

## Análise da densidade populacional de milho no comportamento espectral do NDVI e sua relação com o rendimento de grãos

Jhonatan Alves da Silva<sup>(1)</sup>; Christian Bredemeier<sup>(2)</sup>; André Luis Vian<sup>(3)</sup>; Elizandro Fochesatto<sup>(3)</sup>; Marcos Alexandre Turra<sup>(4)</sup>; Maicon Andreo Drum<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Graduando em agronomia; Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS; Porto Alegre, RS; E-mail: [jhonatan.alves@hotmail.com](mailto:jhonatan.alves@hotmail.com); [maicon.drum@ufrgs.com](mailto:maicon.drum@ufrgs.com); <sup>(2)</sup> Professor Doutor em Fitotecnia; Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS; Porto Alegre, RS; E-mail: [bredemeier@ufrgs.br](mailto:bredemeier@ufrgs.br). <sup>(3)</sup> Doutorando em Fitotecnia; Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS; Porto Alegre, RS; E-mail: [andre.vian@ufrgs.com](mailto:andre.vian@ufrgs.com); [elizandrofochessato@hotmail.com](mailto:elizandrofochessato@hotmail.com); <sup>(4)</sup> Mestrando em Fitotecnia; Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS; Porto Alegre, RS; E-mail: [marcoturra2008@hotmail.com](mailto:marcoturra2008@hotmail.com).

**RESUMO:** A quantificação da densidade de plantas torna-se necessária para direcionar manejos agrícolas, como a adubação nitrogenada. Pode-se utilizar ferramentas de sensoriamento remoto, utilizadas em agricultura de precisão para a identificação da densidade de plantas. O objetivo foi avaliar se a densidade populacional de plantas é capaz de promover variabilidade nos valores de NDVI e apresentar relação com o potencial produtivo do milho. O experimento foi conduzido à campo nas safras 2014 e 2015/2016 na EEA/UFRGS. Os tratamentos utilizados nas duas safras agrícolas (2014 e 2015/2016) foram quatro densidades populacionais (4, 6, 8 e 10 plantas m<sup>-2</sup>). Foram realizadas medições da reflectância do dossel vegetativo foram realizadas com sensor óptico Greenseeker, sendo calculado o Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). Os dados de NDVI e de produtividade de grãos foram submetidos à análise de regressão para cada estágio fenológico. Foi determinado o coeficiente de correlação linear de Pearson entre NDVI e rendimento de grãos. Durante a fase inicial de desenvolvimento da cultura do milho foram realizadas sete leituras em estádios fenológicos diferentes para cada densidade populacional. A medida que o ciclo da cultura avança, a partir de V3, as leituras realizadas pelo sensor nas diferentes densidades populacionais, são precisas, possibilitando a diferenciação das diferentes densidades populacionais. As maiores correlações encontradas para a utilização do NDVI concentraram-se entre os estádios V3 a V9. O emprego do NDVI

foi capaz de identificar as diferentes densidades populacionais.

**Termos de indexação:** Sensoriamento remoto, Índice de vegetação por diferença normalizada, Densidade de plantas.

### INTRODUÇÃO

A densidade de plantas é uma característica importante na determinação do potencial produtivo da cultura do milho (*Zea mays* L.) devido à sua influência direta no número de espigas por área e nos demais componentes de rendimento. O adequado ajuste da densidade populacional, permite uma melhor distribuição da área foliar, maximizando a absorção de radiação fotossinteticamente ativa e consequentemente, aumentando a produção de fotoassimilados, favorecendo o enchimento de grãos. A redução do espaçamento entrelinhas e/ou o aumento do número de plantas por m<sup>2</sup>, foram as formas utilizadas para adequar o ajuste de plantas por área.

A quantificação da densidade de plantas torna-se necessária para direcionar manejos agrícolas, como a adubação nitrogenada. O método mais usual de se estimar a densidade populacional é com a contagem de alguns metros em duas ou três linhas de semeadura. Porém este método é oneroso e demorado, uma alternativa é a utilização de ferramentas de sensoriamento remoto, utilizadas em agricultura de precisão para a identificação e quantificação da densidade de plantas.

