

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”**

**ADEQUAÇÃO DA METODOLOGIA DE USO DE UM SENSOR ÓTICO ATIVO NA
CULTURA CANA-DE-AÇUCAR**

**CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO
CIENTIFICO E TECNOLÓGICO – CNPQ Proc. No. 472437/2007-0**

**DOCENTE: PROF. Dr JOSÉ PAULO MOLIN
BOLSISTA: LEANDRO TAUBINGER**

**PIRACICABA, SÃO PAULO
JULHO, 2010**

ADEQUAÇÃO DA METODOLOGIA DE USO DE UM SENSOR ÓTICO ATIVO NA CULTURA CANA-DE-AÇUCAR

1. RESUMO

A agricultura de precisão oferece recursos inovadores, tais como sensores que possibilitam a adubação nitrogenada em taxa variável, otimizando a aplicação e diminuindo impactos ambientais. Visando o desenvolvimento da tecnologia do uso de sensores óticos ativos terrestres, já adotados em outras culturas, foram estudadas e avaliadas diferentes condições de coleta de dados, altura e ângulo, em que o sensor (CropCircle) melhor expressa o estado nutricional por nitrogênio para a cultura da cana-de-açúcar, assim como identificado se horário do dia influencia nas mensurações e o comprimento mínimo de falhas na fileira (ausência de plantas) que o sensor é capaz de detectar. Os resultados indicam que as diferentes combinações de alturas e ângulos do sensor, mesmo resultando em valores de NDVI estatisticamente distintos, não possibilitaram encontrar uma combinação que melhor se ajuste à curva de resposta à doses de nitrogênio, ou seja, as combinações foram no máximo equivalentes àquela recomendada pelo fabricante. Quanto às leituras obtidas com o sensor durante diferentes momentos do dia, não foi encontrada variação nos valores de NDVI. O comprimento mínimo de falhas na fileira da cultura que o sensor foi capaz de detectar se deslocando a $1,39 \text{ m s}^{-1}$ foi de aproximadamente 0,246 m.

2. INTRODUÇÃO

Com a crescente utilização das tecnologias de agricultura de precisão na cultura da cana-de-açúcar, muito tem se estudado sobre os mecanismos que permitem identificar as variações espaciais, tanto do estado nutricional e das características fenológicas/morfológicas da planta, como das características físicas, químicas e biológicas do solo de uma mesma área ou talhão.

A aplicação regionalizada de insumos, de acordo com as necessidades específicas dentro de uma lavoura, permite a otimização na utilização de insumos, sem prejuízos à produtividade e respeitando o equilíbrio ambiental (MOTOMIYA et al., 2007).

O nitrogênio (N) é o nutriente exigido, geralmente em maior quantidade pelas culturas. Por ser um elemento afetado por uma dinâmica complexa no solo e que não deixa efeitos residuais diretos das adubações, o seu adequado manejo é um dos mais difíceis (CANTARELLA et al, 2007).

O N é integrante da clorofila, o pigmento que é o primeiro a absorver a energia luminosa necessária para a fotossíntese. Dessa forma, as técnicas de sensoriamento remoto exploram características espectrais dos pigmentos foliares, e em especial a clorofila onde, de maneira geral, espera-se que a tonalidade de verde das folhas se torne mais intensa com o aumento da disponibilidade de nitrogênio no solo. (SCHEPER et al., 1992).

A avaliação da reflectância espectral pelos sensores óticos ativos é considerada uma abordagem promissora e não invasiva para o sensoriamento instantâneo da deficiência de N (TUMBO et al., 2002; DELLINGER et al., 2008). A leitura de reflectância é calculada por microprocessador interno, fornecendo os valores de reflectância em determinados comprimentos de ondas, possibilitando o cálculo de índices de vegetação, como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), o qual pode ser usado como indicador do estado nutricional da planta (RAUN et al., 2005).

Segundo AMARAL (2011), essa técnica é utilizada eficientemente na Europa e Estados Unidos para culturas como trigo e milho, mas, para cana-de-açúcar, ainda é um desafio devido às suas peculiaridades de cultivo e desenvolvimento. Entre os muitos fatores que interferem na reflectância das culturas e conseqüentemente no cálculo dos índices de vegetação, estão os fatores de estresse, clima, solo e planta.

Outra possibilidade desse equipamento é a diferenciação de áreas com e sem vegetação. Com esse enfoque, os trabalhos de FRASSON et al (2007) e CAVALCANTE (2011) utilizaram sensores óticos como ferramenta na estimativa de falhas na brotação de cana-de-açúcar.

