



Vol 2, 2023 – ISSN 2764-9199

## ÍNDICE DE VEGETAÇÃO BASEADO NO ESPECTRO VISÍVEL PARA MONITORAMENTO DE CULTIVARES DE TRIGO SUBMETIDAS A DIFERENTES DOSES DE NITROGÊNIO<sup>1</sup>

Guilherme Lucas Scherer<sup>2</sup>

Neuri Antonio Feldmann<sup>3</sup>

Anderson Clayton Rhoden<sup>4</sup>

Vilson José Gabriel<sup>5</sup>

Fabiana Raquel Mühl<sup>6</sup>

Danilo Pavan<sup>7</sup>

### Resumo

A cultura do trigo está entre os três cereais mais cultivados no mundo, apresentando uma significativa importância econômica e social. Frente a nova era da agricultura, marcada pelo uso de tecnologias integradas de manejo e gestão, a utilização de técnicas modernas de monitoramento agrícola se faz necessária. O presente trabalho tem por objetivo avaliar a utilização de sensores ópticos convencionais embarcados em drones no monitoramento da cultura do trigo por meio de índices de vegetação. O trabalho foi conduzido no município de Tunápolis-SC, onde foi implantado um experimento com delineamento em blocos casualizados testando dois fatores: cultivar (TBIO Toruk e TBIO Astro); e doses de nitrogênio (0, 50, 100 e 150 kg ha<sup>-1</sup>). As avaliações foram realizadas com uso de sensor RGB embarcado em drone em duas alturas de voo: 50 e 120 metros. Foram realizadas análises utilizando o índice de vegetação MPRI, o qual apresentou fortes correlações com produtividade, biomassa e altura de plantas. As doses de nitrogênio avaliadas impactaram diretamente na produtividade de biomassa e de grãos, bem como na altura das plantas. A cultivar TBIO TORUK apresentou índice MPRI superior a cultivar TBIO ASTRO durante todo o período de observação. Os voos realizados entre os 45 e os 81 DAE apresentaram os maiores índices de vegetação. Desta forma pode se concluir que a utilização de sensores convencionais do tipo RGB embarcados em aeronaves possui forte potencial de utilização para predições de produtividade na cultura do trigo, em especial em propriedades de pequeno porte, devido ao custo relativamente baixo.

**Palavras-chave:** Sensoriamento remoto. Veículo aéreo não tripulado. Agricultura de precisão.

### Introdução

O setor agropecuário como um todo vem passando por épocas e momentos de revolução. O desenvolvimento de conhecimento técnico, aliado a ferramentas tecnológicas

<sup>1</sup> Pré-requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

<sup>2</sup> Centro Universitário FAI - UCEFF. Acadêmico do Curso de Agronomia. E-mail: guilherme.scherer.35@live.com

<sup>3</sup> Centro Universitário FAI – UCEFF. Engenheiro Agrônomo. Me. em Fitotecnia.

<sup>4</sup> Centro Universitário FAI – UCEFF. Engenheiro Agrônomo. Dr. em Agronomia.

<sup>5</sup> Centro Universitário FAI – UCEFF. Engenheiro Agrônomo. Me. em Agronomia.

<sup>6</sup> Centro Universitário FAI – UCEFF. Bióloga. Dra. em Agronomia.

<sup>7</sup> Centro Universitário FAI – UCEFF. Engenheiro Agrônomo. Esp. em Direito Ambiental e Georrefenciamento.

que permitem a obtenção de informações rápidas, precisas e confiáveis, são um dos pilares fundamentais para o desenvolvimento e a evolução do setor.

A fase atual em que agricultura mundial se encontra está sendo marcada pelos avanços na utilização de tecnologia, softwares e ferramentas aprimoradas de gestão. Empresas públicas e privadas, pesquisadores e produtores rurais, buscam criar novas soluções com o objetivo de coletar informações precisas sobre todas as variáveis que afetam a produtividade das culturas. Entender de que forma estas variáveis impactam as produtividades e como as ferramentas tecnológicas podem antecipar manejos e gerar soluções aplicáveis no dia a dia da agricultura ainda é um desafio.

O sensoriamento remoto surge como uma ferramenta inovadora na obtenção de dados das culturas, dispensando o contato direto com a área analisada, gerando informações de forma rápida e com custos relativamente baixos. A utilização de sensores a nível orbital possui certas limitações quanto a resolução temporal e interferência ambiental nos produtos. Desta forma, o produtor não consegue obter a informação exatamente quando é necessária. Além disso, a cobertura de nuvens interfere fortemente na aquisição de dados orbitais de sensoriamento remoto (FORMAGGIO; SANCHES, 2017). Devido às limitações técnicas da utilização dos sensores orbitais, os sensores embarcados em plataformas aéreas vêm ganhando espaço, principalmente na última década.

O surgimento dos drones se deu durante a Segunda Guerra Mundial, quando cientistas e engenheiros alemães criaram uma bomba voadora sem tripulação a fim de atacar os inimigos (BETÉ, 2019). A partir disso, várias outras áreas passaram a estudar e a utilizar drones nas suas atividades, com destaque para o sensoriamento remoto na agricultura. Devido a popularização da ferramenta, da intensificação de pesquisas e da redução dos custos de aquisição, os drones vem se consolidando como uma das melhores ferramentas para coleta de dados e informações sobre as culturas.

Os índices de vegetação obtidos com sensores remotos possuem correlações com atributos fenológicos, morfológicos e físicos das culturas, possibilitando inferir resultados e criar predições a partir destas informações. Como alternativa aos sensores multiespectrais de alto valor de aquisição, os sensores RGB embarcados em drones convencionais se

apresentam como ferramentas financeiramente viáveis, principalmente em pequenas propriedades rurais. Segundo Kavooosi *et al.* (2018), a utilização de drones na obtenção de imagens aéreas na agricultura em nível científico ainda é relativamente recente e necessita de paciência.

O presente trabalho possui o objetivo de dar aplicabilidade aos sensores RGB convencionais embarcados em drones, de tal forma que seja possível utilizar a ferramenta de forma oportuna e pontual na coleta de dados e informações sobre as áreas de cultivo, principalmente em regiões onde predomina a agricultura familiar e onde a capacidade de investimento em sensores de alto custo é reduzida. A falta de dados concretos e reais baseados em experimentação agrícola, correlacionando os índices de vegetação com dados reais a campo ainda são um dos empecilhos da adoção em larga escala deste tipo de equipamento.

De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2017), o trigo é um dos três cereais mais cultivados no Mundo. Tal representatividade exige a utilização de ferramentas tecnológicas de monitoramento e de geração de dados precisos como subsídios para tomadas de decisões. Desta forma, o presente trabalho se justifica em função da expressividade da cultura e da potencialidade do uso de sensores RGB para coleta de informações relevantes para o manejo da cultura do trigo.

## **Fundamentação teórica**

### **Cultura do trigo e a necessidade de nitrogênio**

A domesticação da cultura do Trigo iniciou a mais de 10 mil anos atrás, no sudoeste da Ásia, mais especificamente em uma região conhecida como Crescente Fértil (CAIERÃO, 2016). A domesticação dessa cultura fez parte do desenvolvimento da humanidade e da transição entre a vida nômade e o surgimento das primeiras civilizações, considerando que durante estas fases houve um aumento significativo da necessidade de produção de alimentos com qualidade e quantidade.

Atualmente a cultura do trigo apresenta importância econômica significativa a nível mundial, sendo um dos três cereais mais cultivados no mundo, presente em cerca de 124 países (TAKEITI, 2015; FAO, 2016). A produção mundial de trigo estimada para a safra 2022 é de 778,8 milhões de toneladas, com cerca de 221,1 milhões de hectares cultivados (USDA, 2022). No Brasil a produção de trigo é de cerca de 6,2 milhões de toneladas, sendo os estados da região Sul responsáveis por cerca de 89% da produção nacional do cereal.

A disponibilidade de nitrogênio possui correlação forte com o potencial produtivo da cultura do trigo, sendo uma das técnicas de manejo fundamentais para elevadas produtividades (MENEGHETTI, 2014). Com o desenvolvimento de materiais genéticos com maior potencial produtivo e capacidade de resposta às aplicações de nitrogênio, as doses aplicadas passaram a ser crescentes. A necessidade de ferramentas que permitam estimar corretamente a necessidade de nitrogênio em função da variabilidade espacial é facilmente justificada, considerando que a utilização de altas doses de nitrogênio pode levar ao acamamento de plantas, reduzindo a produtividade e a qualidade dos grãos a depender da época de ocorrência do evento (ZAGONEL; FERNANDES, 2007).

