

# Acompanhamento temporal e estimativa de produtividade de sorgo por meio de imagem NDVI

*Temporal monitoring and productivity estimation of sorghum through NDVI imaging*

MARCOS HENRIQUE REIS MACHADO LIMA

Discente do curso de Agronomia (UNIPAM)  
E-mail: [marcosmachado@unipam.edu.br](mailto:marcosmachado@unipam.edu.br)

LARISSA PEREIRA DA CUNHA

Discente do curso de Agronomia (UNIPAM)  
E-mail: [larissapc1998@gmail.com](mailto:larissapc1998@gmail.com)

RODRIGO MENDES DE OLIVEIRA

Professor orientador (UNIPAM)  
E-mail: [rodrigomo@unipam.edu.br](mailto:rodrigomo@unipam.edu.br)

---

**Resumo:** O processamento de imagens de satélite tem sido empregado como suporte para o acompanhamento do desenvolvimento e estimativas de produtividade de culturas. Este estudo teve como objetivo monitorar, por meio de imagens NDVI, o desenvolvimento de uma área cultivada com sorgo localizada em Patrocínio - MG, e estimar a produtividade do talhão utilizando essa ferramenta. Foram utilizadas todas as imagens adquiridas do satélite Sentinel-2 no período entre a semeadura e a colheita (março a agosto de 2023). Os mapas de NDVI foram gerados por meio do programa QGIS. As imagens de 53 dias após a semeadura foram selecionadas, com os tratamentos definidos pelos níveis de NDVI (0,78; 0,80; 0,82; 0,84 e 0,86), utilizando delimitação em blocos casualizados com quatro blocos. A estimativa da produtividade das parcelas foi realizada por meio da coleta de amostras georreferenciadas com posterior cálculo da produtividade. Os dados foram submetidos à análise de variância, aplicando-se o teste F a 5% de significância. Os resultados obtidos apresentaram concordância com a literatura em relação à variação temporal do NDVI com o desenvolvimento da cultura, evidenciando um comportamento de parábola de concavidade para baixo, com o maior valor durante o desenvolvimento vegetativo máximo da cultura. A correlação entre produtividade e NDVI não foi estatisticamente significativa devido à amplitude de variação da produtividade dentro de um mesmo tratamento. Portanto, a ferramenta NDVI demonstrou utilidade no acompanhamento do ciclo da cultura do sorgo, porém, sugere-se a realização de novos estudos correlacionados com a produtividade da cultura.

**Palavras-chave:** Agricultura de Precisão; índice de vegetação; sensoriamento remoto; *Sorghum bicolor*.

**Abstract:** Satellite image processing has been employed to support the monitoring of crop development and productivity estimates. This study aimed to monitor, through NDVI images, the development of a sorghum-cultivated area located in Patrocínio - MG, and estimate the field's productivity using this tool. All images acquired from the Sentinel-2 satellite during the period between seeding and harvest (March to August 2023) were used. NDVI maps were generated

through the QGIS program. Images from 53 days after seeding were selected, with treatments defined by NDVI levels (0.78, 0.80, 0.82, 0.84, and 0.86), using a randomized block design with four blocks. Plot productivity estimates were obtained by collecting georeferenced samples with subsequent productivity calculation. Data were subjected to analysis of variance, applying the F test at a 5% significance level. The results obtained showed agreement with the literature regarding the temporal variation of NDVI with crop development, revealing a concave-down parabolic behavior, with the highest value during the crop's maximum vegetative development. The correlation between productivity and NDVI was not statistically significant due to the amplitude of productivity variation within the same treatment. Therefore, the NDVI tool demonstrated utility in monitoring the sorghum crop cycle; however, further studies correlating with crop productivity are recommended.

**Keywords:** Precision Agriculture; vegetation index; remote sensing; *Sorghum bicolor*.

---

## 1 INTRODUÇÃO

A Agricultura de Precisão (AP) teve seu desenvolvimento inicial associado à implementação de tecnologias de georreferenciamento, como o sistema de posicionamento global (GPS), nas lavouras. Com o progresso nesse campo, ocorreu a evolução e o refinamento do conceito de AP. Esta abordagem envolve a gestão detalhada das áreas, levando em consideração a variabilidade espacial e temporal das características físicas e químicas do solo (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015).

