

# Avaliação de Falhas em Cana-de-Açúcar Segundo o Método de Stolf Utilizando Imagens Aéreas de Alta Precisão Obtidas Por Vant.

\*RUBISMAR STOLF, \*\*THIAGO BRINO GARCIA, \*\*\*LUCIANO DE OLIVEIRA NERIS, \*\*\*\* ONOFRE TRINDADE JUNIOR, \*\*\*\*\*KLAUS REICHARDT

\* UFSCAR – ARARAS –SP, \*\* VERION AGRICULTURA, GUARULHOS, SP \*\*\* UFSCAR – SÃO CARLOS, \*\*\*\* USP, SÃO CARLOS e AGX TECNOLOGIA, SÃO CARLOS, SP, \*\*\*\*\* ESALQ/USP -PIRACICABA, SP

## Resumo

O método de avaliação de falhas segundo Stolf, desenvolvido na década de 1980 e início da década de 1990, permite a obtenção do índice de falhas e uma previsão de perdas de produtividade em cana-de-açúcar. O método tem sido utilizado por várias empresas agrícolas em levantamento convencional, terrestre, utilizando trena métrica dentro do canavial. A empresa AGX Tecnologia Ltda. desenvolveu uma técnica de utilização do referido método permitindo o levantamento, através de imagens aéreas de alta resolução, obtidas utilizando veículos aéreos não tripulados (VANT). A imagem tratada por um método computacional possibilita obter a porcentagem de falhas. O objetivo do trabalho é apresentar o desenvolvimento dessa técnica de processamento de imagem aérea e comparar os dois procedimentos de obtenção de dados: aéreo (AGX) e terrestre (convencional). Inicialmente discute-se a importância desse tipo de avaliação para as técnicas de plantio da cana-de-açúcar seguida de uma revisão sobre o método Stolf de medir falhas no sentido de unificar as principais informações dos três artigos que deram origem ao citado método.

**Palavras Chave:** Agricultura de precisão; Drone; Vista aérea; Linhas de cana-de-açúcar; Espaços vazios.

## Abstract

The Stolf method, developed in the late 1980's and early 1990's, allows obtain the percentage of gaps (faults) and an estimate of lost productivity in sugarcane. The method has been used in sugarcane lines through direct measurements in the field using metric tape. The company AGX Tecnologia Ltda developed a technique of using the mentioned method, allowing the survey through high-resolution aerial images, obtained using Unmanned Aerial Vehicle (UAV). The image handled by a computational method allows to obtain the % of gaps. The aim of this paper is to present the development of this technique aerial image processing and compare the two procedures for obtaining data: air (AGX) and land (conventional). Initially a review of Stolf method of measuring Gaps (faults) is made to unify the main information of three articles that gave rise to the method. After describe the method Stolf, both the aerial and terrestrial procedure are presented.

**Keywords:** Precision agriculture, gap, miss-space without stalk, UAV, aerial imagess,

## Introdução

É possível verificar que, com as mudanças ocorridas no plantio da cana-de-açúcar, a ocorrência de falhas no canavial tornou-se um aspecto importante a ser considerado: pesquisas sobre plantio mecanizado tiveram início nas décadas de 1980 e 1990, respectivamente, com o extinto Planalsucar, hoje UFSCar, e Coopersucar, atual CTC - Centro de Tecnologia Canaveira (STOLF et al., 1984a,b; CONDE et al., 2011). No entanto, a distribuição de mudas nos sulcos de plantio continuou a ser realizada manualmente nas décadas subseqüentes. Com a legislação que proibiu a distribuição manual sobre veículos em movimento, essa técnica passou a entrar em desuso na década de 2000, predominando na atualidade o plantio totalmente mecanizado com toletes oriundos da colheita mecânica (BOSCO, 2012). Contudo, tem-se verificado um índice de brotação menor, cerca de 30%, ocasionando falhas no canavial (SERAFIM et al., 2013), sendo associada à qualidade operacional do plantio (BARROS & MILAN, 2010).

Dessa forma, o maior problema apontado no plantio mecanizado é a ocorrência de falhas causadas por danos às gemas (BENEDINI et al., 2009; CONDE et al., 2011; CEBIM et al., 2012; RODRIGUES et al., 2013; SERAFIM et al., 2013; RODRIGUES et al., 2014). Considerando que no sistema manual já se utilizava uma quantidade de muda elevada para compensar falhas, no plantio mecanizado aumentou-se de 4 a 6 t/ha, ou seja, de 18 para 22 t/ha, podendo chegar a 24 t/ha (GUERRA & BELLINI; 2006; RODRIGUES et al., 2013; VOLTARELLI, 2013). Mais recentemente, algumas empresas retornaram ao sistema semi-mecanizado diferente do tradicional: passaram a distribuir a muda de plantio da cana com carregadoras, colocando-se feixes de mudas em várias posições para posterior distribuição manual nos sulcos. Essa indefinição do método de plantio estimulou a retomada de antigos estudos, o de muda pré brotada, ou seja, na década de 1970 o CTC desenvolvia o “plantio de gemas isoladas”, no qual se extraía apenas a gema do colmo. Na mesma linha, o antigo Planalsucar (UFSCar), na década de 1980, desenvolvia a micropropagação, reproduzindo mudas através da cultura de meristema. Ambas as tecnologias tinham como objetivo principal reduzir o número de células sem função no desenvolvimento da nova planta de forma a reduzir a probabilidade de doenças. Plantadas em tubetes essas mudas pré-brotadas eram utilizadas apenas como material para formar viveiros. Considerando a vantagem de reduzir a massa de muda de plantio cerca de 20 vezes surgiu uma primeira proposta de método de plantio de MPB em escala comercial (STOLF & LEE, 1990). Estimuladas pelas mudanças no plantio, essas idéias começaram a ser retomadas nas décadas de 2000-2010 por instituições privadas e públicas para uso em viveiros ou mesmo em área de matéria prima para a indústria. instituições de pesquisa como o IAC (XAVIER & LANDELL, 2013), o CTC e a UFSCar-campus de Araras também passaram a estudar o método de produzir MPB, bem

como empresas privadas como a Syngenta com o projeto PLENE-PB (CLARIANO, 2014) e a BASF (2014). Segundo IAC (2014) atualmente há cerca de 10 biofábricas de MPB no Brasil. Portanto, essas questões sobre técnicas de plantio e de avaliação de ocorrência de falhas tornaram-se importantes temas de debates na atualidade em seminários e simpósios (BENEDINI et al., 2009; JULIANETTI, 2011; STOLF, 2011). O objetivo do trabalho é apresentar a evolução da técnica de avaliação de falhas através do processamento de imagem aérea e comparar os dois procedimentos de obtenção de dados: aéreo e terrestre (convencional).

