



## **ESTIMATIVA DE ALTURA DO DOSSEL DAS PLANTAS E RELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR POR MEIO DE SENSORIAMENTO REMOTO PROXIMAL**

Glauber José de Castro Gava<sup>1</sup>; Raffaella Rossetto<sup>2</sup>; Isabella Clerici De Maria<sup>3</sup>  
Marcos Guimaraes de Andrade Landell<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Instituto Agronômico, Jaú-SP,  
Brasil. E-mail: glauber.castro@sp.gov.br  
<https://orcid.org/0000-0002-3194-5432>

<sup>2</sup> Instituto Agronômico, Jaú-SP,  
Brasil. E-mail: raffaella.rossetto@sp.gov.br  
<https://orcid.org/0000-0003-1238-2213>

<sup>3</sup> Instituto Agronômico, Campinas-SP,  
Brasil. E-mail: isabella.maria@sp.gov.br  
<https://orcid.org/0000-0001-8093-1697>

<sup>4</sup> Instituto Agronômico, Campinas-SP,  
Brasil. E-mail: marcos.landell@sp.gov.br  
<https://orcid.org/0000-0001-8574-1489>

**RESUMEN.** El objetivo del presente trabajo fue verificar si el procesamiento digital de imágenes de sensores proximales RGB puede usarse para estimar la altura de las plantas y la productividad de los tallos de caña de azúcar. En la área de estudio (se ubicó en las coordenadas geográficas: latitud: -22.012 y longitud: -48.773, se instaló un campo experimental de caña de azúcar con 48 parcelas. Las variables: altura del campo del dosel vegetal; modelo de altura del dosel de la planta y la productividad de los tallos de caña de azúcar fueron determinados. Los resultados de esta investigación encontraron una alta correlación entre las variables: altura del dosel vegetal en el campo y productividad de los tallos de caña de azúcar ( $r = 0.84$ ); altura del dosel de las plantas de campo y modelo de altura del dosel de las plantas ( $r = 0.85$ ) y entre el modelo de altura del dosel de la planta y la productividad del tallo de caña de azúcar ( $r = 0.83$ ).

**Palabras-clave:** Fenotipado; Vehículo aéreo no tripulado; Modelo de superficie digital.

**RESUMO.** O objetivo do presente trabalho, foi o de verificar se o processamento digital das imagens de sensores proximais RGB pode ser utilizado para estimativa da altura das plantas e da produtividade de colmos da cana-de-açúcar. Na área de estudo situada nas coordenadas geográficas: latitude: -22,012 e longitude: -48,773, foi instalado um campo experimental de cana-de-açúcar com 48 parcelas. As variáveis: altura de campo do dossel das plantas; modelo de altura do dossel das plantas e produtividade de colmos da cana-de-açúcar foram determinadas. Os resultados dessa pesquisa constataram elevada correlação entre as variáveis: altura de campo do dossel das plantas e produtividade de colmos da cana-de-açúcar ( $r = 0,84$ ); a altura de campo do dossel das plantas e do modelo de altura do dossel das plantas ( $r = 0,85$ ) e entre o modelo de altura do dossel das plantas e a produtividade de colmos da cana-de-açúcar ( $r = 0,83$ ).

**Palavras-chave:** Fenotipagem; Aeronave remotamente pilotada; Modelo digital de superfície.

### **ABSTRACT.**

The objective of the present work was to verify if the digital processing of images from proximal RGB sensors can be used to estimate plant height and sugarcane stalk yield. The study area was located at the geographic coordinates: latitude: -22.012 and longitude: -48.773. In this area, an experimental sugarcane field with 48 plots



was installed. The variables: plant canopy field height; plant canopy height model, and sugarcane stalks yield were determinate. The results of this research found a high correlation between the variables: canopy field height of plant and sugarcane stalks yield ( $r = 0.84$ ); field plant canopy height and plant canopy height model ( $r = 0.85$ ) and, the model of plant canopy height and sugarcane stalks yield ( $r = 0.83$ ).

