

Universidade de São Paulo

Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Projeto FINEP: Sistema de monitoramento, tomada de decisão, recomendação e intervenções para aplicação de fertilizantes em taxa variável e avaliação de indicadores de qualidade em lavouras com o uso de sensores de refletância para plantas e solo – PROSENSAP

Investigação de causadores de variabilidade em áreas cultivadas com cana-de-açúcar e comparação de sensores para identificação da variabilidade

Aluno: Felipe Baricatti Finazzi – ITI - 2012

Tutor: Lucas Rios do Amaral

Orientador: José Paulo Molin

Piracicaba, dezembro de 2012

Sumário

1. Resumo	2
2. Introdução.....	2
3. Objetivos.....	7
4. Material e métodos	7
5. Resultados.....	13
5.1. Análise entre sensores	13
5.2. Causadores de variabilidade	19
6. Conclusão.....	20
7. Bibliografia.....	21
ANEXO I – Correlações do talhão Alvorada.....	25
ANEXO II – Correlações do talhão Aparecida.....	28

1. Resumo

A variabilidade espacial é uma característica não considerada no gerenciamento das lavouras brasileiras, sendo necessária sua identificação para uma melhor condução da cultura, sendo essa a ideia principal da Agricultura de Precisão. O objetivo desse trabalho foi identificar diferentes regiões de vigor vegetativo da cana-de-açúcar por meio de sensores de dossel, identificando os principais causadores dessa variabilidade. Para isso, foram utilizados três sensores de dossel na definição das regiões contrastantes, onde foram realizadas amostragens dirigidas de solo e planta para identificação de possíveis causadores da variabilidade. Os três sensores foram capazes de identificar as variações da biomassa de forma eficiente. Dentre os fatores analisados, o teor de argila foi o principal causador da variabilidade da cana, influenciando de forma negativa o desenvolvimento da cultura e indicando a presença de algum fator externo ao estudo que limitou o desenvolvimento da cana-de-açúcar.

2. Introdução

Nas últimas décadas, a agricultura brasileira vem evoluindo de forma a aumentar o nível de detalhamento da avaliação e manejo de suas lavouras. O sistema de gerenciamento do campo *in situ*, conhecido como agricultura de precisão, trouxe consigo o desenvolvimento de novas tecnologias e a utilização comercial das mesmas, fornecendo uma gama de ferramentas para um melhor controle da lavoura, sendo possível seu gerenciamento localizado, fugindo do padrão “na média” utilizado historicamente na agricultura (MOLIN, 2001).

O monitoramento da variabilidade espacial das culturas pode ser realizado, primordialmente, através do monitoramento da produtividade ou através do sensoriamento remoto (MOLIN, 2001). A grande vantagem da utilização do sensoriamento remoto é a possibilidade de identificar a variabilidade espacial enquanto a cultura ainda está em desenvolvimento, sendo possível realizar intervenções antes da colheita, enquanto o monitoramento da produtividade só permite a tomada de decisões para cultivos posteriores.

A variabilidade do desenvolvimento das culturas se dá pelos mais diversos fatores de produção, variando desde estresses nutricionais até diferenças texturais do solo, sendo ainda influenciado pela presença de pragas e outros fatores bióticos e abióticos. A investigação dos causadores de variabilidade é o próximo passo a ser tomado após a identificação da variabilidade espacial no desenvolvimento das culturas, pois se as causas da variabilidade não forem identificadas, impossibilita-se o manejo dessa variabilidade (LARK & STRAFFORD, 1997). A investigação visa identificar os fatores que influenciam no desenvolvimento diferenciado das culturas e, na medida do possível, corrigi-los e/ou tirar proveito deles.

A aplicação de insumos a taxa variada se mostra como uma ferramenta de manejo na correção de alguns dos fatores causadores de variabilidade, principalmente aqueles ligados ao solo (MOLIN, 2001). Segundo a “Lei dos Mínimos” de Liebig, a produtividade das culturas é delimitada pelo fator que se encontre mais deficiente (figura 1), onde essa aplicação de insumos prevê a eliminação dessa deficiência de maneira localizada.

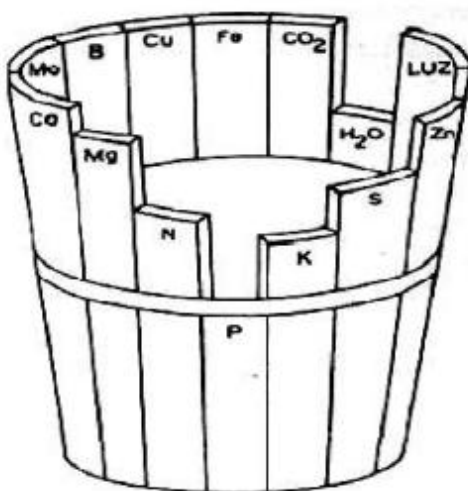


Figura 1 – Representação da “Lei dos Mínimos”. Fonte: Portz (2011).

A intervenção nos fatores passíveis de alteração (fertilidade do solo, ocorrência de pragas, compactação do solo, etc.) ainda não garante que a variabilidade espacial seja eliminada. Alguns fatores não podem ser manejados pela ação antrópica (textura do solo, relevo, profundidade do solo, etc.), sendo esses os delimitadores de zonas de menor variabilidade dentro do talhão

(MOLIN, 2001), conhecidas como “zonas de manejo”. Mas para definição dessas zonas, é primeiro necessário se conhecer a variabilidade espacial no campo.

Para avaliação do desenvolvimento das plantas, o sensoriamento remoto utiliza as interações que a energia luminosa proveniente de uma fonte natural ou artificial sofre quando incide sobre a superfície de uma planta. Essas interações ocorrem simultaneamente e são classificadas em três tipos: reflexão, transmissão e absorção (figura 2), onde a proporção da radiação que sofre essas interações varia conforme o comprimento das ondas (figura 3) (BREDEMEIER, 2005).

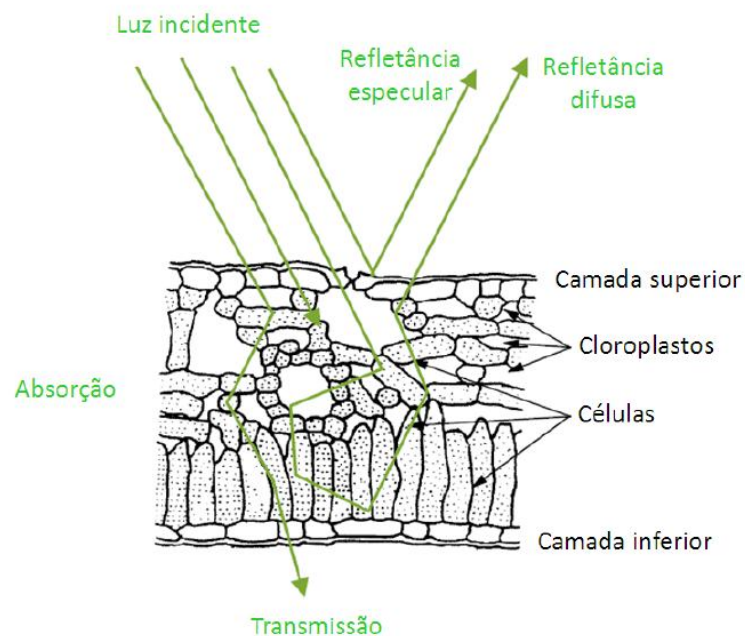


Figura 2 – Interações provenientes da incidência da luz em uma folha. Fonte: Portz (2011).

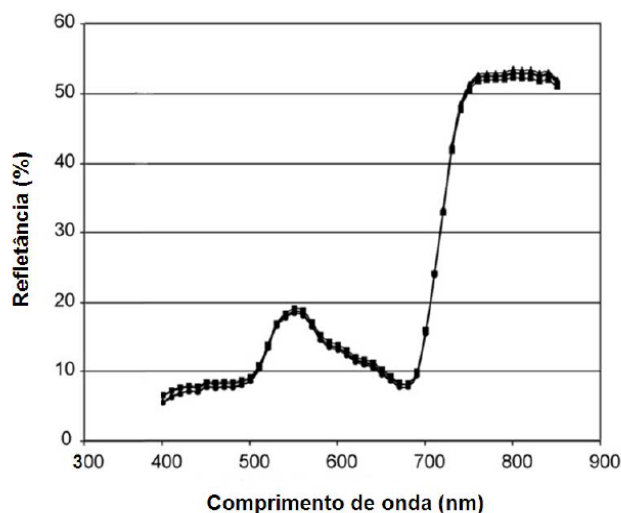


Figura 3 – Assinatura espectral da cultura da cana-de-açúcar. Fonte: Portz (2011).

Dentro do espectro luminoso, as plantas absorvem em grandes quantidades as ondas eletromagnéticas de tamanho entre 400-500 nm e 600-700 nm, bandas equivalentes a cor azul e vermelha, respectivamente. Essa alta absorção se dá pela presença dos pigmentos nas folhas das plantas, responsáveis pela absorção de energia luminosa para realização da fotossíntese (MOREIRA, 1997). Na transição do vermelho para o infravermelho próximo (670-730 nm) encontra-se uma região conhecida como *Red Edge*, cujo apresenta um drástico aumento na reflectância das ondas, terminando na região do infravermelho próximo (700-1300 nm), onde a alta reflectância se estabiliza (REUSCH, 1997). Essa grande reflectância é resultante da interação entre a radiação e a estrutura das folhas, responsável pela manutenção do equilíbrio térmico dentro das folhas, evitando que as mesmas se superaqueçam, causando destruição dos pigmentos fotossintetizantes (PATEL et al., 1985; WALTER-SHEA et al., 1991; LAW & WARING, 1994).

