

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA E ZOOTECNIA**  
**Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical**

**ATIVIDADE DA ENZIMA NITRATO REDUTASE E FORMAS DE NITROGÊNIO NO  
CULTIVO DE TRIGO EM COMBINAÇÕES DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO**

**JULIANA TEREZINHA SASSO PALUDO**

CUIABÁ-MT

2023

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA E ZOOTECNIA**  
**Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical**

**ATIVIDADE DA ENZIMA NITRATO REDUTASE E FORMAS DE NITROGÊNIO NO  
CULTIVO DE TRIGO EM COMBINAÇÕES DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO**

**JULIANA TEREZINHA SASSO PALUDO**  
Engenheira Agrícola e Ambiental  
Licenciatura em Matemática

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. EDNA MARIA BONFIM-SILVA

Tese apresentada à Faculdade de Agronomia e Zootecnia da Universidade Federal de Mato Grosso, como requisito para obtenção do título de Doutora em Agricultura Tropical.

CUIABÁ-MT  
2023

### Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

P184a Paludo, Juliana Terezinha Sasso Paludo.  
ATIVIDADE DA ENZIMA NITRATO REDUTASE E FORMAS DE  
NITROGÊNIO NO CULTIVO DE TRIGO EM COMBINAÇÕES DE  
NITROGÊNIO E POTÁSSIO [recurso eletrônico] / Juliana Terezinha Sasso  
Paludo Paludo. – Dados eletrônicos (1 arquivo : 106 f., il. color., pdf). – 2023.

Orientadora: Edna Maria Bonfim-Silva Bonfim-Silva.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de  
Agronomia e Medicina Veterinária, Programa de Pós-Graduação em Agricultura  
Tropical, Cuiabá, 2023.

Modo de acesso: World Wide Web: <https://ri.ufmt.br>.

Inclui bibliografia.

1. *Triticum aestivum*. 2. atividade enzimática. 3. interação N-K. 4. adubação  
nitrogenada. 5. adubação potássica. I. Bonfim-Silva, Edna Maria Bonfim-Silva,  
*orientador*. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL**

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO:** ATIVIDADE DA ENZIMA NITRATO REDUTASE E FORMAS DE NITROGÊNIO NO CULTIVO DE TRIGO ADUBADO COM NITROGÊNIO E POTÁSSIO

**AUTORA:** DOUTORANDA JULIANA TEREZINHA SASSO PALUDO

Tese defendida e aprovada em 24 de **FEVEREIRO** de 2023.

**COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA**

1. DRA EDNA MARIA BONFIM DA SILVA (PRESIDENTE BANCA / ORIENTADORA)
2. DR TONNY JOSÉ DE ARAÚJO DA SILVA (MEMBRO INTERNO)
3. DR CARLOS CANEPPELE (MEMBRO INTERNO)
4. DR WILLIAM FENNER (MEMBRO EXTERNO)
5. DR JOÃO ANGELO SILVA NUNES (MEMBRO EXTERNO)

**CUIABÁ, 24/02/2023.**



Documento assinado eletronicamente por **João Angelo Silva Nunes**, **Usuário Externo**, em 01/03/2023, às 18:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **William Fenner**, **Usuário Externo**, em 02/03/2023, às 12:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **EDNA MARIA BONFIM DA SILVA**, **Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 05/03/2023, às 20:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **CARLOS CANEPPELE**, **Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 07/03/2023, às 16:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **TONNY JOSE ARAUJO DA SILVA**, **Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 08/03/2023, às 17:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

***Digo-lhes verdadeiramente que, se o grão de trigo não cair na terra e não morrer, continuará ele só. Mas se morrer, dará muito fruto. João 12:24***

**OFEREÇO**

*Aos disléxicos como eu....*

**DEDICO**

*Aos meus filhos Marco Antônio Sasso Paludo,  
Joaquim Augusto Sasso Paludo e à estrelinha (...) com  
todo meu amor!*

## AGRADECIMENTOS

*A Deus, pela benção da vida, por me iluminar e me conduzir até esse momento com força e sabedoria.*

*Ao meu Anjo da Guarda por todas as bênçãos concebidas durante toda minha vida, protegendo e guiando-me para os melhores caminhos.*

*Aos meus amados pais Terezinha Ana e Santo Agostinho Sasso pela Vida, por estarem incondicionalmente presentes nesta caminhada.*

*Aos meus antepassados, especialmente as minhas avós Maria Bochi Fanta e Santina Rosina Pelisser Sasso, que partiram no início dessa jornada, duas mulheres fortes, que me ensinaram amar tudo o que vem da terra.*

*Ao meu esposo Valdanês, pela paciência, amor, companheirismo e compreensão durante essa trajetória.*

*Aos meus filhos Marco Antônio e Joaquim Augusto pelos incontáveis incentivos diários “mãe, mãe, oh mãe.....”.*

*A(o) filha(o) Estrelinha, mesmo que nossa ligação física aqui na Terra tenha sido de algumas semanas de gestação, nossas almas sempre estarão ligadas. Mamãe te ama por você ter feito parte desse projeto.*

*À minha orientadora Prof<sup>a</sup> Dra Edna Maria Bonfim da Silva, pela orientação, paciência, compreensão, experiência e ensinamentos durante meu trajeto acadêmico, obrigada!*

*Aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical da Universidade Federal de Mato Grosso pelo convívio e ensinamentos.*

*À minha amiga e comadre Edna, pelos inúmeras “isso vai passar”, “tudo ficará bem”, “seja otimista” por ter segurado a minha mão e a minha alma nos momentos de aflição.*

*A minha banca de qualificação e defesa, os professores Dr. Tonny José de Araújo da Silva, Dr. Carlos Caneppele, Dr. Willian Fenner e João Ângelo Silva Nunes.*

*Aos colegas Dioni, Maria, Jhonatan, Mayco, Mayra, Amoresi, Sergio e de maneira especial Wily Cristiany Mendes de Oliveira pelos inúmeros favores, obrigada por toda ajuda, ensinamentos compartilhados e momentos de distração presenciais e online que pudemos viver. Sem vocês tudo seria mais complicado.*

*Meu agradecimento muito especial a Júlio, Werlem, Luana, Niclene, Alisson, João Ângelo, Patrícia e Alexsandro pela imensa e valiosa ajuda prestada durante a condução do experimento.*

*A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) pela concessão da bolsa.*

*A Universidade Federal de Rondonópolis, especialmente o Programa de Pós-Graduação em Engenharia agrícola.*

*A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, meus sinceros e gratos agradecimentos.*

**OBRIGADA!**

## ATIVIDADE DA ENZIMA NITRATO REDUTASE E FORMAS DE NITROGÊNIO NO CULTIVO DE TRIGO EM COMBINAÇÕES DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO

**RESUMO** - O trigo é um dos alimentos garantidores da segurança alimentar mundial, sendo cultivado a milênios e adaptado a diferentes condições ambientais, de modo que o manejo adequado da adubação é um dos principais fatores para o aumento de produtividade e qualidade dos grãos. Sendo assim, objetivou-se avaliar a atividade da enzima nitrato redutase, as características produtivas, estruturais e morfológicas do trigo BRS 394, cultivado com combinações de doses de nitrogênio e potássio em solo de Cerrado Mato-grossense em condições de casa de vegetação, utilizando Latossolo Vermelho coletado em área agrícola remanescente cultivada com trigo por 6 anos consecutivos. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 5x5 fracionado, correspondendo a cinco doses de nitrogênio (0, 70, 140, 210 e 280 mg dm<sup>-3</sup>) e cinco doses de potássio (0, 50, 100, 150 e 200 mg dm<sup>-3</sup>), com quatro repetições. O experimento foi coletado aos 80 dias após a semeadura. As variáveis analisadas foram as características fitométricas, nutricionais, componentes produtivas, biomassa, atividade da enzima nitrato redutase e as formas de nitrogênio no solo. Os dados foram submetidos à análise de variância e quando significativo, à análise de regressão a 5% de probabilidade de erro usando o software R e MINITAB. A atividade da enzima nitrato redutase foi influenciada apenas pelas doses de nitrogênio, sendo a dose 95 mg dm<sup>-3</sup> de nitrogênio a que proporcionou o melhor resultado para a atividade enzimática. A aplicação de doses de nitrogênio entre 152,67 e 163,53 mg dm<sup>-3</sup> e a dose 191,50 mg dm<sup>-3</sup> de potássio, proporcionaram as melhores respostas para o índice de SPAD da cultura do trigo cultivar BRS 394. A massa seca da parte aérea, a concentração de nitrogênio e o teor de proteína nas folhas, foram influenciadas apenas pelas doses de nitrogênio que promoveram incremento de 39,26%, 66,18% e 67,32% respectivamente, entre a menor e maior dose. O aumento das doses de nitrogênio influenciou positivamente as concentrações de nitrato e amônio no solo, assim como as características produtivas da cultura do trigo, com exceção para massa de 100 grãos.

**Palavras-chave:** *Triticum aestivum*, atividade enzimática, interação N-K, adubação nitrogenada, adubação potássica.

## NITRATE REDUCTASE ENZYME ACTIVITY AND NITROGEN FORMS IN WHEAT GROWING IN NITROGEN AND POTASSIUM COMBINATIONS

**ABSTRACT** - Wheat is one of the foods that guarantee world food security, being cultivated for millennia and adapted to different environmental conditions, so that proper fertilization management is one of the main factors for increasing productivity and grain quality. Thus, the objective was to evaluate the activity of the enzyme nitrate reductase, the productive, structural and morphological characteristics of BRS 394 wheat, cultivated with combinations of nitrogen and potassium doses in Cerrado Matogrossense soil under greenhouse conditions, using Red Latosol collected in a remaining agricultural area cultivated with wheat for 6 consecutive years. A randomized block design was used in a 5x5 factorial scheme, corresponding to five doses of nitrogen (0, 70, 140, 210 and 280 mg dm<sup>-3</sup>) and five doses of potassium (0, 50, 100, 150 and 200 mg dm<sup>-3</sup>), with four repetitions. The experiment was collected 80 days after sowing. The analyzed variables were phytometric and nutritional characteristics, productive components, biomass, nitrate reductase enzyme activity and forms of nitrogen in the soil. Data were submitted to analysis of variance and, when significant, to regression analysis at 5% probability of error using R and MINITAB software. The activity of the nitrate reductase enzyme was influenced only by the doses of nitrogen, with the dose of 95 mg dm<sup>-3</sup> of nitrogen providing the best result for the enzymatic activity. The application of nitrogen doses between 152.67 and 163.53 mg dm<sup>-3</sup> and potassium dose 191.50 mg dm<sup>-3</sup> provided the best responses for the SPAD index of the wheat cultivar BRS 394. Dry mass of the aerial part, the nitrogen concentration and the protein content in the leaves, were influenced only by the doses of nitrogen that promoted increment of 39.26%, 66.18% and 67.32% respectively, between the lowest and highest dose. The increase in nitrogen doses positively influenced the concentrations of nitrate and ammonium in the soil, as well as the productive characteristics of the wheat crop, with the exception of the mass of 100 grains.

**Keywords:** *Triticum aestivum*, enzymatic activity, N-K interaction, nitrogen fertilization, potassium fertilization.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estágios de desenvolvimento do trigo conforme a escala de Zadoks (1974), no eixo x, representa os dias após a semeadura.....	20
Figura 2 - Variação de temperatura (A) e umidade relativa do ar (B) em casa de vegetação, no período de 20/05/2020 a 08/08/2020.....	41
Figura 3 - Altura das plantas de trigo aos 15 dias após a semeadura (DAE).....	45
Figura 4 - Leitura do índice de clorofila nas folhas de trigo aos 30 dias após a semeadura (DAE).....	46
Figura 5 - Coleta da folhas diagnósticas (+1 e +2) aos 30 dias após a semeadura (A); corte de segmento das folhas (B); fazendo vácuo na seringa contendo o material vegetal imerso na solução de incubação (C); incubando por 45 minutos no escuro (D); adicionando 1m.....	48
Figura 6 - Altura de plantas aos 15 (A), 30 (B) e 45 (C) dias após a emergência das plantas da cultivar de trigo BRS 394 em função das doses de nitrogênio e potássio.....	51
Figura 7 - Número de folhas aos 15 (A), 30 (B) e 45 (C) dias após a emergência das plantas de trigo BRS 394 em função das doses de nitrogênio e potássio.....	53
Figura 8 - Número de perfilhos aos 15 (A), 30 (B) e 45 (C) dias após a emergência do trigo BRS 394 em função das doses de nitrogênio. ....	55
Figura 9 - Índice SPAD aos 15 (A), 30 (B) e 45 (C) dias após a emergência das plantas da cultivar de trigo BRS 394 em função das doses de nitrogênio e potássio.....	58
Figura 10 - Atividade da enzima redutase do nitrato em função das doses de nitrogênio nas folhas de trigo BRS 394.....	59
Figura 11 - Concentração de nitrogênio nas folhas de trigo BRS 394 em função das doses de nitrogênio.....	61
Figura 12 - Proteína nas folhas de trigo da cultivar BRS 394 em função das doses de nitrogênio.....	63

Figura 13 - Relação N:K nas folhas de trigo BRS 394 em função das doses de nitrogênio.....	65
Figura 14 - Concentração de nitrogênio nos grãos de trigo BRS 394 em função das doses de nitrogênio.....	66
Figura 15 - Concentração de potássio nos grãos de trigo BRS 394 em função das doses de nitrogênio.....	67
Figura 16 - Teor de proteínas nos grãos de trigo BRS 394 em função das doses de nitrogênio.....	68
Figura 17 - Relação de N:K nos grãos de trigo BRS 394 em função das doses de nitrogênio.....	69
Figura 18 - Número de espigas de trigo BRS 394 em função das doses de nitrogênio.....	71
Figura 19 - Número de grãos da cultivar de trigo BRS em função das doses de nitrogênio.....	72
Figura 20 - Massa de 100 grãos da cultivar de trigo BRS 394 em função das doses de nitrogênio.....	74
Figura 21 - Volume de 100 grãos de trigo BRS 394 nas combinações de doses de nitrogênio e potássio.....	75
Figura 22 - Massa seca de caule da cultivar de trigo BRS 394 em função das doses de nitrogênio e potássio.....	76
Figura 23 – Massa seca de espiga (A) Espigas de trigo BRS 394 (B) sob as doses de nitrogênio e potássio.....	77
Figura 24 - Volume de raiz da cultivar de trigo BRS 394 em função das doses de nitrogênio.....	78
Figura 25 - Raízes de trigo BRS 394 cultivado sob as doses de nitrogênio e potássio.....	79

Figura 26 - Teores de potássio no solo .....80

Figura 27 - Teores de cálcio (A), magnésio(B), alumínio(C), soma de bases(D) e M%(E) no solo.....81

