

USO DE SENSORES NDVI COMO FERRAMENTA PARA REDUÇÃO DE CUSTO NITROGENADOS EM TRIGO

FERREIRA, Maria Eduarda¹

RUTHES, Liliane Scislowski²

RESUMO

O trigo (*Triticum aestivum*) é amplamente cultivado na região Sul durante a safra de inverno, com expressiva importância econômica. A obtenção de altas produtividades depende de fatores como clima e manejo, especialmente da adubação nitrogenada. Este trabalho teve como objetivo avaliar o uso da tecnologia de índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para definir a dose de ureia em cobertura, buscando otimizar o uso do nitrogênio e reduzir os custos de produção. O estudo foi conduzido em uma área de 30,21 hectares no município de Boa Ventura de São Roque – PR, utilizando a cultivar TBIO-Talismã. Como referência, foi implantada uma faixa rica que recebeu 200 kg/ha de ureia no perfilhamento. As leituras de NDVI foram realizadas no estágio de alongamento com o sensor Ag Leader OptRx, a partir da faixa rica, para gerar o mapa de recomendação e aplicação da ureia em taxa variável. Após 25 dias, foram avaliadas as características agronômicas de perfilhamento, massa verde e massa seca da parte aérea e da raiz, altura de plantas e tamanho de espiga, comparando-se a faixa rica com as áreas manejadas pelo NDVI. Os resultados demonstraram a viabilidade do uso dessa tecnologia como ferramenta de apoio à adubação nitrogenada, possibilitando maior eficiência no uso do N e redução de custos sem prejudicar o desenvolvimento da cultura.

Palavras-chave: Ureia. Agricultura de precisão. Eficiência. Sensor óptico.

ABSTRACT

Wheat (*Triticum aestivum*) is widely cultivated in the Southern region during the winter growing season, with significant economic importance. Obtaining high yields depends on factors such as climate and management, especially nitrogen fertilization. This study aimed to evaluate the use of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) technology to define the urea topdressing dose, seeking to optimize nitrogen use and reduce production costs. The study was conducted in an area of 30.21 hectares in the municipality of Boa Ventura de São Roque – PR, using the TBIO-Talismã cultivar. As a reference, a rich strip was established that received 200 kg/ha of urea at tillering. NDVI readings were taken at the elongation stage with the Ag Leader OptRx sensor, from the rich strip, to generate the recommendation map and variable-rate urea application. After 25 days, the agronomic characteristics of tillering, green mass and dry mass of the aerial part and root, plant height and ear size were evaluated, comparing the NDVI-rich strip with the areas managed by NDVI. The results demonstrated the viability of using this technology as a tool to support nitrogen fertilization, enabling greater efficiency in the use of N and cost reduction without harming crop development.

Keywords: Urea. Precision agriculture. Efficiency. Optical sensor.

¹ Acadêmico do curso de Engenharia Agrônômica do Centro Universitário Campo Real, Guarapuava – PR, Brasil. (enga-maria.ferreira@camporeal.edu.br).

² Docente orientadora do curso de Engenharia Agrônômica do Centro Universitário Campo Real, Guarapuava – PR, Brasil. (prof_lilianescislowski@camporeal.edu.br).

INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum*) é uma espécie monocotiledônea da família poaceae, conhecida popularmente como gramíneas. Apresenta germinação do tipo epígea e sistema radicular fasciculado. Seus colmos crescem de forma ereta que durante o ciclo tem em média, de cinco a sete nós. A planta emite perfilhos, que podem variar entre dois a sete conforme a cultivar e as condições externas. A inflorescência é caracterizada por uma espiga composta, formada por cerca de 15 a 20 espiguetas dispostas alternadamente (Baptistella, 2020).

O trigo é um dos principais cereais produzidos a nível mundial e possui grande relevância econômica para o setor agrícola. De acordo com Pires (2017), no Brasil, seu cultivo se concentra especialmente na região Sul, onde é utilizado como alternativa de plantio durante o período de entressafra de verão como soja e milho. Além de representar uma importante opção para diversificação de culturas, o trigo contribui para o manejo da lavoura, atuando na conservação do solo, pois reduz a erosão, a lixiviação de nutrientes e o desenvolvimento de plantas daninhas, além de formar palhada para o cultivo seguinte.

Conforme um estudo realizado por Fávero (2017), a elevada demanda por trigo é justificada por seu uso como matéria prima essencial na produção de alimentos básicos, como pães, massas e biscoitos, que fazem parte da dieta diária da população mundial. Seu uso abrangente na alimentação humana reforça a importância da cultura. Dessa forma, a produção de trigo atende não apenas à demanda por alimentos, mas também contribui para o desenvolvimento agrícola e econômico das regiões produtoras.

Segundo Mercopress (2025), o Brasil é um grande produtor de trigo, porém a produção não é suficiente para atender a demanda nacional sendo necessário a importação de outros países vizinhos como a Argentina que é o principal exportador com 68%, além de outros países como Uruguai 11,8% e Rússia 10%. Atualmente um dos desafios é o aumento de área plantada e produção para abastecer o mercado nacional. De acordo com dados da Conab (2025), a safra de trigo de 2025 teve uma redução de área semeada em torno de 16,7% em território nacional, mas mesmo assim a produção estimada é de 7,81 milhões de toneladas, a expectativa de alta produção é devido às condições climáticas do ano serem favoráveis para a cultura, reduzindo potenciais problemas como doenças que acabam impactando diretamente na produção.