Com o conhecimento das interações entre a radiação e as plantas em cada comprimento de onda, é possível o desenvolvimento e uso de inúmeros índices de vegetação (IV). Os IVs são combinações de duas ou mais bandas espectrais, utilizando-se comumente a reflectância da radiação emitida para o cálculo dos índices (MOREIRA, 2000).

Dentre as utilidades dos índices de vegetação, muitos trabalhos são encontrados no monitoramento de deficiências hídrica e nutricional (RIPPLE,

1986; HINZMAN et al., 1986; DEMETRIADES-SHAH & COURT, 1987; JOHNSON, 2001) e na estimativa de produtividade (PINTER et al., 1981; RUDORFF, 1985; RUDORFF & BATISTA, 1988; MACHADO, 2003).

O sensoriamento remoto, a partir da medição da reflectância das culturas, se mostra como uma ferramenta no cálculo desses índices. O sensoriamento remoto pode ser realizado através de sensores embarcados em satélites orbitais, veículos aéreos ou veículos terrestres. Além disso, os sensores utilizados podem ser ativos ou passivos, diferenciando-se pela necessidade dos sensores passivos de uma fonte luminosa externa para realização das medições (MOLIN, 2001).

Os sensores ativos emitem ondas eletromagnéticas e captam o resultado da interação dessas ondas com as plantas, gravando na forma de uma imagem ou de um número (MOLIN, 2001), possibilitando o cálculo dos índices de vegetação de forma especializada nas lavouras. Muitos trabalhos são encontrados relatando a utilização de sensores ativos embarcados em veículos terrestres, conhecidos como sensores de dossel, para o cálculo de índices de vegetação em diversas culturas, onde o foco é o direcionamento da fertilização com nitrogênio.

Utilizando o sensor GreenSeeker RT200, Povh et al. (2008) encontraram alto potencial na utilização do NDVI (índice de vegetação por diferença normalizada) para o manejo do nitrogênio nas culturas do trigo, cevada e triticale. Em um trabalho feito por Eitel et al. (2010), utilizando o sensor Crop Circle ACS-470, o NDRE (*Red Edge com diferença normalizada*) se comportou melhor que o NDVI na predição da quantidade de clorofila foliar em um viveiro de mudas de *Pinus sylvestris*, fator diretamente ligado à nutrição vegetal e consequentemente desenvolvimento da cultura.

A utilização de sensores de dossel em grãos é uma realidade, porém estudos sobre a aplicação desses sensores na cultura da cana-de-açúcar são escassos. Dentre os trabalhos encontrados na literatura, Inamasu et al. (2006); Frasson (2007); Amaral (2010) trabalharam com sensoriamento remoto (sensores de dossel) na identificação de variações na adubação nitrogenada na cultura da cana-de-açúcar, onde os três trabalhos apresentaram eficácia na identificação de diferentes doses de nitrogênio aplicadas através dos sensores.

Em outro trabalho realizado por Portz (2011), encontrou-se alta correlação entre a biomassa predita pelo sensor N-Sensor ALS e a biomassa real da cana.

Como diversos sensores de dossel estão entrando no mercado brasileiro com a promessa de direcionar a aplicação nitrogenada na cultura da cana-de-açúcar, é preciso comprovar que esses sensores são eficientes na identificação da variabilidade na cultura da cana-de-açúcar, assim como identificar os causadores de tal variabilidade em lavouras comerciais.

3. Objetivos

Identificar os principais causadores de variabilidade no vigor vegetativo da cana-de-açúcar identificada por sensores de dossel, assim como comparar a eficácia de três diferentes sensores na identificação de tal variabilidade.

4. Material e métodos

No estudo realizado, foram utilizados dois talhões pertencentes à Usina São Martinho, localizados próximos à cidade de Pradópolis, São Paulo. Para diferenciação e mais fácil identificação, os talhões serão chamados pelo nome da fazenda que se encontram, no caso: Fazenda Alvorada e Fazenda Aparecida (tabela 1).

Tabela 1 – Características das duas áreas estudadas.

Nome	Área (ha)	Variedade	Corte	Ambiente de produção
Alvorada	6,2	SP80-1816	Oitavo	A1
Aparecida	4,9	CTC 2	Quarto	A1

Uma área de aproximadamente 5,0 ha de cada um dos dois talhões teve todas as fileiras de plantio avaliadas com três sensores de dossel: GreenSeeker RT200 (Trimble Navigation Ltd., Sunny Vale, CA, EUA), Crop Circle ACS- 430

(Holland Scientific, Inc., Lincoln, NE, EUA) e N-Sensor ALS (Yara International ASA, Duermen, Alemanha).

O GreenSeeker RT200 realiza a medição da reflectância dos comprimentos de onda 660 nm (vermelho) e 770 nm (infravermelho próximo), calculando o índice NDVI (tabela 2) a partir da medição linha-a-linha.

O Crop Circle ACS-430 capta a reflectância dos comprimentos de onda 670 nm (vermelho), 730 nm (Red Edge) e 780 nm (infravermelho próximo), calculando os índices NDVI e NDRE linha-a-linha, sendo que no presente estudo se trabalhou apenas com o NDRE (tabela 2).

O N-Sensor ALS capta a reflectância das ondas de comprimento de 730 nm (Red Edge) e 760 nm (infravermelho próximo), calculando um índice próprio, neste trabalho chamado de Índice Yara (IY – tabela 2). Uma diferença do N-Sensor para os outros dois sensores se dá no campo de medição do sensor, enquanto os outros dois sensores realizam as medições linha-a-linha (emissão e medição da refletância ao nadir), o N-Sensor apresenta um campo de medição de 3,0 metros na diagonal para cada lado (figura 4).

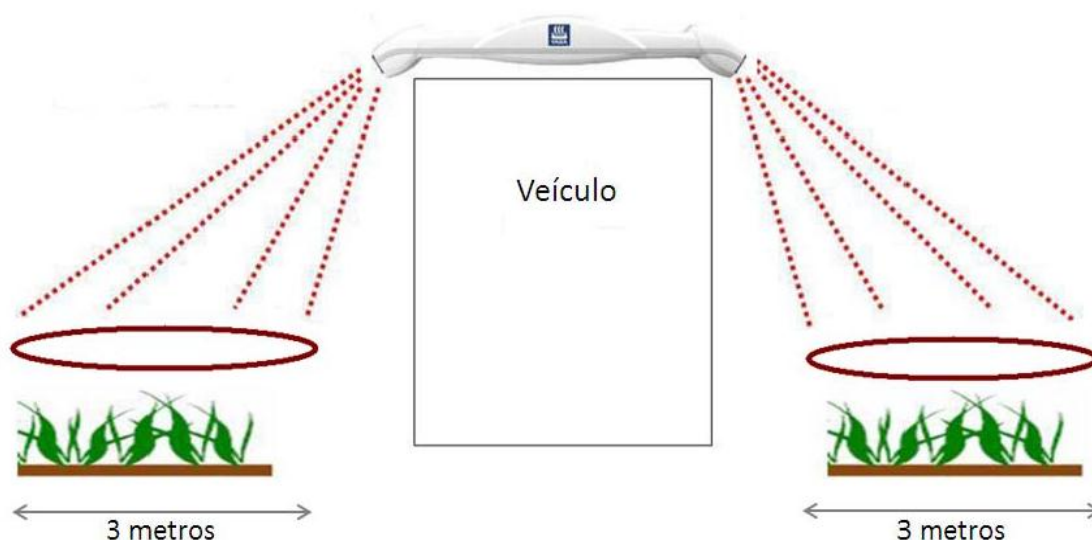


Figura 4 – Esquema mostrando campo de medição do N-Sensor ALS. Fonte: PORTZ (2011).

Tabela 2 – Refletância dos comprimentos de onda utilizados nas equações dos índices vegetativos.

Índices Vegetativos	Equação
NDVI	$(R_{780} - R_{670}) / (R_{780} + R_{670})$
NDRE	$(R_{780} - R_{730}) / (R_{780} + R_{730})$
IY	$100 \times (\ln R_{760} - \ln R_{730})$

Os sensores foram acoplados em um veículo Uniport 3000 NPK (Máquinas Agrícolas Jacto, Pompéia, SP, Brasil) e conectados ao um DGPS (figura 5). Os sensores GreenSeeker, Crop Circle foram mantidos a uma distância média de 1,0 m do dossel das plantas. Todos os sensores foram configurados para frequência de coleta de um dado por segundo, representado cerca de um ponto a cada 5,0 m.

A avaliação foi realizada quando as plantas possuíam aproximadamente 0,5 m de colmos, conforme recomendado por Amaral et al. (2012), uma vez que nessa fase de desenvolvimento da cultura há pouca interferência do substrato nas medições devido à área foliar ser suficiente para recobrimento do solo.