Trabalhos relativamente recentes sobre sensoriamento remoto na cultura do trigo evidenciam a viabilidade técnica e econômica da utilização de modelos matemáticos baseados em índices de vegetação para estimativa de aplicação de diferentes doses de nitrogênio em função da variabilidade espacial das lavouras (TURRA, 2016). Devido as já conhecidas correlações entre doses de nitrogênio, produtividade de biomassa e produtividade de grãos na cultura do trigo, os modelos matemáticos desenvolvidos por meio de índices de vegetação obtidos com o sensoriamento remoto possuem grande potencial de utilização, considerando o custo relativamente baixo de aquisição das informações, e a aplicabilidade da tecnologia no setor agrícola.

### **Agricultura de precisão**

Segundo Bernardi *et al.* (2014), Agricultura de Precisão, também chamada de AP, é um sistema de gerenciamento agrícola baseado na variabilidade espacial e temporal da

unidade produtiva, que tem por objetivo o aumento do retorno econômico e da sustentabilidade, reduzindo os efeitos ao ambiente. “A Agricultura de Precisão pode ser entendida como uma forma de gestão da lavoura que leva em conta a variabilidade espacial.” (EMBRAPA, 2014, p. 25).

Conforme Molin, Amaral e Colaço (2015), os produtores rurais que cultivavam pequenas áreas sempre tiveram a percepção da variabilidade, porém em função das áreas de cultivo se tornarem cada vez maiores, juntamente com um avanço exponencial da mecanização, o agricultor foi perdendo a visão detalhada do solo e das culturas, passando a tratar as áreas de forma uniforme. Segundo os mesmos autores, é necessário resgatar esta habilidade em tratar diferente o que é diferente e conciliar tal fato com a disponibilidade atual de grandes áreas e da mecanização. A variabilidade discutida na agricultura acontece basicamente de duas formas: no espaço e no tempo.

Atualmente, a agricultura de precisão desempenha papel fundamental na sustentabilidade da cadeia produtiva do agronegócio. Por meio desta ferramenta, produtores rurais tem a possibilidade de entender a variabilidade que existe nas suas áreas, e por meio de diversas técnicas, administrar tal fenômeno a ponto de extrair o maior retorno econômico da sua atividade.

### **Agricultura digital**

“Agricultura Digital é o uso intensivo de diversas técnicas ligadas a informática aplicadas na gestão completa de propriedades agrícolas para auxílio às decisões que o produtor precisa tomar” (ALBUQUERQUE, 2017). Este conceito de gestão integrada é fruto da conectividade e dos avanços tecnológicos que nortearam a evolução da humanidade nas últimas décadas. Os avanços descritos na literatura vinculam fortemente a agricultura digital a utilização de ferramentas tecnológicas que permitem a automatização de processos com base nas informações coletadas de diferentes formas possíveis. A transformação digital nas propriedades rurais não é mais uma opção, é o caminho necessário para aumentar a

competitividade da agricultura brasileira e agregar valor durante o processo (BOLFE; MASSRUHÁ, 2020).

Segundo Massruhá e Leite (2017), uma série de ferramentas compõem a base da agricultura digital, também chamada de agricultura 4.0. Entre estas ferramentas podem ser citadas os conjuntos de sensores, a comunicação entre máquinas, os métodos computacionais de análise de dados, a computação em nuvem e a conectividade. O objetivo da utilização destes conjuntos de ferramentas é a obtenção de informações rápidas, precisas e confiáveis sobre todos os fatores que impactam de alguma forma sobre a produtividade das culturas, a fim de basear decisões de manejo ou de gestão da atividade agrícola.

### **Sensoriamento remoto**

O sensoriamento remoto é a ciência que permite a obtenção de informações sobre um objeto, fenômeno ou área, sem que haja contato direto entre estes e os sensores, sendo que as informações são obtidas quase que exclusivamente por sensores instalados em plataformas aéreas ou orbitais (CREPANI, 1993 apud MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015). Desta forma, o sensoriamento remoto vem sendo uma das ferramentas que apresentam enorme potencial de uso, principalmente no setor agropecuário, onde a velocidade e a frequência de obtenção de informações precisam ser altas. Molin, Amaral e Colaço (2015), destacam que um dos grandes benefícios da utilização de sensores na agricultura de precisão é o volume muito maior de dados obtidos durante um determinado período quando comparado a técnicas tradicionais de amostragem.

O sensoriamento remoto é considerado uma técnica relativamente recente no mundo todo. Os primeiros relatos datam a 1839, o início da utilização de fotografias por Daguerre e Niepce para estudos de levantamentos topográficos (NOVO; PONZONI, 2001). De acordo com os mesmos autores, o sensoriamento remoto passou por grandes avanços a partir do desenvolvimento de plataformas aéreas e orbitais que permitiam o transporte dos sensores, sendo na década de 70 lançado o primeiro satélite experimental para levantamento de recursos terrestres. Atualmente estão disponíveis centenas de plataformas

orbitais pelo mundo que disponibilizam imagens em diferentes espectros eletromagnéticos, em diferentes resoluções radiométricas e espaciais e com tempos variados de revisitas, possibilitando uso intensivo no setor agropecuário. Algumas das informações obtidas por plataformas lançadas por instituições públicas estão disponíveis de forma gratuita, enquanto outras lançadas principalmente por instituições privadas são pagas.

Durante a década de 2010, o desenvolvimento de novas plataformas aéreas de transporte de sensores contribuiu significativamente para o crescimento da utilização de técnicas de sensoriamento remoto, em especial no setor agropecuário. A democratização do acesso a essas novas tecnologias por parte dos próprios produtores rurais faz jus a um conjunto de avanços tecnológicos em que a humanidade vem passando nas últimas décadas (FIELDVIEW, 2021). As tecnologias e ferramentas de sensoriamento remoto já disponíveis aos produtores rurais permitem com que eles tenham a oportunidade de coletar informações precisas e relevantes no momento exato em que necessitam, possibilitando uma tomada de decisão mais rápida e assertiva, baseada em dados que de fato representam o “status” da sua lavoura naquele momento.

Além do setor agropecuário, o sensoriamento remoto é utilizado de forma massiva em diversos outros setores no mundo todo, onde podem ser citados a segurança pública, os estudos de desastres naturais, a saúde pública, as previsões agrícolas, as análises de degradação ambiental e a meteorologia. Em especial no Brasil, devido as suas grandes extensões territoriais, o sensoriamento remoto é fortemente empregado no monitoramento ambiental e no levantamento de recursos naturais (INPE, 2019). Nestas situações a utilização de sensores embarcados em plataformas orbitais apresenta a maior viabilidade técnica e operacional, permitindo a obtenção frequente de dados em todo o território nacional.

### **Sensores remotos**

Os sensores remotos são equipamentos que tem a capacidade de coletar informações relativas à radiação eletromagnética resultante da interação entre fonte e objeto, possibilitando a coleta e o armazenamento de dados para eventuais análises e

inferências (MAIO *et al.*, 2008). A capacidade de coletar dados em determinadas faixas do espectro eletromagnético é o que gera a possibilidade de obter assinaturas espectrais de determinados alvos e varia conforme a característica do sensor. Desta forma é possível investigar as correlações possivelmente existentes entre um determinado comportamento espectral e as características do alvo a ser estudado.

Existem inúmeras classificações de sensores remotos quanto ao tipo de funcionamento, objetivos de utilização, forma de entrega dos produtos primários, capacidades e especificações técnicas. A capacidade de investimento, os objetivos do projeto e a necessidade técnica de um determinado tipo de informação é o que determina o tipo de sensor a ser utilizado, bem como o nível de aquisição das informações.

### **Níveis de aquisição dos dados**

A aquisição de informações no sensoriamento remoto pode ser feita de várias formas e em vários níveis, a depender do objetivo do trabalho, da necessidade de rendimento operacional, do tamanho das áreas ou dos alvos objetos de estudo e das resoluções necessárias. Os sistemas sensores são classificados em dois níveis de aquisição de dados: nível orbital e suborbital (MORAES, 2002). Até o ano de 1946, a aquisição de dados no sensoriamento remoto era feita quase que exclusivamente por plataformas a nível suborbital, com a utilização de balões e aeronaves, e somente a partir da década 60 se intensificou a utilização de plataformas orbitais no sensoriamento remoto (NOVO; PONZONI, 2001).

