

# Utilização de Sensor Ótico Ativo no Diagnóstico de Falhas de Plantio em Cana-de-Açúcar

\*F. R. Frasson; \*J. P. Molin; \*J. V. Salvi; \*F. P. Povh; \*M. A. L. Garcia

## RESUMO

O sensoriamento remoto fornece uma visão sinóptica das áreas agrícolas, possibilitando a monitoração das culturas em grandes áreas. Recentemente surgiram sensores óticos ativos com características específicas e grande potencial de uso no setor sucroalcooleiro, que vai além do estudo do comportamento espectral da cana-de-açúcar. O objetivo deste trabalho foi correlacionar o NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada) gerado por um sensor ótico ativo comercial com a mensuração convencional de falhas. Tais mensurações são regularmente realizadas manualmente por equipes de controle de qualidade do plantio e requerem grande empenho de mão-de-obra. O experimento foi conduzido em quatro talhões comerciais, com quatro amostras por hectare. As observações indicam que o NDVI gerado pelo sensor apresenta correlações significativas com a porcentagem de falhas levantada pelo método tradicional, assim como as equações obtidas tiveram bons resultados quando validadas, o que sugere a sua aplicação como método automatizado de mensuração de falhas.

**PALAVRAS-CHAVE:** NDVI; Falhas de plantio; Cana-de-açúcar

## SUMMARY

Remote sensing provides a summarized vision of agricultural areas, making possible monitoring crop development in large areas. Recently became available active optic sensors with specific characteristics and great potential of use in sugarcane that goes beyond studies of spectral behavior of sugarcane. The objective of this work was to correlate the NDVI generated from active optical sensor and crop failure made under conventional measurement. Such measurements are regularly conducted by

control quality crew and require significant labor. The experiment was repeated in four commercial fields, with four samples per hectare. Observations indicate that the NDVI generated from the sensor is sufficiently precise, presenting high correlations with the percentage of crop failure measured by the conventional method, as well as the gotten equations showed a good result when validated, indicating that it may be a promising method for automation of failure measurement on sugarcane areas.

## INTRODUÇÃO

O desenvolvimento do setor canavieiro é muito importante para 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. Na safra 2006/2007, a moagem foi de 474,8 milhões de toneladas de cana, resultando na produção de 30,2 milhões de toneladas de açúcar e 17,5 bilhões de litros de álcool, representando um crescimento de 9,1% em relação à safra anterior (CONAB, 2007).

A implantação de uma lavoura de cana-de-açúcar envolve uma série de cuidados por se tratar de uma cultura semi-perene. Para que a colheita, principalmente a mecanizada, seja bem sucedida, é preciso atentar-se ao plantio uma vez que a longevidade do canavial depende da interação entre estas duas operações. Muitos são os fatores que interferem na qualidade do plantio, desde sua densidade, preparo do solo, época de plantio, escolha da variedade, qualidade e idade da muda. Acompanhar o desenvolvimento de uma cultura tem sido cada vez mais imprescindível para a tomada de decisões. Ajustes em tratamentos culturais, irrigação e mesmo replantios podem ser executados pela detecção de falhas nos talhões da cultura ou diferenças no desenvolvimento. Imagens de alta resolução podem fornecer tais dados e auxiliar o acompanhamento do desenvolvimento de uma lavoura, uma vez que as falhas e as diferenças de padrões são claramente percebidas (Jorge; Trindade Júnior, 2002).

Diversos métodos têm sido desenvolvidos para determinação das condições do solo, estado da cultura, detecção de pragas e estresse hídrico, utilizando-se imagens multiespectrais (Barnes et al., 1996). No entanto, poucos têm sido os trabalhos publicados onde se utiliza processamento de imagens digitais para levantamento de falhas de plantio em culturas.