Devido ao fato de os sensores óticos terem sido projetados para trabalharem em culturas de grãos, que apresentam arquitetura foliar, fisiologia e comportamento de desenvolvimento diferentes da cana-de-açúcar, podem ocorrer alterações na efetividade dos equipamentos. Dessa forma, o objetivo da pesquisa foi analisar se diferentes condições de coleta de dados, combinando alturas e ângulos de coleta, com um sensor ótico pode expressar melhor o estado nutricional da cultura por nitrogênio. Da mesma forma, buscou-se verificar se o horário do dia em que a aquisição de dados é feita pode influenciar nas mensurações, assim como obter o comprimento mínimo de falhas na fileira que o sensor é capaz de detectar, possibilitando a determinação de falhas de brotação por meio desse equipamento.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi dividido em três etapas, sendo a primeira a de avaliação das condições de coleta, como altura e ângulo em que um sensor ótico ativo melhor expressa o estado nutricional por N das plantas (experimento de alturas e ângulos); a segunda constou de mensurações de NDVI das mesmas plantas em diferentes momentos do dia (experimento de hora do dia); e a terceira trata da avaliação do comprimento mínimo de falhas na fileira da cultura que o sensor é capaz de detectar (experimento de falhas).

O estudo de alturas e ângulos foi realizado em experimento em parcelas com diferentes doses de N (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de N) com quatro repetições em blocos ao acaso. A área apresentava solo argiloso e se enquadra no ambiente de produção A (PRADO, 2005), cultivada com

a variedade RB855156, em terceiro corte, na região de Ribeirão Preto, SP (21°21' S – 48°04' O). O ensaio visou avaliar se há interferência da altura e ângulo de coleta de dados com o sensor ótico ativo terrestre Crop Circle ACS-210 (Holland Scientific Inc., Lincoln, NE, EUA), devido ao fato da cana-de-açúcar ser uma cultura com arquitetura foliar muito diferente das culturas para as quais o sensor foi desenvolvido.

Foram realizadas avaliações em duas épocas, sendo uma em 22 de agosto de 2010, quando as plantas apresentavam altura média de colmos de 0,2 m e a outra em 20 de novembro de 2010, quando as plantas apresentavam com altura média de colmos de 0,6 m. Trabalhou-se com os ângulos nadirais de coleta de 0°, 22° e 45° (Figura 1) e alturas de coleta de 0,4; 0,8 e 1,2 m de distância do alvo. Adicionalmente procederam-se avaliações com um medidor portátil de clorofila (Minolta SPAD-502), conforme procedimento executado por AMARAL & MOLIN (2011). Na época de colheita, a produtividade final de colmos foi mensurada a partir de balança embarcada em caminhão.