No Brasil, a AP foi inicialmente conceituada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, [2010]) como um sistema de gerenciamento agrícola fundamentado na variação espacial e temporal da unidade produtiva. O MAPA destaca que esse gerenciamento visa a incrementar o retorno econômico, promover a sustentabilidade e minimizar os impactos ambientais. Além disso, ressalta que novas ferramentas permitem o uso racional de insumos agrícolas, visando à otimização dos recursos produtivos.

Dentre as ferramentas que se desenvolvem sob o guarda-chuva da agricultura de precisão, destacam-se os GPSs, Sistemas de Informação Geográfica (SIG), mapeamento de colheita e técnicas de aplicação de insumos a taxa variável, que já estão amplamente difundidos e em estágio avançado de desenvolvimento. Uma ferramenta adicional é o sensoriamento remoto, que explora o uso de imagens de satélites ou aéreas para monitorar o desenvolvimento das culturas (INAMASU; BERNARDI, 2014).

No contexto do sensoriamento remoto na agricultura de precisão, inicialmente, são utilizadas imagens de sensores multiespectrais para inferir a densidade de cobertura vegetal. Essa abordagem fundamenta-se na premissa de que diferentes materiais absorvem e refletem distintas faixas da radiação eletromagnética, permitindo relacionar esses dados a características das plantas, como área foliar e acúmulo de biomassa (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015).

Na prática, programas são empregados para o processamento das imagens adquiridas, e, por meio de equações matemáticas são gerados os Índices de Vegetação (IV). Cada índice possui equações específicas, criadas conforme o resultado desejado, como a estimativa de clorofila ou eficiência da fotossíntese. Entre os diversos IVs disponíveis, destaca-se o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) como

um índice validado, apresentando forte correlação linear com o desenvolvimento da cultura (SHIRATSUCHI *et al.*, 2014).

Por ser um índice estrutural, o NDVI tem demonstrado uma melhor conexão com o índice de área foliar e o acúmulo de biomassa nas culturas. Por essa razão, tem sido amplamente utilizado em estudos para a avaliação do estado nutricional, correlação com estágios fenológicos e estimativas de produtividade de culturas (SHIRATSUCHI *et al.*, 2014).

Atualmente, as estimativas de produtividade de culturas, em sua maioria, são realizadas por meio de amostragens em pontos aleatórios e equações que convertem os valores amostrados em uma estimativa geral para a área. Contudo, essa metodologia enfrenta alguns desafios, como a possibilidade de amostras não representativas do dossel, a insuficiência de pontos de amostragem para uma estimativa mais precisa e a ocorrência de erros operacionais na amostragem. Diante dessas limitações, é de grande relevância o estudo para criação e validação de novas metodologias de estimativas de produtividade, menos suscetíveis a erros e que proporcionem uma maior quantidade de dados para esses cálculos. Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho consiste em monitorar a variação espacial e temporal dos valores do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) e correlacioná-los com a produtividade do sorgo.

## 2 MATERIAL E MÉTODO

O estudo foi conduzido na Fazenda Serra Negra, situada em Patrocínio, Minas Gerais, nas coordenadas 18°48'54,5" Sul; 46°48'54,6" Oeste. Na referida propriedade, foi monitorado o talhão destinado ao cultivo de grãos, abrangendo uma extensão de 12 hectares. O clima local é classificado como Cwb, segundo a classificação de Köppen, caracterizado por invernos secos e verões amenos, apresentando uma temperatura média anual de 20°C e precipitação anual de 1.559,3 mm.

A cultura selecionada para o experimento foi o sorgo Podium, com uma densidade populacional de 100 mil plantas por hectare, semeado em 27 de março de 2023. Para a adubação de base, empregou-se o formulado 15-15-15 Robusto, na quantidade de 300 kg.ha<sup>-1</sup>.