De acordo com Neto (2023), as perspectivas para os próximos anos trazem desafios para a produção de trigo principalmente relacionado com fatores climáticos, com a instabilidade de chuvas, temperaturas e geadas severas e tardias, pois qualquer um desses eventos em determinadas épocas do ciclo mais sensíveis pode comprometer a lavoura. Segundo Lisbinski

(2024), os estágios mais vulneráveis da cultura do trigo ocorrem durante o espigamento e a floração, quando geadas podem comprometer a formação das espiguetas e o enchimento dos grãos, e na pré colheita, quando o excesso de chuva pode provocar germinação precoce, reduzir a qualidade da produção e diminuir o PH (peso hectolitro). Além disso, a distribuição adequada de chuvas ao longo do ciclo é fundamental para evitar déficit hídrico, garantindo o estabelecimento inicial da planta e o desenvolvimento. Portanto, para potencializar a produção, é essencial adotar manejos adequados, incluindo a aplicação correta de adubação nitrogenada.

A adubação é um dos principais fatores que influenciam a produtividade final das culturas, sendo essencial para ativação de processos fisiológicos e desempenhando funções em todas as fases de crescimento. Um dos principais nutrientes para todas as plantas é o nitrogênio, considerado um macronutriente primário por ter maior demanda, pois faz parte da composição da clorofila que reflete na eficiência da fotossíntese, participa da síntese de proteínas e enzimas, composição de ácidos nucleicos (DNA e RNA) e entre outros processos como metabolismo de carboidratos e síntese de reguladores de crescimento (Silva *et al.*, 2024).

Em casos de deficiência de nitrogênio, as plantas apresentam clorose nas folhas e retardo no crescimento (Barros, 2020). Mas o excesso de nitrogênio também pode ocasionar efeitos negativos na planta, como crescimento exagerado, maior suscetibilidade ao acamamento e desequilíbrio na absorção de outros nutrientes essenciais. Além disso, representa um gasto desnecessário para o produtor, já que parte do nutriente pode ser perdido por lixiviação ou volatilização (Bortolucci, 2019). Em virtude disso, é fundamental utilizar ferramentas e métodos que estimem a dosagem adequada, garantindo que a planta receba a quantidade correta de nitrogênio, evitando tanto a deficiência quanto o excesso.

De acordo com Cantarella (2023) e Batista (2020), o nitrogênio é um nutriente móvel tanto no solo quanto na planta, podendo ser aplicado via solo na linha de semeadura ou a lanço como adubação de cobertura. Entre as principais fontes utilizadas estão a ureia, com 45% de N, e o MAP, que fornece 10% de N e 46 a 50% de P_2O_5 , além de outras opções como sulfato de amônio e nitrato de amônio. A escolha da fonte depende de fatores como o preço por unidade de nitrogênio e os nutrientes adicionais fornecidos, como fósforo e enxofre. Devido à alta mobilidade do nitrogênio, que pode causar perdas por lixiviação ou volatilização, a adubação é geralmente fracionada, garantindo que a planta receba a quantidade adequada desse nutriente nos estádios de maior demanda, especialmente no perfilhamento, alongamento de colmo e espigamento.

O trigo é uma gramínea, portanto não faz fixação biológica de nitrogênio como algumas leguminosas, então necessita de uma dose maior de adubos nitrogenados. É recomendado uma dosagem de nitrogênio no sulco de semeadura para desenvolvimento inicial e uma segunda

dosagem chamada de adubação de cobertura. Para o trigo o nitrogênio é responsável pela produção de biomassa e número de afilhos o que reflete diretamente na produção, portanto o fornecimento na quantidade necessária é essencial para atender a estimativa de produção (Ferrari, 2016).

Atualmente existem tecnologias que podem ser utilizadas para recomendação de adubação de cobertura, visando disponibilizar a quantidade de nitrogênio necessário, assim diminuindo os custos de aplicação sem afetar a produção final da cultura (Turra, 2016). Às aferições são feitas geralmente por sensores acoplados a outros maquinários que coletam as informações e imagens geradas por satélite, um dos mais utilizados é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).

De acordo com Rissini, Kawakami e Genú (2015), o NDVI é calculado a partir do nível de reflectância nas faixas vermelho e infravermelho, o qual varia de -1 a 1. Esses dois comprimentos de onda são indicadores, e a interpretação leva em conta que para o espectro infravermelho a reflectância é maior à medida que aumenta o acúmulo de massa seca das plantas, enquanto o espectro vermelho diminui em situações de maior teor de clorofila.

Segundo Sergieieva (2025), na escala, o desejável para uma planta considerada saudável é que esteja entre 0,6 a 1, neste caso apresenta bom estado nutricional, permitindo apenas ajustes finos na adubação. Valores entre 0,2 a 0,5 demonstram uma área com plantas em estágio inicial de desenvolvimento ou passando por algum estresse, portanto indicam que a planta necessita de suplementação de nitrogênio para favorecer o crescimento e conseqüentemente a recomendação de adubação será maior. Já valores abaixo são considerados para solo sem vegetação ou com vegetação escassa. Assim, a escala auxilia na tomada de decisão, evitando deficiência ou excesso do nutriente.

A leitura do NDVI deve ser realizada quando as plantas já cresceram a ponto de cobrir totalmente o solo, de modo a minimizar a influência da reflectância do solo e assegurar que os valores refletem apenas o desenvolvimento da cultura não comprometendo a recomendação final (Gatelli *et al.*, 2025).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar características agrônômicas na cultura do trigo em relação a adubação nitrogenada sendo realizada com base na leitura de NDVI e a adubação padrão, levando em consideração o impacto na cultura e avaliando o custo e benefício dessa ferramenta para o produtor.

1 METODOLOGIA

2.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL

O trabalho foi conduzido em área comercial no município de Boa Ventura do São Roque – PR, região Centro-Sul do estado, com alta aptidão agrícola para culturas de inverno, localizada nas coordenadas 24°55'34.3"S e 51°38'40.0"W. A região apresenta clima subtropical, altitude entre 850 e 1.110 m, precipitação anual em torno de 1.800 mm e predominância de Latossolos derivados de rochas ígneas e metamórficas, conforme caracterização da Secretaria Municipal de Indústria, Comércio e Turismo de Boa Ventura do São Roque (2024). A fazenda possui área total de 254 ha, cultivados no inverno com trigo, cevada e aveia, e no verão com soja, milho e feijão.