Figura 5 – Disposição dos sensores Crop Circle (A), GreenSeeker (B) e N-Sensor (C) instalados na barra de aplicação (A e B) e entre a cabine e a caixa de fertilizantes do veículo (C). Detalhe mostra a disposição dos sensores na barra medindo a mesma linha.

Os dados brutos das medições tiveram retirados os pontos correspondentes às áreas de manobra situados fora do talhão e que continham valores contrastantes. Com os dados limpos foi utilizado o SIG (Sistema de Informações Geográficas) SSToolbox (SST Development Group, Stillwater, OK, USA) para interpolação dos pontos, utilizando o método do inverso da distância, e geração dos mapas de distribuição espacial dos IVs. O mapa resultante da interpolação foi classificado em cinco classes. A partir dos mapas já classificados, foram alocados dois pontos amostrais em cada classe, resultando em 10 pontos por sensor e totalizando 30 pontos amostrais por área. Nesses pontos amostrais foi alocado um ponto correspondente a uma parcela virtual de 5,0 m por quatro fileiras de cana (6,0 m), totalizando uma área de 30,0 m² por parcela, uma vez que o espaçamento entre linhas utilizado pela usina é de 1,5 m (figura 6).

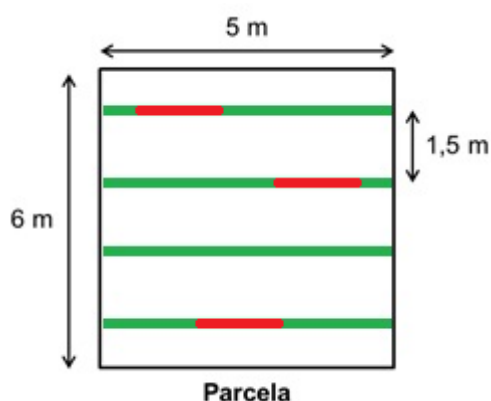


Figura 6 – Esquema representativo das parcelas virtuais evidenciando os locais de coleta da massa verde nas parcelas.

Os pontos centrais das parcelas foram exportados para um receptor de sinal GPS Garmin modelo 62s (Garmin Ltd., Olathe, KS, EUA) através do software GPS Trackmaker PRO (Geo Studio Tecnologia Ltda., Belo Horizonte, MG, Brasil), receptor o qual foi utilizado para navegação até o ponto carregado.

Já no campo, navegou-se até as parcelas virtuais para realização da amostragem das parcelas. Para caracterização das parcelas, foi realizada a medição de parâmetros biométricos da cultura e de solo.

As avaliações biométricas constaram de levantamento da altura média de colmos, número de perfilhos e massa verde das plantas, utilizando uma

metodologia semelhante à proposta por Portz (2011). Para estimativa da altura média de colmos das plantas da parcela, foi utilizada uma trena graduada e foram medidas três plantas que caracterizassem a parcela, obtendo a média entre elas. O número de perfilhos foi obtido pela contagem de todos os perfilhos na parcela, obtendo o número de perfilhos em 30,0 m². Para obtenção da massa verde, foi colhida a biomassa aérea de três subparcelas de 1,5 m dentro da parcela virtual, resultando na massa verde de cana em 4,5 m. Complementarmente, foi obtido o índice SPAD (Soil Plant Analysis Development) através do clorofilômetro SPAD-502 (Konica Minolta Sensing, Inc., Sakai, Osaka, Japão) na folha +1 e a folha +3, separadamente. Foram utilizadas 20 subamostras para representação da parcela, obtendo uma média do índice SPAD para a folha +1 e outra para a folha +3. Finalizando a caracterização das plantas, as mesmas 20 folhas amostradas pelo clorofilômetro foram coletadas, compondo uma amostra foliar composta por parcela, as quais foram enviadas para análise laboratorial para identificação da concentração de nutrientes foliares.

Uma vez caracterizados os parâmetros de planta das parcelas virtuais, simultaneamente foi realizado um conjunto de avaliações ambientais (solo). Foi retirada uma amostra de solo composta de 10 subamostras por parcela a aproximadamente 0,2 m da linha de plantio na profundidade de 0 - 0,2 m a fim de se determinar a fertilidade do solo e sua textura. Também foram retiradas duas amostras indeformadas de solo por parcela na profundidade de 0,3 m para determinação da umidade e densidade do solo. Finalmente, foi realizada a medição da resistência do solo à penetração na profundidade de 0 - 0,3 m, utilizando o penetrômetro eletrônico penetroLOG (Falker Automação Agrícola Ltda., Porto Alegre, RS, Brasil). Para determinação dessa resistência, foi obtida uma amostra composta por 10 penetrações por parcela, resultando na resistência a penetração média por parcela.

Após a obtenção dos resultados da amostragem, foi criada uma tabela contendo todos os dados da amostragem georreferenciados e as respectivas coordenadas dos pontos amostrais. Essa tabela foi importada no SIG e gerou-se uma média dos valores dos sensores em um raio de 5,0 m em torno de cada ponto amostral, obtendo-se assim o valor médio de cada índice por ponto amostrado, sendo também adicionado a essa tabela.

Iniciando as análises dos dados, confrontaram-se todos os parâmetros de solo, plantas e os valores médios dos índices, obtendo uma matriz com os valores do coeficiente de correlação.

Na investigação dos causadores de variabilidade, utilizou-se a matriz de correlações para evidenciar os fatores de maior influência na variabilidade da massa verde, ou seja, aqueles fatores cujos valores variaram de maneira similar à variação da massa verde nos pontos amostrados.

A análise entre os sensores dentro do raio de 5,0 m foi realizada levando em conta os parâmetros da biometria da cultura, assim como a medição do índice SPAD a concentração de nitrogênio na folha +1 e na folha +3, mediante análise gráfica no software SigmaPlot 10 (SPSS, Inc., Chicago, IL, EUA).

Realizou-se então uma comparação entre os três índices vegetativos estudados. Para essa comparação utilizou-se uma comparação de correlação entre a biometria e os índices de vegetação presentes na matriz de correlação calculada anteriormente, uma vez que os sensores medem o vigor vegetativo das plantas, a fim de se estabelecer a eficiência de medição dos sensores.

Além dessa comparação, os dados dos sensores tiveram os mapas finais comparados. Para tanto, os dados foram interpolados através do software Vesper (ACPA), utilizando-se o método da *krigagem* proposto por KRIGE (1951), levando em conta a geoestatística da distribuição espacial. Para interpolação dos dados, foi utilizada a *krigagem* pontual e, para cálculo da geoestatística, utilizada uma ferramenta do programa que permite a realização dos semivariogramas locais, sendo estes calculados ponto a ponto, utilizando-se um número de *lags* igual a 30, uma tolerância de *lags* de 50% e uma distância máxima de 50,0 m, distância a partir da qual já não existe consistência nos dados, impossibilitando um maior alcance do semivariograma.

Os dados interpolados através da *krigagem* pontual foram importados no SIG para manipulação dos mesmos. Os dados foram então normalizados, exportados e comparados através de uma comparação pixel-a-pixel dos mapas interpolados.

5. Resultados

A matriz das correlações para os dois talhões se encontra no ANEXO I e II, encontrados ao fim do documento. Alguns problemas ocorreram durante a amostragem das áreas, impossibilitando a coleta das amostras para análise foliar para o talhão Alvorada e a densidade do solo para o talhão Aparecida.

5.1. Análise entre sensores

Em ambas as áreas os sensores se comportaram de maneira similar quanto à medição da biomassa, apresentando correlações superiores ao nível de significância (figuras 7 e 8). No talhão Alvorada, houve correlações significativas entre a mensuração da altura das plantas e do número de colmos, fato que não se repetiu no talhão Aparecida. A ausência de correlações entre os sensores e o número de colmos se dá pela ausência de correlação significativa entre o número de colmos e a massa verde ($r = 0,216$), ou seja, na fase da cana-de-açúcar avaliada com o sensor, o número de colmos não interfere diretamente na biomassa apresentada pela cultura.

Já, a ausência de correlação significativa entre as medições dos sensores e a altura média das plantas sugere que os sensores não são eficientes identificadores de altura de plantas em algumas situações, mesmo que a biomassa esteja altamente relacionada com a altura de plantas ($r = 0,512$).

Os resultados mostram que o índice SPAD se comportou de forma assimilar aos sensores de dossel, mostrando que o índice SPAD não apresenta relação com massa vegetal, ou seja, um maior teor de clorofila nas folhas não implica em maior vigor da cultura, tanto quando usado na folha +1 quanto na folha +3. Resultados semelhantes foram encontrados com os teores de N foliar.

Entretanto, foi observada baixa correlação entre as medições do SPAD e a concentração de N foliar em ambas as folhas (+1: $r = -0,069$; +3: $r = 0,025$). Isso sugere que o índice SPAD ou o teor de clorofila estimado por esse equipamento não condiz com o teor de N foliar da cultura da cana-de-açúcar, tendo seu uso questionado nessa cultura.

