

SENSORIAMENTO REMOTO NO MAPEAMENTO DE FALHAS DE PLANTIO EM CANA-DE-AÇÚCAR

Clayton A. Alvares¹; Cleomar F. de Oliveira¹; Fábio T. Valadão¹; José P. Molin²; José V. Salvi¹; Caio Fortes³

RESUMO: As estimativas das falhas de plantio da cana-de-açúcar são de fundamental importância no planejamento da produção. O desenvolvimento de sensores de alta resolução e a perspectiva de maior periodicidade na obtenção de dados coletados em tempo real tem incentivado a aplicação crescente de técnicas de sensoriamento remoto no estudo de características espectrais das culturas relacionadas com seu potencial de produção. A proposta deste trabalho foi avaliar as correlações entre o NDVI gerado por um sensor ótico ativo, de uma superfície plantada com cana-de-açúcar e quantificar as falhas de plantio comparando esses resultados com o método convencional e com isso considerar a sua funcionalidade. O sensor ótico ativo possibilitou a identificação de falhas de plantio da cana-de-açúcar em uma área de 1,16 ha. Com base nos resultados obtidos o sensor apresentou bons resultados, com coeficiente de determinação de 53%. A montagem e as adaptações efetuadas ocorreram de forma simples e rápida, permitindo a fácil reprodução deste sistema em qualquer tipo de trator.

PALAVRAS-CHAVE: NDVI, mapa de falhas, sensor ótico ativo

REMOTE SENSING FOR MAPPING SUGARCANE FAILURES

SUMMARY: Crop failures estimation on sugar cane is essential for production management. The development of high resolution sensors, and the perspective of high frequency of data collection in real time has been motivating remote sensing applications to study the crop spectral characteristics with its potential production. The objective of this work was to evaluate the correlation of NDVI generated from an active optical sensor on a surface planted with sugar cane, quantify the crop failure and compare the results with the usual method of failure measurement and study its usefulness. The active optical sensor made it possible to identify crop failures in a sugarcane field of 1.16 hectare. The sensor presented good results, with coefficient of determination of 53% and its installation was simple and fast, allowing the easy reproduction of this system in any kind of tractor.

KEYWORDS: NDVI, failures map, active optical sensor

¹ Pós-graduando – ESALQ/USP; ² Professor Dpto. Eng. Rural (ESALQ/USP); ³ Usina Iracema

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento do setor canavieiro é muito importante para a economia brasileira, visto que a cana-de-açúcar está entre as três culturas mais importantes do país, tornando-se necessário o aumento da produção para atender ao mercado consumidor. A produção de cana-de-açúcar na safra 2007/2008 foi de 431,1 milhões de toneladas, um crescimento 15,64 % em relação ao ano anterior, apresentando queda de preço, que prejudicou as unidades industriais e os fornecedores de cana-de-açúcar (UNICA, 2008).

Por ser este um setor onde os preços são definidos por comportamento de “commodity”, não há grandes margens de manobra nos preços finais por parte do produtor, restando a este a melhoria de sua produtividade para auferir melhores resultados nos lucros. Sendo assim, o emprego de tecnologia, com o uso da agricultura de precisão, na área, faz-se de modo, quase que impositivo, para a obtenção de melhor produtividade final. Grandes investimentos têm sido realizados pelos produtores canavieiros na área de tecnologia para o completo acompanhamento das atividades da cultura no campo, nas etapas que vão desde conservação do solo, plantio, crescimento e colheita. Acompanhar o desenvolvimento da cultura tem sido cada vez mais imprescindível para a tomada de decisões e somado à questão de produtividade, há também o aspecto de sustentabilidade ambiental e de gerenciamento da produção.

Hoje, muitas indústrias de açúcar e álcool alugam terras de terceiros para o suprimento de suas unidades produtoras, e com isso o gerenciamento das atividades das culturas torna-se muito mais complexo pelas diferentes localizações das propriedades. Desse modo, o uso de ferramentas de agricultura de precisão podem objetivamente auxiliar para que a produção se torne ainda mais viável economicamente.

Para MOLIN (2001) agricultura de precisão é um elenco de tecnologias e procedimentos utilizados para que as lavouras e o sistema de produção sejam otimizados, tendo como elemento chave o gerenciamento da variabilidade espacial da produção e dos fatores a ela relacionados. Com o avanço tecnológico, técnicas de sensoriamento remoto têm-se mostrado úteis no monitoramento de áreas agrícolas e tem incentivado a aplicação de técnicas no estudo de características espectrais da vegetação e sua aplicação no processo de estimativa do potencial de produção.