**Keywords:** Phenotyping; Unmanned aerial vehicle; Digital surface model.

## 1. INTRODUÇÃO

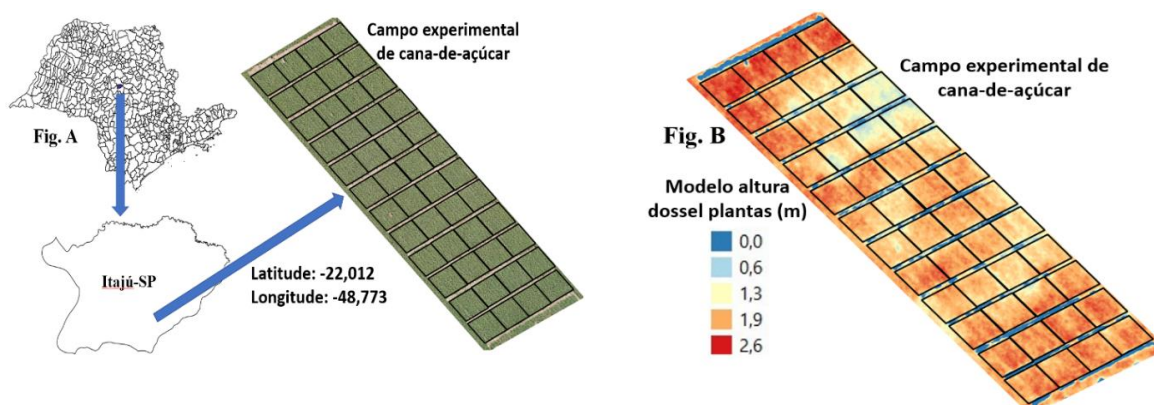
A produção de informações para o uso das técnicas de fenotipagem de alto rendimento tem se intensificado na agricultura digital, nos últimos anos. Muitos trabalhos utilizaram sensores na região espectral do visível (RGB), em técnicas de imageamento digital para avaliações e identificações de diferentes tratamentos e fenótipos de plantas superiores em experimentos de campo (Sumesh *et al.*, 2021; Huang *et al.*, 2024). A altura do dossel das plantas é uma variável biométrica de crescimento das culturas. Essa variável possui uma correlação elevada com a arquitetura vegetal, e com o potencial de produtividade da cana-de-açúcar (Landell, 1995, Kumar *et al.*, 2023; Huang *et al.*, 2024). Por isso, vários modelos de estimativa de produtividade de cana-de-açúcar (TCH), utilizam essa variável (Landell, 1995). Entretanto os métodos tradicionais de medida da altura do dossel da cana-de-açúcar, em campo, por meio da determinação da distância vertical do solo até o topo do dossel, com uma régua graduada são dispendiosos, trabalhosos, de baixo rendimento operacional e propenso a erros de amostragem (Sumesh *et al.*, 2021). Recentemente com o rápido desenvolvimento de plataformas móveis de fenotipagem, compostas por aeronaves remotamente pilotadas (ARPs), com sensores RGB acoplados, uma nova alternativa para a medição da altura das culturas está sendo utilizada, de forma confiável, por meio de processamento digital dos terrenos e das superfícies do dossel das plantas (Martello, 2017; Huang *et al.*, 2024). Assim o objetivo do presente trabalho, foi o de verificar se o processamento digital das imagens de sensores RGB, podem ser utilizados para estimar a altura do dossel das plantas e constatar sua correlação com a produtividade de colmos da cana-de açúcar (TCH).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A área do estudo estava localizada no município de Itajú-SP, Brasil, nas coordenadas geográficas: latitude -22,012 e longitude -48,773 (Figura 1A). O campo experimental de cana-de-açúcar era composto por 12 tratamentos de produtos bioestimulantes com 4 repetições, totalizando 48 parcelas. Cada parcela possuía cinco linhas de cana-de-açúcar com 10 metros de comprimento espaçadas à 1,5 m entre as linhas, constituindo-se de uma área de 75 m<sup>2</sup>. O experimento foi realizado na primeira soqueira de cana-de-açúcar e teve duração de 369 dias (período de 24/09/2020 a 28/09/2021). Aos 100 dias antes da colheita dos colmos, foi determinada a altura de campo do dossel das plantas (ACDP). Aferiram-se com uma trena de régua graduada a distância vertical do solo até o topo do dossel das plantas em 200 pontos amostrais localizados na linha da cana de cada parcela. Posteriormente foi determinada a média da altura de campo do dossel das plantas (ACDP) em centímetros, de cada parcela, considerando esses 200 pontos.

No campo experimental, foram utilizados oito pontos de controle para ortorretificação dos arquivos matriciais (“rasters”) gerados pelo programa QGIS Desktop 3.28, conforme descrito em Martello (2017).