Figura 28 – Concentração de nitrato (A) e amônio (B) da amostragem de solo cultivado com trigo BRS 394 em função das doses de nitrogênio.....813

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização química e granulométrica do Latossolo Vermelho coletado na camada de 0-20 m de profundidade (Rondonópolis-MT, 2020). .....	42
Tabela 2 - Níveis dos fatores nitrogênio e potássio na escala original e codificada, considerados na superfície de resposta em um delineamento composto central modificado. ....	43

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	14
2 REVISÃO DA LITERATURA .....	16
2.1 O TRIGO .....	16
2.1.1 Histórico, Importância Econômica, Morfologia e características industriais .....	16
2.1.2 O trigo no Brasil.....	21
2.1.3 Cultivar BRS 394.....	24
2.2 ADUBAÇÃO NITROGENADA .....	26
2.3 ADUBAÇÃO POTÁSSICA.....	30
2.4 INTERAÇÃO DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO NA CULTURA DO TRIGO.....	33
2.5 A ENZIMA NITRATO REDUTASE .....	35
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	40
3.1 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA E CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL .....	40
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO .....	41
3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL .....	42
3.4 ADUBAÇÃO .....	44
3.5 CULTIVAR.....	44
3.6 VARIÁVEIS AVALIADAS.....	45
3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	49
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
4.1 ALTURA DE PLANTAS .....	50
4.2 NÚMERO DE FOLHAS .....	52
4.3 NÚMERO DE PERFILHOS .....	54
4.4 ÍNDICE DE CLOROFILA (SPAD).....	56
4.5 NITRATO REDUTASE NAS FOLHAS.....	59
4.6 CONCENTRAÇÃO DE NITROGÊNIO NAS FOLHAS.....	61
4.7 CONCENTRAÇÃO DE POTÁSSIO NAS FOLHAS .....	62
4.8 TEOR DE PROTEÍNA NAS FOLHAS.....	63
4.9 RELAÇÃO NITRÔGENIO E POTÁSSIO NAS FOLHAS .....	64
4.10 CONCENTRAÇÃO DE NITROGÊNIO NOS GRÃOS.....	65
4.11 CONCENTRAÇÃO DE POTÁSSIO NOS GRÃOS .....	67
4.12 TEOR DE PROTEÍNA NOS GRÃOS .....	68
4.13 RELAÇÃO NITROGÊNIO E POTÁSSIO NOS GRÃOS .....	69

4.14 NÚMERO DE ESPIGAS.....	70
4.15 NÚMERO DE GRÃOS POR ESPIGAS .....	71
4.16 MASSA DE 100 GRÃOS .....	73
4.17 MASSA SECA DE CAULE .....	75
4.19 MASSA SECA DE ESPIGAS .....	76
4.20 VOLUME DE RAIZ .....	78
4.21 PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO .....	80
4.22 CONCENTRAÇÃO DE NITRATO E AMÔNIO NO SOLO .....	82
5. CONCLUSÃO.....	86
Referências Bibliográficas.....	87

## 1 INTRODUÇÃO

O maior desafio do setor agrícola nas próximas décadas será aumentar a produção de alimentos (VIEIRA, 2017). Para isso ocorrer, o manejo adequado dos fertilizantes terá um papel fundamental, visto que o uso consciente é importante para todos os seres vivos, para que os ecossistemas sejam preservados e a humanidade alimentada.

O Brasil se destaca como grande consumidor de trigo e seus derivados, no entanto, sua produção não supre a demanda nacional (CONAB, 2022). O aumento do consumo impulsionou a expansão das áreas de produção nos solos de Cerrado, que possui expressivo potencial produtivo, por características edafoclimáticas favoráveis (TEIXEIRA FILHO et al., 2007), proporcionando a produção de grãos de excelente qualidade para a indústria (GUEDES et al., 2021).

A triticultura vem ganhando espaço na região Centro Oeste do país como mostra as projeções da CONAB (2022). As maiores produções na região estão estimadas para o Estado de Goiás, com 174,5 mil toneladas e Mato Grosso do Sul, com 73,9 mil toneladas. O Mato Grosso ainda não aparece nos dados oficiais, porém, em áreas de pesquisa, foi alcançada a produtividade de 4.189 kg há<sup>-1</sup> em sistema de cultivo irrigado irrigação (CASTAÑON, 2019). O desenvolvimento da cadeia produtiva do trigo do Estado tem despertado o interesse dos produtores pela cultura.

O trigo é usado de diversas formas, desde a farinha para a panificação, no farelo para alimentação animal, além do gérmen aproveitado na indústria farmacêutica para a fabricação de óleos e dietéticos (CALDEIRA et al., 2003). No Brasil o trigo tem sido tratado oficialmente como um alimento estratégico quanto ao aspecto de segurança alimentar (BIOTRIGO, 2017).

A utilização de fertilizantes na agricultura é um dos principais fatores que possibilita o aumento da produção alimentar global. Sem a sua aplicação no solo, seria possível produzir somente metade dos alimentos básicos e mais áreas teriam que ser convertidas em áreas de cultivo (REETZ, 2017). O estabelecimento de práticas de manejo que aprimorem os efeitos dos insumos aplicados, especialmente fertilizantes, pode contribuir para aumentar a produtividade nas lavouras de trigo e reduzir o custo produtivo. As plantas de trigo demandam elevada quantidade de macronutrientes, principalmente nitrogênio e potássio (PAULETTI, 1998; FOLONI et al., 2009).

O potássio e o nitrogênio são os nutrientes absorvidos em maiores quantidades por quase todas as plantas, e suas interações são do tipo não competitiva, o que pode explicar a redução na concentração de potássio com o aumento das doses de nitrogênio nas folhas diagnósticas (CANTARELLA, 2007). A adubação mineral exerce grande influência no processo de crescimento e produtividade da maioria das plantas cultivadas e otimizar seu uso é necessário para se obter o maior rendimento com o menor custo possível (SILVA et al., 2000).

A quantidade de nitrogênio nos tecidos de uma planta determina seu crescimento. Plantas que se desenvolvem em condições adequadas de nitrogênio têm maiores concentrações internas de nitrogênio e uma maior taxa de crescimento relativo (PILBEAM, 2018).

A maioria das plantas absorve o nitrogênio na forma de nitrato. Porém, para ser utilizado, precisa ser reduzido a amônio, e então incorporado como composto orgânico. A conversão do nitrato a amônio, ocorre em várias etapas, sendo uma delas a redução do nitrato a nitrito pela enzima redutase do nitrato.

As atividades de nitrato redutase, nitrito redutase, glutamina sintetase, glutamato sintase e glutamato desidrogenase aumentaram à medida que a taxa de nitrogênio aumentou, resultando em um aumento no conteúdo de proteínas e aminoácidos em todos os genótipos de trigo. A quantidade de nitrogênio e clorofila nas folhas diminuiu à medida que as folhas cresceram (KAUR et al., 2017).

O nitrato é a principal fonte de nitrogênio para a planta de trigo, em que a atividade da nitrato redutase é o limitante da taxa e, portanto, a síntese de proteínas depende principalmente da sua atividade. Em todas as fases de crescimento, a atividade da nitrato redutase mostra ter uma relação forte e positiva com a proteína do grão (SATHEE et al., 2019).

Na região do Cerrado, em que a cultura do trigo está em fase de expansão, a atividade da enzima redutase do nitrato poderia servir como uma ferramenta complementar no diagnóstico do estado nutricional da planta, auxiliando na recomendação de fertilizantes potássicos e nitrogenados.

Neste contexto, objetivou-se avaliar a atividade da enzima nitrato redutase, as características produtivas, estruturais e morfológicas do trigo BRS 394, cultivado com combinações de doses de nitrogênio e potássio na adubação no Cerrado Mato-grossense em condições de casa de vegetação.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 O TRIGO

#### 2.1.1 Histórico, Importância Econômica, Morfologia e características industriais

O trigo é uma monocotiledônea pertencente à família *Poaceae*, apresenta estrutura herbácea, anual, caule do tipo colmo e sua altura varia de acordo com o genótipo e com o ambiente (GREGORY, 2008; SCHEEREN et al., 2015). O trigo é uma planta anual, hermafrodita, autógama, sendo uma das culturas de maior expansão mundial. É um cereal amiláceo, presente na alimentação humana desde os primórdios da civilização. Inicialmente, os seus grãos eram triturados com pedaços de rochas, misturados com peixes e frutas e consumidos como uma espécie de papa (ABITRIGO, 2022).

Aproximadamente 18 mil anos atrás, com o fim da última Era Glacial, houve favorecimento da multiplicação do trigo, pois, como as sementinhas eram ralas e pequenas, o vento conseguia espalhá-las. Os nômades, que viviam em bandos, perceberam que os animais se alimentavam dela e, assim, passaram a coletar os grãos silvestres e carregavam a seus acampamentos temporários, passando a fazer parte da alimentação dos mesmos, pois começaram a colocar as sementes na carne, o que suavizava o sabor (JACOB, 2003) e, desse modo, o trigo começa a construir uma história chegando até a atualidade como um dos principais alimentos da humanidade.

Por volta de 4000 a.C., os egípcios desenvolveram o forno fechado e modelos primários de pedras moedoras e, assim, sua utilização muda a história do pão. Enquanto, até aqui, outros povos coziam os grãos de trigos em caldos ou os tostavam no fogo ou em pedras aquecidas, o povo do Egito descobriu que se o grão moído ficasse algum tempo num espaço quente, formava uma espécie de levedura que, aplicada novamente a essa farinha, a fazia crescer, tornando-a fofa e bastante agradável ao paladar (JACOB, 2003; RAWLS, 2012).

O pão é considerado um dos primeiros alimentos feitos seguidos de matéria-prima natural realizados pelas mãos humanas. Grande parte das culturas antigas do Oriente Médio os representaram nas escrituras e o veneravam como um alimento

santo (BERTONI, 2021). O livro sagrado (Bíblia) menciona o pão no antigo e novo testamento e, para os cristãos, o pão é símbolo do corpo de cristo (ZILLES, 2006).

O trigo é utilizado na alimentação humana (farinha, macarrão, biscoitos, bolos, pães, dentre outros), na elaboração de produtos não alimentícios (misturas adesivas, colas, misturas para impressão, agentes surfactantes, embalagens solúveis ou comestíveis, álcool, antibióticos, vitaminas, fármacos, cosméticos, etc.), bem como na alimentação animal na forma de forragem, de grão ou na composição de rações (MACIEL et al., 2014; SENGER, 2017).

Entre os cereais mais cultivados e produzidos no mundo, o trigo ocupa a terceira posição, precedido pelo milho e pelo arroz (STEMPKOWSKI et al., 2022). Os principais produtores mundiais do cereal são: China, Índia, Rússia, Estados Unidos da América e Canadá. Mundialmente, a área cultivada corresponde aproximadamente a 216,5 milhões de hectares e a produção foi de 773,4 milhões de toneladas. Países como Egito, Indonésia, Argélia, Japão e o Brasil são os maiores importadores mundiais desse cereal (USDA, 2021).

O trigo é do gênero *Triticum* com cerca de 30 tipos diferenciados geneticamente, e apenas três são produzidos para comercialização, sendo eles o *T. aestivum*, o *T. turgidum durum* e o *T. compactum*. O *T. durum* é utilizado na produção de macarrão e outras massas, mas não é produzido no Brasil, em virtude da exigência de condições edafoclimáticas extremamente específicas (CAFÉ, 2003). O *T. compactum* contém baixo teor de glúten, sendo produzido em pequena proporção que é utilizada para fabricação de biscoitos suaves, enquanto o *T. aestivum* é responsável aproximadamente por 80% da produção mundial, por ser adequado à panificação (ABITRIGO, 2017).

O trigo é o único grão que se pode extrair diferentes tipos de farinha, podendo formar massas consistentes, coesas, elásticas e expansíveis. Isso se deve ao fato do trigo ser um cereal que contém glúten, uma rede proteica formada pela gliadina e pela glutenina, em quantidade e qualidade suficientes para obter elasticidade e extensibilidade às massas. As variedades de trigo diferem entre si, principalmente, em termos de resistência do grão, potencial de extração da farinha, teor de proteína, pelas características do glúten, pela capacidade de absorção de água e pela atividade enzimática (PEREIRA, 2002).

O glúten é formado quando a farinha de trigo é misturada à água e sofre a ação de um trabalho mecânico. À medida que a água começa a interagir com as proteínas insolúveis da farinha de trigo (glutenina e gliadina) a rede de glúten começa a ser formada. Sendo assim, o glúten é formado pela interação entre moléculas de gliadina e glutenina que ao se hidratarem formam uma rede (PIZZINATO, 1999).

O trigo é uma das principais fontes energéticas e de maior relevância na dieta alimentar, fornecendo cerca de 20% de calorias e proteínas, bem como de vitaminas e outros compostos benéficos requeridos (HAWKESFORD et al., 2013). No geral, aproximadamente 35% da população mundial depende regularmente do trigo para sua alimentação (TORRES et al, 2009). O cereal ocupa papel de destaque, pois nenhum outro alimento pode substituir integralmente a farinha de trigo na produção de biscoitos, pães, massas e bolos (EMBRAPA, 2019), sua presença na dieta está associada à segurança alimentar (MITTELMANN et al., 2000) e nutricional (HAWKESFORD et al., 2013).

O trigo é uma cultura que se difundiu pelo mundo e ocupa 17% da terra cultivável do mundo (RIBEIRO JÚNIOR et al., 2015), sendo cultivado em regiões árticas e úmidas, bem como em terras tropicais desde o nível do mar até 4500m de altitude. As condições de cultivos se diferem em função das condições climáticas e altitudes, mas também devido a variabilidade dos tipos de solos e culturas (STEDUTO et al., 2012).

Segundo Roscoe et al. (2009), a produção competitiva e sustentável de trigo no Brasil depende, fundamentalmente, do conhecimento de aspectos relacionados à própria planta de trigo (crescimento e desenvolvimento), das peculiaridades da região onde o trigo será cultivado (clima e solo, por exemplo) e das práticas de manejo adequadas para a cultura em cada situação de produção.

Durante o processo de desenvolvimento do trigo ocorrem mudanças morfológicas específicas na planta, podendo ser classificadas pelo número de nós, folhas, ramificações, flores e grãos. Essas alterações fisiológicas fazem com que ocorram modificações externas e internas durante o ciclo de produção (ALVARENGA, 2021). Essas modificações iniciam a partir da semente que, quando em condições ideais no solo, começam a emergir a radícula e o coleótilo, para assim surgir a primeira folha na superfície do solo, iniciando o período vegetativo da planta, sendo

que o nó de perfilhamento já se forma abaixo da superfície do solo (SANTOS et al., 2014).

