



REBECA LUIZA ALVES SILVA

**ANÁLISE DA PRODUTIVIDADE DO MILHO EM
DIFERENTES CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS POR
MEIO DE SENSORIAMENTO REMOTO**

LAVRAS – MG

2021

REBECA LUIZA ALVES SILVA

**ANÁLISE DA PRODUTIVIDADE DO MILHO EM DIFERENTES CONDIÇÕES
METEOROLÓGICAS POR MEIO DE SENSORIAMENTO REMOTO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharela.

Prof^ª. Dr^ª. Marina Elisei Serra

Orientadora

Prof. Dr. Marcelo de Carvalho Alves

Coorientador

LAVRAS – MG

2021

REBECA LUIZA ALVES SILVA

**ANÁLISE DA PRODUTIVIDADE DO MILHO EM DIFERENTES CONDIÇÕES
METEOROLÓGICAS POR MEIO DE SENSORIAMENTO REMOTO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharela.

APROVADA EM 01 DE ABRIL DE 2021.

Prof. Dr. Marcelo de Carvalho Alves

Prof. Dr. Sérgio Teixeira da Silva

Prof^ª. Dr^ª. Marina Elisei Serra

Orientadora

LAVRAS – MG

2021

*Aos que vieram antes de mim e pavimentaram o caminho por onde
passei. Aos meus pais, irmãos, mestres e amigos que
fizeram desta jornada um caminho de sucesso.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus; aos meus pais que possibilitaram essa conquista e foram um porto seguro nos momentos de incerteza; aos meus irmãos que entre altos e baixos foram apoio quando precisei; aos meus amigos, que estão perto e aos que estão longe, por estarem presentes nos momentos mais importantes sempre me motivando e incentivando à ser a minha melhor versão; aos meus mestres e professores por iluminarem o caminho ao conhecimento mostrando que posso sempre ir além e superar os desafios; à Minas Verde - John Deere por fornecer os dados para que essa pesquisa fosse realizada.

“A agricultura é a arte de saber esperar”. (Riccardo Bacchelli)

RESUMO

Nos últimos anos tem acontecido uma reestruturação na cadeia produtiva do milho, principalmente com a ampliação da adoção de tecnologias. Entre elas podemos citar o uso de sensoriamento remoto para a estimativa de área, produtividade, características nutricionais e de sanidade, entre outras aplicações; e o investimento em plataformas digitais, essenciais para a agricultura de precisão, nas quais é possível fazer o arquivamento de dados de campo possibilitando análises mais profundas e pontuais de modo a otimizar os recursos. Fazendo uso dessas ferramentas, o objetivo deste trabalho foi realizar uma análise da relação entre os fatores meteorológicos e a produtividade avaliando esta influência no Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em híbridos cultivados na safra e na safrinha do milho entre 2018 e 2020 em Cruzília – MG, por meio de imagens obtidas pelo satélite SENTINEL-2, dados acerca do plantio que estão alocados nas plataformas Operations Center e Agrian, e dados meteorológicos obtidos pela plataforma do INMET e da estação meteorológica alocada próxima às áreas de estudo. Os híbridos avaliados foram DKB310 PRO3, da DEKALB, da Agrocerec oAG8740 PRO3, RB9006 da KWS e 30A37 da Morgan Sementes. Utilizou-se o Software R para cálculo da correlação de Pearson. Em se tratando do NDVI, valores próximos a 1 são indicadores de vegetação com maior vigor e valores menores são encontrados em áreas com pouca vegetação ou secas. Foi possível observar valores crescentes entre as fases de desenvolvimento, floração e enchimento de grãos e seu pico máximo pouco antes da fase de maturação. Quando avaliados os fatores que interferem na produtividade, pôde-se observar que está primeiramente relacionada com a população adotada. As variáveis climáticas que mais influenciaram na produtividade final dos híbridos DKB 310 PRO3, RB9006 e AG 8740 PRO3 nos anos de 2018, 2019 e 2020 foram precipitação, e temperaturas mínimas durante o ciclo produtivo. Condições hídricas favoráveis na fase de crescimento vegetativo e durante o estágio reprodutivo favorecem uma maior colheita, assim como temperaturas mínimas superiores a 12°C, o que mantém as atividades metabólicas necessárias para um maior desempenho produtivo.

Palavras-chave: *Zea Mays* spp.; Agrian; Operations Center; SENTINEL-2.

ABSTRACT

On the last years it is possible to observe a restructuring in the corn production chain, especially with the expansion of the adoption of technologies, among them we can mention the use of remote sensing for the estimation of area, productivity, nutritional and health characteristics, among other applications, and the investment in digital platforms, a relevant tool for precision agriculture, where it is possible to archive field data, enabling deeper and punctual analysis in order to optimize resources. Making use of these tools, the objective of this work was to perform an analysis of the relationship between meteorological factors and productivity evaluating this influence on the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in hybrids cultivated in the season and in the intercrop of corn between 2018 and 2020 in Cruzília - MG, through images obtained by the satellite SENTINEL-2, data about the planting that are allocated in the Operations Center and Agrian platforms, and meteorological data obtained by the INMET platform and the weather station allocated near the study areas. The hybrids under study were DKB310 PRO3, from DEKALB, from Agroceres the AG8740 PRO3, RB9006 from KWS, and 30A37 from Morgan Sementes. Software R was used to calculate Pearson's correlation. In the case of NDVI, values close to 1 are indicators of vegetation with greater vigor and lower values are found in areas with little or dry vegetation. It was possible to observe increasing values between the stages of development, flowering and grain filling, and its maximum peak just before the maturity phase. When the factors that interfere with productivity were evaluated, it could be observed that it is primarily related to the population adopted. The climatic variables that most influenced the final productivity of the hybrids DKB 310 PRO3, RB9006 e AG 8740 PRO3 in the years 2018, 2019 e 2020 were precipitation, and minimum temperatures during the productive cycle. Favorable hydric conditions in the vegetative growth phase and during the reproductive stage favor a larger harvest, as well as minimum temperatures above 12°C, which maintain the metabolic activities necessary for a greater productive performance.

Keywords: *Zea Mays* spp.; Agrian; Operations Center; SENTINEL-2.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do município de Cruzília no estado de Minas Gerais.....	21
Figura 2 - Dados coletados da estação meteorológica de São João Del Rei da época de safra do período de 2018/2019.....	23
Figura 3 - Dados coletados da estação meteorológica localizada a cerca de 1km das áreas em estudo da época de safra do período de 2019/2020.....	24
Figura 4 - Dados coletados da estação meteorológica localizada a cerca de 1km das áreas em estudo da época de segunda safra de 2020.....	25
Figura 5- Valores de NDVI observados nas primeiras safras de 2018/2019 e 2019/2020, ao longo do ciclo produtivo da cultura do milho para os híbridos DKB 310 PRO3, RB9006 e AG 8740 PRO3.....	27
Figura 6 - Valores de NDVI observados na segunda safra de 2020 ao longo do ciclo produtivo do milho para os híbridos 30A37P, DKB 310 PRO3 e AG 8740 PRO3.....	28
Figura 7 - Produtividade relacionada com o número de sementes aplicadas por hectare em todos os talhões estudados para a safra dos anos de 2018/2019 e 2019/2020 e segunda safra de 2020.....	28
Figura 8 - Influência da precipitação na produtividade ao longo do ciclo produtivo para a safra dos anos de 2018/2019 e 2019/2020 e segunda safra de 2020.....	30
Figura 9 - Resposta do NDVI ao crescimento das plantas sob lâmina de precipitação nas safras dos anos de 2018/2019 e 2019/2020 e segunda safra de 2020.....	31
Figura 10 - Influência da temperatura mínima observada no período, na produtividade obtida nas safras de 2018/2019 e 2019/2020 e segunda safra de 2020.....	32
Figura 11 - Influência da temperatura máxima observada no período, na produtividade obtida nas safras de 2018/2019 e 2019/2020 e segunda safra de 2020.....	32
Figura 12 - Análise de dados meteorológicos de precipitação e temperaturas máximas e mínimas ao longo dos ciclos produtivos das safras de 2018/2019 e 2019/2020 e segunda safra de 2020 relacionados com a produtividade final.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características dos satélites da série SENTINEL-2.	19
Tabela 2 - Bandas espectrais do sensor MSI a bordo dos satélites da série SENTINEL-2.....	20
Tabela 3 - Valores de correlação de Pearson entre o índice vegetativo - NDVI e a produtividade por hectare em híbridos de milho nas safras avaliadas.....	26
Tabela 4 - Relação entre o índice vegetativo - NDVI e a produtividade por hectare nas safras avaliadas, estimada por meio da correlação de Pearson.	26
Tabela 5 - Dados de produtividade das safras de 2018/2019 e 2019/2020 e segunda safra de 2020 (continua).....	38

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1	A cultura do milho	14
2.2	Híbridos Avaliados	15
2.3	Base de Dados.....	16
2.4	Uso do Sensoriamento Remoto na agricultura.....	17
2.4.1	Satélite Sentinel	18
2.4.2	Satélites SENTINEL-2.....	19
3	MATERIAIS E MÉTODOS	21
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
5	CONCLUSÃO	34
	REFERÊNCIAS.....	35
	ANEXO A - Dados de produtividade das safras avaliadas.....	38

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.), que possui grande importância econômica em função de suas inúmeras aplicações desde a alimentação humana até uso industrial e ainda na produção de biocombustíveis, é uma planta anual que compõe a família Poaceae (SOUZA et al., 2016).

Partindo da safra 2005/06 até 2019/20, a produção mundial de milho sofreu incremento por volta de 60%, valor próximo ao crescimento do consumo, de 61%. Já no Brasil, a produção entre as safras 2003/04 e 2019/20 foi incrementada em mais de 130%, ao passo que o consumo teve crescimento de 75%. O equilíbrio entre o excedente da produção e o consumo ocorre por meio das exportações, sendo que na safra 2019/20 as exportações alcançaram recorde de 39 milhões de toneladas (EICHOLZ et al., 2020).

O Brasil consolidou-se como o terceiro maior produtor mundial de milho, atrás apenas dos Estados Unidos e China. Na safra 2019/20 o país alcançou produção recorde de 102,5 milhões de toneladas, em uma área de 4,2 milhões de hectares, 3,2% maior que a área cultivada na safra anterior. Na segunda safra, apesar de um menor rendimento em razão das condições climáticas, a produção foi 2,6% maior que na safra 2018/19, alcançando, 75,1 milhões de toneladas, compensada pelo incremento de 6,8% na área cultivada, alcançando 13.755,9 mil hectares. A terceira safra de milho, na região do Sertão¹, tem a produção estimada em 1.758,7 mil toneladas, apresentando área de 532,2 mil hectares, incremento de 4,1% frente à safra 2018/19 (CONAB, 2020).

