

CONBAP 2008 - CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO



# ConBAP<sup>2008</sup>

CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO

**ANAI DO CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO 2008**

[www.agriculturadeprecisao.org.br/conbap](http://www.agriculturadeprecisao.org.br/conbap)  
**04 a 06 de Junho de 2008**  
USP/ESALQ - Piracicaba, SP  
Editores: Carlos Alberto Vettorazzi - José Paulo Molin



Este CD-Rom foi patrocinado por:

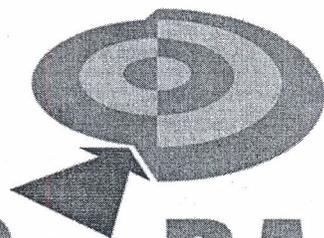


Organização e Promoção:



Apoio:





# CONBAP 2008

CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO

## ANAIS DO CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO 2008

04 a 06 de Junho de 2008

USP/ESALQ - Piracicaba, SP

Editores: Carlos Alberto Vettorazzi - José Paulo Molin

<http://www.agriculturadeprecisao.org.br/conbap>

Organização e Promoção:



Apoio:



## USO DE SENSOR ULTRA-SÔNICO PARA MEDIÇÃO DA VARIABILIDADE ESPACIAL DA ALTURA DE PLANTAS EM CULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR

Giovana T. Tangerino<sup>1</sup>, Ricardo Y. Inamasu<sup>2</sup>, Rafael R. Freitas<sup>3</sup>, Robson R.D. Pereira<sup>4</sup>, Eduardo P. Godoy<sup>5</sup>, Rafael V. Sousa<sup>6</sup>

**PALAVRAS-CHAVE:** SONAR; NDVI; SENSORIAMENTO REMOTO.

### HEIGHT SPACIAL VARIABILITY OF SUGARCANE CROP CANOPY BY ULTRASONIC DISTANCE SENSOR

#### SUMMARY

To achieve a real time input application control on VRT system, the use of plants as a stress indicator associated with an on-the-go sensors type is one of most interesting key. This work presents ultrasound sensor to get plant canopy height as an one more space variability parameter reader. This sensor, associated with NDVI active sensor, brings additional dimension to identify crop status. The system applied is NDVI active sensor, ultrasound sensors and GPS receptor, mounted on height clearance tractor, attached at a sub notebook computer type to do synchronized reading. The experience was done on sugar-cane crop. The result shows that at this culture, the ultrasound sensor may also help to identify if the NDVI data was in the correct distance range.

**KEYWORDS:** ULTRASOUND DISTANCE SENSOR; NDVI ACTIVE SENSOR; REMOTE SENSING.

#### INTRODUÇÃO

Uma das grandes oportunidades para o uso de Agricultura de Precisão da forma como é idealizada, tratando variabilidade espacial da plantação para obter maior

---

<sup>1</sup> Eng<sup>a</sup> Eletricista, Escola de Engenharia de São Carlos EESC – USP, giovanatt@usp.br

<sup>2</sup> Dr. Eng<sup>o</sup> Mecânico, Pesquisador da Embrapa Instrumentação Agropecuária de São Carlos - SP

<sup>3</sup> MSc. Mecânico, EESC - USP

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup> Eletricista, EESC - USP

<sup>5</sup> MSc. Mecânico, EESC - USP

<sup>6</sup> Dr. Eng<sup>o</sup> Mecânico, EESC - USP

produtividade e menor influência do manejo ao meio, reside no detalhamento das informações espaciais da plantação ainda em tempo de realizar intervenção na cultura.

Na fase atual de pesquisa em Agricultura de Precisão ainda existe a necessidade de identificar o complexo de fatores de produção espacialmente dominantes e limitantes em cada sistema de produção (MOLIN, 2004). Fatores instáveis como praga, doença, umidade, disponibilidade de N, se dominantes, apresentam-se de difícil identificação após a colheita. Uma alternativa que se tem usado é a investigação durante o crescimento da planta por meio de sensor e imagem.

São observados dois focos principais de estudo no tema Agricultura de Precisão. O primeiro é a busca por uma correlação da produtividade com os dados coletados pelos sensores. O segundo é a coleta de dados em quantidade suficiente em grandes plantações de forma a detalhar satisfatoriamente possíveis manchas.

