

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DO CONHECIMENTO CIÊNCIAS DA VIDA
CURSO DE AGRONOMIA

MATIELEN DA SILVA ANDREOLLA

**AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NA CULTURA
DO TRIGO UTILIZANDO NDVI AÉREO**

NOVA PRATA
2023

MATIELEN DA SILVA ANDREOLLA

**AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NA CULTURA
DO TRIGO UTILIZANDO NDVI AÉREO**

Trabalho de Conclusão de Curso como requisito
para a obtenção do título de Engenheira Agrônoma
da Universidade de Caxias do Sul. Área de
conhecimento: Ciências da vida.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Eduardo Boeira
Bueno

NOVA PRATA

2023

MATIELEN DA SILVA ANDREOLLA

AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NA CULTURA DO TRIGO UTILIZANDO NDVI AÉREO

Trabalho de Conclusão de Curso como requisito para a obtenção do título de Engenheira Agrônoma da Universidade de Caxias do Sul. **Área de conhecimento:** Ciências da vida.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Eduardo Boeira Bueno

Aprovado em: 06/07/2023.

Prof. Dr. Márcio Eduardo Boeira Bueno – Orientador
Universidade Caxias do Sul

Prof. Dr^a. Gisele Cemin
Universidade Caxias do Sul

Prof. MsC. Henrique Cunha Corrêa
Universidade Caxias do Sul

AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NA CULTURA DO TRIGO UTILIZANDO NDVI AÉREO

Matielen da Silva Andreolla¹

Márcio Eduardo Boeira Bueno²

¹Acadêmica do curso de Agronomia da Universidade de Caxias do Sul. Email: msandreolla@ucs.br

²Professor Dr. Márcio Eduardo Boeira Bueno, Orientador da Disciplina de TCC II da Universidade de Caxias do Sul, localizada na Rua Clemente Tarasconi, 71 – Bairro Centro – Nova Prata / RS – CEP 95320-000. Email: mebbueno@ucs.br

RESUMO

A disponibilidade nitrogênio é um fator relevante para a produtividade do trigo. Pela agricultura de precisão é possível caracterizar a sua variabilidade espacial por meio do NDVI. O objetivo foi avaliar a eficiência da adubação nitrogenada na estimativa de rendimento do trigo com o uso do NDVI obtidos por sensores ópticos ativos aéreos. O experimento foi realizado na safra 2022 em parcelas subdivididas com quatro repetições cada dos seguintes tratamentos: T1 Testemunha (Sem adubações); T2 Adubação Recomendada (400 kg.ha⁻¹ da formulação 05-30-15 na linha de semeadura e 180 kg.ha⁻¹ de ureia em cobertura em duas aplicações, uma no início do afilhamento e outra no início do alongamento dos colmos) T3 Padrão Regional (200 kg ureia.ha⁻¹ em cobertura, aplicados no início do afilhamento). O NDVI foi avaliado no início do afilhamento e em espiga visível através de imagens multiespectrais, também foram avaliadas as alturas das plantas através de régua e os percentuais de clorofila através de colorofilômetro. O rendimento de grãos foi determinado pela média da colheita de duas amostras por parcela. Os resultados apresentaram normalidade pelo teste Shapiro-Wilk, e quando submetidos a análise de variância (ANOVA) e teste Tukey ($p \leq 0,05$) as alturas das plantas diferiram estatisticamente; as clorofilas e a produtividade não diferiram, embora numericamente se mostraram crescentes em relação a adubação, já os resultados do NDVI apresentaram valores maiores para o T2. Em síntese, com NDVI aéreo é possível monitorar o vigor das plantas através do nitrogênio e correlacionar com porte, maior taxa de clorofila e maior produtividade.

Palavras-chave: Trigo (*Triticum aestivum* L). Nitrogênio. Agricultura de precisão.

EFFICIENCY EVALUATION OF NITROGEN FERTILIZATION IN WHEAT CULTURE USING AERIAL NDVI

ABSTRACT:

Nitrogen availability is a relevant factor for wheat productivity. For precision agriculture it is possible to characterize its spatial variability through the NDVI. The objective was to evaluate the efficiency of nitrogen fertilization in estimating wheat yield using the NDVI obtained by aerial active optical sensors. The experiment was carried out in the 2022 season in split plots with four replications each of the following treatments: T1 Control (Without fertilization); T2 Recommended Fertilization (400 kg.ha⁻¹ of the 05-30-15 formulation in the sowing row and 180 kg.ha⁻¹ of urea in top dressing in two applications, one at the beginning of tillering and the other at the beginning of stem elongation) T3 Regional Standard (200 kg urea.ha⁻¹ in coverage, applied at the beginning of tillering). The NDVI was evaluated at the beginning of tillering and in the ear visible through multispectral images, the plant heights were also evaluated through a ruler and the chlorophyll percentages through a colorophylometer. Grain yield was determined by the average of the harvest of two samples per plot. The results showed normality by the Shapiro-Wilk test, and when subjected to analysis of variance (ANOVA) and Tukey test ($p \leq 0.05$) the plant heights differed statistically; chlorophylls and productivity did not differ, although numerically they increased in relation to fertilization, while the NDVI results showed higher values for T2. In summary, with aerial NDVI it is possible to monitor plant vigor through nitrogen and correlate with size, higher chlorophyll rate and higher productivity.