Em seguida, foram realizados dois levantamentos aéreos a saber: i) o primeiro aos 98 dias antes da colheita dos colmos e ii) o segundo, aos 15 dias após a colheita do experimento. Utilizando o programa OpenDroneMap, conforme metodologia de Toffanin (2019), foram produzidos os ortomosaicos, o modelo digital de superfície (MDS) e o modelo digital do terreno (MDT). Nos dois levantamentos aéreos, utilizou-se uma ARP DJI Mavic Air, para coletar imagens aéreas, com sensor RGB de resolução de 12 megapixels. A ARP se deslocou a 25 m de altitude do solo a uma velocidade média de  $2 \text{ m.s}^{-1}$ . As imagens foram coletadas com sobreposição lateral e longitudinal de 80%, resultando em um GSD (distância de amostra do solo) de 1 cm por pixel. O modelo de altura do dossel das plantas (MADP), Figura 1B, foi produzido, subtraindo o modelo digital de superfície (MDS) do modelo digital do terreno (MDT), utilizando os programas QGIS Desktop 3.28 e SAGA-GIS 2.3.2, conforme Martello (2017). Na colheita final do experimento, aos 369 dias de ciclo da cana-de-açúcar em campo, determinou-se a produtividade de colmos (TCH) ( $\text{Mg.ha}^{-1}$ ). Manualmente, foram colhidos e pesados, com célula de carga, os colmos de cada parcela. Com esses resultados, considerando a existência de 6.667 metros de cana-de-açúcar em um hectare, foi estimada a produtividade (TCH) de cada parcela.

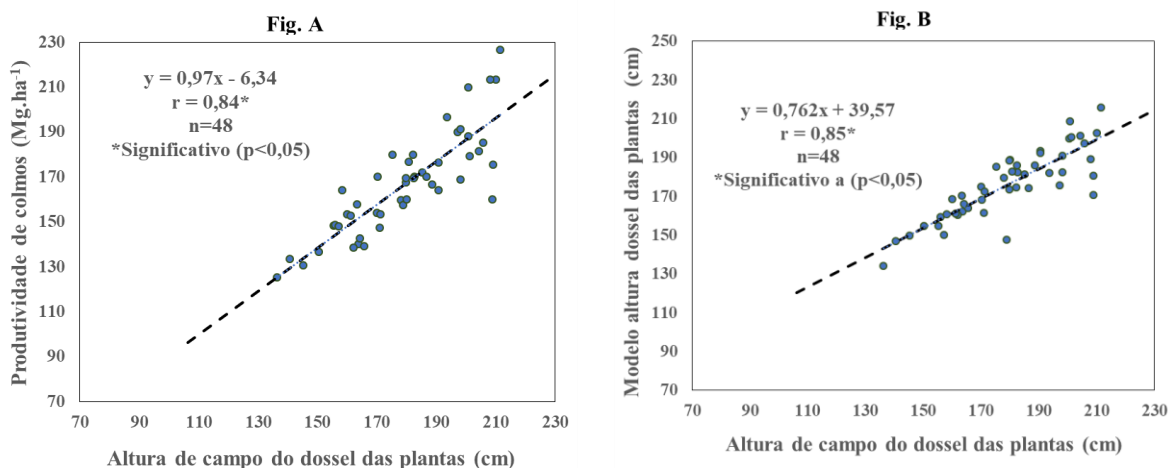


**Figura 1.** Figura A - Localização do campo experimental de cana-de-açúcar. Figura B - Imagem processada do modelo de altura do dossel das plantas (MADP), em metros.

A análise estatística, foi realizada por meio de matriz de correlação entre as variáveis: i) altura de campo do dossel das plantas (ACDP); ii) modelo de altura do dossel das plantas (MADP) e iii) produtividade de colmos da cana-de-açúcar (TCH). Os três modelos de regressão de primeiro grau gerados, foram submetidos à análise de variância utilizando o teste F, ao nível de 95% de confiança. Os coeficientes de correlação de Pearson ( $r$ ) foram determinados e classificados conforme valores: 0,0-0,1 “muito baixo”; 0,1-0,3 “baixo”; 0,3-0,5 “moderado”; 0,5-0,7 “alto”; 0,7-0,9 “muito alto” e 0,9-1,0 “quase perfeito”, segundo Hopkins (2020).

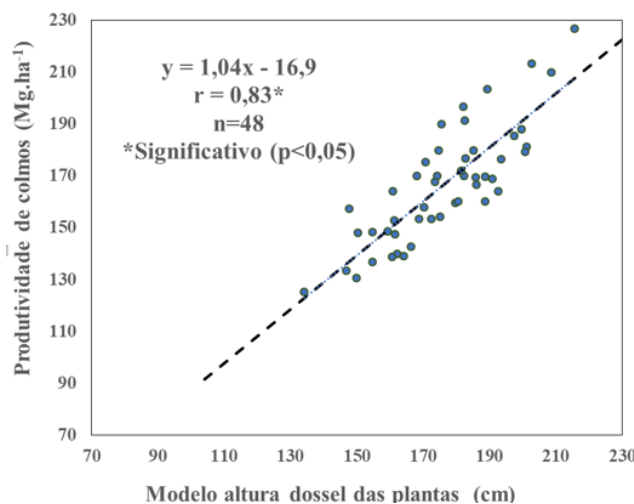
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A correlação de Pearson ( $r$ ) foi classificada como “muito alta” (0,7-0,9), segundo Hopkins (2020), entre as variáveis: altura de campo do dossel das plantas e produtividade de colmos da cana-de-açúcar (Figura 2. A); altura de campo do dossel das plantas e do modelo de altura do dossel das plantas (Figura 2. B) e entre o modelo de altura do dossel das plantas (MADP) e a produtividade de colmos da cana-de-açúcar (Figura 3).