Os trabalhos descritos a seguir mostram a capacidade de diversos sensores em indicar certas características de diferentes tipos de plantação. Alguns deles relacionam índices vegetativos com nível de clorofila das plantas, em Frasson (2007) encontra-se uma revisão bibliográfica abrangente sobre diversos estudos realizados em diferentes culturas relacionando NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e índice de clorofila com índices vegetativos. Frasson (2007) faz um estudo sobre o uso de sensor óptico ativo em cana-de-açúcar avaliando o comportamento do NDVI em diferentes casos e Povh (2007) também avalia o comportamento do NDVI com o mesmo sensor para culturas em cereais, nesses trabalhos foi usado o sensor Green Seeker Hand Held™, NTech Industries, Inc. Ukiah, CA ([www.ntechindustries.com](http://www.ntechindustries.com)).

Solari (2006) descreve um estudo completo sobre o uso de sensores ativos em plantações de milho, comparando os sensores Crop Circle (HOLAND, 2008), Green Seeker e SPAD. Solari conclui que os sensores podem ser usados para prever a disponibilidade de nitrogênio (N) para a cultura. Inamasu (2006) sugere que o NDVI medido pelo Crop Circle pode identificar a deficiência de N em culturas de cana-de-açúcar com conseqüente uso em controle de tempo real em aplicação de fertilizante.

Aziz *et al.* (2004) ressalta que medições não destrutivas das fases de crescimento vegetal e da altura da planta pode ser útil para práticas mais eficientes de gestão de culturas. Aziz *et al.* (2004) apresenta estudos sobre a tecnologia de sensor ultra-sônico como uma abordagem para a caracterização da planta milho, com o objetivo de desenvolver um sistema que poderia ser usado em operações de sensoriamento de variações na Agricultura de Precisão.

Aziz *et al.* (2004) cita em seu trabalho diversos estudos feitos com ultra-som para finalidades agrícolas. Entre eles: Sudduth *et al.* (1998) comparou dois métodos, medidas de largura de planta local com ultra-som e com GPS e concluiu que sensores ultra-sônicos são mais baratos e podem fornecer medidas diretas de largura sem todo o

processamento de dados que o método do GPS exige; Kataoka *et al.* (2002) mostra que o sensor de ultra-som tem bom desempenho para medidas de altura de milho e soja comparado com o sensor de distância baseado em *laser*, Sui *et al.* (1989) desenvolveu um sistema de medidas baseado em microcomputador usando módulos de ultra-som para fornecer estimativas precisas e consistentes de volume de planta, largura máxima, largura média e altura para variedades em formato de arbusto como algodão e soja.

Regunathan & Lee (2005) usam sensor ultra-sônico em conjunto com câmera colorida para identificar e determinar o tamanho de frutas cítricas. O sensor é usado para determinar a distância entre a fruta e a câmera. O erro na estimação do tamanho das frutas pode ser causado por imprecisões nas medidas do ultra-som.

Zaman & Salyani (2004) afirmam que sensores ultra-sônicos podem ser usados para quantificar e mapear volume de árvores, sendo útil para planejar o gerenciamento específico de um arvoredo e estimar rendimentos agrícolas e fazem um estudo dos efeitos da densidade da folhagem e da velocidade sobre a medição do volume das árvores de citrus. Zaman *et al.* (2005) usaram um sistema formado por sensores ultra-sônicos e DGPS (*Differential Global Positioning System*) para fazer medidas do tamanho das árvores e para assim gerar um mapa de prescrição para aplicação variada de fertilizante nitrogenado. Zaman *et al.* (2006) afirmam que o mapeamento do dossel de árvores a partir de um sistema automatizado com sensores ultra-sônicos é barato, bastante simples e pode ser utilizado para estimar o rendimento das frutas no arvoredo para práticas de gerenciamento localizado.

Marti *et al.* (2006) desenvolveu projeto corporativo com a participação de diversas instituições e universidades da Espanha, com a finalidade de desenvolver um sistema de controle de pulverizador para aplicação de pesticidas em pomares. Utilizou sensores ultra-sônicos detectando a presença árvores para a regulação dinâmica e em tempo real do fluxo do produto lançado. Esse sistema trabalha em conjunto com o circuito hidráulico e tem uma válvula elétrica liga/desliga em cada lado da máquina que interrompe o fluxo de produto se o sensor não detecta a árvore.

