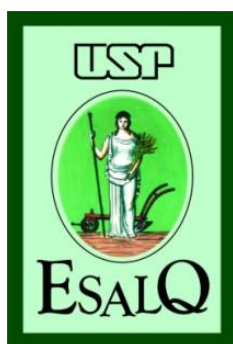


Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Departamento de Engenharia de Biossistemas

0111000 – Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Agrônômica



**LEVANTAMENTO DE FALHAS DE BROTAÇÃO EM CANA DE AÇÚCAR
UTILIZANDO SENSORES ÓTICOS E VANT**

Aluno: Jhonathan Gazaroli Correa

nº USP: 5754911

Email: jhonathan.correa@usp.br

Orientador: José Paulo Molin

Junho de 2012

LEVANTAMENTO DE FALHAS DE BROTAÇÃO EM CANA DE AÇÚCAR UTILIZANDO SENSORES ÓTICOS E VANT

1. RESUMO

A evolução tecnológica e a mecanização vêm contribuindo para o aumento da competitividade do setor canavieiro brasileiro. O sistema de plantio mecanizado vem se mostrando mais rentável e viável do ponto de vista operacional do que o sistema semimecanizado. No entanto, as avaliações recentes têm indicado que o plantio mecanizado causa maiores danos às gemas, conseqüentemente aumentando as falhas de plantio que devem ser cuidadosamente monitoradas. Com a evolução tecnológica, novas ferramentas poderão ser utilizadas para o levantamento de falhas de brotação nos canaviais. Neste trabalho foram comparados um conjunto de sensores óticos, imagens obtidas a partir de um veículo aéreo não tripulado e a metodologia usual para mensuração das falhas em uma área experimental. O resultado do estudo indicou que não houve diferença estatística entre as metodologias abordadas, sinalizando para o desenvolvimento e consolidação de novas ferramentas para a mensuração de falhas de brotação em cana de açúcar.

2. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana de açúcar (*Saccharum spp.*), com 8,89 milhões de hectares cultivados e uma estimativa de produção de 653 milhões de toneladas para a safra de 2013/2014. São Paulo, o maior produtor nacional, é responsável por 51,3% da área total plantada, seguido pelos estados de Minas Gerais e Goiás com 9,31% e 9,3% respectivamente (CONAB, 2013).

O setor canavieiro conta com a contribuição tecnológica da mecanização, em constante evolução, principalmente na colheita de cana de açúcar, para o aumento da competitividade. Para que a colheita, principalmente a mecanizada, seja bem sucedida, é necessário atentar-se para a qualidade do plantio já que a longevidade do canavial depende da interação entre essas duas operações. Muitos são os fatores que

interferem na qualidade do plantio, desde o preparo do solo, densidade de plantio, época, escolha da variedade, qualidade e idade das mudas (FRASSON, 2007). Outro grande fator a ser destacado é o tipo de sistema de plantio, se mecanizado ou semimecanizado.

RIPOLI (2017) citado por GARCIA (2008) define como plantio semimecanizado o conjunto de operações de plantio que envolve as etapas de sulcação, cobertura de sulcos e aplicação de defensivos e fertilizantes realizadas mecanicamente e distribuição de mudas, fracionamento e alinhamento das mudas no sulco, realizados manualmente. Já o sistema de plantio mecanizado seria composto das mesmas etapas, porém todas efetuadas mecanicamente.

O sistema de plantio mecanizado vem se mostrando mais rentável e viável do ponto de vista operacional do que o sistema semimecanizado, além de suprimir a falta de mão de obra provocada principalmente pela mecanização da colheita (GARCIA, 2008). No entanto, as avaliações recentes têm indicado que o plantio mecanizado causa maiores danos às gemas, conseqüentemente aumentando as falhas de plantio, o que reflete na redução da produtividade das lavouras, demandando uma maior densidade de gemas (CAVALCANTI, 2011).

Considerando a capacidade produtiva e a rentabilidade das lavouras de cana de açúcar, o setor sucroalcooleiro demonstra interesse pelas técnicas de manejo localizado com conseqüente acréscimo na demanda por novas tecnologias. A detecção de falhas nas lavouras é uma dessas demandas específicas e relacionada tanto à qualidade do plantio quanto à manutenção da ocupação ótima das lavouras com a cultura. As técnicas atualmente utilizadas são relativamente simples e consistem em medir as falhas manualmente. Essa metodologia, utilizada como referência para essa operação, foi proposta e descrita por STOLT (1986) e caracteriza como falha os espaços entre plantas maiores que 0,5 m em uma mesma fileira. Nessa metodologia utilizam-se trenas, fitas métricas ou gabaritos para medir o comprimento das falhas e da fileira analisada. Essa tarefa, além de demandar significativa mão de obra, é de baixa representatividade espacial e poderia ser mais bem executada com recursos já disponíveis e ainda não devidamente explorados (CAVALCANTI, 2011).

