

Um Sistema de Aquisição de Imagens Digitais para Mapeamento Remoto de Estresse Hídrico, Índices de Vegetação, Níveis de Nitrogênio e Produtividade de Grãos¹

Reinaldo L. Gomide², Ricardo A. L. Brito², Paulo Emílio P. de Albuquerque²,
Gisela de Avellar³, Isa M. P. Boratto⁴

¹ Pesquisa financiada pelos projetos da Embrapa 03.03.2.37.00 e da Fapemig CAG-1400/05, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, Brasil.

² Pesquisadores Seniors, Embrapa Milho e Sorgo, Rod. MG 424 km 45, Caixa Postal 151, 35701-970 Sete Lagoas, MG, E-mail: gomide@cnpmis.embrapa.br.

³ Geógrafa, M.Sc. Geoprocessamento, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

⁴ Geógrafa, bolsista Fapemig, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Palavras-Chave: Sensoriamento remoto, reflectância, geoprocessamento, evapotranspiração, milho.

A análise e o processamento de imagens têm sido usados para identificar e classificar as culturas no campo e, também, acessar a variabilidade espacial e temporal de suas biomassas, índices de vegetação, estresses hídricos de plantas e produtividade de grãos. As assinaturas espectrais das culturas apresentam complexidade de acordo com o sistema de produção e o manejo e tratos culturais usados, a idade das plantas, o espaçamento de plantio, o tipo e o teor de umidade de solo. Essa complexidade é maior principalmente nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura, quando se tem uma maior influência do solo exposto, havendo necessidade de obtenção de imagens com uma melhor resolução espacial. No Brasil, ainda é incipiente o uso de sensoriamento remoto (SR), a partir de aeromodelos, aeronaves e satélites orbitais, para estabelecer estratégias de intervenção e manejo de áreas de produção agrícola. Assim, o manejo tradicional, com ineficiente tratamento de variabilidade de fatores que afetam a produção (fertilidade, conteúdo de umidade do solo, distribuição de água de chuva, aplicação de água de irrigação, etc.), pelas médias de toda extensão das áreas de produção, pode dar lugar a estratégias econômicas e ecologicamente mais eficientes, ou seja, o tratamento de zonas diferenciadas de manejo. Com isto, busca-se uma otimização de eficiência de uso de água e insumos agrícolas, com foco tanto na quantidade como qualidade dos produtos agrícolas.

Várias investigações salientam o grande potencial de aplicação de dados de sensoriamento remoto para gerenciar e auxiliar no processo de intervenção do manejo “sítio específico” de culturas e solo (ASNER, 1998; DIKER et al., 2001; ERICKSON et al., 2000; GOMIDE et al., 2003; GOPALAPILLAI & TIAN, 1999). Imagens têm sido usadas para detectar anomalias de culturas em campo; porém, apenas a detecção de anomalias não é suficiente para fornecer recomendações quantitativas que possam ser aplicadas diretamente ao sistema de produção. Estas imagens devem ser calibradas, classificadas e convertidas a unidades quantitativas (valores) com significado físico (como, temperatura, nível de nitrogênio, déficit hídrico ou rendimento de cultura) e integradas a modelos de crescimento de cultura. Isto significa que os dados espectrais devem ser antes calibrados para permitir estabelecer relações quantitativas consistentes entre as medições remotas e as condições da cultura.

O objetivo principal deste trabalho foi o desenvolvimento de um sistema modular de aquisição de imagens, com uma câmera multiespectral digital de alta resolução, para caracterização e mapeamento remoto de estresse hídrico, índices de vegetação, níveis de nitrogênio e produtividade de grãos em cultura de milho. A câmera digital utilizada cobre as bandas espectrais do visível (RGB) e infravermelho colorido (CIR).