## O Método Stolf de Avaliação de Falhas

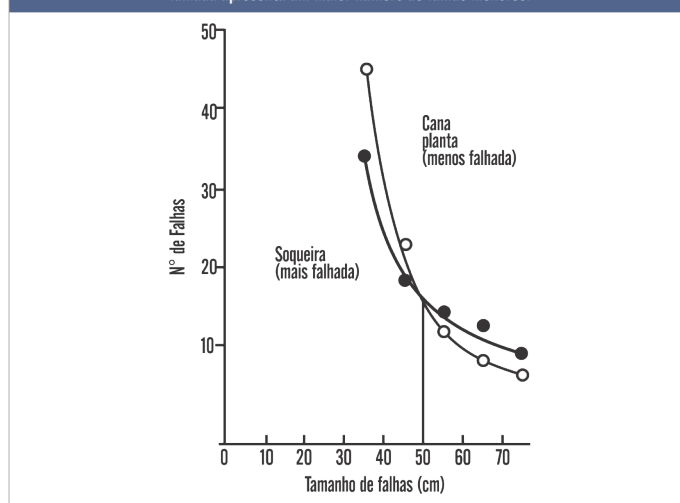
“Falhas” são espaços vazios sem colmos nas linhas de cana-de-açúcar, sendo sua ocorrência associada à diminuição da produtividade. Se na atualidade na implantação da cultura é dada grande importância a falhas de brotação, ou seja, no seu plantio, outros fatores até a colheita, como o tipo e estado da lâmina de corte das colhedoras (TOLEDO et al., 2013), provocam danos às soqueiras. Assim, ervas invasoras, estiagem, baixa temperatura na época de plantio, ataque de pragas subterrâneas de rizoma, pisoteio das soqueiras provocam falhas, sendo importante o desenvolvimento de técnicas para a quantificação.

A metodologia foi lançada com versões simultâneas em português e inglês, em mesma edição da STAB (STOLF, 1986a, b). Posteriormente, a versão em português recebeu uma reimpressão comemorativa dos 30 anos, na mesma revista. A idéia central é baseada em avaliar-se o total de falhas em termos da somatória do comprimento das falhas acima de 0,5 m por 100 m de linha de cana (% Falhas). Em estudos complementares (STOLF et al. 1986 e STOLF et al. 1991) promoveu-se a calibração do método, ou seja, obteve-se a curva que correlaciona a produtividade com o índice de falhas. As perdas resultaram lineares em um grande intervalo de falhas (0 - 55 % de falhas), com perdas de 3,2 % de produtividade para um aumento de 10 % no índice de falhas ou, como queira, 0,32 % de perda para cada 1 % de falha. Esse resultado mostra a grande capacidade de recuperação do canal, pois 1 % de falha não resulta em 1 % de perda de produtividade, mas, sim, apenas 0,32 %, ou seja, uma recuperação de 68 % (2/3). Esses estudos demonstraram a possibilidade da convivência de alta produtividade mesmo com ocorrência de falhas até um determinado grau. Empresas agrícolas deixaram de destruir indiscriminadamente áreas recém-plantadas que apresentavam índices relativamente altos de falhas. A técnica desenvolvida tem sido citada e/ou empregada em várias pesquisas (CHRISTOFFOLETI, 1988; LUZ, 1989; FRASSON et al., 2007; ALVARES et al., 2008; FERNANDES, 2009; FORTES, 2010; PEREIRA, 2011; PARIS Jr et al., 2013; SANTIAGO & ROSSETTO, 2013; RAVELI, 2013; TURCO et al., 2014; VOLPE et al., 2014; DIAS et al., 2015) e também como controle interno em empresas agrícolas de produção de cana-de-açúcar. O método desenvolvido especifica o que se deve medir para se obter o índice de falhas. Por outro lado, pode haver modos diferentes de obtenção dos dados (terrestres ou aéreos). Inicialmente, far-se-á uma exposição do método e, em seguida, será abordada a questão dos modos de obtenção dos dados.

### TAMANHO DE FALHAS A SER CONSIDERADO

Não existe canal sem falhas, sendo uma ocorrência natural, apresentando-se de diferentes tamanhos. A (Figura 1) contém dois exemplos de curvas de distribuição de falhas em canais. Um aspecto marcante é que o número de falhas por 100 m de linha diminui exponencialmente para as classes maiores.

FIGURA 1 - Curvas de distribuição de nº de falhas/100 m versus tamanho de falhas, para uma área de cana planta (menos falhada) e soqueira de quarto corte (mais falhada). Obs.: a área menos falhada apresenta um maior número de falhas menores.



Assim, se medirmos falhas a partir de um tamanho muito grande praticamente não haverá falhas para medir. Por outro lado, se decidirmos medir a partir de um tamanho de falhas muito pequeno, o volume de trabalho na medida aumenta exponencialmente. Assim, a questão de se estabelecer um tamanho, a partir do qual se deve medir, surge como uma necessidade. Ao comparar as curvas de distribuição de dois canais, cana planta e soqueira mais falhada (Figura 1), verificou-se que o canal melhor, menos falhado, apresentava mais falhas nas classes menores e menos falha nas classes maiores. O ponto de cruzamento entre as curvas é o tamanho de falha acima do qual devemos medir para se obter a maior distinção entre os canais. O ponto encontrado foi ao redor de 0,5 m, estabelecendo-se o valor mínimo acima do qual se deve medir falhas.