As aplicações de sensores na agricultura vêm sendo empregadas, experimentalmente ou comercialmente, para diversos propósitos. Segundo POVH (2011), os sensores predominantemente utilizados pelo sensoriamento remoto (SR) são dispositivos capazes de detectar e registrar a radiação eletromagnética em determinada faixa do espectro eletromagnético e gerar informações que possam ser transformadas num produto passível de interpretação, quer seja na forma de figura, gráfica ou de tabelas. Segundo MOLIN (2011), o SR tem sido utilizado para avaliar as condições das culturas em relação ao nitrogênio, incidência de pragas, plantas invasoras e doenças. Na cultura de cana de açúcar, trabalhos recentes de FRASSON (2007) e CAVALCANTI (2011) utilizaram sensores óticos ativos objetivando o levantamento da densidade de falhas na brotação e conseguiram resultados promissores.

Com a evolução tecnológica, novas ferramentas poderão ser utilizadas para o levantamento de falhas de brotação nos canaviais. Recentemente os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) vem sido empregados para fins agrícolas, destacando-se como uma ferramenta promissora. Pode-se definir o termo VANT como uma designação genérica a aeronaves não tripuladas capazes de realizar missões aéreas com objetivos específicos. O uso de VANT na agricultura objetiva a obtenção de imagens aéreas que possam auxiliar nas tomadas de decisão referentes às culturas. As imagens obtidas pelo VANT podem ser analisadas e processadas em softwares especializados que possibilitam produzir produtos como ortomosaicos e modelos digitais de elevação de terreno.

MEDEIROS et al. (2008) afirmavam que o desenvolvimento do VANT vinha se firmando como uma importante opção na agricultura de precisão, elencando seu potencial para auxiliar o produtor rural na identificação de estratégias que possam aumentar a eficiência no gerenciamento da agricultura, maximizar a rentabilidade das colheitas e tornar o agronegócio mais competitivo. Os autores realizaram um trabalho com o propósito de desenvolver um procedimento alternativo para a aquisição de dados e telemetria das atividades agrícolas com um VANT. SAMPAIO (2010) cita a utilização de imagens aéreas de um canalial obtidas com um VANT como auxílio para gerenciamento e administração das operações e tratos da cultura. Nos últimos anos, novos modelos de VANT de diversos portes e características foram importados e mais

recentemente algumas empresas nacionais têm entrado no mercado de desenvolvimento e fabricação desses dispositivos. Não obstante, com a modernização da agricultura, novas demandas e finalidades para essa ferramenta surgem a cada dia.

Este trabalho objetivou realizar o levantamento de falhas na brotação em cana de açúcar utilizando imagens obtidas com VANT e sensores óticos ativos, ambos oferecendo recursos que permitem a espacialização das falhas, e compará-las estatisticamente, utilizando um software dedicado, com o método de levantamento padrão.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Os trabalhos foram realizados em área cedida pela Usina Alta Mogiana, na região de São Joaquim da Barra – SP. O talhão de 10,2 ha, de localização latitude -20.4109° e longitude -47.8879° , constituído de cana de açúcar em primeiro ano, com aproximadamente 110 dias após emergência. A cultura foi implantada em espaçamento de 1,5 m entre as fileiras através de plantio mecanizado sob sistema de orientação com piloto automático, atuando em linhas de plantio pré-projetadas. Os dados das linhas onde o plantio foi efetivamente realizado e o contorno do talhão, bem como as informações referentes à cultura, foram disponibilizados pelo corpo técnico da usina.

Os trabalhos foram realizados em três dias. Nos dois primeiros dias foram realizadas leituras de dados com o sensor ótico. No terceiro dia foram realizadas as coletas de dados em campo para os métodos manual e utilizando o VANT.

4.1. LEVANTAMENTO MANUAL

A mensuração manual de falha de brotação em cana de açúcar, definida como padrão e classificada como “Levantamento manual” neste trabalho, segue a metodologia proposta por STOLT (1986). Para essa operação foram utilizadas trenas para medir o comprimento das falhas identificadas visualmente e da fileira analisada. Devido à limitação deste método em relação às grandes dimensões das áreas a serem mensuradas, os levantamentos são feitos por amostragem e extrapolados para o

talhão todo. O resultado deste levantamento é dado em porcentagem (%) de falhas por talhão, dividindo a soma das distâncias totais de falhas pelo comprimento total das fileiras plantadas nas parcelas avaliadas de acordo com a equação (1).

$$F = \frac{d}{D} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

F = ocorrência de falhas no talhão (%)

d = somatória dos comprimentos de falhas (m)

D = somatória dos comprimentos das fileiras analisadas (m)

Para o levantamento manual de falhas de brotação, foram alocadas parcelas utilizando o conceito de grade amostral objetivando melhor representação do talhão. Essa metodologia de amostragem também foi empregada por CAVALCANTI (2011). Para essa tarefa foi utilizado um coletor de dados com receptor GPS integrado Juno SA (Trimble, Sunnyvale, California, EUA) com o software Farm Works Mobile (Farm Works Software, Hamilton, Indiana, EUA), que permite a coleta de dados com acurácia média de 3,0 m. O contorno do talhão e os pontos de referência para alocação das parcelas são mostrados na figura 1.