Keywords: Wheat (*Triticum aestivum* L). Nitrogen. Precision agriculture.

1 INTRODUÇÃO

O trigo, poácea do gênero *Triticum*, é considerado um alimento básico por ser a principal fonte de calorias e proteínas da alimentação humana. Cerca de dois terços de toda a população mundial consomem trigo e seus derivados diariamente transformando-o em base de suas dietas. No Brasil, a produção nacional vem crescendo, mas ainda necessita importar o cereal uma vez que a relação produção x consumo não se equipara. Na safra de 2021 2,7 milhões de hectares foram plantados e a produção atingiu 7,7 milhões de toneladas, porém o consumo estimado foi de 25,4 milhões de toneladas, gerando um déficit de cerca de 66% (CNA, 2022).

A região sul do Brasil se destaca na produção da cultura devido às condições climáticas favoráveis ao cultivo. O Rio Grande do Sul, por sua vez, é considerado o segundo estado com maior produção no país perdendo apenas para o Paraná. Essa produção estadual tende a aumentar com um manejo adequado, e este aumento de produção tende a somar com a produção do país e proporcionalmente diminuir a quantidade necessária de importação do cereal, reduzindo custos a população consumidora.

O nitrogênio (N) é considerado um dos fatores mais importantes para a produtividade da cultura, que é altamente exigente deste macroelemento, o que o torna limitante de produção, pois está relacionado diretamente com o número de afilhos das plantas e conseqüentemente com o número de grãos por espiga, peso e teor de proteína presente nos grãos. Porém, o trigo é sensível tanto para a falta de nitrogênio quanto para o excesso. Quando há falta, geralmente dá-se redução no tamanho e porte das plantas e ocorre clorose das folhas mais velhas, baixando a taxa fotossintética e há redução na síntese de proteínas. Já em excesso, além de elevar o gasto de produção devido ao uso desnecessário do insumo, normalmente as plantas sofrem de acamamento, o que dificulta a colheita mecanizada, além de elevar o índice de doenças.

De modo geral, a capacidade de uma planta realizar fotossíntese depende muito da disponibilidade de nitrogênio. Pois tal elemento é essencial para garantir a integridade estrutural e funcional da fotossíntese por ser constituinte de proteínas e clorofilas (KERBAUY et al., 2019). Clorofilas são pigmentos fotossintéticos que captam luz e transmitem energia para as fases fotoquímicas e bioquímicas da fotossíntese, além de ser capaz de acumular energia química que pode ser armazenada na forma de açúcares. Devido a isso, os níveis desse pigmento são utilizados como parâmetros para estimar o rendimento da cultura e sensores que servem como medidores de clorofila ganham espaço no campo, afim de diagnosticar de forma prática a oferta de N durante todo o ciclo da cultura (FORNARI et al., 2020).

A partir de técnicas de sensoriamento remoto é possível obter informações de um objeto sem necessariamente tocar no mesmo. Na agricultura aplica-se na obtenção de informações de propriedades óticas das folhas tais como transmitância, refletância e fluorescência, afim de avaliar o estado nutricional das plantas de diferentes culturas em relação ao nitrogênio. A propriedade mais estudada é refletância que pode ser definida como a razão entre as quantidades de radiação refletida e incidente, e sua aplicação se dá por causa de objetos terrestres absorverem ou refletirem a radiação incidente de modo diferente em cada uma das faixas do espectro eletromagnético. Especialmente na região do visível, as plantas tem picos de absorção da radiação incidente oriundas de sua absorção pelos pigmentos fotossintéticos, principalmente das clorofilas (TURRA, 2016).

Na região do visível, as plantas absorvem duas bandas distintas sendo a primeira na faixa de 480 nm em consequência da presença de carotenos e clorofilas e a segunda na faixa de 680 nm devido a presença de clorofila e ao processo de fotossíntese. Entre ambas ocorre um pico de refletância em torno de 500-550 nm, proporcional a região da coloração verde do espectro visível, o que sustenta a coloração verde das plantas. Ainda sobre comportamento espectral da vegetação vale ressaltar a existência de uma região de alta refletância, localizada na faixa de 700 nm a 1300 nm definida como infravermelho próximo (NIR) que está relacionada à estrutura celular interna das folhas (TURRA, 2016).

As tecnologias da agricultura de precisão têm tornado possível caracterizar dados que não são possíveis de serem obtidos pela agricultura convencional. Atualmente, o método mais difundido é o uso do índice NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), que é capaz de captar e normalizar valores obtidos pelos sensores de refletância em diferentes espectros, possibilitando caracterizar a variabilidade espacial do nitrogênio em diferentes culturas, inclusive o trigo (FORMAGGIO et al., 2017). O uso de sensores terrestres é a forma mais conhecida hoje para a coleta deste índice, porém se faz necessário o deslocamento deste através de um quadriciclo/trator pelo alvo analisado. O uso de drones com câmeras multiespectrais poderia também ajudar na obtenção desta informação, com inúmeras vantagens em relação ao sensor terrestre, devido a sua maior efetividade de avaliação, menos danos causados por maquinário na cultura, evitando perdas por amassamento.