2.2 IMPLANTAÇÃO E MANEJO

A área da fazenda utilizada para o trabalho foi denominada como TH 01 que possui 30,21 hectares. A semeadura ocorreu no dia 18 de junho, sendo realizada via plantio direto com população de 380 plantas/m² da cultivar de trigo TBIO TALISMA com PMS de 33 g. A adubação utilizada na semeadura foi MAP 11-52-00 com a dosagem de 180 kg/ha, ou seja, 20 kg/ha de nitrogênio e em cobertura foi aplicado 100 kg/ha de KCL 00-00-60, padrão em toda a área.

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi implantada a faixa rica, que de acordo com Arnall e Rauna (2018), tem como objetivo fornecer nitrogênio em quantidade suficiente para que as plantas não apresentem deficiência durante o ciclo, servindo também como referência, já que a dosagem aplicada difere do restante utilizado na área em cobertura. O local onde é feita a faixa rica é definido por imagens de satélite. A faixa rica, portanto, foi utilizada como parâmetro para a leitura do NDVI, com aplicação de nitrogênio visando uma produtividade de 5.000 kg/ha. Nessa área, a cobertura nitrogenada foi realizada com ureia (45-00-00), na dosagem de 200 kg/ha, correspondendo a 90 kg/ha de nitrogênio, aplicada 20 dias após a emergência das plantas, no início do perfilhamento.

No estágio de alongamento do colmo, aproximadamente 45 dias após a emergência, foi realizado a leitura do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) obtidas através do equipamento Ag Leader OptRx, que é acoplado a moto o qual percorre por todos os rastros que há na lavoura (Figura 1). Nesse processo, a faixa rica foi utilizada como referência para o equipamento, permitindo que a leitura do NDVI fosse posteriormente realizada em todo o restante da lavoura, ou seja, nas áreas que ainda não receberam adubação de cobertura nitrogenada. O equipamento emite luz vermelha e infravermelha, medindo reflectância nas plantas que estão na faixa rica, gerando dados sobre o vigor vegetativo das plantas.

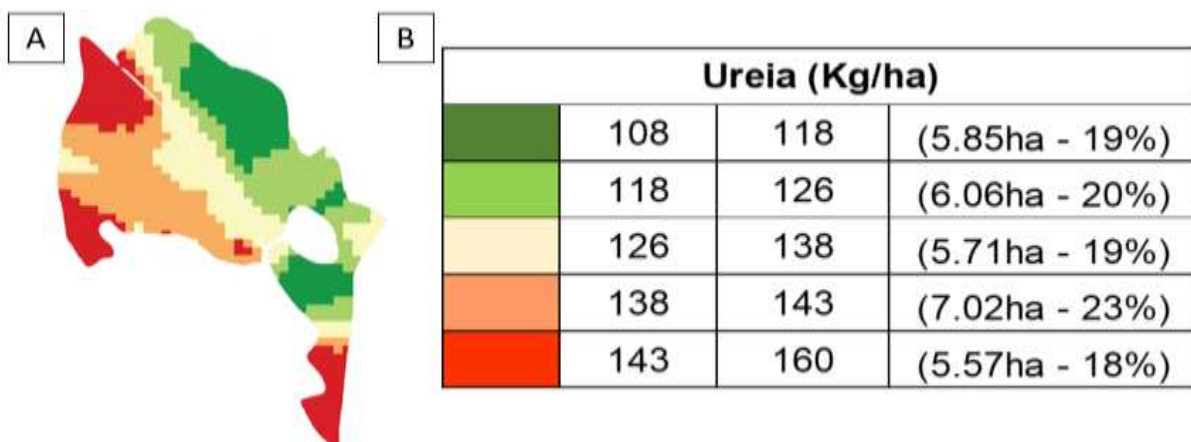
Figura 1. Equipamento Ag Leader OptRx para leitura do NDVI.



Fonte: G12Agro, (2025).

A leitura do NDVI possibilitou identificar variações no vigor da cultura dentro do talhão, as quais foram representadas no mapa por diferentes colorações (Figura 2A). As áreas em verde indicam regiões de maior vigor vegetativo, enquanto as áreas em laranja e vermelho representam zonas de vigor intermediário a baixo, respectivamente. A partir dessa leitura, o equipamento processa as informações e gera um mapa de aplicação em taxa variável, definindo a quantidade de nitrogênio a ser aplicada em cada ponto da área. A recomendação de ureia, variou entre a mínima de 108 e a máxima de 160 kg/ha, conforme a necessidade de cada zona de manejo (Figura 2B). As áreas foram denominadas como tratamentos, da seguinte maneira: T1 – 108 a 118 Kg/ha, T2 – 118 a 126 Kg/ha, T3 – 126 a 138 Kg/ha, T4 – 138 a 143 Kg/ha, T5 – 143 a 160 Kg/ha e T6 – 200 kg/ha (faixa rica).

Figura 2. A. Mapa com a leitura do NDVI para aplicação. B. Doses recomendadas para o Talhão.



Fonte: G12Agro, (2025).

Todos os demais manejos como herbicidas, fungicidas e inseticidas foram os mesmos para faixa rica e restante do talhão. Com o mapa de NDVI disponibilizado, foi programada a

adubação de cobertura sendo realizada no dia 23 de agosto ao final do estágio de alongamento, levando em consideração a previsão de chuva para a região.