Atualmente, os drones tem assumido papel importante na coleta de dados em nível suborbital, devido a capacidade de executar voos automáticos com parâmetros técnicos predefinidos sem a necessidade de intervenção do piloto. O grande benefício do uso deste tipo de equipamento se dá pela possibilidade de coletar informações com alta resolução espacial e temporal, no exato momento em que esta se faz necessária, com custos relativamente baixos. Atualmente inúmeras fabricantes de aeronaves remotamente

pilotadas possuem modelos prontos disponíveis no mercado, com diferentes configurações, autonomies, tipos de asas, tipos de sensores, etc.

### **Sensoriamento remoto na agricultura**

A utilização de sensoriamento remoto na agricultura é uma prática relativamente recente. Durante muito tempo a complexidade e o alto custo com que as informações eram disponibilizadas aos produtores rurais inviabilizavam sua utilização. Durante a modernização da agricultura o sensoriamento remoto ganhou destaque devido a possibilidade de gerar um volume grande de informação sem a necessidade de contato direto com a área de interesse, caracterizando-se como uma metodologia rápida e não destrutiva de obtenção de dados (VILLAR; ROSAS; PINTO, 2021).

Com o surgimento dos drones, o sensoriamento remoto com este tipo de equipamento ganhou espaço devido a uma série de características. Por atuarem em um nível suborbital, os drones coletam informações com muito menos interferências das nuvens garantindo uma coleta eficiente dos dados da lavoura (NORASMA *et al.*, 2019). A altura reduzida de voo também proporciona uma resolução espacial muito maior que sensores orbitais, chegando ao nível centimétrico. A flexibilidade temporal e a facilidade da utilização dos drones permite com que o próprio produtor rural ou assistente técnico utilize a ferramenta exatamente no momento em que deveria ser utilizada. O mesmo não acontece com as plataformas orbitais, que possuem o tempo de visita programado e não apresentam previsibilidade em relação a presença de nuvens sobre a área de interesse, impossibilitando um planejamento prévio do mapeamento.

Os sensores atuais embarcados nos drones permitem uma série de análises importantes para o planejamento, manejo e gestão das propriedades rurais. Segundo Franchini *et al.* (2018), as imagens aéreas obtidas a partir de drones podem auxiliar no manejo e no entendimento de estresses bióticos e abióticos que afetam a produtividade, de forma que possam ser utilizadas como base para a tomada de decisão pelo produtor rural. Com base nas informações espectrais coletadas e através do uso de softwares é possível

gerar diferentes produtos com destaque para os índices de vegetação, amplamente utilizados no setor agrícola.

### **Índices de vegetação**

Índices de vegetação são modelos matemáticos obtidos com base na reflectância das coberturas vegetais (SANTORO, 2020). O objetivo da utilização de índices de vegetação é traduzir uma informação da faixa do espectro visível ou do infravermelho em um produto que possa representar de forma mais clara, a real condição do alvo (RAMOS, 2016). A geração deste tipo de produto depende do processamento digital de imagens, o qual pode ser realizado em diferentes softwares disponíveis no mercado.

O índice de vegetação a ser calculado dependerá diretamente do tipo de sensor utilizado para a coleta dos dados. O índice de vegetação mais conhecido é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI, que é calculado a partir de equação matemática que envolve duas faixas da Radiação Eletromagnética (REM): Infravermelho próximo (NIR) com comprimento de onda entre 0,76 e 0,90 nm e o Vermelho (RED) com comprimento de onda entre 0,63 e 0,74. Este índice é o mais utilizado na agricultura devido as fortes correlações com vigor de plantas, status hídrico, nutrição vegetal e produtividade de grãos e biomassa (CARVALHO, 2021). A geração deste e de outros índices de vegetação que necessitam de informações fora da região do espectro visível dependem da utilização de sensores que captam também outra faixa de REM, como a borda do vermelho e o infravermelho próximo. Devido a esta característica esse tipo de sensor possui um valor de aquisição superior ao dos sensores convencionais que captam somente a região do visível. Desta forma, a obtenção de índices de vegetação com câmeras modificadas se torna onerosa e difícil principalmente para os pequenos produtores rurais.

Como alternativa aos elevados custos dos sensores hiperespectrais e modificados, os sensores convencionais, conhecidos também como RGB vem ganhando espaço considerável no sensoriamento remoto agrícola. Os trabalhos e as pesquisas em sensoriamento remoto comumente tratam apenas de sensores de alto custo e que não se encontram disponíveis

para a grande maioria dos produtores rurais (SILVA, 2020). Desta forma, boa parte do conhecimento produzido não está sendo traduzido para a realidade e para o uso prático na agricultura (FRANCHINI *et al.*, 2018). Cambraia Filho (2019) concluiu que o uso de sensores que captam o espectro visível, possibilita a coleta de dados precisos e valiosos para realização de análises sobre a fitofisionomia de vegetações, com grande potencial de uso no sensoriamento remoto.

Entre os índices de vegetação mais utilizados em sensores RGB, se destaca o índice MPRI (*Modified Photochemical Reflectance Index*) proposto por Yang *et al.* (2008). O índice possui semelhança com o índice de vegetação NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), porém se diferencia na substituição da banda infravermelha pela banda verde na equação. Linhares, Rocha e Amaral (2013), concluem que existe uma semelhança no comportamento entre as bandas verde e vermelha utilizadas no índice MPRI, com as bandas do infravermelho e vermelho utilizadas no índice NDVI, estabelecendo alta correlação entre estes índices, validando o índice MPRI como indicador vegetativo.

## **Materiais e métodos**

A área onde foi implantado e conduzido o experimento está situada no município de Tunápolis, no Extremo Oeste do Estado de Santa Catarina. A altitude média da área de estudo é de 380 m acima do nível do mar. O clima da região é subtropical classificado como mesotérmico úmido e verão quente, do tipo Cfa, de acordo com a classificação climática de Köeppen, com precipitação total anual entre 1700 e 1900 mm (PANDOLFO *et al.*, 2002). De acordo com os mesmos autores, a temperatura média varia entre 13,5 e 24,5 °C entre os meses mais frio e mais quente. O solo da área é classificado como Cambissolo. A região de adaptação de cultivares de trigo onde foi instalado o experimento está dentro da região homogênea 2, classificada como moderadamente quente, úmida e baixa (BRASIL, 2008).

A área do experimento vem sendo conduzida no sistema integração lavoura pecuária durante um período de 4 anos, com o cultivo de plantas de lavoura na primeira safra,

seguida pelo cultivo de pastagem na segunda safra. Historicamente durante o inverno a área era conduzida com o cultivo de aveia para pastejo animal.

Antes da implantação do experimento foi realizada a coleta de solo para análise química e física na profundidade de 0-10 cm, sendo os resultados apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1 - Características químicas e físicas da amostra de solo coletada na área de realização do experimento antes da implantação do mesmo.**

Argila	pH	P	K	MO <sup>1</sup>	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	V <sup>2</sup>
%	H <sub>2</sub> O	-----mg dm <sup>-3</sup> -----		g kg <sup>-1</sup>	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			%
40,0	5,30	15,09	87,67	32,48	0,20	8,60	2,85	71,60

<sup>1</sup>MO = matéria orgânica

<sup>2</sup>V = saturação de bases

As doses de fósforo e potássio foram determinadas com base no Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2016) para uma expectativa de rendimento de 5 t.ha<sup>-1</sup>, sendo que a aplicação de fósforo e potássio foi realizada a lanço antes da semeadura do experimento. O nitrogênio foi aplicado a lanço, em doses variadas por parcela, sendo que este foi um dos fatores testados no experimento.

O experimento foi realizado com 2 fatores: a) Cultivares de Trigo (TBIO Toruk e TBIO Astro); e b) Doses de nitrogênio (0+0, 20+30, 20+80 e 20+130 kg.ha<sup>-1</sup> de N, onde o primeiro valor se refere a dose de nitrogênio aplicada na emergência das plantas, e a segunda dose aplicada no estágio de seis folhas completamente expandidas, em cobertura). A fonte de nitrogênio utilizada foi a ureia com 45% de nitrogênio.

A semeadura foi realizada de forma mecanizada no dia 16 de junho, de acordo com o Zoneamento Agrícola de Risco Climático - ZARC para a cultura do Trigo de sequeiro no estado de Santa Catarina para a Safra 2021/2022 (BRASIL, 2021). Foi utilizado espaçamento de 0,17 m entre linhas, e a população final desejada foi de 320 plantas finais por m<sup>2</sup>.