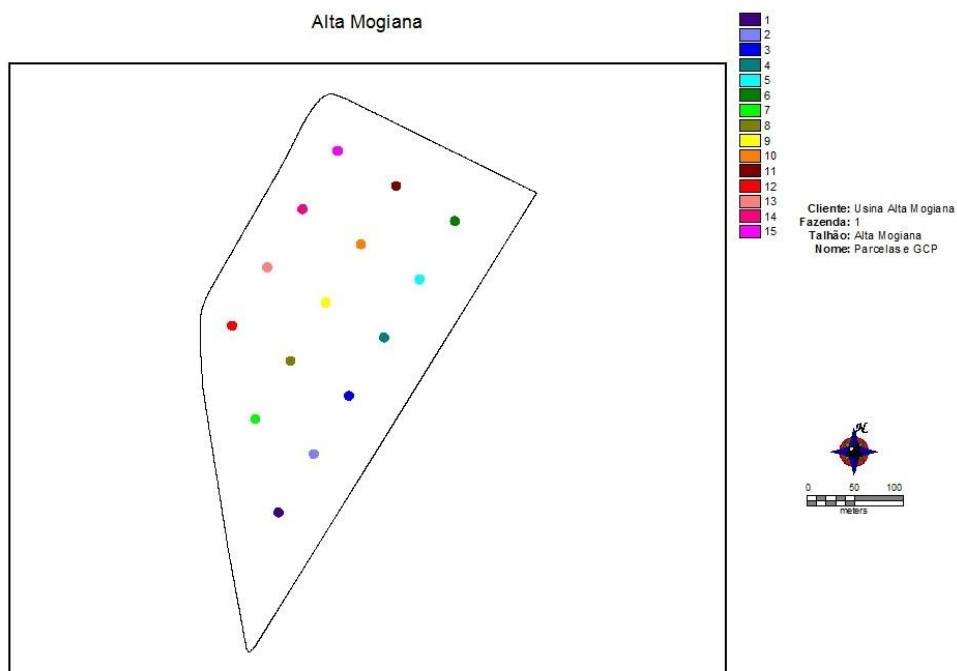


Figura 1. Contorno da área experimental e os pontos de referência para alocação das parcelas

Após a navegação e demarcação em campo dos pontos de referência utilizando o coletor de dados, foram demarcadas parcelas constituídas por quatro fileiras de 10,0 m. A representação da demarcação de uma parcela em relação ao ponto de referência é exibida na figura 2. Após a demarcação das parcelas, utilizando trenas, foram medidos os comprimentos de falhas em cada parcela