As imagens destinadas à geração do mapa NDVI foram adquiridas durante o desenvolvimento da cultura por meio da plataforma Sentinel Hub. Essa plataforma disponibiliza gratuitamente imagens multiespectrais provenientes dos satélites Sentinel-1 e Sentinel-2, sendo esta a fonte utilizada para este estudo. Todas as imagens, sem restrições de visibilidade da área entre o período de semeadura e colheita, foram analisadas. Os valores médios de NDVI foram então plotados em relação à quantidade de dias após a semeadura (DAS).

Os valores de NDVI foram calculados pela Equação 1, sendo  $R_{NIR}$  a refletância no Infravermelho Próximo e  $R_R$  a refletância no Vermelho. Para o processamento e geração dos mapas NDVI, foram adquiridas as imagens das bandas 8 e 4 do satélite, correspondentes, respectivamente, ao Infravermelho Próximo e ao Vermelho. O *software* utilizado para aplicação da equação e o processamento dessas imagens foi o QGIS, versão 3.16.3.

$$\text{Equação 1: } NDVI = \frac{(R_{NIR} - R_R)}{(R_{NIR} + R_R)}$$

As imagens geradas no formato NDVI consistem em pixels de dimensões 15 x 15 metros, correspondendo ao tamanho de cada parcela amostral utilizada no experimento. Após a criação do mapa, pontos centrais foram gerados em cada pixel, contendo informações sobre o valor de NDVI e as coordenadas geográficas. Essa abordagem possibilita a extração desses valores para posterior análise.

Para a avaliação da produtividade, optou-se pelo uso do mapa NDVI que apresenta o maior valor médio de NDVI, devido à sua correlação mais significativa com a produtividade, conforme indicado por Bertolin *et al.* (2017). O talhão foi dividido em quatro blocos, representando faixas de terra com dimensões equivalentes a três hectares cada, como ilustrado na Figura 1.

**Figura 1:** Ilustração da divisão do talhão em blocos de 3,0 hectares, Patrocínio, MG, 2023



Os tratamentos foram determinados após a análise da faixa de variação de NDVI no mapa selecionado, sendo escolhidos valores que apresentavam pelo menos quatro pontos distribuídos entre os blocos. Dessa maneira, o estudo foi conduzido em um delineamento em blocos casualizados, composto por cinco tratamentos (conforme apresentado na Tabela 1) e quatro repetições, distribuídas pelos blocos, totalizando 20 parcelas.

**Tabela 1:** Descrição dos tratamentos, Patrocínio, MG, 2023

Tratamento	NDVI
T <sub>1</sub>	0,78
T <sub>2</sub>	0,80
T <sub>3</sub>	0,82
T <sub>4</sub>	0,84
T <sub>5</sub>	0,86

Posteriormente, os pontos relacionados a cada tratamento dentro dos blocos foram selecionados, as coordenadas foram extraídas e inseridas em um GPS Trimble Juno. Utilizando o recurso de navegação por satélite do equipamento, foi possível localizar cada ponto para a amostragem em campo.

A amostragem e a estimativa de produtividade de cada parcela foram conduzidas mediante uma adaptação do método recomendado pela Emater - MG (EMATER, 2000). Para realizar essa etapa, em cada parcela, registrou-se a quantidade de plantas em 10 metros lineares, cinco metros para cada lado da coordenada. Em seguida, foram coletadas três panículas (órgão reprodutivo do sorgo), cortando-as na base e acondicionando-as em sacos devidamente identificados. Por fim, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório Núcleo de Pesquisa e Análises de Sementes do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). No laboratório, as amostras de cada tratamento foram debulhadas, e os grãos pesados com o auxílio de uma balança da marca GEHAKA, modelo BG 4000.