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados (DBC), utilizando os princípios da repetição, da casualização e do controle local. O experimento teve 5 repetições, totalizando 40 parcelas. Foram ao todo 8 tratamentos: T1-TORUK + 0 kg de N; T2-TORUK + 50 kg de N; T3-TORUK + 100 kg de N; T4-TORUK + 150 kg de N; T5-ASTRO + 0 kg de N; T6-ASTRO + 50 kg de N; T7-ASTRO + 100 kg de N; T8-ASTRO + 150 kg de N.

As aplicações de inseticidas, fungicidas e herbicidas foram realizadas com base nas informações técnicas para Trigo e Triticale – Safra 2022 (REUNIÃO..., 2022).

Para a coleta das informações e das imagens da área experimental foi utilizado um drone de asa rotativa, modelo Air 2s da fabricante DJI. O modelo conta com uma câmera com sensor convencional RGB CMOS de 1" que possui 20MP efetivos, com lente com FOV de 88º e abertura fixa em f/2.8, capturando imagens no formato 3:2 com um tamanho de 5472 x 3648 pixels (DJI, 2021). O sensor da câmera possui a capacidade de captar informações apenas das faixas do espectro visível: Red (400-500 nm), Green (500-600 nm) e Blue (600-700 nm). A resolução radiométrica do sensor é de 8 bits por canal gerando a possibilidade de obter até 256 tons para cada canal de cor (Red, Green ou Blue).

O planejamento e a execução dos voos foram realizados pelo aplicativo Drone Harmony da desenvolvedora Drone Harmony fundada em 2016 (DRONE HARMONY, 2022).

A coleta dos dados foi iniciada a partir da emergência das plântulas, sendo que os voos subsequentes foram realizados aos 16, 30, 45, 60, 81 e 123 dias após a emergência, totalizando 7 voos. A coleta foi realizada em dois níveis diferentes e constantes de altura: 50 e 120 metros acima da área experimental. Os parâmetros de sobreposição de imagens foram ajustados em 70% de sobreposição lateral e 85% de sobreposição frontal. A velocidade de voo foi de 8.5 m/s, equivalente a 30,6 km/h.

Os voos foram executados sempre nos mesmos horários, entre as 11:00 e as 13:00 em condição de insolação plena. A configuração de câmera foi ajustada no modo manual, com os seguintes parâmetros: ISO: 100, shutter speed de 1/640s, White Balance 5800K, proporção da foto de 3:2, formato de foto JPEG, abertura em f/2.8.

No período de florescimento das cultivares foi realizada uma coleta de biomassa de parte aérea de cada parcela.

Todos os voos realizados foram georreferenciados para possibilitar a realização de análises temporais da área experimental. O processamento dos dados obtidos com o drone foi realizado primeiramente no software Agisoft Metashape, da desenvolvedora Agisoft. O pós-processamento dos dados foi realizado pelo software QGIS onde foram criados polígonos correspondentes a área de cada parcela, onde a partir de um modelo de extração

desenvolvido, foi possível extrair os valores das bandas: Red, Green e Blue; bem como do índice de vegetação MPRI conforme equação a seguir.

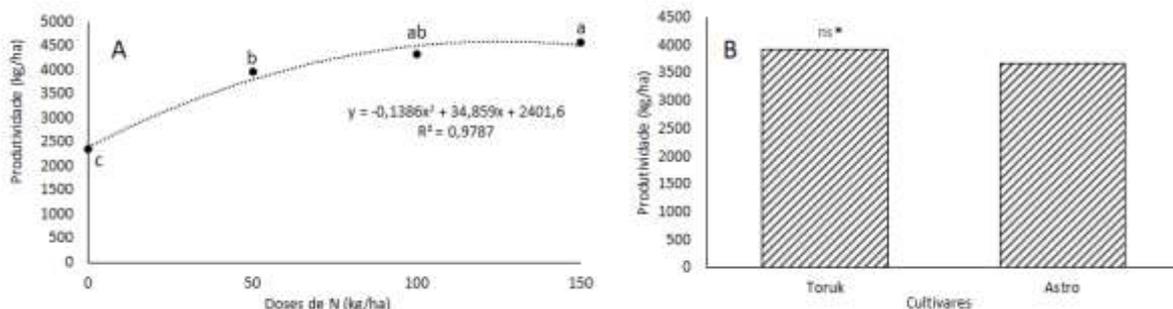
$$\text{MPRI} = \frac{(g - r)}{(g + r)}$$

A partir dos valores obtidos foram realizadas as análises estatísticas pelo teste de análise de variância ANOVA e submetidos ao teste de comparação de médias de Tukey ( $p < 0.05$ ).

### Resultados e discussão

A produtividade de grãos da cultura foi fortemente impactada pelas doses de nitrogênio, havendo uma correlação positiva entre aumento da dose de nitrogênio e aumento de produtividade, onde a dose de 150 kg/ha atingiu 4568,64 kg/ha, produtividade esta 48,67% superior a testemunha (Gráfico 1A). Dados semelhantes a estes também foram obtidos por Mattuella *et al.* (2018) e Teixeira (2008), onde doses mais elevadas de nitrogênio aumentaram significativamente a produtividade de grãos nas cultivares de trigo avaliadas. Em relação as cultivares avaliadas, a cultivar TBIO Toruk obteve maiores produtividades, porém não houve diferença significativa para a cultivar TBIO Astro (Gráfico 1B).

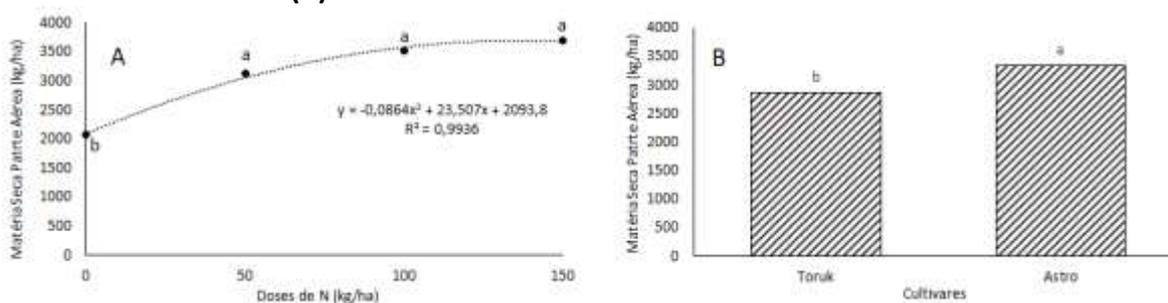
**Gráfico 1 - Produtividade de grãos em função das doses de nitrogênio (A) e das cultivares (B).**



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). ns=não significativo.

A produtividade de matéria seca de parte aérea também foi impactada pelas doses de nitrogênio aplicadas, com diferença significativa entre a dose de 0 kg/ha e as demais, porém sem diferenças significativas entre as doses de 50, 100 e 150kg/ha (Gráfico 2A). As cultivares avaliadas apresentaram diferenças significativas de produtividade de matéria seca de parte aérea, onde a cultivar TBIO Astro produziu 14,21% mais do que a cultivar TBIO Toruk. De acordo com Zagonel *et al.* (2002), o aumento das doses de nitrogênio eleva a estatura média das plantas, além de aumentar também o número de espigas/m<sup>2</sup>. Pinto *et al.* (2017) concluíram que o aumento nas doses de nitrogênio aumenta o número de perfilhos por planta, justificando, portanto, o aumento do número de espigas/m<sup>2</sup>. O aumento do número de perfilhos juntamente com o aumento na estatura das plantas, impacta diretamente no volume de biomassa produzido em função das doses de nitrogênio aplicadas, o que é demonstrado no gráfico 2A.