As técnicas de sensoriamento remoto têm sido utilizadas para avaliar as condições das culturas em relação ao nitrogênio. As propriedades óticas das folhas são caracterizadas pela reflectância, transmitância e absorvância, que correspondem a uma fração da radiação incidente que é respectivamente refletida, transmitida e absorvida pela folha (LEMAIRE, 1997). Essas propriedades espectrais são afetadas pela

deficiência de nitrogênio (BLACKMER et al., 1996). Assim, percebe-se um aumento no interesse em agricultura de precisão e desenvolvimento de sistemas inteligentes para manejar os recursos agrícolas. Essas abordagens relativamente novas objetivam aumentar a produtividade, otimizar a rentabilidade e proteger o meio ambiente (HABOUDANE, et al., 2002).

Em sensoriamento remoto, a técnica denominada “radiometria de campo”, mede a reflectância espectral de qualquer superfície em seu entorno natural, tendo implícito o estudo das inter-relações entre as características espectrais da mesma e seus atributos biológicos (MILTON, 1987). Vários pesquisadores usaram o sensoriamento remoto para estimar parâmetros das culturas como radiação fotossintética ativa e índice de área foliar (IAF) e fitomassa (BARRET e GUYOT, 1991); (SHULTIS, 1991); (SEMBIRING et al., 1998); (LOUGH e VASCO, 2001); conteúdo de clorofila nas folhas (TUMBO et al., 2002), cobertura do solo (BOISSARD et al., 1992), conteúdo de N na florescência do milho híbrido (MA et al., 1996), conteúdo de N no algodão (WILKERSON et al., MOORERREAD; TARPLEY et al., 2004), desenvolvimento de um sensor multi-espectral para determinar os níveis de N no algodão (SUI; WILKERSON; HART; HOWARD, 1998), conteúdo de água (WAHEED et al., 2006); produtividade (FISCHER et al., 1993), colheita em ambiente protegido (PINTER, 1992), e muitas outras propriedades químicas da vegetação.

ROCHA et al. (2003), estudando o comportamento espectral de uma área de cana-de-açúcar em duas safras por meio de radiometria de campo concluíram que medidas radiométricas ao nível terrestre podem ser um bom indicador para o acompanhamento da cana-de-açúcar, mostrando um comportamento correlacionado com parâmetros agrônômicos da cultura como índice de área foliar, massa verde de colmos e produtividade de cana-de-açúcar. Para os autores o NDVI e a reflectância na banda TM4 tiveram primeiramente uma fase de aumento significativo em seus valores, correspondendo à fase de crescimento vegetativo da cultura; posteriormente seus valores passaram a estabilizar devido à entrada da cultura na fase de maturação, e por fim há uma queda da reflectância em virtude do aumento da quantidade de palha na cultura e senescência.

O sensor ótico ativo tem sido instrumento de pesquisa com resultados satisfatórios destacando-se principalmente nas práticas de deficiência e adubação de nitrogênio, visto que o NDVI gerado pelo sensor ótico mostra a sua alta correlação com parâmetros associados ao desenvolvimento e produtividade das plantas, tais como densidade de vegetação e cobertura. POVH *et al.* (2007), avaliaram o uso do sensor ótico ativo aplicado ao manejo de nitrogênio em trigo e afirmaram que o uso deste sensor é uma ferramenta com grande potencial para o manejo do nitrogênio na cultura do trigo, sendo necessário futuramente realizar aplicações de nitrogênio em taxa

variável com base nas leituras do sensor e avaliar a produtividade final, e com isso confirmar seu potencial e solidificar o uso desta tecnologia. RAUN *et al.* (2002), comenta que com o uso de sensores óticos conseguiu aumentar com sucesso a eficiência no uso de nitrogênio, variando doses de N baseado em dados de NDVI obtidos em tempo real.

Para RAUN *et al.* (2005), os dados de um sensor ótico possibilitou relacionar o NDVI e a captação de nitrogênio na cultura da grama bermuda e com isso determinou o tempo correto e o crescimento adequado para fazer a fertilização e também constatou que a predição do rendimento da grama bermuda poderia ser realizada usando a mensuração do sensor ótico.