Quanto à eficácia de cada sensor de dossel, nota-se que no talhão Alvorada o sensor Crop Circle apresentou os maiores coeficientes de correlação para os três parâmetros (massa verde, número de colmos e altura), seguido pelo N-Sensor e GreenSeeker, respectivamente. Essa sequência se repetiu na medição da massa verde no talhão Aparecida, único parâmetro a apresentar correlação significativa. Dessa forma, julga-se que o sensor Crop Circle possa ser indicado para o uso na cana-de-açúcar com maior segurança.

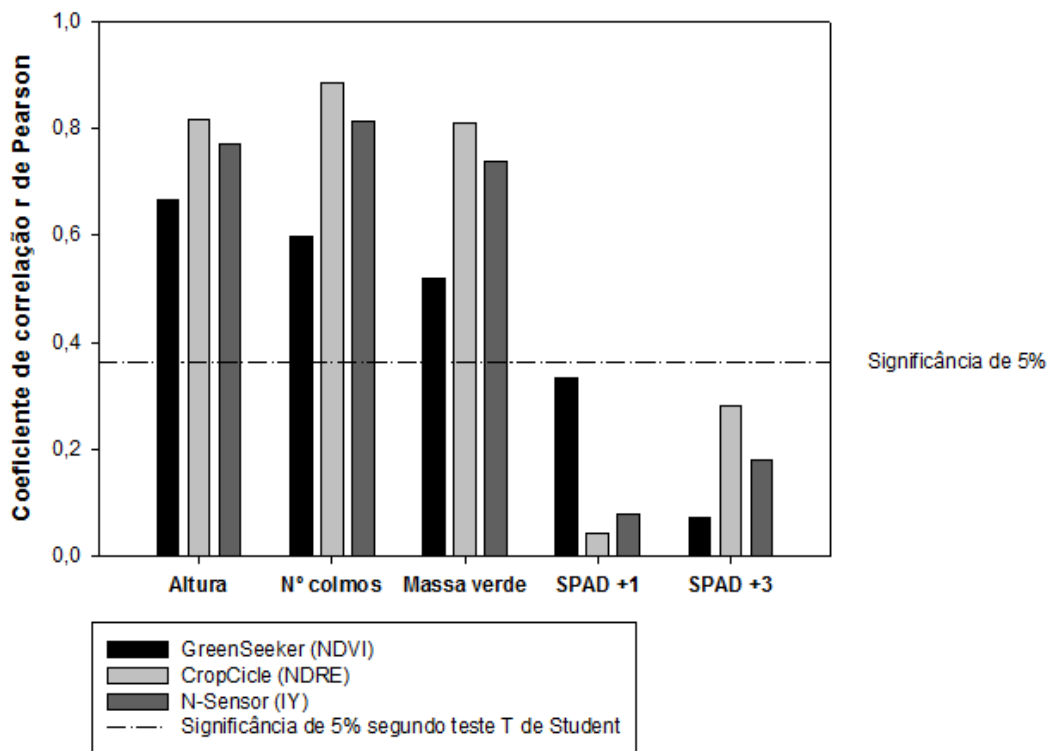


Figura 7 – Coeficientes de correlação segundo o sensor e o parâmetro analisado para a área do talhão Alvorada.

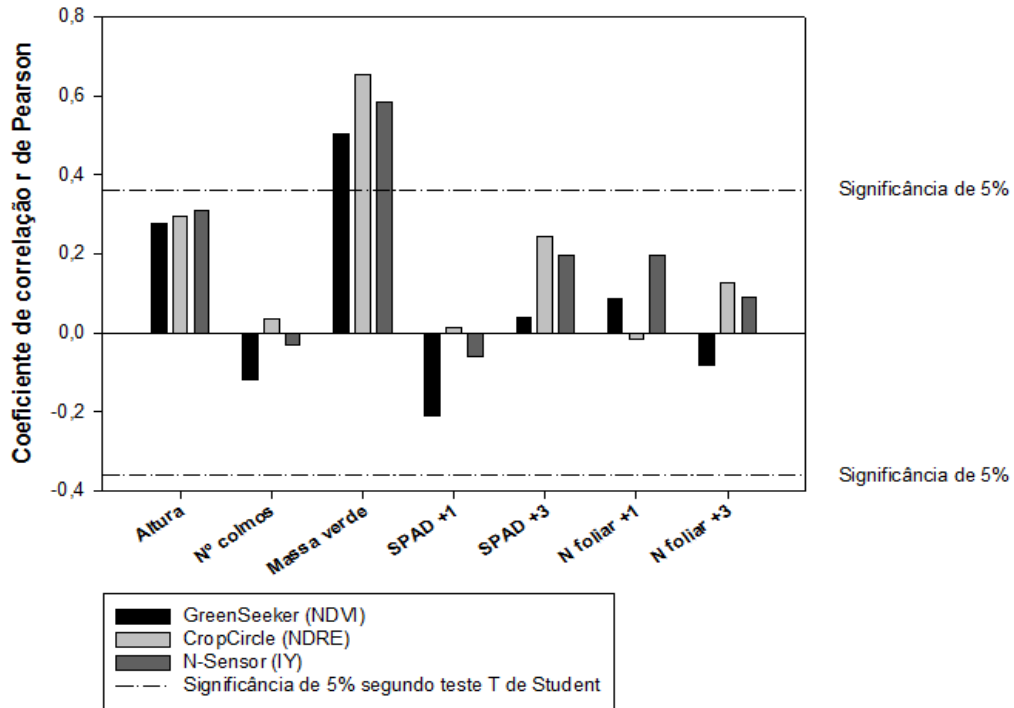


Figura 8 – Coeficientes de correlação segundo o sensor e o parâmetro analisado para a área do talhão Aparecida.

Partindo para a análise dos mapas obtidos pelos sensores, os gráficos de dispersão (figura 9) demonstram a distribuição dos valores entre os índices, mostrando a semelhança entre as medições realizadas. Visualmente, é possível identificar uma maior semelhança entre as medidas dos sensores no talhão Alvorada, tendo um coeficiente de correlação maior entre os valores dos sensores nesse talhão. A maior semelhança entre as medidas dos sensores para esse talhão deve-se a existência de regiões com vigor contrastantes mais bem definidas.

No talhão Aparecida, a menor semelhança entre as medições dos sensores deve-se a ausência de manchas de vigor definidas, estando os sensores mais suscetíveis à interferência de outros fatores.

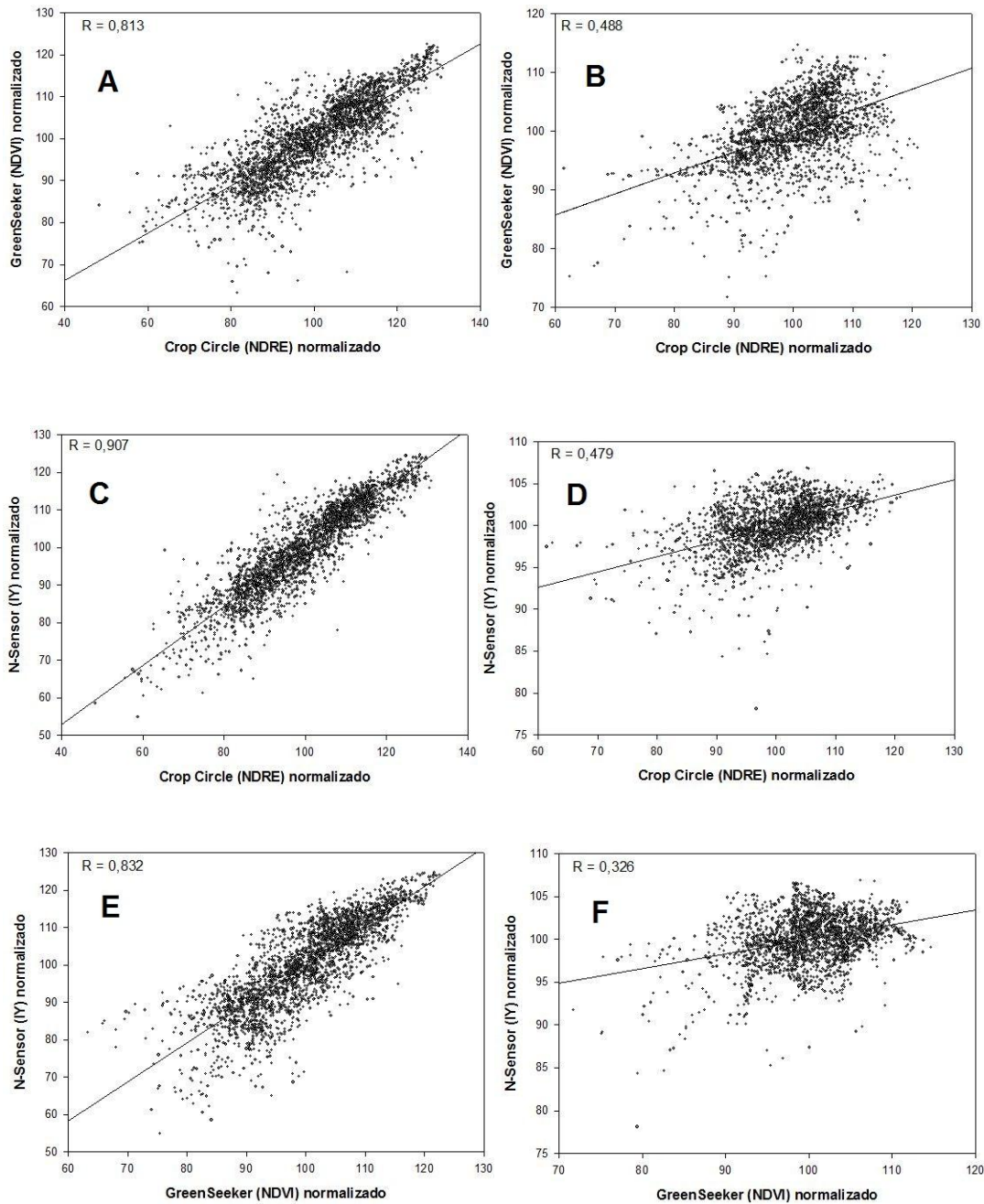


Figura 9 – Gráficos de distribuição dos pontos normalizados de um sensor contra outro. As figuras da esquerda (A, C e E) correspondem aos gráficos do talhão Alvorada, enquanto as figuras da direita (B, D e F) correspondem aos gráficos do talhão Aparecida. Os gráficos A e B apresentam a comparação entre os sensores Crop Circle e GreenSeeker, enquanto os gráficos C e D apresentam a comparação entre os sensores Crop Circle e N-Sensor e os gráficos E e F apresentam a comparação entre os índices GreenSeeker e N-Sensor.