Com os dados em mãos, a produtividade de cada parcela foi estimada por meio da Equação 2, que também foi adaptada a partir do método da Emater - MG. Os valores de produtividade obtidos foram então integrados aos valores de NDVI, calculados para cada ponto amostral.

$$\text{Equação 2: Produtividade (kg.ha}^{-1}\text{)} = \frac{PP \cdot NP}{EM} * 1000$$

Em que:

PP = Peso médio dos grãos colhidos das três plantas (kg);

NP = Número de plantas contadas em 10 metros lineares;

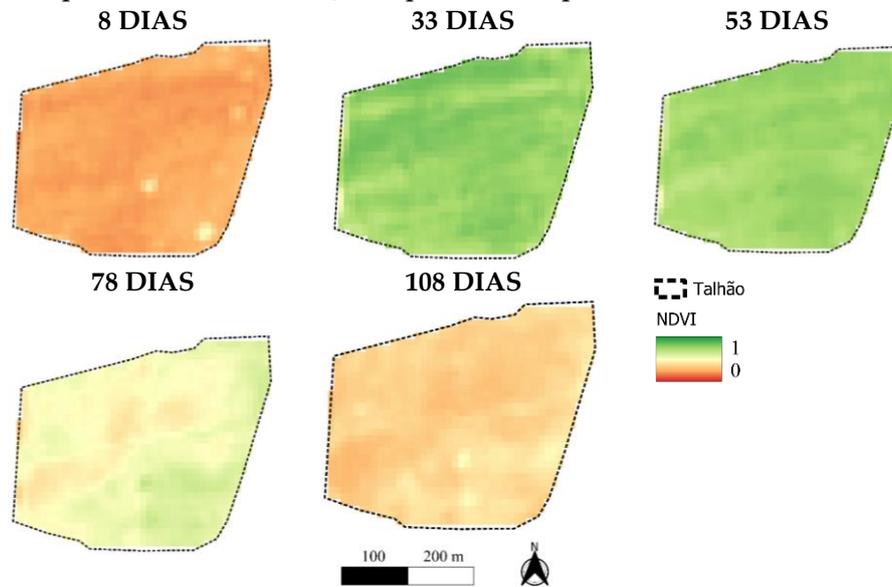
EM = Espaçamento médio entre linhas (m).

Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando o *software* Sisvar® (FERREIRA, 2011). Foi aplicado o teste F com uma significância de 5% para avaliação da relevância dos resultados, e ajustes por regressão foram realizados para obter a equação matemática que melhor se aproximasse dos dados.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

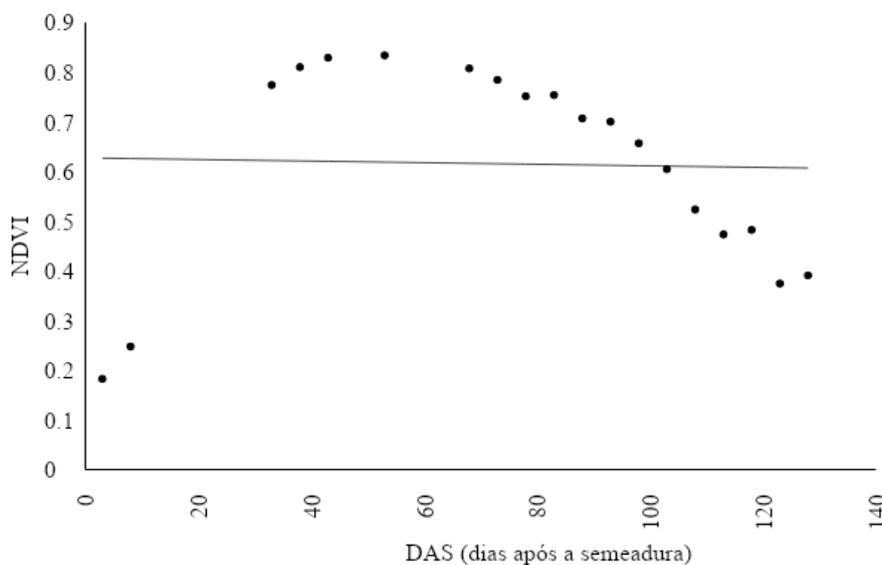
Os valores calculados de NDVI ao longo do desenvolvimento do sorgo são apresentados na Figura 2, evidenciando visualmente um aumento desses valores conforme a evolução da cultura. Observa-se também a presença de pixels com tonalidades distintas em uma mesma época no talhão, indicando a variabilidade espacial da cultura instalada. O incremento temporal do NDVI era previsível, dada a acumulação de biomassa até atingir seu pleno desenvolvimento vegetativo. Posteriormente, ocorre a redução do NDVI devido ao início do ciclo reprodutivo e maturação da planta. Esse padrão temporal e espacial foi corroborado por Venancio *et al.* (2020) em um estudo com NDVI na cultura do milho. Araújo (2015) também observou aumento do NDVI com o desenvolvimento da cultura do milho e redução com o início da maturação.