FRASSON *et al.* (2007) afirmaram que as mudanças estruturais de vegetação no decorrer da estação de crescimento resultam em uma diferenciação de sua reflectância, o que permite empregar o NDVI para o monitoramento da vegetação, bem como distinguir diferentes tipos de vegetação e detectar possíveis problemas de crescimento, e concluíram que o NDVI gerado pelo sensor ótico ativo é uma ferramenta que mostrou resultados bastante satisfatórios, apresentando altas correlações com a porcentagem de falhas de plantio encontradas nas áreas comerciais de cana-de-açúcar avaliadas, fazendo-se necessária uma calibração prévia para adequar o sensor às condições da cultura

O objetivo deste trabalho é avaliar um sensor ótico ativo na variação da resposta espectral da cana-de-açúcar, medida por meio do NDVI correlacionando com a porcentagem de falhas de plantio convencional e assim verificar a possibilidade de utilizar este tipo de instrumento para diagnosticar a qualidade do plantio.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Usina Iracema, município de Iracemápolis, SP (Figura 1), gleba 2211, em 08-06-07, em área plantada com idade de 100 dias, variedade CTC 4. Para a realização do experimento foi utilizado um sensor ótico ativo (GreenSeeker, modelo 505, fabricante NTECH Industries, Inc, www.ntechindustries.com) acoplado ao trator. Para tanto foram feitos estudos de melhor localização e altura deste e o seu acoplamento à parte frontal do trator. Foram feitas considerações de modo a serem evitados problemas de operação e leitura com a mínima vibração por parte da máquina e redução de possibilidade de interferência de poeira. Foram projetados e confeccionados suportes para a instalação do sensor na parte frontal do trator, sobre os contrapesos, com ângulo de inclinação da base do sensor de 45 graus (Figura 2).

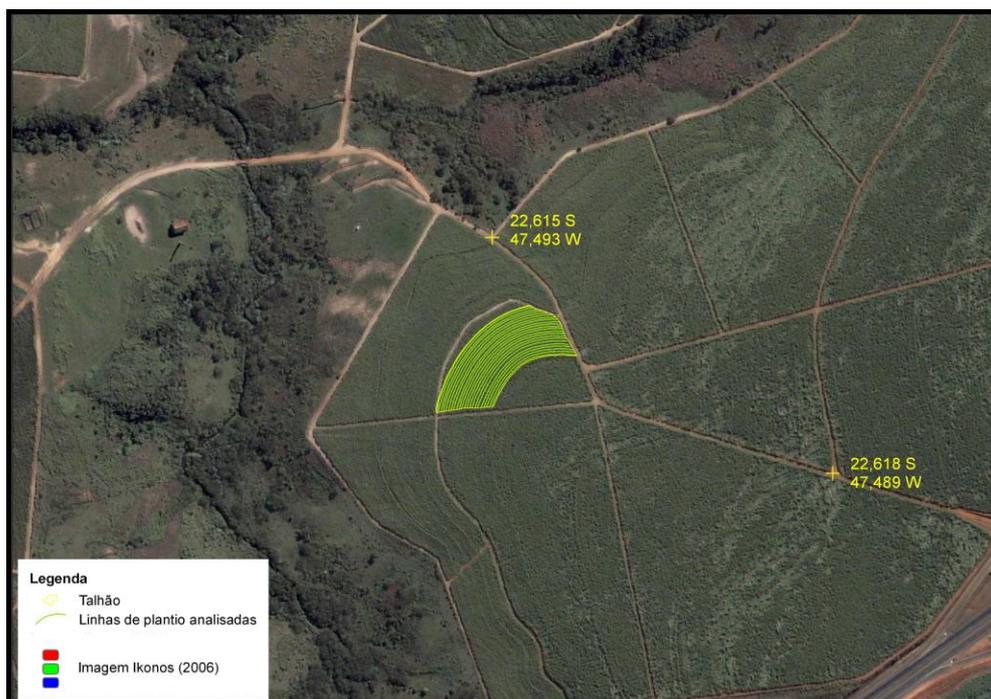


Figura 1 – Localização do talhão experimental.



Figura 2 – Instalação do sensor ótico ativo na parte frontal do trator.

A fixação da base do sensor ótico ativo, nos suportes foi feita com abraçadeiras parafusadas juntamente com anéis de borracha para redução de possível vibração do sistema. Os cabos externos foram fixados por abraçadeiras nas partes fixas do trator. O sensor ótico ativo foi montado e posicionado de modo a estar paralelo em relação ao plano, situado a uma altura média de 1,2 m, da vegetação, conforme recomendação do manual do fabricante.

O diagrama mostra as interligações entre os blocos (sensor ótico ativo, receptor GPS, computador de coleta/armazenagem de dados, bateria de alimentação, interruptor de coleta) do sistema, montados na cabine do trator (Figura 3).