2.3 CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS AVALIADAS

As avaliações foram feitas 25 dias após a aplicação de ureia, já na fase de espigamento do trigo, sendo coletada plantas para análise de características agronômicas como perfilhamento, massa verde e, massa seca da parte aérea e da raiz, altura de plantas e tamanho da espiga. A amostragem foi feita com 3 pontos em cada dosagem no talhão mais 3 pontos na faixa rica, sendo coletado 5 plantas de um metro linear é calculado a média para cada característica avaliada.

Para a coleta dos dados foi utilizado uma trena para aferição de altura de plantas e tamanho de espiga; Balança de precisão para determinar massa verde de parte aérea e de raiz e 3 dias em estufa a 60°C para obter valor da massa seca (Figura 3). Essa etapa é essencial para remover a umidade do tecido vegetal e evitar a continuidade de processos bioquímicos que poderiam alterar sua composição (Boaretto, 2009).

Figura 3. A. Aferição da altura de plantas de trigo, utilizando trena. B. Pesagem da massa verde em balança de precisão. C. Plantas acondicionadas em sacos de papel e colocadas em estufa para secagem a 60 °C. D. Pesagem da massa seca da raiz em balança de precisão.



Fonte: O autor, (2025).

Para avaliar o efeito dos tratamentos sobre as características agronômicas analisadas, os dados foram submetidos ao programa SISVAR, utilizando a análise de variância (ANOVA), a qual possibilita identificar se existem diferenças estatísticas entre as médias dos tratamentos para cada variável avaliada. Quando identificada significância, foi aplicado o teste de comparação de médias de Tukey ($p \leq 0,05$), permitindo verificar quais tratamentos diferem entre si (Ferreira, 2014).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O coeficiente de variação (CV) apresentado na Tabela 1, é um importante indicador da precisão experimental, expressando a relação entre o desvio padrão e a média das variáveis avaliadas. De modo geral, valores de CV baixos indicam maior homogeneidade dos dados e, conseqüentemente, maior confiabilidade dos resultados obtidos (Ferreira, 2000).

Tabela 1. Resumo da análise de variância para as características agronômicas avaliadas em trigo, Boa Ventura de São Roque – PR, safra 2025.

	GL	QM						
		Perfilhamento	Altura	Tamanho de Espiga	Massa Verde	Massa Seca	Massa Verde da Raiz	Massa Seca da Raiz
TRATAMENTO	5	0,037	20,947 *	0,173 *	4,265	0,047	0,107	0,025
REP	2	0,020	2,486	0,031	4,208	0,320	0,235	0,027
ERRO	10	0,081	4,895	0,051	3,016	0,065	0,197	0,017
Total	17							
Média Geral:		3,333	82,008	92,722	16,788	4,164	2,784	0,668
CV (%)		8,56	2,7	2,43	10,34	6,11	15,92	19,53

Fonte: O autor, (2025).

Observa-se que, para as variáveis altura de plantas (2,7%) e tamanho de espiga (2,43%), os valores de CV são baixos, demonstrando homogeneidade dos dados no experimento. Já para as variáveis relacionadas ao sistema radicular, como massa verde (15,92%) e massa seca (19,53%), os CVs foram mais altos, o que pode indicar maior variabilidade natural entre as repetições ou maior influência de fatores ambientais.

De modo geral, a faixa rica apresentou as maiores médias para as variáveis analisadas, com exceção da massa seca, tanto da parte aérea quanto raiz. Já para as variáveis altura de plantas e tamanho de espiga foram observadas diferenças estatísticas.

Para a altura de plantas, o tratamento T2 (118 a 126 kg/ha de ureia) apresentou média estatisticamente inferior em relação ao T6 (faixa rica), enquanto os demais tratamentos não

diferiram entre si, apresentando o mesmo agrupamento de médias no teste de Tukey a 5% (Tabela 2). Resultado semelhante foi observado para o tamanho de espiga, no qual o tratamento T3 (126 a 138 kg/ha de ureia) também apresentou valor inferior ao da faixa rica, portanto houve diferença estatística apenas para o T6.

Tabela 2. Altura de plantas de trigo submetidas a diferentes tratamentos de doses de ureia, com agrupamento de médias pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Tratamentos (kg/ha de ureia)	Altura de planta (cm)
T1 – 108 a 118	82,49 ab
T2 – 118 a 126	78,74 b
T3 – 126 a 138	80,79 ab
T4 – 138 a 143	82,07 ab
T5 – 143 a 160	81,27 ab
T6 – Faixa Rica	86,69 a

*DMS: 6,27; Erro padrão: 1,27; média harmônica do número de repetições: 3.

Fonte: O autor, (2025).

Verificou-se que a altura de planta do trigo variou entre 78,74 a 86,69 cm, sendo que o tratamento T6 (faixa rica) apresentou valor superior altura média (86,69 cm), portanto a maior disponibilidade de nitrogênio proporcionou maior crescimento vegetativo neste caso. No entanto, chama atenção o fato de que o tratamento T1 (108 a 118 kg ha⁻¹ de ureia) também apresentou valores elevados (82,49 cm), próximos aos observados nas doses intermediárias (T3 a T5), o que indica que o incremento de nitrogênio nem sempre resulta em aumentos proporcionais de crescimento.

Resultados relatados em um estudo realizado por Kubar (2022), no qual a altura de planta do trigo aumentou significativamente até a dose de 225 kg ha⁻¹ de N, mas doses superiores (300 kg ha⁻¹) resultaram em redução de crescimento em cerca de 8%. Nesse mesmo trabalho, doses baixas (75 kg ha⁻¹) também apresentaram valores inferiores, indicando que tanto o excesso quanto a deficiência de N podem ser prejudiciais. Assim, comparando com o presente estudo, observa-se um comportamento semelhante, em que a resposta da cultura tende a estabilizar a partir de determinada faixa de N.