Pela análise visual dos mapas (figuras 10 e 11), pode-se perceber a distribuição em manchas das medições no talhão Alvorada, além da maior amplitude dos dados, uma vez que apresentam vários pixels em todas as classes do mapa, enquanto o mapa do talhão Aparecida apresenta grande número de pixels nas classes intermediárias da classificação.

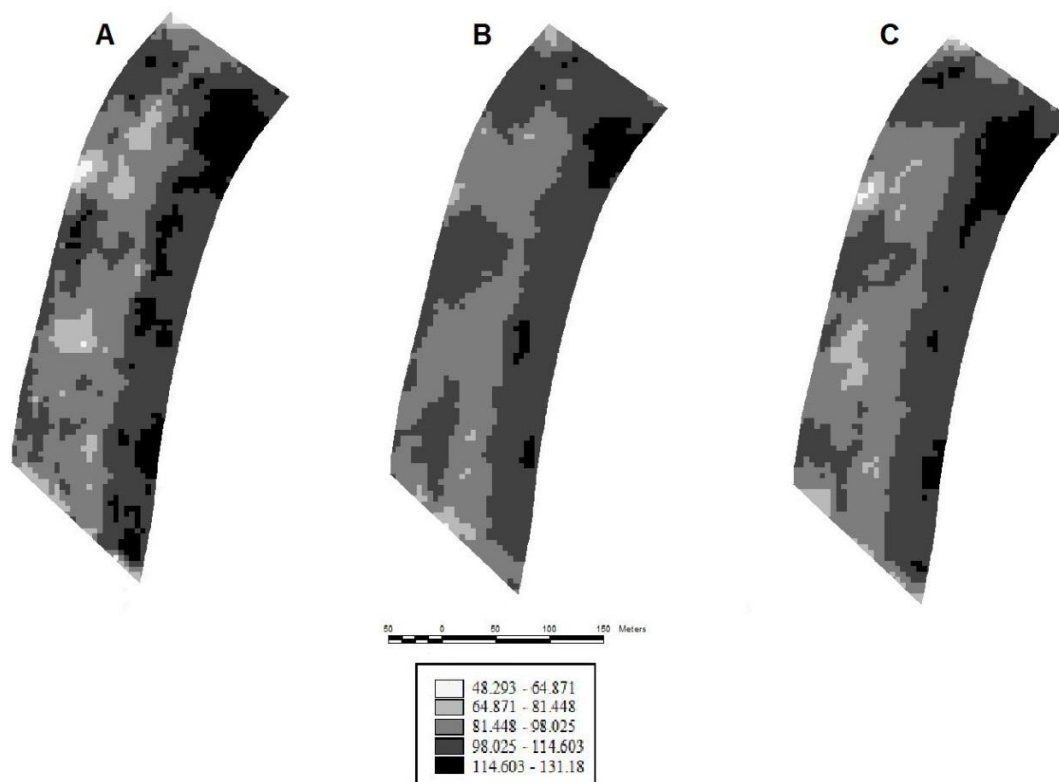


Figura 10 – Mapas de distribuição espacial dos índices no talhão Alvorada: A – distribuição espacial do índice NDRE, gerado pelo sensor Crop Circle; B – distribuição espacial do índice NDVI, gerado pelo sensor GreenSeeker; C – distribuição espacial do índice IY, gerado pelo sensor N-Sensor.

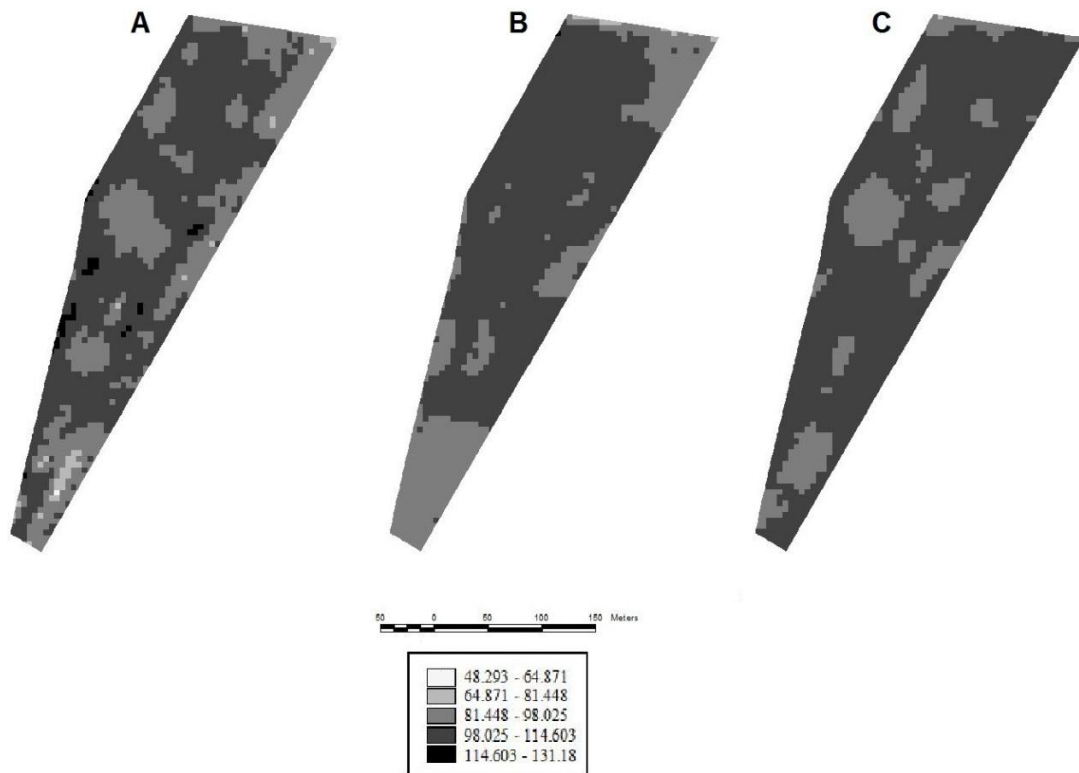


Figura 11 – Mapas de distribuição espacial dos índices no talhão Aparecida: A – distribuição espacial do índice NDRE, gerado pelo sensor Crop Circle; B – distribuição espacial do índice NDVI, gerado pelo sensor GreenSeeker; C – distribuição espacial do índice IY, gerado pelo sensor N-Sensor.

Através da estatística descritiva das áreas (tabelas 3 e 4) é possível identificar que no talhão Alvorada, os dados se apresentam mais dispersos, uma vez que apresenta coeficientes de variação (CV) maiores quando comparados ao talhão Aparecida. Esse maior coeficiente de variação mostra que há uma maior diversidade dos dados no talhão Alvorada, fato que é evidenciado pela amplitude das medições, mostrando uma maior diferença entre as medições e justificando a capacidade dos sensores em medir as variações em forma de manchas bem definidas.

Tabela 3 – Estatística descritiva dos dados normalizados do talhão Alvorada.

	Crop Circle (NDRE)	GreenSeeker (NDVI)	N-Sensor (IY)
Média	100,000	100,000	100,000
Desvio padrão	13,508	9,360	11,722
Variância	182,477	87,613	137,397
Amplitude	82,887	59,274	69,715
Mínimo	48,293	63,257	54,898
Máximo	131,180	122,532	124,613
CV	13,5%	9,4%	11,7%

Tabela 4 – Estatística descritiva dos dados normalizados do talhão Aparecida.

	Crop Circle (NDRE)	GreenSeeker (NDVI)	N-Sensor (IY)
Média	100,000	100,000	100,000
Desvio padrão	7,726	5,647	2,966
Variância	59,689	31,893	8,794
Amplitude	59,501	42,965	28,726
Mínimo	61,443	71,691	78,106
Máximo	120,944	114,656	106,832
CV	7,7%	5,6%	3,0%

5.2. Causadores de variabilidade

Os dois talhões apresentam correlação significativa entre a massa verde e o teor de argila no solo (Alvorada: $r = -0,450$; Aparecida: $r = -0,449$). Esse coeficiente negativo e significativo indica que houve um maior crescimento da massa verde da cana onde o solo apresenta menor teor de argila.