Scotford & Miller (2004, 2005) têm utilizado sensor de refletância em conjunto com sensor de altura para determinar densidade de perfilho e índice de área foliar em milho de inverno. Seus trabalhos relacionaram a refletância com altura de milho concluíram a validade da união dos sensores.

O trabalho descreve a aplicação de sensor ultra-sônico para medir altura das plantas em cultivo de cana-de-açúcar e associar essa informação às leituras de NDVI. O objetivo específico desse trabalho é determinar a influência da altura do sensor em relação ao dossel das plantas nesse índice. Porém, o experimento tem como objetivo maior criar subsídios para definir a utilização do sensor ultra-sônico em conjunto com o

sensor de refletância para inferir do estado nutricional das plantas em cultivos de cana-de-açúcar.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para o presente trabalho, foi utilizado o sonar 6500 Series Ranging Modules da Sens Comp ([www.senscomp.com](http://www.senscomp.com)); sensor Crop Circle modelo ACS-10 da Holland Scientific; trator 275 da Massey Ferguson adaptado em forma de pórtico com cerca de 1,70 m de altura de voo (figura 1); DGPS Ag 114 da Trimble com sinal diferencial; sub-notebook; USB Hub; conversor USB serial; e programa de aquisição desenvolvido em LabView v 7.0 da National Instruments.

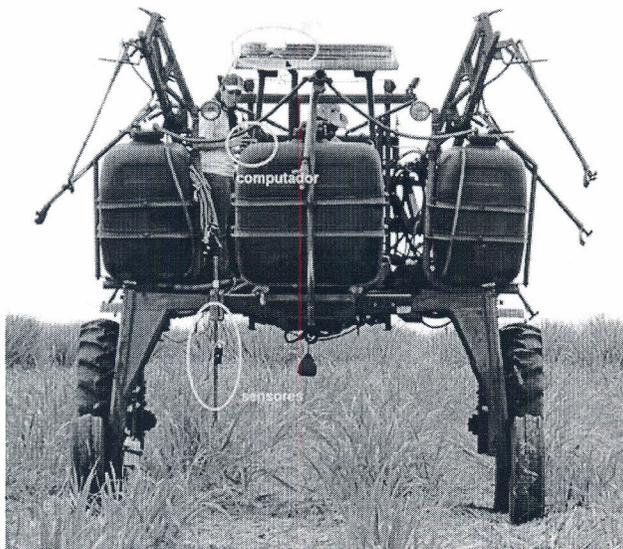


Figura 1 – Trator adaptado em uso na Usina São Martinho.

O sensor Crop Circle é um sensor ativo de refletância e fornece informações sobre índices vegetativos da planta. Possui uma fonte própria que emite luz infravermelha próxima (NIR - *near infrared light*) e usa o princípio de que as plantas absorvem a luz visível e refletem uma porção da luz infravermelha devido a propriedades estruturais da planta. Emite ondas de luz na banda de 650 nm a 880 nm (vermelho/NIR) e tem dois detectores de luz, um na faixa de 400 nm a 680 nm e outro na faixa de 800 nm a 1100 nm. A luz refletida é absorvida pelo sensor e utilizada para fazer cálculos de biomassa vegetativa que é diretamente proporcional à biomassa da planta. O sensor está programado para fornecer três tipos de dados: RNIR (*infrared*

*band reflectance*), RVIS (*visible band reflectance*) e NDVI. Segundo o manual de instruções o sensor pode fazer medidas estando posicionado a uma distância de 0,3 m a 2,13 m do alvo, e deve estar posicionado a uma distância de 0,5 m à 0,91 m para medidas ótimas.

Foram realizados dois tipos de ensaios:

No primeiro tipo foi realizada uma caracterização em ambiente controlado para determinar a influência da distância do sensor de refletância em relação ao dossel. Em laboratório o sensor Crop Circle foi fixado em um tripé que facilitou o seu deslocamento vertical. Uma folha de camurça da cor verde foi colocada no chão simulando o dossel. A distância entre o sensor e a folha foi variada de 0,30 m a 1,10 m em intervalos de 0,1 m. Para análise dos dados foram feitos cálculos de média e desvio padrão.