Os índices de vegetação são provavelmente a maneira mais simples e eficiente de se realçar o sinal "verde" ao mesmo tempo em que minimizam as variações na irradiância solar e os efeitos do substrato sobre o dossel vegetal (Jackson; Huete, 1991). A lógica por trás desses índices baseia-se no fato que a energia refletida no vermelho e infravermelho próximo é diretamente relacionada à atividade fotossintética da vegetação. Um dos índices de vegetação mais utilizados tem sido o chamado índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), cuja simplicidade e relativa alta sensibilidade à densidade da cobertura vegetal tornaram possível comparações espaciais e temporais da atividade fotossintética terrestre, bem como o monitoramento sazonal, inter-anual e variações de longo prazo dos parâmetros estruturais, fenológicos e biofísicos da vegetação em escala global (Wang et al., 2003).

Na cultura da cana-de-açúcar a utilização das técnicas de sensoriamento remoto tem sido empregada nas questões como classificação e mapeamento (Tardin et al., 1992), manejo (Fiorio et al., 2000) e estimativa de produtividade (Rudorff e Batista, 1990). Os sensores óticos ativos, ou seja, aqueles providos de luz própria vêm sendo avaliados para verificar o potencial de uso em recomendações de adubação nitrogenada em tempo real, no Brasil, para cana-de-açúcar (Inamasu et al., 2006), trigo (Povh et al., 2007), algodão (Motomiya et al., 2007), entre outras culturas.

Stolf (1986) propôs um método de avaliação de falhas de plantio em cana-de-açúcar que basta contar e computar a somatória da distância de falhas acima de 0,5 m, num determinado trecho da linha. Entretanto essa mensuração realizada manualmente por equi-

\* ESALQ/USP - Piracicaba - SP.

pes de controle de qualidade do plantio requer grande empenho de mão-de-obra, e com a mecanização da colheita ao plantio a escassez de mão-de-obra é cada vez maior. Dentro deste enfoque o presente trabalho busca fazer um levantamento em canaviais comerciais, da ocorrência de falhas de plantio, correlacionando o NDVI gerado por um sensor ótico ativo comercial com a mensuração convencional de falhas.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em áreas comerciais, sem acompanhamento do plantio, na Usina Iracema, localizada em Iracemápolis, SP. Foram avaliados quatro talhões comerciais, sendo dois com a variedade SP89-1115 e dois com a SP91-1049, ambas com aproximadamente 150 DAP. A densidade amostral foi, em média, de uma amostra a cada dois hectares, onde cada ponto amostral era composto por 10 linhas de 30 m.

Foi realizado um levantamento manual das falhas (Figura 1a), seguindo o método proposto por Stolf (1986). Em seguida realizaram-se as leituras destas linhas utilizando um sensor ótico ativo comercial (GreenSeeker Red Hand Held™, NTech Industries, Inc., Ukiah, CA). Este sensor emite radiação ativa em dois comprimentos de onda, 660 (± 10 nm, vermelho) e 770 nm (± 15 nm, infravermelho próximo), e capta a reflectância dos alvos independente das condições de luminosidade e calcula automaticamente o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI). As leituras foram feitas manualmente, em média, a 1,0 m de distância do alvo como recomendado pelo fabricante (Figura 1b), passando o sensor sobre todas as 10 linhas do ponto amostral. As análises foram realizadas para cada talhão, como tentativa de reduzir as variações no modelo proposto, uma vez que a variedade, o tipo de solo, a idade da planta interferem nos valores das leituras do NDVI.