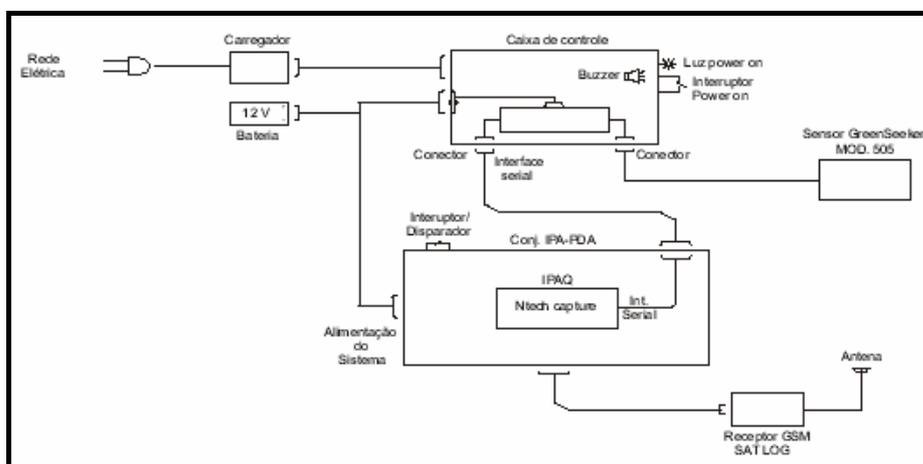


Figura 3 – Diagrama de ligações dos equipamentos (sensor ótico ativo, GPS e computador de campo).

O sensor ótico ativo se conecta por cabo à caixa de controle, situada na cabine do trator, que por sua vez se conecta ao computador de mão modelo iPAQ, do fabricante HP. Um programa específico para captura e armazenagem dos dados coletados do sensor ótico (NTECH Capture) é executado para registro dos dados coletados para posterior análise e processamento. O formato dos dados armazenados pode ser operado por programas em ambiente do sistema operacional Windows.

O sensor ótico ativo emite radiação em dois comprimentos de onda, visível, vermelho (comprimento 660 nm) e infravermelho próximo (comprimento 780 nm) e recebe a reflexão destas emissões pelo alvo apontado, independentemente das condições de luminosidade ambiente. O conjunto do sensor fornece em sua saída dois tipos de índices de vegetação (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index- e o RVI – Ratio Vegetation Index), sendo que para o presente trabalho foi utilizado o NDVI. Conjuntamente às medidas de vegetação pelo sensor ótico ativo no trator, foi realizado o levantamento manual de falhas ao longo das linhas, de acordo com o método proposto por Stolf (1986), que se baseia em uma metodologia simples, que consiste em medir e contar falhas de plantio acima de 50 cm ao longo da linha. Neste método, foi utilizado um gabarito e uma trena para definir o que é considerado como falha (intervalos sem plantio superiores a 50 cm). A Figura 4 mostra o gabarito e uma condição de falha. As falhas por linha e os seus comprimentos foram anotados em planilhas.



Figura 4 – Medidas de falhas pelo método proposto por Stolf (1986) com gabarito e trena. Situação de intervalo de plantio < 50 cm e falhas (> 50 cm).

A seguir foi percorrida a lavoura visando tomar as medidas de falhas de vegetação pelo sensor ótico ativo montado na parte frontal do trator, simultaneamente com a operação denominada de “quebra-lombo”, que consiste em nivelar o solo da entre linha (nivelar os “lombos” resultantes do preparo do solo) permitindo a colheita mecanizada. Essa operação é realizada após 3 a 4 meses da data de plantio. Como o trator executa a operação em duas linhas e utilizou-se apenas um sensor e foram feitas passadas em linhas alternadas. A operação foi executada com velocidade em torno de $4,5 \text{ km h}^{-1}$.

Os dados foram tratados nos SIG ArcGis 9.2 e Idrisi Andes 15.0. No software ArcGis 9.2 procedeu-se com mudança de projeção dos dados e datum, remoção de erros dos dados coletados (erros de passadas e pontos fora do talhão) e manipulação das feições vetoriais (linhas, pontos e polígonos). No software Idrisi Andes 15.0 realizou-se a interpolação dos dados com o método do inverso do quadrado da distância ($IDW = 2$) com a grade de interpolação de 1 metro. No software ArcGis 9.2 elaborou-se o mapa de interpolação pelo método Voronoi, onde cada polígono é criado com base num único ponto de dado, possibilitando uma compreensão melhor da distribuição do NDVI no talhão estudado. Para cada linha de plantio foi calculada a média de NDVI e então correlacionada com a porcentagem de falha obtida com o método tradicional. Em cada linha, os mapas foram elaborados com o ArcGis 9.2.

Aplicou-se uma análise de regressão entre os dados de NDVI e o índice de falha pelo método convencional.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta a análise estatística das variáveis NDVI e porcentagem de falhas para as 22 linhas de plantio analisadas. Observa-se que a média geral do NDVI (0,63) corresponde à média de porcentagem de falhas (5,27), conforme a equação de regressão apresentada na Figura 4.