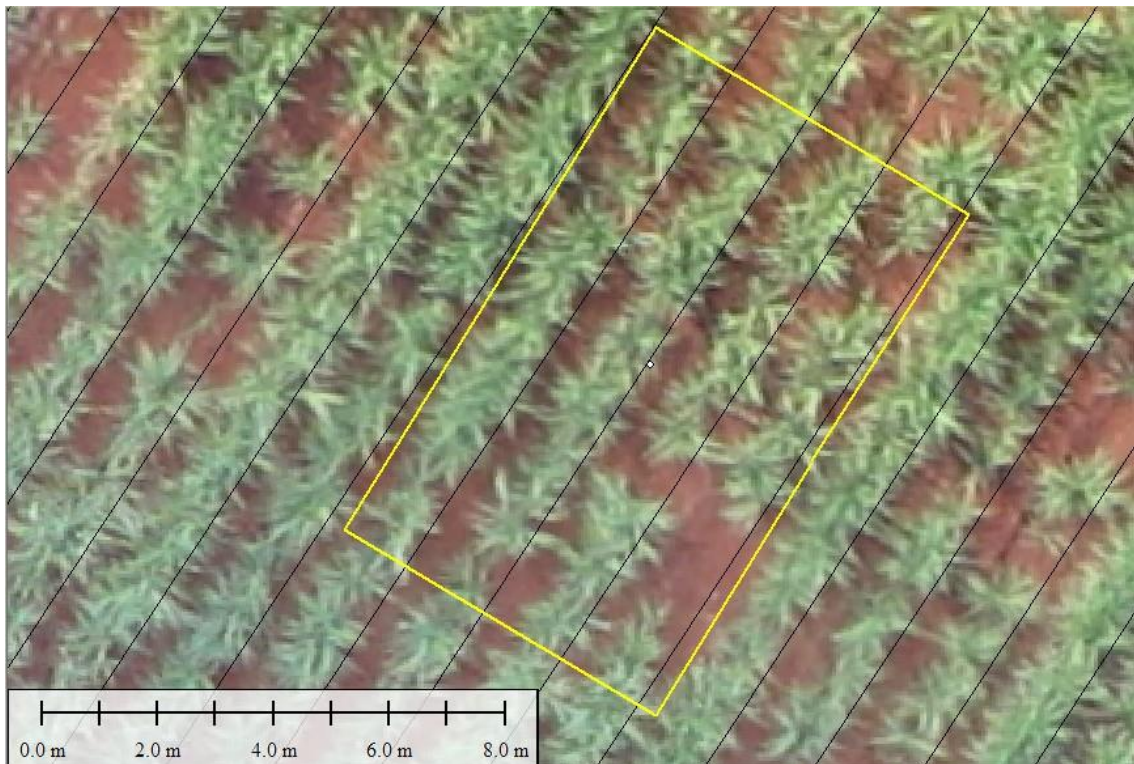


Figura 2. Esquema de demarcação das parcelas

4.2. LEVANTAMENTO COM SENSOR ÓTICO

O levantamento de falhas com o sensor ótico foi realizado utilizando um conjunto GreenSeeker® modelo RT200 (Trimble, Ukiah, California, USA). Os sensores emitem ondas eletromagnéticas e mensuram a refletância espectral do alvo na região do vermelho visível (660 ± 15 nm) e do infravermelho próximo (770 ± 15 nm). Através dos valores de refletância desses dois comprimentos de onda calcula-se o NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada), de acordo com a equação (2). O NDVI é um índice que pode ser correlacionado com diversas características de uma cultura e, de acordo com os trabalhos de FRASSON (2007) e CAVALCANTI (2011), foi considerado um bom indicador no estudo de falhas de brotação em cana de açúcar.

$$NDVI = \frac{IP - V}{IP + V} \quad (2)$$

Em que:

NDVI = Índice de Vegetação da Diferença Normalizada

IP = Valor de refletância do infravermelho próximo

V = Valor de refletância do vermelho visível

O conjunto foi composto por três sensores instalados ao longo de um suporte (barra) e posicionados para fazer a leitura de três fileiras por passada (figura 3). O suporte foi montado de forma que os sensores respeitassem a altura mínima recomendada pelo fabricante, de 0,8 m dos alvos.



Figura 3. Conjunto de sensores óticos ativos GreenSeeker® RT200 montados em um suporte na dianteira do trator

Para a interface com o conjunto de sensores foi utilizado um coletor de dados Nomad (Trimble, Sunnyvale, California, EUA), conectado a um receptor GPS com correção RTK (Real Time Kinematic ou posicionamento cinemático em tempo real) de alta frequência de atualização (10 Hz). Por meio do software Farm Works Mobile® instalado no coletor foram armazenadas as leituras individuais do conjunto e configurados os posicionamentos exatos de cada sensor em relação ao receptor de sinal GPS. Para garantir a cobertura correta de leitura dos sensores acoplados ao suporte em relação às fileiras plantadas, a operação foi realizada sob sistema de orientação de piloto automático com correção RTK, percorrendo as linhas obtidas na operação de plantio. A operação de sensoriamento foi realizada à velocidade média de $1,66 \text{ m s}^{-1}$ (6 km h^{-1}), objetivando a aquisição de uma leitura a aproximadamente cada 0,16 m.

Para calibração dos sensores e definição do valor de NDVI que indicaria a ausência de plantas, foi realizada uma leitura em solo nu na bordadura do talhão de estudo. A alta diferença entre os valores de NDVI para leituras em solo nu e em culturas com relativa densidade de área foliar e as distâncias entre as leituras permitem identificar e mensurar o comprimento das falhas. Para uniformidade da análise comparativa, foram utilizados apenas os dados dentro das delimitações das parcelas do levantamento manual. Considerou-se como falhas as leituras subsequentes com valores de NDVI correspondentes aos obtidos em solo nú. As distâncias das falhas nas parcelas foram calculadas através de ferramenta de medição no software Farm Works Mapping (Farm Works Software, Hamilton, Indiana, EUA). As porcentagens das falhas foram determinadas pela razão entre a soma das distâncias das leituras subsequentes de falhas e a distância total das linhas sensoriadas (equação 3).

$$F_s = \frac{df}{ls} \times 100 \quad (3)$$

Em que:

F_s = Porcentagem determinada pelo sensor ótico (%)

df = soma das distâncias das leituras subsequentes de falhas (m)

ls = distância total das linhas sensoriadas (m)

4.3. LEVANTAMENTO COM VANT

O levantamento de falhas através de imagens aéreas foi executado utilizando um VANT SwingleCAM (SenseFly, Lausanne, Cantão de Vaud, Suíça) (figura 4). O VANT possui 500 g, com autonomia de voo de até 30 minutos em condições de ventos abaixo de 7 m s^{-1} e câmera fotográfica Ixus 220 HS (Canon, Tóquio, Honshu, Japão) com resolução de 12 Mp.



Figura 4. VANT SwingleCAM SenseFly® utilizado para a obtenção das imagens da área experimental.

Para obtenção das imagens aéreas foi planejada uma rota de voo cobrindo todo o talhão de interesse (figura 5) através do software Emotion (SenseFly, Lausanne, Cantão de Vaud, Suíça). O VANT foi programado para capturar as imagens para a produção do mosaico georreferenciado com sobreposição longitudinal de 70% e lateral de 70%, voando a 132 m de altura em relação ao solo. Nessa configuração as imagens individuais possuem resolução de 4 cm por pixel.