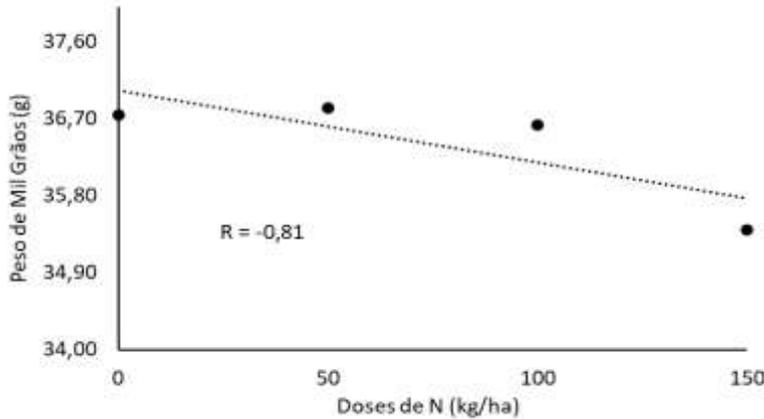
**Gráfico 2 - Produtividade de matéria seca em função das doses de nitrogênio (A) e das cultivares (B).**



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

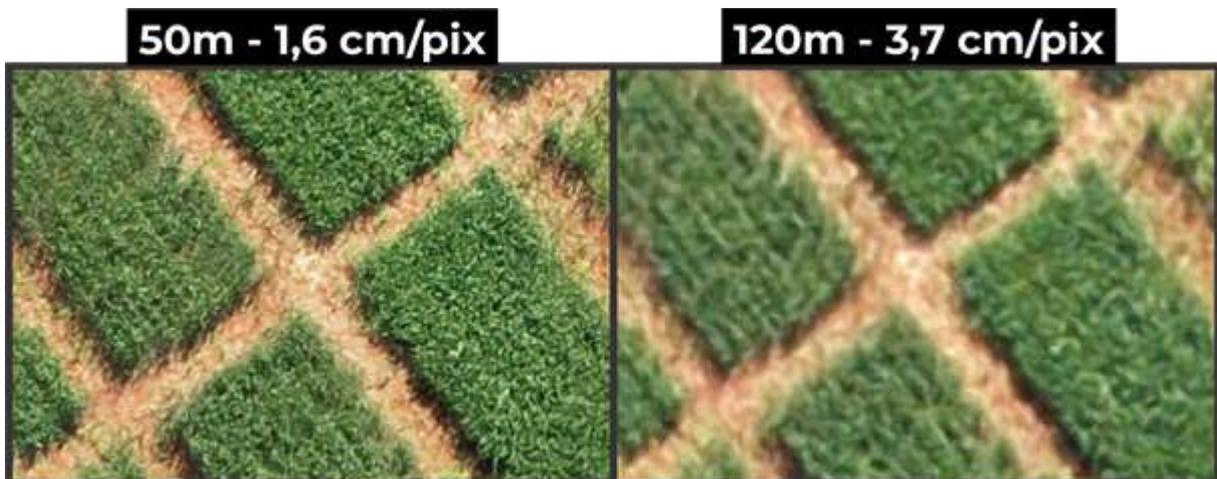
O aumento das doses de nitrogênio reduziu o Peso de Mil Grãos (PMG), porém não de forma significativa, com correlação negativa entre dose de nitrogênio e a variável analisada (Gráfico 3). Resultados semelhantes também foram obtidos por Chagas *et al.* (2015), onde as cultivares de trigo BRS 264 e BRS 254 também apresentaram redução no PMG em função do aumento das doses de nitrogênio. Entre as cultivares avaliadas também não houve diferença significativa no Peso de Mil Grãos (PMG).

**Gráfico 3 - Peso de Mil Grãos em função das doses de nitrogênio testadas.**



Em relação a altura de voo, esta não influenciou significativamente o índice de vegetação MPRI obtido a partir dos ortomosaicos, alterando apenas a resolução espacial do mesmo, onde a altura de voo de 50 metros apresentou uma resolução espacial de aproximadamente 1,6 cm/pix, enquanto o voo a 120 metros apresentou uma resolução de aproximadamente 3,7 cm/pix (Figura 2). Shadeck, Rosa e Bortolini (2019) chegaram a conclusões semelhantes em voos realizado a 80 e 120 metros, sem diferenças significativas de índice de vegetação MPRI entre estas alturas, com alteração somente na resolução espacial do ortomosaico.

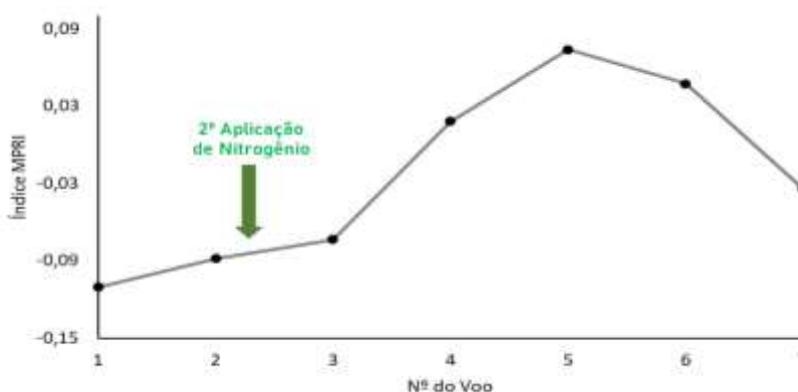
**Figura 1 - Resolução espacial em função da altura de voo.**



O índice de vegetação MPRI acompanhou a curva de crescimento da cultura (Gráfico 4), sendo que o índice mais baixo obtido foi o do primeiro voo realizado no estágio de emergência das plântulas, e o pico máximo do índice foi atingido no quinto voo, aos 38 dias após a segunda aplicação de nitrogênio, na exposição das primeiras espigas, evidenciando uma correlação entre dose de nitrogênio, estágio fenológico e índice MPRI.

O solo e a cobertura morta exposta na superfície das parcelas no início do ciclo da cultura, tendem a reduzir o índice MPRI. À medida que a cultura vai se desenvolvendo, aumentando o volume de biomassa e fechando as entrelinhas com o dossel, o índice tende a se apresentar superior, mesmo que em doses baixas ou nulas de nitrogênio. Curvas semelhantes também foram obtidas por Junges e Fontana (2009) ao realizarem análises temporais de índice NDVI em cereais de inverno no estado do Rio Grande do Sul.

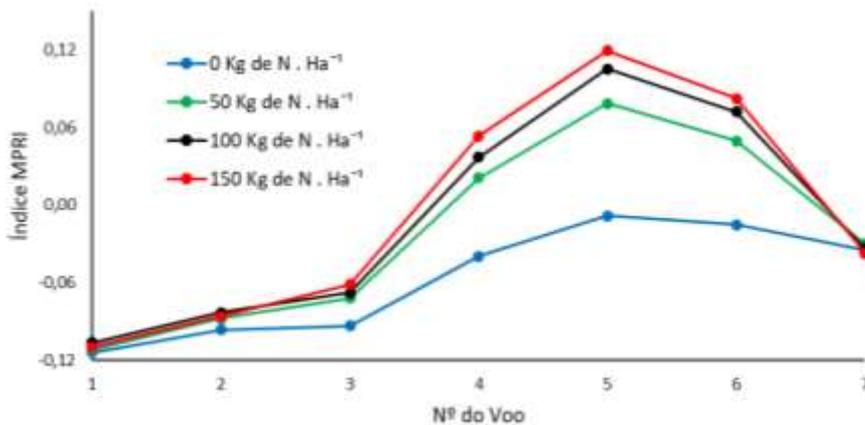
**Gráfico 4 - Índice MPRI em função dos voos realizados.**



O gráfico 5 representa claramente a interação entre dose de nitrogênio e estágio fenológico da cultura, onde é possível observar que a partir do terceiro voo (8 dias após a segunda aplicação de N) houve uma evolução significativamente superior do índice de vegetação nas doses de 50, 100 e 150 kg/ha quando comparadas a testemunha. A evolução do índice de vegetação também na testemunha se deve à curva de crescimento normal da própria cultura. Já a diferença de índice de vegetação representada entre as doses mais elevadas de nitrogênio e a testemunha, se devem exclusivamente em função da aplicação do fertilizante, considerando também que todos os demais fatores permaneceram iguais durante o ciclo da cultura.

A queda do índice de vegetação após o quinto voo é justificada em função da exposição das espigas e do encerramento natural do ciclo da cultura. Este comportamento também foi observado por Cattani *et al.* (2015) ao realizarem análises temporais com índice NDVI durante o ciclo da cultura do trigo em onze cultivares, sendo que ao final do ciclo os valores de NDVI reduziram próximo aos valores obtidos no início do ciclo da cultura.

**Gráfico 5 - Índice MPRI em função dos voos realizados.**



Observando os produtos obtidos em cada voo (Figura 3), é possível notar com clareza a distinção entre vigor de vegetação, tanto no ortomosaico como no índice MPRI gerado. Os voos 4, 5 e 6 são os que apresentam as maiores diferenças visíveis, e que são comprovadas pelo gráfico 5.