O índice NDVI foi proposto por Rouse et al. (1973) e é definido como o resultado do cálculo da diferença de refletância entre a faixa de infravermelho próximo (NIR = 0,725 a 1,10 μm) e da refletância da faixa visível (VIS = 0,4 a 0,7 μm), portanto a sua normalização se dá através da divisão da soma dessas faixas. Devido ser oriundo do resultado da combinação entre duas bandas, este índice oculta parcialmente a presença dos constituintes atmosféricos e das

perturbações geométricas e radiométricas (LIU, 2015). Logo, a aplicabilidade do uso do NDVI, sobre outros índices, se dá pela eliminação parcial das interferências atmosféricas e devido a sua normalização, proporcionar a minimização das variações de ângulos solares e ângulos de visada dos sensores.

A faixa de valores do NDVI varia de -1 a +1. Onde os valores negativos simbolizam as nuvens e em torno de zero simbolizam o solo nu, já os valores maiores que zero simbolizam a vegetação. Então, quanto mais alto o valor maior será o grau de verde mais densa será a vegetação ou estará em pleno vigor de crescimento (LIU, 2015).

Embora, em primeiro momento foram desenvolvidos para usos militares nos anos de 1970, os veículos aéreos não tripulados ou pilotados remotamente (VANTs e/ou drones) tem ganhado cada vez mais espaço e aplicação na agricultura de precisão, devido a possibilidade de acoplar diversos sensores com diferentes finalidades nas aeronaves, ao baixo custo das operações, e por não haver amassamento de plantas causados por veículos terrestres. Dentre os sensores, o mais utilizados é a câmera multiespectral, pois contém bandas espectrais e por isso são capazes de obter índices vegetativos (NDVI) capaz de indicar problemas nutricionais nas plantas (FORMAGGIO et al., 2017).

O uso de drones com câmeras multiespectrais pode ser uma ferramenta de auxílio na tomada de decisão mais precisa dentro da propriedade rural, pois proporciona monitoramento em diferentes escalas e a partir de mapas georreferenciados oferece uma visão real do estado nutricional da lavoura, incluindo deficiência ou excesso de adubação nitrogenada (ANDRADE et al., 2019).

Devido ao aumento na concentração de N em plantas de trigo, ocorre alterações de refletância espectral passíveis de serem detectadas por equipamento de sensoriamento remoto. Esse teor de acúmulo do nutriente nos tecidos vegetais constitui dois importantes índices capazes de informar o estado nutricional das plantas em relação a adubação nitrogenada, pois o teor de N acumulado no dossel vegetativo é reflexo do teor de N presente nas plantas e da biomassa vegetal, fatores determinantes na produtividade da cultura (TURRA, 2016).

Neste contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar a eficiência da adubação nitrogenada na estimativa de rendimento do trigo com o uso do NDVI obtido por sensores ópticos ativos aéreos.

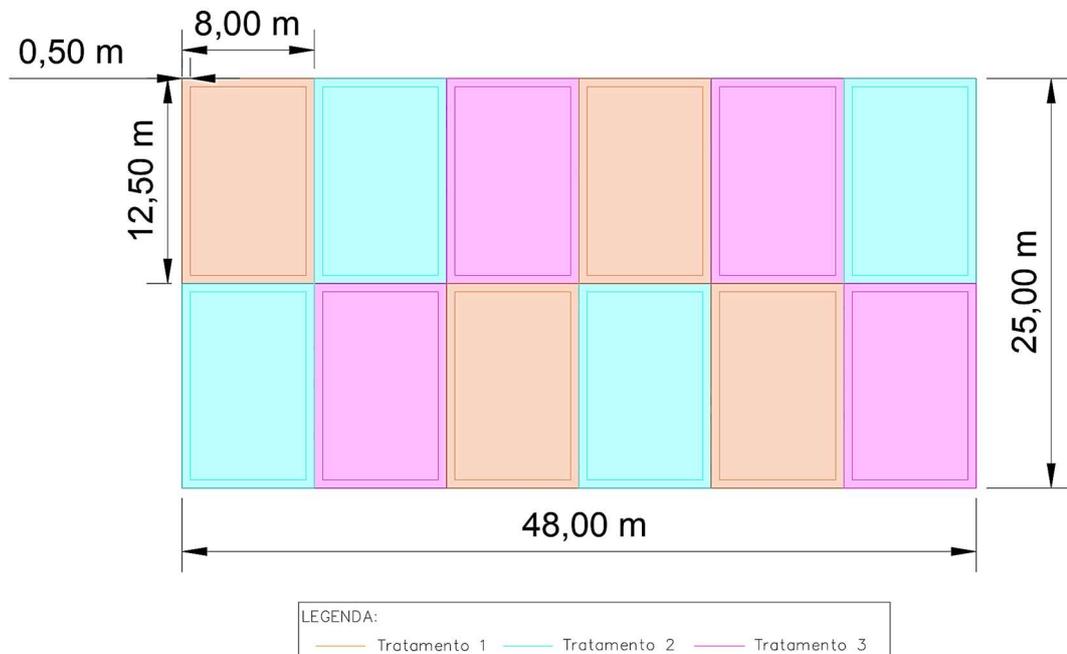
2 METODOLOGIA

O experimento foi implantado a campo na safra de 2022 na área experimental da Universidade de Caxias do Sul (UCS), campus Nova Prata/RS sob coordenadas latitude

28°49'26.01"S e longitude 51°36'19.40"O, localizada na Linha Bento Gonçalves, nº 500, interior de Nova Prata/RS. Esta área é composta por solo classificado como Nitossolo Háplico, conforme o Sistema Brasileiro de Classificações de Solos (EMBRAPA, 2018), e o clima da região é subtropical úmido de verão quente, do tipo Cfa, conforme a classificação climática de Koeppen.

