

AGRICULTURA DE PRECISÃO E MEIO AMBIENTE

ARIOVALDO LUCHIARI JUNIOR ¹

ADERALDO DE SOUZA SILVA ¹

LUIZ CARLOS HERMES ¹

JOSÉ RUY PORTO DE CARVALHO ²

JOHN SHANAHAN ³

JAMES SCHEPERS ³

¹EMBRAPA MEIO AMBIENTE

Caixa Postal 69 – 13820-000 – Jaguariúna – SP, Brasil

{luchiari, aderaldo, hermes@cnpma.embrapa.br}

²EMBRAPA INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA

Caixa Postal 6041 – 13083-886 – Campinas – SP, Brasil

jruy@cnptia.embrapa.br

³USDA/ARS/SWCRU

119 KEIM HALL – 68583 – Lincoln – Nebraska - EUA

{jshanahan1, jschepers1@unl.edu}

Resumo. Os recentes desenvolvimentos e adoção dos conceitos para práticas de manejo em sítios específicos ou agricultura de precisão, por conceber o uso mais racional de insumos, a possibilidade de preservar e rastrear a identidade dos produtos agrícolas tem mostrado possibilidades reais de ganhos econômicos e benefícios ambientais. Como muito tem sido relatado em relação ao manejo de insumos e seus efeitos na produtividade das culturas e índices econômicos, o propósito maior desta apresentação é o de relatar a evolução das ações de pesquisa e desenvolvimento em manejo de nitrogênio em culturas anuais realizadas no ARS-EMBRAPA-LABEX para mitigar e recuperar a qualidade das águas subterrâneas e superficiais com teores de nitrato acima dos níveis recomendados de potabilidade. Também serão apresentados os resultados obtidos pela aplicação do conceito de zonas homogêneas e de procedimentos de análise geoespaciais para delinear áreas para o manejo mais eficiente de insumos em sítios e para orientar o desenvolvimento de práticas de manejo mitigadoras de possíveis riscos ambientais em fruticultura irrigada no nordeste brasileiro.

Palavras-chave: agricultura de precisão, sensoriamento remoto, sensores, manejo de água, manejo de nutrientes, zonas de manejo.

1. Uso e manejo de Nitrogênio e qualidade da água no cinturão de milho dos Estados Unidos

Os produtores agrícolas da Região do Cinturão do Milho dos Estados Unidos aplicam anualmente quantidades significativas de fertilizantes nitrogenados para obter os altos índices de produtividade tipicamente alcançados na região. Predominantemente, a aplicação do fertilizante nitrogenado é feita nas formas líquida ou gasosa, em dosagens uniformes aplicadas em pré-plantio e/ou cobertura nos estádios iniciais do desenvolvimento da cultura devido ao tempo e custos envolvidos nesta prática de manejo. Entretanto, devido à variabilidade espacial que naturalmente ocorre nos solos da região, nem todas as áreas do terreno requerem as mesmas quantidades deste elemento, resultando em algumas áreas que recebem nitrogênio em níveis acima e outras áreas abaixo dos requeridos para a cultura, levando a reduções na Eficiência de Uso Agronômico do N (EUAN) e também em perdas do elemento para a atmosfera ou para fora da zona de absorção radicular. Raun & Johnson (1999) estimam a EUAN mundial para os sistemas de produção de cereais em 33%, sendo que a resultante perda de 67% representa um prejuízo anual de US\$ 15.9 bilhões, quando convertida em custo dos fertilizantes. Adicionalmente, as perdas de N resultam em contaminação ambiental pelo nitrato perdido por erosão ou por lixiviação, tornando-o o agente mais comum de contaminação das águas superficiais e subterrâneas do Cinturão de Milho (Cast, 1999). No Estado de Nebraska, estudos mostram que, em algumas áreas, as águas do Rio Platte e do Aquífero Ogallala têm apresentado níveis de nitrato acima dos limites de potabilidade (10 ppm) estabelecido pela Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA).

O principal fator que contribui para o decréscimo da EUAN e para a contaminação ambiental por nitrato é a tradicional prática de manejo de se aplicar grandes quantidades do fertilizante nitrogenado em pré-plantio, normalmente no outono, ou seja, numa época anterior ao período no qual a cultura possa utilizar este elemento de forma efetiva. O fertilizante nitrogenado fica armazenado no solo por longo período de tempo (5-6 meses) e o solo passa por fases de congelamento no inverno e de descongelamento na primavera, colocando o nitrogênio nele armazenado numa condição de alto risco de contaminação ao ambiente (Raun & Johnson, 1999). Esses autores ainda mostram que os resultados obtidos em pesquisas prévias indicam que a

EUAN pode ser muito aumentada, desde que a aplicação em pré-plantio seja minimizada ou mesmo eliminada e que seja dada maior ênfase à aplicação parcelada do elemento em cobertura em quantidades requeridas nos diferentes estádios de crescimento do milho. Tais fatos levaram os pesquisadores da Unidade de Conservação de Solo e Água do Serviço de Pesquisa Agrícola do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA-ARS-SWCRU) a adotarem estratégias de manejo baseadas no uso de informações da planta e do solo para manejo de N focalizado no incremento dos índices de produtividade da cultura e na recuperação da qualidade das águas contaminadas por nitratos.