### O ÍNDICE DE FALHAS PROPOSTO

Basta somar o comprimento total de falhas maiores que 0,5 m em um trecho de linha de cana e dividir pelo comprimento do trecho considerado x 100, tornando extremamente fácil a aplicação no campo:

$$\% \text{ Falhas} = \frac{\text{Comprimento total de falhas maiores que } 0,5\text{m}}{\text{Comprimento total do trecho considerado}} \times 100$$

Para este procedimento, basta utilizar uma trena e um bastão de 0,5 m para, em caso de dúvida, definir se a falha é maior esse valor. Para aplicar no campo demarca-se um trecho de linha de cana e estira-se a trena em cada falha de forma que os valores vão sendo acumulados na trena. O valor final da trena é a medida acumulada das falhas (não se anota o tamanho de cada falha, aumentando-se a velocidade de aplicação). Recomenda-se medir um total mínimo de cerca de 200 m de linha por talhão (10 ha) dividido em 4 amostras de 50 m, podendo aumentar as repetições para esse total (8 ou 10 amostras de 20 m).

Exemplo: em um trecho de 20 m foram encontradas 7 falhas maiores que 0,5 m, totalizando 6 m. Resultado:

%Falhas = 30, ou seja, 30 m de falhas em 100 m de sulco:  
(6/20) x 100.

Como informações auxiliares:

N (número de falhas por 100m) = 35 falhas/100m: (7/20) x 100.

Freq. = (100 - %Falhas)/N = 2 m (frequência: distância percorrida para encontrar uma falha maior que 0,5 m, (100-30)/35

**CORRESPONDÊNCIA ENTRE %FALHAS E N (Nº. DE FALHAS POR 100 M)**

Quanto maior for a falha menor será a probabilidade de sua ocorrência, determinando uma curva de distribuição decrescente com o tamanho (Figura 1). Verificou-se também que há uma correspondência entre %Falhas e N, de forma que, por exemplo, para uma %Falhas = 30 o valor de N obtido será em torno de 37 (Figura 2).

TABELA GERAL DE CALIBRAÇÃO DE PERDAS COM A %FALHA Promoveu-se a calibração do método (STOLF,1986a,b e STOLF et al., 1991), ou seja, obteve-se a curva que correlaciona a produtividade com o índice de falhas, válido para cana planta e soca (Figura 3). As perdas resultaram lineares em um grande intervalo de falhas (0 - 55 % de falhas) traduzidas pela expressão; %Perdas=%Falhas/3,2. Assim, um canavial com 50% de falhas perde apenas 16 % da produtividade (50 % /3,2). Esse resultado mostra a grande capacidade de recuperação de um canavial, de 69 %. Utilizando-se as curvas (Figuras 2 e 3) gerou-se uma tabela geral de calibração do método (Tabela 1) e um exemplo de aplicação (Tabela 2).

**ALTERNATIVA PARA APLICAR O MÉTODO NO CAMPO POR SENSORIAMENTO REMOTO**

A proposta original foi computar as falhas, estirando um trecho da trema em cada falha maior que 0,5 m.

Com o advento da tecnologia de alta precisão abriu-se a possibilidade de aplicar novas maneiras de se obter o índice. Uma delas refere-se à utilização de sensor ótico, em desenvolvimento pelo grupo da ESALQ de agricultura de precisão (FRASSON et al., 2007), porém sendo também uma técnica de medida terrestre.

A utilização do sensoriamento remoto (SR) teve início na agricultura na década de 1990, havendo na atualidade importantes aplicações (AGUIAR et al., 2009; LAMPARELLI et al., 2011; SILVA et al. 2013; NONATO et al., 2013) e maiores facilidades de aplicação pela utilização de VANTs (MEDEIROS et al., 2008; SALVADOR & ANTUNIASSI, 2011; GALVAO & ROSALEN, 2013). A energia emitida ou refletida por objetos é registrada por sensores remotos em diferentes faixas espectrais do espectro eletromagnético (HUNT et al., 2010). Esta energia é convertida em um sinal elétrico e associada a níveis de cinza, ou seja, em dados passíveis de serem analisados. Geralmente, estes dados são expressos em forma de imagens, gráficos, que possibilitam o monitoramento de parâmetros biofísicos ligados à produtividade ao longo de todo o ciclo da cultura (TRINDADE et al. 2004). As imagens aéreas de uma área cultivada permitem identificar também algumas características da cultura de forma abrangente, e que seriam vistas com maior dificuldade mesmo em avaliações terrestres. Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), de fácil manejo, têm se impostos em relação a equipamentos de fotografia aérea convencional, de alto custo e satélites, por ocorrência de nuvens que impedem monitoramento contínuo, tornando-se uma tecnologia de obtenção de imagens georeferenciadas a um custo reduzido (NERIS, 2001; KOH & WICH, 2012). Os VANTs, desenvolvidos inicialmente para uso militar, têm encontrado no monitoramento ambiental e agrícola suas maiores aplicações (TRINDADE et al., 2004; WATTS et al., 2012). Em geral, de pequenas dimensões, permitindo manobras em espaços pequenos, através de piloto automático, a nave é conduzida em rota pré-programada pela inserção de coordenadas (NERIS, 2001).

FIGURA 2 - Número de falhas/100 m de linha em função da porcentagem de falhas (STOLF et al. 1986).