A área destinada ao experimento era sucessora ao plantio de soja e apresentava incidência de plantas invasoras, como Azevém (*Lolium multiflorum* L.), Serralha (*Sonchus oleraceus* L.), Nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) e Soja (*Glycine max* L.). Para controle das mesmas foram realizadas duas aplicações dos herbicidas ZAPP QI 620® e Aramo® 200 com a dose recomendada na bula para dessecação. Logo após foram demarcadas as áreas de cada tratamento do experimento, que foi conduzido em delineamento experimental com blocos casualizados de três tratamentos, com 4 repetições para cada tratamento, na seguinte estruturação: T1: Testemunha sem adubação de base e sem adubação nitrogenada; T2: Com adubação de base e com adubação nitrogenada recomendada e T3: Sem adubação de base e com adubação nitrogenada padrão da região. Todas as parcelas dos tratamentos foram demarcadas com o mesmo tamanho de 8,00 m x 12,50 m, totalizando 12 parcelas de 100 m² cada.

Figura 1 – Croqui do delineamento experimental.



Fonte: Autor.

A semeadura do trigo da cultivar ORS Feroz ocorreu no dia 22/07/2022, de forma mecanizada com espaçamento entre linhas de 17 cm e densidade de 350 sementes aptas por m² em sistema de plantio direto na palhada, sem revolvimento do solo. Por ocasião da semeadura, as adubações de base e nitrogenadas em cobertura foram realizadas no seguinte esquema: no T1 (testemunha), não foi aplicado adubação de base e nem de cobertura; no T2 foi realizada adubação de base, na linha de semeadura e posteriormente aplicado adubação nitrogenada dividida em duas parcelas. Estas adubações corresponderam à aplicação de 400 kg.ha⁻¹ da formulação 05-30-15 (NPK) na linha de semeadura e 180 kg.ha⁻¹ de nitrogênio na forma de ureia em cobertura, divididas em duas aplicações de 90 kg.ha⁻¹, entre os estádios de início de afilamento e início de alongamento do colmo. O nitrogênio (N), P₂O₅ e o K₂O foram aplicados na forma de ureia na concentração de 45%, superfosfato triplo na concentração de 41% e cloreto de potássio na concentração de 58%, respectivamente, conforme orientações do Manual de Calagem e Adubação para os solos do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS, 2016). Já no T3 a adubação foi definida pelo padrão do produtor regional, sendo ela sem adubação de base e com cerca de 200 kg.ha⁻¹ de adubação nitrogenada em cobertura, na forma de ureia na concentração de 45%, aplicada uma única vez no início do afilamento.

A refletância do dossel foi avaliada em dois momentos, primeiramente no dia 27/08/2022 ainda em estágio de início do afilamento (3), e no dia 28/10/2022 no estágio de espiga visível (10.1) por meio de aquisição de imagens de câmera multiespectral posicionadas em um drone da marca DJI, modelo Phantom 4 Multiespectral com RTK (*Real Time Kinematic*) através do índice vegetativo da diferença normalizada (NDVI). Nas mesmas datas foram avaliadas a altura de plantas através de uma régua graduada de 50 cm e os percentuais de clorofila total através de um clorofilômetro digital da marca Falker®.

Figura 2 – Levantamento de dados.



Fonte: Autor.

O rendimento de grãos foi determinado pela média da colheita de duas amostras (de 1m² cada) em cada parcela dos tratamentos, realizada manualmente no dia 14/12/2022 e posteriormente debulhados e pesados.

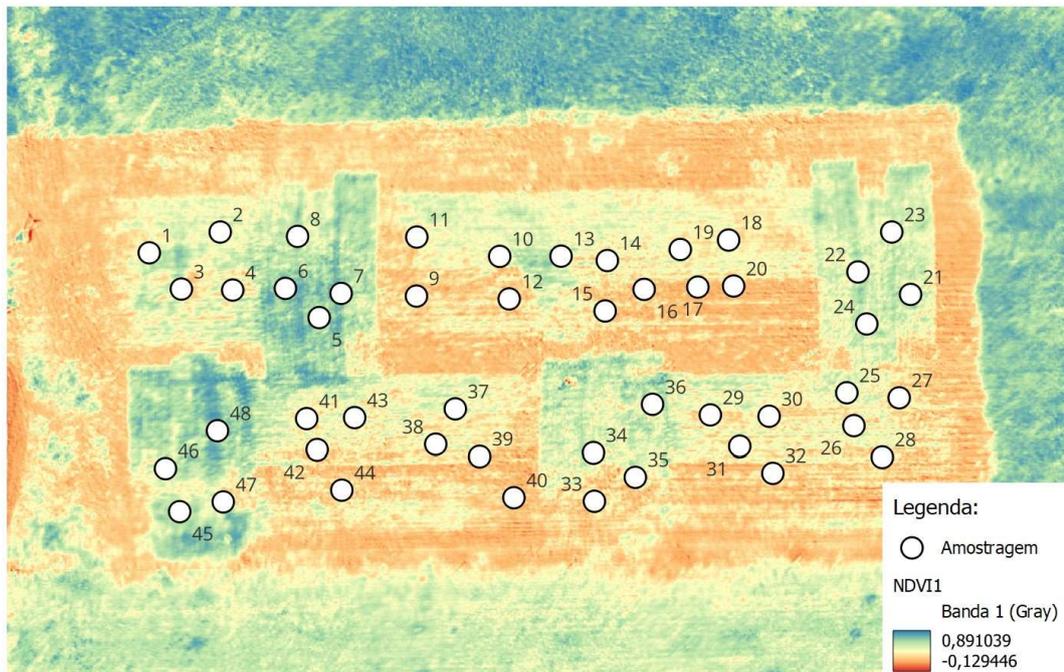
Figura 3 – Colheita e pesagem das amostras.