Uma hipótese para essa correlação negativa seria que solos mais argilosos são mais suscetíveis à compactação. No entanto, nenhuma das áreas apresentou correlação significativa entre o teor de argila e a resistência do solo à penetração. Porém, essa ausência de correlação pode também sugerir uma falha na metodologia da amostragem da compactação do solo, podendo o local de amostragem estar subestimando a compactação nas parcelas amostradas. Masiero et al. (2012), encontraram diferença na amostragem da resistência a

compactação entre as medições nas linhas e nas entrelinhas da cana. Castro Neto et al. (2006), utilizaram amostras das linhas e entrelinhas da cana no mapeamento da resistência a penetração utilizando um penetrômetro.

Outra hipótese é que a interferência de pragas, doenças ou plantas daninhas podem estar ocorrendo em maior intensidade em regiões com alto teor de argila. Ou ainda, a hipótese que regiões com solo mais pesado retardam o desenvolvimento inicial da cana. Essa última hipótese pode ser um fator de interferência de grande importância quando se pensa no uso de sensores de dossel para aplicação de N. Logo, mais estudos desse tipo precisam ser conduzidos, avaliando a textura também em outras profundidades do solo para avaliar essa hipótese.

Além do teor de argila, o talhão Aparecida apresentou coeficientes de correlação significativos entre a massa verde e o teor de água no solo ($r = -0,451$) devido à relação entre o teor de argila e o teor de água no solo. Nesse talhão também houve correlação negativa significativa entre a concentração de potássio no solo e a massa verde ($r = -0,393$), fato esperado devido a correlação positiva significativa entre o teor de argila no solo e o teor de potássio ($r = 0,464$).

Com resultados de correlação negativa entre biomassa e teores de P e K no talhão Aparecida, fica evidente que os parâmetros de fertilidade do solo não foram os responsáveis pela variabilidade do vigor da cultura. Provavelmente algum fator está possibilitando uma maior produção nessas regiões de baixos teores de P e K, o que faz com que mais nutrientes sejam exportados pela colheita, diminuindo cada vez mais a concentração desses elementos no solo. Ou seja, a variabilidade nos teores de P e K é ocasionada pela variabilidade de produção, e não o inverso.

6. Conclusão

Na análise comparativa entre os três sensores, o sensor Crop Circle se mostrou mais eficiente na medição das variações da massa verde da cultura, seguido pelo sensor N-Sensor e GreenSeeker, nessa ordem. Apesar dessa

maior eficiência, todos os sensores foram capazes de identificar com eficácia as variações de biomassa nas duas áreas.

A análise dos causadores de variabilidade concluiu que o teor de argila apresentou influência negativa no desenvolvimento da cana, provavelmente em razão de algum fator não avaliado. Não foram identificadas propriedades do solo restritivas ao desenvolvimento da cana-de-açúcar. A variabilidade nos teores de P e K foi ocasionada pela variação na produção.

7. Bibliografia

AMARAL, L. R. Sensor ótico no auxílio à recomendação de nitrogênio para a cultura da cana-de-açúcar. 2010. 81p. **Dissertação** (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

AMARAL, L. R.; PORTZ, G.; ROSA, H. J. A.; MOLIN, J. P. Use of active crop canopy reflectance sensor for nitrogen sugarcane fertilization. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 11., 2012, Indianapolis. **Anais...** Indianapolis, EUA: ICPA/ISPA, 2012.

BREDEMEIER, C. **Laser-induced chlorophyll fluorescence as a toll for site-specific nitrogen fertilization**; evaluation under controlled environmental and fields conditions in wheat and maize. Munique: Die Deutsche Bibliothek, 2005. 219p.

CASTRO NETO, P.; FRAGA, A. C.; AGAOKA, A. K.; LANÇAS, K. P. Penetrômetro hidráulico-eletrônico para avaliação da compactação de solos na rotação cana-de-açúcar/amendoim. In: CONGRESSO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 2, 2005, Varginha. **Anais...** Varginha, 2005.

DEMETRIADES-SHAH, T. H.; COURT, M. N. Oblique view reflectance for assessing nitrogen status of incomplete canopies. **International Journal of Remote Sensing**, p.1049-1050, 1987.

EITEL, J. U. H.; KEEFE, R. F.; LONG D. S.; DAVIS A. S.; VIERLING, L. A. Active ground optical remote sensing for improved monitoring of seedling stress in nurseries. **Sensors**, v.10, p.2843-2850, Basel, 2010.

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

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**, p.47-61, New York, 1986.

INAMASU, R. Y. Acesso ao estado nutricional da cana-de-açúcar por meio de sensor ativo de refletância. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 5., 2006, São Pedro. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 2006. 1 CD-ROM.

JOHNSON, L. F. Nitrogen influence on fresh-leaf NIR spectra. **Remote Sensing of Environment**, p.314-320, New York, 2001.

KRIGE, D. G. A statistical approach to some basic mine evaluation problems on the Witwatersrand. **South African Chemistry Metallurgy Mining Society**, p.119-139, Johannesburg, 1951.

LARK, R. M.; STAFFORD, J. V. Exploratory analysis of yield maps of combine crops. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1, 1997. **Precision Agriculture**, v.1, p.887-894, Warwick, 1997.

LAW, B. E.; WARING, R. H. Remote sensing of leaf area index and radiation intercepted by under story vegetation. **Ecological Applications**, v.4, n.2, p.272-279, 1994.

MACHADO, H. M. Determinação da biomassa de cana-de-açúcar considerando a variação espacial de dados espectrais do satélite LANDSAT 7 – ETM⁺. 73p. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Agrícola), Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

MASIERO, F. C.; LANÇAS, K. P.; RAMOS, C. R.; MARASCA, I.; MACHADO, F. C. Compactação do solo em dois ciclos anuais da cultura de cana-de-açúcar e em dois tipos de solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 41, 2012, Londrina. **Anais...** Londrina, 2012.

MINASNY, B.; MCBRATNEY, A.B.; WHELAN, B.M. **VESPER version 1.62**. Australian Centre for Precision Agriculture (ACPA), University of Sydney, 2006.

MOLIN, J. P. **Agricultura de precisão – O gerenciamento da variabilidade**. Piracicaba, 2001. 83p.

MOREIRA, M. A. Déficit hídrico na cultura do trigo e o impacto na resposta espectral e em parâmetros agrônômicos. 142p. **Dissertação** (Doutorado), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

MOREIRA, R. C. Influência do posicionamento e da largura de bandas de sensores remotos e dos efeitos atmosféricos na determinação de índices de vegetação. 114p. **Dissertação** (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2000.

PATEL, N.K.; SINGH, T.P.; SAHAI, B.; et al. Spectral response of rice crop and its relation to yield and yield attributes. **International Journal of Remote Sensing**, v.6, n.5, p.657-664, 1985.

PINTER, P.J.; JACKSON, R.D.; IDSO, S.B.; REGINATO, R.J. Multidate spectral reflectance as predictors of yield in a water stressed wheat and barley. **International Journal of Remote Sensing**, p.43-48, 1981.

PORTZ, G. Obtenção de um algoritmo agrônomo para sensor foto ativo de reflectância vegetal visando à aplicação da adubação nitrogenada na cultura da cana-de-açúcar. 121p. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

POVH, F. P.; MOLIN, J.P.; GIMENEZ, L. M.; PAULETTI, V.; MOLIN, R; SALVI, J. V. Comportamento do NDVI obtido por sensor ótico ativo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.43, n.8, p.1075-1083, Brasília, 2008.

REUSCH, S. Entwisklung wines refexionsoptischen Sensor zur Erfassung der Stickstoffversorgung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. **Thesis** (Ph. D) – Kiel, 1997.

RIPPLE, W. J. Relationships of spectral reflectance to leaf water stress. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, p.1669-1675, 1986.

RUDORFF, B. F. Dados LANDSAT na estimativa da produtividade agrícola da cana-de-açúcar. 114p. **Dissertação** (Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1985.

RUDORFF, B. F.; BATISTA, G. T. Relatório da fase I do projeto ESTIMA: desenvolvimento de um modelo para estimativa da produtividade agrícola da cana-de-açúcar baseado em dados LANDSAT e agrometeorológicos. 93p. **Relatório Técnico**, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1988.

WALTER-SHEA, E. A.; NORMAN, J. M.; BLAD, B. L.; et al. Leaf reflectance and transmittance in soybean and corn. **Agronomy Journal**, v.83, p.631-636, 1991.

