

## PREDIÇÃO DE PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum officinarum* L.) UTILIZANDO ESPECTROCOPIA Vis-NIR-SWIR

Marlon Rodrigues<sup>1</sup>, Everson Cezar<sup>2</sup>, Roney Berti de Oliveira<sup>2</sup>, Amanda Silveira Reis<sup>3</sup>,  
Karym Mayara de Oliveira<sup>3</sup>, Marcos Rafael Nanni<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pós-doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PGEAGRI), Campus Cascavel/PR, Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE. Bolsista PTI-ITAIPU. marlon.rodrig@hotmai.com

<sup>2</sup>Doutor, Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá – UEM. ecezar2@uem.br; rboliveira@uem.br; mnrnani@uem.br

<sup>3</sup>Doutoranda em Agronomia, Universidade Estadual de Maringá – UEM. reisamanda89@gmail.com; karym\_mayara@hotmail.com

### RESUMO

O trabalho teve como objetivo avaliar o uso da espectroscopia Vis-NIR-SWIR na estimativa de produtividade de colmo da cana-de-açúcar (TCH). O estudo foi realizado em um Neossolo Quartzarênico no município de Paranavaí-PR. Os tratamentos foram arranjos no esquema de parcelas subdivididas, delineadas em blocos casualizados, com quatro repetições. As parcelas experimentais foram compostas por insumos fontes de Ca, Mg e S (calcário, ritmito, gesso e fidagran) e para as subparcela, foram utilizadas fontes de K (fonolito e silito argiloso). O primeiro e segundo corte da cultura foram realizados 14 e 26 meses após a aplicação dos insumos. No momento de ambos cortes, foi realizada a determinação do TCH e coleta do espectro do colmo com um espectroradiômetro Vis-NIR-SWIR para posterior predição da TCH por meio da técnica Partial Least Square Regression (PLSR). Com os resultados, foi possível ajustar modelos para estimar a TCH na fase de validação cruzada e predição com  $R^2 > 0,70$  e RPD  $> 1,87$ . Assim, foi possível concluir que a espectroscopia Vis-NIR-SWIR pode ser utilizada para a predição de TCH da cana-de-açúcar, com vantagens em relação a determinação usual, como rapidez, baixo custo e não utilização de reagentes ambientalmente tóxicos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estatística multivariada; PLSR; Sensoriamento remoto; Setor sucroalcooleiro.

## 1 INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é uma das principais fontes de energia do mundo. O complexo sucroenergético (açúcar e o etanol) do Brasil ocupa posição de destaque nas exportações. Atualmente, o Brasil é o maior produtor e exportador de açúcar e o segundo maior produtor de etanol do mundo (VIDAL, 2020).

Uma carência do setor produtivo da cana-de-açúcar está relacionada a estimativa da produtividade de colmo por hectare (TCH). Atualmente, a estimativa da TCH é realizada através de técnicas de amostragem de colmo e pesagem diretamente no campo. Esse processo é dificultoso e apresenta erros, já que é necessário adentrar-se no campo de produção em condições de difícil acesso, além da necessidade de um grande número de pontos de amostragem para que se tenha um resultado fidedigno. Uma tecnologia que permita a estimativa da TCH de forma ágil otimizaria as análises de pré-colheita, o que permitiria resultados rápidos e maior eficiência da indústria de produção de etanol e açúcar.

Nesse sentido, trabalhos demonstram que a utilização do sensoriamento remoto, por meio da espectroscopia Vis-NIR-SWIR diretamente no campo de produção, pode ser uma técnica útil de estimativa da produtividade de diversas culturas, como soja (RODRIGUES et al., 2020), milho (MONTES et al., 2006) e trigo (XAVIER et al., 2006). Contudo, são escassos os trabalhos que avaliam a utilização da espectroscopia Vis-NIR-SWIR como ferramenta de estimar a TCH da cana-de-açúcar de forma rápida diretamente na lavoura.

Frente as necessidades descritas, o objetivo deste trabalho foi avaliar o uso da espectroscopia Vis-NIR-SWIR proximal na estimativa da produtividade da cana-de-açúcar.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na estação experimental da RIDESA (Paranavaí – PR). A classe de solo predominante na área é Neossolo Quartzarênico (Tabela 1).