**Figura 2 - Ortomosaicos e Índices MPRI obtidos através do ortomosaico em cada voo.**



Considerando que os dados do quinto voo representaram o pico máximo de índice de vegetação durante o ciclo da cultura, bem como a maior discrepância entre as doses de nitrogênio testadas, este voo foi utilizado como base para estabelecer as correlações apresentadas na sequência. Como a altura de voo não influenciou significativamente nos resultados avaliados, para correlações foram utilizados apenas os dados dos voos a 120 metros de altura, sendo que voos em alturas maiores possibilitam um maior rendimento operacional e apresentam maior viabilidade técnica e financeira. A figura 4 representa o quinto voo em isolado, juntamente com a representação das doses de nitrogênio aplicadas em cada parcela, onde é possível notar claramente a diferença de vigor nas parcelas com doses mais elevadas em relação as testemunhas, em ambas as cultivares.

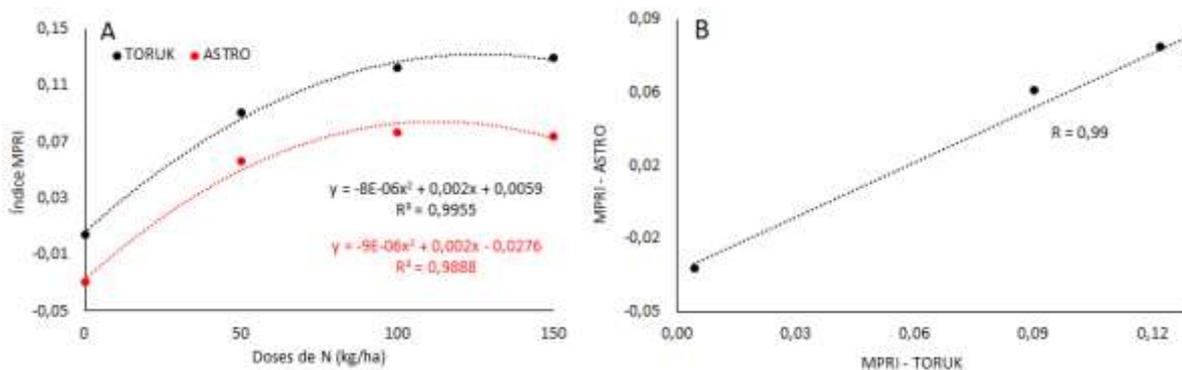
**Figura 3 - Ortomosaico e índice MPRI do quinto voo, com a representação das doses de nitrogênio de cada parcela.**



O gráfico 6A representa o índice de vegetação MPRI em função das doses de nitrogênio testadas em ambas as cultivares: TBIO TORUK e TBIO ASTRO. Ambas as cultivares

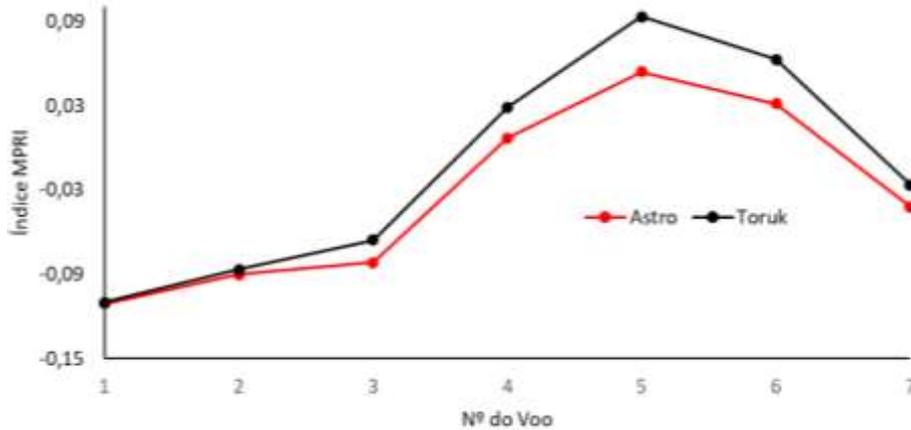
apresentaram aumentos significativos do índice MPRI a medida em que a dose de nitrogênio foi elevada, estabelecendo uma forte correlação entre as duas cultivares (Figura 6B). As correlações entre aumento da dose de nitrogênio e aumento do índice MPRI se justificam pelo aumento na produtividade de matéria seca de parte aérea, pela estatura mais elevada e pelo maior vigor das plantas. Os índices de vegetação inferiores nas testemunhas ocorrem pela exposição do solo e da cobertura de solo devido ao baixo volume de biomassa das parcelas, além de que o amarelecimento das folhas e a redução geral do vigor das plantas é um dos sintomas de deficiência de nitrogênio de acordo com Taiz *et al.* (2017).

**Gráfico 6 - Índice MPRI das cultivares em função das doses de nitrogênio testadas.**



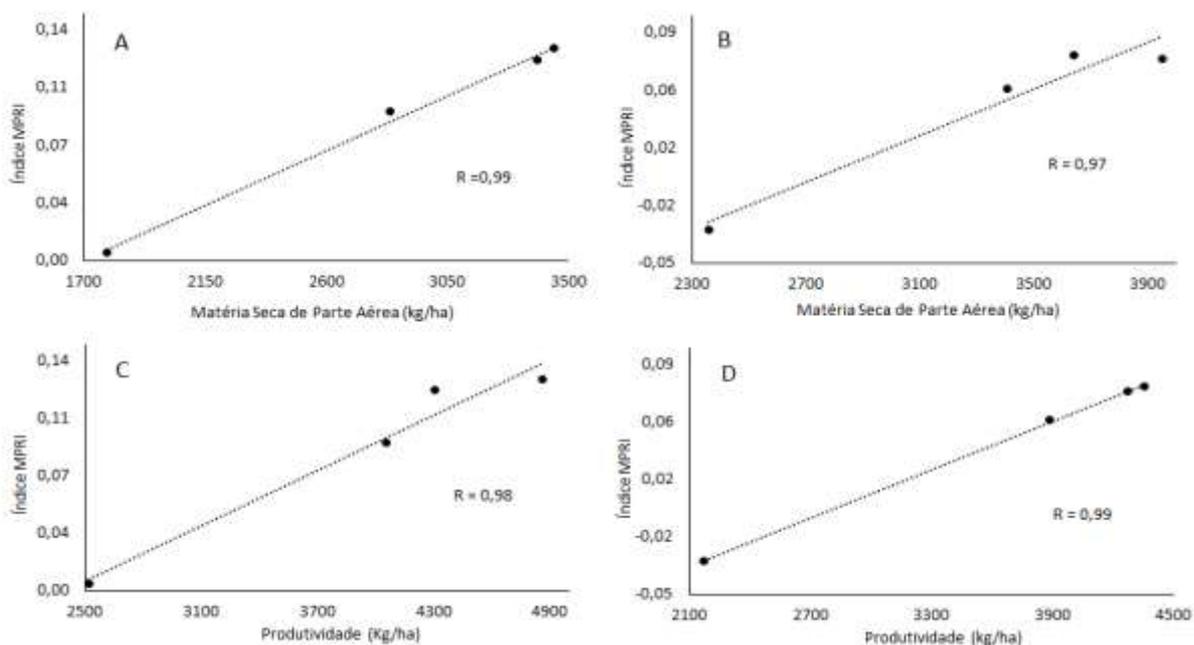
A cultivar TBIO TORUK apresentou índices de vegetação superiores durante todo o período de realização do experimento (Gráfico 7), o que evidencia de que a cultivar possui características morfológicas intrínsecas que diferenciam o seu comportamento espectral de outras cultivares.