Realizou-se a análise estatística descritiva dos dados. O teste t de Student foi realizado para avaliar a correlação entre as leituras de NDVI e a porcentagem de falhas. A análise de regressão foi avaliada por meio de variância, verificando-se a significância pelo teste F de Snedecor, assim definindo os melhores parâmetros para a geração de gráficos de regressão linear entre as variáveis NDVI gerado pelo sensor e o índice de falhas (%) da área, além da análise de correlação. Gerada a equação referente às falhas de cada talhão foi realizada a sua validação, para isto foi utilizado um ponto de cada talhão que não foi utilizado na geração da equação. Posteriormente foi realizada a análise de regressão entre os dados estimados e os observados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de leituras de NDVI, geradas pelo sensor, e a porcentagem de área falhada nos talhões analisados, são apresentados na Tabela 1. Segundo a metodologia proposta por Stolf (1986), as áreas comerciais plantadas com a variedade SP91-1049 apresentam qualidade de plantio normal, sendo este o tipo mais comum encontrado em áreas comerciais (porcentagem de falhas entre 10-20%) e a área cultivada com a variedade SP89-1115 encontra-se com uma qualidade do plantio subnormal (porcentagem de falhas entre 20-35%). Não foram investigadas as causas das falhas nestas áreas.

Em relação às médias de NDVI apresentadas nota-se que são diferentes entre as variedades e condições da cultura. Estudos mostraram a sua alta correlação com parâmetros associados ao desenvolvimento e produtividade das plantas, tais como densidade de vegetação e cobertura (ORMSBY et al., 1987). Feita a análise de correlação, Tabela 1 entre as leituras de NDVI e a porcentagem de falhas nos ambientes estudados, comprovou-se que há correlação significativa entre estas variáveis. A variedade SP91-1049 apre-

sentou a menor correlação, sendo de 70% no talhão 1 e 57% no talhão 2, enquanto a variedade SP89-1115 apresentou maior correlação sendo de 71% no talhão 3 e 78% no talhão 4. O valor de r mostra-se negativo, pois à medida que se aumenta a porcentagem de falhas diminui a média do NDVI lido pelo sensor ativo (correlação negativa).

O NDVI apresenta boa relação com o índice de área foliar (Jackson; Huete, 1991), assim sendo, espera-se que áreas com maior porcentagem de falha apresentem menores valores de NDVI devido à interferência do solo, como foi observado nos talhões 1 e 2 para a variedade SP91-1049, porém tal fenômeno não foi observado na variedade SP89-1115 comparando-se os talhões 3 e 4 (Tabela 1). Na Figura 2 apresenta-se a análise da regressão linear das porcentagens de falhas nos quatro talhões avaliados. A variedade SP89-1115, talhão 3, apresentou o maior  $R^2$  (0,60) enquanto a variedade SP91-1049, talhão 2, apresentou o menor  $R^2$  (0,32). Nota-se um comportamento descendente das retas geradas em função das equações. Isso ocorre, pois áreas com maior porcentagem de falha apresentam menores valores médios de NDVI devido à interferência do solo (Figura 1a), ou seja, quanto maiores forem as falhas, maior é a parcela de solo exposto e mais fácil é para o sensor as identifique. Uma situação onde podem ocorrer problemas é no caso do canavial estar em estágio mais avançado de desenvolvimento e as folhas das canas vizinhas encobrirem as falhas, assim estas não serão identificadas.

Nota-se um comportamento diferente para cada variedade e para a mesma variedade em talhões distintos. Este resultado pode ocorrer por influência do ambiente de produção na produção de biomassa. Isto indica que para que as leituras do sensor possam ser utilizadas como um indicador de falhas deve-se realizar uma calibração prévia na área. Esta calibração pondera o fator da produção de biomassa nos talhões independente da época de plantio, não havendo, portanto, uma época exata para aplicação do método. Esta época será dependente do estágio de desenvolvimento da cultura. Assim, para cada situação deve-se montar uma função para que, quando a lavoura tenha suas linhas lidas pelo sensor possa ser estimada a porcentagem de falhas maiores que 0,5 m.

As funções  $y = ax + b$  foram definidas para as duas variedades, nos talhões avaliados, sendo possível nestas áreas e condições, a estimativa da porcentagem de falhas a partir das leituras de NDVI obtidas pelo sensor ativo. A Tabela 2 mostra os valores estimados de porcentagem de falhas quando se tem o valor do NDVI obtido com o sensor e o erro médio para cada talhão.