**Tabela 1:** Teor de argila e atributos químicos<sup>1</sup> da camada arável (0-20 cm) de um Neossolo Quartzarênico (RQ).

Solo	Argila	C	pH	pH	H+Al	Al	Ca	Mg	CTC <sub>p</sub>	K	P	SO <sub>4</sub>	V
	--- g kg <sup>-1</sup> ---		(H <sub>2</sub> O)	(CaCl <sub>2</sub> )	-----	-----	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----	-----	-----	----- mg dm <sup>-3</sup> -----	-----	-----	%
RQ	140	4,84	6,0	5,0	2,05	0,05	0,72	0,51	3,39	50,8	4,2	6,4	40

<sup>1</sup> As metodologias utilizadas foram propostas por Embrapa (2017)

Os tratamentos foram arranjos no esquema de parcelas subdivididas, delineadas em blocos casualizados, com quatro repetições. As parcelas experimentais foram compostas por insumos (pós de rocha) fontes de Ca, Mg e S (calcário, ritmito, gesso e fidagran) e para as subparcela, foram utilizadas fontes de K (fonolito e silito argiloso). As doses dos insumos utilizados foram calculadas seguindo a recomendação de Pauletti; Motta (2017). Posteriormente a adubação foi realizado o plantio da cana-de-açúcar - RB867515, no sistema de mudas pré-brotadas na densidade de 2 plantas m<sup>-1</sup>.

A colheita da cana planta e soca foi realizada aos 425 e 790 dias após o plantio (DAP), respectivamente. Anteriormente a cada colheita, foi realizada a biometria através da contagem de número de colmos e pesagem da área útil da parcela e coleta da reflectância do colmo da cultura. Para isso, foi utilizado um espectrorradiômetro ASD FieldSpec 3, que opera na faixa de 350 nm a 2500 nm, com resolução espectral de 3 nm de 350 nm a 1400 nm e 30 nm de 1400 nm a 2500 nm. Inicialmente, o espectrorradiômetro foi otimizado para ajustar a sensibilidade dos detectores do instrumento de acordo com as condições de iluminação do momento da medição com a varredura da referência de branco (padrão Spectralon). Em seguida, para obter as medidas de refletância relativa, a referência de branco foi coletada até que uma linha de referência 100% limpa fosse obtida de acordo com as especificações fornecidas pelo Laboratório de Reflexão e Calibração (Labsphere).

Posteriormente, para cada unidade experimental, foram selecionadas cinco plantas aleatoriamente e, com o auxílio do *plant probe*, foi realizada a coleta dos espectros de reflectância diretamente do colmo na condição de campo, sendo a média posteriormente calculada. Assim, foram obtidas 96 leituras espectrais referentes a 48 unidades experimentais e dois ciclos de cultivo (cana planta e cana soca).

Os resultados da produtividade de colmo das plantas (TCH) foram inicialmente submetidos à análise estatística descritiva. Para obter os modelos de predição, inicialmente foi realizado o pré-processamento dos dados de reflectância do colmo da cana-de-açúcar com o software Unscrambler 10.4 por meio do método da primeira derivada de Savitzky-Golay (SG) (NÆS et al., 2002). Após, os resultados foram submetidos à Regressão de Mínimos Quadrados Parciais (PLSR) com o algoritmo iterativo NIPALS para estimar a TCH.

Para gerar os modelos de predição, os dados espectrais das 96 amostras coletadas foram divididos em dois grupos. O primeiro foi representado por 67 amostras usadas para gerar o modelo (calibração), e a segundo foi representado por 29 amostras usadas para validar (predição) o modelo PLSR ajustado. O método de validação cruzada leave-one-out (cv) foi usado como uma forma preliminar de predizer a TCH. No processo de predição (p), parâmetros como R<sup>2</sup> (coeficiente de determinação), RMSE (erro quadrático médio), RPD (Razão de Desempenho para Desvio) e bias foram usados para avaliar a qualidade e precisão do modelo.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