O coeficiente de variação foi mais elevado para a porcentagem de falhas, talvez, por ser calculada em função apenas das falhas. Para o NDVI foi calculado o coeficiente de variação para todos os valores, compreendendo valores altos (não falhas) e baixos (falhas). Esse mesmo resultado foi obtido por FRASSON *et al.* (2007).

Tabela 1. Análise estatística do NDVI e porcentagem de falhas para a variedade estudada.

	NDVI	% falhas
Média	0,63	5,27
Desvio padrão	0,05	3,01
Coeficiente de variação	7,6	57,06
Curtose	-0,24	0,67
Assimetria	-0,38	1,1
Intervalo	0,19	10,92
Mínimo	0,52	1,79
Máximo	0,71	12,71
Contagem	22	22

Analisando a equação de regressão (Figura 5), observa-se que para áreas (Figura 6) com ausência de falhas ($x = 0$) o valor de NDVI iguala-se a 0,69 (variedade CTC 4), enquanto FRASSON *et al.* (2007) obtiveram esse mesmo valor de 0,42 para a variedade SP81-3280, de 0,49 para CTC 3, de 0,65 para SP9-1049 e de 0,68 para SP89-1115.

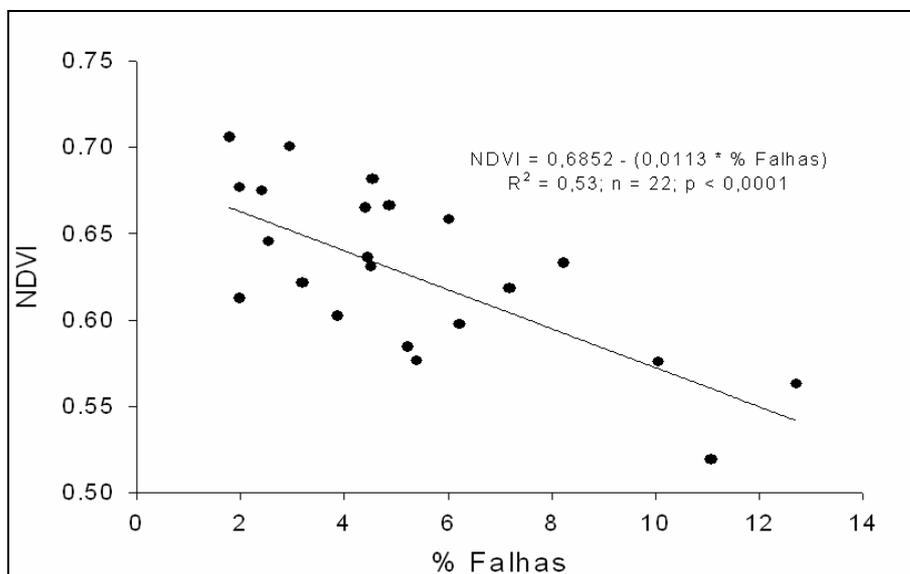


Figura 5 – Gráfico de regressão linear das variáveis NDVI e porcentagem de falhas na lavoura estudada.



Figura 6 – Local com 15% de falhas (NDVI ≈ 0,52) e local com baixo índice de falhas (NDVI ≈ 0,71)

A Figura 7 apresenta as linhas de plantio amostradas no talhão estudado. Foram amostradas 22 linhas no total, com menor linha de 136 m e maior linha de 192 m de extensão.