Os valores estimados da porcentagem de



Figura 1 - Medida de falhas segundo método proposto por STOLF (1986) (a) e leitura de NDVI com o sensor ótico ativo com leituras diretas sobre as linhas da cultura (b)

falhas com as equações obtidas (Figura 3) foram, na sua maioria, maiores que os valores observados pelo método tradicional de levantamento de falhas. Na tentativa de estabelecer um coeficiente de determinação entre os valores de falhas observadas e estimadas com o uso do sensor, traçou-se a curva de regressão entre estas variáveis (Figura 3). Os valores estimados com o uso das equações para porcentagem de falhas de plantio em cana-de-açúcar apresentam regressão significativa em relação aos valores levantados pelo método tradicional, o que pode ser notado pelos valores de  $R^2$ . Este fato também é comprovado quando se traça a curva de regressão geral, ou seja, sem considerar os talhões e as variedades, na qual se obteve um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) elevado (0,81) e com uma correlação de 90%.

Os dados estimados com o auxílio do sensor óptico ativo utilizado e os dados obtidos por medições de campo, apresentam boa correlação entre si, sendo esta dependente das variedades e ambientes de produção. Após o plantio, quando as plantas já se encontram bem desenvolvida, normalmente próximo aos 120 DAP, realiza-se a operação de “quebra lombo” para aumentar área de suporte ao tráfego e evitar pisoteio dos sulcos pelos veículos de transporte e assim a superfície do solo fica plana, facilitando a colheita mecanizada. Sensores dessa natureza poderiam ser adaptados ao trator que realiza esta operação, de modo que os dados possam ser coletados para monitorar a qualidade do plantio realizado, sem a necessidade de uma operação específica para a mensuração das falhas. Esses dados podem ser facilmente georreferenciados com o uso de um receptor de GPS integrado ao coletor de dados, como no caso do sensor utilizado nesse estudo. Com isso haveria não somente a mensuração e quantificação das falhas, mas também a sua localização. Nota-se a necessidade de novos trabalhos, em diferentes áreas e condições de campo para um melhor ajuste desse tipo de sensor para tal aplicação, além de testá-lo acoplado a um trator, para que se possa realizar a leitura espacializada de todas as linhas de um talhão.