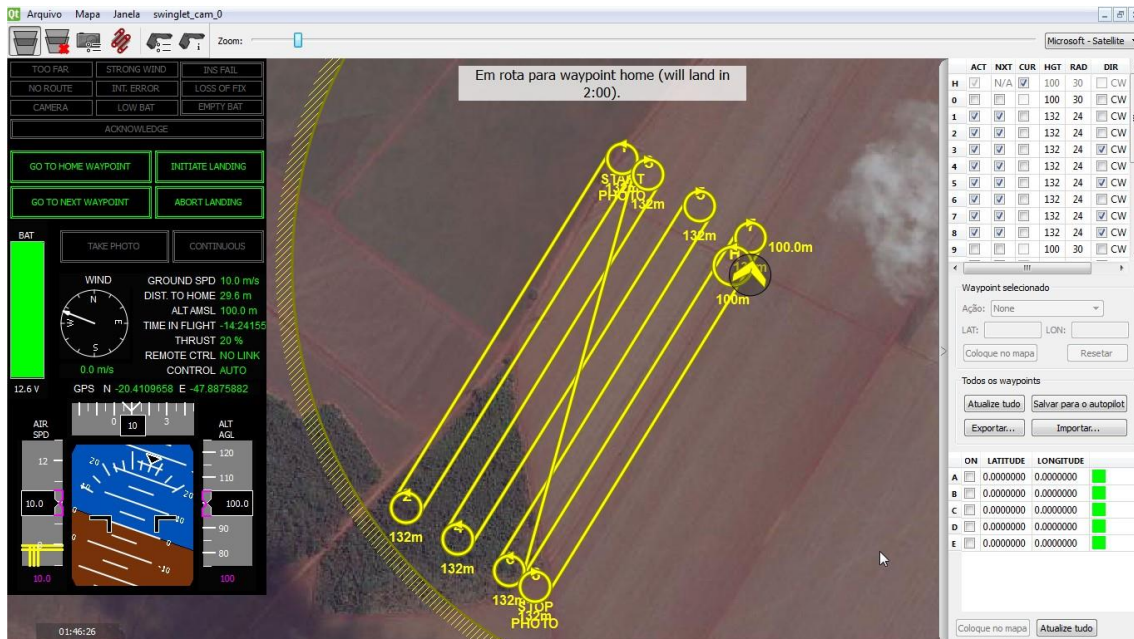


Figura 5. Plano de voo definido a partir do Software Emotion.

Para correção e aferição do georreferenciamento do ortomosaico, antes do voo foram coletados pontos de apoio na área. Pontos de apoio são demarcações georreferenciadas feitas na área a ser imageada objetivando a ortocorreção de um ortomosaico e ou de um modelo de elevação digital. Essas demarcações devem ser feitas de modo que seja possível a sua identificação na figura aérea e sua localização deve ser coletada com um receptor GNSS de alta precisão e acurácia (figura 6). Para esta tarefa foi utilizado um receptor R4 (Trimble, Sunnyvale, California, EUA) com correção RTK. Ao todo foram demarcador e coletados seis pontos de apoio dispostos no talhão de forma planejada.



Figura 6. Demarcação dos pontos de apoio utilizados para ajuste do georreferenciamento do ortomosaico.

Após o voo foi realizado o georreferenciamento das imagens utilizando os dados da posição do momento da captura das fotos registradas pelo software Emotion (SenseFly, Lausanne, Cantão de Vaud, Suíça). Para obtenção do ortomosaico, as imagens com *geotag* foram processadas com as informações dos pontos de apoio no software Postflight (Pix4D, Lausanne, Cantão de Vaud, Suíça).

Com o ortomosaico pronto utilizou-se o software Erdas Imagine (Erdas, Atlanta, Georgia, EUA) para analisar, filtrar e indicar a presença ou ausência de plantas nas imagens. Através da figura filtrada combinada com os dados das linhas de plantio realizadas no talhão, produziu-se um arquivo de linhas contendo apenas os seguimentos de falhas de brotação. Utilizando o software Farm Works Mapping contabilizou-se o comprimento das falhas dentro das delimitações das parcelas analisadas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante e após o levantamento das falhas com o conjunto de sensores foram identificados algumas dificuldades relacionadas à coletora de dados e a sensibilidade dos sensores em relação à distância do solo.

A coletora de dados, apesar de permitir a conexão com um receptor GNSS de alta taxa de atualização, apresentou problemas relacionados à assimilação e gravação dos arquivos de leitura. Foi observado que durante grande parte da operação de sensoriamento, a taxa de atualização enviada pelo receptor GNSS não foi assimilada, resultando em pontos de leitura espaçados a uma distância média de 0,5 m. Houve ainda a perda de dados em alguns seguimentos das passadas durante a operação. A solução para esses problemas não pode ser identificada, podendo possivelmente estar correlacionada à capacidade de processamento de dados da coletora.

O ajuste de altura dos sensores também causou problemas devido à altura média avançada da cultura. Os perfilhos com 110 dias após plantio possuíam cerca de 1,35 m (figura 7). A altura dos perfilhos somada à distância mínima dos alvos recomendada pelo fabricante dos sensores exigiu que o suporte fosse ajustado a altura de 2,15 m do solo..



Figura 7. Altura média dos perfilhos de cana de açúcar na área experimental.