Fonte: Autor.

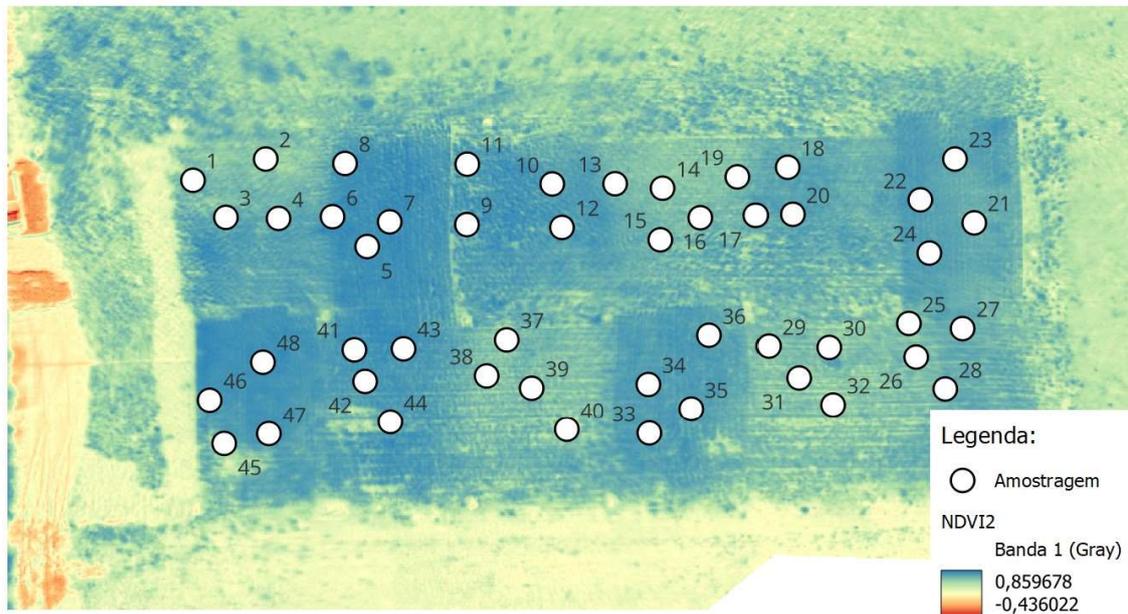
O processamento das imagens, afim de gerar o ortomosaico e o NDVI foram realizados no software DJI Terra® e as amostragens do NDVI nas parcelas foram feitas no software QGIS Desktop 3.14®.

Figura 4 – Amostragem do NDVI da primeira avaliação.



Fonte: Autor.

Figura 5 – Amostragem do NDVI da segunda avaliação.



Fonte: Autor.

Os resultados foram analisados quanto a normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk, e em caso de normalidade a comparação de médias foi realizada utilizando análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o software Sisvar 5.6®.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk apresentaram normalidade em todas as variáveis analisadas, portanto não existem outliers (**Tabela 1**).

TABELA 1 – Valores médios de altura das plantas no início do afilamento (36 dias pós semeadura) e em espiga visível (98 dias pós semeadura).

Variável	n	w	p	p>0,05
Altura (1ª avaliação)	12	0,9199	0,2857	Normal
Altura (2ª avaliação)	12	0,9313	0,3948	Normal
Clorofila (1ª avaliação)	12	0,9326	0,4085	Normal
Clorofila (2ª avaliação)	12	0,9563	0,7305	Normal
NDVI (1ª avaliação)	12	0,9369	0,4590	Normal
NDVI (2ª avaliação)	12	0,9416	0,5196	Normal

*n: Número de amostras do parâmetro. **w: Estatística. ***p: Probabilidade em relação ao w.

***p>0,05: Normalidade dos dados.

O teste de Shapiro-Wilk é considerado um dos testes mais objetivos referentes a normalidade de dados, assim como o mais poderoso para detectar a não normalidade dos mesmos. A validação desses dados através da normalidade neste teste é importante devido ao fato dele se basear na regressão dos valores amostrais, e por se destacar como superior entre os demais testes de aderência à normalidade para pequenas amostras (NUNES et. al., 2018), assim se torna o mais indicado para análise de dados de NDVI, cujo valores variam de -1 a +1.

A importância da verificação de distribuição normal ou não normal dos dados permite averiguar se existe valores extremos (outliers máximo e outliers mínimo), que destoam do conjunto de dados possibilitando dessa maneira a exclusão de valores diferentes que podem ser decorrentes de erros de amostragem ou de erros analíticos (SIQUEIRA et al., 2009).