ANEXO I – Correlações do talhão Alvorada

	<i>GreenSeeker</i>	<i>Crop Circle</i>	<i>N-Sensor</i>	<i>Altura</i>	<i>Nº de colmos</i>	<i>Massa verde</i>	<i>SPAD +1</i>	<i>SPAD +3</i>
GreenSeeker	1							
Crop Circle	0,688 *	1						
N-Sensor	0,722 *	0,928 *	1					
Altura	0,667 *	0,816 *	0,772 *	1				
Nº de colmos	0,597 *	0,884 *	0,812 *	0,807 *	1			
Massa verde	0,520 *	0,810 *	0,737 *	0,810 *	0,836 *	1		
SPAD +1	0,334	0,042	0,08	-0,086	0,023	0,067	1	
SPAD +3	0,072	0,282	0,18	0,159	0,375 *	0,234	0,241	1
Umidade	-0,282	-0,398 *	-0,369 *	-0,145	-0,129	-0,155	-0,129	-0,082
Densidade	-0,366 *	-0,2	-0,092	-0,217	-0,041	-0,201	-0,328	-0,065
RP 0-30	-0,096	-0,124	-0,126	-0,023	-0,264	-0,246	-0,013	0,028
pH CaCl2	0,064	0,096	0,026	0,044	0,066	0,13	-0,079	-0,111
M.O.	-0,203	-0,347	-0,246	-0,08	-0,429 *	-0,299	-0,385 *	-0,433 *
P	-0,716 *	-0,464 *	-0,506 *	-0,420 *	-0,454 *	-0,32	-0,246	-0,026
S	-0,1	-0,075	-0,031	0,108	-0,172	-0,031	-0,426 *	-0,452 *
Ca	0,01	0,025	-0,057	-0,038	-0,013	-0,054	-0,205	-0,169
Mg	-0,076	-0,138	-0,182	-0,088	-0,172	-0,165	-0,113	-0,166
K	-0,184	0,103	0,036	0,086	0,316	0,187	-0,370 *	0,372 *
Al	0,174	0,261	0,238	0,191	0,413 *	0,195	-0,034	0,185
H+Al	-0,192	-0,198	-0,16	-0,126	-0,15	-0,203	-0,048	0,186
SB	-0,015	-0,008	-0,086	-0,048	-0,04	-0,076	-0,203	-0,164
CTC	-0,068	-0,058	-0,14	-0,091	-0,081	-0,143	-0,253	-0,138
V%	0,047	0,006	-0,03	-0,012	-0,034	-0,002	-0,141	-0,263
Argila	-0,383 *	-0,470 *	-0,544 *	-0,413 *	-0,416 *	-0,450 *	-0,001	-0,459 *
Silte	0,265	0,283	0,385 *	0,334	0,411 *	0,357	-0,005	0,498 *
Areia	0,196	0,289	0,227	0,121	-0,049	0,127	-0,003	-0,169

*: significativo a 5% de probabilidade pelo teste T de Student.

	<i>Umidade</i>	<i>Densidade</i>	<i>RP 0-30</i>	<i>pH CaCl2</i>	<i>M.O.</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>
GreenSeeker									
Crop Circle									
N-Sensor									
Altura									
Nº de colmos									
Massa verde									
SPAD +1									
SPAD +3									
Umidade	1								
Densidade	0,178	1							
RP 0-30	-0,28	-0,257	1						
pH CaCl2	-0,246	-0,119	-0,15	1					
M.O.	-0,051	-0,035	0,086	0,128	1				
P	0,216	0,149	-0,051	0,396 *	0,319	1			
S	0,03	-0,013	0,319	0,239	0,343	0,146	1		
Ca	-0,182	-0,113	-0,085	0,803 *	0,154	0,383 *	0,113	1	
Mg	-0,149	-0,186	0,166	0,798 *	0,211	0,383 *	0,301	0,785 *	1
K	0,142	0,231	-0,341	0,255	0,047	0,25	-0,078	0,103	-0,04
Al	0,125	0,075	0,16	0,11	-0,467 *	-0,277	0,063	-0,098	0,126
H+Al	0,129	0,153	0,284	-0,835 *	0,013	-0,21	-0,222	-0,702 *	-0,688 *
SB	-0,177	-0,126	-0,041	0,838 *	0,174	0,404 *	0,158	0,990 *	0,861 *
CTC	-0,175	-0,105	0,024	0,766 *	0,207	0,418 *	0,123	0,979 *	0,829 *
V%	-0,152	-0,123	-0,161	0,890 *	0,186	0,386 *	0,238	0,909 *	0,839 *
Argila	0,425 *	-0,15	-0,036	0,145	0,287	0,334	0,15	0,217	0,232
Silte	-0,197	0,233	-0,063	0,013	-0,246	-0,267	-0,12	-0,105	-0,025
Areia	-0,396 *	-0,189	0,194	-0,286	-0,027	-0,111	-0,027	-0,134	-0,359

*: significativo a 5% de probabilidade pelo teste T de Student.

	<i>K</i>	<i>Al</i>	<i>H+Al</i>	<i>SB</i>	<i>CTC</i>	<i>V%</i>	<i>Argila</i>	<i>Silte</i>	<i>Areia</i>
GreenSeeker									
Crop Circle									
N-Sensor									
Altura									
Nº de colmos									
Massa verde									
SPAD +1									
SPAD +3									
Umidade									
Densidade									
RP 0-30									
pH CaCl2									
M.O.									
P									
S									
Ca									
Mg									
K	1								
Al	0,218	1							
H+Al	-0,134	-0,089	1						
SB	0,104	-0,044	-0,728 *	1					
CTC	0,096	-0,069	-0,590 *	0,983 *	1				
V%	0,126	-0,034	-0,895 *	0,929 *	0,854 *	1			
Argila	0,069	-0,081	-0,126	0,23	0,236	0,192	1		
Silte	0,133	0,217	0,018	-0,087	-0,096	-0,057	-0,855 *	1	
Areia	-0,403 *	-0,34	0,198	-0,199	-0,186	-0,207	-0,159	-0,366 *	1

*: significativo a 5% de probabilidade pelo teste T de Student.

ANEXO II – Correlações do talhão Aparecida

	<i>Crop Circle</i>	<i>GreenSeeker</i>	<i>N-sensor</i>	<i>Altura</i>	<i>Nº de colmos</i>	<i>Massa verde</i>	<i>SPAD +1</i>	<i>SPAD +3</i>
Crop Circle	1							
GreenSeeker	0,613 *	1						
N-sensor	0,612 *	0,429 *	1					
Altura	0,295	0,278	0,311	1				
Nº de colmos	0,034	-0,118	-0,032	0,352	1			
Massa verde	0,652 *	0,505 *	0,583 *	0,512 *	0,216	1		
SPAD +1	0,012	-0,21	-0,06	0,052	0,502 *	-0,076	1	
SPAD +3	0,243	0,038	0,197	0,235	0,420 *	0,175	0,602 *	1
Umidade	-0,455 *	-0,281	-0,361 *	-0,086	0,191	-0,451 *	0,063	-0,118
RP 0-30	0,26	0,195	0,153	0,256	-0,145	0,346	0,005	-0,026
pH	-0,17	-0,087	-0,225	-0,268	-0,04	-0,203	-0,237	-0,059
M.O.	-0,289	-0,251	0,028	0,075	0,118	-0,181	-0,081	-0,038
P	-0,456 *	-0,358	-0,539 *	-0,284	-0,143	-0,511 *	-0,063	-0,334
S	-0,218	-0,139	0,052	-0,007	0,014	-0,189	0,328	-0,133
Ca	-0,354	-0,24	-0,257	-0,073	-0,033	-0,104	-0,114	-0,025
Mg	-0,302	-0,161	-0,209	-0,102	-0,175	-0,143	-0,253	-0,214
K	-0,537 *	-0,375 *	-0,272	-0,141	0,069	-0,393 *	-0,136	-0,02
Al	0,323	-0,041	0,011	0,047	-0,157	0,046	0,05	0,205
H+Al	-0,102	-0,111	0,032	0,215	0,117	0,224	0,185	-0,05
SB	-0,377 *	-0,249	-0,261	-0,088	-0,052	-0,143	-0,147	-0,061
CTC	-0,452 *	-0,322	-0,258	0,04	0,014	-0,021	-0,046	-0,089
V%	-0,273	-0,184	-0,22	-0,183	-0,107	-0,206	-0,191	-0,069
m%	0,318	-0,02	0,085	-0,021	-0,306	-0,004	0,016	0,166
Argila	-0,331	-0,283	-0,316	-0,091	0,224	-0,449 *	0,126	-0,008
Silte	-0,305	-0,146	-0,288	0,054	0,32	-0,317	0,291	0,031
Areia	0,337	0,252	0,32	0,037	-0,275	0,424 *	-0,191	-0,014
N foliar +1	0,088	-0,018	0,196	-0,074	0,111	0,299	-0,069	0,037
P foliar +1	0,01	-0,053	-0,186	-0,09	0,226	0,033	0,025	0,052
K foliar +1	0,151	0,262	0,039	0,327	-0,121	0,106	0,003	0,24
Ca foliar +1	0,438 *	0,388 *	0,107	0,107	0,366 *	0,318	0,227	0,181
Mg foliar +1	0,122	0,15	-0,055	-0,08	0,13	0,032	0,077	0,18
S foliar +1	-0,259	-0,061	-0,251	0,015	0,054	-0,209	-0,076	-0,281
N foliar +3	0,125	-0,08	0,089	0,203	-0,081	0,173	0,096	0,046
P foliar +3	0,2	0,307	-0,001	0,128	-0,036	0,142	-0,344	-0,193
K foliar +3	0,138	0,015	0,115	0,388 *	0,195	0,284	-0,182	-0,072
Ca foliar +3	0,15	0,253	-0,015	-0,113	-0,015	-0,166	-0,067	-0,023
Mg foliar +3	0,29	0,195	-0,067	-0,13	-0,11	0,01	-0,293	-0,107
S foliar +3	-0,401 *	-0,067	-0,413 *	0,133	-0,019	-0,267	-0,385 *	-0,497 *

*: significativo a 5% de probabilidade pelo teste T de Student.