2. Estratégias baseadas na planta

2.1. Medidas do teor de clorofila

Trabalhos prévios de Blackmer & Schepers (1994), Blackmer et al. (1993) e Blackmer & Schepers (1995), usando o medidor de clorofila Minolta SPAD 502 (**Figura 1**) para monitorar no tempo e no espaço o status de N nas folhas do milho e fazer as aplicações de N conforme requerido em função dos teores presentes no dossel vegetativo e estágio de desenvolvimento, mostraram que a aplicação de N baseada neste método apresentava um avanço sobre o método tradicional baseado em medidas do conteúdo de N no solo. Estes trabalhos mostraram outros fatos que contribuiriam para o aumento da EAUN, como por exemplo, que uma vez detectado o nível de estresse pelo medidor de clorofila e imediatamente aplicando o N em taxas variadas por fertirrigação, índices equivalentes de produtividade poderiam ser obtidos com quantidades menores de nitrogênio do que os requeridos pela análise de solo. Estresses de N e queda dos índices de produtividade das parcelas experimentais foram obtidos sempre que as leituras do conteúdo de clorofila estavam abaixo do valor de 95% das leituras obtidas em faixas de referência que obtiveram níveis adequados ou em excesso de N no plantio. Os autores sugeriram a denominação de “índice de suficiência” para o valor de 95% e que este parâmetro seria razoável para determinar o momento e a quantidade de N a ser aplicado em plantas deficientes deste elemento. Subseqüentemente, Varvel et al. (1997) confirmaram estes fatos num estudo feito em parcelas experimentais no qual o N era aplicado quantas vezes fosse requerido em função dos valores medidos entre os estádios V8 (crescimento vegetativo) e R2 (reprodutivo-embonecamento). Outros fatos demonstrados por estes autores foram: 1) o medidor de clorofila mostrou ser um instrumento adequado para ser usado em estudos experimentais que visem

monitorar e manter os teores adequados de N requerido pela cultura do milho, e 2) as quantidades de N aplicadas usando-se este procedimento foram menores do que as requeridas utilizando-se a aplicação em pré-plantio. Estes fatos mostram ser realística a possibilidade de se minimizar ou reduzir a aplicação uniforme de N em pré-plantio e de se partir para uma abordagem mais reativa, com estudos realizados em áreas de produção, envolvendo a avaliação e monitoramento dos teores e aplicação parcelada do N requerido em quantas vezes que forem necessárias para atingir níveis produtivos satisfatórios (Schepers et al., 1992; Raun & Johnson, 1999). Esta abordagem deveria reduzir as perdas potenciais de N para o ambiente e ao mesmo tempo reduziria as preocupações dos produtores em relação ao momento de aplicação de N dividido às constantes mudanças das condições climáticas predominantes no meio-oeste americano. Entretanto, enquanto as pesquisas em parcelas experimentais produziram resultados favoráveis e animadores em relação ao manejo de N, a extrapolação destes conceitos para uma escala maior, como um campo de produção irrigado por pivô central, revelou as dificuldades em se coletar dados com o medidor de clorofila e em quantidades suficientes para caracterizar as variabilidades espacial e temporal presentes no campo cultivado (Schepers et al., 1992). Estes fatos evidenciaram claramente a necessidade de tecnologias que possibilitassem a mesma qualidade e precisão das medidas obtidas com o medidor de clorofila, mas numa área maior (produção comercial).

2.2. Uso de sensores remotos

Diante destas circunstâncias o sensoriamento remoto – processo de se obter informações de objetos alvos de plataformas remotas como sensores de terra, i.e., montados em tratores ou outros veículos; aeroplanos, ou satélites – é uma opção para se avaliar o status de N num campo cultivado (Moran et al., 1997; National Research Council, 1997) visto que esta técnica já havia sido empregada por outros cientistas para caracterizar a variabilidade espacial de áreas cultivadas (Bhatti et al., 1991; Atkinson et al., 1992). Ademais, havia evidências suficientes suportando a meta de longo prazo desta linha de pesquisa, que está direcionada para o desenvolvimento de formas práticas para a determinação do conteúdo de clorofila.

Plantas com elevados níveis de N tipicamente possuem elevados níveis de clorofila (Inada, 1965; Al-Abbas et al., 1974; Wolfe et al., 1988) e altas taxas de fotossíntese (Sinclair e Horie, 1989). A clorofila presente nas folhas de plantas cultivadas apresenta dois picos de absorção: um

no azul (ao redor de 450 nm) e outro no vermelho (ao redor de 670 nm) , e um de reflexão no verde (ao redor de 550 nm) do espectro de radiação solar. O medidor de clorofila Minolta SPAD 502* mede a luz transmitida no vermelho (650 nm) e no infra vermelho próximo (940nm) do espectro de luz para estimar o conteúdo de clorofila da folha (Blackmer et al., 1994). A relação positiva entre os níveis de verde e o conteúdo de N nas folhas indica ser possível acessar o status de N através de medidas remotas da reflectância do dossel vegetativo (Walburg et al.,1982; Hinzman et al., 1986; Dwyer et al., 1991) ou de folhas (McMurtrey et al., 1994).

Entretanto, existem ainda dificuldades técnicas em relação ao uso de imagens aéreas obtidas por satélites ou avião para acessar o status de N, particularmente em condições de cobertura incompleta do solo pela cultura. Por exemplo, Shanahan et al. (2001) periodicamente coletaram imagens aéreas, durante a maior parte do ciclo da cultura do milho, utilizando um sistema de câmeras digitais que possibilitava a leitura em quatro bandas: azul, verde, vermelho e infravermelho. A partir dos dados de reflectância obtidos nas bandas verde e infra-vermelho foi construído um índice de vegetação de diferença normalizada na faixa do verde (GNDVI- Green Normalized Difference Vegetation Index) que se mostrou muito robusto para acessar a variabilidade do conteúdo de N no dossel vegetativo antes e depois do pendoamento. Outros pesquisadores tentaram remover o efeito do solo utilizando manipulações matemáticas dos dados obtidos em diferentes faixas do espectro e construíram novos índices, e. g., índice de vegetação ajustado do solo (SAVI), mas com um sucesso limitado (Huete, 1988; Rondeaux et. al., 1996; Baret et al., 1998). De tudo isso, pode-se concluir que o uso de imagens aéreas para avaliar a distribuição espacial de N em culturas comerciais tem um potencial limitado em condições de cobertura incompleta do solo, mas se mostra promissor para uso em condições de cobertura completa do solo.