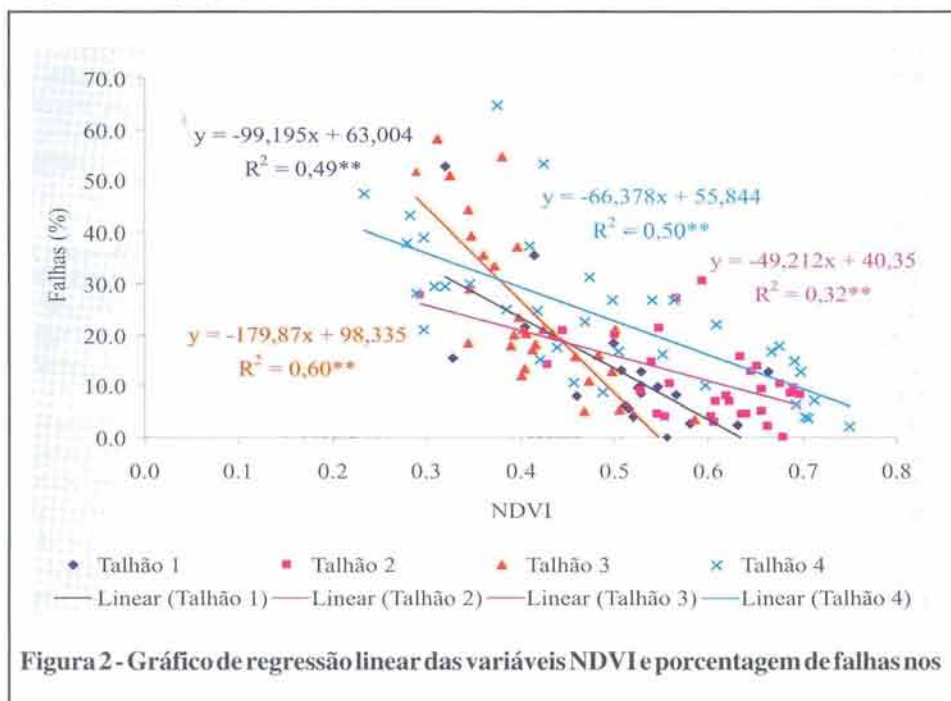
#### CONCLUSÕES

Os valores de NDVI gerados pelo sensor mostraram resultados bastante satisfatórios, apresentando correlações significativas com a porcentagem de falhas de plantio mensurada manualmente e encontradas nas áreas comerciais avaliadas, fazendo-se necessária uma calibração prévia para adequar o sensor às condições da cultura. O uso das equações para estimativa de porcentagem de falhas de plantio mostrou-se satisfatório.

**Tabela 1 - Análise estatística e correlação do NDVI e porcentagem de falhas, nos talhões avaliados, considerando as duas variedades estudadas**

	Talhão 1		Talhão 2		Talhão 3		Talhão 4	
	SP91-1049				SP89-1115			
	NDVI	% falhas	NDVI	% falhas	NDVI	% falhas	NDVI	% falhas
Média	0,506	12,8	0,592	11,2	0,387	22,75	0,487	23,5
Desvio padrão	0,09	12,27	0,09	7,95	0,06	12,74	0,15	14,4
CV (%)	17,16	95,83	15,16	70,96	15,52	56,01	31,73	61,28
Curtose	0,68	5,58	3,11	0,24	-0,56	0,11	-1,23	0,74
Assimetria	-0,67	2,21	-1,55	0,98	0,02	0,92	0,15	0,84
Intervalo	0,34	52,67	0,4	30,47	0,24	46,67	0,52	62,43
Mínimo	0,32	0	0,29	0	0,27	5	0,23	2,23
Máximo	0,66	52,67	0,7	30,47	0,51	51,67	0,75	64,67
Contagem	20	20	30	30	30	30	36	36
r	-0,70**		-0,57**		-0,71**		-0,78**	

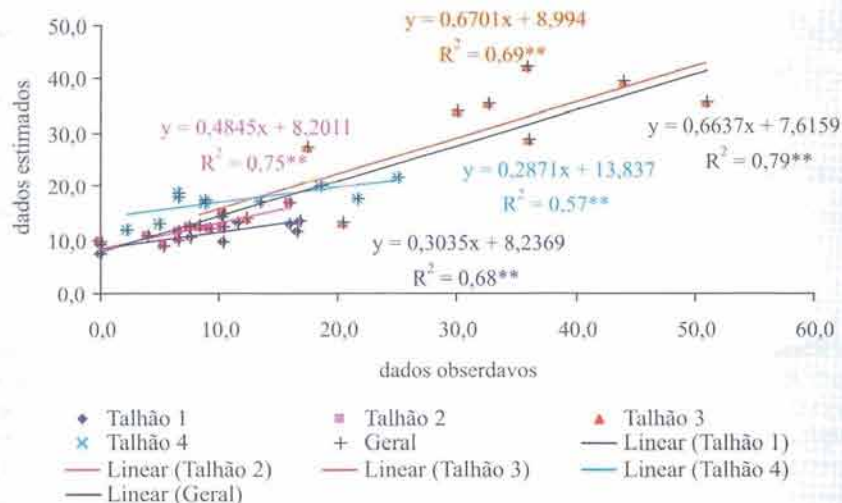
\*\*significativo ( $p < 0,05$ )



**Figura 2 - Gráfico de regressão linear das variáveis NDVI e porcentagem de falhas nos**

**Tabela 2 - Porcentagem de falhas observadas pelo método de STOLF (1986), estimados utilizando as equações obtidas e porcentagem do erro**