**Figura 2:** Mapa temático da variação espacial e temporal do NDVI na cultura do sorgo



Outro resultado derivado dos valores temporais de NDVI é apresentado na Figura 3, revelando um padrão comportamental parabólico com concavidade para baixo. O valor máximo de NDVI (0,83) foi estimado para 66,59 DAS. Essas características podem ser correlacionadas com os resultados obtidos por Venancio *et al.* (2019) e Venancio *et al.* (2020) em seus estudos na cultura do milho, uma vez que ambas as plantas pertencem à mesma família. Nos referidos estudos, os valores máximos de NDVI foram observados entre 70 e 80 DAS no primeiro e entre 60 e 70 DAS no mais recente. Em ambos os casos, esses valores foram associados ao período de máximo desenvolvimento vegetativo da cultura (estádio VT), seguido de uma diminuição do NDVI após o florescimento. Conforme a Magalhães, Durães e Schaffert (2000), a cultura do sorgo atinge em média de 64 a 70 DAS até o estágio VT, sendo os resultados do presente estudo consistentes com essa faixa temporal.

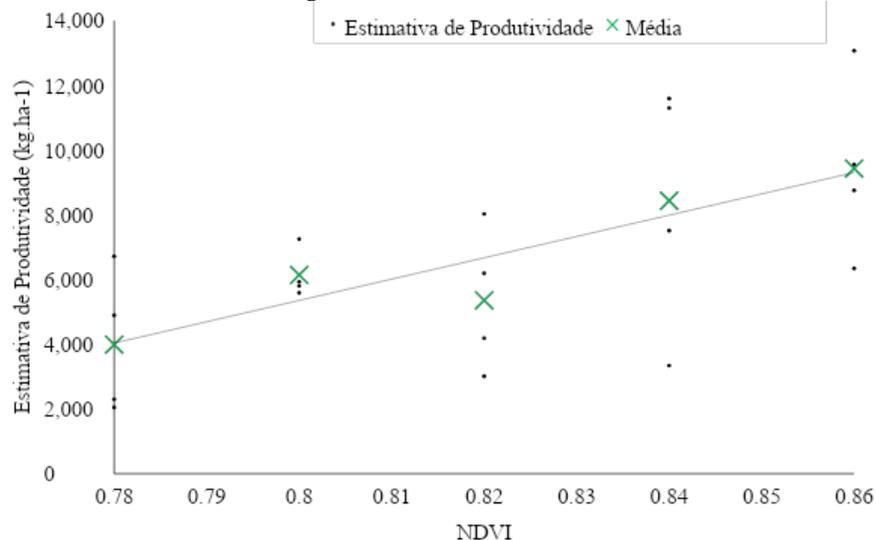
**Figura 3:** Valores médios de NDVI em relação ao DAS (Dias Após Semeadura) ao longo do ciclo do sorgo



Por fim, os dados de produtividade dos pontos georreferenciados, comparados aos seus respectivos valores de NDVI para o dia 19 de maio, são apresentados na Figura 4. Os valores médios, quando submetidos à regressão linear, demonstram uma boa aproximação, como evidenciado pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ). No entanto, ao passar por análise estatística, os resultados não alcançam significância. Esse fenômeno ocorre devido à variabilidade de produtividade encontrada em cada tratamento, tornando inviável afirmar que um valor específico de NDVI, nas condições deste estudo, pode ser diretamente relacionado a uma produtividade esperada.

Na literatura, encontram-se estudos que indicam correlação significativa, como o trabalho de Bertolin *et al.* (2017) com a cultura do milho, e outros que não alcançam significância na correlação entre NDVI e produtividade. Oliveira (2017), em sua pesquisa sobre variação na população de plantas na cultura do milho, obteve correlações não significativas na maioria das populações avaliadas.