Ainda deve ser observado o longo tempo despendido para realização deste tipo de levantamento, sendo ideal a conciliação com outra operação de rotina na cultura. O levantamento com o sensor ótico, devido à restrita disponibilidade do trator para a operação, teve que ser realizado em passadas alternadas em grande parte do talhão. O mapa dos pontos de leitura e a legenda são exibidos na figura 8.

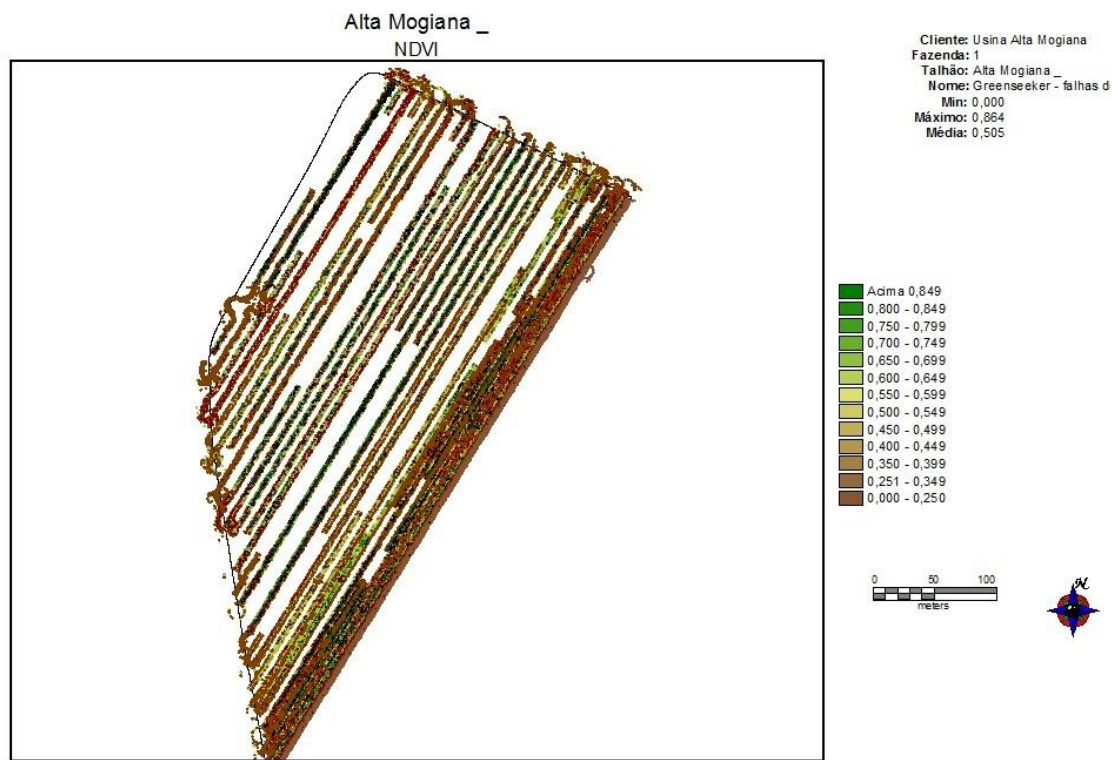


Figura 8. Mapa dos pontos de leitura do sensor ótico

Após o levantamento com o conjunto de sensores óticos e a espacialização dos pontos de leitura no talhão, realizou-se a demarcação das parcelas para a mensuração das falhas com a metodologia padrão (levantamento manual). As parcelas foram demarcadas utilizando a navegação aos pontos de referência da grade amostral, porém cuidou-se para que a alocação inclui-se os pontos de leitura das passadas com o conjunto de sensores óticos. A demarcação das parcelas em relação à grade amostral é exibida na figura 9.