	Falhas (%)		
	Observadas (a)	Estimadas (b)	Erro (a-b)
<b>SP91-1049</b>			
Talhão 1	8,92	10,94	2,02
Talhão 2	7,60	11,88	4,28
<b>SP89-1115</b>			
Talhão 3	28,83	28,31	-0,52
Talhão 4	11,72	17,20	5,48
Média	14,27	17,08	2,08



**Figura 3 - Curva de regressão (linear) entre os valores de falhas observados pelo método de Stolf (1986) e os valores estimados com o uso do sensor.**

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARNES, E.M.; MORAN, M.S.; PINTER JR., P.J.; CLARKE, T.R. Multispectral remote sensing and site-specific agriculture: Examples of current technology and future possibilities precision agriculture. In: INTERNATIONAL CONFERENCE, ASA/CSSA/SSA, 3., 1996, Madison. Proceedings ... Madison: ASA; CSSA; SSSA, 1996. p. 845-854.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira da cana-de-açúcar 2007/2008: primeiro levantamento. Brasília, 2007. 12 p.

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 ... São Pedro: ESALQ/USP, 2006. 8 p.

JACKSON, R.D.; HUETE, A.R. Interpreting vegetation indices. Preventive Veterinary Medicine, Amsterdam, v. 11, n. 3/4, p. 185-200, Dec. 1991.

JORGE, L.A.C.; TRINDADE JUNIOR, O. Metodologia para utilização de aeromodelos em monitoramento aéreo. São Carlos: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2002. 6 p. (Circular Técnica, 15).

MOTOMIYA, A.V. DE A.; MOLIN, J.P.; DIAS, C.T. DOS S.; LIMA, V.P. DE T.; CHIAVEGATO, E.J.; FRASSON, F.R. Sensoriamento remoto na detecção de deficiência de nitrogênio em algodoei-

ro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis, Anais... Florianópolis: INPE, 2007. p. 299-304.

ORMSBY, J.P.; CHOUDHURY, B.J.; OWE, M.

Vegetation spatial variability and its effects on vegetation indices. International Journal of Remote Sensing, London, v. 8, n. 9, p. 1301-1306, 1987.

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. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis, Anais... Florianópolis: INPE, 2007. p. 343-350.

QUEIROZ, D.M.; DIAS, G.P.; MANTOVANI, E.C. Agricultura de precisão na produção de grãos. In: BORÉM, A.; GIUDICE, M.P.; QUEIROZ, D.M.; MANTOVANI, E.C.; FERREIRA, L.R.; VALLE, F.X.R.; GOMIDE, R.L.(Ed.). Agricultura de precisão. Viçosa: UFV, 2000. p.1-41.

STOLF, R. Metodologia de avaliação de falhas nas linhas de cana-de-açúcar. STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos, Piracicaba, v. 4, n. 6, p. 22-36, jul./ago.1986.

WANG, Z.X.; LIU, C.; HUETE, A. From AVHRR-NDVI to MODIS-EVI: advances in vegetation index research. Acta Ecologica Sinica, cidade, v. 23, n. 5, p. 979-988, 2003.



## NOVOS EQUIPAMENTOS CONGER

A CONGER reformulou seus Aparelhos de Destilação com a mais avançada tecnologia, tanto no que concerne ao cálculo mecânico e as variáveis construtivas quanto na melhoria de performance e desempenho operacional. Dessa forma os novos equipamentos:

- ✓ Atendem à NR-13.
- ✓ São mais econômicos.
- ✓ São mais eficientes.
- ✓ Possibilitam uma montagem mais rápida.
- ✓ Facilitam a operação.
- ✓ Representam o mais avançado estado da arte.

### CONGER S.A. – EQUIPAMENTOS E PROCESSOS

Rod. SP 127, Km 51 – Cx Postal 002

13.440-000 Saltinho/ SP

Fone/ Fax: (19) 3439.1101 - Ramal 1121

Site: [www.conger.com.br](http://www.conger.com.br) E-mail: [conger@conger.com.br](mailto:conger@conger.com.br)