Dentre o emprego destas ferramentas, destaca-se os sensores de vegetação como as imagens de satélite ou de drones, e também os sensores proximais, como o Greenseeker. O monitoramento através do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) pode ser realizado em todos os estádios vegetativos de desenvolvimento da cultura, a qual possibilita a estimativa da densidade populacional por área, de maneira mais rápida e prática.

Através da estimativa da densidade de plantas, pode-se realizar a estimativa do potencial produtivo do milho, que é definido entre os estádios V3 a V9 (Ritchie, 1993). Essas duas estimativas podem ser utilizadas conjuntamente para realizar previsões na densidade de plantas e no potencial produtivo de grãos.

O objetivo deste trabalho foi avaliar se a densidade populacional de plantas é capaz de promover variabilidade nos valores de NDVI e apresentar relação com o potencial produtivo do milho.

### MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido à campo nas safras 2014 e 2015/2016 na Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), no município de Eldorado do Sul (RS). A área experimental está situada na região fisiográfica da Depressão Central do Rio Grande do Sul (RS), em uma altitude média de 46 metros acima do nível do mar. O clima é subtropical de verão úmido quente, do tipo Cfa, conforme a classificação de Koppen (IPAGRO, 1979).

A precipitação pluvial média anual em Eldorado do Sul é de 1440 mm e a temperatura do ar média mensal varia entre 14 e 25°C, entre os meses mais frios e mais quentes (Bergamaschi, 2003). O solo da área experimental pertence à unidade de mapeamento São Jerônimo, caracterizado como Argissolo Vermelho Distrófico típico (Streck, 2008).

Os tratamentos utilizados nas duas safras agrícolas (2014 e 2015/2016) foram quatro (4) densidades populacionais (4, 6, 8 e 10 plantas m<sup>-2</sup>). A semeadura da safra 2014, foi realizada no dia 05 de janeiro de 2014, sendo cada parcela constituída de três linhas de semeadura de três metros de comprimento espaçada em 0,5 m. Na safra

2015/2016, a semeadura foi realizada no dia 15 de setembro de 2015, sendo cada parcela constituída de seis linhas de semeadura de oito metros de comprimento espaçada em 0,5 m.

As parcelas foram semeadas com a densidade de 11 plantas m<sup>-2</sup> (safra 2014) e 13 plantas m<sup>-2</sup> (safra 2015/2016), aos 14 dias após a emergência, as diferentes densidades populacionais foram ajustadas por desbaste manual, sendo os tratamentos alocados no delineamento experimental de blocos ao acaso dentro da área, com quatro repetições. A adubação na semeadura foi de 350 kg/ha de NPK da fórmula 5-20-20 (safra 2014) e 300 kg/ha de NPK da fórmula 5-20-20 (safra 2015/2016).

A lavoura foi conduzida sob condições naturais de precipitação pluvial. Na safra 2014 ocorreu deficiência hídrica no início do desenvolvimento da cultura, de 15 dias (V5 – V7) e na safra de 2015/2016 foram registrados grandes volumes de precipitação pluvial no período vegetativo, ocorrendo deficiência hídrica no período reprodutivo, sendo de 15 dias após o florescimento.

A adubação de cobertura na safra 2014 foi de 126 kg/ha de nitrogênio, parceladas em duas aplicações, nos estádios V4 (63 kg/ha) e V7 (63 kg/ha) e na safra 2015/2016 foi de 350 kg/ha de nitrogênio, parceladas em duas aplicações, nos estádios V4 (150 kg/ha) e V8 (200 kg/ha). O híbrido utilizado foi o Morgan 30A77PW, nas duas safras. Os tratamentos culturais foram realizados segundo as recomendações técnicas da cultura do milho (Reunião, 2013).