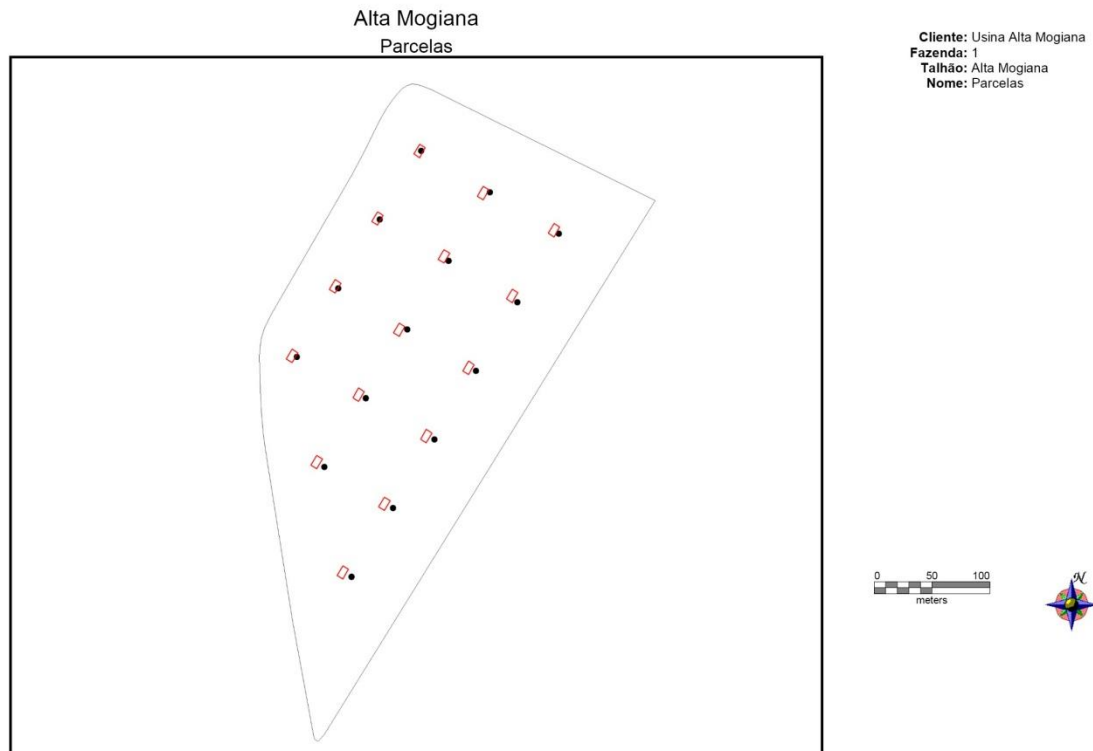


Figura 9. Pontos da grade amostral a alocação efetiva das parcelas

O levantamento de dados com o VANT foi realizado e o ortomosaico é exibido na figura 10. O processamento da figura para mensuração das falhas é demonstrada na figura 11.

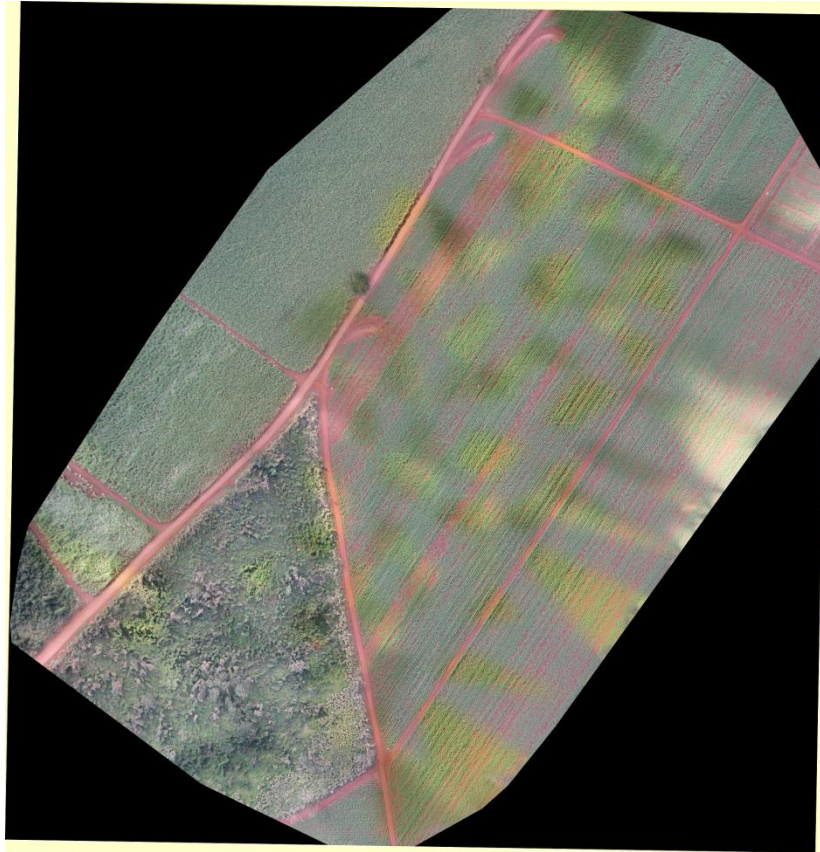


Figura 10. Ortomosaico do talhão de estudo.