A altura adequada das plantas é variável para cada cultivar, mas seu crescimento pode ser estimulado pelo uso de altas doses de nitrogênio. De acordo com Hu *et al.*, (2025), esse

estímulo favorece o alongamento das plantas, o que em alguns casos pode resultar em acamamento. Esse fenômeno, quando ocorre durante o enchimento de grãos, reduz a eficiência no transporte de fotoassimilados para as espigas e compromete o peso final dos grãos. Além disso, lavouras acamadas tendem a favorecer doenças, dificultando manejos e principalmente a colheita.

Outra variável que apresentou diferença estatística entre os tratamentos e a faixa rica foi o tamanho das espigas, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Tamanho de espiga de plantas de trigo submetidas a diferentes tratamentos de doses de ureia, com agrupamento de médias pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Tratamentos (kg/ha de ureia)	Tamanho de espiga (cm)
T1 – 108 a 118	9,17 ab
T2 – 118 a 126	9,2 ab
T3 – 126 a 138	9,07 b
T4 – 138 a 143	9,2 ab
T5 – 143 a 160	9,25 ab
T6 – Faixa Rica	9,75 a

DMS: 0,64; Erro padrão: 0,13; média harmônica do número de repetições: 3

Fonte: O autor, (2025).

O T6, correspondente à faixa rica, não diferiu significativamente dos demais tratamentos, exceto em relação ao T3 (126-138 kg/ha), que apresentou valor estatisticamente inferior. Não é possível afirmar o motivo pelo qual apenas o T3, uma das doses intermediárias, apresentou essa diferença, mas os dados indicam que, de forma geral, as doses de nitrogênio resultaram em respostas semelhantes no tamanho da espiga. Em um trabalho realizado por Pasa (2022), o aumento da dose de nitrogênio, utilizando como fonte a ureia, levou a um crescimento linear para a variável tamanho de espiga. Mas, no presente estudo, a resposta não se mostrou linear.

Em estudo conduzido por Salapata (2018), avaliou-se a aplicação de 120 kg/ha de nitrogênio, comparando-se o fornecimento em dose única e o parcelamento em duas aplicações de 60 kg/ha cada, bem como a ausência de adubação nitrogenada, em diferentes cultivares de trigo. Os resultados indicaram incremento no tamanho das espigas em todas as cultivares quando o nitrogênio foi aplicado de forma parcelada, ou seja, uma quantidade em semeadura e o restante em cobertura, evidenciando a relevância do fracionamento da adubação para otimizar a resposta

da cultura, desde que os teores de nutrientes estejam em níveis adequados.

Já o perfilhamento não apresentou diferenças estatísticas, com média de 3,33 perfilhos por planta (Tabela 4).

Tabela 4. Médias de perfilhamento de trigo submetidas a diferentes tratamentos de doses de ureia, com agrupamento de médias pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Tratamentos (kg/ha de ureia)	Perfilhos planta ¹
T1 – 108 a 118	3.20 a
T2 – 118 a 126	3.26 a
T3 – 126 a 138	3.33 a
T4 – 138 a 143	3.26 a
T5 – 143 a 160	3.46 a
T6 – Faixa Rica	3.46 a

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: O autor, (2025).

Esses resultados diferem dos observados por Souza *et al.*, (2013), em que o aumento da dose de nitrogênio resultou em maior número de perfilhos. A ausência de efeito significativo para esta característica neste estudo pode estar relacionada à resposta limitada da cultivar utilizada ou às condições específicas da área da lavoura, sugerindo que o efeito do nitrogênio sobre o perfilhamento nem sempre é expressivo.

O número de perfilhos podem variar de acordo com vários fatores como cultivar, tipo de solo, disponibilidade de água e nutrientes e até mesmo a densidade de plantas na lavoura. No trabalho realizado por Drun (2018), ressalta a interferência dos perfilhos na produtividade final, tendo em vista que pode ter um impacto positivo ou negativo. Os perfilhos podem gerar um maior número de espigas por metro quadrado, mas também a planta pode emitir perfilhos inférteis o que iria ocasionar um efeito maior de competição quando em situações de fontes escassas seja de luz, água ou nutrientes. O nitrogênio neste caso é responsável por estimular a emissão de novos perfilhos e a sobrevivência dos já emitidos.

Para os resultados obtidos para massa verde e massa seca da parte aérea não diferiram estatisticamente entre os tratamentos, indicando que nas condições do experimento, os diferentes manejos não promoveram alterações expressivas nesses parâmetros. Contudo, observa-se uma tendência de maiores valores no T6 – (faixa rica) para massa verde o que pode sugerir uma resposta da cultura, ainda que insuficiente para gerar diferença significativa

estatisticamente (Tabela 5). Já os resultados obtidos para massa seca da parte aérea apresentaram uma maior média para o T1 (108 a 118 Kg/ha), seguido da faixa rica.

Tabela 5. Médias de massa verde e seca da parte aérea (g planta^{-1}) submetidas a diferentes tratamentos de doses de ureia, com agrupamento de médias pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Tratamentos (kg/ha de ureia)	Massa Verde (g planta^{-1})	Massa Seca (g planta^{-1})
T1 – 108 a 118	15.82 a	4.39 a
T2 – 118 a 126	14.96 a	4.07 a
T3 – 126 a 138	17.80 a	4.11 a
T4 – 138 a 143	16.99 a	4.15 a
T5 – 143 a 160	17.05 a	4.04 a
T6 – Faixa Rica	18.09 a	4.21 a

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: O autor, (2025).

A massa verde e a massa seca da parte aérea são importantes indicadores do crescimento e produtividade do trigo. Conforme trabalho feito por Coelho (2022), a definição de massa verde é que representa o peso total da planta colhida, incluindo água, refletindo o crescimento vegetativo e a produção de biomassa bruta. Já a massa seca corresponde ao peso da planta após secagem em estufa, indicando a quantidade real de matéria acumulada, como carboidratos, proteínas e outros compostos.