As medições da reflectância do dossel vegetativo foram realizadas com sensor óptico Greenseeker, sendo calculado o Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), o qual é dado pela relação  $(\rho_{nir} - \rho_r) / (\rho_{nir} + \rho_r)$ ,  $(\rho_{nir} - \rho_r / \rho_{nir} + \rho_r)$ , onde  $\rho_{nir}$  e  $\rho_r$  são as reflectâncias no infravermelho próximo e no vermelho, respectivamente (Rouse, 1973). As leituras foram realizadas com o equipamento posicionado paralelamente às linhas da cultura, em altura de 1,0 m acima do dossel, sendo avaliada a linha central na safra 2014, nos estádios vegetativos V4, V5, V6, V8 e V9 e as quatro linhas centrais na safra 2015/2016, nos estádios vegetativos V3, V5, V6, V8, V9 e V10, segundo escala proposta por (Ritchie, 1993).

O rendimento de grãos foi determinado pela colheita de grãos na área útil da parcela, constituída

de uma linha central com cinco metros de comprimento (safra 2014) e de quatro linhas centrais com seis metros de comprimento (safra 2015/2016). Após a trilha, a massa de grãos de cada parcela foi pesada e corrigida para a umidade de  $130 \text{ g kg}^{-1}$ , sendo o valor extrapolado para  $\text{kg ha}^{-1}$ .

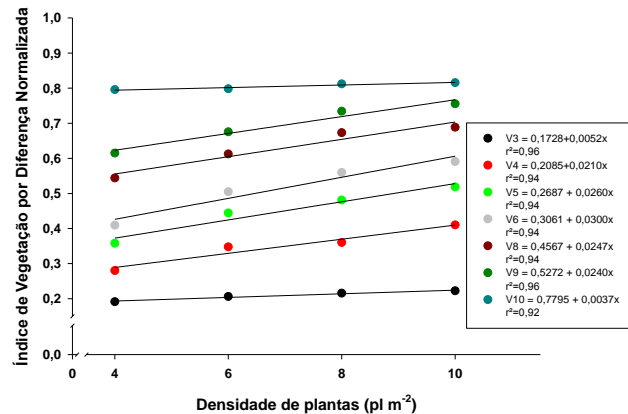
Os dados de NDVI e de produtividade de grãos foram submetidos à análise de variância pelo teste F, com auxílio do pacote estatístico SAS<sup>TM</sup> (Statistical Analysis System - SAS 8.0). Posteriormente, foi realizada a análise de regressão entre os valores de NDVI e o rendimento de grãos para cada estágio fenológico avaliado. Foi determinado também o coeficiente de correlação linear de Pearson entre NDVI e rendimento de grãos para cada estágio fenológico.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante a fase inicial de desenvolvimento da cultura do milho foram realizadas sete leituras em estádios fenológicos diferentes para cada densidade populacional. Na **figura 1**, são apresentados os valores de NDVI em função das diferentes densidades populacionais, ao longo do ciclo de desenvolvimento vegetativo (V3 a V10).

A medida que o ciclo da cultura avança, a partir de V3, as leituras realizadas pelo sensor nas diferentes densidades populacionais, são precisas, possibilitando a diferenciação das diferentes densidades populacionais. Observou-se que os maiores valores de NDVI são referentes as maiores densidades de semeadura, permanecendo esta relação até o estágio V9.

As leituras realizadas até o estágio V3 não apresentam diferença significativa entre as diferentes densidades populacionais. Isso deve-se ao fato do dossel vegetativo ainda ser pequeno, dessa maneira existe muita influência do solo e da palha, nas leituras de NDVI. A partir do estágio V9, as leituras de NDVI realizadas pelo sensor Greenseeker, saturam, ou seja, a semelhança nas quantidades de biomassa produzidas entre as diferentes densidades populacionais, faz com que a sensibilidade seja reduzida, assim o sensor não consegue mais captar diferenças nos valores de NDVI entre as densidades populacionais, limitando o uso do sensor a partir do estágio V9.