Considerando os problemas técnicos e operacionais envolvidos com a foto aérea, como qualidade, resolução, custo e tempo de processamento da imagem e a confiabilidade em se obter o produto a tempo hábil de se tomar decisões de manejo, (Blackmer et al., 1995; Francis et al. 2000; Luchiari et al. 1999, 2000, 2001, 2002) mostram que o uso de sensores para medidas em tempo real do conteúdo de N é uma alternativa promissora. Outra vantagem importante do uso de sensores de tempo real sobre as imagens aéreas, é a de que o sensor pode ser posicionado de forma a minimizar o efeito de exposição do solo. Tais fatos encorajaram o grupo a desenvolver

* A citação dos produtos não implica em nenhuma finalidade comercial, nem pela Embrapa e nem pelo USDA/ARS.

sensores simples, para uso em plantações comerciais, para sensoriar remotamente o status de N e ao mesmo tempo aplicar localizadamente o fertilizante nitrogenado para suprir as quantidades de N requeridas pela cultura.

Dados coletados com estes sensores durante a estação de crescimento de 2000, em parcelas experimentais, foram animadores. Resultados de reflectância mostram que o comprimento de onda na faixa de 550 nm (verde) foi o mais sensível para acessar variações no conteúdo de clorofila das folhas, que por sua vez é associado ao conteúdo de N. E, ademais, que as leituras obtidas com os sensores foram altamente correlacionadas com medidas de clorofila efetuadas nas plantas. Tais fatos indicam que o sensor, por detectar variações no conteúdo de clorofila, é também capaz de detectar variações de N, quando as leituras do sensor, expressas como índice de vegetação, tiveram uma alta correlação ($r^2=0.89$) com as medidas dos teores de clorofila na folha. Para testar estas premissas numa escala maior, num campo cultivado com milho, e também para avaliar suas capacidades de mapeamento os sensores foram montados num trator de rodado alto equipado com GPS para medidas em tempo real e georeferenciadas.

A **Figura 1** mostra as capacidades dos sensores em detectar e mapear variações no conteúdo de N, indicando que os mesmos poderiam ser utilizados para o mapeamento de deficiências e subsequentemente no direcionamento da aplicação localizada do fertilizante nitrogenado numa só operação. A principal vantagem do uso destes sensores é de que os mesmos foram desenvolvidos para trabalharem sob condições de nebulosidade, associado ao fato de que mostraram ser robustos para o uso em operações de campo. Entretanto, esforços de pesquisa ainda estão em andamento para o desenvolvimento de algoritmos que traduzam as leituras desses sensores em decisões práticas de manejo para a aplicação localizada e em tempo real de N.

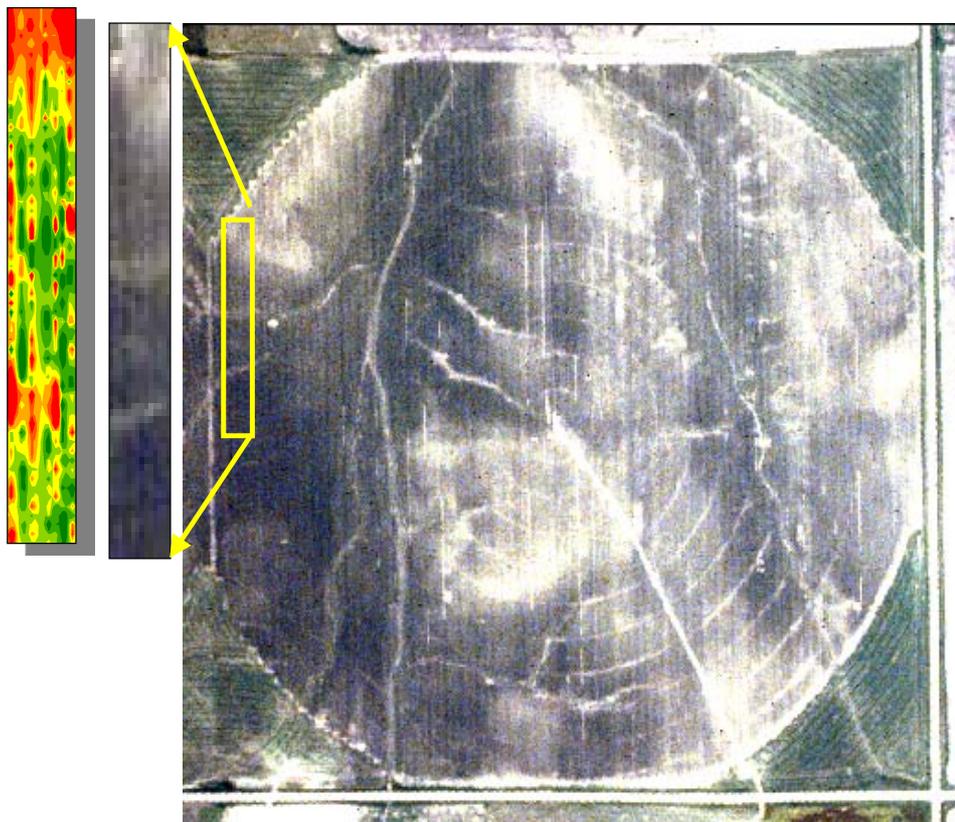


Figura 1. Leituras georeferenciadas do sensor de clorofila numa área de produção comercial de milho (verde altos, amarelo médios e verde baixos teores).

3. Zonas homogêneas de manejo

Outra abordagem para se avaliar a necessidade de se manejar insumos é baseada no solo. A prática da agricultura de precisão foi primeiramente iniciada com o propósito de manejo de nutrientes, fundamentado unicamente num esquema de amostragem de solo em malha. Como este era um procedimento que teve muitos resultados de sucesso quando utilizado em parcelas experimentais, avaliou-se que o mesmo seria muito promissor também em grandes áreas. Acreditava-se que este procedimento seria capaz de identificar todas as causas das variabilidades dos rendimentos de um campo cultivado. Uma malha de 1 ha por amostra foi definida para a maioria das aplicações e a partir dessas amostragens os mapas de fertilidade e de recomendações eram construídos. Entretanto, a maioria dos agricultores ficou desapontada, porque a variabilidade nos rendimentos de seus campos de produção não desapareceu (Schepers et al., 2000). Estudos geostatísticos a esse respeito, mostraram que os mapas resultantes apresentavam distorções devido ao local de coleta da amostra (centro ou intersecção da malha) e ao tamanho da