**Gráfico 7 - Índice MPRI das cultivares em função dos voos realizados.**



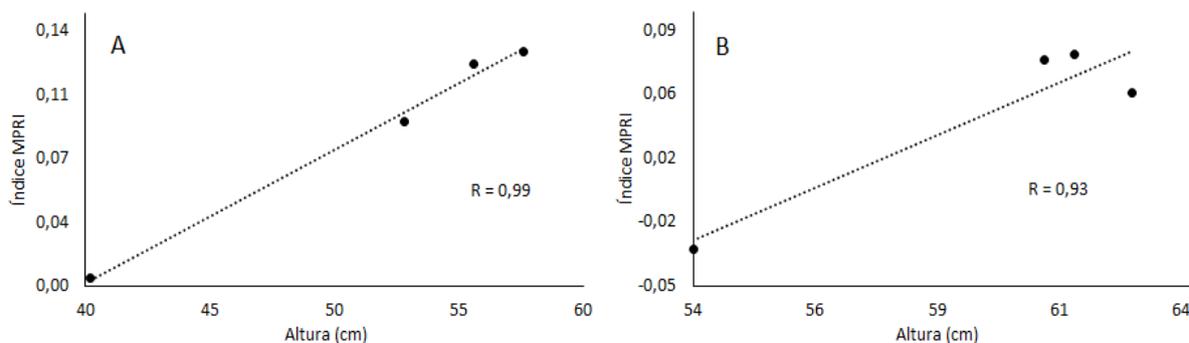
Ambas as cultivares apresentaram fortes correlações entre o índice MPRI obtido no quinto voo com os dados de produtividade, tanto de grãos, como de matéria seca (Gráfico 8). A forte correlação entre os dados obtidos com o sensor e os dados de produtividade evidenciam o potencial do uso dos sensores convencionais no monitoramento das culturas e na predição de produtividade. Franchini *et al.* (2018) chegaram a conclusões semelhantes ao realizarem correlações entre índice de vegetação MPRI com dados de produtividade na cultura da soja em quatro estádios fenológicos diferentes.

**Gráfico 8 - Correlações entre índice MPRI nas cultivares TBIO TORUK (A e C) e TBIO ASTRO (B e D) e dados de produtividade de matéria seca de parte aérea e de grãos.**

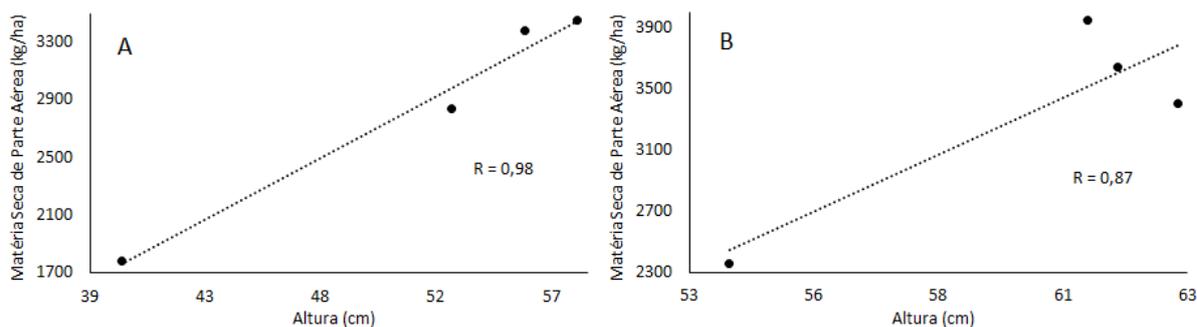


A altura média das plantas também foi impactada pelas doses de nitrogênio aplicadas, onde as testemunhas de ambas as cultivares apresentaram estatura inferior às parcelas com doses mais elevadas. Souza *et al.* (2013) obtiveram resultados semelhantes, onde as doses de nitrogênio elevaram significativamente a altura das plantas. A cultivar TBIO ASTRO apresentou porte mais elevado em todas as doses de nitrogênio avaliadas, sendo a estatura mais elevada, uma característica morfológica da própria cultivar. As duas cultivares apresentaram também correlações significativas entre altura de planta e o índice MPRI (Gráfico 9), corroborando de que quanto maior o volume de biomassa, maior é o índice de vegetação, sendo que também existe uma correlação entre volume de biomassa e altura de plantas (Gráfico 10).

**Gráfico 9 - Correlação entre altura de plantas e índice MPRI das cultivares TBIO TORUK (A) e TBIO ASTRO (B).**



**Gráfico 10 - Correlação entre altura de plantas e matéria seca de parte aérea das cultivares TBIO TORUK (A) e TBIO ASTRO (B).**



## Conclusão

A produtividade de grãos, a produtividade de matéria seca de parte aérea e a altura de planta de ambas as cultivares foi impactada diretamente pelas doses de nitrogênio testadas, sendo que os maiores valores foram observados nas maiores doses de nitrogênio. As doses de nitrogênio não alteraram significativamente o PMG.

A cultivar TBIO TORUK apresentou índice MPRI superior a cultivar TBIO ASTRO durante todo o período de observação.

Os voos realizados entre os 45 e os 81 DAE apresentaram os maiores índices de vegetação.

O índice MPRI obtido aos 60 DAE apresentou correlação forte com dados de produtividade de matéria seca e de grãos, bem como com a altura de plantas.



Vol 2, 2023 – ISSN 2764-9199

Não houve diferenças significativas no índice MPRI em função das alturas de voo testadas.

A utilização de sensores convencionais do tipo RGB embarcados em aeronaves convencionais possui forte potencial de utilização para predições de produtividade na cultura do trigo, em especial em propriedades de pequeno porte, devido ao custo relativamente baixo.

## Referências

ALBUQUERQUE, M. **Afinal, o que é a Agricultura Digital?** FALKER, 2017. Disponível em: <https://www.falker.com.br/c-o-que-e-agricultura-digital.php>. Acesso em: 03 mai. 2022.

BETÉ, Thiago de. Drones: um pequeno histórico e as consequências do seu uso. **Revista Conexão Sipaer**, Vol. 10, Nº .1, p. 2-14.

BOLFE, E.; MASSRUHÁ, S. A transformação digital e a sustentabilidade agrícola. **Agroanalysis**, v. 40, p. 32-34, mar. 2020.

CAIERÃO, E.; SCHEEREN, P. L.; CASTRO, R. L.; SILVA, M. S. Origem, Evolução e Melhoramento Genético. In: MORI, C. de.; ANTUNES, J. M.; FAÉ, G. S.; ACOSTA, A. S. **O produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2016. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/144769/1/ID43609-2016LVTrigo.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2022.

CAMBRAIA FILHO, D. J. **Utilização de índices de vegetação baseados na porção visível do espectro eletromagnético para monitoramento de fitofisionomias do cerrado**. 2019. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas e Geodinâmicas, Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

CARVALHO, R. S. **Índices de vegetação e produtividade de cultivares de trigo submetidas à diferentes épocas de semeadura**. 2021. TCC (Graduação) – Curso Bacharelado em Agronomia, Convênio entre Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul e Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Vacaria, 2021.

CATTANI, C. E. V.; MERCANTE, E.; GARCIA, M. R.; KUSMINSKI, D.; OLDONI, L. V. Diferença de padrão espectro-temporal das cultivares de trigo. In: **XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA 2015**, Hotel Fazenda Fonte Colina Verde, São Pedro-SP, 2015. Disponível em: <https://conbea.org.br/anais/publicacoes/conbea-2015/livros-2015/geo-geomatica-1/1568-diferenca-de-padrao-espectro-temporal-das-cultivares-de-trigo/file>. Acesso em: 22 nov. 2022.



Vol 2, 2023 – ISSN 2764-9199

CHAGAS, J. H.; ALBRECHT, J. C.; PIRES, J. L. F.; SILVA, M. S.; SOARES, J. **Densidade de sementeira e doses de nitrogênio em cobertura no trigo irrigado cultivado em planaltina-DF.** EMBRAPA, 2015. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1019785/1/73.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2022.

FIELDVIEW. A agricultura 5.0 está chegando: como a inteligência artificial segue revolucionando as lavouras. **Blog Climate FieldView**, 20 de dezembro de 2021. Disponível em: <https://blog.climatefieldview.com.br/agricultura-5-0>. Acesso em: 07 abr. 2022.

FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, I. D. **Sensoriamento Remoto em agricultura.** São José dos Campos: Oficina de Textos, 2017.

FRANCHINI, J. C.; JUNIOR, A. A. B.; JORGE, L. A. C.; DEBIASI, H.; DIAS, W. P.; GODOY, C. V.; JUNIOR, A. O.; CORRÊA, F. B.; OLIVEIRA, M. C. N. **Uso de imagens aéreas obtidas com drones em sistemas de produção de soja.** Londrina: Embrapa Soja, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1103613/uso-de-imagens-aereas-obtidas-com-drones-em-sistemas-de-producao-de-soja>. Acesso em: 22 nov. 2022.

INPE. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto acontece em Santos.** Disponível em: [http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod\\_Noticia=5075#:~:text=Especialmente%20no%20Brasil%2C%20um%20pa%C3%ADs,ao%20desenvolvimento%20econ%C3%B4mico%20e%20social](http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=5075#:~:text=Especialmente%20no%20Brasil%2C%20um%20pa%C3%ADs,ao%20desenvolvimento%20econ%C3%B4mico%20e%20social). Acesso em: 18 mai. 2022.