Um ensaio foi instalado na Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, em área de coordenadas 19°27'17" de latitude Sul, 44°10'22" de longitude Oeste e 731 m de altitude, com três regimes hídricos, diferenciados a partir da determinação da necessidade hídrica da cultura do milho por meio da equação modificada de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998), utilizando-se os dados climáticos adquiridos de uma estação agrometeorológica automática, instalada próxima ao local. O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico argiloso. As características físico-hídricas e químicas do solo foram determinadas no laboratório de física e química de solos da Embrapa Milho e Sorgo. A melhor recomendação de sistema de produção de milho foi usada e a adubação de plantio foi realizada com base na análise de fertilidade do solo. O plantio de milho, híbrido simples (CMS 101112), foi realizado em 7/06/2005, para possibilitar induzir o estresse hídrico no campo (período sem chuva), com um espaçamento de 0,7 m entre fileiras de plantio e 6 sementes distribuídas por metro. Após o plantio e no início do crescimento e desenvolvimento da cultura, toda a área experimental recebeu um tratamento uniforme com relação à irrigação e tratos culturais para assegurar uma boa germinação e formação de estande. O delineamento experimental usado foi o blocos ao acaso, com 4 repetições e 7 tratamentos, constituídos por 3 níveis de água e 4 níveis de N. As dimensões de cada bloco e parcelas foram de 66 m x 88 m e 20 m x 40 m, respectivamente. A diferenciação dos tratamentos de água foi iniciada aos 38 dias após o plantio (DAP), no estágio de crescimento V6. Os níveis de água foram produzidos por meio de aplicação de lâminas diferenciadas de irrigação, com base nos seguintes percentuais de reposição da ETc: 100 % (sem estresse), 70 % (estresse intermediário) e 40 % (estresse severo). Os níveis de N foram obtidos com a aplicação das seguintes dosagens (em kg/ha): 180, 120, 60 e residual. Uma faixa de 2,25 m de largura foi deixada sem plantio entre os blocos, para a tomada de imagens.

O sistema modular de aquisição de imagens foi constituído de uma câmera multiespectral digital, de alta resolução, (Duncantech, modelo MS 3100), uma placa de aquisição de vídeo (National Instruments, modelo NI PCI 1424), um microcomputador, um DGPS (Trimble, modelo AG 114) e um braço de sustentação da câmera (tubo de alumínio de 25,4 mm de diâmetro) com dispositivo de ajuste do ângulo de visada da lente da câmera, que foi acoplado a uma estrutura de metal e ambos presos a uma camionete "pick-up" (Figura 1). O braço foi ajustado para assegurar que a câmera operasse a 2,60 m acima do dossel da cultura. A câmera usada tem um dispositivo 3 CCD's ("Charged Couple Device"), que permitiu a aquisição de imagens simultaneamente nas bandas do RGB e CIR (falsa-cor).

As imagens digitais foram adquiridas em diferentes fases do ciclo fenológico do milho. O software ERDAS Imagine, versão 8.7 (LEICA GEOSYSTEMS, 2003) foi utilizado no processamento das imagens. Inicialmente foram utilizados os padrões de reconhecimento do ERDAS para a detecção de anomalia e identificação de objetos nas imagens, antes da etapa de classificação, segmentação e reconhecimento das características a serem estudadas nas mesmas. Em seguida, foram utilizados os passos para o processamento das reflectâncias das imagens do dossel de culturas nas diferentes bandas do RGB e CIR, com base nos segmentos de classificação e de análise espectral do ERDAS, de onde foram calibradas, extraídas e estabelecidas as diferentes classes, de acordo com os tratamentos estudados, isto é, estresse hídrico e níveis de nitrogênio. O método de classificação não supervisionada ou automática foi utilizado, estabelecendo-se cinco classes e baseando-se no princípio de agrupamento estatístico para seleção dos grupos ou classes, com a opção de automatizar a busca dos grupos de pixels espectralmente homogêneos, com alto grau de uniformidade, e assumir que estes grupos correspondem às classes de interesse.

A divisão do espaço multiespectral da imagem foi efetuada usando técnicas de agrupamento estatístico, com definição prévia do critério de similaridade espectral das bandas, baseando-se na distância mínima euclidiana, visto que "a priori" não é conhecida a

distribuição estatística de cada classe. Assim sendo, um pixel foi classificado dentro da classe mais próxima segundo a distância euclidiana espectral. Essa tarefa foi realizada pela classificação não supervisionada do ERDAS Imagine (LEICA GEOSYSTEMS, 2003), utilizando o método iterativo ISODATA, onde as classes foram definidas por seu vetor de médias e os pixels classificados de acordo com o critério de distância mínima, após o máximo de oito interações (DUDA e HART, 1973).



Figura 1. Sistema modular de aquisição de imagem de superfície constituído de uma câmera digital, um microcomputador, um DGPS e um braço de sustentação da câmera acoplado a uma estrutura presa a uma camionete ranger.