malha de amostragem (Schepers et al., 2000) do que devido ao método de interpolação empregado, kriging ou potência do inverso da distância (Varvel et al., 1999). Adicionalmente, outro problema que emergiu foi referente aos custos envolvidos nos esquemas das amostragens e das análises de solo e que começou a ser questionado pelos agricultores, quanto à sua viabilidade prática e econômica. Destes questionamentos novas direções começaram a ser buscadas. Varvel et al. (1999), mostraram que a imagem aérea de um solo nu apresentava um mesmo padrão de distribuição de matéria orgânica e de nutrientes do que os mapas resultantes de um esquema intensivo de amostragem em malha fina. A partir deste estudo, um grande número de produtores e provedores de serviço, começaram a considerar o uso de imagem aérea para orientar os locais de amostragens e diminuir custos de coletas e análises (Schepers et al., 2001). Novas abordagens, como zonas homogêneas de manejo (Doeger, 1999) mostraram-se promissoras para indicar os locais nos quais as amostragens deveriam ser feitas. Luchiari Jr. et al. (2000) conceituam zonas de manejo como sendo áreas do terreno de iguais produção potencial, eficiência do uso de insumos e risco de impacto ambiental.

3.1. Aplicação do conceito de zonas de manejo nos EUA.

Luchiari et al. (2000) e Shanahan et al. (2000) utilizaram mapas de colheita, mapas de condutividade elétrica do solo, mapas de classificação de solos, imagens do solo e de plantas para delinear zonas homogêneas de manejo e para direcionar as amostragens de solo em duas situações: em Nebraska, para o manejo de N e no Colorado, para analisar o efeito de diferentes densidades de plantio em função das características do terreno e seus efeitos nos rendimentos do milho. Aqui serão apresentados os procedimentos utilizados em Nebraska.

Uma foto aérea da área de estudo foi tirada na primavera de 1999, quando o solo estava descoberto. Uma câmara fotográfica equipada com um filme colorido de 35mm (Kodak Ektachrome^{*}) foi montada numa aeronave e quando esta atingiu a altitude aproximada de 2130 m a foto foi tirada. Antes da aquisição da imagem, cinco alvos (placas de madeira de 1.2 x 2.4m, pintadas de branco) foram colocados no centro e no perímetro da área. As coordenadas geográficas destes alvos foram obtidas com um GPS diferencial e usadas para o georeferenciamento da imagem. Uma versão impressa da imagem georeferenciada foi mostrada ao produtor. A ele foi solicitado que desenhasse na imagem os contornos das áreas de baixa, média e alta produção do terreno. Este procedimento foi denominado como zonas de manejo

estabelecidas pelo produtor. Em seguida, a foto foi scaneada, importada para um sistema de informação geográfica-SIG (ERDAS, Atlanta, GA*), georeferenciada e processada em valores de reflectância para o azul, verde e vermelho. Os valores de reflectância foram processados e interpretados digitalmente para gerar três zonas de manejo, as quais foram denominadas zonas geradas pelo computador. Com base na interpretação destes dois procedimentos, foi estabelecido um esquema de amostragem georeferenciada para caracterizar as propriedades químicas do solo em diferentes pontos das três zonas. Em cada ponto uma amostra composta para a camada de 0-20 cm foi obtida. Estabeleceu-se um círculo de 20 m de diâmetro, dividido em 4 partes, nas quais foram coletadas cinco amostras na profundidade de 0-20 cm. No total, 48 pontos foram amostrados e analisados quanto aos seguintes parâmetros: pH, matéria orgânica, nitrato e fósforo.

A condutividade elétrica do solo (0-90cm) foi mapeada usando-se um sensor de indução magnética do solo (EM 38, Geonics Ltd, Ontário, Canadá*), conectado a um DGPS, montado num “cart” não metálico a 36 cm da superfície do solo, movendo-se a 6 km/h em faixas contínuas espaçadas em 20 m de intervalo. As medidas georeferenciadas de condutividade elétrica do solo e de elevação do terreno foram coletadas em intervalos de um segundo.

Mapas de colheita ou produtividade foram obtidos em 1997, 98, 99, 2000 e 2001 com uma combinada de 12 linhas John Deere 9600*, equipada com o monitor de colheita Green Star*. Dados de produtividade, umidade dos grãos e coordenadas geográficas foram registrados a cada segundo. Os dados de produtividade foram processados e mapeados com o programa Farm HMS (Red Hen System, Fort Collins, CO*).

Os mapas de condutividade elétrica, altitude do terreno, reflectância do solo e produtividade de grãos foram obtidos usando-se o método de interpolação do inverso do quadrado da distância com malhas de 15 m.

Análise de correlação simples foi usada para determinar a associação da produtividade com vários atributos do terreno. O método de regressão múltipla usando-se o “stepwise” para seleção de variáveis foi usado para determinar a importância dos atributos do terreno nos índices de produtividade.

A área estudada exibiu uma variabilidade considerável na cor do solo e na topografia (**Figura 2**). As áreas mais escuras (menos reflectivas) são solos com maiores teores de matéria orgânica que estão localizados nas partes mais baixas do terreno, enquanto as áreas mais claras são solos com menores teores de matéria orgânica, dissecados pela erosão e localizados nas partes mais

elevadas do terreno. Na **Tabela 1** são mostrados os valores dos principais indicadores de solo associados a produtividade potencial. É possível ver claramente que a amostragem direcionada possibilitou caracterizar distintamente as zonas de manejo. Solos mais escuros, localizados na parte mais baixa do terreno, apresentam um maior grau de fertilidade do que os solos mais claros localizados nas partes altas do terreno. Os altos teores de nitrato e de fósforo nas baixadas são devidos ao acúmulo destes elementos provenientes das partes mais altas, transportados por processos de erosão e lixiviação. Os níveis de nitrato estão acima dos requerimentos da cultura e já apresentam risco de contaminação da água subterrânea. Fica então evidenciada a necessidade de se intervir no manejo desse composto.



Figura 2. Foto aérea de solo nu.