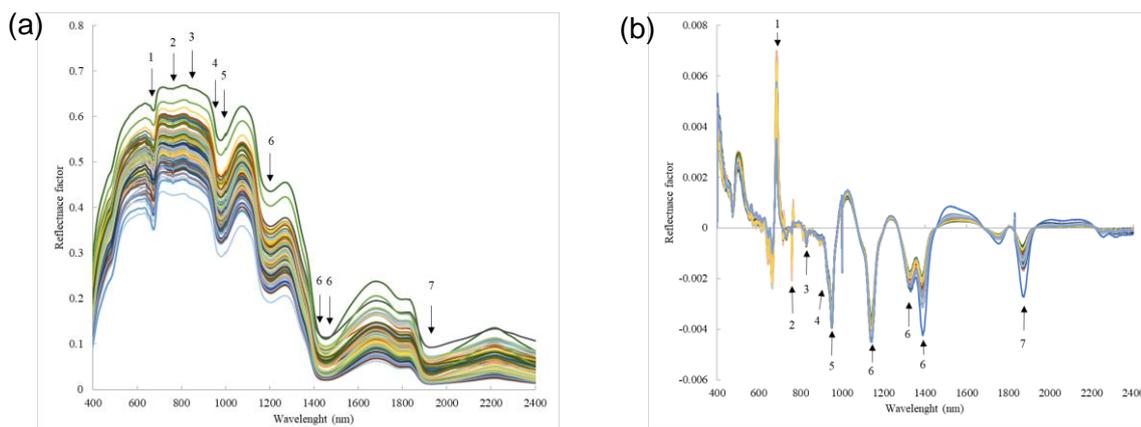
Na Tabela 2, pode-se observar os resultados da análise descritiva da produção de TCH da cana-de-açúcar. Percebe-se que grande variação entre os valores mínimos e máximos e, segundo a classificação de Pimentel-Gomes (2009), os valores de CV foram considerados médios (16,43%). Tal dispersão dos dados foi decorrente dos tratamentos avaliados, que foram insumos com diferentes potenciais de fornecimento de nutrientes e, conseqüentemente, apresentaram diferentes efeitos na produtividade das plantas.

**Tabela 2:** Análise descritiva da produção de TCH da cana-de-açúcar submetida a aplicação de pós de rocha.

Parâmetro	Mínimo	Mediana	Média	Máximo	CV (%)
TCH <sup>1</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )	77280,00	104311,10	105926,80	166257,80	16,43

<sup>1</sup>tonelada de colmo por hectare; <sup>2</sup>coeficiente de variação.

Pode-se observar ampla diversidade entre os tratamentos avaliados quando comparadas às suas intensidades de reflectâncias e inflexões (Figura 1), o que permite inferir sobre a possibilidade de utilização das curvas espectrais na diferenciação dos tratamentos, bem como na predição da produtividade das plantas. Nesse sentido, nota-se vales de absorção próximos a: 670 nm (1) 765-780 nm (2) 836 nm (3) 930 nm (4) 970 nm (5); 1155, 1409 e 1450 nm (6) 1930 nm (7) devido a compostos das plantas, como água, açúcares, clorofila, hidrocarbonetos, entre outros (DEVICES, 2010).



**Figura 1:** Espectros de reflectância Vis-NIR-SWIR *raw* da cana (a) e após a técnica de pré-processamento (SG) (b) para todos os tratamentos avaliados.

Observa-se na Tabela 3 os parâmetros estatísticos do modelo PLSR para a estimativa da produtividade da cana-de-açúcar nas fases de fase de validação cruzada (cv) ( $n = 67$ ) e predição (p) ( $n = 29$ ). De acordo com o  $R^2_{cv}$  e  $R^2_p$ , os modelos foram considerados: bons (0,65-0,79) para a variável TCH. Para essa variável, de acordo com o parâmetro  $RPD_{cv}$  e  $RPD_p$ , os modelos foram considerados: excelentes ( $>2,0$ ) e úteis (1,5-2,0), respectivamente (VISCARRA ROSSEL et al., 2006).