Já a previsão para a cultura do milho na safra 2020/21 é de uma área total de 18.463,5 mil hectares e uma produção estimada de 102,3 milhões de toneladas. Em Minas Gerais, há indicações de crescimento de 4,1% na área plantada na primeira safra, alcançando 749,9 mil hectares (CONAB, 2020).

A cadeia produtiva do milho tem sofrido uma reestruturação, com ampliação do uso de diversas tecnologias inovadoras. Entre elas está o uso do sensoriamento remoto para a estimativa de área, produtividade, características nutricionais e de sanidade, entre outras aplicações.

A utilização do Sensoriamento Remoto no monitoramento agrícola tem se mostrado indispensável na compreensão dos padrões de organização espacial, por meio da avaliação de tendências, com processamento mais rápido e atualização de dados menos onerosa.

¹ Região formada pelos estados Sergipe, Alagoas e Bahia, que se mostra como estratégica para ser um grande polo agrícola do Nordeste do Brasil (EMBRAPA, 2019).

As imagens obtidas por meio desta tecnologia tornam possível uma visão multitemporal de grandes áreas terrestres, possibilitando pesquisas regionais e integradas, que englobam diversas vertentes do conhecimento. Possibilitam o estudo dos ambientes e sua transformação, ressaltam os impactos gerados por fenômenos naturais e antrópicos ou demais alterações no uso e ocupação da terra. Com a possibilidade de aquisição de imagens de alta resolução espacial, abriu-se a possibilidade de elaboração de mapeamentos temáticos de uso e cobertura terrestre de modo mais preciso e com significativa redução de trabalhos de campo.

Além disso, durante muito tempo os dados de campo foram anotados em planilhas e pranchetas, dificultando as análises e comparações entre safras. Contudo, com o advento tecnológico, o investimento em plataformas digitais cresceu entre os administradores e técnicos de campo, tornando-se uma ferramenta relevante para a agricultura de precisão, sendo empregadas não somente para compor o banco de dados, mas ainda para análises multicritérios mais profundas e pontuais de modo a possibilitar a otimização dos recursos, ampliando a produtividade final.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi realizar uma análise da relação entre os fatores meteorológicos e a produtividade avaliando e sua influência no Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em híbridos cultivados na safra e na safrinha do milho entre 2018 e 2020 em propriedades na região de Cruzília – MG, por meio de imagens obtidas pelo satélite SENTINEL-2, e dados acerca do plantio que estão alocados nas plataformas Operations Center² e Agrian³.

² Plataforma de armazenamento e gestão de dados fornecida pela John Deere (JOHN DEERE, 2021).

³ Plataforma de gerenciamento de dados de campo do grupo Telus Agriculture (AGRIAN, 2021).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura do milho

O milho (*Zea mays* L.) é uma planta de ciclo anual, pertencente à família *Poacecae* e apresenta grande importância econômica, devido às diversas formas de sua utilização, desde a alimentação humana e animal até a indústria de alta tecnologia e utilização na produção de biocombustíveis (SOUZA et al., 2016).

Os centros de origem da cultura do milho são o México e a Guatemala, com a espiga de milho mais antiga já encontrada, do ano de 7.000 a.C., no vale do Tehucan, onde hoje é localizado o México. A domesticação da cultura, executada pelo ser humano, foi progredindo por meio da seleção visual no campo, priorizando as principais características como produtividade, resistência às doenças e capacidade de adaptação, dentre outras, dando origem às cultivares de milho conhecidas na atualidade (NASCIMENTO, 2017).

A produção mundial de milho, entre 2005 e 2020, obteve um incremento de produção por volta de 60%, valor equivalente ao registrado no crescimento do consumo, que foi de 61%. No Brasil, a produção entre as safras 2003/04 e 2019/20 foi incrementada em mais de 130%, ao passo que o consumo teve crescimento de 75%. O equilíbrio entre a produção e o consumo têm acontecido por meio das exportações, sendo que na safra 2019/20 as exportações alcançaram recorde de 39 milhões de toneladas (EICHOLZ et al., 2020).

O incremento da produção pode ser consequência dos ganhos em produtividade e, além disso, a expansão da área da segunda safra agrícola, também chamada safrinha, auxiliou no aumento da produção, visto que a área de primeira safra sofreu redução considerável entre os anos de 1976/77 (80%) até 2019/20 (30%), de acordo com dados da CONAB. Tal inversão na área de cultivo de milho tem sido possível em razão da redução do ciclo de diversas cultivares de milho e soja, possibilitando semeadura em sucessão à soja, em especial nos estados da região Centro-Oeste do Brasil. Mais recentemente, o cultivo em uma terceira janela de semeadura de milho entre os meses de maio e junho tem aumentado, de modo semelhante ao cultivo efetuado no hemisfério norte. As principais áreas produtoras de milho de terceira safra estão localizadas na região chamada de Sealba, que compreende os estados de Sergipe, Alagoas, nordeste da Bahia, Roraima e Amapá (EICHOLZ et al., 2020).

Segundo a Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Minas Gerais (2021) a região do Sul de Minas em 2019 colheu uma área de 201.223 hectares de milho, com uma produção de 1.399.211 toneladas de milho, o que representa mais de 18% da produção do estado.

O Brasil consolidou-se como o terceiro maior produtor mundial de milho, atrás apenas dos Estados Unidos e China. Na safra 2019/20 o país alcançou produção recorde de 102,5 milhões de toneladas, em uma área de 4,2 milhões de hectares, 3,2% maior que a área cultivada na safra anterior. Na segunda safra, apesar de um menor rendimento em razão das condições climáticas menos favoráveis, a produção foi 2,6% maior que na safra 2018/19, alcançando, 75,1 milhões de toneladas, compensada pelo incremento de 6,8% na área cultivada, alcançando 13.755,9 mil hectares. A terceira safra de milho, na região do Sealba, tem a produção estimada em 1.758,7 mil toneladas, apresentando área de 532,2 mil hectares, incremento de 4,1% frente à safra 2018/19 (CONAB, 2020).

Já a previsão para a cultura do milho na safra 2020/21 é de uma área total de 18.463,5 mil hectares e uma produção estimada de 102,3 milhões de toneladas. Em Minas Gerais, há indicações de crescimento de 4,1% na área plantada na primeira safra, alcançando 749,9 mil hectares (CONAB, 2020).

Com o objetivo de se aumentar a produtividade sem necessariamente aumentar a área plantada deve ser feito o investimento em tecnologias genéticas, o uso de híbridos produtivos e resistentes às principais pragas e doenças é de fundamental importância, assunto que será tratado a seguir.

2.2 Híbridos Avaliados

A escolha de um bom material genético cultivado em condições favoráveis ao seu desenvolvimento também vem a ser de extrema importância para uma boa produtividade final. Híbridos com um bom perfil fitossanitário, ciclo precoce e estabilidade produtiva, assim como os exemplares da DEKALB, MONSANTO, KWS e Morgan Sementes foram os escolhidos pelo produtor para as áreas em estudo.

O híbrido DKB 310 PRO3 possui boa tolerância às principais doenças tropicais e é recomendado para silagem. Marcado por um excelente porte de plantas, com alta produção de biomassa, apresenta uma alta produtividade de grãos e alto volume de produção, com longo período de enchimento de grãos levando a uma ampla janela de corte (DEKALB, 2021). A escolha do híbrido da Agrocere AG8740 PRO3 pode ser explicada por este apresentar destaque em produtividade, assim como um bom pacote de sanidade, ciclo precoce, e um bom empalhamento (MONSANTO, 2018). Com uma ótima combinação de produtividade e sanidade de grãos com tolerância ao enfezamento, o híbrido RB9006 da KWS pode ser plantado tanto no verão como na safrinha, podendo ser usado para produção de grãos

ou silagem e conta com ciclo precoce (KWS, 2020). O excelente custo-benefício e ciclo precoce do híbrido 30A37 da Morgan Sementes atende às exigências de qualidade do mercado e garante maior segurança na colheita, este é recomendado para grãos e permite antecipação da colheita (MORGAN, 2021).

A cadeia produtiva do milho tem sofrido uma reestruturação, com ampliação do uso de diversas tecnologias inovadoras. Entre elas está o uso de plataformas para arquivamento de dados com um nível de detalhes que é essencial para a agricultura de precisão, assunto que será discutido a seguir.

2.3 Base de Dados

Por muito tempo os dados de campo foram arquivados em planilhas e pranchetas tornando difíceis as análises e comparações entre safras, porém com a evolução da tecnologia o investimento em plataformas digitais começou a ser uma realidade entre os administradores e técnicos de campo, vindo a se tornar uma grande ferramenta para a agricultura de precisão, sendo usadas não apenas para o registro de dados mas também para análises mais profundas e pontuais de forma a promover a otimização dos recursos aumentando assim a produção final.

A Agrian Incorporation, fundada em 2004, foi a primeira empresa a reconhecer a necessidade de um software para tornar mais fácil a documentação de atividades de campo. Atualmente faz parte do grupo Telus Agriculture, um grande aliado na cadeia de produção para gerar tecnologia e informação, promovendo um crescimento de forma segura, sustentável e lucrativa. Tem sua sede na Califórnia e atende mais de 1 bilhão de acres, com mais de 3300 parceiros e ultrapassa 150.000 fazendas que são beneficiadas por ele. É uma ferramenta que possibilita aos agentes do campo a flexibilidade para trabalhar de onde quiserem e quando quiserem. É uma plataforma unificada que permite aos usuários a coordenação de tarefas simples remotamente e com um formato acessível (AGRIAN, 2021).

Altamente usada pelos produtores ao redor do mundo, traz vários recursos incluindo: monitoramento remoto de campo, dados de satélites, mapas de solo, o recurso de criação de "grids" permite coletas amostrais de forma a distinguir em um mesmo talhão, através de pontos georreferenciados, áreas com diferentes potenciais produtivos, e ainda permite o compartilhamento de dados entre outras plataformas para simplificar tarefas antes complexas, levando assim ao aumento do lucro e conseqüente sucesso do negócio. Os dados gerados nessa plataforma ajudam na tomada de decisões mais inteligentes, de forma rápida e mais segura (AGRIAN, 2021).