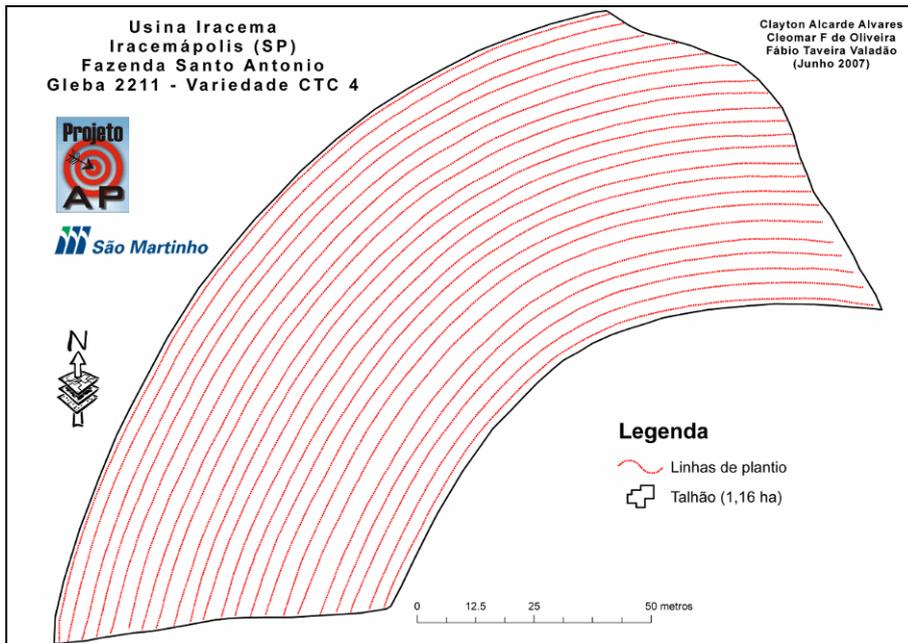


Figura 7 – Mapa de linhas de plantio amostradas com o sensor óptico e pelo método convencional.

A Figura 8 mostra os pontos coletados (total de 2.195, média de 1.892 ha⁻¹) nas linhas amostradas. Nesse mapa é possível observar a densidade de pontos coletados e alguma variabilidade do NDVI dentro do talhão.

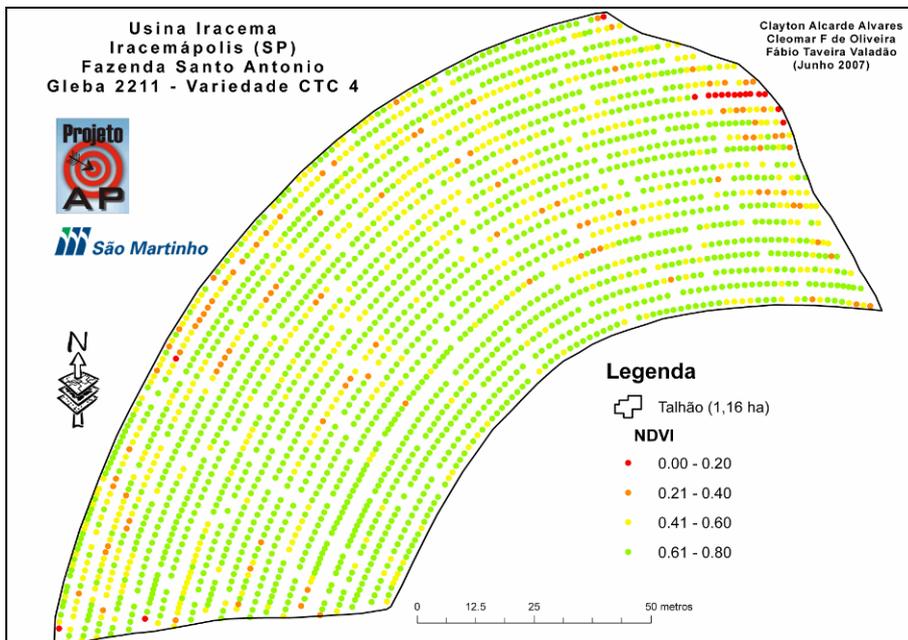


Figura 8 – Mapa de pontos de NDVI coletados com o sensor óptico.

Com os dados apresentados na Figura 9 foi realizada interpolação pelo método IDW o que gerou a Figura 8. Construiu-se uma paleta de cores de modo que simulasse uma “imagem ortogonal da lavoura”, locais com menor porcentagem de falhas, locais com mais falhas e ainda com solo exposto (NDVI próximo de 0).