O ciclo da cultura geralmente é dividido em três fases, sendo a vegetativa, reprodutiva e de maturação, e esse desenvolvimento da planta é identificado com alterações morfológicas em sua estrutura (HUNT et al., 2018). Em cada uma delas, estádios específicos determinam acontecimentos importantes na formação do rendimento final da cultura, tanto sob o ponto de vista da quantidade produzida quanto das características de qualidade tecnológica (CUNHA, 2016).

A fase vegetativa tem seu início na semeadura até ao início do espigamento e pode dividir-se nas seguintes fases: germinação e emergência (SAMPAIO, 1990). A germinação ocorre entre 4 e 37°C, mas a faixa ótima de temperatura está situada entre 20 e 25°C. O teor de umidade mínima para ocorrer a germinação das sementes de trigo é de 35% a 45% da massa seca da semente, e nessas condições as sementes absorvem água, assim aumentam o tamanho e a massa (CASTRO et al., 2008).

Na fase de enchimento de grãos e maturação, ocorre a translocação e acúmulo de matéria seca, com a formação do endosperma, passando pela fase de grão leitoso, pastoso, duro e maduro. A maturação fisiológica da planta ocorre de forma simultânea ao processo de deposição de reservas ou matéria seca no grão, sendo que ambos os processos de duração são igualitários. Em geral, a duração do estágio de maturação é determinada por fatores genéticos; contudo as taxas de desenvolvimento relacionadas com fatores ambientais (por ex. temperatura e fotoperíodo) são independentes neste processo (DE MORI et al., 2016).

A fase de reprodução começa com a iniciação floral, quando ocorre a diferenciação dos primórdios de espiguetas na parte central da espiga até o aparecimento da última espiguetas na ponta da espiga. A fase de enchimento de grãos inicia com a antese, fecundação das flores e termina com a maturação fisiológica da planta (DE MORI et al., 2016).

A escala definida por Zadoks (1974) descreve o estágio da planta de forma mais detalhada, dividida em 10 etapas, na qual cada uma delas é subdividida em mais 10 etapas, e, devido a este detalhamento do ciclo, ele é mais utilizado para pesquisa (Figura 01) (SCHEEREN et al., 2015; BECHE et al., 2018). De forma geral, a fenologia do trigo é dividida em germinação/crescimento da plântula, afilhamento, alongamento, espigamento e a maturação (ZADOKS et al., 1974).

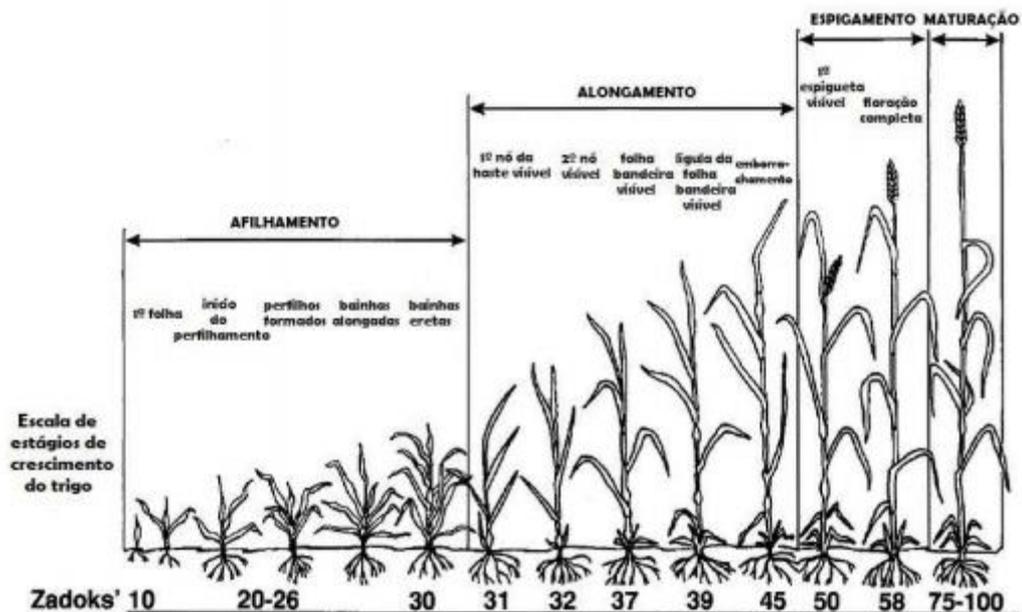


Figura 1 - Estágios de desenvolvimento do trigo conforme a escala de Zadoks (1974), no eixo x, representa os dias após a semeadura.

O pleno desenvolvimento vegetal é favorecido com temperaturas médias em torno de 20°C, com a emergência da primeira folha, e a planta começa a desenvolver e expandir as demais folhas, podendo chegar até nove folhas - esta variação é dependente da resposta do material genético contido na cultivar frente às condições do ambiente (SANTOS et al., 2014; SCHEEREN et al., 2015; ARF, 2017).

As diferentes condições climáticas encontradas nas regiões de cultivo de trigo ocorrem em função das variações das coordenadas geográficas como altitude, latitude e longitude. Essa variação ambiental apresenta forte influência sobre as respostas fisiológicas da cultura do trigo (MONTEIRO, 2009).

Mudanças climáticas podem ocasionar declínios da produção em países produtores de trigo (LOBELL et al., 2011). Por ser uma espécie de clima temperado, pode sofrer estresses em regiões com altas temperaturas (ASSENNG et al., 2017; MISHRA et al., 2017), e, por possuir metabolismo do tipo C3, as altas temperaturas exercem efeitos deletérios, especialmente na fase de enchimentos de grãos (TAIZ et al., 2017). Geadas também podem alterar significativamente a produção, principalmente quando o trigo se encontra no estágio inicial de desenvolvimento ou durante o florescimento (MANOSSO, 2005). A temperatura ideal para o trigo é de aproximadamente 20°C (SCHEEREN et al., 2015).

Devido às características da cultura do trigo quanto às condições ambientais, no Brasil, tem-se realizado estudos visando o melhoramento genético e, conseqüentemente, a implantação da cultura em regiões de clima tropical, como o Centro-Oeste brasileiro. A época de semeadura é um dos componentes que afetam o rendimento da cultura do trigo na região do Centro-Oeste, em razão dos riscos de falta de disponibilidade hídrica no período de outono-inverno (SILVA et al., 2022).

### **2.1.2 O trigo no Brasil**

Documentos históricos, como o livro escrito por Gomes Carmo em 1911, citam manuscritos existentes na biblioteca de Evora, que, juntamente com os escritos de Frei Cardim (1584), Frei Vicente do Salvador (1627) e Frei Gaspar Madre Deus (1797), entre outros, registram, nos primórdios da colonização do país, que o cultivo de trigo nas terras de São Paulo já acontecia no século XVI. Na maioria das literaturas disponíveis consta que o trigo chegou ao Brasil no ano de 1534 trazido entre outras espécies de semente por Martin Afonso de Souza, o qual desembarcou na capitania de São Vicente, onde atualmente é a região sudoeste do Brasil (CUNHA, 1999).

Em 1737, a cultura foi introduzida no Estado do Rio Grande do Sul por colonos portugueses da Ilha dos Açores e adquiriu expressão nas duas décadas iniciais do século XVIII. Contudo, em 1822, o trigo praticamente deixou de existir como cultivo econômico devido ao aparecimento da ferrugem, uma doença foliar. No início do século XX reapareceu e o cultivo ganhou expressividade com incentivos do governo para a semeadura e pesquisa, sendo que a partir de 1940 a triticultura começou em moldes empresariais (CAMPONOGARA et al., 2015).

No ano de 1822 ocorreram os primeiros relatos de cultivos de trigo na região de Cerrado, em Minas Gerais (RIBEIRO JÚNIOR et al., 2007). O primeiro auge da cultura na região central do Brasil foi nas décadas de 1940 e 1950 com o cultivo em terras férteis e várzeas nos Estados de Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso. Entretanto, dificuldades de cultivo devido ao pouco conhecimento do manejo do solo, além de hábitos alimentares diversos e a facilidade de retorno econômico de outros cultivos, resultaram no abandono do cultivo de trigo e a descontinuidade das pesquisas (SILVA et al., 1976; SILVA et al., 1981; CHAGAS et al., 2020).

Em 1952, o então presidente brasileiro impulsionou a mecanização no Brasil. Assim, foi criado o “Plantar Trigo”, um projeto que visava à autossuficiência de trigo no país e impulsionou a agricultura brasileira. A partir desse fato, os agricultores passaram a importar tratores e máquinas agrícolas em grande quantidade (KNACK, 2016). Nas duas décadas seguintes o trigo se expandiu para as áreas de solos mais férteis do Norte e Oeste do Paraná (CUNHA, 2016).

Em 1974 foi criada a Embrapa Trigo, na cidade de Passo Fundo - RS, com a missão de viabilizar soluções de pesquisa, desenvolvimento e inovação na cadeia produtiva do trigo e de outros cereais de inverno para a competitividade e sustentabilidade da agricultura em benefício da sociedade brasileira (EMBRAPA, 2020).

Durante a década de 1980 a triticultura brasileira passa a sofrer um grande golpe com a diminuição do crédito, com financiamentos muito abaixo do necessário para implantação e comercialização das lavouras. Dessa forma, a cultura do milho, devido a necessidade de atender à crescente demanda por alimentos, como carne de aves e suínos do mercado externo, passa a ocupar parte das áreas que antes eram ocupadas com o trigo (BENETTI, 1985; FARIAS et al., 2016).

No ano de 1985 são registrados os primeiros surtos de brusone do trigo no Brasil, com prejuízos significativos nas regiões Norte e Oeste do Paraná, assim como Noroeste de São Paulo e Sul do Mato Grosso do Sul e, no ano seguinte, a doença atinge proporções epidêmicas, com redução na produção, na qualidade e no rendimento de grãos, em algumas situações com perda total da produtividade das lavouras (IGARASHI et al., 1986).

A partir de 2000, a redução de produção e de estoques mundiais, o aumento do consumo para ração animal e aumento de preços no mercado internacional, associados a problemas econômicos como a mudança da política cambial na Argentina e o pacto de recuperação da triticultura brasileira, levaram ao aumento da área de cultivo de trigo no país. Em 2003, a produção de trigo chegou a representar 60% do consumo nacional. No entanto, apesar do entusiasmo pela quantidade e qualidade do produto obtido no ano de 2003, após este período de crescimento expressivo de produção de trigo no Brasil, a área semeada e a quantidade produzida voltaram a sofrer retração em decorrência da redução do preço, da situação cambial desfavorável e das condições climáticas adversas (DE MORI et al., 2011).

Atualmente, o Brasil não é autossuficiente na produção de trigo, dependendo da importação para suprir nossa demanda interna (CONAB, 2022). Importamos 58% do trigo que consumimos, com prevalência de um mercado mais regionalizado no âmbito do Mercosul, em que 85% destes quase 7,0 milhões de toneladas são fornecidos pela Argentina. Dessa maneira, o país vizinho interfere diretamente nos preços em nosso mercado, bem como Paraguai e Uruguai, em menor escala (KOWALSKI, 2019).

Nossa dependência na importação de trigo ainda está relacionada à qualidade, tendo em vista que o nosso grão apresenta menor teor de glúten do que o produzido no solo Argentino e no Canadá. Porém, o trigo cultivado no Cerrado Brasileiro, após muitos anos de pesquisa, é comparável ao canadense, com alto teor de proteína, considerado o melhor do mundo (MIURA, 2020).

Atualmente, o Brasil ocupa a 16ª posição entre os produtores mundiais de trigo, cuja colheita na safra 2020/21 foi de 7,67 milhões de toneladas (CONAB, 2022). Nesta safra, a área brasileira semeada com trigo foi de aproximadamente 2,74 milhões de hectares (sendo 2,48 milhões de hectares na região Sul), com produtividade média de 2,803kg ha<sup>-1</sup> (CONAB,2022).

A safra de trigo do Brasil em 2022 deverá registrar um crescimento na área plantada de 20,6% ante o ciclo anterior, para 3,4 milhões de hectares, com impulso de preços mais altos em meio à guerra na Ucrânia, o que deve estimular investimentos na cultura (FORBES AGRO, 2022).

Os Estados da região Sul do Brasil detêm atualmente cerca de 90,5% da produção nacional de trigo (CONAB, 2022) e estima-se que aproximadamente 94,5% desta quantidade seja destinada ao processamento industrial, sendo armazenado em torno de 2,5% como semente (para uso na próxima safra) e o restante utilizado na alimentação animal (MORI e IGNACZAK, 2011).

Os avanços obtidos ao longo de anos de pesquisas, através do melhoramento genético, juntamente com melhores práticas de manejo, têm propiciado melhorias ao sistema de cultivo do trigo de sequeiro e irrigado na região de Cerrado (CHAGAS et al., 2022). A área favorável ao cultivo de trigo no Cerrado é estimada em 4,0 milhões de hectares, sendo 1,5 milhão disponíveis para o cultivo irrigado e 2,5 milhões para cultivo de sequeiro (ALBRECHT et al., 2007).

O cultivo do trigo tem-se expandido para os Estados do Centro Oeste e Sudeste (PIETRO-SOUZA et al., 2013). Na região Centro-Brasileira, o trigo pode ser cultivado em sistema de sequeiro, com estresses térmico e hídrico e em sistema irrigado, em época de precipitação mais baixa ou nula e condições térmicas mais favoráveis (CUNHA et al., 2016).

Estimativas da CONAB (2022) apontam que a região Centro Oeste, na safra 2021/22, mantém a área cultivada, porém sua produtividade saltou de 1.976 kg ha<sup>-1</sup> para 2.798 kg ha<sup>-1</sup> sendo uma variação positiva de 41,6%. O Estado da Bahia também vem se destacando no cenário nacional na produção de trigo podendo atingir uma produção de 34,8 mil toneladas numa área de 6,1 mil hectares.

As condições de solo, clima e topografia, favoráveis ao cultivo de trigo, tanto de sequeiro como irrigado, faz do Brasil Central região de enorme potencial para a expansão dessa cultura. O rendimento de grãos na cultura do trigo é a expressão de vários fatores combinados (CHAGAS et al., 2022).

O Cerrado do Brasil Central tem potencial para aumentar em vinte vezes sua área de produção de trigo. Sendo assim, o trigo deixou de ser visto apenas como uma cultura de regiões de clima frio e tem melhorado o desempenho das lavouras na região central do Brasil com a quebra do ciclo de doenças, reduzindo a infestação de nematoides e melhorando a qualidade do solo por deixar uma excelente cobertura (MIURA, 2020), além de contribuir na conservação do solo, pois deposita um grande volume de resíduos (palhada) com elevada relação C/N (65,2), auxiliando no encadeamento do sistema de plantio direto, que tem por objetivo adicionar carbono ao solo elevando os teores de matéria orgânica, além de incrementar diferentes compostos radiculares essenciais para romper o adensamento do solo (PIRES et al., 2017).