Ao se fazer uso de maquinário John Deere, que possui um maior nível tecnológico, dados de desempenho das máquinas e sobre trabalhos de campo são enviados para a plataforma Operations Center, que é capaz de armazenar informações referentes às atividades realizadas permitindo que sejam feitas análises e estudos destes dados. Através de uma antena de GPS acoplada ao trator é possível também saber o deslocamento das máquinas e as informações de conclusão de uma tarefa. Os dados podem ser compartilhados entre o concessionário e o cliente para melhor compreensão dos trabalhos realizados, assim como do negócio (JOHN DEERE, 2021).

Toda essa tecnologia permite o armazenamento de dados de forma fácil e rápida, registrando ao longo do trajeto da máquina pelo campo a quantidade de sementes depositadas ou quantidade colhida, localização do talhão, juntamente com o registro de datas de início e fim de cada trabalho. Ao registrar esses dados o próprio software já agrega às informações cálculos de produtividade por hectare em cada talhão manejado (JOHN DEERE, 2021).

O uso dos dados disponíveis nessas ferramentas são de grande valia para a pesquisa, pois é possível se fazer a análise de forma mais rápida e eficiente mesmo de longos períodos de tempo, com dados confiáveis de grandes áreas e de forma remota.

Diferentes índices de vegetação podem ser utilizados para o estudo e avaliação desta. Entre os já amplamente discutidos na literatura, há o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), que se relaciona diretamente com a fitomassa, possibilitando a caracterização de aspectos biofísicos da vegetação, como sua distribuição global, inferir variabilidades ecológicas e ambientais, produção de biomassa, radiação fotossintética ativa e a produtividade de culturas (FERREIRA; MAGALHÃES, 2015).

Assim, o uso do sensoriamento remoto emerge para auxiliar o produtor na tomada de decisão, estratégia que será tratada no próximo tópico.

2.4 Uso do Sensoriamento Remoto na agricultura

O estudo do uso do solo se trata de elucidar toda sua utilização, ou a caracterização dos tipos e categorias de vegetação natural que recobre certa região. O emprego de dados atualizados de uso e cobertura do solo é extremamente amplo, podendo mencionar como exemplo: inventário de recursos hídricos, controle de processos erosivos, formulação de políticas econômicas, mapeamento e monitoramento de áreas agrícolas, dentre outros (BRITO; PRUDENTE, 2005).

O emprego do Sensoriamento Remoto no monitoramento agrícola é indispensável para o entendimento dos padrões de organização espacial, visto que suas tendências

podem ser avaliadas. De modo sucinto, a expressão “uso da terra ou uso do solo” pode ser conceituada como a forma pela qual o espaço está sendo utilizado pelo ser humano (AYACH et al., 2012). As metodologias de sensoriamento remoto e geoprocessamento emergiram como mecanismos úteis e indispensáveis para o monitoramento da dinâmica de uso do solo, haja vista que propiciam maior celeridade no processamento e atualização de dados com menor custo (QUEIROZ et al., 2017).

As imagens obtidas mediante sensoriamento remoto possibilitam uma perspectiva multitemporal de grandes áreas da superfície da Terra. Tal visão sinóptica do meio ambiente ou da paisagem, torna possível pesquisas regionais e integradas, relacionando diversos âmbitos do conhecimento. Elas possibilitam o estudo dos ambientes e a sua transformação, evidenciam os impactos gerados por fenômenos naturais como as inundações e a erosão do solo (geralmente intensificados por ação humana) e antrópicos, como os desmatamentos, as queimadas, a expansão urbana e agrícola, ou demais modificações no uso e da ocupação da terra. Com a emergência das imagens de alta resolução espacial, abre-se a hipótese de elaboração de mapeamentos temáticos de uso e cobertura da terra com maior acurácia e relativa diminuição de trabalhos de campo (AYACH et al., 2012).

Nessa perspectiva, como explicam Brito e Prudente (2005), os sistemas de sensoriamento remoto disponíveis na atualidade possibilitam a aquisição de dados de modo global confiável, rápida e repetitiva, sendo esses dados de máxima relevância para o levantamento, mapeamento e emprego das informações de uso e ocupação do solo de uma dada região.

Assim, evidencia-se a relevância da obtenção das imagens de satélite para a realização deste tipo de trabalho. A seguir, detalhar-se-á as características dos satélites cujas imagens foram empregadas neste trabalho.

2.4.1 Satélite Sentinel

A série de satélites SENTINEL teve início no ano de 2014, desenvolvida partindo de um projeto da Agência Espacial Europeia (ESA)/Comissão Europeia em atendimento ao Programa Copernicus. A série tem o propósito de continuar missões antigas realizadas pela ESA como ERS, ENVISAT e SPOT ao monitorar os recursos naturais terrestres, o uso e ocupação das terras, os ambientes marinhos, o clima e desastres naturais. Tal missão foi chamada Global Monitoring for Environment and Security (GMES) e em 2012 sua denominação foi alterada para Sentinel (EMBRAPA, 2020).

A missão é formada por pares de satélites especializados, voltados a interesses

diversos. Os satélites SENTINEL-1 são direcionados ao monitoramento terrestre e oceânico e levam a bordo sensores de radar. O par de satélites SENTINEL-2 são voltados ao monitoramento da vegetação, solos e áreas costeiras e é equipado com sensor óptico de alta resolução espacial. Já a terceira série é apropriada ao monitoramento marinho e conta com sensores ópticos e radares com tal finalidade. As séries 4 e 5 são adaptadas ao monitoramento da qualidade do ar (EMBRAPA, 2020).

2.4.2 Satélites SENTINEL-2

O Sentinel-2A foi o primeiro satélite óptico da série a ser operado pela ESA. Seu lançamento ocorreu em 2015 e conta com o sensor multiespectral MSI com 13 bandas espectrais, variando de 443 a 2190 nm, com resolução espacial de 10m para as bandas do visível, 20m para o infravermelho e 60m para as bandas de correção atmosférica. É utilizado o monitoramento da agricultura, florestas, zonas costeiras, águas interiores, desastres naturais e uso e ocupação das terras. Tal como seu precursor, o Sentinel 2-B, lançado em 2017, conta com os mesmos objetivos e o sensor MSI (EMBRAPA, 2020). As características e informações sobre rota e órbita dos Satélites Sentinel 2A e 2B podem ser encontradas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características dos satélites da série SENTINEL-2.

Satélite	SENTINEL-2A	SENTINEL-2B
Lançamento	23/06/2015	07/03/2017
Local de Lançamento	Kourou (Guiana Francesa)	Kourou (Guiana Francesa)
Veículo Lançador	Vega	Vega
Situação Atual	ativo	ativo
Órbita	polar, heliossíncrona	polar, heliossíncrona
Altitude	786 km	705 km
Inclinação	98,5°	98,20°
Tempo de Duração da Órbita	97,2 min	s.d.
Horário de Passagem	10:30 A.M.	09:45 A.M.
Período de Revisita	5 dias	5 dias
Tempo de Vida Projetado	12 anos	12 anos
Instrumentos Sensores	SAR e MSI	SAR e MSI

Resolução radiométrica	12 bits por pixel	12 bits por pixel
Largura da faixa imageada	290 km	290 km

Fonte: Embrapa (2020).

Na Tabela 2, são apresentadas as informações sobre as bandas espectrais em cada resolução do Satélite Sentinel 2.

Tabela 2 - Bandas espectrais do sensor MSI a bordo dos satélites da série SENTINEL-2.

Resolução	Banda	Nome da Banda	Comprimento de onda Central (nanômetros)	Combinações de bandas
10 m	B02	Azul	490	Cor verdadeira
	B03	Verde	560	RGB 04/03/02
	B04	Vermelho	665	Falsa cor 1 e 2
	B08	NIR (Infravermelho próximo)	842	RGB 08/04/03 e 04/08/03
20 m	B05	Red Edge 1	705	SWIR 1
	B06	Red Edge 2	740	RGB 12/11/8A
	B07	Red Edge 3	783	
	B08A	Red Edge 4	865	
	B11	SWIR 1	1610	
	B12	SWIR 2	2190	
60 m	B01	Aerosol	443	-
	B09	Water vapor	940	
	B10	Cirrus	1375	

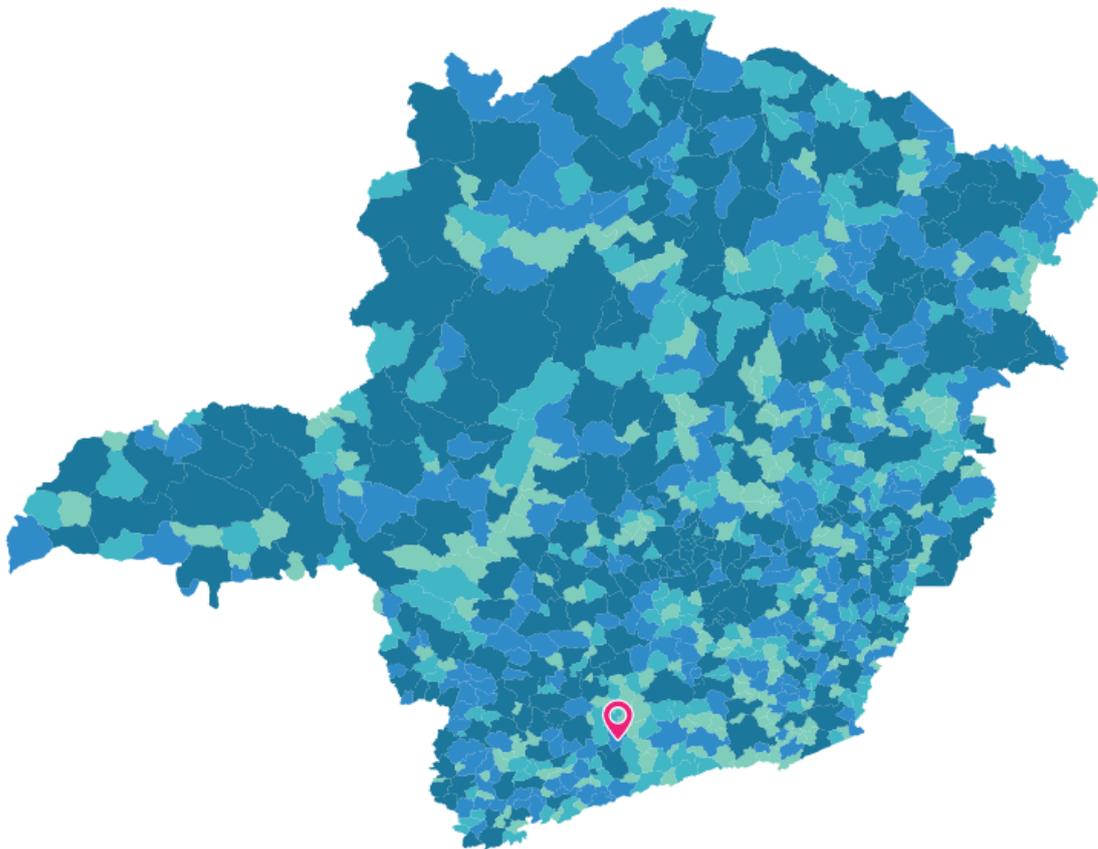
Fonte: Silveira (2018).