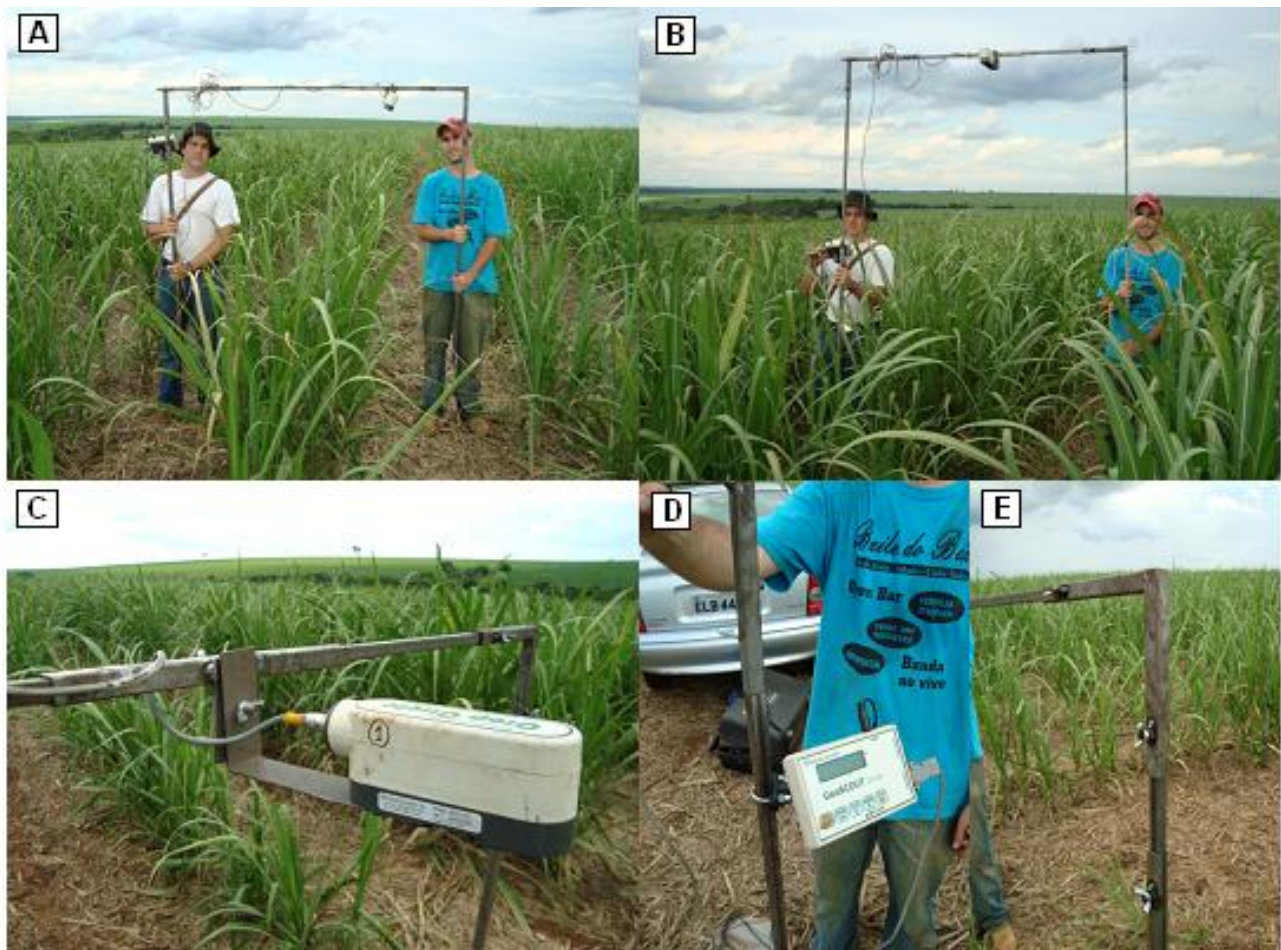


FIGURA 1. A) Estrutura para coleta com sensor configurado para ângulo de 22,5° e altura de 0,8m; B) Estrutura para coleta com sensor configurado para ângulo de 0° e altura de 1,2m; C) Base para configuração do ângulo de coleta; D) Visor do sensor; E) Configuração da altura de coleta

Os resultados foram submetidos a testes de correlação pelo teste t e à análise de variância, e, quando significativos, à análise de regressão e teste de Scott-Knott para comparação de médias.

O experimento de momentos do dia foi realizado numa área experimental de cana-de-açúcar de quarto corte, localizado na região de Ribeirão Preto, SP, com a variedade SP80-3280 cultivada em solo argiloso (ambiente de produção A).

As medições de NDVI foram feitas no dia 20 de janeiro de 2010, às 06:00 h, 09:00 h, 13:00 h, 16:00 h e 19:00 h, considerando-se que a variação do teor de água na planta, da posição nodal das folhas e de seu enrolamento nas horas mais quentes do dia pode interferir no resultado das medições com o sensor. Entretanto, salienta-se que não havia estresse hídrico no momento da avaliação, estando com 800 mm de chuva acumulada nos três meses que antecederam as avaliações. Para fazer as medições foi utilizada uma parcela com seis fileiras de plantio e cada uma foi considerada como sendo um bloco. Os dados foram analisados por meio de análise de variância.

O experimento de falhas foi realizado no pátio do Departamento de Engenharia de Biosistemas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, em Piracicaba, São Paulo, onde se objetivava verificar se o sensor consegue captar mudanças bruscas de NDVI, possibilitando estimar falhas de brotação de tamanhos reduzidos. Foram usados alvos de coloração verde de diferentes comprimentos (2,0, 1,0, 0,5 e 0,25 m). Esses segmentos foram fixados sobre o asfalto, de coloração escura, de modo que sempre ficou um determinado espaço com a cor verde, e outro espaço de igual tamanho de coloração escura, alternadamente; repetido para os quatro tamanhos de segmentos.

As coletas de dados foram realizadas utilizando o sensor ótico ativo no dia 19 de setembro de 2009. A frequência de coleta foi de 20 pontos por segundo a uma velocidade de 1,39 m s⁻¹ (5 km h⁻¹). O sensor foi acoplado na parte frontal de um trator, a uma altura de 0,8 m dos alvos. Foram feitas seis repetições para cada tamanho de segmento.

Os dados foram processados e analisados em planilha eletrônica (Microsoft Office Excel), visando avaliar qual a capacidade do sensor em mensurar mudanças bruscas de NDVI ocorrentes nas lavouras, em termos de atraso expresso em tempo e em distância.