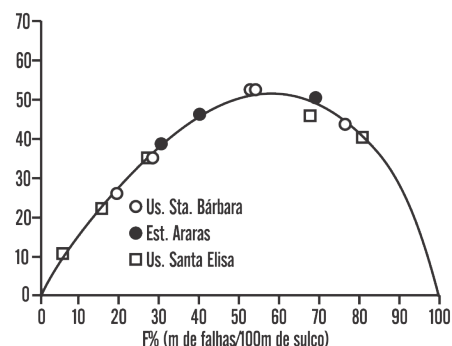
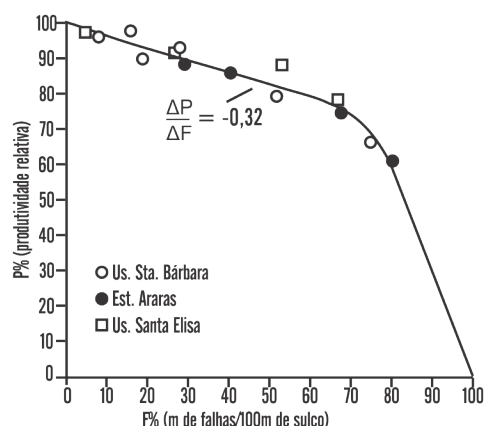


FIGURA 3 - Curva geral de calibração da diminuição da produtividade relativa (P%) em função da porcentagem de falhas (%Falhas)



*Material e Métodos*

**PROCESSAMENTO DA IMAGEM UTILIZADA**

Após a obtenção da imagem pelo VANT, o processamento da imagem é dividido em duas etapas (AGX, 2013). A etapa de identificação das linhas de cana-de-açúcar e a etapa de identificação das falhas nas linhas de plantio. Para calcular o porcentual de falhas, inicialmente, é determinada a localização das linhas de cana-de-açúcar na imagem. Com base na localização das linhas e na distância real de plantio, determina-se a escala da foto e a quantidade de linhas de cana-de-açúcar. A última etapa identifica as regiões de falhas permitindo determinar a quantidade de falhas existentes nas linhas de cana-de-açúcar da imagem.

**IDENTIFICAÇÃO DAS LINHAS**

A identificação das linhas é a principal etapa do processamento. Esta etapa recebe como dado de entrada uma imagem de cana-de-açúcar e gera como saída às linhas de cana-de-açúcar que a compõe. A grande dificuldade desta etapa é a falta de padrão das linhas e do tamanho das plantas. A (Figura 4) ilustra um exemplo de imagem de uma área de cana-de-açúcar imageada, sendo viável registrar a imagem anterior ao fechamento do canavial.

FIGURA 4- ilustra um exemplo de imagem de uma área de cana-de-açúcar imageada, sendo viável registrar a imagem anterior ao fechamento do canavial.

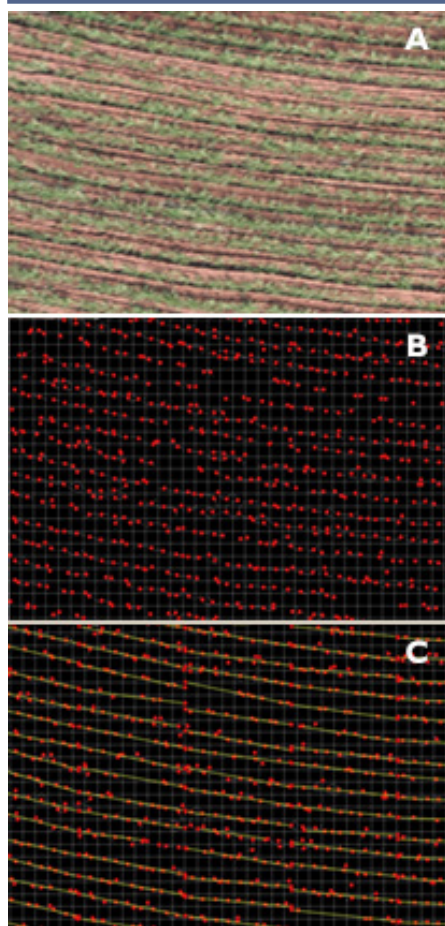


FIGURA 4 - A. Imagem de cana-de-açúcar; B. Centro de massa dos pontos e esqueletização por grid; C. Retas no grid de cana-de-açúcar.

A partir da (Figura 4.A), o processo de identificação das linhas é dividido em quatro etapas: esqueletização da região de plantas; obtenção do centro de massa dos pontos da esqueletização (Figura 4.B); determinação das retas de cana-de-açúcar no grid e geração das linhas de cana-de-açúcar (Figura 4.C).

Na etapa de esqueletização, a imagem é separada nos canais (R, G, B), e transformada para sistema de cor HSV. A segmentação é realizada no canal H para encontrar a região da imagem que contém a informação espectral da cana-de-açúcar. O algoritmo de esqueletização é então aplicado na imagem obtida e os pontos obtidos são armazenados para serem processados na próxima etapa (GONZALES, 2000). A obtenção do centro de massa dos pontos da esqueletização tem como objetivo diminuir a quantidade de pontos gerados sem descaracterizar a região.

TABELA 1 - GERAL DE CALIBRAÇÃO DO MÉTODO, VÁLIDA PARA PLANTA E SOCA (STOLF ET AL., 1986A,B E 1991).

FALHAS					PERDAS %	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA
% falhas m/100m	N°. 100m	TM m	FREQ m			
0	0	-	-	0	_____	
5	8	0.63	11.9	1.6	_____	
10	15	0.67	6.0	3.2	_____	
15	21	0.71	4.0	4.8	_____	
20	27	0.74	3.0	6.4	_____	
25	32	0.78	2.3	8.0	_____	
30	37	0.81	1.9	9.6	_____	
35	42	0.83	1.5	11	_____	
40	46	0.87	1.3	13	_____	
45	50	0.90	1.1	14	_____	
50	52	0.96	0.96	16	_____	
55	52	1.1	0.87	18	_____	
60	51	1.2	0.78	19	_____	
65	50	1.3	0.70	21	_____	
70	48	1.5	0.63	24	_____	
75	45	1.7	0.56	28	_____	
80	41	2.0	0.49	38	_____	
85	35	2.4	0.43	53	_____	
90	28	3.2	0.36	69	_____	
95	16	5.9	0.31	84	_____	
100	0	-	0.00	100	_____	

TABELA 2 - CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO PLANTIO (ADAPTADO DE STOLF, 1986)

% falhas m/100m	Perdas (%) (tabela 1)	Qualidade do Plantio	OBSERVAÇÃO
0-10	0-3,2	Excelente	15 gemas/m com condições excepcionais de brotação
10-20	3,2-6,4	Normal	Tipo mais comum
20-35	6,4-11	Subnormal	
35-50	11-16	Ruim	Pensa-se em reformar mas mantém-se o canavial
> 50	>16	Péssimo	Reformar/replantar a área

Para tanto, são gerados grids de tamanho igual à metade da distância entre as linhas e os pontos distribuídos em cada grid de acordo com sua localização. Com os pontos separados por grids é realizado o cálculo do centro de massa de cada grid para gerar apenas um ponto por grid. A (Figura 4.B) ilustra uma imagem gerada nesta etapa.