Como visto, o sensoriamento remoto, por meio da série de satélites SENTINEL-2 possui grande aplicabilidade na agricultura, como o uso de índices no monitoramento de culturas, na estimativa de biomassa, no fornecimento de informações sobre o vigor da cobertura vegetada, entre outros (Shiratsuchi et al, 2014). Tal tecnologia foi empregada neste trabalho em conjunto com dados de campo registrados em plataformas digitais, visando o monitoramento da cultura do milho, cuja metodologia e resultados obtidos serão apresentados a seguir.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A área em estudo faz parte de um complexo de fazendas localizada no município de Cruzília – MG (Figura 1), que tem como coordenadas $21^{\circ} 50' 22''$ de latitude sul e longitude $44^{\circ} 48' 45''$ Oeste, altitude média de 1.086 m. O estudo levou em consideração o cultivo tanto na época de altas temperaturas e maior precipitação, sendo o período de safra (verão), e também na época da segunda safra, ou safrinha, marcado por ser uma época seca e de temperaturas mais baixas (inverno). O clima dominante no sul de Minas é o Cwa, segundo Koppen.

Figura 1 - Localização do município de Cruzília no estado de Minas Gerais.



Fonte: IBGE (2021)

Os dados qualitativos referentes aos plantios realizados na área de estudo foram fornecidos pela Minas Verde John Deere, e retirados do banco de dados nas plataformas Operations Center e Agrian, mediante autorização prévia do proprietário das fazendas. No Operations Center podemos encontrar os registros de datas de semeadura, número de sementes

aplicadas por hectare em cada talhão, produtividade por hectare e o híbrido cultivado. Foram analisados quatro híbridos cultivados nessas fazendas e eles foram escolhidos por terem sido plantados em ambas as condições climáticas. São eles: DKB310 PRO3, da DEKALB, da Agroceres o AG8740 PRO3, RB9006 da KWS e 30A37 da Morgan Sementes.

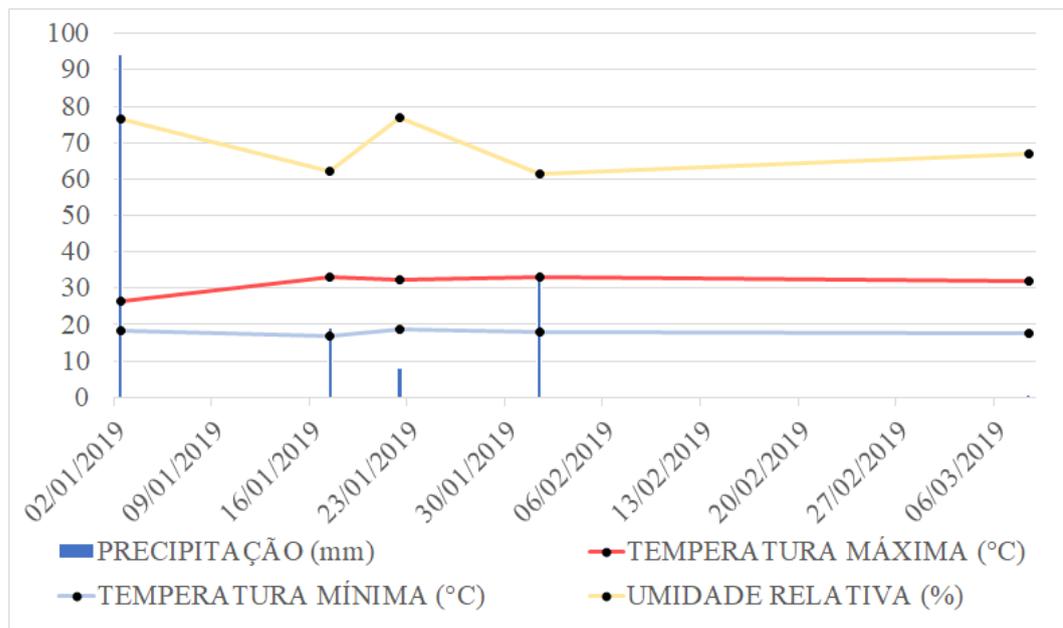
Os mapas de NDVI avaliados estão disponíveis no Agrian e o índice foi calculado automaticamente por média ponderada usando as bandas 8 (infravermelho próximo) e 4 (vermelho) das imagens do satélite Sentinel 2, com resolução espacial de 10 metros, que são atualizadas a cada 5 dias a depender das condições climáticas. A partir da data das imagens coletadas foi possível calcular a quantidade de Dias Após Semeadura (DAS) de cada talhão para posterior estudo.

Os dados meteorológicos de umidade relativa, temperatura máxima e mínima foram coletados ainda com base nas datas das imagens, para a safra de 2018/2019 consultou-se na plataforma do INMET a base de dados da estação meteorológica de São João Del Rei - MG, localizada nas coordenadas 21°06'36.0'' sul de latitude e longitude 44°15'0.00'' oeste, sendo a estação automática mais próxima da área estudada, a cerca de 77 km em linha reta. Já os dados da safra de 2019/2020 e safrinha de 2020 foram coletados na plataforma Field Climate que contém os registros da estação meteorológica instalada em meados do ano de 2019 em uma das fazendas próximas do mesmo produtor a pouco mais de 1 km das áreas em estudo, com latitude 21°38'59.11'' sul e 44°45'7.00'' de longitude oeste. Os valores de precipitação correspondem a um acumulado dos 3 dias anteriores à data do cálculo do NDVI. Esses dados foram extraídos da base de dados do INMET da estação meteorológica do município de São João del Rei, MG.

Na safra de 2018/2019 foram registradas datas de semeadura do dia 10 de dezembro de 2018 e acompanhou-se o desenvolvimento da cultura até o dia 08 de março de 2019. Já para safra de 2019/2020, os dados de semeadura se estendem do dia 22 a 25 de novembro de 2019, e os dados de NDVI foram coletados até o dia 12 de março de 2020. A quantidade de sementes depositadas por talhão variou de 70700 a 72400 sementes por hectare. Foram extraídas do banco de dados 12 observações de NDVI de 3 diferentes talhões no total, abrangendo uma área de 151,8 ha. As observações do NDVI se estenderam do 23º ao 111º dia após a semeadura. A amplitude de temperatura na safra de 2018/2019 foi de 16,9°C a 33,1°C, com umidade relativa média variando de 61,5% a 77% e a soma de precipitação de todos os dias estudados totalizou 156mm, porém durante toda a safra, do dia de semeadura ao último dia em que foi avaliado o NDVI o total precipitado foi de 669,8mm. Já para a safra de 2019/2020, com precipitação acumulada de 124,4 mm para os dias em estudo e 1165 mm

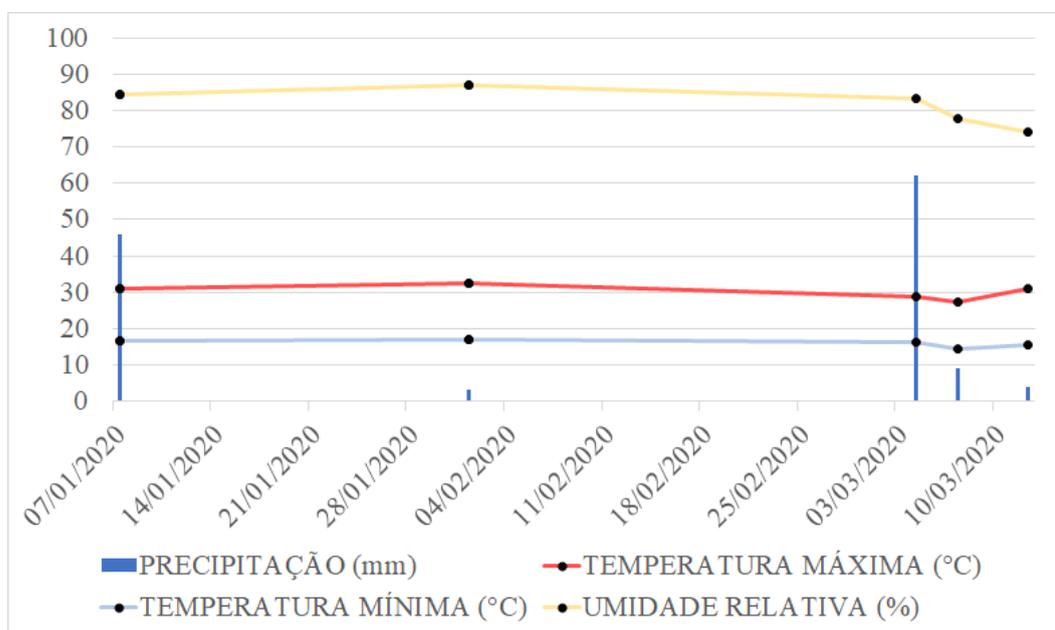
em toda a safra, e a temperatura foi de 14,42 a 32,59°C, e os valores de umidade relativa média foram 74,01% a 86,87% neste período, nas Figuras 2 e 3 podem ser encontrados os gráficos referentes à esses dados. Segundo Landau et al. (2021) os valores de precipitação e temperaturas máximas e mínimas estão na faixa ideal para a cultura.

Figura 2 - Dados coletados da estação meteorológica de São João Del Rei da época de safra do período de 2018/2019.



Fonte: Adaptado de INMET - Estação Meteorológica de São João Del Rei (2021).