Através dos resultados do teste de análise de variância (ANOVA), não foram verificadas diferenças significativas nas avaliações da altura das plantas na primeira avaliação (início do afilamento). Porém, foram verificadas diferenças significativas em todos os tratamentos na segunda avaliação (espiga visível) (**Tabela 2**).

TABELA 2 – Valores médios de altura das plantas no início do afilamento (36 dias pós semeadura) e em espiga visível (98 dias pós semeadura).

Avaliação	Tratamento	Altura média das plantas (m)	Resultado dos testes
1	T1	0,2000	a
1	T3	0,2025	a
1	T2	0,2175	a
CV (%) avaliação 1: 4,63			
2	T1	0,7425	a
2	T3	0,7900	b
2	T2	0,8400	c
CV (%) avaliação 2: 2,30			

* T1: Testemunha; T2: Adubação de base e nitrogênio parcelado; T3: Somente uma adubação nitrogenada

**Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferiram pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro

*** Médias seguidas de diferentes letras na coluna diferiram pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro

O nitrogênio está associado ao alongamento dos colmos e crescimento das plantas, o que comprova o resultado do teste pois a parcela que recebeu adubação nitrogenada de base e em cobertura fracionada (T2) se mostrou mais alta. Porém, a altura elevada das plantas de trigo pode ser um fator prejudicial na produtividade da cultura devido ao estímulo de alongação do caule favorecer o acamamento. Essa condição prejudica a fase de enchimento de grãos e quando ocorre na fase de maturação fisiológica pode desencadear no processo de germinação dos grãos na espiga inviabilizando a utilização para panificação. Além de que o acamamento propicia a criação de um microclima úmido favorecendo o crescimento e desenvolvimento de patógenos

prejudiciais a produtividade e dificulta a colheita mecanizada (BORÉM et al., 2015). Neste estudo não houve constatação de acamamento, porém requer precauções.

A segunda variável analisada também através dos resultados do teste de análise de variância (ANOVA), não foram apresentadas diferenças significativas nas avaliações de clorofila total tanto na primeira avaliação (início do afilhamento) quanto na segunda avaliação (espiga visível) (**Tabela 3**).

TABELA 3 – Valores médios de clorofila total no início do afilhamento (36 dias pós semeadura) e em espiga visível (98 dias pós semeadura).

Avaliação	Tratamento	Clorofila total	Resultado dos testes
1	T1	40,7100	a
1	T3	48,0900	a
1	T2	51,9150	a
CV (%) avaliação 1: 18,33			
2	T1	50,9525	a
2	T3	54,0525	a
2	T2	55,6275	a
CV (%) avaliação 2: 6,85			

* T1: Testemunha; T2: Adubação de base e nitrogênio parcelado; T3: Somente uma adubação nitrogenada

**Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferiram pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro

Embora numericamente se mostrou favorável, tal teste se mostrou contrário a literatura, pois tanto para Taiz et al. (2017) o N é o elemento requerido em maiores quantidades pelas plantas pois é constituinte de moléculas de clorofila, aminoácidos e ácidos nucleicos. Sua falta limita o crescimento da planta e conseqüentemente influencia negativamente no peso final dos grãos. Tanto para Hurtado et al. (2011) que mostra que altos índices de nitrogênio no tecido foliar influenciam os níveis de clorofila presentes nos tecidos foliares. Demais estudos apontam que o uso do aparelho clorofilômetro se mostra eficiente para determinação do índice de clorofila presente no tecido foliar de plantas de trigo, e com base nisso é possível determinar instantaneamente o teor de N, assim como apresentado por Vian (2015) onde relata que o uso de equipamentos capazes de estimar a quantidade de biomassa acumulada e os teores relativos de clorofila podem gerar dados a serem utilizados visando precisão na adubação nitrogenada de plantas de milho.

Já para a terceira variável analisada, as leituras de NDVI submetidas ao teste análise de variância (ANOVA) diferiram das seguintes formas: Os tratamentos T1 e T3 da primeira avaliação (início do afilhamento) diferiram do T2; e na segunda avaliação (espiga visível) o T1 diferiu dos tratamentos T2 e T3 (**Tabela 4**).

TABELA 4 – Valores médios de NDVI no início do afilamento (36 dias pós semeadura) e em espiga visível (98 dias pós semeadura).

Avaliação	Tratamento	NDVI	Resultado dos testes
1	T1	0,309161	a
1	T3	0,331197	a
1	T2	0,539806	b
CV (%) avaliação 1: 14,84			
2	T1	0,650306	a
2	T3	0,734746	b
2	T2	0,770239	b
CV (%) avaliação 2: 4,45			

* T1: Testemunha; T2: Adubação de base e nitrogênio parcelado; T3: Somente uma adubação nitrogenada

**Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferiram pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro

*** Médias seguidas de diferentes letras na coluna diferiram pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro

Esses resultados nos mostram que o aumento da taxa de nitrogênio presente no dossel vegetativo do T2 influencia diretamente a refletância na região do infravermelho próximo (NIR) correlacionado a maior quantidade de clorofila presente na folha. Nos demais tratamentos, em relação a adição de N e melhor taxa de absorção do mesmo devido ao momento de aplicação reflete na redução dos teores de clorofila e conseqüentemente redução também nos valores do índice por diferença normalizada (NDVI) na cultura do trigo.