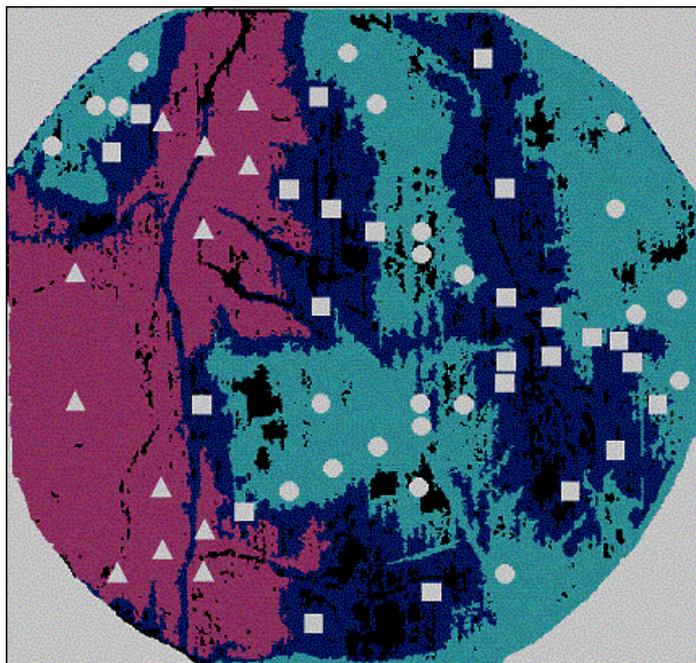


Figura 3. Zonas homogêneas de manejo.

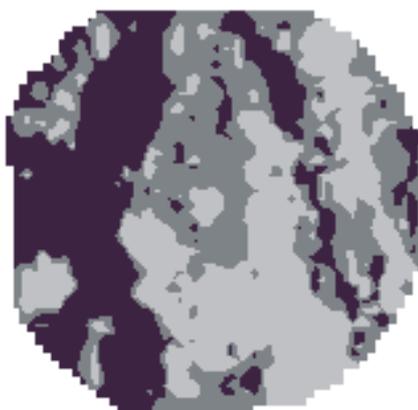


Figura 4. Mapa de condutividade elétrica do solo. Esquema de cores: forte: baixos valores; claro: altos valores.

O Mapa de condutividade elétrica do solo (CE) (**Figura 4**) revelou padrões similares aos mapas de reflectância (**Figura 2**) e de zonas de manejo (**Figura 3**). Valores menores de CE são encontrados nos solos escuros das baixadas, enquanto que valores maiores, são encontrados nas partes mais elevadas do terreno, onde os processos erosivos têm sido mais severos. Como o

subsolo das áreas erodidas é calcário, há uma influencia direta nos valores de EC e pH resultando em altos valores mostrados na **Tabela 1**.

Tabela 1. Propriedades químicas dos solos das três zonas de manejo.

Zona	N	EC _{1:1} (ds m ⁻¹)	pH	MO %	NO ₃ -N	NH ₄ -N Kg/ha	P
Azul	18	0.42	7.37	0.94	7.7	6.0	13.2
Púrpura	19	0.28	6.48	1.31	10.2	8.3	27.5
Cyan	10	0.24	6.17	1.68	17.0	2.9	68.9

Os padrões dos mapas de colheita mostraram variabilidade espacial e temporal. Exceto para os anos de 1999-2000, os demais mostraram um padrão de distribuição espacial dos índices de produtividade muito similares aos das zonas de manejo delineadas.

Na **Tabela 2** são mostrados os efeitos no tempo das propriedades do solo na produtividade do milho. A análise de regressão múltipla mostra que, em média, os atributos altitude, cor do solo, inclinação e EC explicam aproximadamente 60% da variabilidade da produtividade da cultura. E ainda, que os efeitos destes atributos são variáveis ano a ano. Analisando a estabilidade temporal das produtividades relativas de cada zona de manejo ficou evidenciado que, em 80%, os padrões eram consistentes, i.e., zonas de alta produtividade apresentavam baixa produtividade um ano em cada cinco. Tais fatos evidenciam a importância de se considerar a variabilidade temporal e não somente a variabilidade espacial quando se deseja tomar decisões de manejo.

Considerando também que decisões de manejo ineficazes são obtidas quando somente as informações do solo são analisadas, a combinação de parâmetros de solo e planta é um caminho lógico a ser seguido. Esta abordagem foi iniciada em 2001 e encontra-se em desenvolvimento no USDA-ARS-SWCRU.

Tabela 2. Associação entre a variação espacial das propriedades do terreno e variação na produtividade de grão determinada pela análise de regressão.

Variável	Anos					Média
	1997	1998	1999	2000	2001	
Cor do Solo	<0.0001	<0.0001	0.0975	0.0995	<0.0001	<0.0001
Elevação	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
EM 38	0.0057	<0.0001	<0.0001	0.0003	<0.0001	0.0120
Declive	0.2162	<0.0001	0.0255	0.0019	<0.0001	0.1960
Múltiplo R2	0.7110	0.4600	0.0940	0.0911	0.4117	0.6010

3.2. Aplicação do conceito de zonas de manejo no Brasil

Luchiari Jr. et al. (2002) aplicaram o conceito de zonas homogêneas de manejo em solos tropicais de cerrados, cultivados com culturas anuais em plantio direto. Entretanto, estudos desta natureza ainda estão muito focalizados em culturas anuais e necessitam ser desenvolvidos e refinados para culturas perenes, principalmente em condições tropicais.

O Vale do São Francisco é a principal região produtora de mangas e uvas finas de mesa do país. Atualmente, a região produz 85% e 95%, respectivamente, de todas as mangas e uvas finas de mesa exportadas do país. Apesar da importância econômica que a manga e a uva representam nos mercados nacional e internacional, essas culturas não atingiram ainda os níveis de exportação que reflitam seus verdadeiros potenciais. São culturas que necessitam de ajustes nos sistemas de produção, com o objetivo de atender aos requisitos de qualidade no seu sentido amplo (produto e meio ambiente) visando a sua competitividade nos mercados.