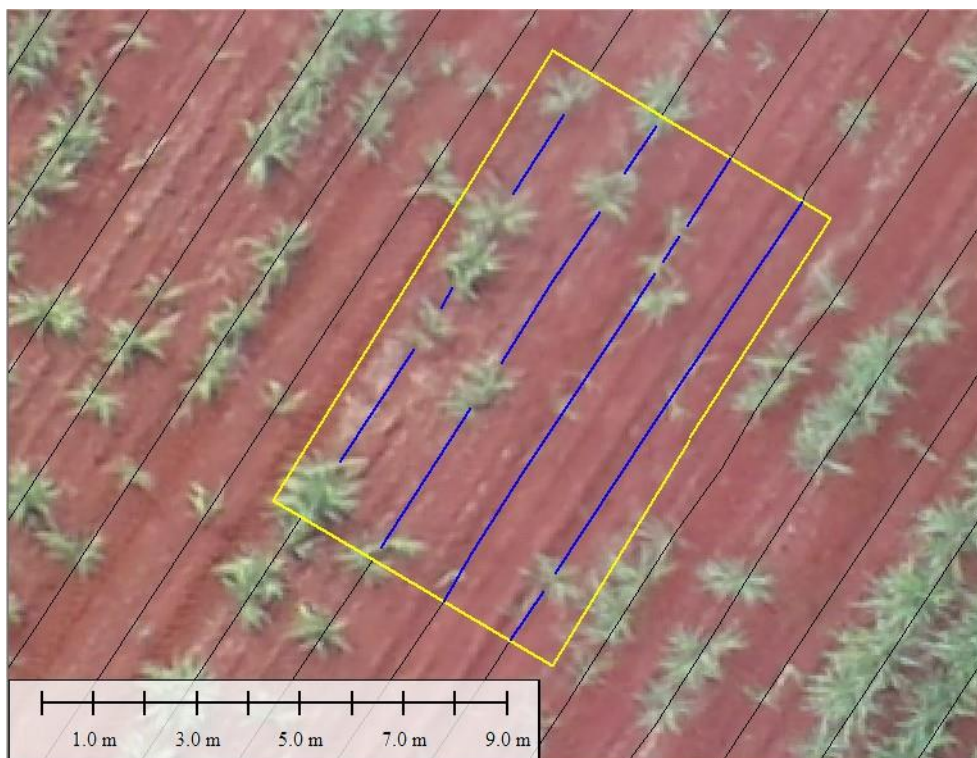


Figura 10. Mapeamento de falhas a partir da imagem composta obtida pela câmera

embarcada no VANT

Os resultados das mensurações de falhas de plantio realizadas por meio dos três métodos são apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Valores das porcentagens de falhas nas parcelas demarcadas para cada método de mensuração.

Parcelas	Falhas por parcela (%)		
	Manual	Sensor ótico	VANT
1	27,0	16,3	23,7
2	11,0	4,0	7,0
3	15,0	12,0	11,7
4	20,8	11,3	14,8
5	13,5	15,5	14,2
6	17,3	12,3	15,8
7	25,5	8,8	16,9
8	9,5	7,5	9,3
9	27,3	16,3	25,2
10	17,0	15,3	13,8
11	3,5	7,5	0,0
12	68,5	94,0	79,6
13	66,0	83,0	69,5
14	58,3	84,0	63,5
15	80,5	74,3	78,9

Os valores das falhas mensuradas em cada parcela, para os três métodos de levantamento realizados, foram submetidos à análise de variância para investigação estatística de diferenças entre os resultados obtidos (tabela 2) utilizando o software Sisvar® (UFLA, Lavras, Minas Gerais, Brasil).

Tabela 2. Análise da variância dos dados obtidos pelos três métodos de levantamento de falhas de plantio.

Fontes de Variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrados médios
Métodos	2	13.676444	6.838222 ^{NS}
Parcelas	14	33896.625778	2421.187556
Erro	28	1260.590222	45.021079
Total corrigido	44	35170.892444	
CV (%)	22.09		
Média geral	30.3711111	Número de Observações	: 45

^{NS} Não significativo pelo teste F a 5%.

De acordo com análise de variância, não foram encontradas evidências de diferenças significativas entre os métodos de levantamento de falhas. Tal resultado indica que os métodos de mensuração por sensores óticos e imagens obtidas por câmera fotográfica embarcada em VANT foram tão eficientes quanto o método de levantamento manual, dentro das parcelas analisadas. Em trabalhos abordando o uso de sensores óticos e o NDVI para a mensuração de falhas, FRASSON (2007) e CAVALCANTI (2011) obtiveram os mesmo resultados. Já para o uso de VANT, não foram encontradas referências de trabalhos relacionados à mensuração de falhas.

6. CONCLUSÕES

A análise estatística comparando os métodos opcionais para mensuração de falhas de brotação de cana de açúcar comparados ao método manual padrão indicou resultados satisfatórios.

A distância entre os pontos de leitura e a exclusão dos dados considerados discrepantes na mensuração de falhas utilizando sensor ótico não demonstraram influir no resultado final desse método.

Concluiu-se com o estudo realizado que os métodos de mensuração de falhas de brotação de cana de açúcar por meio de sensores óticos ativos e por análise de

imagens aéreas com um VANT podem ser utilizados com a mesma eficiência do método de levantamento manual.

8. AGRADECIMENTOS

7. REFERÊNCIAS

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

CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, primeiro levantamento, abril/2013**. Companhia Nacional de Abastecimento – Brasília, 2013.

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

GARCIA, M. A. L. **Avaliação de um sistema de plantio mecanizado de cana de açúcar**. 2008. 77 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

MEDEIROS, F. A.; ALONÇO, A. S.; BALESTRA, M. R. G.; DIAS, V. O.; JÚNIOR, M. L. L. **Utilização de um veículo aéreo não tripulado em atividades de imageamento georreferenciado**. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.38, n.8, p.2375-2378, nov, 2008.

MOLIN, J. P. **Agricultura de Precisão**. In: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. *Agricultura de precisão – Boletim Técnico*. – Brasília: Mapa/ACS, 2011. p. 5 – 27.

POVH, F. P. **Gestão da adubação nitrogenada em milho utilizando sensoriamento remoto**. 2011. 107 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

SAMPAIO, M. A. P. **Aceleração do tempo e encurtamento das distâncias – o histórico papel das técnicas no processo de interiorização e modernização da canavieira paulista: século XVI a XXI**. 2010. 219 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

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.