Também fica evidenciado a eficiência no uso de drone com câmera multiespectral para obtenção de NDVI em diferentes estágios fenológicos na cultura do trigo para determinação da taxa de adubação nitrogenada, pois em ambas as análises ficaram evidentes as maiores taxas nas parcelas onde foi realizada a adubação de base e de cobertura parceladas, seguida das parcelas do padrão regional que recebe a adubação em um único momento. Portanto, o uso de sensoriamento remoto através de drones possibilita a obtenção de índices confiáveis sem danos por amassamento ocasionados por tratores, maior agilidade e menor mão de obra em campo.

Entretanto, a principal dificuldade da utilização de sensoriamento remoto através de imagens é a desuniformidade de estágios vegetativos entre as parcelas pois estágios diferentes apresentam padrões de resposta espectral diferentes. Nesse estudo as parcelas adubadas desde a base apresentavam estágios mais avançados em relação a testemunha e as parcelas que receberam apenas adubação nitrogenada. Para futuros estudos na área, sugiro realizar a obtenção das imagens em diferentes momentos conforme o estágio das plantas de cada tratamento, embora gere mais imagens e conseqüentemente mais dados para processamento.

Um aspecto importante no uso do NDVI é a identificação do ponto de saturação de cada cultura. A literatura diz que o índice atinge a saturação quando a biomassa apresenta quantidades médias a altas, ou também quando atinge certos índices de área foliar. Porém, tal

efeito propicia a ser mais concordante à biomassa quando comparado a demais índices de vegetação (CARNEIRO et al, 2019). Segundo Cattani et al. (2015), o período de estabilização (saturação) do índice NDVI na cultura do trigo coincide com o período de espigamento da cultura, o que comprova a teoria que fala que o uso ideal do NDVI é indicado para os estádios iniciais da cultura e para os estádios finais se torna mais eficaz ou uso de outros índices, como por exemplo o comprimento de onda *red-edge* que demonstra bons resultados e é menos suscetível à saturação (CARNEIRO et al, 2019). Nesse estudo foi possível identificar o ponto de saturação do NDVI na cultura do trigo na segunda avaliação, pois o estágio das plantas mais desenvolvidas quando avaliados estava em espiga visível.

Por fim, a quarta variável analisada através dos resultados do teste de análise de variância (ANOVA), não apresentaram diferenças significativas nas avaliações de produtividade na colheita dos grãos (**Tabela 5**).

TABELA 5 – Valores médios de produtividade na colheita.

Tratamento	Produtividade (kg.ha⁻¹)	Resultado dos testes
T1	2.678,75	a
T3	3.503,75	a
T2	4.135,00	a
CV (%): 27,05		

* T1: Testemunha; T2: Adubação de base e nitrogênio parcelado; T3: Somente uma adubação nitrogenada

**Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferiram pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro

Embora a produtividade ter diferido numericamente, o resultado do teste se mostrou imparcial mesmo tendo uma diferença de 1.456,25 kg.ha⁻¹ entre a melhor e a pior média. Está comprovada que a produtividade da cultura do trigo está intimamente relacionada com a disponibilidade de nitrogênio, pois possui grande influência sobre os componentes de rendimento final de grãos.

A literatura também mostra que a oferta de N no início do desenvolvimento vegetativo é de grande relevância a fim de estimular a emissão e sobrevivência dos afilhos principalmente no período inicial da cultura. E o parcelamento da adubação nitrogenada aumenta a disponibilidade do nutriente no solo, pois permite que o nutriente permaneça disponível no solo por um período maior de tempo e conseqüentemente há menos perdas por lixiviação e volatilização além de contribuir para aumentar o comprimento de espigas e elevar o número de espiguetas por espiga (BATISTA et al., 2020).

4 CONCLUSÃO

Conforme a realização desse estudo foi possível definir que o uso NDVI aéreo, através de imagens multiespectrais de drone, pode ser uma boa ferramenta para monitorar o vigor através do nitrogênio e correlacionar o uso de adubação nitrogenada na cultura do trigo, principalmente quando há adubação de base (NPK) e nitrogenada em cobertura parceladas, com plantas de maior porte, taxa de clorofila maior, índices NDVI mais altos e produtividade maior. Porém, em futuros estudos na área sugiro realizar-se a obtenção das imagens em diferentes momentos conforme o estágio das plantas de cada tratamento, a fim de estabelecer um nível mais adequado dos índices NDVI conforme o mesmo estágio em diferentes tratamentos.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, Ricardo Guimarães; HOTT, Marcos Cicarini; de MAGALHAES JUNIOR, Walter Coelho Pereira; D'OLIVEIRA, Pêrsio Sandir; & OLIVEIRA, Jackson Silva. **Uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) como plataforma para monitoramento da produção agropecuária: estudo de caso para o milho forrageiro. Embrapa Gado de Leite- Documentos (INFOTECA-E)**, 2019. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1108242>>. Acesso em: 28 de abril de 2022.
- BATISTA, Vanderson Vieira; SALAPATA, Matheus Cesar; OLIGINI, Karine Fuschter; CAMANA, Douglas; FONSECA, Amanda Cassu; ADAMI, Paulo Fernando. **Componentes de rendimento e produtividade de cultivares de trigo submetidas ao parcelamento ou não de nitrogênio**, 2020. Disponível em: <<https://www.seer.ufal.br/index.php/revistacienciaagricola/article/view/9024/8102>>. Acesso em: 24 de maio de 2023.
- BORÉM, Aluízio; SCHEEREN, Pedro Luiz. **Trigo do plantio à colheita**. p. 37-43, 121, 126-130, Viçosa, MG. Ed. UFV, 2015.
- CARNEIRO, Franciele Morlin; MENEZES, Patricia Candida de; FURLANI, Carlos Eduardo Angeli; SILVA, Rouverson Pereira da. **Detecção da saturação do NDVI por meio do controle estatístico de qualidade**, 2019. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/338371667_DETECCAO_DA_SATURACAO_D_O_NDVI_POR_MEIO_DO_CONTROLE_ESTADISTICO_DE_QUALIDADE/link/5e0f636f92851c8364af30e0/download>. Acesso em: 26 de junho de 2023.
- CATTANI, Carlos Eduardo Vizzotto; MERCANTE, Erivelton; GARCIA, Murilo Renan; KUSMINSKI, Douglas; OLDONI, Lucas Volovhen. **Diferença de padrão espectro-temporal das cultivares de trigo**, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Lucas-Oldoni-3/publication/283697763_DIFERENCA_DE_PADRAO_ESPECTRO-TEMPORAL_DAS_CULTIVARES_DE_TRIGO/links/56434cd308ae54697fb2d6f1/DIFERE>