No estudo desenvolvido por Rissini, Kawakami e Genú (2015), que utilizou o NDVI para avaliar a resposta do trigo a diferentes doses de nitrogênio em distintas cultivares, observou-se incremento na produção de matéria seca com o aumento das doses de nitrogênio. De forma semelhante ao presente trabalho, houve resposta positiva à adubação, porém, neste estudo, a maior média foi observada no tratamento T1, que corresponde à menor dose de nitrogênio. A faixa rica apresentou a segunda maior média, sem diferenças estatísticas em relação a T1.

A análise da massa verde e da massa seca da raiz não apresentou diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos. Ainda assim, observa-se uma tendência de maiores valores no T6 (faixa rica), para massa verde ($3,04 \text{ g planta}^{-1}$), enquanto que para massa seca os tratamentos com menores doses de nitrogênio, sendo T1 e T2 expressaram melhores resultados em comparação aos demais (Tabela 6).

Esses resultados sugerem que, embora não tenham alcançado diferença significativa estatisticamente, determinados tratamentos podem ter favorecido discretamente o desenvolvimento radicular. A ausência de diferenças marcantes pode estar associada à

homogeneidade do solo, o qual não há dados dos parâmetros da área.

Tabela 6. Médias de massa verde e seca da raiz (g planta^{-1}) submetidas a diferentes tratamentos de doses de ureia, com agrupamento de médias pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Tratamentos (kg/ha de ureia)	Massa Verde da Raiz (g planta^{-1})	Massa Seca da Raiz (g planta^{-1})
T1 – 108 a 118	2.62 a	0.81 a
T2 – 118 a 126	2.55 a	0.75 a
T3 – 126 a 138	2.71 a	0.58 a
T4 – 138 a 143	2.81 a	0.60 a
T5 – 143 a 160	2.94 a	0.62 a
T6 – Faixa Rica	3.03 a	0.63 a

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

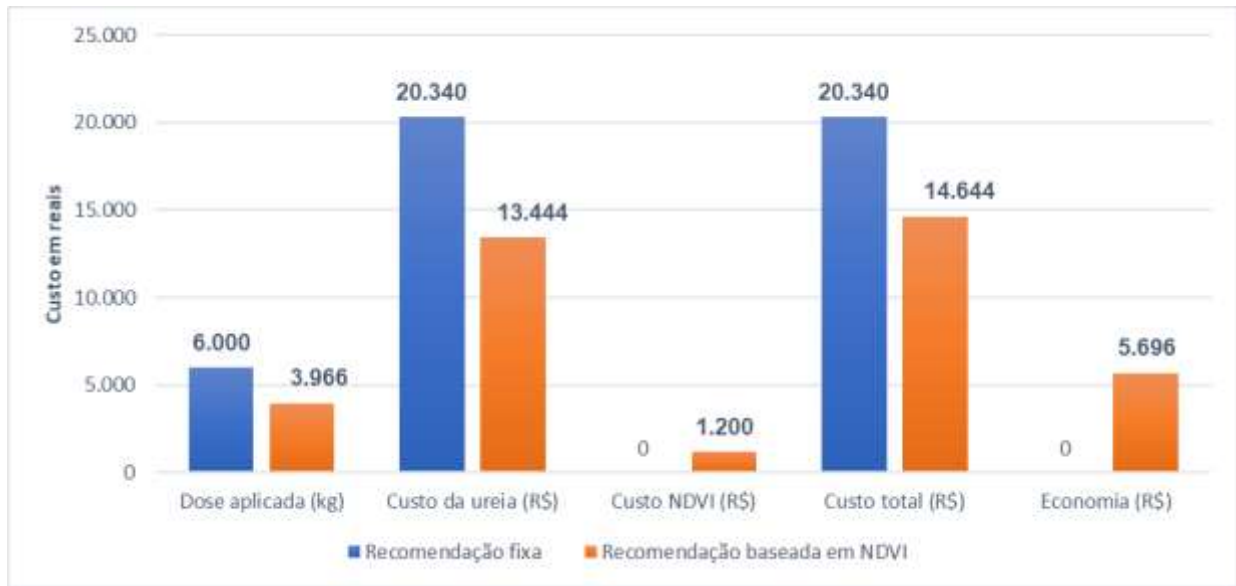
Fonte: O autor, (2025).

No trabalho desenvolvido por Rasmussen, Dresboll e Kristensen (2015), o qual avaliaram os efeitos do nitrogênio nas raízes de plantas de trigo, observaram que o crescimento radicular está fortemente associado ao suprimento de nitrogênio. Esses autores relatam que doses moderadas de nitrogênio, favorecem o aumento da densidade radicular, especialmente nas camadas mais profundas, enquanto doses elevadas podem reduzir a exploração do subsolo, uma vez que a planta tende a suprir sua demanda de nitrogênio apenas na camada superficial, reduzindo o estímulo para crescimento de raízes em profundidade, fato também mencionado em trabalho desenvolvido por Santos (2019). No presente estudo, a ausência de diferenças estatísticas entre os tratamentos pode indicar que a disponibilidade de nitrogênio foi adequada em todos os níveis, não havendo estímulo adicional para crescimento radicular com doses mais altas.

A redução de custos de produção é um dos principais benefícios associados ao uso de tecnologias de agricultura de precisão, especialmente em um cenário em que o preço dos insumos agrícolas representa grande parte das despesas do produtor. Entre essas tecnologias, o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) se destaca por possibilitar o manejo mais eficiente da adubação nitrogenada, ajustando as doses conforme a variabilidade da área e evitando tanto o desperdício quanto a deficiência de nutrientes

A utilização do NDVI para a recomendação de nitrogênio em taxa variável na área de 30 hectares permitiu reduzir a quantidade de ureia aplicada e conseqüentemente redução de custos para o produtor (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Resultados obtidos para redução de custo com NDVI.