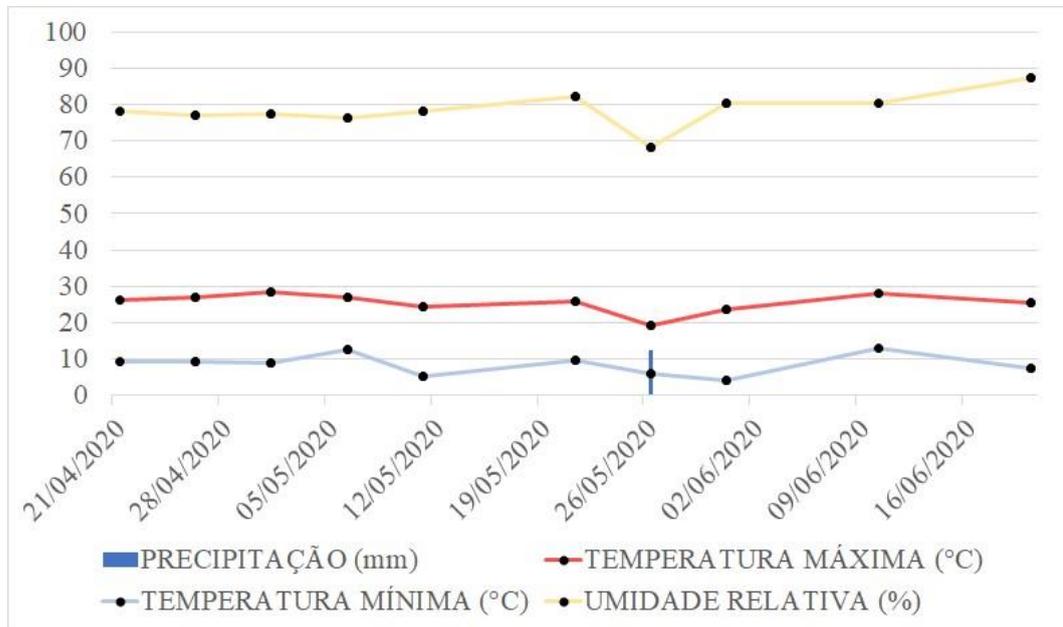
Figura 3 - Dados coletados da estação meteorológica localizada a cerca de 1km das áreas em estudo da época de safra do período de 2019/2020.



Fonte: Adaptado do Field Climate (2021).

Os dados coletados da safrinha de 2020, representados graficamente na Figura 4, apresentaram 13,6 mm de precipitação ao se somar todos os dias em questão e 178mm em todo o ciclo produtivo, nesse período a umidade relativa mínima observada foi de 68,33% e máxima de 87,47% no dia mais úmido, com temperatura mínima de 4,07°C e máxima de 28,53°C, não sendo então as condições ideais para o cultivo de milho (Landau et al, 2021). Os dados de semeadura começam no dia 04 e se estendem até o dia 09 de março de 2020, e em 2 talhões foram coletadas 18 observações de NDVI. O cálculo de DAS e a coleta de dados meteorológicos seguiu a mesma metodologia usada para a primeira safra, com registros a partir do 48° ao 108° DAS, e os dados do milho safrinha foram registrados até o dia 20 de junho de 2020, a quantidade de sementes depositadas por talhão variou de 59400 a 59900 sementes por hectare, em uma área de 192 ha.

Figura 4 - Dados coletados da estação meteorológica localizada a cerca de 1km das áreas em estudo da época de segunda safra de 2020.



Fonte: Adaptado do Field Climate (2021).

Para análise estatística da relação entre os dados meteorológicos coletados e dos dados de campo de quantidade de sementes aplicada por hectare e produtividade média foi usada a correlação de Pearson calculada através do software R, levando em consideração apenas os dados quantitativos e os resultados serão discutidos a seguir.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Sob as condições acima citadas, para as safras em estudo, resultados relevantes foram encontrados ao se fazer a análise de correlação de Pearson. O fator produtividade pôde ser associado com a variação de precipitação e amplitude térmica à qual a planta é submetida ao longo do ciclo produtivo, o NDVI contudo, é uma forma de atestar a saúde e vigor em cada fase da cultura, podendo ser usado como ferramenta para monitoramento remoto.

Na Tabela 3 encontram-se os valores de nível de significância obtidos na análise de correlação entre o índice vegetativo - NDVI e a produtividade por hectare em híbridos de milho nas safras avaliadas.

Tabela 3 - Valores de correlação de Pearson entre o índice vegetativo - NDVI e a produtividade por hectare em híbridos de milho nas safras avaliadas.

	NDVI	Produtividade/ha
NDVI	-	0.0018 *
Número de sementes/ha	0.0016*	0.0000 **
Precipitação acumulada	0.0026 *	0.0070 *
Temperatura Máxima	0.0381	0.0012 *
Temperatura Mínima	0.0047 *	0.0000 **
Produtividade/ha	0.0018 *	-

Fonte: Do autor (2021).

Na Tabela 4, é possível observar a relação entre o índice vegetativo por diferença normalizada, NDVI e a produtividade alcançada por hectare nas safras 2018/19 e 2019/20, estimada por meio da correlação de Paerson.

Tabela 4 - Relação entre o índice vegetativo - NDVI e a produtividade por hectare nas safras avaliadas, estimada por meio da correlação de Pearson.

	NDVI	Produtividade /ha
NDVI	1.00	-0.91
Número de sementes/ha	-0.91	1.00
Precipitação acumulada	-0.90	0.85
Temperatura Máxima	-0.73	0.92
Temperatura Mínima	-0.87	0.99

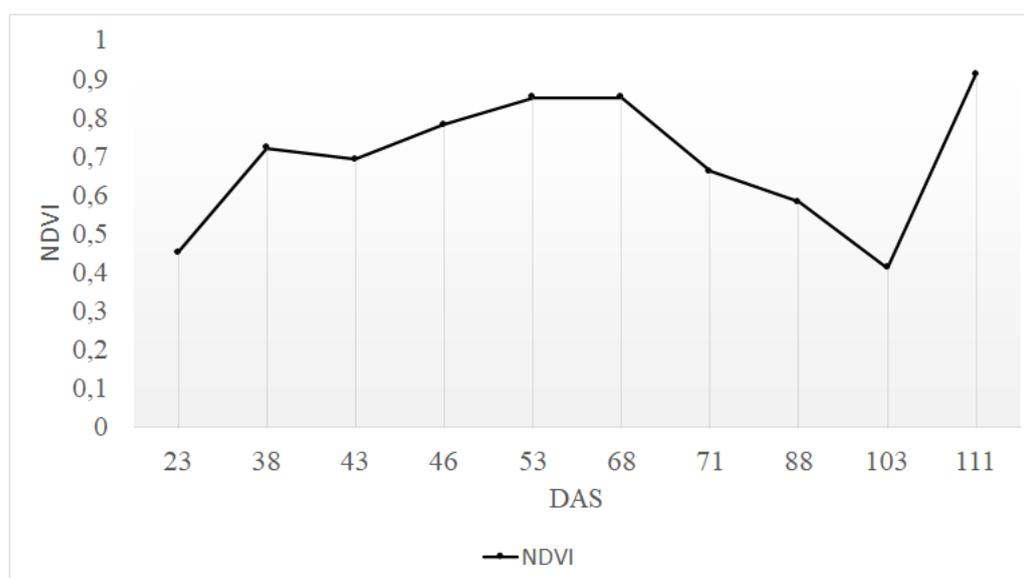
Produtividade/ha	-0.91	1.00
-------------------------	-------	------

Fonte: Do autor (2021).

Segundo a Embrapa (2013), os valores de NDVI próximos a 1, são indicadores de áreas onde a vegetação apresenta maior vigor e valores menores são encontrados em áreas com pouca vegetação ou secas. É possível observar valores crescentes entre as fases de desenvolvimento, floração e enchimento de grãos e é observado seu pico máximo pouco antes da fase de maturação. A ascensão inicial indica o início do desenvolvimento vegetativo da cultura e acontece poucas semanas após o plantio.

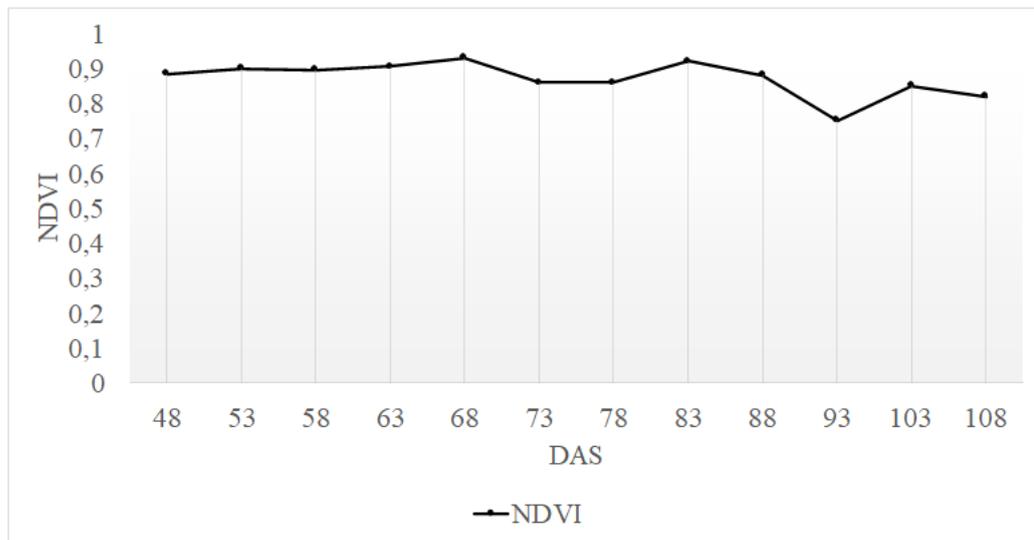
As Figuras 5 e 6, apresentaram os valores de NDVI ao longo do ciclo produtivo com distribuição normal, sendo que no início do desenvolvimento devido ao baixo índice de folhas as leituras são de valores inferiores à 0,35. Ao longo do ciclo fenológico o valor vai aumentando e se aproximando do valor máximo à medida que a cultura recobre a área e após a maturação, aproximadamente após os 110 DAS espera-se uma queda pelo aumento do acúmulo de matéria seca com a perda de umidade, como pode ser observado nas figuras mencionadas que mostram os dados registrados para a safra do milho nos anos de 2018/2019 e 2019/2020 e safrinha de 2020. Ainda na Figura 5 há uma queda nos valores de NDVI, o que será explicado mais a frente quando este será relacionado com a precipitação.