O segundo tipo de ensaio foi realizado em campo conforme descrito a seguir.

Para o experimento em campo o GPS foi instalado na cobertura da cabine do trator de forma a permitir a obtenção de dados sem obstáculos. Estava configurado para enviar o padrão NMEA GGA, com informações de latitude e longitude a cada 1 segundo.

Crop Circle e Sonar foram fixados em perfis de aço ajustáveis adaptados no trator e posicionados de forma a se localizarem sobre a linha de plantio emitindo sinais paralelos ao sentido de crescimento da planta (figura 2).



Figura 2 – Fixação dos sensores Crop Circle e Sonar.

O sensor Sonar da SensComp é composto por circuito de adaptação de sinal e um transdutor. Para funcionamento do sonar é necessário enviar um sinal de inicialização que aciona o envio do pulso sonoro. O tempo decorrido desta inicialização até a chegada do sinal de eco é proporcional à distância entre o sensor e o alvo, calculada a partir da velocidade do som ( $340 \text{ m.s}^{-1}$  a  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Para o correto funcionamento da aplicação foi utilizado um circuito de controle composto por microcontrolador PIC18F258 programado em linguagem C, capaz de enviar esse sinal de inicialização na frequência aproximada de dez pulsos por segundo. Finalizando, todo o circuito foi ajustado em uma caixa plástica fechada e vedada, permitindo assim o uso do Sonar em campo.

Os dados do GPS, do Crop Circle e do Sonar são enviados via comunicação serial a partir de três cabos conversores USB/serial para o computador preparado para receber os dados e guardá-los em arquivo.

O software responsável pela leitura e gravação de dados foi desenvolvido na plataforma de desenvolvimento Labview da National Instruments. Ele é capaz de fazer a leitura de até quatro sensores (um Crop Circle, dois Sonares e um GPS), e gravar seus dados em arquivos separados. À cada dado lido é adicionada a hora do sistema para facilitar posterior análise.

A área do experimento está localizada nas propriedades da Usina São Martinho, na fazenda Barrinha, em Pradópolis – SP, ambiente de produção A, tipo de solo LR.2 com fertilidade alta e textura argilosa. O experimento completo é compostos por 60 parcelas com 20 variedades de cana-de-açúcar distribuídas aleatoriamente em três blocos com aplicação de 0, 60 e 120 ton de N por ha. Cada parcela é composta por quatro sulcos de 15 metros. Para esta análise foi escolhida uma variedade CT92-1894 de ciclo de colheita de meia safra e sem aplicação de N.

As datas relacionadas ao experimento estão indicadas na tabela 1.

Tabela 1. Datas relacionadas ao experimento: plantio, cortes, adubação e coletas de dados com a altura dos sensores.

Data	Altura dos sensores (m)
19/10/2004	Plantio
20/10/2005	Primeiro corte
19/09/2006	Segundo corte
28/09/2007	Terceiro corte
13/11/2007	Adubação
23/11/2007	Altura do sensor = 1,38 m
07/12/2007	Altura do sensor = 1,70 m
21/12/2007	Altura do sensor = 1,89 m
04/01/2008	Altura do sensor = 2,18 m
18/01/2008	Altura do sensor = 2,37 m
01/02/2008	Altura do sensor = 2,54 m

Acompanhando o crescimento das plantas, para todas as datas os sensores foram posicionados de forma a ficar a uma distância de 0,5 a 1 m das folhas. Então para cada data foram feitas medidas para calibração da altura dos sensores para correta análise dos dados como pode ser observado na tabela 1. Então a altura das plantas é calculada pela seguinte fórmula:

$$A = A_s - D$$

em que:

A – altura da planta (m);

$A_s$  – altura do sensor em relação ao solo (m);

D – distância medida pelo sonar entre o sensor e a planta.

O deslocamento do trator foi realizado a uma velocidade aproximada de  $1,5 \text{ m.s}^{-1}$  a  $2,5 \text{ m.s}^{-1}$ . Ajustou-se os sensores Crop Circle e Sonar para uma aquisição de 10Hz (dez leituras por segundo), obtendo mais de 100 pontos por parcela.