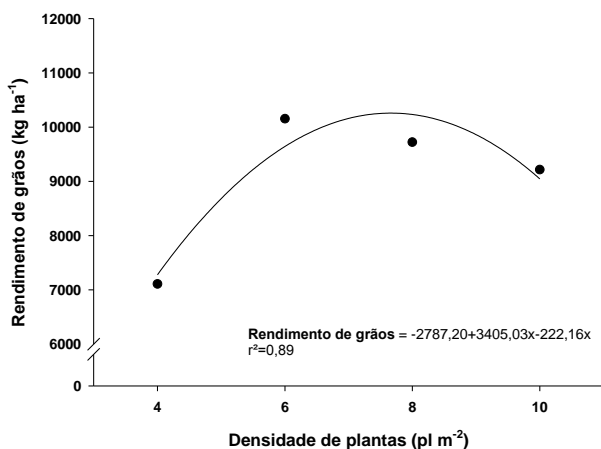


**Figura 1.** Comportamento do NDVI ao longo do ciclo de desenvolvimento em diferentes densidades populacionais.

O rendimento de grãos também apresentou variabilidade em função da densidade populacional, conforme apresenta a **figura 2** referente a média das duas safras (safra 2014 e 2015/2016).

A variabilidade no rendimento de grãos proporcionou alta relação com os valores de NDVI apresentados ao longo do trabalho. Os valores de NDVI referentes a densidade populacional de 6 plantas  $\text{m}^{-2}$ , não foi a que apresentou os maiores valores, como apresentando na **figura 1**, porém apresentou o maior rendimento.

Densidades populacionais muito baixas, comprometem o máximo potencial produtivo da cultura, por haver poucas plantas por  $\text{m}^2$ . Já densidade muito altas apresentam competição intraespecífica, reduzindo o incremento em grãos e incrementando em biomassa, desta maneira ocorre a discriminação das densidades populacionais com as leituras de NDVI.



**Figura 2.** Rendimento de grãos de milho em função de diferentes densidades de semeadura.

Na **tabela 1** é apresentada a correlação entre os valores de NDVI e o rendimento de grãos das safras agrícolas, como forma de estimar o potencial produtivo da cultura em função da densidade populacional de plantas.

As maiores correlações encontradas para a utilização do NDVI concentram-se entre os estádios V3 a V9. Nestes estádios encontra-se valores de correlações acima ou igual a 0,65. Valores de correlação acima de 0,65 são considerados altos, portanto o NDVI torna-se uma ótima ferramenta para estimar o potencial produtivo nestes estádios da cultura. O estádio fenológico V10, apresentou baixa correlação, em função da saturação do NDVI neste estádio.

**Tabela 1.** Correlação entre NDVI em diferentes estádios de desenvolvimento do milho com rendimento de grãos.

Correlação (NDVI vs. Rendimento de grãos)	
Estádio vegetativo	Correlação
V3	0,70
V4	0,69
V5	0,74
V6	0,73
V8	0,70
V9	0,67
V10	0,42

O rendimento de grãos corrobora com os resultados apresentados e discutidos anteriormente,

pois apresentou grande variação nos rendimentos, em função da densidade populacional, em baixas densidades observa-se uma redução no rendimento, devido a falta de planta por área, porém apresentando o máximo de produção por planta. Quando analisa-se as densidades acima de 6 plantas m<sup>-2</sup> observa-se que o rendimento declina, pois a partir dessa densidade populacional aumentamos muito a competição entre plantas.

### CONCLUSÕES

- As diferentes densidades populacionais de milho proporcionaram grandes diferenças nos valores de NDVI, sendo o uso deste índice capaz de diferenciar as populações de plantas.
- O potencial produtivo da cultura sofre alta influência das densidades de plantas, vistas através, das leituras de NDVI e das correlações apresentadas.

### REFERÊNCIAS

- BERGAMASCHI, H. et al. **Clima da Estação Experimental da UFRGS e região de abrangência**, Porto Alegre: UFRGS, 2003, 78p.
- IPAGRO. **Observações meteorológicas no estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: IPAGRO, 1979. 272p. (Boletim Técnico, 3).
- STRECK, E.V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R.C.D. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER RS, 2008. 222p.
- REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DE MILHO. **LVIII Reunião Técnica Anual de Milho e XLI Reunião Técnica Anual de Sorgo: indicações técnicas para o cultivo de milho e de sorgo no Rio Grande do Sul safras 2013/2014 e 2014/2015**. Pelotas, RS, 2013. 124p.
- RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; BENSON, G.O. **How a corn plant develops**. Ames, Iowa State University of Science and Technology, 1993. 26p.
- ROUSE, J.W. et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In. **NASA ERTS Symposium**, v.3, p.309-317, 1973.