### **2.1.3 Cultivar BRS 394**

A cultivar BRS 394, lançada em 2014, pertence à classe comercial melhorador, conforme Instrução Normativa nº 38 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2010) e por isso é conhecida como “trigo melhorador do Cerrado”.

A cultivar BRS 394 possui características de ampla adaptação, elevado potencial produtivo, ciclo precoce (período da emergência ao espigamento: 55-60 dias; período da emergência a maturação: 115-120 dias), moderadamente resistente ao acamamento, além de possuir um excelente desempenho na indústria com alta força de glúten e estabilidade. A altura média das plantas é de 90 cm, sendo resistente ao acamamento e suscetível ao crestamento. Esta cultivar é indicada para o cultivo nos Estados de Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, São Paulo e Distrito Federal (ALBRECHT et al., 2016).

A cultivar de trigo BRS 394 teve origem do cruzamento, realizado na Embrapa Cerrados, entre as cultivares Embrapa 22 e CM 106793 (Roek/3/CMH75A66/CMH76217//PVN”S”). Entre os anos de 2010 e 2012 fez parte do ensaio para determinação do Valor de Cultivo e Uso (VCU) que foram conduzidos obedecendo às Regiões Triticolas (CUNHA et al., 2016), visando o registro de cultivo para a região IV no Cerrado (ALBRECHT et al., 2016).

O grão desta cultivar é de coloração vermelha e se caracteriza por ser resistente à germinação e à debulha em pré-colheita. Com relação às principais doenças da cultura na região tropical, caracteriza-se por ser moderadamente resistente à mancha marrom e moderadamente suscetível à brusone e à mancha amarela (ALBRECHT et al., 2016).

Em relação ao manejo da cultivar, por ser indicada para o sistema de cultivo irrigado, a época indicada para a semeadura da BRS 394 está entre 11 de abril e 31 de maio (seguindo as portarias do Zoneamento Agrícola de Risco Climático do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento), sendo o período entre 5 e 20 de maio o período que a cultivar apresenta seu maior potencial produtivo. Além da maior produtividade, a época para semeadura também está vinculada a possibilidade de escape das chuvas no período pré-colheita (ALBRECHT et al., 2016; CHAGAS et al., 2020).

Em relação a densidade de semeadura, deve ficar entre 350 e 400 sementes viáveis por m<sup>-2</sup> para explorar melhor o potencial produtivo da cultivar BRS 394 cultivada sob irrigação via pivô, com espaçamento entre linhas de 17cm a 20cm, sendo que para um espaçamento de 17cm deve-se ter entre 60 e 68 plantas por metro linear. A cultivar permite o uso de redutor de crescimento para explorar altas produtividades. Em relação à adubação nitrogenada, sugere-se a aplicação de 20 kg

de  $\text{N ha}^{-1}$  na semeadura e de 90 a  $110 \text{ kg de N ha}^{-1}$  em cobertura. A dose de  $110 \text{ kg de N ha}^{-1}$  deve ser aplicada em casos em que existe uma grande quantidade de palha de milho. A dose de  $90 \text{ kg de N ha}^{-1}$  é sugerida em cultivos após a cultura da soja e em áreas de alta fertilidade (CHAGAS et al., 2020).

## 2.2 ADUBAÇÃO NITROGENADA

O nitrogênio (N) é um nutriente essencial requerido por todos os organismos vivos e, frequentemente, limita a produção primária em ecossistemas aquáticos e terrestres. Este elemento é necessário em grandes quantidades, uma vez que é componente essencial de proteínas, ácidos nucleicos e de outros constituintes celulares. As proteínas sozinhas compreendem 60% ou mais do N das plantas e de células microbianas (VIEIRA, 2017).

O nitrogênio foi descoberto em 1772 por Daniel Rutheford (WEEKS, 1934). Sendo isolado, em 1785, por Cavendish e, em 1908, Fritz Haber desenvolveu um processo de extração de nitrogênio do ar e a produção de amônia ( $\text{NH}_3$ ) para ser usada como fertilizante do solo (GREENBERG, 2009). O químico Carl Bosch, em 1918, tornou a reação de Haber possível em escala industrial. Essa reação para a produção de amônia industrialmente ficou conhecida como reação de Haber-Bosch. Esse acontecimento foi muito importante para a produção agrícola, visto que a alta produtividade das culturas de plantas depende da fertilização com nutrientes minerais (CHAGAS, 2007).

A produção e transporte de fertilizantes nitrogenados pelo processo Haber-Bosch necessita de um elevado consumo de energia e depende de combustíveis fósseis (ZORB et al., 2018). Apesar da grande importância do processo, a produção de amônia gera impactos ambientais. Ela consome aproximadamente 2% do suprimento mundial de energia anual e gera mais de 300 milhões de toneladas de  $\text{CO}_2$ , que é um gás de efeito estufa. A quantidade mundial de  $\text{CO}_2$  emitida pode chegar a 1% da quantidade liberada em atividades industriais, quando é considerado o transporte, o empacotamento e a aplicação dos fertilizantes (JENKINSON, 2001).

O uso excessivo de fertilizantes nitrogenados, além de elevar o custo de produção, oferece grandes riscos ambientais (KAUR et al., 2015). A alta aplicação de fertilizantes nitrogenados em todo o mundo resulta em perdas econômicas e danos

ecológicos devido ao consumo extra de recursos, eutrofização da água e alta taxa de emissões de gases de efeito estufa, juntamente com potencial lixiviação. A utilização ineficiente do N fornecido resulta em perda não intencional de fertilizantes no solo, atmosfera e promove a contaminação das águas subterrâneas, distorcendo as comunidades biológicas conectadas e causando desvios atmosféricos perigosos, através da emissão da substância venenosa destruidora da camada de ozônio, o óxido nitroso (GALLOWAY et al., 2008).

Quando fertilizantes a base de N são aplicados no solo, uma fração do elemento é recuperado pelo sistema radicular e pela parte aérea, outra parte continua no solo, ao mesmo tempo em que pode permanecer imobilizada ou pode se perder do sistema solo-planta. Nos diferentes sistemas agrícolas uma cultura aproveita em média 60% do nitrogênio usado como fertilizante (FENILLI, 2006).

O nitrogênio é um elemento dinâmico no solo (ZIBETTI et al., 2020) e, por isso, é de baixa eficiência de aproveitamento (ocorrências de várias formas químicas e grande variação de estado de oxidação) por sofrer perdas por volatilização, lixiviação, desnitrificação, erosão (BUTTERBACH-BAHL et al., 2013) e pela remoção das culturas (COSTA et al., 2009).

O nitrogênio atmosférico ( $N_2$ ) compõe aproximadamente 79% da atmosfera terrestre, porém essa forma química não é diretamente absorvida pelas plantas, sendo necessária sua transformação prévia para as formas de amônio ( $NH_4^+$ ) e nitrato ( $NO_3^-$ ) através das fixações industrial, biológica e atmosférica (FAQUIN, 2005; REETZ, 2017). No entanto, as plantas apresentam variação na sensibilidade a essas duas formas de N devido às diferenças nas espécies, genótipos e condições do solo (ZHANG et al., 2016).

O nitrogênio é um macronutriente essencial para o funcionamento do metabolismo dos seres vivos (DA SILVA et al., 2018) por ser constituinte de compostos bioquímicos na célula vegetal, importante na formação de proteínas, aminoácidos e de outros compostos importantes no metabolismo das plantas (KUNZ et al., 2009), requerido pelas plantas em quantidades maiores do que qualquer outro elemento mineral. Isto porque é constituinte de muitos compostos estáveis, incluindo os inorgânicos, como o  $N_2$ , sais de amônio ( $NH_4^+$ ) e sais de nitrato ( $NO_3^-$ ) e orgânicos, como proteínas e ácidos nucleicos (BLOOM, 2015). Conseqüentemente, esse

elemento é indispensável para a produção de cereais de alta qualidade (MALAVOLTA et al., 1997).

O nitrogênio é um macronutriente limitante para o crescimento e desenvolvimento das plantas (RADDATZ et al., 2020), exercendo um papel fundamental na fisiologia dos vegetais. Atua como constituinte das paredes celulares, proteínas e ácidos nucleicos (RNA e DNA), apresentando função na expansão da área foliar e formação dos botões florais. O N faz parte de enzimas, coenzimas, fitocromos e da molécula de clorofila, que se localiza principalmente nos cloroplastos da folha e exerce papel fundamental na atividade fotossintética (TAIZ et al., 2017).

O nitrogênio é um nutriente que possui grande mobilidade nas plantas, portanto seu metabolismo envolve diversos processos, incluindo absorção, redução, assimilação, translocação e remobilização. As diferenças genéticas entre absorção de nitrogênio ou produtividade por unidade de nitrogênio aplicada ao solo têm sido estudadas para diversas gramíneas, principalmente aquelas de importância comercial, como trigo, arroz, aveia e milho (BI, et al. 2014).

Quando uma planta está bem suprida de nitrogênio ela apresenta coloração verde escura (devido à maior presença de clorofila), maior quantidade de galhos e folhas e maior brotação. Na deficiência de nitrogênio, a planta apresenta menor desenvolvimento vegetativo e sintomas de clorose (estado da planta no qual as folhas não produzem clorofila suficiente), com as folhas apresentando uma coloração verde pálida ou mesmo amarelada. No entanto, se aplicado em excesso, o nitrogênio pode ocasionar o retardamento na manutenção e um crescimento exagerado da planta (BISCARO, 2014).

Na agricultura, a produção de culturas requer quantidade abundante de nitrogênio, que é o fator limitante mais amplamente reconhecido para o crescimento, desenvolvimento e rendimento das culturas (SOCOLOW, 1999).

A relação entre nutrição e produção é de fundamental importância para todas as culturas, mas a adubação nitrogenada é particularmente importante em trigo, pois influencia o conteúdo e a composição das proteínas armazenadas no grão, o que designa a destinação do trigo como matéria prima para determinados produtos e sua qualidade para produção de pães e de outros produtos alimentícios (GODFREY et al., 2010).

Em relação a cultura do trigo, sabe-se que o nitrogênio é um dos elementos químicos mais exigidos e que este elemento possui dinâmica complexa no solo, pois pode ser perdido por lixiviação ou mesmo por volatilização (TEIXEIRA FILHO et al., 2008).

A disponibilidade de nitrogênio no solo tem sido um importante fator limitante na produção de trigo. A deficiência de nitrogênio afeta negativamente o rendimento de grãos, bem como a qualidade dos grãos em culturas de cereais por meio de seu impacto na absorção de nutrientes, taxa de fotossíntese, eficiência respiratória e atividades enzimáticas (WANG 2019; LIU et al., 2020).

As aplicações de fertilizantes de nitrogênio na taxa e no tempo certos no período de crescimento são importantes para otimizar o rendimento e a qualidade do grão de trigo (WALSH et al., 2018).

A dose de nitrogênio a ser aplicada na semeadura varia entre 15 e 20 kg ha<sup>-1</sup> para diferentes tipos de solo. O restante deve ser aplicado em cobertura. Na indicação de cultivo se sugere a adubação nitrogenada no início do perfilhamento até o início do alongamento (ARENHARDT et al., 2015; CUNHA et al., 2016; EMBRAPA, 2017).

Doses acima de 80 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio na semeadura interferiram negativamente na produtividade do trigo diminuindo a população de plantas, enquanto doses entre 0 a 80 kg ha<sup>-1</sup> somente na cobertura promoveram maior rendimento, e com doses maiores de 120 kg ha<sup>-1</sup>, entre aplicação em semeadura e cobertura, houve decréscimo no rendimento de grãos devido ao acamamento de plantas (FOLONI et al., 2014).

Em condições de Cerrado a dose de N recomendada, em semeadura (20 kg ha<sup>-1</sup> de N), e em cobertura (10-70 kg ha<sup>-1</sup> de N), conforme expectativa de rendimento da cultura, (ZAGONEL et al., 2002; TRINDADE et al., 2006; TEIXEIRA FILHO et al., 2010; SOUZA et al., 2013) avaliaram fontes e épocas de aplicação de N em trigo irrigado em plantio direto e observaram respostas positivas para o aumento da produtividade, utilizando doses de N de até 121,5 kg ha<sup>-1</sup>.

Além disto, o nitrogênio exerce influência na definição do potencial produtivo desta cultura (PRANDO et al., 2013). No entanto, apenas 40 a 60% do N mineral aplicado é absorvido pela cultura do trigo (GÓRNY et al., 2011; BARRACLOUGH et al., 2014). Por ser o nutriente próprio para a vegetação, o suprimento de nitrogênio

reflete no índice de área foliar, na produção de gemas vegetativas, no perfilhamento e no teor de proteínas do grão (MALAVOLTA, 2006).

Todos os componentes do rendimento do trigo podem beneficiar-se com o maior ou menor quantidade de nitrogênio, exceto a população de plantas (ZAGONEL et al., 2002). O fornecimento de nitrogênio de forma adequada é de extrema essencialidade para o aumento significativo de produtividade, pois o nitrogênio pode incrementar os componentes de rendimento, como um maior número de espiguetas e de grãos por espiga e grãos de maiores dimensões, porém, este sofre influência do ambiente (LAMONTHE, 1998).

Há uma necessidade absoluta de nitrogênio para o crescimento do trigo, e o rendimento e a qualidade das culturas dependem de insumos substanciais de nitrogênio. Inicialmente, isso impulsiona a formação do dossel necessária para a fotossíntese que, por sua vez, impulsiona o rendimento e, posteriormente, o componente reprodutivo, o grão de trigo (HAWKESFORD, 2014).

A produção agrícola e o manejo de nitrogênio apresentam, portanto, um dilema de sustentabilidade. Uma alta aplicação de nitrogênio na cultura do trigo é obrigatória porque o alto teor de proteína do grão é importante para a qualidade do cozimento, mas, simultaneamente, a aplicação de altas doses de nitrogênio pode causar poluição ambiental por lixiviação ou perdas gasosas de nitrogênio (ZORB et al., 2018).

A região do Cerrado brasileiro tem potencial para a expansão da cultura do trigo com a perspectiva de propiciar, em médio prazo, a autossuficiência na produção nacional. Porém, para obtenção de altas produtividades de trigo são essenciais o manejo adequado da adubação nitrogenada e a utilização de cultivares de alto potencial produtivo (THEAGO et al., 2014).