Um dos principais problemas existentes é o manejo de nutrientes e água. Silva (1997) estudando as características físico-químicas dos solos de um projeto de irrigação no vale do sub-médio do São Francisco, depois de 10 anos de sua fase de implantação, constatou aumentos nos teores de fósforo de 116,8%, resultante da aplicação excessiva de fertilizantes em quantidades superiores às recomendadas. Relatório da Embrapa, 1999, referente aos estudos feitos em várias áreas de produção comercial de uva irrigada, por gotejamento e microaspersão, mostra que num intervalo de dois anos (1999-2001) houve uma diminuição significativa dos teores de cálcio, magnésio, potássio e fósforo na camada superficial (0-20cm) do solo. E que, apesar desta diminuição, os teores destes nutrientes ainda são altos, i.e., bem acima dos recomendados. Em conseqüências, a CTC do solo também foi diminuída por ser a soma dos Cátions $Ca + Mg + K + (H + Al)$.

Para que novas tecnologias e medidas corretivas, que permitam a melhoria destes sistemas de produção, sejam desenvolvidas é preciso os estudos sejam conduzidos nas áreas de produção. Neste particular, a agricultura de precisão tem o potencial de contribuir com avanços tecnológicos para que os produtos frutícolas sejam produzidos com o uso de tecnologia “limpa”, passíveis de serem certificados, sem comprometer ou colocar em risco o meio ambiente e a saúde do homem.

Assim, o objetivo deste trabalho é a aplicação do conceito de zonas homogêneas e de procedimentos de análise geo-espaciais para delinear áreas para o manejo mais eficiente de insumos em sítios específicos e para orientar o desenvolvimento de práticas de manejo mitigadoras de possíveis riscos de contaminação ao solo e água num sistema de produção de fruticultura irrigada no nordeste brasileiro.

Os solos da região são oriundos de rochas cristalinas, predominantemente rasas, pouco permeáveis, sujeitas à erosão de razoável fertilidade natural.

Na propriedade, existem três tipos de solo, sendo que na área em estudo o solo é classificado como Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico, cuja característica principal é uma forte diferença textural entre a camada superior e inferior, que ocasiona problemas de drenagem a cerca de 40cm de profundidade. A profundidade é moderada e frequentemente limitada à cerca de um metro pela presença de piçarra ou de Lages de rocha. A drenabilidade é moderada, havendo em geral, problemas de salinização secundária no caso de irrigação mal conduzida. São solos geralmente sem pedregosidade, ocorrendo em relevo suave com textura franco-arenosa/argilosa e de permeabilidade moderada (Embrapa, 1999).

Amostras de solos foram coletadas utilizando o seguinte procedimento: cada amostra georeferenciada representa o centro de um talhão de produção (1-2 hectares). Em cada talhão 10 pontos foram coletados por hectare (0-20cm na intersecção dos bulbos de molhamento) por caminhamento em linha e, posteriormente, misturados, formando uma amostra composta. Estas amostras foram em seguida encaminhadas para análise em laboratório credenciado (Instituto Agrônomo de Campinas). Os talhões são irrigados por dois métodos: gotejamento e microaspersão, com os fertilizantes aplicados via água de irrigação. Os valores de produtividade foram obtidos dos registros da propriedade e seus valores georeferenciados no centro da área de um talhão.

Na **Figura 5**, são mostrados os mapas das variações do pH, teor de matéria orgânica, fósforo, cálcio, níquel e sódio do solo. Estes mapas foram obtidos pela interpolação dos valores obtidos, empregando-se o método do inverso do quadrado da distância. Foi utilizado o software Surfer 8.0 (Golden Software, Golden, CO, EUA*).