Para cada ponto de leitura de NDVI foi calculada a sua *Variação* com o valor do ponto seguinte, através da equação 1, expressando essa variação em porcentagem.

$$\text{Variação} = \frac{\text{NDVI}(n) - \text{NDVI}(n-1)}{\text{NDVI}(n-1)} \cdot 100 \quad (1)$$

em que,

NDVI - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
n - posição que o dado ocupa na coleta

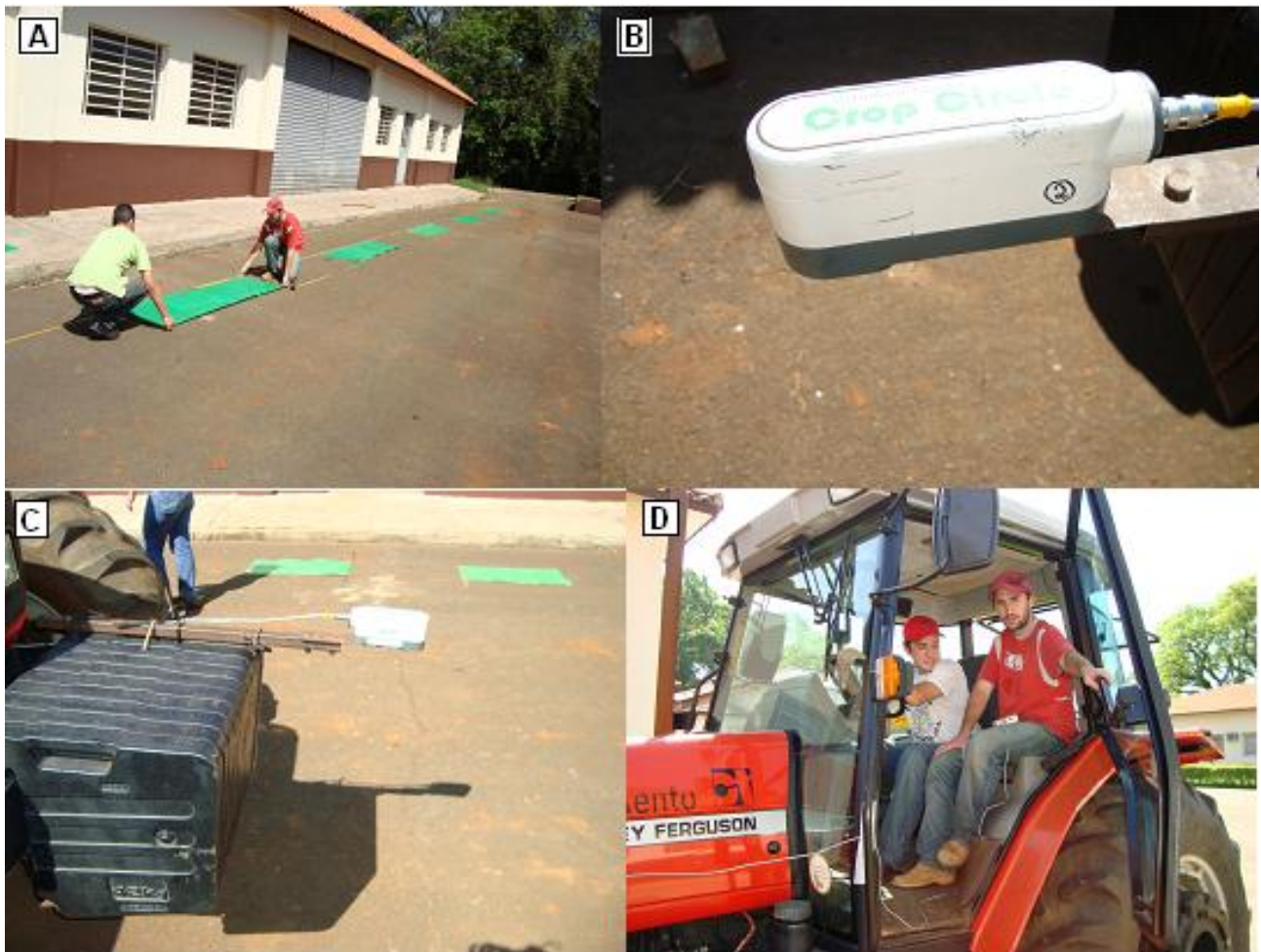


FIGURA 2. A) segmentos de 2,0 metros dispostos sobre o asfalto; B) Sensor ótico ativo terrestre Crop Circle (Holland Scientific, Inc. Lincoln, NE); C) Sensor acoplado ao trator; D) Coleta dos dados

Valores de NDVI fora do limite de variação de 5% foram considerados como sendo aqueles obtidos no instante da mudança de alvo. Com o valor da frequência de coleta (20 Hz) e da velocidade de deslocamento (1,39 m/s), determinou-se pelo número de pontos fora do limite de variação, o tempo de mudança e a distância percorrida durante a variação. O *Tempo* necessário para a mudança do NDVI foi calculado pela equação 2.

$$\text{Tempo (segundos)} = N/20 \quad (2)$$

em que,

N - número de pontos fora do limite de variação de 5%

20 - valor da frequência (20 Hz)