	<i>Umidade</i>	<i>RP 0-30</i>	<i>pH</i>	<i>M.O.</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>K</i>	<i>Al</i>
Crop Circle										
GreenSeeker										
N-sensor										
Altura										
Nº de colmos										
Massa verde										
SPAD +1										
SPAD +3										
Umidade	1									
RP 0-30	-0,18	1								
pH	0,445 *	-0,172	1							
M.O.	0,114	-0,279	0,11	1						
P	0,356	-0,186	0,162	0,013	1					
S	-0,026	-0,06	-0,456 *	-0,074	-0,017	1				
Ca	0,469 *	-0,038	0,750 *	0,153	0,103	-0,202	1			
Mg	0,423 *	-0,033	0,773 *	0,122	0,201	-0,168	0,906 *	1		
K	0,52 *	-0,2	0,600 *	0,122	0,427 *	-0,095	0,649 *	0,664 *	1	
Al	-0,412 *	0,101	-0,514 *	0,025	-0,207	-0,013	-0,395 *	-0,488 *	-0,438 *	1
H+Al	-0,247	0,148	-0,749 *	-0,041	-0,05	0,358	-0,32	-0,411 *	-0,298	0,307
SB	0,485 *	-0,054	0,773 *	0,151	0,157	-0,194	0,993 *	0,940 *	0,713 *	-0,434 *
CTC	0,367 *	0,023	0,365 *	0,132	0,13	0,01	0,846 *	0,737 *	0,566 *	-0,265
V%	0,476 *	-0,075	0,903 *	0,134	0,181	-0,294	0,900 *	0,929 *	0,703 *	-0,494 *
m%	-0,384 *	0,068	-0,493 *	-0,028	-0,152	0,019	-0,402 *	-0,474 *	-0,424 *	0,939 *
Argila	0,960 *	-0,196	0,480 *	0,136	0,305	-0,136	0,399 *	0,364 *	0,464 *	-0,359
Silte	0,817 *	-0,018	0,275	-0,1	0,277	0,184	0,451 *	0,345	0,501 *	-0,302
Areia	-0,971 *	0,147	-0,434 *	-0,057	-0,311	0,037	-0,438 *	-0,372 *	-0,496 *	0,358
N foliar +1	-0,307	0,15	-0,235	-0,009	0,074	0,048	-0,074	-0,079	0,151	0,047
P foliar +1	0,057	0,08	-0,102	-0,061	0,13	-0,312	-0,159	-0,099	0,121	0,127
K foliar +1	-0,229	0,202	-0,334	-0,126	0,165	-0,2	-0,309	-0,264	-0,165	0,26
Ca foliar +1	0,035	0,114	0,051	-0,12	-0,244	-0,234	-0,109	-0,063	-0,048	0,009
Mg foliar +1	0,247	-0,059	0,179	-0,102	-0,038	-0,283	0,05	0,164	0,133	-0,117
S foliar +1	0,612 *	0,2	0,181	-0,006	0,248	-0,103	0,186	0,254	0,288	-0,261
N foliar +3	-0,024	0,159	-0,342	-0,011	0,045	-0,018	-0,208	-0,128	-0,092	0,294
P foliar +3	0,111	0,313	-0,006	-0,154	0,161	-0,293	-0,119	-0,06	0,17	0,154
K foliar +3	-0,178	0,226	-0,298	-0,044	0,262	-0,149	-0,254	-0,204	-0,107	0,009
Ca foliar +3	0,007	0,02	0,049	-0,085	0,014	-0,164	-0,226	-0,138	0,147	0,124
Mg foliar +3	0,11	-0,036	0,129	-0,041	0,03	-0,446 *	-0,174	-0,057	-0,065	0,182
S foliar +3	0,308	-0,037	0,005	0,336	0,403 *	-0,049	-0,042	0,099	0,225	-0,127

*: significativo a 5% de probabilidade pelo teste T de Student.

	<i>H+Al</i>	<i>SB</i>	<i>CTC</i>	<i>V%</i>	<i>m%</i>	<i>Argila</i>	<i>Silte</i>	<i>Areia</i>	<i>N foliar +1</i>
Crop Circle									
GreenSeeker									
N-sensor									
Altura									
Nº de colmos									
Massa verde									
SPAD +1									
SPAD +3									
Umidade									
RP 0-30									
pH									
M.O.									
P									
S									
Ca									
Mg									
K									
Al									
H+Al	1								
SB	-0,349	1							
CTC	0,221	0,836 *	1						
V%	-0,651 *	0,926 *	0,582 *	1					
m%	0,248	-0,435 *	-0,299	-0,476 *	1				
Argila	-0,324	0,416 *	0,251	0,450 *	-0,33	1			
Silte	-0,014	0,456 *	0,470 *	0,351	-0,315	0,739 *	1		
Areia	0,236	-0,450 *	-0,337	-0,437 *	0,342	-0,972 *	-0,875 *	1	
N foliar +1	0,262	-0,057	0,087	-0,104	0,034	-0,398 *	-0,209	0,359	1
P foliar +1	0,068	-0,128	-0,1	-0,09	-0,027	0,109	-0,003	-0,071	0,181
K foliar +1	0,273	-0,301	-0,157	-0,335	0,198	-0,188	-0,084	0,16	-0,114
Ca foliar +1	-0,169	-0,099	-0,199	0,002	-0,018	0,128	0,088	-0,112	0,135
Mg foliar +1	-0,146	0,082	0,002	0,133	-0,159	0,35	0,071	-0,272	-0,107
S foliar +1	0,062	0,217	0,258	0,185	-0,355	0,601 *	0,611 *	-0,636 *	-0,346
N foliar +3	0,234	-0,191	-0,065	-0,217	0,335	0,01	-0,08	0,022	0,134
P foliar +3	0,009	-0,086	-0,084	-0,063	0,145	0,129	0,167	-0,141	0,148
K foliar +3	0,27	-0,242	-0,105	-0,292	-0,01	-0,161	-0,163	0,165	0,241
Ca foliar +3	-0,201	-0,184	-0,306	-0,055	0,139	0,077	-0,024	-0,036	0,237
Mg foliar +3	-0,181	-0,15	-0,253	-0,03	0,133	0,223	-0,144	-0,109	-0,069
S foliar +3	0,157	0,007	0,103	-0,034	-0,195	0,277	0,15	-0,241	-0,076

*: significativo a 5% de probabilidade pelo teste T de Student.

	<i>P foliar +1</i>	<i>K foliar +1</i>	<i>Ca foliar +1</i>	<i>Mg foliar +1</i>	<i>S foliar +1</i>	<i>N foliar +3</i>	<i>P foliar +3</i>
Crop Circle							
GreenSeeker							
N-sensor							
Altura							
Nº de colmos							
Massa verde							
SPAD +1							
SPAD +3							
Umidade							
RP 0-30							
pH							
M.O.							
P							
S							
Ca							
Mg							
K							
Al							
H+Al							
SB							
CTC							
V%							
m%							
Argila							
Silte							
Areia							
N foliar +1							
P foliar +1	1						
K foliar +1	0,414 *	1					
Ca foliar +1	0,341	-0,123	1				
Mg foliar +1	0,598 *	0,13	0,342	1			
S foliar +1	0,419 *	0,301	0,073	0,288	1		
N foliar +3	0,381 *	0,274	0,135	0,185	0,157	1	
P foliar +3	0,349	0,283	0,399 *	0,145	0,417 *	0,2	1
K foliar +3	0,286	0,474 *	-0,108	-0,106	0,087	0,383 *	0,205
Ca foliar +3	0,23	-0,023	0,576 *	0,209	0,009	-0,064	0,523 *
Mg foliar +3	0,245	-0,048	0,328	0,575 *	0,138	-0,054	0,436 *
S foliar +3	0,275	0,208	-0,024	0,156	0,551 *	0,123	0,460 *

*: significativo a 5% de probabilidade pelo teste T de Student.

	<i>K foliar +3</i>	<i>Ca foliar +3</i>	<i>Mg foliar +3</i>	<i>S foliar +3</i>
Crop Circle				
GreenSeeker				
N-sensor				
Altura				
Nº de colmos				
Massa verde				
SPAD +1				
SPAD +3				
Umidade				
RP 0-30				
pH				
M.O.				
P				
S				
Ca				
Mg				
K				
Al				
H+Al				
SB				
CTC				
V%				
m%				
Argila				
Silte				
Areia				
N foliar +1				
P foliar +1				
K foliar +1				
Ca foliar +1				
Mg foliar +1				
S foliar +1				
N foliar +3				
P foliar +3				
K foliar +3	1			
Ca foliar +3	-0,155	1		
Mg foliar +3	-0,206	0,458 *	1	
S foliar +3	0,202	0,261	0,283	1

*: significativo a 5% de probabilidade pelo teste T de Student.