JORGE, L. A. C.; INAMASU, R. Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em Agricultura de precisão. In: BERNARDI, A. C. C. *et al.* **Agricultura de precisão: Resultados de um Novo Olhar.** Brasília, DF: Embrapa, 2014.

JUNGES, A. H.; FONTANA, D. C. Desenvolvimento das culturas de cereais de inverno no Rio Grande do Sul por meio de perfis temporais do índice de vegetação por diferença normalizada. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria-RS, v.39, n.5, p. 1349-1355, Ago, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/4cNFxb5QB6hMgc7k49wJHjM/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 22 nov. 2022.

KAVOOSI, Z. *et al.* Feasibility of satellite and drone images for monitoring soil residue cover. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences.** 2018.

MAIO, A. *et al.* **Sensoriamento Remoto.** Ministério da Ciência e Tecnologia, 2008. Disponível em: [https://www.gov.br/aeb/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/educacional/apostilas-pdf/1sensoriamento\\_manual.pdf](https://www.gov.br/aeb/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/educacional/apostilas-pdf/1sensoriamento_manual.pdf). Acesso em: 21 mai. 2022.



Vol 2, 2023 – ISSN 2764-9199

MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. A. **Agro 4.0: Rumo à agricultura digital**. 2017. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/166203/1/PL-Agro4.0-JC-na-Escola.pdf>. Acesso em 06 jun. 2022.

MATTUELLA, D.; SIMIONI, S. P.; SEGATTO, C.; CIGEL, C.; ADAMS, C. R.; KLEIN, C.; LAJÚS, C. R.; SORDI, A. Eficiência agrônômica da cultura do trigo submetida a doses de nitrogênio em diferentes estádios ontogênicos. **Revista Ciência Agrícola**, Rio Largo-AL, v. 16, n.3, p. 1-9, 2018. Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/index.php/revistacienciaagricola/article/download/5176/4804/23939>. Acesso em: 22 nov. 2022.

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

MORAES, E. C. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos, 2002. Disponível em: [http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.12.18/doc/CAP1\\_ECMoraes.pdf](http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.12.18/doc/CAP1_ECMoraes.pdf). Acesso em: 08 abr. 2022.

NORASMA, C. Y. N. *et al.* Unmanned Aerial Vehicle Applications in Agriculture. **IOP**

NOVO, E. M. L. M.; PONZONI, F. J. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos, 2001. Disponível em: [http://www.dpi.inpe.br/Miguel/AlunosPG/Jarvis/SR\\_DPI7.pdf](http://www.dpi.inpe.br/Miguel/AlunosPG/Jarvis/SR_DPI7.pdf). Acesso em: 15 mai. 2022.

OLIVEIRA NETO, A. A.; SANTOS, C. M. R. **A cultura do trigo**. Brasília: Conab, 2017. Disponível em: [https://www.conab.gov.br/uploads/arquivos/17\\_04\\_25\\_11\\_40\\_00\\_a\\_cultura\\_do\\_trigo\\_versao\\_digital\\_final.pdf](https://www.conab.gov.br/uploads/arquivos/17_04_25_11_40_00_a_cultura_do_trigo_versao_digital_final.pdf). Acesso em: 26 mai. 2022.

PINTO, T. E.; SCHOTT, A. D.; GIMENES, E. S.; GRANELLA, V.; DEON, B. C.; MICHELON, C. J. Produtividade de trigo em diferentes doses de nitrogênio, inoculando ou não com azospirillum brasilense. *In*: 9º Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão -SIEPE, 2017, Santana do Livramento-RS. **Anais eletrônicos**. Santana do Livramento-RS. Disponível em: [https://guri.unipampa.edu.br/uploads/evt/arq\\_trabalhos/12479/seer\\_12479.pdf](https://guri.unipampa.edu.br/uploads/evt/arq_trabalhos/12479/seer_12479.pdf). Acesso em: 22 nov. 2022.

RAMOS, M. F. **Estudo da variação temporal do índice de vegetação por diferença normalizada em juiz de fora a partir de imagens de satélite**. 2016. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016. Disponível em: <https://www2.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/TFC-2-Mateus-Ferreira-Ramos.pdf>. Acesso em: 27 mai. 2022.



Vol 2, 2023 – ISSN 2764-9199

SCHADECK, A.; ROSA, H. A.; BORTOLINI, J. Influência da altura de voo no índice MPRI obtido com Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT). **Revista Cultivando o Saber**, Cascavel, PR, v. 12, n.4, p. 107-116, Out./Dez. 2019. Disponível em: <https://cultivandosaber.fag.edu.br/index.php/cultivando/article/download/961/883/>. Acesso em: 21 nov. 2022.

SHIRATSUCHI, L. S. *et al.* Sensoriamento Remoto: conceitos básicos e aplicações na Agricultura de Precisão. In: BERNARDI, A. C. C. *et al.* **Agricultura de precisão: Resultados de um Novo Olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014.

SILVA NETO, M. **Multi-rotor ou asa fixa?** Saiba o que considerar na escolha. Blog Droneng, 2017. Disponível em: <https://blog.droneng.com.br/multirotor-ou-asa-fixa/>. Acesso em: 04 jun. 2022.

SILVA, L. C. A. **Delineamento de zonas de manejo por imagens suborbitais, orbitais e variáveis de solo**. 2020. Dissertação – Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel -PR, 2020. Disponível em: [https://tede.unioeste.br/bitstream/tede/5030/5/Laiza\\_Albuquerque%20Silva2020.pdf](https://tede.unioeste.br/bitstream/tede/5030/5/Laiza_Albuquerque%20Silva2020.pdf). Acesso em: 28 mai. 2022.

SOUZA, W. P.; SILVA, E. M. B.; SCHLICHTING, A. F.; SILVA, M. C. Desenvolvimento inicial de trigo sob doses de nitrogênio em Latossolo Vermelho de Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 17, n.6, p. 575-580, Abril, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/GWZvcjHVHKLQ7YfSfVX8Hdv/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 21 nov. 2022.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TAKEITI, C. Y. **Trigo**. Brasília: Agência Embrapa de Informação Tecnológica. 2015. Disponível em: [https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/tecnologia\\_de\\_alimentos/arvore/CONT000girlwnqt02wx5ok05vadr1qrnof0m.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/tecnologia_de_alimentos/arvore/CONT000girlwnqt02wx5ok05vadr1qrnof0m.html). Acesso em: 26 mai. 2022.

TEIXEIRA FILHO, M. C. M. **Doses, fontes e épocas de aplicação do nitrogênio em cultivares de trigo sob plantio direto no cerrado**. 2008. Dissertação – Mestrado em Sistemas de Produção, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira-SP. Disponível em: <https://www.feis.unesp.br/Home/DTA/STPG/agro/dissertacoes2008/marcelo2008.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2022.



Vol 2, 2023 – ISSN 2764-9199

TURRA, M. A. **Manejo do nitrogênio em cultivares de trigo baseado no índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)**. 2016. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Porto Alegre – RS, 2016. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/172090/001058376.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 26 mai. 2022.

VILLAR, F. M. M.; ROSAS, J. T. F.; PINTO, F. A. C. Imagens e sensoriamento remoto aplicado à gestão agrícola. *In: QUEIROZ, D. M.; VALENTE, D. S. M.; PINTO, F. A. C.; BORÉM, A. Agricultura Digital*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2021.

YANG, Z.; WILLIS, P.; MUELLER, R. **Impact of Band-Ratio Enhanced AWIFS Image to Crop Classification Accuracy**. In: Pecora – The Future of Land Imaging... Going Operational, 17. 2008, Denver, Colorado, USA. Proceedings... Maryland: (ASPRS), 2008. Disponível em: <http://www.asprs.org/a/publications/proceedings/pecora17/0041.pdf> . Acesso em: 21 nov. 2022.

ZAGONEL, J.; FERNANDES, E. C. Doses e épocas de aplicação de redutor de crescimento afetando cultivares de trigo em duas doses de nitrogênio. **Planta Daninha**, v. 25, n. 2, p. 331-339, 2007.

ZAGONEL, J.; VENANCIO, W. S.; KUNZ, R. P.; TANAMATI, H. Doses de nitrogênio e densidades de plantas com e sem um regulador de crescimento afetando o trigo, cultivar OR-1. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria-RS, v.32, n.1, p. 25-29, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/4K4RmfZMXJ6RGxJJ6dQDvVD/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 22 nov. 2022.