A *Distância* em metros percorrida durante a mudança de valor de NDVI foi calculado pela equação 3.

$$\text{Distância} = v t \quad (3)$$

em que,

v - velocidade de deslocamento (1,39 m/s)

t - tempo em segundos necessário para ocorrer a mudança de NDVI

Os resultados foram submetidos a teste de Tukey para comparação de médias.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No experimento de alturas e ângulos observa-se que a análise de variância na primeira avaliação mostrou pequena diferença entre os tratamentos apenas com a utilização do clorofilômetro (Tabela 1). O sensor ótico em suas diferentes configurações de uso não identificou diferença entre os tratamentos, provavelmente em razão da pouca biomassa apresentada pelas plantas, favorecendo grande interferência do substrato, conforme observado por AMARAL e MOLIN (2011).

Para a segunda data de avaliação, nas nove combinações de alturas e ângulos de coleta do sensor e também nas mensurações feitas pelo clorofilômetro, foi possível detectar diferença altamente significativa entre as doses de N aplicadas, corroborando resultados obtidos por INAMASU et al. (2006), MOLIN et al (2010) e AMARAL e MOLIN (2011).

As doses de N aplicadas não influenciaram significativamente a produtividade. Entretanto, por meio de contrastes ortogonais é possível identificar diferença entre o tratamento que não recebeu N e os demais ($p < 0,05$).

As nove combinações de altura e ângulo de coleta de dados apresentaram correlação altamente significativa ($p < 0,01$) com as doses de N aplicadas e os valores de absorvância mensurados pelo clorofilômetro (SPAD - Tabela 1). Entretanto, visando estimar a produtividade da cultura, apenas as combinações de ($0^\circ - 0,4$ m), ($22^\circ - 0,4$ m), ($22^\circ - 0,8$ m), ($22^\circ - 1,2$ m), ($45^\circ - 0,4$ m) e ($45^\circ - 0,8$ m) foram correlacionáveis estatisticamente, embora pequeno incremento no coeficiente de correlação linear tenha sido observado. Essa baixa correlação com a produtividade já era esperada pelo fato da cultura da cana-de-açúcar ficar aproximadamente por mais duzentos dias no campo após as medições realizadas com o sensor ótico ativo, suscetível às variações climáticas, ataques de pragas e doenças.

Para a segunda avaliação, mesmo resultando em valores médios de NDVI estatisticamente distintos entre as diferentes combinações de alturas e ângulos do sensor, não foi possível encontrar uma combinação que melhor se ajuste à curva de resposta às doses de N aplicado, ou seja, as combinações apresentaram uma regressão linear no máximo equivalente àquela recomendada pelo fabricante ($0^\circ - 0,8$ m). Pequena variação de resultados foi observada com a utilização da regressão quadrática, indicando decréscimo na eficácia do sensor nas combinações $45^\circ-0,8m$ e $45^\circ-1,2m$.

Desta forma, não foi possível determinar uma configuração mais eficiente na identificação da resposta da cultura ao N, dispensando a alteração na forma de utilização do sensor ótico em cana-de-açúcar.

TABELA 1. Valores médios de NDVI para as nove combinações de alturas e ângulos de coleta, teor de clorofila (SPAD) e produtividade obtidos nos tratamentos nas duas datas de avaliação; análise de variância, regressão linear e quadrática, testes de correlação e de comparação de médias