Fonte: O autor, (2025).

No manejo convencional, seriam aplicados 200 kg/ha, resultando em um total de 6.000 kg de ureia e um custo de R\$ 20.340,00, considerando o valor pago pelo produtor de R\$ 3,39 por quilo. Com o uso do NDVI, a dose total aplicada foi de 3.966 kg, o que corresponde a um custo de R\$13.444,00. Acrescentando o investimento na leitura do NDVI, de R\$ 40,00 por hectare, com o custo total de R\$ 1.200,00 totalizando R\$14.664,00. Dessa forma, o uso dessa tecnologia resultou em uma economia de R\$5.596,00 na adubação nitrogenada de cobertura, demonstrando que o uso do NDVI pode reduzir custos sem comprometer o desenvolvimento da lavoura.

2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora o presente trabalho tenha apresentado médias maiores na faixa rica, houve diferenças estatísticas em apenas duas variáveis analisadas. Isso demonstra que a redução da dose de nitrogênio, aliada à aplicação em taxa variável com base na recomendação do NDVI, é eficaz sem impactar de maneira negativa o desenvolvimento da cultura. Mas, além da quantidade adequada de nutriente aplicada, é fundamental realizar a aplicação no momento correto, ou seja, no estágio fenológico em que a cultura apresenta maior demanda.

As tecnologias atualmente disponíveis no mercado funcionam como ferramentas estratégicas para otimizar o uso de insumos, reduzindo os impactos ambientais e custos para o produtor, ao mesmo tempo que visam altas produtividades.

3 AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pelo dom da vida, por sempre me abençoar, guiar meus passos e iluminar meu caminho, tornando possível a realização deste momento e por todas as oportunidades que concedeu.

Agradeço profundamente aos meus pais, Ismael Batista Ferreira e Joelma Monteiro, que sempre me apoiaram e não mediram esforços para me ajudar a conquistar meus sonhos. Esta conquista não é apenas minha, mas nossa!

Registro também minha gratidão aos meus demais familiares, especialmente aos meus avós, Doralina Muhlstedt, Ana Maria Machado e Izaias Ferreira Neto, que infelizmente partiram antes de poder prestigiar este momento tão especial. E a minha avó, Terezinha Monteiro, a qual pude contar com seu apoio e orações nessa etapa.

Agradeço ainda aos amigos, tanto aqueles que estiveram presentes ao longo destes cinco anos de graduação, quanto aos que conquistei durante esta jornada, por tornarem essa trajetória mais leve e divertida.

Por fim, expresso minha sincera gratidão à minha orientadora, Liliane, pelo apoio constante e pelo auxílio indispensável durante o desenvolvimento deste trabalho.

*“Consagre ao Senhor tudo o que você faz, e os seus planos serão bem sucedidos.
Provérbios 16:3”*

4 REFERÊNCIAS

ARNALL, B.; RAUN, B. Aplicação de tiras ricas em nitrogênio. **Oklahoma State University**, 2018. Disponível em: <<https://extension.okstate.edu/fact-sheets/applying-nitrogen-rich-strips.html>>. Acesso em: 17 ago. 2025.

BAPTISTELLA, J. L. C. Trigo: o que você precisa saber sobre a produção da cultura. **Blog da Aegro**, 2020. Disponível em: <<https://blog.aegro.com.br/trigo/>>. Acesso em: 20 ago. 2025.

BARROS, J. **Fertilidade do solo e Nutrição das plantas**. 2020. Disponível em: <<https://dspace.uevora.pt/rdpc/handle/10174/28120>>. Acesso em: 21 ago. 2025.

BATISTA, V. V., *et al.* Componentes de Rendimento e Produtividade de Cultivares de Trigo submetidas ao Parcelamento ou não de Nitrogênio. **Revista Ciência Agrícola**, v. 18, n. 3, p. 1-7, 2020.

BOARETTO, A. E., *et al.* Amostragem, acondicionamento e preparo de amostras de plantas para análise química. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Cap. 2. 2. ed. rev. e ampl. EMBRAPA, 2009.

BORTOLUCCI, A. **Influência da adubação nitrogenada na cultura do trigo**. Londrina: Universidade Pitágoras – UNOPAR, 2019. Disponível em: https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/28850/1/ADRIANO_BORTOLUCCI_ATIVIDADE3.pdf. Acesso em: 4 set. 2025.

CANTARELLA, H. **Opções de fontes de nitrogênio para a agricultura brasileira** (Documento IAC 120). Instituto Agrônomo de Campinas – IAC, 2023. Disponível em: https://www.iac.sp.gov.br/media/publicacoes/documentoiac_120.pdf. Acesso em: 22 ago. 2025.

COELHO, K. de S. Determinação da matéria seca de alimentos volumosos úmidos em estufa e em micro-ondas. 2022. Monografia (Graduação em Zootecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/35620/1/Determina%c3%a7%c3%a3oMat%c3%a9riaSeca.pdf>. Acesso em: 05/10/2025.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Safra de grãos 2024/25 é estimada em 345,2 milhões de toneladas com recorde na produção de milho e soja. Conab, 2025 (atualizado em 14 ago. 2025). Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/assuntos/noticias/safra-de-graos-2024-25-e-estimada-em-345-2-milhoes-de-toneladas-com-recorde-na-producao-de-milho-e-soja>. Acesso em: 20 ago. 2025.

DRUN, R. P.; *et al.* Potencial de translocação de solutos entre perfilhos de plantas de trigo. 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/191793>. Acesso em: 26 set. 2025.

FÁVERO, D. A. **O comércio Brasil – Argentina: análise do mercado internacional e viabilidade da triticultura**. Cruz Alta: Universidade de Cruz Alta - UNICRUZ, 2017. Disponível em: <https://home.unicruz.edu.br/wp-content/uploads/2018/05/Diego-Alexsander-F%3%A1vero-O-COM%3%89RCIO-BRASIL-%E2%80%93-ARGENTINA-AN%3%81LISE-DO-MERCADO-INTERNACIONAL-E-VIABILIDADE-DA-TRITICULTURA.pdf>. Acesso em: 04 set. 2025.