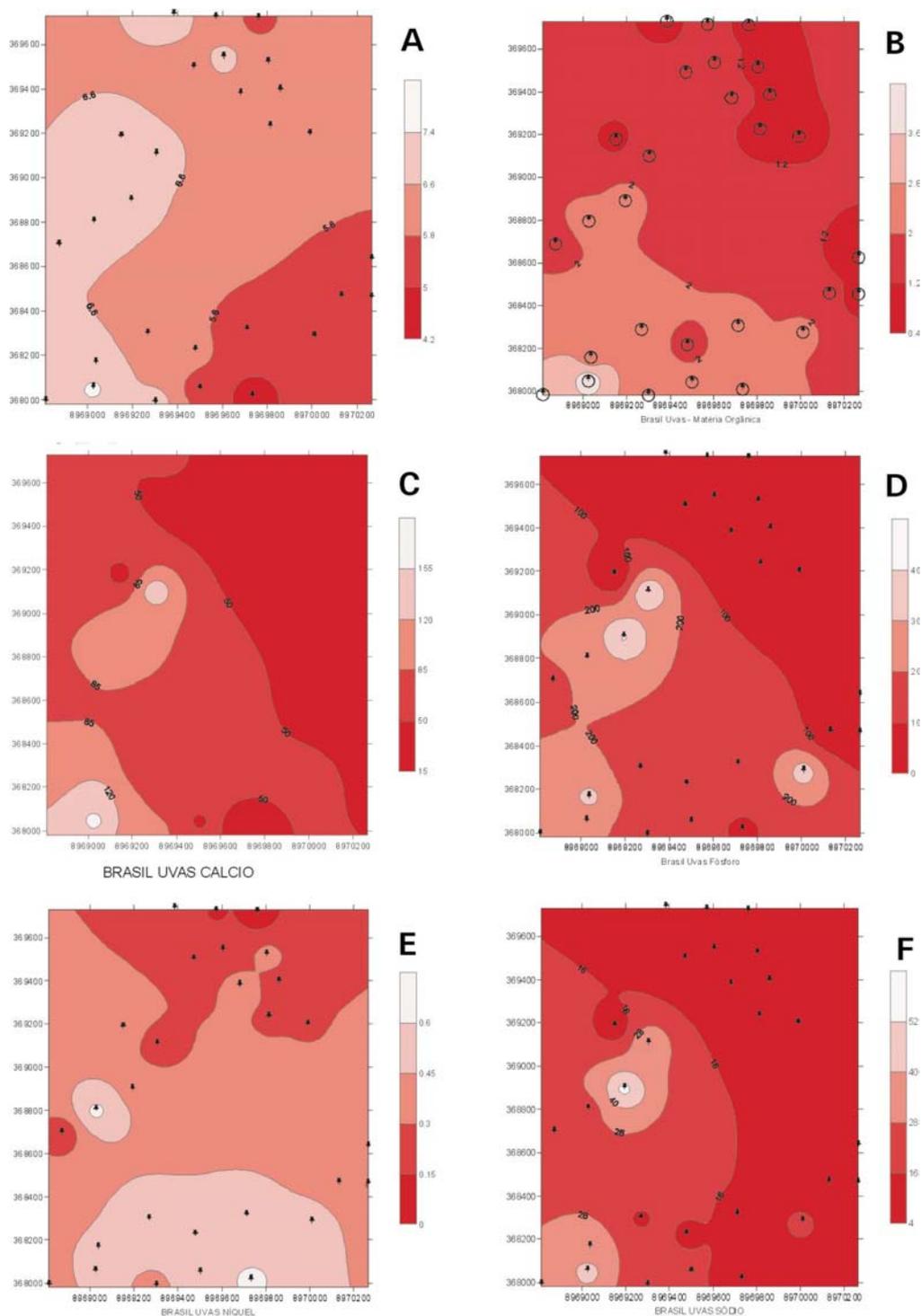


Figura 5. Mapas de pH (A), Matéria Orgânica (B), Cálcio (C), Fósforo (D), Níquel (E) e Sódio (F). Direção: Eixo x - direção leste; eixo y - direção norte. Esquema de cores: fortes - baixo valores; claros: altos valores.

Ao observarmos o mapa de pH (A), vemos que somente no canto inferior direito os valores estão inferiores aos recomendados pela cultura. Quanto aos teores de matéria orgânica (B), existem algumas áreas bem definidas do terreno que apresentam valores abaixo de 1.2%, considerado crítico para os solos predominantes na propriedade. Quanto aos valores de cálcio (C) e fósforo (D), os mesmos estão bem acima dos teores críticos para a cultura da uva e os de sódio (F) abaixo do nível de apresentar problemas devido à salinidade. Entretanto, o padrão de distribuição no terreno destes três elementos é muito semelhante, evidenciando áreas de alta concentração (acima de 80 para o P, de 50 para o Ca e de 12 para o Na) e indicando que nestes bolsões possa haver maiores riscos de impacto, como risco potencial de salinização e de contaminação por metais pesados como o níquel (E). Outro ponto a se considerar é de que nestes bolsões a irrigação é feita por gotejamento e a cultura apresenta os menores índices de produtividade. Havendo, portanto, uma indicação de que o método de irrigação utilizado está influenciado a concentração de elementos. Como no gotejamento o volume do bulbo molhado é menor do que o da microaspersão, os nutrientes e metais pesados presentes no adubo tendem a se concentrar mais e serem mais facilmente lixiviados.

Os procedimentos para delinear zonas de manejo aqui utilizados diferem dos utilizados nos Estados Unidos quanto a escala de trabalho. Os parâmetros aqui estudados não foram amostrados em malha fina ou direcionados por uma foto aérea do terreno. Este estudo revelou que foi possível estabelecer zonas de risco potencial de contaminação de solo e água e alguns aspectos interessantes para o direcionamento de futuros estudos relativos ao manejo de água, nutrientes, solo e planta para minimizar o risco de contaminação ambiental.

Referências

- AL-ABBAS, A. H.; BARR, R.; HALL, J. D.; CRANE, F. L.; BAUMAGARDNER, M. F. Spectra of normal and nutrient-deficient maize leaves. **Agronomy Journal**, v. 66, p. 16-20, 1974.
- ATKINSON, P. M.; WEBSTER, R.; CURRAN, P. J. Cokriging with ground -based radiometry. **Remote Sensing of Environment**, v. 41, p. 45-60, 1992.
- BARET, F.; GUYOT, G.; MAJOR, D. J. TSAVI: a vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI and APAR estimation. In: CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, IGARRS'90, 12., Vancouver, Canada, 1989. **Proceedings...** v. 3, p. 1355-1358.
- BHATTI, A.U.; MULLA, D. J.; FRAZIER, B. E. Estimation of soil properties and wheat yields on complex eroded hills using geostatistics and Thematic Mapper images. **Remote Sensing of Environment**, v. 37, p. 181-191, 1991.

BLACKMER, T. M.; SCHEPERS, J. S. Techniques for monitoring crop nitrogen status in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 25, n. 9/10, p. 1791-1800, 1994.

BLACKMER, T. M.; SCHEPERS, J. S. Use of a chlorophyll meter to monitor N status and schedule fertigation for corn. **Journal of Production Agriculture**, v. 8, p. 56-60, 1995.

BLACKMER, T. M.; SCHEPERS, J. S.; VIGIL, M. F. Chlorophyll meter readings in corn as affected by plant spacing. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 24, n. 17/18, p. 2507-2516, 1993.

CAST. **Gulf of Mexico hypoxia: Land and sea interactions**. Ames: Council for Agricultural Science and Technology, 1999. (Task Force Report, 134).

DOERGE, T.A. **Management zones concepts**. Norcross: PPI-SDSU-USB-FAR, 1999. (SSMG, 2).

DWYER, L. M.; TOLLENAAR, M.; HOUWING, L. A nondestructive method to monitor leaf greenness in corn. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 71, p. 505-509, 1991.

EMBRAPA Meio Ambiente. **Qualidade ambiental em fruticultura irrigada no nordeste brasileiro – Ecofrutas**. Jaguariúna : Embrapa Meio Ambiente, 1999. (Projeto 11.0.99.239).

FRANCIS, D. D.; SCHLEMMER, M. S.; SCHEPERS, J. S.; SHANAHAN, J. F.; LUCHIARI Jr., A. Use of crop canopy reflectance sensor to assess chlorophyll content. **Agronomy Abstracts**, v. 92, p. 277, 2000.

HINZMAN, L. D.; BAUER, M. E.; DAUGHTRY, C. S. T. Effects of nitrogen fertilization on growth and reflectance characteristics of winter wheat. **Remote Sensing of Environment**, v. 19, p. 47-61, 1986.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, p. 295-309, 1988.