Figura 5- Valores de NDVI observados nas primeiras safras de 2018/2019 e 2019/2020, ao longo do ciclo produtivo da cultura do milho para os híbridos DKB 310 PRO3, RB9006 e AG 8740 PRO3.



Fonte: Do autor (2021).

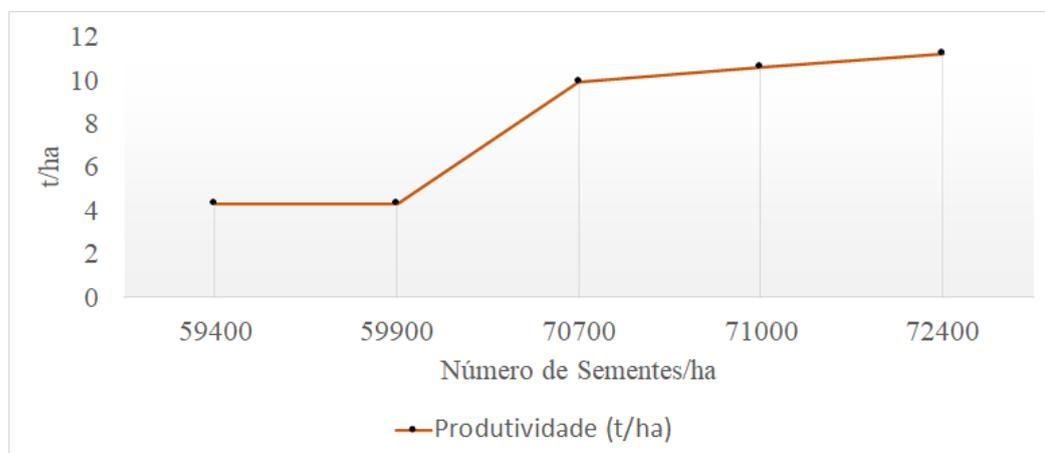
Figura 6 - Valores de NDVI observados na segunda safra de 2020 ao longo do ciclo produtivo do milho para os híbridos 30A37P, DKB 310 PRO3 e AG 8740 PRO3.



Fonte: Do autor (2021).

Segundo os desenvolvedores das sementes dos híbridos, a população de plantas adotada estava de acordo com o recomendado pelas empresas, de pelo menos 70 mil sementes por hectare no período de safra e plantio entre 55 e 60 mil sementes para a safrinha. A Figura 7 mostra que a produtividade do híbrido é relacionada com a população de sementes por hectare e que seu aumento, gera também um incremento na produtividade em toneladas por hectare.

Figura 7 - Produtividade relacionada com o número de sementes aplicadas por hectare em todos os talhões estudados para a safra dos anos de 2018/2019 e 2019/2020 e segunda safra de 2020.



Fonte: Do autor (2021).

Para previsão do potencial produtivo nas áreas em questão através do NDVI seriam necessárias leituras do índice em momentos específicos do ciclo produtivo, como atestam estudos feitos por Huang et al (2011), como isso não foi possível por terem sido usadas imagens de satélite que são limitadas pelas condições meteorológicas não se pôde estabelecer uma relação entre o NDVI observado em ambas as épocas de plantio e a produtividade obtida.

O fato de os valores de NDVI observados serem uma média ponderada de toda a área, não se levando em consideração as regiões mais ou menos produtivas de cada talhão, pode ter mascarado a relação do NDVI com a produtividade total em cada área estudada.

Deve-se levar em consideração também que nem sempre o NDVI é o melhor índice para se estimar a produtividade. Segundo Blosfeld (2018) o NDRE (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada na Banda de Borda Vermelha) é capaz de medir mais a fundo o dossel das plantas e se mostra mais representativo que o NDVI.

Rudorff et al. (2003) observaram que não houve relação direta entre o NDVI e a produtividade de grãos para produtividades acima de 5 t/ha. Estes autores atribuíram a limitação do uso do NDVI na estimativa de produtividades superiores a 5 t/ha ao elevado índice de área foliar (IAF), pois é esperado que nesta situação ocorra uma saturação do NDVI em função do elevado IAF. Entretanto no mesmo estudo foi observado que o IAF não demonstrou relação direta com a produtividade, sendo esta influenciada por outros fatores que serão discutidos mais adiante.

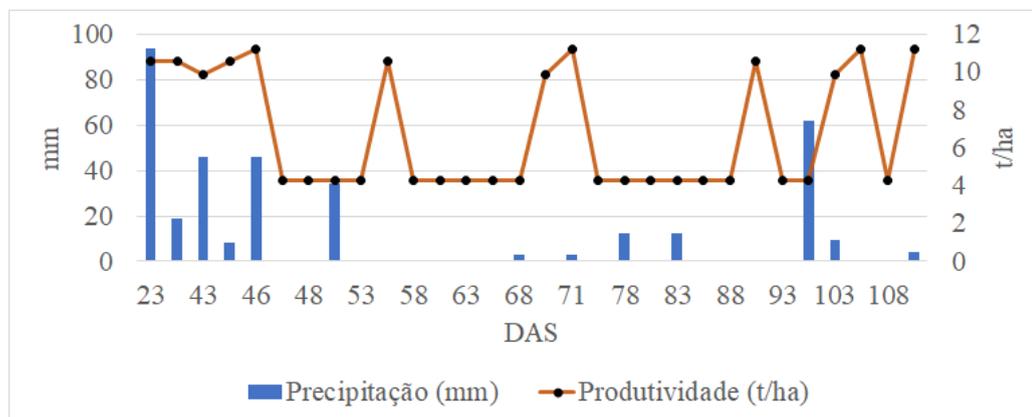
Estudos publicados pela EMBRAPA em 2013 mostraram que durante a segunda safra agrícola as condições climáticas podem causar perda de produtividade, motivo pelo qual são esperadas variações maiores em termos de produtividade entre anos consecutivos. De acordo com Cruz et al (2008) e Ollinger (2010) o desenvolvimento do milho é fortemente influenciado por fatores existentes no ambiente, como radiação solar, temperatura e, principalmente, precipitação, que garantem que a capacidade genética do milho se manifeste ao máximo, influenciando a produtividade.

Fontana e Berlato (1996) concluíram que a precipitação é a variável meteorológica que exerce maior peso individual na definição do rendimento do milho. A falta de chuva na época de semeadura e precipitações intensas no final da estação de crescimento das culturas são prejudiciais e comprometem o volume final de produção. Bergamaschi et al (2004) observou que quando a estiagem acontece no período crítico do enchimento ao início de enchimento de grãos há uma redução considerável na produtividade.

Na Figura 8 observamos que os valores de produtividade abaixo de 5 t/ha são referentes à segunda safra, cultivadas de março a agosto de 2020, e os maiores valores

correspondem à safra de 2018/2019 e 2019/2020. O que confirma que a disponibilidade hídrica logo após a sementeira e no período de emergência, que é a fase de maior crescimento vegetativo, em que a água tem papel fundamental na fotossíntese e nos processos metabólicos de alongação celular; e ao redor dos 65 dias após sementeira, em que a planta entra no estágio reprodutivo, são fundamentais para uma alta produtividade, pois evita a desidratação dos grãos de pólen, importante para o desenvolvimento e penetração no tubo polínico, assim como também influencia no número potencial de grãos formados, e no momento de deposição de matéria seca e enchimento de grãos tem relação direta na quantidade que será colhida no fim do ciclo produtivo (MAGALHÃES et al, 2006).

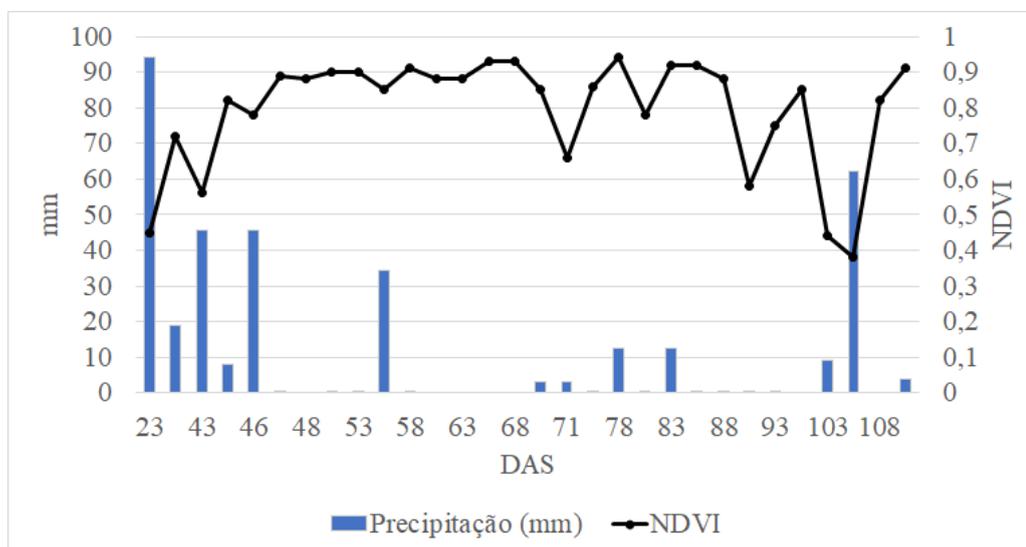
Figura 8 - Influência da precipitação na produtividade ao longo do ciclo produtivo para a safra dos anos de 2018/2019 e 2019/2020 e segunda safra de 2020.



Fonte: Do autor (2021).

Na Figura 9 é possível observar a influência da intensidade de precipitação no NDVI calculados. A ocorrência de chuvas no início do ciclo produtivo possibilita um satisfatório crescimento, fazendo que os valores de NDVI se aproximem de 1. Os valores de NDVI que se destacam em queda a partir dos 70 DAS são referentes às plantas submetidas a um veranico e altas temperaturas que demonstraram perda do vigor. Ao se avaliar o NDVI sob ocorrência de chuvas é importante levar em consideração também o tempo de resposta da planta àquele regime hídrico, em que após um veranico pode apresentar murcha e o tempo para recuperação do vigor é variável, como observamos na Figura 5, em que os valores de NDVI apresentaram uma considerável queda entre os 68 e 111 DAS.

Figura 9 - Resposta do NDVI ao crescimento das plantas sob lâmina de precipitação nas safras dos anos de 2018/2019 e 2019/2020 e segunda safra de 2020.