Uma vez realizada a classificação não supervisionada, a próxima etapa foi melhorar e realçar a aparência da vegetação nas imagens, para se poder extrair informações, utilizando-se o método do “Índice de Diferença de Vegetação Normalizado” (NDVI), que é definido como sendo a relação entre as bandas do NIR e R, conforme a seguinte equação: $NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$. A determinação do NDVI possibilitou detectar áreas onde houve alterações de vegetação, constituindo-se num bom indicador da presença de cobertura vegetal. Os valores do NDVI podem variar na faixa de -1 a 1. Após a obtenção do NDVI, as imagens foram divididas em dois grupos com base no estágio de desenvolvimento, um composto por plantas com 55 dias após o plantio (DAP) e outro com plantas com 106 DAP. No total foram selecionadas 24 imagens representativas, referentes aos tratamentos estudados. As imagens selecionadas foram transferidas para o software ArcGIS Desktop, que foi usado para criar, importar, editar, buscar, mapear, analisar e publicar informações de geoprocessamento relativas ao estudo.

A imagem digital é uma matriz, na qual se encontram armazenados valores relativos da reflectância integrada e/ou acumulada das correspondentes porções do dossel da cultura, do solo exposto, de plantas daninhas e resto de palhada de outras culturas (se for o caso). A variação desses valores de reflectância depende das características espectrais desses objetos. A classificação digital da imagem consiste em separar grupos de pixels em classes com características espectrais similares, segundo as leituras de reflectância em cada banda espectral. Os produtos dessa classificação são mapas temáticos. Uma análise geral das imagens adquiridas no estudo indicou que a vegetação absorveu fortemente energia nas regiões do azul (B) e do vermelho (R), pelo que a reflectância foi muito baixa nestas bandas. Na região do verde (G), a reflectância foi um pouco maior, tornando-se intensa na banda do NIR.

A Figura 2 mostra as imagens do milho não processadas, adquiridas nas bandas RGB e CIR do tratamento sem estresse hídrico e 120 kg/ha de N, no florescimento, aos 106 (23/09/2005) dias após o plantio.

Os resultados do processamento e análise de duas imagens do milho adquiridas na banda do espectro CIR no tratamento sem estresse hídrico (100 % de reposição da ETc) e 120 kg/ha de N (bloco 2) em 29/07/2005 e 23/09/2005, correspondentes aos 52 e 106 DAP encontram-se na Figura 3, para uma separação de pixels em cinco classes, cada uma com grupos de pixels espectralmente homogêneos e com alto grau de uniformidade, utilizando-se o método iterativo ISODATA de classificação não supervisionada. Os resultados mostram o grande potencial dessa metodologia de separação de diferentes classes espectrais das folhas das plantas do solo exposto, sombra e pendão, com base na reflectância. Mesmo as folhas apresentaram variação de classes (folhagens 1, 2 e 3) por causa de suas posições e ângulos de inclinação no dossel da vegetação. Os resultados das análises de variação das características espectrais das classes relativas às folhagens da cultura, ainda estão sendo processados para estabelecer e definir os padrões de detecção de estresse hídrico e níveis de nitrogênio (N) no milho irrigado.



Figura 2. Imagens do milho não processadas adquiridas nas bandas do espectro visível- RGB (esquerda) e falsa cor- CIR (direita) do tratamento sem estresse hídrico e 120 kg/ha de N, aos 106 (23/09/2005) dias após o plantio (florescimento).

Dos resultados obtidos, pode-se observar que a metodologia de tratamentos de imagens é promissora no monitoramento de áreas visando o correto manejo da água e da adubação nitrogenada. Estudos estão sendo realizados para estabelecer correlações entre quantidades de energia refletidas do dossel da cultura, nas bandas RGB e CIR, e níveis de estresse hídrico, índices de vegetação, níveis de nitrogênio, eficiência de uso de luz, percentagem de cobertura do solo/índice de área foliar.

O sistema modular de aquisição de imagens, com uma câmera multiespectral digital, de alta resolução, nas bandas RGB e CIR, possibilitou o monitoramento remoto de variabilidade espaço-temporal de estresse hídrico, índices de vegetação e níveis de nitrogênio da cultura do milho. Isto é uma ferramenta de grande valia para um melhor entendimento dos fatores de produção água e nitrogênio, permitindo um melhor controle e acompanhamento de suas variabilidades nas áreas de produção e uma exploração e utilização mais racional destes recursos, com otimização e melhoria de eficiência de uso destes parâmetros, por meio de geração de mapas diagnósticos, no espaço e em tempo real de uso, e com possibilidade de intervenção simultânea.