Dose de N (kg ha ⁻¹)	NDVI									SPAD	Produtividade (ton ha ⁻¹)
	0°-0,4m	0°-0,8m	0°-1,2m	22°-0,4m	22°-0,8m	22°-1,2m	45°-0,4m	45°-0,8m	45°-1,2m		
Primeira avaliação											
0	0,445 a ⁶⁾	0,430 a	0,410 a	0,458 a	0,425 a	0,408 a	0,448 a	0,428 a	0,423 a	45925 a	93,5 a
50	0,435 a	0,415 a	0,395 a	0,455 a	0,420 a	0,395 a	0,445 a	0,408 a	0,398 a	46513 a	108,5 a
100	0,453 a	0,440 a	0,428 a	0,465 a	0,445 a	0,423 a	0,458 a	0,425 a	0,423 a	46513 a	112,6 a
150	0,453 a	0,430 a	0,410 a	0,458 a	0,430 a	0,413 a	0,468 a	0,430 a	0,418 a	48525 a	103,5 a
200	0,448 a	0,440 a	0,425 a	0,460 a	0,448 a	0,420 a	0,460 a	0,423 a	0,423 a	47225 a	103,8 a
Tratamentos ⁽¹⁾	0,736 ns	0,229 ns	0,144 ns	0,955 ns	0,198 ns	0,318 ns	0,592 ns	0,565 ns	0,302 ns	0,047 *	0,151 ns
Reg. Linear ⁽¹⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,021 *	-
Reg. Quadrática ⁽¹⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,407 ns	-
Doses ⁽²⁾	0,180 ns	0,338 ns	0,367 ns	0,158 ns	0,389 ns	0,286 ns	0,322 ns	0,119 ns	0,171 ns	0,521 *	-
SPAD ⁽³⁾	0,183 ns	0,138 ns	0,210 ns	0,312 ns	0,173 ns	0,157 ns	0,420 ns	0,301 ns	0,109 ns	-	-
Produtividade ⁽⁴⁾	0,174 ns	0,008 ns	0,075 ns	0,138 ns	0,117 ns	0,009 ns	0,017 ns	0,259 ns	0,177 ns	0,018 ns	-
Segunda avaliação											
0	0,503 a	0,508 a	0,515 a	0,510 a	0,525 a	0,508 a	0,540 a	0,548 a	0,550 a	42805 a	93,5 a
50	0,538 b	0,543 b	0,548 b	0,540 b	0,558 b	0,545 b	0,568 b	0,570 b	0,573 a	45455 b	108,5 a
100	0,558 c	0,568 c	0,565 c	0,558 c	0,570 b	0,563 b	0,583 b	0,585 c	0,588 b	46625 b	112,6 a
150	0,565 c	0,578 c	0,578 c	0,570 c	0,585 c	0,578 c	0,585 b	0,595 c	0,605 b	47338 b	103,5 a
200	0,565 c	0,585 c	0,590 d	0,573 c	0,585 c	0,583 c	0,590 b	0,595 c	0,610 b	47668 b	103,8 a
Tratamentos	0,001 ***	0,001 ***	0,001 ***	0,0001 ***	0,0001 ***	0,001 ***	0,0011 ***	0,0007 ***	0,0006 ***	0,0063 ***	0,151 ns
Reg. Linear	0,001 ***	0,001 ***	0,001 ***	0,001 ***	0,001 ***	0,001 ***	0,001 ***	0,001 ***	0,001 ***	0,001 ***	-
Reg. Quadrática	0,001 ***	0,013 *	0,014 *	0,031 *	0,024 *	0,015 *	0,037 *	0,054 ns	0,27 ns	0,112 ns	-
Doses	0,867 ***	0,902 ***	0,897 ***	0,858 ***	0,850 ***	0,900 ***	0,820 ***	0,817 ***	0,840 ***	0,763 ***	-
SPAD	0,893 ***	0,892 ***	0,836 ***	0,894 ***	0,831 ***	0,833 ***	0,899 ***	0,825 ***	0,856 ***	-	-
Produtividade	0,467 *	0,425 ns	0,405 ns	0,482 *	0,518 *	0,458 *	0,474 *	0,503 *	0,435 ns	0,346 ns	-

¹ Variação nos tratamentos (análise de variância, regressão linear e quadrática); ² Coeficiente de correlação linear entre NDVI e as doses de N; ³ Coeficiente de correlação linear entre NDVI e os valores SPAD; ⁴ Coeficiente de correlação linear entre NDVI e a produtividade final de colmos; ⁵ Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (p < 0,05); ns, *, ** e *** indicam: não significativo, significativo a 5%, a 1% e a 0,1%, respectivamente.

No experimento de momento do dia não houve diferença estatística na leitura de NDVI em diferentes horários do dia (Figura 3). Acredita-se que pelo fato da cultura não ter apresentado estado de estresse tanto nutricional quanto hídrico, não houve a interferência esperada em virtude da variação do teor de água na planta, da posição nodal das folhas e seu enrolamento em períodos quentes do dia. Estudos semelhantes devem ser conduzidos em situação de estresse hídrico pronunciado, buscando analisar essa possível interferência que, se existir, torna-se uma importante limitação de utilização do sensor ótico.