### **2.3 ADUBAÇÃO POTÁSSICA**

O potássio é um nutriente mineral essencial para todos os organismos vivos (MENGEL et al., 2001). É um dos 10 elementos mais abundantes na crosta terrestre, ocorre na natureza somente sob a forma de compostos e é o terceiro mais abundante em nossos corpos, excedido apenas pelo cálcio e pelo fósforo. Mais de 85% do K do corpo humano é encontrado em órgãos essenciais, nem animais nem plantas podem sobreviver sem um suprimento adequado de potássio (NASCIMENTO et al., 2008).

O potássio não forma compostos específicos, mas desempenha um papel particularmente importante em vários processos fisiológicos vitais para o crescimento, rendimento, qualidade e resistência de todas as culturas agrícolas (ZORB et al., 2014).

Mais de 95% da produção mundial de potássio é usado como fertilizante. Os outros usos dos compostos de potássio estão ligados a indústria de detergentes, cerâmicas, produtos químicos e farmacêuticos (GREENWELL, 1999).

O Brasil, devido à dimensão da sua produção agrícola e às características muito pobres nos macronutrientes potássio e fósforo dos seus solos (NASCIMENTO et al., 2004), consome cerca de 8% da produção mundial de fertilizantes, ocupando a quarta posição, atrás apenas da China, Índia e dos Estados Unidos. O principal nutriente aplicado no Brasil é o potássio, com 38%, seguido por fósforo, com 33%, e nitrogênio, com 29% do consumo total de 24,6 milhões de toneladas de fertilizantes (BRASIL, 2021).

A expansão das fronteiras agrícolas tem colocado o Brasil como o segundo maior consumidor mundial de potássio, ficando apenas atrás da China, porém, o Brasil conta com somente uma mina de extração de potássio em operação, localizada na cidade de Rosário do Catete, em Sergipe. A quantidade produzida é equivalente apenas a 4% da demanda nacional para o cloreto de potássio (GLOBALFERT, 2021). Dessa forma importamos cerca de 96 % dos fertilizantes potássicos utilizados na agricultura brasileira (ALVES, 2021).

Os solos brasileiros são pobres em potássio, cujo teor médio varia com o material de origem e as perdas ou ganhos sofridos. Uma baixa capacidade de troca catiônica do solo implica em baixa capacidade de armazenar o potássio, que é lixiviado facilmente (KINPARA, 2003).

A disponibilidade de potássio no solo depende das propriedades físicas e químicas do solo, da interação com outros nutrientes e do sistema de cultivo. Alguns estudos buscam relacionar o rendimento das culturas ao conteúdo (disponibilidade) de potássio no solo, assim como à influência dos tipos de cultivos e às condições edafoclimáticas (HE et al., 2015). A nutrição balanceada de potássio é indispensável para a absorção de outros nutrientes do solo, transporte para a parte superficial e uso final no metabolismo (ALI et al., 2019).

A absorção do potássio depende principalmente do processo de difusão na solução do solo e, em proporção menor, do fluxo de massa (HAVLIN et al., 1999;

MALAVOLTA, 2006). O potássio no solo foi classificado por Zorb et al. (2014) em quatro grupos, dependendo de sua disponibilidade para as plantas:

A) potássio solúvel em água: é o potássio na solução do solo, sendo prontamente disponível para as plantas e os microrganismos, e potencialmente sujeito à lixiviação. É mantido principalmente pelo potássio trocável, em um rápido equilíbrio;

B) potássio trocável: é o potássio adsorvido na superfície dos argilominerais e de coloides orgânicos do solo. Estas duas primeiras formas correspondem apenas a 0,1% a 0,2% e 1% a 2% do potássio total do solo, respectivamente;

C) potássio não trocável: é o mais fortemente retido por ligações de alta energia nos sítios de troca, entre camadas dos argilominerais ou em minerais primários;

D) potássio estrutural: é o potássio incorporado às estruturas cristalinas de minerais, como os feldspatos e as micas. Esta última forma é considerada lentamente disponível ou não disponível para as plantas, contribuindo para o suprimento de potássio em longo prazo.

O potássio é um macronutriente essencial às plantas superiores e o terceiro elemento que mais frequentemente limita o crescimento vegetal, sendo o elemento mais abundante na maioria das plantas (MARENCO et al., 2005).

A disponibilidade de K às plantas depende muito de sua difusão no solo, uma vez que a quantidade que chega até as raízes por fluxo de massa é muito menor do que a taxa de absorção, sendo transportado predominantemente por difusão (NEVES et al., 2009).

O potássio tem funções fisiológicas nas plantas, como a translocação de assimilados, ativação de enzimas, manutenção de turgescência e regulação dos estômatos (TAIZ et al., 2012; SONNTAG et al., 2020), além de ser essencial no crescimento inicial das raízes e no desenvolvimento de sementes (MARQUES, 2014).

Sua principal função na planta é promover a reciclagem dos nutrientes necessários ao seu crescimento. Desempenha uma função importante na ativação de enzimas (mais de 60 são ativados por este cátion) que atuam em diversos processos metabólicos tais como a fotossíntese, síntese de proteínas e carboidratos (CONTI, 2000), além de incrementar a absorção do N e a síntese de proteínas (MEURER et al., 2018).

A aplicação da adubação de potássio no momento certo mantém o equilíbrio dos nutrientes no solo, possibilitando a manutenção da fertilidade, além de

proporcionar reflexos diretos no aumento dos componentes produtivos da cultura (FOLONI et al., 2008; VENTUROSO et al., 2009).

O potássio é um fator de qualidade na produção. A participação do potássio na qualidade do vegetal está relacionada com o transporte dos aminoácidos e açúcares para os órgãos de armazenamento como grãos, tubérculos e raízes e com ativação da conversão em amido, proteína gordurosa e vitaminas (NASCIMENTO et al., 2004).

Nas plantas de trigo, o potássio tem a função de atuar no crescimento das raízes e estimular a absorção de água e nutrientes e, também, participa da formação da celulose da parede celular, reduzindo a respiração, prevenindo a perda de energia pela planta, ajudando na fotossíntese, na translocação de açúcares e amido, produzindo grãos ricos em amidos, aumentando o conteúdo proteico e ajudando a retardar doenças (ZAMBOLIM; VENTURA, 2012).

O potássio está envolvido no início dos processos metabólicos do nitrogênio, como incorporação do nitrogênio mineral (RUAN et al., 1999). Pode desempenhar um papel importante na formação e ativação de enzimas que são essenciais para a redistribuição de nitrogênio das folhas para os grãos e a subsequente formação de proteínas (PETTIGREW, 2008).

O potássio é vital para a sobrevivência da planta sob condições fisiológicas e de estresse. Não é apenas uma parte da estrutura química, mas desempenha também funções regulatórias vitais em processos bioquímicos e fisiológicos que contribuem para o crescimento e desenvolvimento da planta. O uso adequado de potássio com outros nutrientes ajuda a obter produtividade e qualidade sustentáveis das lavouras e garantir a segurança alimentar nutricional de animais e seres humanos (HASANUZZAMAN et al., 2018).

## **2.4 INTERAÇÃO DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO NA CULTURA DO TRIGO**

O nitrogênio e o potássio são necessários para que as plantas completem seus ciclos de vida e são os dois nutrientes adquiridos em maior quantidade pelas raízes (OOSTERHUIS et al., 2014).

O potássio está envolvido no equilíbrio de carga de ânions e macromoléculas inorgânicos e orgânicos, controle do potencial elétrico da membrana, homeostase do pH e regulação da pressão osmótica celular, enquanto o nitrogênio é um componente

essencial de aminoácidos, proteínas e ácidos nucléicos. O nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) costuma ser a principal fonte de nitrogênio, mas também serve como uma molécula sinalizadora para a planta (RADDATZ et al., 2020).

Dentre os aspectos nutricionais das gramíneas, a disponibilidade do nitrogênio e do potássio, bem como a adequada proporção entre eles no solo, são fatores importantes para o ótimo desempenho dessas plantas (XU et al., 2002; MARTUSCELLO et al., 2005).

Em solos que apresentam baixo teor de potássio disponível, a planta acaba utilizando o nitrogênio disponível de forma ineficiente, gerando perdas financeiras ao produtor rural e danos ao meio ambiente, pois pode ocorrer a lixiviação do nitrogênio para o lençol freático (BRAR et al., 2015).

Niu et al. (2013) constataram que a adubação potássica promove aumento na eficiência do uso do nitrogênio pelas plantas. O fornecimento equilibrado na adubação nitrogenada e potássica promove uma maior reposta para as plantas, mas, em solos que apresentam deficiência de um desses nutrientes, a não adição pode interferir na resposta do outro nutriente para a cultura, podendo ocorrer redução na produção final e na qualidade da cultura (CANTARELLA, 2007).

O fornecimento do potássio para as plantas estimula o aproveitamento do nitrogênio, possibilitando que sua absorção, assimilação, nutrição e, conseqüentemente, a produtividade sejam aumentadas. Em estudo para avaliar o efeito de combinações de doses de nitrogênio e potássio no crescimento e assimilação do nitrogênio por plantas de trigo, foi constatado que o potássio está envolvido no início dos processos metabólicos do nitrogênio, como incorporação do nitrogênio mineral influenciando inclusive na atividade de redutase do nitrato (VIANA et al., 2010).

Em seus estudos com a cultura do trigo, Guo et al. (2019) encontraram que as diferentes formas de nitrogênio afetam o crescimento das plantas e a absorção dos nutrientes nitrogênio e potássio. No entanto, o nível de oferta de potássio também tem uma influência significativa na regulação do crescimento da planta, fotossíntese e absorção de nutrientes, com uma interação positiva identificada entre nitrogênio e potássio.

Os efeitos da adubação potássica e nitrogenada no processo fotossintético e absorção de nutrientes em cultivares de trigo continuam sendo desenvolvidos para

regiões de clima tropical, assim, alguns estudos desenvolvidos como os de Freitas et al. (2018), que trabalharam com cinco doses de nitrogênio: 0, 70, 140, 210, 280 kg ha<sup>-1</sup> e cinco doses de potássio: 0, 50, 100, 150 e 200 kg ha<sup>-1</sup>, concluíram que a aplicação de nitrogênio e potássio influenciaram nas características fitométricas e nos teores de clorofila da cultura do trigo irrigado nos dois anos de cultivos realizados.

Castanõn (2019), ao avaliar os efeitos das combinações de doses de nitrogênio com potássio na nutrição, produtividade e na qualidade de grãos de plantas de trigo das cultivares BRS 254 e 394, cultivadas de forma irrigada em Região de Cerrado e em condições de baixa altitude, observou que o nitrogênio é o nutriente que mais limita o desenvolvimento das cultivares de trigo, porém em relação a produtividade de grãos na cultivar BRS 254, as combinações de nitrogênio e potássio 168 e 200 kg ha<sup>-1</sup> obtiveram produtividade máxima de grãos (2.828 kg ha<sup>-1</sup>) e a cultivar BRS 394, na combinação de nitrogênio com potássio de 280 e 200 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, apresentou a maior produtividade (4.189 kg ha<sup>-1</sup>).

De Paula (2020), ao estudar a cultivar de trigo BRS 394 irrigado no Cerrado Mato-grossense nos anos de 2018 e 2019 em condição de campo, constatou que a aplicação de doses de nitrogênio entre 187,86 e 265,45 Kg ha<sup>-1</sup> e doses de potássio entre 74,62 e 183,92 Kg ha<sup>-1</sup> proporcionaram as melhores respostas para as características fitométricas.

O potássio desempenha um papel essencial como contra íon do NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, facilitando a captação, translocação e distribuição desses íons entre as raízes e a parte aérea (ZHANG et al., 2010; RÓDENAS et al., 2017).

Alguns estudos sugerem que os efeitos das formas de nitrogênio e do suprimento de potássio no crescimento das plantas estão relacionados à disponibilidade de fotoassimilados para produção, transporte e distribuição, indicando ainda que o potássio desempenha um papel importante no rendimento da cultura do trigo (ZHANG et al., 2010).

## **2.5 A ENZIMA NITRATO REDUTASE**

As primeiras evidências da presença da enzima nitrato redutase em plantas foram relatadas em 1894 (BEEVERS et al., 1980; BREDEMEIER et al., 2000). A partir de então, diversos estudos foram realizados para utilização dos métodos enzimáticos

para fins de avaliação do estado nutricional de plantas (BAR-AKIVA, 1961; BAR-AKIVA et al., 1965).

Entre as décadas de 60 e 70, a nitrato redutase foi considerada uma enzima chave na regulação do metabolismo de nitrogênio (BEEVERS et al., 1969). Por causa desse seu papel regulador, dois grupos de pesquisas são citados na literatura como os percussores no estudo da nitrato redutase, como indicadora do estado nutricional de plantas. O primeiro grupo foi liderado pelo pesquisador israelense Dr. Avigdor Bar-Akiva, seus estudos contribuíram muito para o avanço das pesquisas com métodos enzimáticos para a avaliação do estado nutricional de plantas, ainda sendo citados em publicações internacionais importantes (RÖMHELD, 2012).

Paralelamente, no mesmo período, outros estudos começaram a ser desenvolvidas na Universidade de Illinois (EUA), por R.H. Hageman, que avaliou a possibilidade de selecionar híbridos de milho mais produtivos em função da maior atividade do nitrato redutase, estudo este baseado nos realizados por Bar-Akiva (BREDEMEIER et al., 2000).

As enzimas são fundamentais para que ocorra o aumento da velocidade das reações bioquímicas (NELSON, et al., 2022). A nitrato redutase é a principal enzima responsável pela assimilação de nitrogênio pelos vegetais, nutriente importante para o desenvolvimento das plantas (RHEIN et al., 2011), algas, leveduras e fungos (CHAMIZO-AMPUDIA, et al., 2017).

A nitrato redutase é considerada chave na regulação do metabolismo do nitrogênio e pode estar relacionada, indiretamente, com a produtividade das culturas. Plantas com alta atividade da redutase do nitrato teriam maior capacidade de assimilar o nitrato disponível e, em consequência, maior capacidade em responder à adubação nitrogenada (VIANA; KIEHL, 2010).

As plantas absorvem o nitrogênio na forma de íons  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$ . Primeiramente ocorre a conversão de nitrato a nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), através da ação da enzima nitrato redutase (BEEVERS et al., 1969; YANEVA et al., 2000; SANTOS et al., 2014; CHAMIZO-AMPUDIA et al., 2017; FERNANDES et al., 2020). Esta fase da rota de assimilação de N na planta depende da disponibilidade de fotoassimilados, mais especificamente de carboidratos e de fornecimento contínuo de  $\text{NO}_3^-$  para as folhas. A segunda etapa do processo se resume na conversão de nitrito a amônia, pela ação da enzima nitrito redutase no citosol (LAM et al., 1995; XU et al., 2012).