**Figura 2.** Figura A - Correlação entre a altura de campo do dossel das plantas (ACDP) e produtividade de colmos da cana-de-açúcar (TCH). Figura B - Correlação entre a altura de campo do dossel das plantas (ACDP) e do modelo de altura do dossel das plantas (MADP).

O MADP teve relação direta com a produtividade de colmos da cana-de-açúcar (Figura 3). A literatura científica contém um conjunto de trabalhos de pesquisadores que usaram MADP para estimar o rendimento da biomassa de colmos da cana-de-açúcar (Martello, 2017; Sumesh *et al.*, 2021; Huang *et al.*, 2024) Esses pesquisadores também obtiveram valores de correlação de Pearson ( $r$ ) variando de “alto” (0,5-0,7) a “muito alta” (0,7-0,9). As variabilidades observadas nesses trabalhos foram explicadas pelas as diferenças na: i) época de amostragem (estádio fenológicos díspares); ii) características da variedade da cana-de-açúcar (relação colmos eretos/colmos prostrados) e iii) condições climáticas adversas, possíveis cenários de elevação do tombamento dos colmos.



**Figura 3.** Correlação entre o modelo de altura do dossel das plantas (MADP) e produtividade de colmos da cana-de-açúcar (TCH).

Embora, tenha-se verificado uma elevada correlação das variáveis: MADP com TCH (Figura 3), é possível elevar a acurácia deste modelo introduzindo outras variáveis biométricas ou alométricas de produtividade, como diâmetro dos colmos, número de perfilhos, porcentagem de cobertura vegetal, em modelos de regressão múltiplas.



## CONCLUSÕES

Os resultados desta pesquisa demonstram que o sensoriamento remoto proximal, utilizando ARPs, constituiu-se em um método adequado para produzir modelos de altura do dossel das plantas (MADP) e que este modelo apresentou uma alta correlação com a produtividade de colmos da cana-de-açúcar. Adicionalmente, os resultados indicam um grande potencial dessa técnica na avaliação dos campos experimentais de cana-de-açúcar.

## AGRADECIMENTOS

Ao projeto Semear Digital, processo FAPESP número 2022/09319-9 e ao apoio logístico da empresa Della Coletta Bioenergia (DCBio).

## REFERÊNCIAS

HOPKINS, W. G. **Correlation coefficient**. A new view of statistics. 2000. Disponível em: <http://www.sportsci.org/resource/stats/>. Acesso em: 20 nov. 2020.

HUANG, Q.; FENG, J.; GAO, M.; LAI, S.; HAN, G.; QIN, Z.; FAN, J.; HUANG, Y. **Precise Estimation of Sugarcane Yield at Field Scale with Allometric Variables Retrieved from UAV Phantom 4 RTK Images**. *Agronomy*, v. 14, p. 476- 499, 2024.

KUMAR, R.A.; VASANTHA, S.; GOMATHI, R.; HEMAPRABHA, G.; ALARMELU, S.; SRINIVASA, V.; VENGAVASI, K.; ALAGUPALAMUTHIRSOLAI, M.; HARI, K.; PALANISWAMI, C.; et al. **Rapid and Non-Destructive Methodology for Measuring Canopy Coverage at an Early Stage and Its Correlation with Physiological and Morphological Traits and Yield in Sugarcane**. *Agriculture*, v.13, p.1481- 1503, 2023.

LANDELL, M. G. A. Método experimental: Ensaio de competição em cana-de-açúcar. In: MARTINS, A. L. M.; LANDELL, M. G. A. Conceitos e critérios para avaliação experimental em cana-de-açúcar utilizados no Programa Cana IAC. Instituto Agrônomo, 1995. p. 2-14.

MARTELLO, M. Estimativa da altura e produtividade da cana-de-açúcar utilizando imagens obtidas por aeronave remotamente pilotada. 2017. Dissertação (Mestrado) USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 80 p.

SUMESH K.C., NINSAWAT S., SOM-ARD J. **Integration of RGB-based vegetation index, crop surface model and object-based image analysis approach for sugarcane yield estimation using unmanned aerial vehicle**. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.180, p. 105903-105926, 2021.

TOFFANIN, P. OpenDroneMap: The Missing Guide. A Practical Guide to Drone Mapping Using Free and Open Source Software: Massera-noLabs LLC. 2019. 243 p. ISBN 978-1086027563.