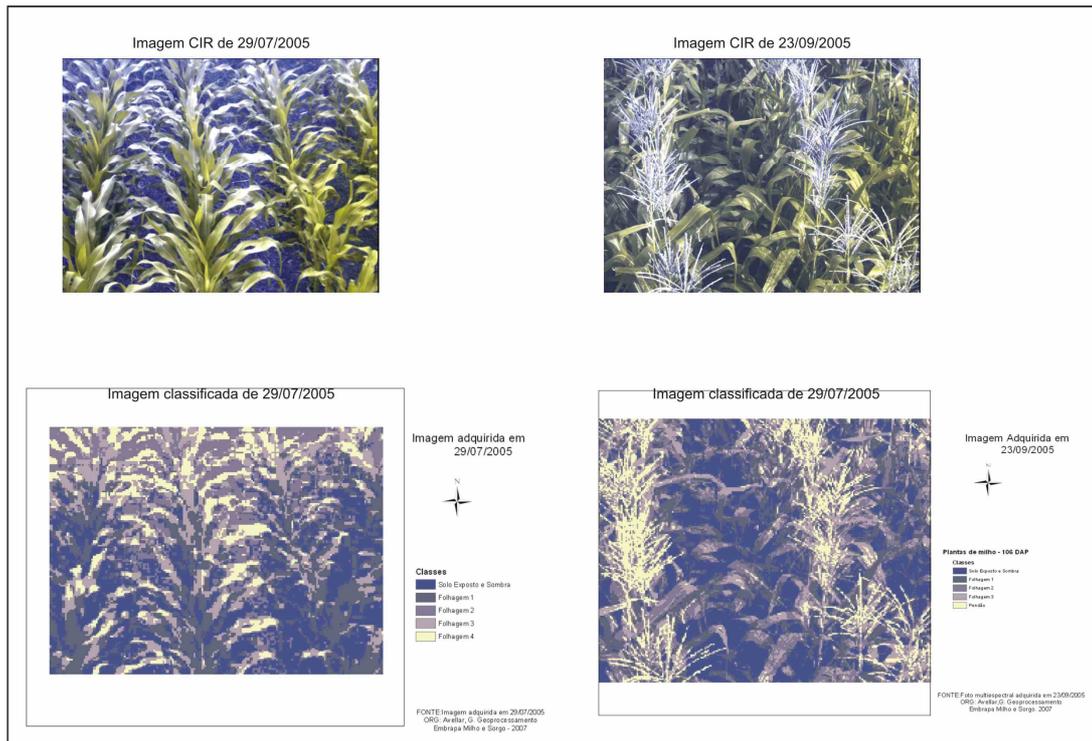


Figura 3. Imagens do milho adquiridas na banda do espectro CIR e imagens classificadas em cinco classes do tratamento sem estresse hídrico e 120 kg/ha de N, aos 52 (29/07/2005) e 106 (23/09/2005) DAP.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and drainage paper, 56).

ASNER, G. P. Biophysical and biochemical sources of variability in canopy reflectance. *Remote Sensing of Environment*, v.64, p. 234-253. 1998.

DIKER, K.; BAUSCH, W. C.; HEERMANN, D. F. Monitoring temporal changes of irrigated corn by aerial images. St. Joseph, MI, 2001. ASAE Paper No. 01-1144.

DUDA, R. D.; HART, P. E. **Pattern classification and scene analysis**. John Wiley and Sons, New York, 1973.

ERICKSON, B.J.; JOHANNSEN, C.J.; VORST, J.J. Using remote sensing to detect stand loss and defoliation in maize. *Proceedings of the Fifth International Conference on Precision Agriculture*. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, 2000.

GOMIDE, R.L.; TIAN, L.; PINTO, F.A.C. Thermal and color near-infrared spectral remotely sensed scanners to detect in-field soybean and corn water stress variability. ASAE, St. Joseph, MI, 12 pp. 2003. ASAE Paper No. 03-3127.

GOPALAPILLAI, S.; L.F. TIAN. In-field variability detection and yield prediction in corn using digital aerial imaging. *Transaction of the ASAE* 42(6): 1911-1920, 1999.

LEICA GEOSYSTEMS, GIS & Mapping, LLC. **ERDAS Imagine Professional software manual**. Version 8.7, Atlanta, Georgia. 2003. pp. 128.