Como as linhas de cana-de-açúcar não são apenas retas, mas também podem ser curvas de diferentes formatos, optou-se por representar as linhas como segmento de retas. Para este fim a imagem é dividida novamente em grids, porém estes grids possuem tamanhos relativamente maiores do que os grids da sessão anterior. Os grids gerados têm o objetivo de diminuir o domínio da imagem e aproximar as linhas da cultura para segmentos de retas. Com os pontos da sessão anterior realiza-se uma triangulação, utilizando o algoritmo de Delaunay (YANG et al., 2009; XU et al, 2011), para gerar as arestas entre os pontos. Cada grid possui seu conjunto de pontos (centro de massa) e um conjunto de arestas como ilustra a (Figura 4.C)

**O VANT UTILIZADO NO LEVANTAMENTO AÉREO**

Utilizou-se o modelo Arara de fabricação da AGX, aparelhado para produção de imagens georeferenciadas de alta resolução (3,5 cm/pixel). É uma aeronave de asa alta, afilada com diedro e empenagem horizontal convencional em V. O seu sistema de propulsão é composto por um motor a combustão de dois tempos de 5.5 HP movido a gasolina de aviação (AVGAS) e por uma hélice bipá 20x12. O conjunto motopropulsor é fixado em uma torre posicionada sobre a fuselagem. O trem de pouso é do tipo convencional fixo com rodas ou esqui, com unidades auxiliares no nariz e na cauda. A Figura 5 ilustra o modelo descrito. As principais características dessa aeronave são: envergadura: 3 metros; peso sem combustível com rádio e câmera: 14,5 Kg;

peso com combustível com rádio e câmera: 18,5 Kg; velocidade de Cruzeiro: 120 km/h; autonomia de voo: 4 horas (Figura 5). Para análise foram levantadas nove áreas com ampla variação no índice de falhas (14 a 50 %). As respectivas imagens aéreas foram processadas de forma a resultar o comprimento de linha, o comprimento das falhas maiores que 0,5 m e o número de falhas. Os resultados brutos foram transformados em %Falhas, N (Nº. de falhas/100m), TM (tamanho médio) e FREQ (distância média para encontrar uma falha). Utilizando-se a tabela de calibração (Tabela 1) foram estimados os valores das mesmas variáveis (N, TM e FREQ) para efeito de comparação.

FIGURA 5 - VANT, MODELO ARARA DA AGX



## Resultados e Discussão

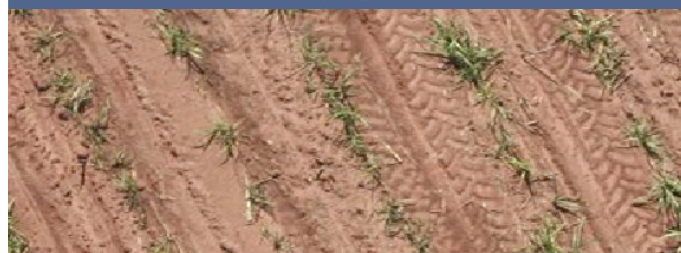
Na Figura 6 ilustra-se o método de obtenção do índice de falhas. A imagem original (Figura 6.a) é primeiramente processada de forma permitir a localização e traçado das linhas pela coloração da cultura da cana-de-açúcar (Figura 6.b), totalizando-se em seguida o comprimento (C) de linha utilizado na amostragem. Em seguida, são identificados os espaços correspondentes às falhas maiores que 0,5 metro, totalizando os metros de falhas (Figura 6.c). A divisão do total de falhas pelo total de linhas multiplicado por 100 resulta no índice de falhas em termos de metros de falhas por 100 m de sulco, ou seja, % falhas. Este é o resultado principal do método de interesse para o produtor, podendo-se complementarmente obter o tamanho médio, N e frequência de ocorrência FREQ, como variáveis auxiliares.

A Tabela 3 contém o resultado da análise de nove imagens com diferentes porcentagens de falhas (de 15 a 50 %). As sete primeiras colunas correspondem aos dados medidos nas imagens. Os dados das quatro últimas colunas foram estimados utilizando a (Tabela 1) de calibração. Dessa forma, é possível verificar a similaridade dos valores de N, TM e FREQ obtidos nas áreas de levantamento aéreo por VANT e estimados pela Tabela 1, utilizando os valores de % falhas.

### PROCESSO DE FORMAÇÃO DE FALHAS

No plantio da cana-de-açúcar é colocado um número muito grande gemas nos sulcos. A formação de uma falha ocorre quando um número de gemas consecutivas deixa de brotar, podendo-se considerar um fenômeno aleatório, com distribuição decrescente com o tamanho da falha, pois a probabilidade de ocorrer uma sequência cada vez maior de gemas consecutivas não brotadas diminui exponencialmente (Figura 1). Segundo o método Stolf, o canavial é composto de trechos de falhas maiores que 0,5 m e trechos sem falhas, na média, representados por TM e FREQ, respectivamente. Comparando-se canaviais gradativamente mais falhados, no início % falhas, N e TM são baixos. Gradativamente com o aumento da % falhas tem-se que N e TM também aumentam. Nesse processo TM é sempre crescente com a % falhas e ao contrário FREQ decrescente. Contudo, N cresce até FREQ tornar-se igual a TM (Freq =TM), condição que passa por um máximo para em seguida decrescer (ponto de máximo da Figura 2).