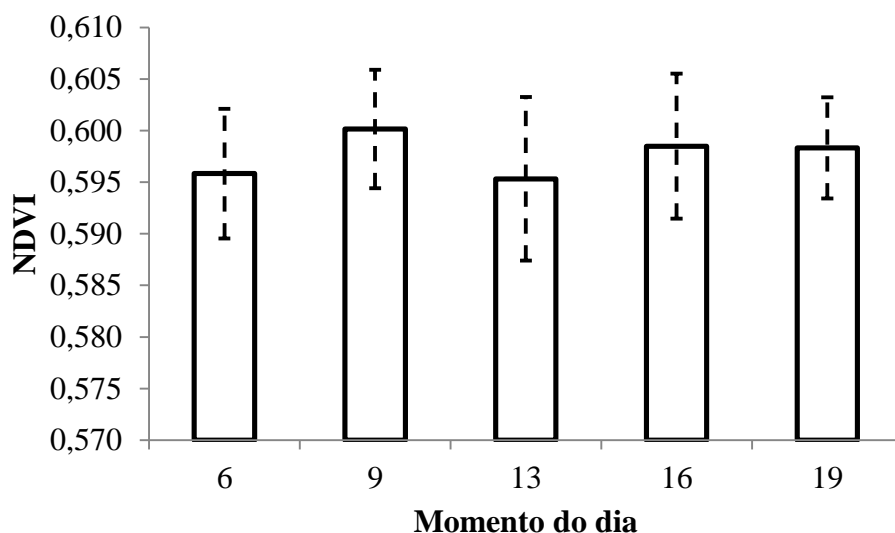


FIGURA 3. Valores de NDVI médios para cada momento do dia; barras verticais indicam o intervalo de confiança para a média a 5%.

Quanto ao experimento de falhas, observa-se com um exemplo de gráfico de resposta (Figura 4) a região de transição das leituras do asfalto para o alvo (destacado em verde) e do alvo para o asfalto (destacado em azul).

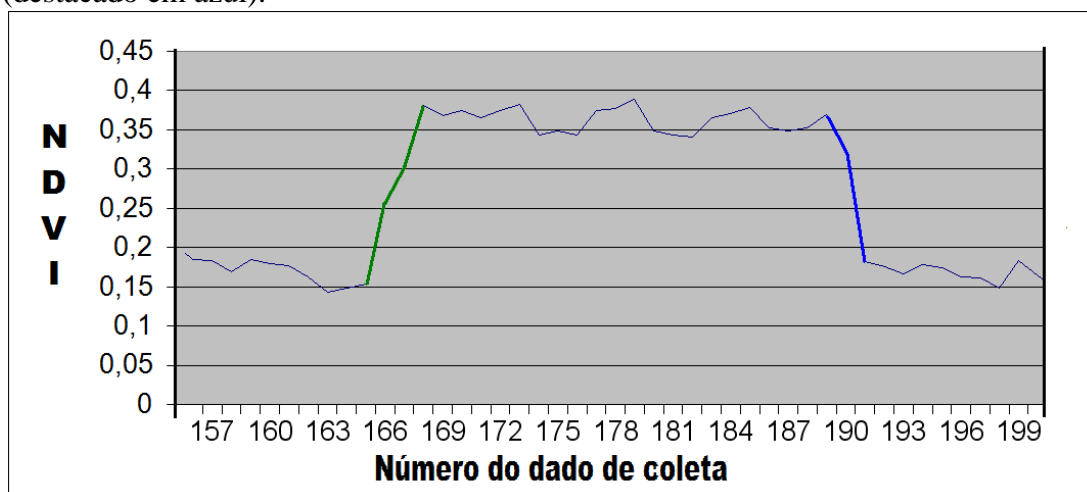


FIGURA 4. Representação de um exemplo da coleta de dados de NDVI indicando as mudanças de alvo entre a superfície asfáltica e o verde, ao longo da coleta de dados.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados separados por tempo de mudança e distância de mudança da superfície asfáltica para o alvo verde e do alvo verde para o asfalto e também o tempo e a distância quando estabilizado sobre o alvo e sobre o asfalto.

Observa-se que a distância de mudança do asfalto para a cor verde foi estatisticamente semelhante entre as faixas de 2,0, 1,0 e 0,5 m pelo teste de Tukey a 5 %, não sendo mais na faixa de 0,25 m, o que se deve ao fato de essa faixa estar muito próxima à média de distância de mudança encontrada para as três primeiras faixas (0,232 m). Isso pode ser comprovado analisando-se a distância da leitura estabilizada no asfalto, para 0,25 m, onde a leitura do NDVI não se estabilizou, ou seja, não ficou com uma variação menor do que 5% no momento em que estava sobre superfície

asfáltica, sendo essa distância praticamente nula (0,009 m). A mudança de alvo do verde para a superfície asfáltica foi estatisticamente semelhante pelo teste de Tukey a 5 % entre as faixas de 2,0 e 1,0 m. Considerando-se os tempos de mudança das faixas entre 2,0 e 1,0 m conclui-se que para uma velocidade de 1,39 m s⁻¹ (5 km h⁻¹) a distância de mudança de alvo de superfície asfáltica para o verde foi de aproximadamente 0,246 m e o tempo de aproximadamente 0,177 s, sendo esse o comprimento mínimo de falhas na fileira que o sensor é capaz de detectar. Quando a distância da falha na fileira de plantas for menor que essa, a leitura do NDVI não se estabiliza dentro de uma variância de 5 %, não permitindo afirmar que naquele ponto há ausência de plantas. Nesse caso, havendo uma falha, para poder quantificar o tamanho da mesma, seria necessário somar a distância da mudança do alvo para a falha e a distância da leitura sobre a falha.