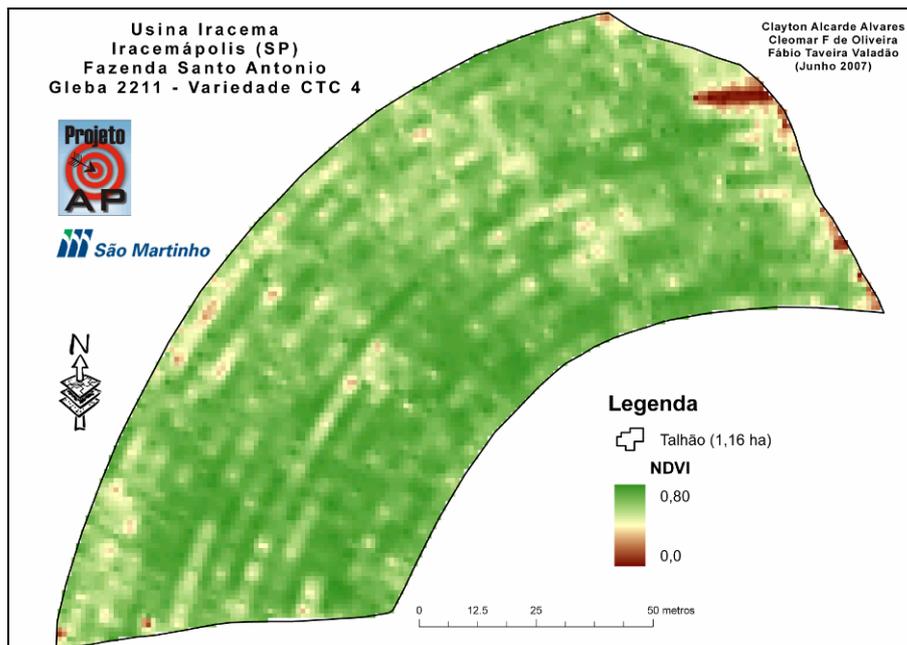


Figura 9 – Mapa de NDVI interpolado pelo método IDW (W=2).

Na Figura 10 é apresentado o mapa de NDVI interpolado pelo método Voronoi, que é basicamente a construção de polígonos (área com o mesmo valor de NDVI) no entorno de ponto amostrado. Este mapa mostra os micro-sítios de maior ocorrência de falhas, facilitando a observação, interpretação e tomada de decisão quanto à possível intervenção na lavoura.

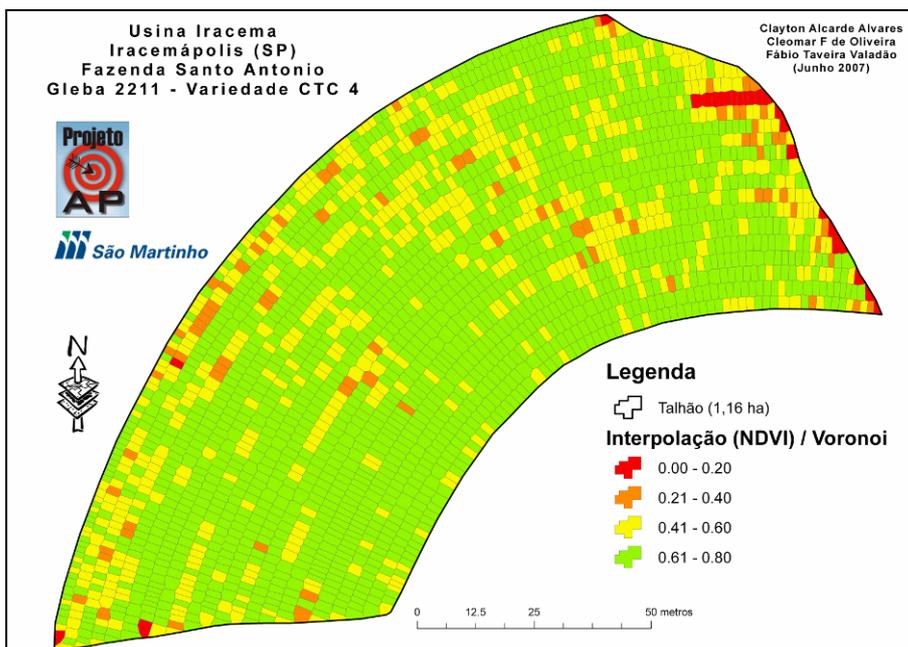


Figura 10 – Mapa de NDVI interpolado pelo Voronoi.

CONCLUSÕES

O sensor ótico ativo possibilitou a identificação de falhas de plantio da cana-de-açúcar em uma área de 1,16 ha. A montagem e as adaptações efetuadas ocorreram de forma simples e rápida, permitindo a fácil reprodução deste sistema em qualquer tipo de trator.

Com base nos resultados obtidos, o sensor apresentou bons resultados, com coeficiente de determinação de 53%. Desta maneira pode-se considerar a sua utilização para quantificação de falhas de plantio em cana-de-açúcar, aproveitando a operação de “quebra-lombo” para monitorar a lavoura no momento em que essa tarefa é normalmente realizada.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradem à Usina Iracema e ao gMAP pelo auxílio operacional deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARRET. F; GUYOT, G. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR measurements. **R. Sens. Evrir.** 35(2-3) 161-173, 1991.