FIGURA 6. (A) Foto aérea de uma área para medir falhas; (B) Obtenção do comprimento total - linha vermelha; (C) Comprimento total das falhas - linha vermelha. Obs.: pequena área retirada de uma imagem, para permitir visualização ampliada. Note-se a alta resolução pelo registro das marcas da passagem de trator.



(A) Primeiro passo: Obtenção da imagem da área para medir % falhas.



(B) Segundo passo. Obtenção do comprimento total das linhas contínuas em vermelho correspondente às linhas de plantio



(C) Terceiro passo. Obtenção das Linhas tracejadas em vermelho que correspondem às falhas maiores que 0,5 m.

Outro aspecto de interesse é que nesse ponto a % falhas necessariamente deve ser 50 %. Em resumo para % falhas = 50 %: FREQ=TM e N é máximo. Assim, para um dado valor de % falhas, há um valor mais provável de se obter N, TM e Freq. Dessa forma, apesar de se tratar de um fenômeno aleatório, ocorre, para cada valor de % falhas, um valor mais provável de N, TM, FREQ, detectado experimentalmente e traduzido em um ábaco de calibração (Tabela 1). Assim é extremamente improvável que uma área de cana-de-açúcar com % falhas = 15, apresente N = 50 ou TM = 2 m e, sim, grosso modo, os valores projetados na referida tabela, TM=0,71 m, e N=21.

Por meio dessas propriedades os dados da (Tabela 3) foram analisados para obter a validação da medida aérea. Comparando-se N, TM e FREQ medidos e estimados é possível verificar a proximidade dos valores bem como alta correlação,  $R^2$  (Figura 7). Considerando que os dados estimados foram extraídos de tabela desenvolvida há três décadas (1986), conclui-se tratar-se de um indicativo da validade do processo de medida aérea e, ao mesmo tempo, uma revalidação do próprio método de medida de falhas. A coluna “representação gráfica” (Tabela 1) é de certa forma a base do método aéreo, pela intercalação de trechos com falha (TM) e sem falhas (FREQ), equivalente à Figura 6.C, do método aéreo.

Na mesma (Figura 6) recortou-se um pequeno trecho de uma imagem para resultar grande ampliação, permitindo verificar o grau de resolução. É notável a clareza da imagem, possibilitando inspecionar um talhão possivelmente melhor de que da forma presencial.

FIGURA 7. Correlação entre valores medidos e estimados de N, TM e FREQ.

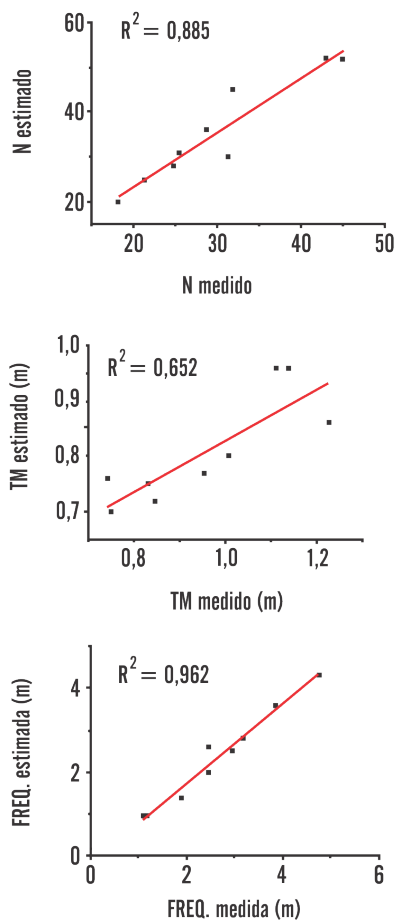


TABELA 3. Dados medidos por meio do processamento de imagens e estimados pela tabela 1.

Medidos nas imagens			Medidos nas imagens e transformados			Estimados utilizando dados da coluna % Falhas na Tabela 1				
C de linha	C de falhas > 0,5m	Contagem falhas	% Falhas	N	TM	FREQ	N	TM	FREQ	Perdas
(m)	(m)	--	(m/100m)	(m/100m)	(m)	(m)	(/100m)	(m)	(m)	(%)
308	42	56	14	18	0,75	4,8	20	0,7	4,3	4
366	66	78	18	21	0,85	3,8	25	0,72	3,3	6
572	118	142	21	25	0,83	3,2	28	0,75	2,8	6
643	149	201	23	31	0,74	2,5	30	0,76	2,6	7
622	152	159	24	26	0,96	3,0	31	0,77	2,4	8
407	118	117	29	29	1,0	2,5	36	0,8	2,0	9
343	135	110	39	32	1,2	1,9	45	0,86	1,3	12
431	212	186	49	43	1,1	1,2	52	0,96	1,0	15
361	181	163	50	45	1,1	1,1	52	0,96	1,0	16

C – comprimento; N – número de falhas/100m; FREQ = (100-%Falhas)/N, ou seja, em média a distância se para encontrar uma falha; TM - tamanho médio da falha.

GALVAO, G. M.; ROSALEN, D. L. Acurácia da mosaagem gerada por veículo aéreo não tripulado utilizado na agricultura de precisão. In: FURLANI, C.E.A.; SILVA, R.P.; ROSALEN, D. L. (Org.). **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA** (42., 2013, Fortaleza): Os desafios para o desenvolvimento sustentável. Ied Jaboticabal: SBEA, 2013, p. 3-12.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento de Imagens Digitais**. São Paulo: Edgard Blücher, 2000. 509 p.

GUERRA, M.; BELLINI, L.A.F. Mecanização do plantio: viável apenas na falta de mão de obra. **Revista Canavieiros**, Sertãozinho, v.1, n.6, p.31, dez. 2006.

HUNT, E.R., JR.; HIVELEY, W.D.; FUJIKAWA, S.J.; LINDEN, D.S.; DAUGHTRY, C.S.T.; MCCARTY, G.W. Acquisition of NIR-Green-Blue Digital Photographs from Unmanned Aircraft for Crop Monitoring. **Remote Sens**, 2010, v.2, 290-305.