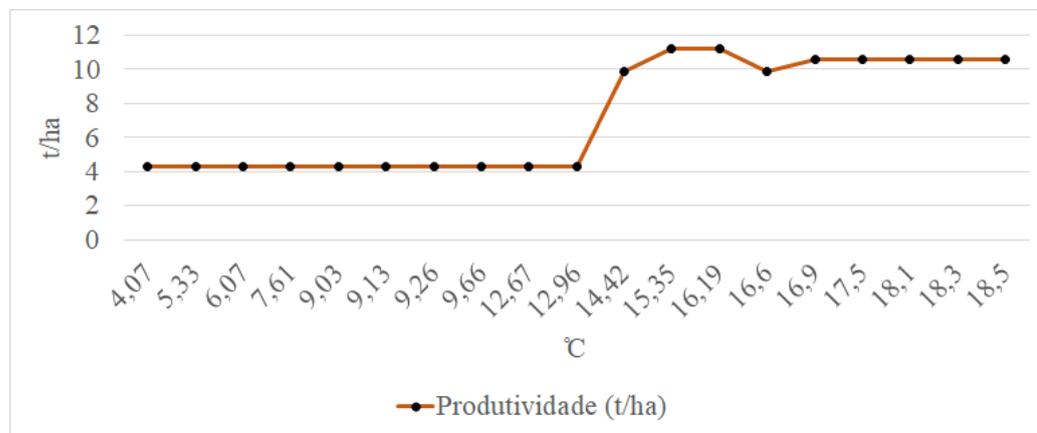
Fonte: Do autor (2021).

As temperaturas máximas e mínimas observadas ao longo do ciclo produtivo também exercem um papel importante na produtividade final, estudos feitos por Landau et al (2021) concluíram que quando a planta é submetida a temperaturas elevadas, o processo metabólico é mais acelerado e, sob temperaturas baixas o metabolismo tende a diminuir, sendo assim o intervalo de tolerância do milho está entre 10°C e 30°C. Abaixo de 10°C, quando exposto por longos períodos, o crescimento da planta é quase nulo e, acima de 30°C o rendimento de grãos tende a cair, mesmo que durante a noite, pois isso provoca o consumo dos produtos metabólicos elaborados durante o dia.

Com base nisso, a temperatura ideal para o desenvolvimento do milho, entre as fases de emergência e enchimento de grãos está entre 15,5°C e 30°C. Em relação às temperaturas mínimas, estudos feitos por Nascimento et al. (2016) atestaram que temperaturas abaixo de 10°C, desde que ocorra mais de quatro vezes em um mês, causa prejuízos no desenvolvimento da cultura, como podemos observar na Figura 9, em que plantios de segunda safra feitos no outono e inverno tem produtividade afetada também pelas baixas temperaturas, em concordância com resultados obtidos ainda por Landau et al (2021), que afirmaram que noites com temperatura média inferior a 12,8°C não são recomendadas para a produção de milho.

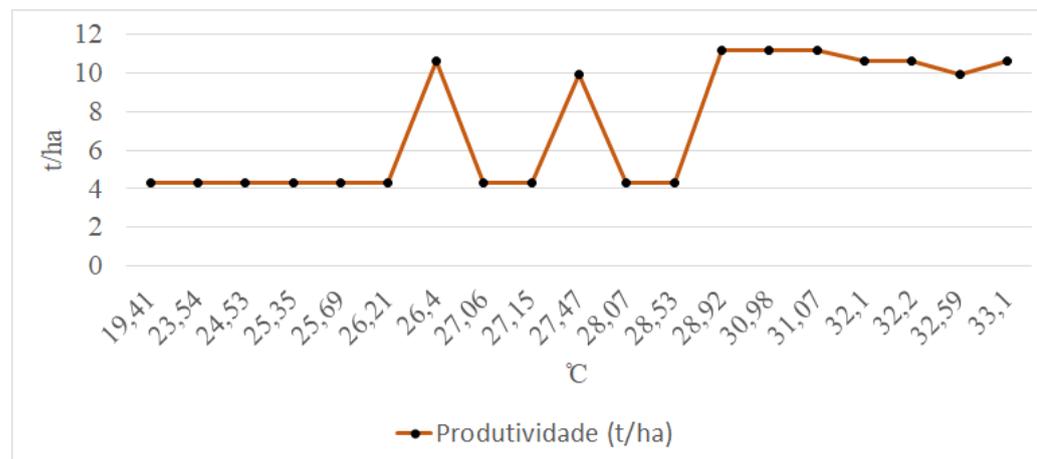
As Figuras 10 e 11 apresentam as temperaturas mínimas e máximas, respectivamente, coletadas na safra e safrinha do milho em 2018/19 e 2019/20, e sua influencia na produtividade do milho no mesmo período. Pode-se observar que abaixo de 12,96°C a produtividade se mantém estável a um patamar muito baixo, de 4 toneladas por hectare de produção e acima de 28,92°C há uma estabilidade no topo, com 11 toneladas por hectare.

Figura 10 – Influência da temperatura mínima observada no período, na produtividade do milho obtida nas safras de 2018/2019 e 2019/2020 e segunda safra de 2020.



Fonte: Do autor (2021).

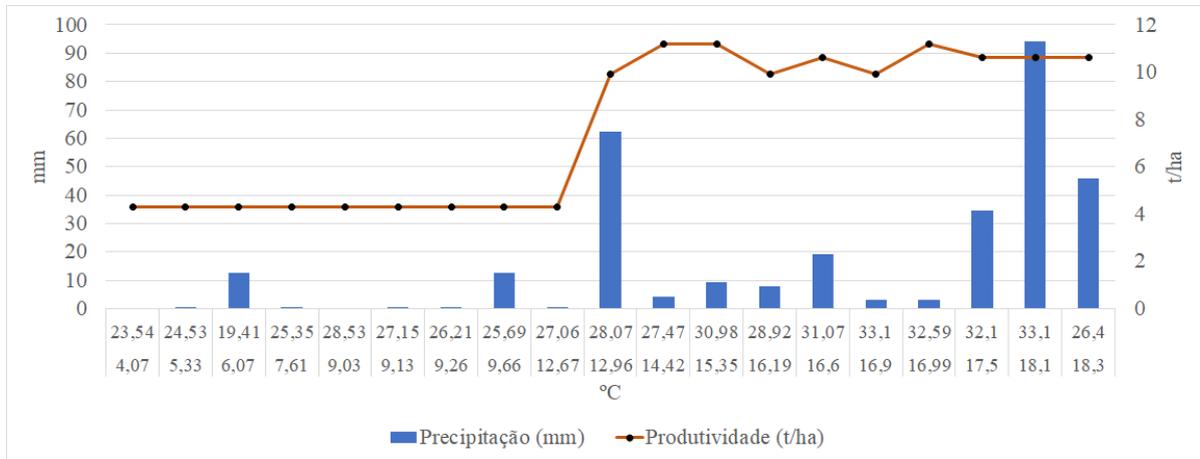
Figura 11 - Influência da temperatura máxima observada no período, na produtividade obtida nas safras de 2018/2019 e 2019/2020 e segunda safra de 2020.



Fonte: Do autor (2021).

Avaliando-se conjuntamente as variáveis de temperatura mínima e máxima, e dados de produtividade para o periodo expostas anteriormente, podemos observar na Figura 12 a influência coletiva destas na produtividade final.

Figura 12 - Análise de dados meteorológicos de precipitação e temperaturas máximas e mínimas ao longo dos ciclos produtivos das safras de 2018/2019 e 2019/2020 e segunda safra de 2020 relacionados com a produtividade final.



Fonte: Do autor (2021).

Outros estudos, que levem em consideração a fertilidade do solo em faixas e associem as áreas mais e menos produtivas com o NDVI calculado para cada região em cada talhão, podem ser realizados para análises mais profundas de como cada uma das variáveis avaliadas nesse trabalho influenciam na produtividade e no comportamento espectral das plantas.

5 CONCLUSÃO

A partir das condições apresentadas nesse estudo podemos concluir que, as variáveis climáticas que mais influenciaram na produtividade final do cultivo de milho são precipitação, e temperaturas mínimas durante o ciclo produtivo dos híbridos DKB 310 PRO3, RB9006, AG 8740 PRO3 e 30A37 nos anos de 2018, 2019 e 2020.

As condições hídricas favoráveis na fase de crescimento vegetativo e durante o estágio reprodutivo favoreceram uma maior colheita, assim como temperaturas mínimas superiores a 12°C, o que mantém as atividades metabólicas necessárias para um maior desempenho produtivo dos híbridos DKB 310 PRO3, RB9006 e AG 8740 PRO3 nos anos de 2018, 2019 e 2020.

A resposta positiva das plantas estudadas nesse trabalho, podem ser observadas através do cálculo de NDVI, que apresenta valores mais próximos de 1 quando a planta apresenta maior vigor e recobrimento do solo e valores menores quando as condições são desfavoráveis e mediante perda de umidade.