- BALCKMER, T. M.; SCHEPPERS, J. S.; VARVEL, G. E.; WALTER-SHEA, E. A. Nitrogen deficiency detection using reflected shortwave radiation from irrigated corn canopies. **Agronomy Journal**, v. 88, p.1-5, 1996.
- BOISSARD, P.; POINTEL, J. Ç.; TRANCHEFORT, J. Estimation of the ground cover ratio of a wheat canopy using radiometry. **International Journal Remote Sensing**. V.13, n.9, p.1681-1692. 1992.
- FISHER, R. A.; POINTEL, J. G.; TRACHEFORD, J. Estimation of the ground cover ratio of a what canopy using radiometry. **International Journal Remote Sensing**. V.13, n.9, p.1681-1692, 1993.
- FRASSON, F. R; MOLIN, J. P; SALVI, J. V.; POVH, F. P.; GARCIA, M. A. L. Utilização de sensor ótico ativo no diagnóstico de falhas de plantio de cana-de-açúcar. **STAB**, v. 26, n. 2, p. 34-37, 2007.
- HABOUDANE, D.; MILLER, J. R.; TREMBLAY, N.; ZARCO-TEJADA, P. J.; DEXTRAZE, L. Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision. **Remote Sensing of Environment**, v.81, p.416-426, 2002.
- LEMAIRE, G. **Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops**. New York: Springer, 1997. 239p.
- LOUGH, L. L; VASCO.J. J. 2001. Effects of varying N and K nutrition on the spectral reflectance properties of cotton. In proc. **The Fifth International conference on precision Agriculture**. Madison. Wis: ASA-CSSA-SSSA.
- MILTON, E. J. Principles of field spectroscopy. **International Journal of remote Sensing**, v.8, n.12, 1807-1827, 1987.
- MOLIN, J. P. **Agricultura de precisão: o gerenciamento da variabilidade**. Piracicaba. 83p. 2001.
- PINTER, P. J. 1992. Solar angle independence in the relationship between absorbed PAR and remotely sensed data for alfalfa. **Remote Sensing of Enveronment**. 46(1): 19-25,

- POVH, F. P.; GIMENEZ, L. M.; SALVI, J. V.; FRASSON, F. R.; MOLIN, J. P.; PAULETTI, V. Uso de sensor ótico ativo aplicado ao manejo de nitrogênio em trigo. **XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2007, Florianópolis, Brasil, Anais..., INPE, abril 2007. p.343-350.
- RAUN, W. R.; SOLIE, J. B.; JOHNSON, G. V.; STONE, M. L.; MULLEN, R. W.; FREEMAN, K. W.; THOMASON, W. E.; LUKINA, V. Improvid nitrogen use efficiency in cereal grain production with optical sensing and variable rate application. **Agronomy Journal**. V.94, p815-820, 2002.
- RAUN, W. R.; MOSALI, J.; KEFYALEW GIRMA, R. K.; TEAL, R. K. Use of in Season Reflectância for Predicting Yield Potencial in Bermudagass. J. **Plant. Nutria**. 2005.
- ROCHA. J. V.; LAPARELLI, R. C.; SIMÕES. M. S. Análise do comportamento espectral de uma área comercial de cana-de-açúcar em duas safras por meio de radiometria de campo. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento remoto**, 11., 2002, Belo Horizonte. Anais....Manaus: INPE, 2003. p.2367-2374.
- SEMBIRING, H. W. R; RAUN, G. V; JOHNSON, M. L; STONE, J. B; SOLIE S. B.. Detection of nitrogen and phosphorus nutrient status in winter wheat using spectral radiance. J. **Plant. Nutr.** 21(6): 1207-1232, 1998.
- SHULTIS, J. K. Calculated sensitivities of several optical radiometric índices for vegetation canopes. R. **Sens. Envir.** 38 (3) 211-228, 1991.
- WILKERSON, J. B.; SUI, R.; HART, W. E.; WILHELM, L. R.; HOWARD, D. D. Multi-Espectral sensor for detection of nitrogen status in cotton. **Transactions of ASAE, Mississippi**: v.21, n.2, p167-172, 2004.
- UNICA, União da Agroindústria Canaveira de São Paulo. Disponível em <http://www.unica.com.br/>
- TUMBO, S. U.; WAGNER, D. G.; HEINEMANN, P. H. Hyperspectral aharavteristics of corn plants under different chlorophyll levels. **Transactions of the ASAE**. v.45, n.3, p.815-823, 2002.

- SUI, R.; WILKERSON, J. B.; HART, W.; HOWARD, D. 1988. **Development of a variable-rate nitrogen applicator based on spectral reflectance characteristics of cotton plants.** In Proc. 1998. Beltwide Cotton Conf., 439-443. Memphis, Tenn.: National Cotton Council of America.
- WAHEED, T.; BONNELL, R. B.; PRASCHER, S. O.; PAULET, E. measuring performance in precision agriculture: CART- A decision tree approach. **Agricultural Water Management.** Paper n.2209, 13p. 2006.