NCA-DE-PADRAO-ESPECTRO-TEMPORAL-DAS-CULTIVARES-DE-TRIGO.pdf>.
Acesso em: 26 de junho de 2023.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL - CNA. Mercado em foco. **Dinâmica de trade mundial do trigo e as influencias decorrentes do conflito entre Rússia e Ucrânia**. Edição 7. Disponível em:
<<https://cnabrasil.org.br/assets/arquivos/dtec.mercado-em-foco7.trigo.29mar2022.vf.pdf>>.
Acesso em: 14 de junho de 2022.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. SANTOS, Humberto Gonçalves dos; JACOMINE, Paulo Klinger Tito; ANJOS, Lúcia Helena Cunha dos; OLIVEIRA, Virlei Álvaro de; LUMBRERAS, José Francisco; COELHO, Maurício Rizzato; ALMEIDA, Jaime Antônio de; ARAUJO FILHO, José Coelho de; OLIVEIRA, João Bertoldo de; CUNHA, Tony Jarbas Ferreira. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ª ed. Cap. 13, 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/solos/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solost>>. Acesso em: 17 de junho de 2022.

FORMAGGIO, Antonio Roberto; SANCHES, Ieda Del'Arco. **Sensoriamento remoto em agricultura**. p. 100, 220, São Paulo, oficina de textos, 2017. Disponível em:
<<https://www.scielo.br/j/cr/a/BP8gMbVS53MBCRr63qzcfwp/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: 17 de junho de 2023

FORNARI, Ezequiel Zibetti; GAVIRAGHI, Lucas; BASSO, Claudir José; PINHEIRO, Marcos Vinícius Marques; VIAN, André Luis; SANTI, Antônio Luis. **Relationship between photosynthetic pigments and corn production under nitrogen sources**, 2020. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/pat/a/sCFYqD4qxbrhWw3hTsMxNLS/?format=pdf&lang=en>>. Acesso em: 10 de junho de 2023.

HURTADO, Sandro Manuel Carmelino; RESENDE, Álvaro Vilela; SILVA, Carlos Alberto; CORAZZA, Edemar Joaquim; SHIRATSUCHI, Luciano Shozo. **Clorofilômetro no ajuste da adubação nitrogenada em cobertura para o milho de alta produtividade**. Ciência Rural, v. 41, n. 6, pág. 1011-1017, 2011. Disponível em:
<<https://www.scielo.br/j/cr/a/BP8gMbVS53MBCRr63qzcfwp/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: 17 de junho de 2023.

KERBAUY, Gilberto Barbante. **Fisiologia Vegetal**. 3.a. ed. Rio de Janeiro, RJ. Ed. Guanabara Koogan Ltda., 2019. 1136p.

LIU, William Tse Horng. **Aplicações de sensoriamento remoto** 2ª edição ampliada. p. 166-167, São Paulo, oficina de textos, 2015.

NUNES, Gerson Dos Santos; MATTOS, Viviane Leite Dias de. **Considerações sobre testes de normalidade utilizados pelo software Gretl**, 2018. Disponível em:
<https://guri.unipampa.edu.br/uploads/evt/arq_trabalhos/17556/seer_17556.pdf>. Acesso em: 25 de junho de 2023.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo; MOLLER, Ian Max; MURPHY, Angus. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.a. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.

TURRA, Marcos Alexandre. **Manejo do nitrogênio em cultivares de trigo baseado no índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)**. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/172090/001058376.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 16 de junho de 2023.

SIQUEIRA, Glécio Machado; VIEIRA, Sidney Rosa; DECHEN, Sonia Carmela Falci. **Variabilidade espacial da densidade e da porosidade de um latossolo vermelho eutroférico sob semeadura direta por 20 anos, 2009**. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/brag/a/nk6C5NzdtbPCbXjjDW75WBz/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 25 de junho de 2023.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul. Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC, 2016. 376 p.

VIAN, André Luis. **Sensores de vegetação para estimativa *in situ* do potencial produtivo na cultura do milho, 2015**. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/138227/000989275.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 12 de junho de 2023.