E, por fim, a amônia produzida será assimilada pela glutamina-sintetase e glutamato sintase (DONATO et al., 2004; SILVA et al., 2011; RADDATZ et al., 2020), representando o N na forma orgânica das fontes (órgãos produtores ou de armazenamento) para os drenos (partes vegetativas e reprodutivas em formação como os grãos, ou em déficit fotossintético) no sistema de distribuição de fotoassimilados via floema (LAM et al., 1996).

Para a conversão de  $\text{NO}_3^-$  em  $\text{NH}_4^+$  são necessários oito elétrons. O N passa do estado de oxidação (+5) para (-3). Inicialmente ocorre no citosol a redução do  $\text{NO}_3^-$  a nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) com o uso de dois elétrons, transferidos das coenzimas NADPH ou NADH, catalisadas pela enzima redutase do nitrato. Em seguida, o  $\text{NO}_2^-$  é transportado para os cloroplastos nos tecidos fotossintetizantes ou para os plastídios nas raízes, sendo então reduzido a  $\text{NH}_4^+$ , por meio da enzima redutase do nitrito (NiR), com transferência de seis elétrons doados pela ferredoxina reduzida (CAMPBELL, 1999; BRAUN, et al., 2013).

O efeito direto da luz sobre a assimilação de  $\text{NO}_3^-$  em plantas superiores também deve ser considerado, uma vez que o regime de irradiância participa da regulação da NR, tanto em relação à síntese “de novo” da NR quanto à ativação da NR em nível de proteína (LILLO, 1994).

A atividade da redutase do nitrato varia durante o dia e apresenta baixa atividade no escuro. Em condições normais de ativação e na presença de luz a sua ação é em média 70 a 90%, reduzindo para 10 a 30% no escuro, porém a luz não é um sinal direto para a atividade dessa enzima, pois, mesmo sob intensa e contínua luminosidade, a nitrato redutase é inativada quando falta  $\text{CO}_2$ , indicando que a fotossíntese é requerida para sua ativação (KAISER et al., 2001).

Como muitas enzimas, o ritmo circadiano da atividade da NR tem sido relatado em diversas espécies, aumentando durante as horas do dia com um pico às 12 horas e diminuindo durante o período noturno (CARELLI et al., 2006). Parte do nitrogênio é absorvido pelas raízes na forma de nitrato, podendo ser reduzido, armazenado nos vacúolos das células radiculares, reduzido e assimilado nas raízes ou translocado para a parte aérea, onde poderá ser reduzido e assimilado ou armazenamento nos vacúolos foliares (TAIZ; ZEIGER, 2017), tornando-se disponível para utilização sob baixa disponibilidade de nitrogênio (CRAWFORD et al., 1998).

No entanto, algumas plantas têm pouca ou nenhuma atividade da nitrato redutase nas folhas, havendo maior atividade nas raízes. A nitrato redutase pode também ser encontrada em um tipo de célula particular, como ocorre em folhas de plantas C4, nas quais a enzima está localizada somente nas células da bainha vascular (SANTOS et al., 2020).

Além do nutriente, o nitrato também é um sinal importante para respostas moleculares, metabólicas e fisiológicas a níveis locais e sistêmicos da planta, bem como fornece sinais que modulam a expressão dos genes de assimilação de nitrato e regulam o desenvolvimento das raízes laterais (KRAPP et al., 2014).

A nitrato redutase é a enzima limitante da taxa de assimilação de  $\text{NO}_3^-$  e a atividade da enzima nitrato redutase pode ser usada como uma medida da capacidade de uma planta para assimilar  $\text{NO}_3^-$  como fonte de N (OUKO, 2003). Esse nutriente é um fator chave no metabolismo das plantas, além de ser o de maior demanda metabólica, fundamental para o alcance de maiores produtividades (TABUCHI et al., 2007).

O  $\text{NO}_3^-$ , além de ser um nutriente, pode agir como sinal alterando e coordenando o metabolismo de carbono e de nitrogênio, contribuindo também para a indução de genes envolvidos na absorção de fósforo, potássio, água, respostas a estresses e reguladores de transcrição. Assim, as plantas podem apresentar múltiplas respostas ao  $\text{NO}_3^-$ , o que promove uma diversidade de efeitos regulatórios capazes de ligar a indução de genes que agem individualmente (WANG et al., 2000).

A assimilação do nitrogênio é um processo biológico essencial que tem efeito na biomassa, produção e produtividade da planta (ZHANG et al., 2010). O fornecimento adequado de K melhora o funcionamento de enzima responsáveis pela assimilação do amônio e transporte de aminoácidos na planta (HAGIN et al., 1990).

As formas com que o N ( $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$ ) é absorvido e/ou utilizado são influenciadas pelo potássio, sendo que um dos aspectos positivos dessa relação de concentração entre nitrogênio e potássio é o fato de que maiores quantidades de N- $\text{NH}_4^+$  podem ser absorvidas sem promover toxicidade quando ocorre aumento de K nos tecidos das plantas (JONES JUNIOR et al., 1991).

A melhoria da eficiência do uso de nutrientes em culturas de cereais é altamente essencial não apenas para reduzir o custo do cultivo, mas também para minimizar a poluição ambiental, reduzir o consumo de energia para a produção desses

fertilizantes químicos, melhorar a qualidade do solo e, finalmente, ajudar a mitigar os impactos oriundos das mudanças climáticas (SINHA et al., 2015).

A atividade da enzima redutase do nitrato pode ser utilizada como ferramenta complementar para interpretações de resultados experimentais. Diversas linhas de pesquisa mostram a alteração dos níveis de atividade da enzima, ocasionada pela atividade da RN, controlada por uma série de estímulos ambientais e intrínsecos à planta, que regulam os mecanismos transcricional, traducional e pós-traducional (CAMPBELL, 1999).

Segundo Bakaeva (2020), o trigo possui significativa capacidade de redução de nitratos através da parte aérea da planta, sendo as folhas as que possui maior atividade na redução de nitrogênio. Essa dependência pode ser explicada pelo fato de que, antes do perfilhamento, as plantas se diferenciam em órgãos - folha, caule, espiga, cada um dos quais participa do acúmulo e redistribuição do nitrogênio. A atividade da enzima nitrato redutase nas folhas pode servir como critério para avaliar o suprimento de plantas com nitrogênio na forma de nitrato.

Gewehr et al. (2020) observaram que a atividade da redutase do nitrato foi positivamente afetada pelo aumento de doses de nitrogênio aplicadas na cultura do trigo, apresentando um aumento linear da atividade enzimática, onde cada Kg de N aplicado resultou em um aumento de  $1,81 \mu\text{mol NO}_2^- \cdot \text{g MF}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ .

Sharma et al. (2023) observaram que diferentes variedades de trigo apresentaram diferentes níveis na atividade da nitrato redutase, sendo valor médio encontrado de  $1,12 \mu\text{mol NO}_2^- \cdot \text{g MF}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ . Segundo os pesquisadores, isso se deve ao fato de que a quantidade de nitrato presente no tecido interfere na atividade da nitrato redutase, assim como as características genéticas de cada cultivar.

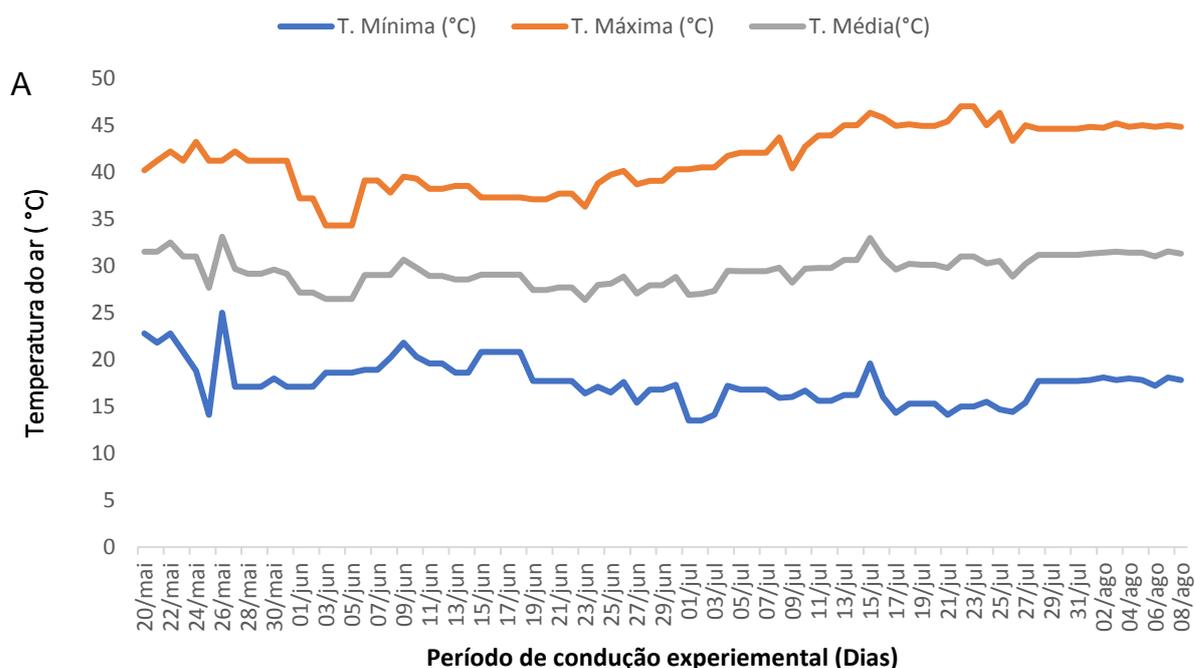
Rohilla et al. (2020) afirmaram em seus estudos que a atividade da enzima nitrato redutase pode futuramente ser a enzima responsável pela agricultura sustentável, porém, ressaltam a necessidade de mais pesquisas para identificar as propriedades da enzima nitrato redutase relacionadas à sua eficácia enzimática e sua regulação.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA E CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL

O experimento foi realizado entre os meses de maio e agosto de 2020, em casa de vegetação (16°28'15" Latitude Sul e 50°38'08" Longitude Oeste e Altitude de 284 m) do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Rondonópolis, na cidade de Rondonópolis-MT. O clima na região é tropical com uma temperatura média de 24,8 °C, sendo a precipitação média anual entre 1200 e 1800 mm e estação chuvosa concentrada nas estações de primavera e verão (outubro a março).

Os elementos meteorológicos temperatura e umidade relativa do ar, (valores médios, máximas e mínimas), foram monitoradas no interior de casa de vegetação, por meio de termo-higrômetro analógico, instalando no centro da área experimental, programado para realizar leituras diárias durante a condução do experimento, sendo obtido a partir das leituras de temperaturas e umidades relativas máximas e mínimas, a temperatura média de 29,48°C e umidade relativa do ar média de 47,14%. A variação dos valores temperaturas e umidades relativas, máximas e mínimas, estão representados na Figura 2.



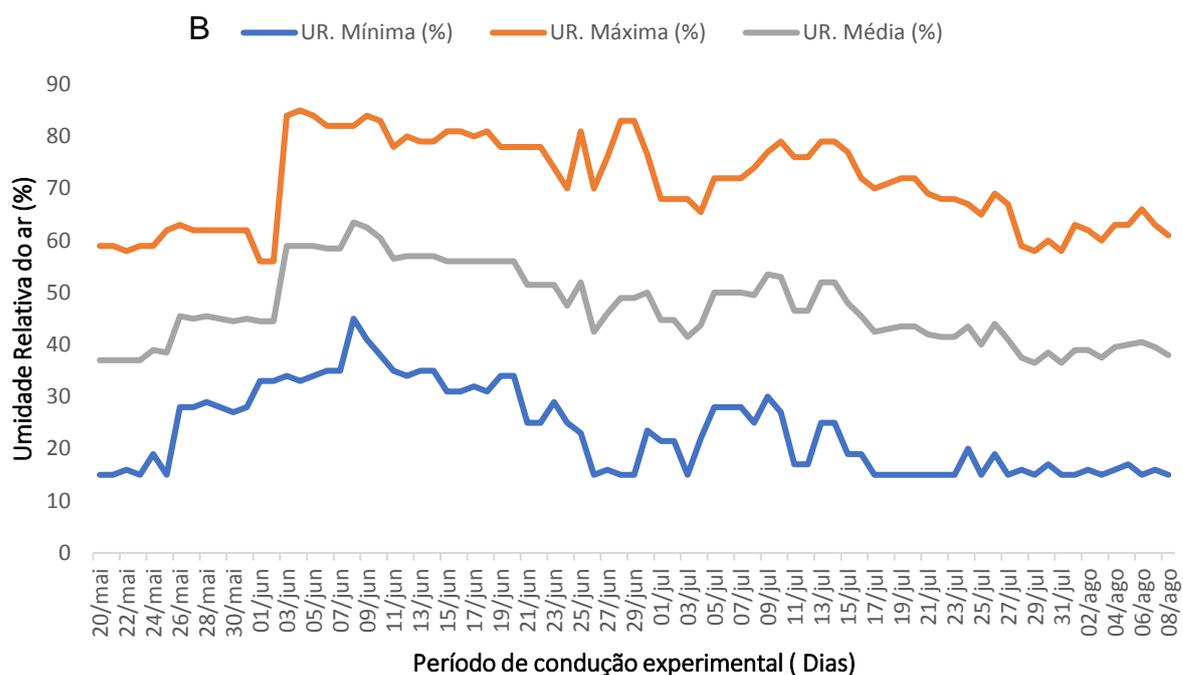


Figura 2 - Variação de temperatura (A) e umidade relativa do ar (B) em casa de vegetação, no período de 20/05/2020 a 08/08/2020. Rondonópolis – MT.

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

O solo utilizado foi proveniente de área experimental foi o Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2018), cultivado com a cultura do trigo em condução de experimentos de adubação nitrogenada e potássica por um período de 6 anos consecutivos, no período de intervalo entre os anos de cultivo a área permanecia em pousio. O solo de cada unidade experimental foi coletado na parcela referente ao seu respectivo tratamento, realizando-se uma amostra composta de três pontos dentro da parcela, considerando a área útil dos experimentos dos anos anteriores (FREITAS et al., 2018; CASTAÑÓN, 2019; DE PAULA, 2020), na camada de 0-0,2 m de profundidade. Após homogeneização, o solo foi transferido para os vasos na casa de vegetação e, no dia seguinte a coleta, realizou-se a adubação e o plantio.

O solo para as unidades experimentais foi peneirado em malha de 4 mm para o preenchimento dos vasos com capacidade de 5 dm<sup>-3</sup> e em malha de 2 mm para caracterização química e granulométrica (Tabela 1).