FERRARI, M., *et al.* Manejos e fontes de nitrogênio nos componentes de afilhamento de trigo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 11, n. 3, p. 178-185, 2016.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 38, n. 2, p. 109–112, 2014.

FERREIRA, D. F. **Manual do sistema Sisvar para análises estatísticas**. Lavras: UFLA, Departamento de Ciências Exatas, 2000. Manual técnico. Disponível em: <https://des.ufla.br/~danielff/meusarquivospdf/sisvarmanual.pdf>. Acesso: 25 set. 2025.

GATELLI, A. E. P., *et al.* NDVI e suas aplicações. *Boletim Agrônômico*. Porto Alegre. Vol. 3, n. 5 (maio 2025), p. 8-15, 2025. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/295765/001289556.pdf?sequence=1>. Acesso em: 23 set. 2025.

HU, X., *et al.* Effects of nitrogen fertilizer application on the lodging resistance traits, yield, and quality of two gluten types of wheat. **Agriculture**, v. 15, n. 637, 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/15/6/637>. Acesso em: 25 set. 2025.

KUBAR M. S., *et al.* Melhorando a fotossíntese, a eficiência do uso do nitrogênio e a produtividade do trigo de inverno por meio da otimização da fertilização nitrogenada. *Life (Basel)*, 2022. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9605388/?utm_source. Acesso em 18 de out. 2025.

LISBINSKI, F. C. Variabilidade climática na produção de milho, trigo e soja. **Revista de Política Agrícola**, v. 33, e01974, 2024. DOI: <https://rpa.sede.embrapa.br/RPA/article/view/1974/pdf>

MERCOPRESS. *Brasil precisa comprar 3,5 milhões de toneladas de trigo apesar do aumento na produção interna, diz Cepea*, 2025. Disponível em: <https://en.mercopress.com/2025/02/07/brazil-needs-to-purchase-3-5-million-tons-of-wheat-despite-higher-yields-in-domestic-production-says-cepea>. Acesso em: 4 set. 2025.

NETO, P. R. Viana. Impacto das alterações climáticas no trigo de sequeiro de outono-inverno. 2023. Dissertação de Mestrado. Universidade de Lisboa (Portugal). Disponível: <https://www.proquest.com/openview/6b17440fbc4a436528a80f88443d3d28/1?pqorigsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>. Acesso em: 23 set. 2025.

PASA, E. H. *Adubação nitrogenada amídica e nítrica em campo de produção de sementes de trigo no Sul do Rio Grande do Sul*. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2022. Disponível em: https://wp.ufpel.edu.br/ppgcts/files/2023/10/Dissertac%CC%A7a%CC%83o_Ezequiel_Pasa_Final.pdf?utm_source. Acesso em: 18 out. 2025.

PIRES, J. L. F. Artigo – A importância do trigo para a sustentabilidade da agricultura brasileira. **Embrapa**, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/23416523/artigo---a-importancia-dotrigoparaasustentabilidadedaagriculturabrasileira>. Acesso em: 20 ago. 2025.

RASMUSSEN, I. S.; DRESBOLL, D. B.; THORUP-KRISTENSEN, K. Winter wheat cultivars and nitrogen (N) fertilization — Effects on root growth, N uptake efficiency and N use efficiency. **European Journal of Agronomy**, v. 68, p. 38-49, 2015. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1161030115000507?via%3Dihub>. Acesso em: 28 set. 2025.

RISSINI, A. L. L.; KAWAKAMI, J.; GENÚ, A. M. Índice de vegetação por diferença normalizada e produtividade de cultivares de trigo submetidas a doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 6, p. 1703-1713, 2015.

SALAPATA, M. C. **Resposta de cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.) a diferentes manejos de nitrogênio.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos, Dois Vizinhos, 2018. Disponível em: https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/10666/1/DV_COAGR_2018_1_16.pdf. Acesso em: 26 set. 2025.

SANTOS, F. A. **Desenvolvimento de genótipos de trigo em soluções nutritivas com alta e baixa concentração de N.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Campus Sertão, Sertão, 2019. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1134942/1/TCC-Final-Avaliacao-de-genotipos-de-trigo-em-solucao-nutritiva-sobre-o-sistema-radicular-da-planta-2019.pdf>. Acesso: 28 set. 2025.

SECRETARIA MUNICIPAL DE INDÚSTRIA, COMÉRCIO E TURISMO. **Inventário Turístico de Boa Ventura de São Roque – PR.** Boa Ventura de São Roque, 2024.

SERGIEIEVA, K. **NDVI explicado: como o índice ajuda a monitorar a saúde das lavouras.** EOS Data Analytics (EOSDA), 22 mai. 2025 (atualizado em 7 jul. 2025). Disponível em: <<https://eos.com/pt/blog/indice-de-vegetacao-por-diferenca-normalizada-ou-ndvi/>>. Acesso em: 23 ago. 2025.

SOUZA, W. P., *et al.* Desenvolvimento inicial de trigo sob doses de nitrogênio em solo do Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 10, p. 703–709, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/GWZvcjHVHKLQ7YfSfVX8Hdv/>. Acesso em: 25 set. 2025.

DA SILVA, M. H., *et al.* A relação do nitrogênio com o desenvolvimento das plantas e suas formas de disponibilidade. **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218**, v. 5, n. 1, p. e514762-e514762, 2024.

TURRA, M. A. Manejo do nitrogênio em cultivares de trigo baseado no índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). 2016. 90 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Porto Alegre, 2016. Disponível: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/172090/001058376.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 24 ago. 2025.