INADA, K. Studies for a method for determining the deepness of green color and chlorophyll content of intact crop leaves and its practical application. 2. Photoelectric characters of chlorophyll meter and correlation between the reading and chlorophyll content in leaves. **Proceedings. Crop Science Society of Japan**, v. 33, p. 301-308, 1965.

JOHNSON, C. K.; DORAN, J. W.; DUKE, H. R.; WIENHOLD, B. J.; ESKRIDGE, K. M.; SHANAHAN, J. F. Field-scale electrical conductivity mapping for delineating soil condition. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, p. 1829-1837, 2001.

LUCHIARI Jr., A.; SHANAHAN, J. F.; SCHEMMER, M. L.; TRINGE, J. M.; WILHELM, W. W.; SCHEPERS, J. S. Comparison of chlorophyll meter and fluorescence measurements to detect stress in corn. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1999. Annual Meetings. Salt Lake City, Utah. Abstracts

LUCHIARI, Jr., A.; SHANAHAN, J.; LIEBIG, M.; SCHLEMMER, M.; SCHEPERS, J. S.; FRANCIS, D.; PAYTON, S. Strategies for establishing management zones for site specific nutrient management. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5., Bloomington, 2000. **Proceedings...** CD-ROM.

LUCHIARI Jr., A.; INAMASU, R.; FRANÇA, G. E.; MANTOVANI, E. C.; GOMIDE, R. L.; CORREIA, A.; SHANAHAN, J.; SCHEPERS, J. Description and performance of a crop canopy reflectance sensor for nitrogen

management in corn and forage. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., 2001, Montpellier. **Abstracts...** CD-ROM.

LUCHIARI, Jr. A.; SCHEPERS, J. S.; SHANAHAN, J.; FRANCIS, D.; SCHLEMMER, M. R. Agricultura de precisão: mudança de patamar tecnológico e oportunidades para a pesquisa agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 2., 2002, Foz do Iguaçu. **Proceedings...** p. 197-220.

LUCHIARI Jr. A.; SHANAHAN, J.; SCHEPERS, J. S.; FRANCIS, D.; SCLEMMER, M.; INAMASU, R.; FRANÇA, G.; MANTOVANI, E.; GOMIDE, R. 2002. Crop and soil based approaches for site specific nutrient management. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., 2002, Florianópolis. **Anais...** CD-ROM.

McMURTREY III, J. E.; CHAPPELLE, E. W.; KIM, M. S.; MEISINGER, J. J.; CORP, L. A. Distinguishing nitrogen fertilization levels in field corn (*Zea mays*, L.) with actively induced fluorescence and passive reflectance measurements. **Remote Sensing of Environment**, v. 47, p. 36-44, 1994.

MORAN, M. S.; INOUE, Y.; BARNES, E. M. Opportunities and limitations for image-based remote sensing in precision crop management. **Remote Sensing of Environment**, v. 61, p. 319, 1997.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (U.S.). **Precision agriculture in the 21st century**: geospatial and information technologies in crop management. Washington, D.C., 1997. (Report 59-0700-4-139).

RAUN, W. R.; JOHNSON, G. V. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. **Agronomy Journal**, v. 91, p. 357-363, 1999.

RONDEAUX, G.; STEVEN, M.; BARET, F. Optimization of soil-adjusted vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 55, p. 95-107, 1996.

SCHEPERS, J. S.; FRANCIS, D. D.; VIGIL, M.; BELOW, F. E. Comparison of corn leaf nitrogen and chlorophyll meter readings. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 23, n. 17/20, p. 2173-2187, 1992.

SCHEPERS, J. S.; SHANAHAN, J. F.; LUCHIARI, Jr., A. Precision agriculture as a tool for sustainability. In: BALAZS, E. et al. (Ed.). **Biological resource management**: Connecting science and policy. Berlin: Springer, 2000. p. 129-135.

SCHEPERS, J. S.; HENDERICKSON, L.; TIAN, I. The science of precision agriculture: remote sensing. In: NCR 180 Annual Meeting. **Proceedings...** Madison: NCR, 2001.

SHANAHAN, J.; DOERGE, T.; SYNEDER, C.; LUCHIARI, Jr., A.; JOHNSON, J. Feasibility of variable rate management of corn hybrids and seeding rates in the great plains. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5., 2000, Bloomington. **Proceedings...** CD-ROM.

SHANAHAN, J. F.; SCHEPERS, J.; FRANCIS, D.; VARVEL, G. E.; WILHELM, W. W.; TRINGE, J. M.; SCHLEMMER, M. S.; MAJOR, D. J. Use of remote sensing imagery to estimate corn grain yield. **Agronomy Journal**, v. 93, p. 583-589, 2001.

SILVA, A. de S. **Impacto ambiental del uso de los recursos suelo y agua en áreas agrícolas bajo riego**: estudio aplicado a zonas áridas brasileñas y españolas. 1997. 217 p. Tesis (Doctorado). Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Superior de Ingenieros Agronomos, Departamento de Edafología, Madrid.

SINCLAIR, T. R.; HORIE, T. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: a review. **Crop Science**, v. 29, p. 90-98, 1989.

VARVEL, G. E.; SCHEPERS, J. S.; FRANCIS, D. D. Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meters. **Soil Science Society of America Journal**, v. 59, p. 1233-1239, 1997.

VARVEL, G. E.; SCHLEMMER, M. R.; SCHEPERS, J. S. Relationship between spectral data from aerial image and soil organic matter and phosphorus levels. **Precision Agriculture**, v. 1, p. 291-300, 1999.

WALBURG, G.; BAUER, M. E.; DAUGHTRY, C. S. T.; HOUSLEY, T. L. Effects of nitrogen nutrition on the growth, yield, and reflectance characteristics of corn canopies. **Agronomy Journal**, v. 74, p. 677-683, 1982.

WOLFE, D.W.; HENDERSON, D. W.; HSIAO, T. C.; ALVINO, A. Interactive water and nitrogen effects on senescence of maize. II. Photosynthetic decline and longevity of individual leaves. **Agronomy Journal**, v. 80, p. 865-870, 1988.