Tabela 1 - Caracterização química e granulométrica do Latossolo Vermelho coletado na camada de 0-20 m de profundidade (Rondonópolis-MT, 2020).

Amostra	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H	SB	CTC	V	M.O.
N-K	CaCl <sub>2</sub>	mg dm <sup>-3</sup>	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----						%	g dm <sup>-3</sup>	
0-0	5,50	19,00	77,80	3,25	1,23	0,00	3,48	4,68	8,15	57,42	31,20
0-100	5,40	10,80	66,70	2,85	1,08	0,00	3,13	4,10	7,22	56,79	26,30
0-200	5,50	6,10	61,60	2,70	1,04	0,00	2,85	3,90	6,75	57,78	24,10
70-50	5,20	7,60	72,70	2,60	1,00	0,00	3,83	3,79	7,62	49,74	28,70
70-150	5,30	13,40	80,80	2,75	1,04	0,00	3,30	4,00	7,30	54,79	26,30
140-0	5,50	13,00	47,50	3,25	1,25	0,00	3,73	4,62	8,35	55,33	32,10
140-100	5,40	11,70	42,40	2,85	1,08	0,00	3,05	4,04	7,09	56,98	25,60
140-200	5,30	6,90	38,40	2,60	1,00	0,00	3,48	3,70	7,17	51,60	26,30
210-50	5,40	15,90	66,70	3,00	1,12	0,00	3,48	4,29	7,76	55,28	29,50
210-150	5,50	13,00	63,60	2,80	1,08	0,00	3,17	4,05	7,22	56,09	25,60
280-0	5,30	13,40	53,50	3,10	1,16	0,00	3,95	4,40	8,35	52,69	31,20
280-100	5,50	11,70	50,50	2,95	1,12	0,00	3,05	4,20	7,25	57,93	26,30
280-200	5,40	10,80	48,50	2,65	1,08	0,00	3,23	3,86	7,08	54,52	25,60
			Areia	Silte			Argila				
			-----	-----	g Kg <sup>-1</sup>	-----	-----				
			295	125			580				

### 3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento do experimento foi em blocos casualizados, empregado estudo de superfície de resposta baseado em desenho experimental composto central modificado de um fatorial 5<sup>2</sup>, fracionado (LITTELL; MOTT, 1975) com cinco doses de nitrogênio (0, 70, 140, 210 e 280 mg dm<sup>-3</sup>) e cinco doses de potássio (0, 50, 100, 150 e 200 mg dm<sup>-3</sup>), totalizando 13 combinações nitrogênio x potássio (mg dm<sup>-3</sup>), sendo:

0-0, 0-100, 0-200, 70-50, 70-150, 140-0, 140-100, 140-200, 210-50, 210-150, 280-0, 280-100, 280-200 e quatro repetições, perfazendo um total de 52 unidades experimentais.

Na apresentação dos resultados, os gráficos de superfícies de respostas estão com equações codificadas (Tabela 2). Para inserção de quaisquer valores dos níveis dos fatores (doses de nitrogênio e potássio) nos modelos de superfícies de respostas, deve-se realizar a conversão das variáveis originais para as variáveis codificadas, representadas por X1 e X2, sendo feita por meio das Equações (1 e 2), seguindo critérios de Cecon e Silva (2011).

$$X1 = \frac{N \frac{(0 + 280)}{2}}{\frac{(280 - 0)}{2}} = \frac{N - 140}{140} \quad (1)$$

$$X2 = \frac{K \frac{(0 + 200)}{2}}{\frac{(200 - 0)}{2}} = \frac{K - 100}{100} \quad (2)$$

X1: variável codificada do nitrogênio

X2: variável codificada do potássio

N: dose de nitrogênio

K: dose de potássio

Tabela 2 - Níveis dos fatores nitrogênio e potássio na escala original e codificada, considerados na superfície de resposta em um delineamento composto central modificado.

Experimento	Variáveis codificadas		Variáveis originais	
	X1(N)	X2(K)	N	K
			-- mg dm <sup>-3</sup> --	
N-K	-1,0	-1,0	0	0
Cultivar de	-0,5	-0,5	70	50
trigo BRS 394	0	0	140	100
	0,5	0,5	210	150
	1,0	1,0	280	200

### **3.4 ADUBAÇÃO E MANEJO DA ÁGUA**

As adubações de semeadura foram realizadas aplicando-se  $150 \text{ mg dm}^{-3}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , utilizando como fonte superfosfato simples. Os micronutrientes foram aplicados na forma de FTE BR 12 (9% Zn; 1,8% B; 0,8% Cu; 2% Mn; 3,5% Fe; 0,1% Mo) aplicando-se  $50 \text{ mg dm}^{-3}$ . As adubações nitrogenada e potássica foram realizadas conforme os tratamentos. O potássio foi fornecido na forma de cloreto de potássio (KCl) no momento da semeadura e a adubação nitrogenada foi parcelada, sendo 30% da recomendação no plantio e o restante 15 dias após a emergência das plantas, sendo aplicada na forma de ureia.

A capacidade máxima de retenção de água do solo foi determinada em laboratório em vasos do mesmo volume utilizado no experimento, em três repetições. Os vasos foram preenchidos com solo proveniente da área experimental, pesados e colocados em bandejas plásticas. Adicionou-se água até dois terços da altura dos vasos, para que a mesma saturasse o solo por capilaridade, de modo a retirar todo oxigênio contido em seus poros. Após a saturação do solo, os vasos foram retirados da bandeja e colocados sobre um suporte para se observar a drenagem da água não retida. Ao cessar a drenagem, os vasos foram novamente pesados e por diferença obteve-se a capacidade de campo (BONFIM-SILVA et al., 2011).

Durante todo o cultivo a umidade do solo foi mantida a 60% da capacidade de retenção de água por meio de irrigação na superfície, sendo controlada por meio de pesagem individual de cada vaso diariamente entre às 17:00 e 18:00 horas, os mesmos não permitiam perdas por lixiviação.

### **3.5 CULTIVAR**

A cultivar de trigo utilizada foi BRS 394, desenvolvida pela EMBRAPA para regiões de Cerrado, por apresentar ampla adaptação, elevado potencial produtivo, excelente qualidade de panificação, ser de ciclo precoce e moderadamente resistente ao acamamento (ALBRECHT et al., 2016). Foram semeadas 10 sementes por unidade experimental, sendo realizado o desbaste aos 15 dias após a emergência (DAE), deixando 3 plantas por vaso.

### 3.6 VARIÁVEIS AVALIADAS

As avaliações morfofisiológicas foram realizadas aos 15, 30 e 45 dias a partir da emergência das plântulas, sendo as demais variáveis realizadas após a colheita (80 DAS) do experimento.

- Altura de plantas - a medida foi realizada em centímetros, entre a superfície do solo até a folha esticada perpendicularmente ao solo, com auxílio de régua graduada (Figura 3), realizada em todas as plantas do vaso. Calculada a média por vaso.



Figura 3 - Altura das plantas de trigo aos 15 dias após a semeadura (DAE)

- Número de folhas – a contagem das folhas foi realizada em todas as unidades experimentais.
- Número de perfilhos – foi realizada a contagem de perfilhos (planta mãe + perfilhos) e foram contados em todas as plantas cultivadas no vaso.
- Diâmetro de colmo – foi realizada a uma altura aproximadamente de dois centímetros superfície do solo, utilizando-se paquímetro digital (mm), calculada a média por vaso.
- Índice de clorofila (SPAD) – Determinação indireta do teor de clorofila foi realizada no terço-médio das folhas (+1 e +2) com língua foliar desenvolvida, através da

média de leitura de 5 folhas aleatórias no experimento. Sua coleta foi realizada com o auxílio do aparelho clorofilômetro Minolta SPAD-502 (Figura 4).



Figura 4 - Leitura do índice de clorofila nas folhas de trigo aos 30 dias após a semeadura (DAE)

- Massa seca de espigas e massa seca de colmos – todas as plantas do vaso foram coletadas sendo separadas as espigas dos colmos e acondicionadas em embalagens de papel com identificação. O material foi levado à estufa de circulação forçada de ar a temperatura constante de 65°C até atingir massa constante. Os resultados foram expressos em g vaso<sup>-1</sup>.
- Massa seca da parte aérea total – foi a soma dos valores de massa de espigas e colmos, o resultado expresso em g vaso<sup>-1</sup>.
- Volume de raiz – as raízes, após serem lavadas, foram acondicionadas em uma proveta graduada com volume conhecido. A diferença encontrada entre o volume de água inserido na proveta e o volume da proveta corresponde ao volume de raiz (cm<sup>3</sup>).
- Número de espigas - foi realizado no momento da colheita. Todas as espigas da unidade experimental foram contabilizadas (espigas vaso<sup>-1</sup>).
- Número de grãos por espiga – foram selecionadas 5 espigas, aleatoriamente, de cada unidade experimental. As espigas foram debulhadas manualmente, sendo determinado o valor médio de grãos por espigas.

- Massa de grãos por espiga – foi determinada a partir da pesagem da amostra de 5 espigas debulhadas, anteriormente, para quantificar o número de grãos por espigas, valor obtido foi dividido pelo número de espigas. Foi realizado o teste de umidade dos grãos, pesando três amostras de 5g cada e colocadas em estufa a 105°C pelo período de 24 horas (BRASIL, 2009) e os valores foram corrigidos para 13% de umidade (base úmida).
- A atividade da enzima redutase - foi realizada de acordo com metodologia descrita por Majerowicz et al. (2003). Aos 30 dias após a emergência foram coletadas as folhas diagnósticas (+1 e +2) aleatoriamente nas unidades experimentais para atingir a quantidade de massa necessária de 0,2g.

O material foi coletado e acondicionado em sacos plásticos, mantidos em caixa térmica com gelo para ser transferido ao laboratório (Figura 5). As coletas foram realizadas às 9:00, 11:00 e 13:30 horas, período em que as plantas receberam pelo menos três horas de sol e a redutase do nitrato já tinha atingido sua máxima atividade (HAGEMAN et al., 1980).

As folhas foram cortadas em partes menores com o auxílio de uma tesoura e colocadas em seringas de volume de 10 mL. Para cada 0,5 g de folha adicionou-se 5 mL de solução de incubação ( $K_2HPO_4$  0,05 M pH 7,5,  $KNO_3$  0,05 M + propanol 1%). Após colocar o êmbolo da seringa, fez-se a inversão da mesma para expelir o ar e puxar o meio de reação. Fechou-se a saída da seringa com o dedo e puxou-se o êmbolo 3 vezes para fazer vácuo com o material vegetal totalmente submerso no meio. As seringas foram conservadas no escuro, cobertas com papel alumínio e incubadas por 45 minutos em temperatura ambiente.

Após esse tempo, foram retiradas alíquotas de 1,0 mL do meio de reação, as quais foram transferidas para tubos de ensaio, sendo adicionado 1,0 mL de sulfanilamida e 1,0 mL de n-nafti etilenodiamina. Os tubos foram agitados e deixados em repouso por 15 minutos para desenvolvimento da cor. As leituras de densidade óptica foram realizadas em espectrofotômetro a 540 nm. A atividade da enzima foi expressa em  $\mu\text{mol NO}_2^- \cdot \text{g MF}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ .

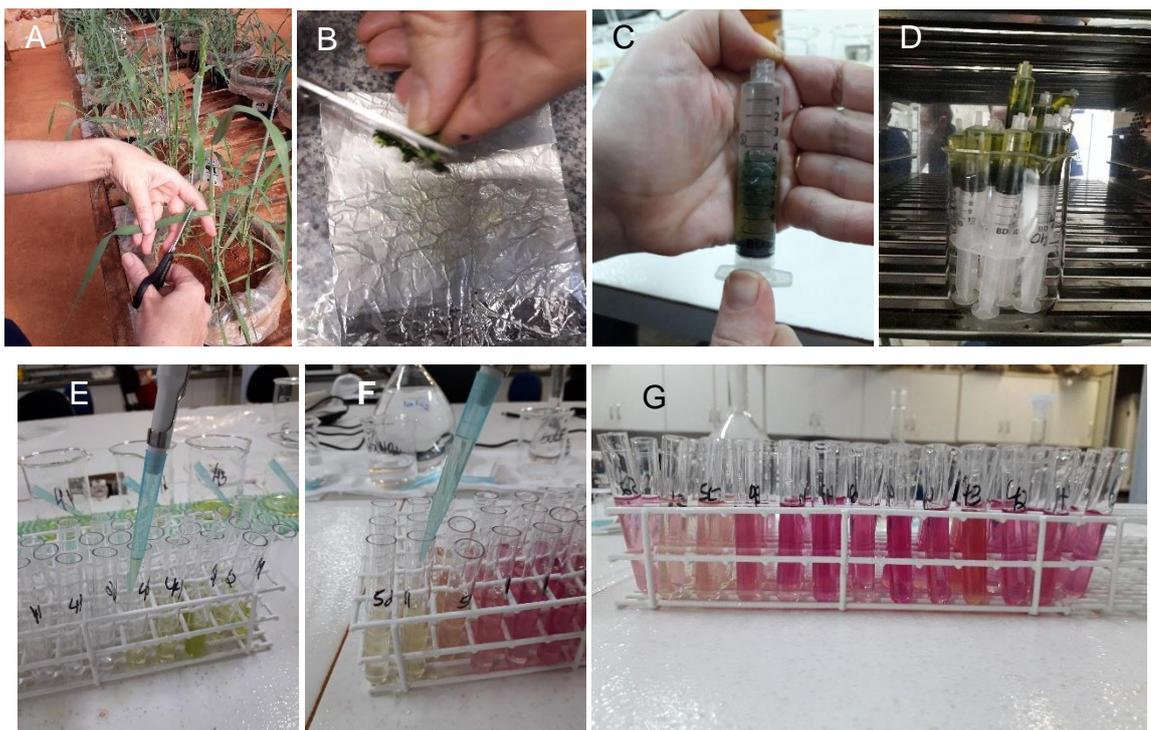


Figura 5 - Coleta da folhas diagnósticas (+1 e +2) aos 30 dias após a semeadura (A); corte de segmento das folhas (B); fazendo vácuo na seringa contendo o material vegetal imerso na solução de incubação (C); incubando por 45 minutos no escuro (D); adicionando 1mL da solução sulfanilamida (E); adicionando 1mL da solução de N-naftil etilenodiamina (F); amostras prontas para leitura no espectrofotômetro (G).