TABELA 2. Valores de tempo de mudança e distância de mudança da superfície asfáltica para o alvo verde e do alvo verde para o asfalto e valores de tempo e distância quando estabilizado sobre a cor verde e sobre o asfalto.

Durante a mudança de:					Leitura estabilizada no:				
asfalto para alvo		alvo para asfalto			Alvo		Asfalto		
Faixas (m)	tempo (s)	dist (m)	tempo (s)	dist (m)	Faixas (m)	tempo (s)	dist (m)	tempo (s)	dist (m)
2,0	0,167	0,231 a ¹	0,182	0,253 a	2,00	1,035	1,439 a	1,047	1,456 a
1,0	0,170	0,236 a	0,171	0,238 a	1,00	0,466	0,648 b	0,433	0,602 b
0,5	0,165	0,230 a	0,137	0,190 b	0,50	0,183	0,254 c	0,120	0,167 c
0,25	0,133	0,185 b	0,110	0,152 b	0,25	0,061	0,085 d	0,007	0,009 d

¹ Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05)

5. CONCLUSÕES

Nas condições do presente estudo não se identificou ganho na sensibilidade do sensor em estimar a nutrição da cana-de-açúcar por N quando utilizado em diferentes alturas e ângulos de coleta. Da mesma forma, não se verificou interferência do horário de coleta de dados nos valores de NDVI obtidos.

De acordo com os resultados obtidos, o comprimento mínimo de falhas na fileira que o sensor é capaz de detectar se deslocando a 1,39 m s⁻¹ é de aproximadamente 0,246 m.

6. AGRADECIMENTOS

À Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP, projeto PROSENSAP, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo apoio financeiro, e à Usina São Martinho, pela parceria e pelo auxílio no planejamento, na instalação, na condução e na colheita dos experimentos.

7. REFERÊNCIAS

AMARAL, L.R.; MOLIN, J.P. Sensor óptico no auxílio à recomendação de adubação nitrogenada em cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 12, p.1633-1642, 2011.

AMARAL, L.R. **Sensor ótico no auxílio à recomendação de nitrogênio para a cultura da cana-de-açúcar**. 2011. 81 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

BAUSCH, W.C.; BRODAHL, M.K. Strategies to evaluate goodness of reference strips for in-season, field scale, irrigated corn nitrogen sufficiency. **Precision Agriculture**, New York, v. 13, p. 104-122, 2011.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C. Nitrogênio e enxofre na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S.; VITTI, G.C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. p. 355-412.

CAVALCANTE, D.S. **Estudo com sensores para a mensuração de falhas nas fileiras de cana-de-açúcar (*Sacchararum SSP.*)**. 2011. 74 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

DELLINGER, A. E.; SCHMIDT, J. P.; BEEGLE, D. B. Developing Nitrogen Fertilizer Recommendations for Corn Using an Active Sensor. *Agronomy Journal*, v.100, n.6, p.1546-52, 2008.

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 em cana-de-açúcar. **STAB. Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil**, v. 26, p. 34-37, 2007.

INAMASU, R.Y.; SOUSA, R.V.; PORTO, A.J.V.; FORTES, C.; LUCHIARI, A.; SCHEPERS, J.S.; SHANAHAN, J.F.; FRANCIS, D.D. Acesso ao estado nutricional da cana-de-açúcar por meio de sensor ativo de refletância. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2., 2006, São Pedro. **Anais...**Piracicaba: ESALQ, 2006. 1 CD-ROM.

MOLIN, J.P.; FRASSON, F.R.; AMARAL, L.R. POVH, F.P.; SALVI, J.V. Capacidade de um sensor ótico em quantificar a resposta da cana-de-açúcar a doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 12, p. 1345-1349, 2010.

MOTOMIYA, A.V.A. et al. Sensoriamento remoto na detecção de deficiência de nitrogênio em algodoeiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...**, Florianópolis: INPE, 2007. p. 299-304.

PRADO, H. Ambientes de produção de cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil. **Informações Agrônomicas**, v.110, p.12-17, 2005. Encarte técnico.

RAUN, W.R.; SOLIE, J.B.; STONE, M.L.; MARTIN, K.L.; FREEMAN, K.W.; MULLEN, R.W.; ZHANG, H.; SCHEPERS, J.S.; JOHNSON, G.V. Optical sensor-based algorithm for crop nitrogen fertilization. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, Monticello, v.36, n.19-20, p.2.759-2.781, 2005.

SCHEPERS, J.S. et al. Comparison of corn leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings. **Communications in soil science and plant analysis**, New York, v.17-20 n.23, p.2173-2187, 1992.