IAC (Instituto Agrônomo de Campinas). **Inauguração da biofábrica de cana-de-açúcar do IAC**. **Revista Canavieiros**, Sertãozinho, v.8, n.94, p.41-42, abril, 2014.

JULIANETTI, A. Pleno: Nova Tecnologia para Plantio de Cana-de-açúcar. II Simpósio Paulista de Mecanização em Cana-de-açúcar. Jaboticabal, 2011. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/50124609/SPMEC2011-Palestra-4-Alessandra-SYNGENTA>. Acesso em: 10 maio 2014.

KOH, L.; WICH, S.A. Dawn of drone ecology: low-cost autonomous aerial vehicles for conservation. **Tropical Conservation Science**, v.5, n.2, p.121-132, 2012.

LAMPARELLI, R.A.G.; NERY, L.; ROCHA, J.V. Utilização da técnica por componentes principais (apc) e fator de iluminação, no mapeamento da cultura do café em relevo montanhoso. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31,n.3, p.2011.

LUZ, P.H. Efeitos de sistemas de colheita e formas de cultivo de soqueira sobre a produção e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar (Saccharum spp). 1989. 134p. Dissertação (Mestrado) - Fitotecnia, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989

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

NERIS, L. O. Um piloto automático para as aeronaves do projeto ARARA. 2001. 102p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação e Matemática Computacional) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

NONATO, R.T.; OLIVEIRA, S.R.M. Técnicas de mineração de dados para identificação de áreas com cana-de-açúcar em imagens Landsat 5. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.33, n.6, p.1268-1280, 2013.

PARIS JR, M.A.; DIAS, F.L.F.; CIRIO, L.A.S.; WATANABE, A. Y. Avaliação da viabilidade e eficiência agrônoma de uma mistura de bactérias fixadoras de nitrogênio em simbiose com a cultura de cana de açúcar (Saccharum spp) em cana planta na região de colina-sp. 2013. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 7. 2013, Campinas, p. 1-8. **Anais**.

PEREIRA, W. Produtividade e qualidade tecnológica de cana-de-açúcar inoculada com bactérias diazotróficas. 2011. 70p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2011.

RAVELI, M.B. **Controle de qualidade no plantio de cana-de-açúcar**. 2008. 66 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2013.

RODRIGUES, C.; STORINO, M.; PARDINHO, A.P. Plantio mecanizado na lavoura da cana-de-açúcar: planejamento, preparação, execução e avaliação garantem qualidade à operação. **Revista Canavieiros**, Sertãozinho, v.8, n.92, p.32-34, fev. 2014.

RODRIGUES, C.; TUFFI, O.; CASTILHO, P.Z. Mecanização na lavoura. **Revista Canavieiros**, Sertãozinho, v.7, n.81, p.22-23, março, 2013.

SALVADOR, A.; ANTUNIAS, U.R. Imagens aéreas multiespectrais na identificação de zonas de manejo em áreas de algodão para aplicação localizada de inseticidas. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, vol. 26, n.2, p.1-19, 2011.

SANTOS, M.A.L.; SILVA, S.; ZOCOLER, J.L.; TEODORO, I.; DANTAS NETO, J.; SOUSA, J.S. Avaliação de falhas na brotação da cana-de-açúcar em função da disponibilidade hídrica. **ACSA – Agropecuária Científica no Semi-Árido**, Campina Grande, v.9, n.4, p.30-37, Set/Dez, 2013.

SERAFIM, L.G.F.; STOLF, R.; SILVA, J.R.; MANIERO, M.A.; BASSINELLO, A.I. Influência do plantio mecanizado no índice de brotação da cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v.31, p.22-25, 2013.

SILVA, A.; BARBOSA, A.P.; ZIMBACK, C.R.L.; LANDIM, P.M.B. Geostatistics and remote sensing methods in the classification of images of areas cultivated with citrus. **Engenharia Agrícola**, v.33, n.6, p.1245-1256, 2013.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V.L. Desempenho operacional de uma plantadora de cana. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v.102, n.3, p.24-30, maio/jun. 1984a.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V.L. Influência do plantio mecanizado no índice de germinação da cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v.2, n.5, p.22-6, maio/jun. 1984b.

STOLF, R. Metodologia de avaliação de falhas nas linhas de cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v.4, n.6, p.22-36, jul./ago.1986a. (REIMPRESSÃO COMEMORATIVA DOS 30 ANOS: STAB, Piracicaba, v.34, n.1, p.44-53, set./out.2015).

STOLF, R. Methodology for evaluation on sugarcane lines. **STAB**, Piracicaba, v.4, n.6, p.12-20, jul./ago.1986b.

STOLF, R.; IAIA, A.M.; LEE, T.S.G. Índice de falhas segundo o método de Stolf: correlação com o rendimento agrícola em cana-planta. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v.104, n.5, p.44-50, 1986.

STOLF, R.; IAIA, A.M.; LEE, T.S.G. Índice de falhas segundo o método de Stolf: correlação com o rendimento agrícola em sequeiras de cana-de-açúcar. **Alcool e Açúcar**, São Paulo, v.11, n.58, p.12-16, maio/jun.1991.

STOLF, R.; LEE, T.S.G. Sistema comercial de plantio de plântulas de cultura de tecidos ou de gemas isoladas: plantio de estaca. **Alcool & Açúcar**, São Paulo, v.10, n.53, p.20-25, mar./jun.1990.

STOLF, R. Avaliação de falhas em linhas de cana-de-açúcar. II Simpósio Paulista de Mecanização em Cana-de-açúcar. Jaboticabal, 2011. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/50124430/SPMEC2011-Palestra-3-Rubimar-UFGAR>. Acesso em: 15 abril 2014.

SYNGENTA. **Tecnologia PLNCE**: desenvolvida e comercializada por brasileiros. **Revista Canavieiros**, Sertãozinho, v.5, n.50, p.24, out. 2010.

TOLEDO, A.; SILVA, R.P.; FURLANI, C.E.A. Quality of cut and basecutter blade configuration for the mechanized harvest of green sugarcane. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.7, n.6, p.384-389, 2013.