REFERÊNCIAS

- AGRIAN. **About**, 2021. Disponível em: <https://home.agrian.com/company/about/>. Acesso em: 19 jan. 2021.
- AYACH, L. R. *et al.* Utilização de imagens Google Earth para mapeamento do Uso e Cobertura Da Terra da bacia hidrográfica do Córrego Indaiá, MS. **Revista GEONORTE**, v. 2, n. 4, p. 1801-1811, 2012.
- BERGAMASCHI, H., DALMAGO, G. A., BERGONCI, J. I., BIANCHI, C. A. M., MÜLLER, A. G., COMIRAN, F., & HECKLER, B. M. M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 9, p. 831-839, 2004.
- BLOSFELD, L. H. **Correlação linear entre os índices de vegetação NDVI e NDRE com a produtividade do milho segunda safra**. Sinop, MT, 2018. Disponível em: <http://bdm.ufmt.br/handle/1/1283>. Acesso em: 23 fev. 2021.
- BRITO, J. L. S.; PRUDENTE, T. D. Análise temporal do uso do solo e cobertura vegetal do município de Uberlândia - MG, utilizando imagens ETM+/Landsat 7. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, MG, v. 17, n. 32, p. 37-46, jun 2005.
- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 8 – Safra 2020/21, n. 1 - Primeiro levantamento, Brasília, DF, out 2020. 77 p.
- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 7 - Safra 2019/20 - Décimo segundo levantamento, Brasília, DF, set 2020. 68 p.
- CRUZ, J. C.; KARAM, D.; MONTEIRO, M. A. R.; MAGALHAES, P. C. (Ed.). **A cultura do milho**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. cap. 8, p. 171-197.
- DEKALB. **Silagem, DKB 310 PRO3, alta sanidade foliar e produção de biomassa com qualidade**. Disponível em: https://www.dekalb.com.br/pt-br/nossos-productos/hibridos-de-silagem/product-detail-template.html/dkb_310_pro3.html. Acesso em: 1 fev. 2021.
- MONSANTO, DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS. **AG 8740 PRO3, alta produtividade com estabilidade e sanidade foliar**. 2018. Disponível em: http://www.sementesagrocere.com.br/pages/Produto_AG_8740.aspx. Acesso em: 1 fev. 2021.
- EICHOLZ, E. E. *et al.* **Informações técnicas para o cultivo do milho e sorgo na região subtropical do Brasil: safras 2019/20 e 2020/21**. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2020, 220 p.
- EMBRAPA. **Dinâmica espaçotemporal do NDVI em mesorregiões produtoras de milho segunda safra**. Campinas, SP: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2013. ISSN 0103-7811. Dezembro, 2013.
- EMBRAPA. **Sealba: região de alto potencial agrícola no Nordeste brasileiro**. Aracaju, SE. Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2019. ISSN 1678-1953. Dezembro, 2019.
- EMBRAPA. **SENTINEL - Missão Sentinel**. Campinas, SP: Embrapa Territorial, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/sentinel>. Acesso em: 18 jan. 2021.
- FERREIRA, V. O.; MAGALHÃES, M. V. P. Aplicação do Índice da Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) à Análise Multitemporal da Dinâmica de Áreas Agrícolas no Alto Curso da Bacia do Rio Uberabinha, Minas Gerais. **Caderno de Geografia**, v. 25, n. 44, p. 149-164,

2015. Disponível em:
<http://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/download/9392/7894>. Acesso em: 9 abr. 2021.

FONTANAD. C.; BERLATO M. A. Relação entre El Nino oscilação sul (ENOS), precipitação e rendimento de milho no estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 2, n. 1, p. 39-46, 25 set. 1995.

HUANG, W.; WANG, Z.; HUANG, L.; LAMB, D. W. Estimation of vertical distribution of chlorophyll concentration by bi-directional canopy reflectance spectra in winter wheat. **Precision Agriculture**, New York, v. 12, n. 2, p. 165-178, 2011. DOI: 10.1007/s11119-010-9166-5.

IBGE. **Cruzília**. 2021. Disponível em:
<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/cruzilia/panorama>. Acesso em: 15 abr. 2021.

JOHN DEERE. **Operations Center**. 2021. Disponível em:
<https://www.deere.pt/pt/campaigns/ag-turf/operations-center/>. Acesso em: 19 jan. 2021.

KWS. **RB 9006 PRO2 e PRO3, ótima combinação de produtividade com sanidade de grãos e tolerância ao enfezamento**. 2020. Disponível em:
https://mediamaster.kws.com/01_Products/BR_Brazil/Productsheets/Mais/kws_br_rb9006pro2_pro3.pdf. Acesso em: 1 fev. 2021.

LANDAU, E. C.; MAGALHÃES, P. C.; GUIMARÃES, D. P. AGEITEC. **Árvore do conhecimento - Milho**. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. Disponível em:
https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_17_16820051115.html#:~:text=A%20temperatura%20ideal%20para%20o,gr%C3%A3os%20na%20temperatura%20de%2021%C2%BAC. Acesso em: 25 fev. 2021

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Fisiologia da produção de milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 10p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 76).

MORGAN. **30A37 precoce**. 2021. Disponível em:
<https://morgansementes.com.br/produtos/30a37/>. Acesso em: 1 fev. 2021.

NASCIMENTO, W.L., COSTA, J. S., DUARTE, N. D. L., PEIXOTO, P. P. P. Efeitos da Temperatura sobre a Soja e Milho no Estado de Mato Grosso do Sul. **8 ECAECO**, Ponta Porã, MS, 2016. Disponível em: <http://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/handle/prefix/1369>. Acesso em: 23 fev. 2021.

NASCIMENTO, Maxwell Rodrigues. **Avaliação de cultivares de milho para produção de minimilho em sistema orgânico**. 2017. 79 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, 2017. Disponível em:
http://uenf.br/posgraduacao/producao-vegetal/wp-content/uploads/sites/10/2017/07/DISSERTA%C3%87%C3%83O_MAXWEL_FINAL.pdf. Acesso em: 19 maio 2020.

OLLINGER, S. V. Sources of variability in canopy reflectance and the convergent properties of plants. 2010. **New Phytologist**. v. 189, p. 375-394, set. 2010. doi: 10.1111/j.1469-8137.2010.03536.x

QUEIROZ, T. B. *et al.* Avaliação do desempenho da classificação do uso e cobertura da terra a partir de imagens LANDSAT 8 e RAPIDEYE na Região Central Do Rio Grande Do Sul. **Geociências**, v. 36, n. 3, p. 569-578, 2017.

RUDORFF, B. F. T.; MOREIRA, M. A.; ADAMI, M.; FREITAS, J. G. Resposta espectral do milho e sua relação com altos níveis de produtividade de grãos. **In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 11., Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 2597-2603.

SILVEIRA, H. L. F. **USO DE DADOS DO SENSOR MSI/SENTINEL-2 E DE LIDAR AEROTRANSPORTADO PARA MAPEAMENTO DE FITOFISIONOMIAS DE CAATINGA E ESTUDO DAS RELAÇÕES COM ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DOS SOLOS**. 2018. 136 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 2018. Disponível em: <http://mtc-m21c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21c/2018/04.26.18.25/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2021.

SOUZA, G. G. *et al.* Interação entre salinidade e biofertilizante de caranguejo na cultura do milho. **Magistra**, Cruz das Almas, BA, v. 28, n. 1, p. 44-53, jan/mar 2016. Disponível em: <https://magistraonline.ufrb.edu.br/index.php/magistra/article/view/194/231>. Acesso em: 14 jan. 2021.

ANEXO A - Dados de produtividade das safras avaliadas.

Tabela 5 - Dados de produtividade das safras de 2018/2019 e 2019/2020 e segunda safra de 2020 (continua).

FAZENDA	TALHAO	HÍBRIDO	DAS	DATA	NDVI	NÚMERO SEMENTES/ HA	PRECIPITAÇÃO (mm)	TEMPERATURA MÁXIMA (°C)	TEMPERATURA MÍNIMA (°C)	PRODUTIVIDADE (t/ha)	ÁREA (ha)
1	1.1	DKB310 RB9006	23	02/01/2019	0,45	71000	94	26,4	18,3	10,6	65,88
1	1.1	DKB310 RB9006	38	17/01/2019	0,72	71000	19	33,1	16,9	10,6	65,88
1	1.1	DKB310 RB9006	43	22/01/2019	0,82	71000	8	32,2	18,5	10,6	65,88
2	2.2	AG8740PRO3	43	07/01/2020	0,56	70700	45,8	31,07	16,6	9,9	49,63
2	2.1	AG8740PRO3	46	07/01/2020	0,78	72400	45,8	31,07	16,6	11,2	35,57
1	1.1	30A37 DKB310	48	21/04/2020	0,88	59900	0	26,21	9,26	4,3	64,6
2	2.3	30A37 AG8740	48	26/04/2020	0,89	59400	0,2	27,15	9,13	4,3	127,4
1	1.1	DKB310 RB9006	53	01/02/2019	0,85	71000	34,4	33,1	18,1	10,6	65,88
1	1.1	30A37 DKB310	53	26/04/2020	0,9	59900	0,2	27,15	9,13	4,3	64,6
2	2.3	30A37 AG8740	53	01/05/2020	0,9	59400	0,2	28,53	9,03	4,3	127,4
1	1.1	30A37 DKB310	58	01/05/2020	0,91	59900	0,2	28,53	9,03	4,3	64,6
2	2.3	30A37 AG8740PRO3	58	06/05/2020	0,88	59400	0	27,06	12,67	4,3	127,4
1	1.1	30A37 DKB310	63	06/05/2020	0,88	59900	0	27,06	12,67	4,3	64,6
2	2.3	30A37 AG8740PRO3	63	11/05/2020	0,93	59400	0	24,53	5,33	4,3	127,4

Tabela 5 - Dados de produtividade das safras de 2018/2019 e 2019/2020 e segunda safra de 2020 (conclusão).

1	1.1	30A37 DKB310	78	21/05/2020	0,78	59900	0,2	25,69	9,66	4,3	64,6
2	2.3	30A37 AG8740	78	26/05/2020	0,94	59400	12,6	19,41	6,07	4,3	127,4
1	1.1	30A37 DKB310	83	26/05/2020	0,92	59900	12,6	19,41	6,07	4,3	64,6
2	2.3	30A37 AG8740	83	31/05/2020	0,92	59400	0,2	23,54	4,07	4,3	127,4
1	1.1	DKB310 RB9006	88	08/03/2019	0,58	71000	0,6	32,1	17,5	10,6	65,88
1	1.1	30A37 DKB310	88	31/05/2020	0,88	59900	0,2	23,54	4,07	4,3	64,6
2	2.3	30A37 AG8740	93	10/06/2020	0,75	59400	0,2	28,07	12,96	4,3	127,4
2	2.1	AG8740PRO3	103	04/03/2020	0,38	72400	62,2	28,92	16,19	11,2	35,57
2	2.2	AG8740PRO3	103	07/03/2020	0,44	70700	9,2	27,47	14,42	9,9	49,63
2	2.3	30A37 AG8740PRO3	103	20/06/2020	0,85	59400	0	25,35	7,61	4,3	127,4
1	1.1	30A37 DKB310	108	20/06/2020	0,82	59900	0	25,35	7,61	4,3	64,6
2	2.1	AG8740PRO3	111	12/03/2020	0,91	72400	4	30,98	15,35	11,2	35,57

Legenda: Dados coletados nas bases de dados Operations Center e dados de NDVI obtidos pela plataforma Agrian, com DAS calculados a partir das datas de semeadura e das datas das imagens de NDVI, para os híbridos de milho DKB 310 PRO3, RB9006, AG 8740 PRO3 e 30A37P, com dados meteorológicos obtidos na plataforma do INMET, estação de São João Del Rei, e estação meteorológica implantada a cerca de 1km dos talhões estudados.

Fonte: Do autor (2021).