Em relação ao bias, pode-se observar que o modelo apresentou altos valores dessa métrica para ambas as fases de calibração (média de 10,4422), o que indica diferença entre os valores medidos e os valores obtidos pelo modelo.

**Tabela 3:** Parâmetros estatísticos obtidos para os modelos PLSR nas fases de validação cruzada ( $n = 67$ ) e predição ( $n = 29$ ).

Parâmetro	Fatores PLS	PLSR	$R^2$	RPD	RMSE	bias
TCH (kg ha <sup>-1</sup> )	8	Validação cruzada	0,76	2,02	8597,6812	10,7612
		Predição	0,70	1,87	9290,1231	10,1232

Segundo (ROCHA et al., 2019), a previsão de biomassa usando uma única variável é limitada. Assim, análises multivariáveis, como a PLSR (modelo utilizado no presente trabalho), foram propostas para melhorar o desempenho dos modelos. Desse modo, os resultados obtidos reforçam o potencial da espectroscopia Vis-NIR-SWIR como técnica de avaliação de múltiplas características das plantas, como produtividade de colmo.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação dos insumos possibilitou grande diversidade de condições nutricionais na cultura da cana-de-açúcar, o que modificou as curvas espectrais do colmo e possibilitou ajustar modelos PLSR para TCH nas fases de validação cruzada e predição com  $R^2$  e RPD acima de 0,70 e 1,87, respectivamente.

O estudo confirma o potencial do uso de espectroscopia Vis-NIR-SWIR para a predição de TCH da cana-de-açúcar. Assim, essa técnica se apresenta como uma promissora alternativa à análise rotineira do diagnóstico da TCH por apresentar vantagens como rapidez, baixo custo e não uso de reagentes tóxicos ao meio ambiente.

#### REFERÊNCIAS

DEVICES, Analytical Spectral. FieldSpec 3 user manual. **Boulder: ASD**, 342p. 2010.

MONTES, J. M.; UTZ, H. F.; SCHIPPRACK, W.; KUSTERER, B.; MUMINOVIC, J.; PAUL, C.. Near-infrared spectroscopy on combine harvesters to measure maize grain dry matter content and quality parameters. **Plant Breeding**, v. 125, n. 6, p. 591–595, 2006.

NÆS, T.; ISAKSSON, T.; FEARN, T.; DAVIES, T. **A user-friendly guide to multivariate calibration and classification: NIR** Chichester, 2002. v. 6.

PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V. Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná. **Curitiba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Estadual Paraná**, 289p. 2017.

PIMENTEL-GOMES, F. **Statistics Experimental**. 15. ed., Piracicaba: Fealq, 2009, 451 p.

ROCHA, M. G.; BARROS, F. M. M.; OLIVEIRA, S. R. M.; AMARAL, L. R. Biometric characteristics and canopy reflectance association for early-stage sugarcane biomass prediction. **Scientia Agricola**, v. 76, n. 4, p. 274–280, 2019.

RODRIGUES, M.; NANNI, M. R.; CEZAR, E.; DOS SANTOS, G. L. A. A.; REIS, A. S.; DE OLIVEIRA, K. M.; DE OLIVEIRA, R. B. Vis–NIR spectroscopy: from leaf dry mass production estimate to the prediction of macro-and micronutrients in soybean crops. **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 14, n. 4, p. 44505, 2020. ISSN: 1931-3195.

VIDAL, M. F. **Produção e mercado de etanol**: Banco do Nordeste do Brasil, 25p. 2020.

VISCARRA ROSSEL, R. A.; WALVOORT, D. J. J.; MCBRATNEY, A. B.; JANIK, L. J.; SKJEMSTAD, J. O. Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. **Geoderma**, [S. l.], v. 131, n. 1–2, p. 59–75, 2006.

XAVIER, A. C.; RUDORFF, B. F. T.; MOREIRA, M. A.; ALVARENGA, B. S.; FREITAS, J. G.; SALOMON, M. V. Hyperspectral field reflectance measurements to estimate wheat grain yield and plant height. **Scientia Agricola**, v. 63, n. 2, p. 130–138, 2006.