**Figura 4:** Produtividade no sorgo dos tratamentos em relação aos valores de NDVI



Dentre os diversos fatores que podem ter influenciado nessa condição, destaca-se a presença de matocompetição nos pontos amostrados. As ferramentas de sensoriamento remoto, incluindo o NDVI, apresentam uma forte correlação com a densidade de cobertura vegetal (SHIRATSUCHI *et al.*, 2014), sendo incapazes de diferenciar entre a cultura principal e as plantas invasoras. Por outro lado, a presença dessas plantas infestantes reduz a produtividade da cultura devido à competição com a cultura principal (ROSSI *et al.*, 1996).

#### 4 CONCLUSÃO

O emprego do sensoriamento remoto por meio de mapas de NDVI demonstrou eficácia no monitoramento espacial e temporal da cultura de sorgo. No entanto, o uso do NDVI para a estimativa de produtividade ainda demanda ajustes e o

desenvolvimento de novas técnicas para proporcionar resultados mais precisos e assertivos.

## REFERÊNCIAS

ARAUJO, G. L. *et al.* Respostas espectrais e análise do Índice de Vegetação Normalizado (NDVI) na cultura do milho irrigado. *In: SEMINÁRIO CIENTÍFICO DA FACIG*, 1., 2015, Manhuaçu. **Anais [...]**. Manhuaçu, 2019. Disponível em: <https://pensaracademico.unifacig.edu.br/index.php/semiariocientifico/article/view/281>.

BERTOLIN, N. de O. *et al.* Predição da produtividade de milho irrigado com auxílio de imagens de satélite. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 11, n. 4, p. 1627-1638, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.7127/rbai.v11n400567>.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Principais conceitos e expressões utilizados na agricultura de Precisão - AP**. Brasília: MAPA, [2010].

EMATER. Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural de Minas Gerais. **Regulamento do concurso estadual de produtividade de milho ano 2000/2001**. Belo Horizonte: EMATER, 2000. 11 p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>.

INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. de C. Agricultura de Precisão. *In: BERNARDI, A. C. de C. et al (ed. tec.). Agricultura de Precisão: resultados de um novo olhar*. Brasília: Embrapa, 2014. p. 21-33.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; SCHAFFERT, R. E. **Fisiologia da planta de sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2000. 46 p. (Circular Técnica, n. 3). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/484470>.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F. **Agricultura de Precisão**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 238 p.

OLIVEIRA, M. F. de. **Modelos de predição de produtividade da cultura do milho por meio de NDVI em arranjos espaciais**. 2017. 44 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2017. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/151597>.

ROSSI, I. H. *et al.* Interferência das plantas daninhas sobre algumas características agrônômicas e a produtividade de sete cultivares de milho. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 14, n. 2, p. 134-148, 1996. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83581996000200007>.

SHIRATSUCHI, L. S. *et al.* Algoritmos para aplicações de doses variáveis de nitrogênio em tempo real para produção de milho safra e safrinha no Cerrado. *In:* BERNARDI, A. C. de C. *et al.* (ed. tec.). **Agricultura de Precisão: resultados de um novo olhar.** Brasília: Embrapa, 2014. p. 224-230.

SHIRATSUCHI, L. S. *et al.* Sensoriamento remoto: conceitos básicos e aplicações na Agricultura de Precisão. *In:* BERNARDI, A. C. de C. *et al.* (ed. tec.). **Agricultura de Precisão: resultados de um novo olhar.** Brasília: Embrapa, 2014. p. 58-73.

VENANCIO, L. P. *et al.* Biomassa e produtividade de grãos na cultura do milho irrigado por meio do NDVI acumulado. *In:* SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19., 2019, Santos. **Anais [...].** São José dos Campos: INPE, 2019. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr-2019/trabalhos/biomassa-e-produtividade-de-graos-na-cultura-do-milho-irrigado-por-meio-do-ndvi?lang=pt-br>.

VENANCIO, L. P. *et al.* Mapeamento dos estádios fenológicos da cultura do milho utilizando o NDVI derivado dos sensores OLI e MODIS. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 42, n. 5, p. 1517-1534, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2020v41n5p1517>.