TRINDADE JUNIOR, O.; JORGE, L.A.C.; AGUIAR, J.G.B. Field of Dreams - Using UAVs for Precision Farming. **Unmanned Systems Magazine**, Arlington, v. 22, p. 35 - 39, 2004.

TURCO, L.S.; PIRES, A.L.M.; ROSSATO JR, J.A.S. Influência do complexo broca-podridão na brotação da cana-de-açúcar. **Nucleus**, v.11, n.1, p.161-167, 2014.

VOLPE, A.B.; DURIGAN, A.M.P.R.; TASSO JUNIOR, L.C. Metodologia para monitoramento de qualidade de colheita e plantio de cana de açúcar. Sertãozinho: CANAOSTE, 2014, 42p.

VOLTARELLI, M.A. **Qualidade da operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar nos turnos diurno e noturno**. 2013. 168 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2013.

WATTS, A.C.; BROSIA, V.G.; HINKLEY E.A. Unmanned aircraft systems in remote sensing and scientific research: classification and considerations of use. **Remote Sens**, v.4, n.6, p.1671-1692, 2012.

XAVIER, M.A.; LANDELL, M. Rede experimental do IAC (Instituto Agrônomo) – sistema MPB (mudas pré-brotadas). **Revista Canavieiros**, Sertãozinho, v.7, n.1(edição especial), p.33-34, fev. 2013.

XU, Y.; LIU, L.; GOTSMAN, C.; GORTLER, S.J. Capacity-constrained Delaunay triangulation for point distributions. **Computers & Graphics**, Amsterdam, v.35, n.3, p.510-516, 2011.

YANG, S.W.; CHOI, Y.; LEEB, H.C. CAD data visualization on mobile devices using sequential constrained Delaunay triangulation. **Computer-Aided Design**, Amsterdam, v. 41, p.375-384, 2009.

## Conclusão

Verificou-se uma consistência dos resultados de tamanho médio de falhas, número de falhas/100m e frequência de aparecimento de falhas entre o procedimento padrão e o do imageamento aéreo, sendo um indicativo da validade da proposta do emprego de imagens de alta definição, obtidas por VANT, na utilização do método Stolf de levantamento de falhas.

## Referências bibliográficas

AGUIAR, D.A.; RUDORFF, B.F.T.; ADAMI, M.; SHIMABUKURO, Y.E. Imagens de sensoriamento remoto no monitoramento da colheita da cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.3, p. 440-451, 2009.

AGX Tecnologia Ltda. Pós-processamento de imagem. Disponível em: <http://www.agx.com.br/n2/pages/?opt=aerial\_imagery>. Acesso em: 16 abril 2013.

ALVARES, C.A.; OLIVEIRA, C.F.; VALADÃO, F.T.; MOLIN, J.P.; SALVI, J.V.; FORTES, C. Sensoriamento remoto no mapeamento de falhas de plantio em cana-de-açúcar. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO**, 2008, Piracicaba. **Anais**... Piracicaba: Associação Brasileira de Agricultura de Precisão, 2008. p. 467-481.

BARRIOS, F.F.; MILAN, M. Qualidade operacional do plantio de cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v.69, n.1, 221-229, 2010.

BAZF. **Basf promove a formação de canais de alta produtividade com integração de culturas por meio de AgMusa**. **Revista Canavieiros**, Sertãozinho, v.8, n.94, p.38, junho, 2014.

BENEDINI, M.S.; PERTICARRARI, J.G.; CONDE, A.J.; BELLINASSO, I.F.; RICCI JR, A.; MENEGASSO, L.; ALVES, D. Seminário CTC discute plantio mecanizado. **Revista Canavieiros**, Sertãozinho, v.4, n.40, p.32-35, out., 2009.

BOSCO, F. Campo maquinado: mecanizado avança em todas as etapas do cultivo. **Alcoolbrás**, São Paulo, v.14, n.135, 18-23, 2012.

CEBIM, G.J.; RIPOLI, T.C.C.; CEBIM, V.L.S.M.; OLIVEIRA, A.S.; GARCIA, M.A.L. Plantio mecânico de cana-de-açúcar (Saccharum spp.): desempenho operacional e econômico. **STAB**, Piracicaba, v.31, n.1, 40-47, set/out, 2012.

CHRISTOFFOLETI, P.J. Controle de Brachiaria decumbens Stapf. e de Cyperus rotundus L. em área de cana-de-açúcar (Saccharum spp.) através da técnica de rotação com amendoim (Arachis hypogaea L.) integrada ao uso de herbicidas. 117 f. Dissertação (mestrado em fitotecnia) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1988.

CLARIANO F. Revista canavieiros visita a biofábrica da Syngenta em Itapólis. **Revista canavieiros**, Sertãozinho, v.8, n.93, p.28, março, 2014.

CONDE, A.J.; BENEDINI, M.S.; PERTICARRARI, J.G. Plantio mecanizado: mais um desafio a ser vencido. **Revista Canavieiros**, Sertãozinho, v.5, n.61, p.32-33, julho, 2011.

DIAS, F.L.F.; TAVARES, S.; ROSSETTO, R.; AVILA, M.D.; PRADA NETO, I. Fontes de enxofre na produtividade e qualidade da cana-de-açúcar. In: **WORKSHOP DE AGROENERGIA**, 9. 2015. Anais... Ribeirão Preto, 1-6. 2015. CD-ROM

FERNANDES, P.G. Formas de plantio de mudas de cana-de-açúcar no sistema melioto. 2009. 61 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2009

FORTES, C. **Produtividade de cana-de-açúcar em função da adubação nitrogenada e da decomposição da palhada em ciclos consecutivos**. 2010. 153 p. Tese (Doutorado em Engenharia Nuclear na Agricultura e no Ambiente) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

FRASSON, F.R.; MOLIN, J.P.; SALVI, J.V.; POVH, F.P.; GARCIA, M.A.L. Utilização de sensor ótico ativo no diagnóstico de falhas de plantio em cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v.26, p. 34-37, 2007.