Analysis. Springer Verlag, Berlin, 1976.

SONKA, M., HLAVAC, V., BOYLE, R. Image Processing, Analysis, and Machine Vision. Third Edition. Thomson Learning. United States of America, 1998.

USDA, 2013. Safra Mundial de Milho 2012/13 - 11º Levantamento do USDA, Elaboração: Departamento do Agronegócio - DEAGRO/FIESP, março de 2013. Disponível em http://www.fiesp.com.br/wp-content/uploads/2013/02/Informativo-Deagro-Safra-Mundial-de-Milho_03.131.pdf. Julho de 2013.

VIEIRA, R. T. Análise de micro padrões em imagens digitais baseada em números fuzzy, Universidade de São Paulo, Departamento de engenharia elétrica, São Carlos, 2013.

YAMADA, T; SPTIPP; S.R. A. Estratégias de manejo para alta produtividade do milho. POTAFOS, informações agronômicas, No. 113 Março, 2006.