Para a parcela escolhida foi verificado se houve relação entre as medidas de NDVI e de altura.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados do primeiro tipo de ensaio que verificou a influência da distância do sensor em relação às leituras de NDVI estão indicados na tabela 2:

Tabela 2. Resultados da influência da distância do sensor ao alvo.

	0,3 m	0,4 m	0,5 m	0,6 m	0,7 m	0,8 m	0,9 m	1,0 m	1,1 m
Média	0,723	0,799	0,802	0,798	0,770	0,772	0,767	0,772	0,765
	6,6E-	9,5E-	1,8E-	2,2E-	3,3E-	1,7E-	2,0E-	2,3E-	3,7E-
Erro padrão	05	05	05	05	05	05	05	05	05
Desvio padrão	0,0022	0,0032	0,0006	0,0007	0,0011	0,0005	0,0006	0,0008	0,0012
Contagem	1149	1149	1149	1149	1149	1149	1149	1149	1149

Os resultados de média indicam que quando a distância do sensor ao alvo estava dentro do intervalo indicado pelo fabricante como sendo ótimo (0,5 m a 0,91 m), as médias mostraram uma tendência de decréscimo do NDVI enquanto a distância aumenta, sendo o desvio padrão menor para essas distâncias.

Para o segundo tipo de ensaio a figura 3 mostra os dados obtidos em campo, são dez gráficos referentes à mesma linha da parcela escolhida, para cada uma das seis datas é mostrado o gráfico de NDVI e o gráfico da distância entre o sensor e o dossel.

Como pode ser observado pelos gráficos a curva de altura do dossel tem a mesma tendência de forma que a curva do NDVI.

Duas discussões principais podem ser levantadas a partir desses dados:

Primeiro: Levando-se em consideração os resultados da influência da distância do sensor em relação ao NDVI, talvez seja possível determinar uma relação entre distância e NDVI que seja capaz de diminuir essa influência;

Segundo: Sabendo que o sensor de NDVI tem uma faixa de operação, é possível com o auxílio do sensor de distância determinar quando os dados de NDVI são válidos.

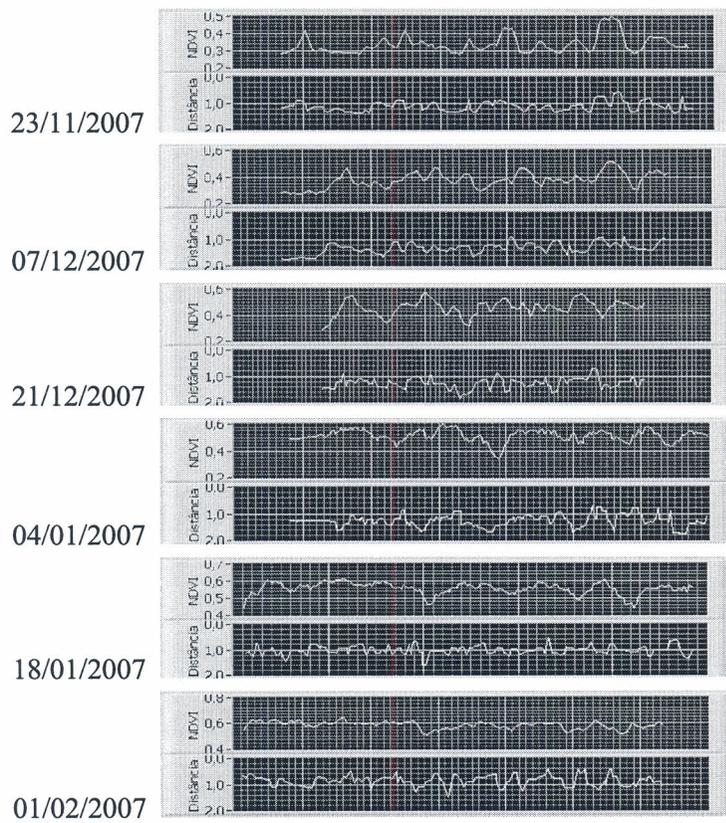


Figura 3 – NDVI e distância do sensor ao dossel.

## CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que o uso do sonar como um fator adicional na caracterização de extensas áreas de plantação pode ser útil e com os dados devidamente analisados pode vir a ser uma maneira eficaz de verificar o crescimento da plantação. A leitura dos dados do sonar sincronizada com a leitura de outro sensor, no caso o Crop Circle, pode auxiliar na análise da variabilidade espacial do vigor vegetativo da planta cana-de-açúcar.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZIZ, S.A.; STEWARD, B.L.; BIRREL, S.J. Ultrasonic Sensing for corn plant canopy characterization. ASAE Paper No. 041120., Ottawa, Ontario, Canada. 2004.

FRASSON, F.R. **Utilização de sensor ótico ativo em cana-de-açúcar.** 76p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

HOLLAND SCIENTIFIC. Fabricante do sensor óptico Crop Circle. Disponível em: <[www.hollandscientific.com](http://www.hollandscientific.com)>. Acesso em: 20 mar. 2008.

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.

KATAOKA, T.; OKAMOTO, H.; KANEKO, T.; HATA, S. Performance of crop height sensing using ultra sonic sensor and laser beam sensor. ASAE Paper No. 021184. Chicago, Il. 2002.



MARTÍ, S.P.; POLO, J.R.; MOYA, E.G.; MONTEROLA, L.V.; AGUSTÍ, E.A. Optimizing pesticide spray application in tree crops. SAE Paper No. 061128. Portland, Oregon. 2006.

MOLIN, J.P. Tendências da Agricultura de Precisão no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2004, Piracicaba, SP, 2006.

POV, F.P. Utilização de sensor ótico ativo em culturas de cereais. 86p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

REGUNATHAN, M.; LEE, W.S. Citrus fruit identification and size determination using machine vision and ultrasonic sensors. ASAE Paper No. 053017. Tampa, Florida, USA. 2005.

SCOTFORD, I.M.; MILLER, P.C.H. Applications of spectral reflectance techniques in northern european cereal production: a review. **Biosystems Engineering**, v. 90, n. 3, p. 235-250. 2005.

SCOTFORD, I.M.; MILLER, P.C.H. Combination of spectral reflectance and ultrasonic sensing to monitor the growth of winter wheat. **Biosystems Engineering**, v. 87, n. 1, p. 27-38. 2004.

SCOTFORD, I.M.; MILLER, P.C.H. Estimating tiller density and leaf area index of winter wheat using spectral reflectance and ultrasonic sensing techniques. **Biosystems Engineering**, v. 89, n. 4, p. 395-408. 2004.

SCOTFORD, I.M.; MILLER, P.C.H. Vehicle mounted sensors for estimating tiller density and leaf area index (LAI) of winter wheat. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5., 2005, Uppsala, Sweden. p 201-207

SOLARI, F. **Developing a crop based strategy for on-the-go nitrogen management in irrigated cornfields.** 157p. Thesis (PhD in Agronomy) – University of Nebraska, Lincoln, 2006.

SUDDUTH, K.A.; DUMMOND, S.T.; WANG, W.W.; KRUMPELMAN, M.J. Ultrasonic and GPS measurement of combine swath width. ASAE Paper No. 983096. St Joseph, MI. 1998.

SUI, R.; WILKERSON, J.B.; WILHELM, L.R.; TOMPKINS, F.D. A microcomputer-based morphometer for bush-type plants. **Computer and Electronics in Agriculture.** 4(1): 43-58.

ZAMAN, Q.U.; SALYANI, M. Effects of foliage density and ground speed on ultrasonic measurement of citrus tree volume. **Applied Engineering in Agriculture,** v. 20, n. 2, p. 173-178. 2004.

ZAMAN, Q.U.; SCHUMANN, A.W.; HOSTLER, H.K. Estimation of citrus fruit yield using ultrasonically-sensed tree size. **Applied Engineering in Agriculture,** v. 22, n. 1, p. 39-44. 2006.

ZAMAN, Q.U.; SCHUMANN, A.W.; HOSTLER, H.K. Quantifying sources of error in ultrasonic measurements of citrus orchards. ASAE Paper No. 051123. Tampa, Florida, USA. 2005.

ZAMAN, Q.U.; SCHUMANN, A.W.; MILLER, W.M. Variable rate nitrogen application in Florida citrus based on ultrasonically-sensed tree size. **Applied Engineering in Agriculture,** v. 21, n. 3, p. 331-335. 2005.