- Concentração de nitrogênio total nas folhas e nos grãos - Após a colheita o material vegetal foi seco em estufa de circulação forçada de ar em temperatura de 65°C, foram separadas amostras de cada tratamento de folhas e grãos, trituradas e encaminhados para análise em laboratório. Os materiais foram submetidos pelo método Kjeldahl, conforme descrito por Malavolta et al. (1997), por digestão com ácido sulfúrico seguido de destilação usando o método volumétrico.
- Concentração de potássio nas folhas e grãos - utilizou-se parte das amostras de folhas e grãos (para análise de nitrogênio) e as análises foram realizadas de acordo com os métodos propostos por Malavolta et al. (1997).
- O teor de proteína nas folhas e nos grãos - foi obtido multiplicado por 6,25 pelo teor de N-total.
- Relação nitrogênio e potássio nas folhas e nos grãos - A relação (N:K) foi calculada pela razão entre a concentração de nitrogênio total e potássio nas folhas e nos grãos de trigo.

- Concentração de potássio trocável no solo - as amostras de solo foram as mesmas coletadas para análise da concentração de nitrogênio total (descrito anteriormente). As concentrações de potássio no solo foram determinadas segundo metodologia descrita pela EMBRAPA (2017).
- Nitrogênio inorgânico (amônia e nitrato) - o solo foi coletado no perfil do vaso e em seguida acondicionado em sacos plásticos mantidos em caixa térmica com gelo. O solo foi armazenado em congelador com temperatura  $<15^{\circ}\text{C}$ . As concentrações de amônia e nitrato foram determinadas pelo método da destilação a vapor descrita por Raij et al. (2011) e EMBRAPA (2017). Uma alíquota de 20 ml da solução extraída com KCl foi usada para determinação do N-mineral. Na primeira destilação, foi adicionado MgO para determinação de  $\text{N-NH}_4^+$  e, posteriormente, na segunda destilação da mesma amostra, foi adicionada liga devarda para determinação de  $\text{N-NO}_3^-$ . Para quantificar os teores de amônio e nitrato foi considerada como padrão a densidade do solo de  $1 \text{ g cm}^{-3}$ .
- Aos 30 dias após emergência das plantas de trigo, foram coletadas amostra de solos em todas as unidades experimentais. Posteriormente, as amostras foram enviadas para laboratório de análise de solo, sendo realizadas as seguintes análises Teor de Ca, Mg e Al: extraídos com solução de cloreto de potássio 1N. P e K: extraídos com solução HCl 0,05 N e  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,025 N (Melich). H: extraído com acetato de cálcio a  $\text{pH}=7$ . M.O: Oxidação com dicromato de potássio e determinação colorimétrica.

### 3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

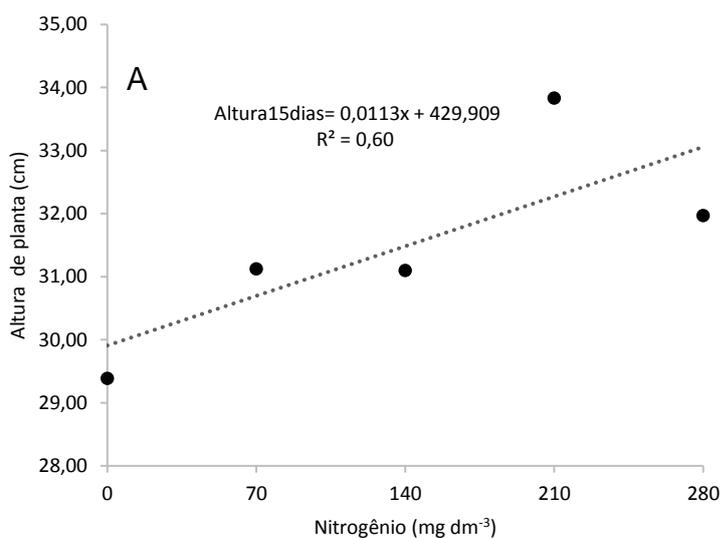
Os resultados foram submetidos a análise de variância e, quando significativos, analisados por meio de regressão polinomial para a interação nitrogênio e potássio. Nos casos em que as interações não foram significativas, foi efetuado o estudo de regressão de primeiro e segundo graus. Foi utilizado o nível de significância de até 5% em todas as análises estatísticas. Os resultados foram submetidos à análise estatística utilizando-se o software R<sup>®</sup> v. 3.4.2 (R Core Team, 2018) e Minitab 15<sup>®</sup>.

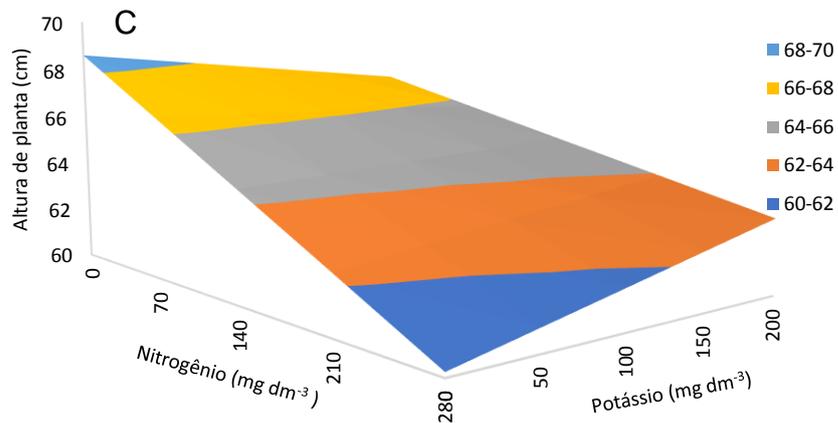
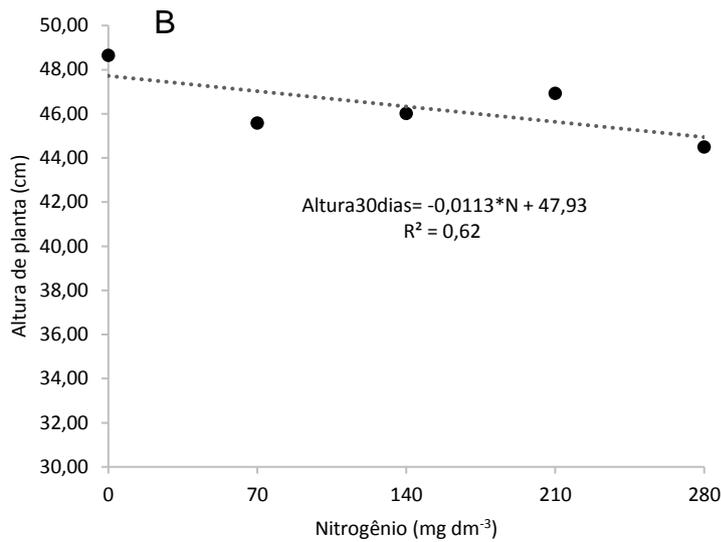
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ALTURA DE PLANTAS

Aos 15 e 30 dias após a emergência houve efeito significativo isolado para a aplicação de nitrogênio, se ajustando ao modelo linear de regressão. Sendo aos 15 dias após a emergência a maior altura de planta observada foi de 33,07 cm, ocorrido na dose de nitrogênio de 280 mg dm<sup>-3</sup> (Figura 6A). Para a avaliação realizada aos 30 dias após a emergência foi observado um decréscimo de 6,60% na altura de planta quando comparada a não aplicação de nitrogênio e a maior dose (Figura 6B).

O modelo de regressão múltipla foi significativo para a variável altura de plantas aos 45 dias após a emergência, indicando que o modelo de superfície de resposta com efeitos linear, observa-se a maior altura de planta (66,26 cm) para a ausência da adubação nitrogenada e potássica (Figura 6C).





$$\text{Altura45dias} = 64,642 - 3,037^{***}X_1 + 0,234^{ns}X_2 + 1,176^{*}X_1X_2$$

$$R^2 = 0,53$$

Figura 6 - Altura de plantas aos 15 (A), 30 (B) e 45 (C) dias após a emergência das plantas da cultivar de trigo BRS 394 em função das doses de nitrogênio e potássio. Rondonópolis-MT.

<sup>ns</sup>, <sup>\*\*</sup> e <sup>\*\*\*</sup> = não significativo, significativo a 1% e a 0,01%, respectivamente. X<sub>1</sub> e X<sub>2</sub> = codificações das doses de nitrogênio e potássio, respectivamente.

A redução no ciclo de cultivo durante o experimento da cultivar BRS 394 foi de 35 dias que pode ser explicada pelas altas temperaturas ocorridas no período do experimento, mesmo em casa de vegetação. O excesso de calor, além de induzir perdas quantitativas e qualitativas na produção, encurta a duração do ciclo, reduz a área foliar, a estatura e a porcentagem de fecundação das flores, acelera o período

de enchimento e a senescência, além de diminuir o peso médio dos grãos do trigo (RIBEIRO et al., 2012).

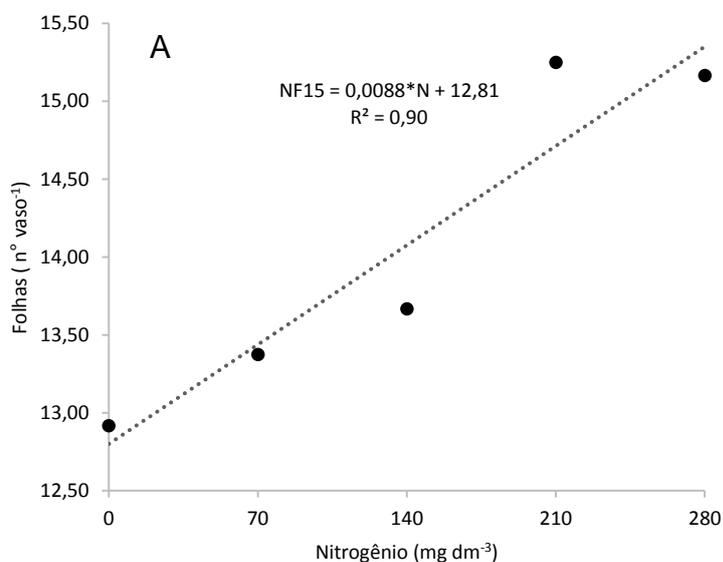
De acordo com Melero et al. (2013) ao estudarem doses (0 kg ha<sup>-1</sup>, 25 kg ha<sup>-1</sup>, 50 kg ha<sup>-1</sup>, 75 kg ha<sup>-1</sup>, 100 kg ha<sup>-1</sup> e 125 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio) em trigo irrigado na região de Cerrado, constataram aumento de até 17% nas alturas de plantas, na comparação entre a dose de 125 kg ha<sup>-1</sup> com ausência de aplicação.

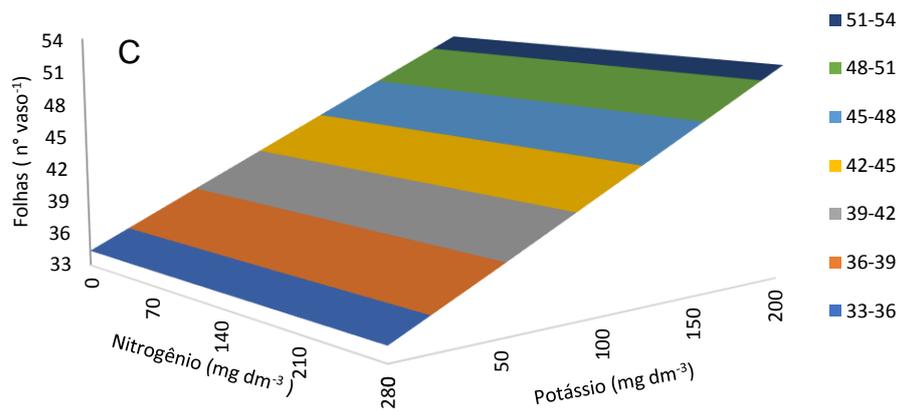
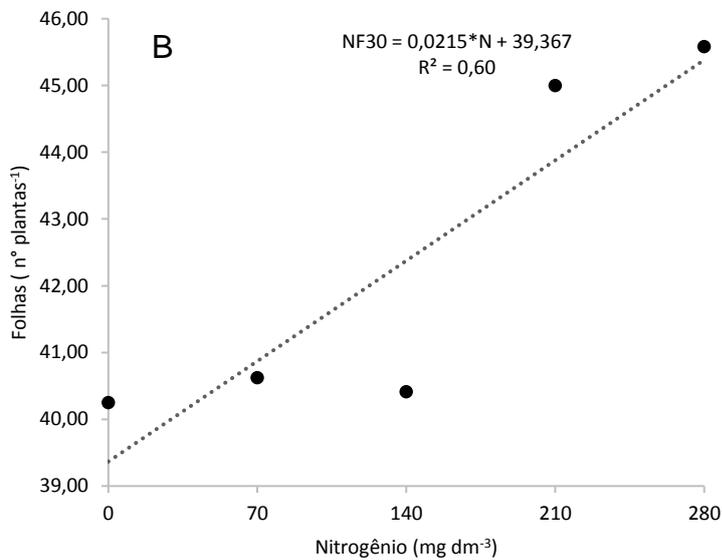
Em estudo com doses de nitrogênio (0, 29, 58, 87, 116, 145, 174 e 203 kg ha<sup>-1</sup>) em trigo irrigado na cidade de Faisalabad (Paquistão), a aplicação do nitrogênio proporcionou aumento de 29,5% na altura das plantas em comparação entre as doses de 203 kg ha<sup>-1</sup> e o tratamento controle (ULLAH et al., 2018).

## 4.2 NÚMERO DE FOLHAS

O número de folhas de plantas de trigo foi influenciado pelas doses de nitrogênio aos 15 e 30 dias após a emergência. Apresentou efeito isolado para as doses de nitrogênio, sendo significativo ao modelo linear de regressão, com incremento 19,23% e 15,29% na altura de planta entre a menor e maior dose de nitrogênio, respectivamente (Figura 7A e 7B).

O estudo de regressão múltipla foi significativo para a variável número de folhas aos 45 dias após a emergência, demonstrando que o modelo de superfície de resposta com efeitos linear e interação pode ser adotado para explicar os resultados da variável número de folhas, se ajustando ao modelo linear de regressão (Figura 7C).





$$NF45\text{dias} = 49,37 + 6,10 \cdot X_1 + 0,63^{ns} X_2 - 8,27^{***} X_1 X_2$$

$$R^2 = 0,26$$

Figura 7 - Número de folhas aos 15 (A), 30 (B) e 45 (C) dias após a emergência das plantas de trigo BRS 394 em função das doses de nitrogênio e potássio. Rondonópolis-MT.

<sup>ns</sup>, \* e \*\*\* = não significativo, significativo a 5% e 0,01% respectivamente.  $X_1$  e  $X_2$  = codificações das doses de nitrogênio e potássio, respectivamente.

A interação entre nitrogênio e potássio influenciaram no desenvolvimento vegetativo das plantas de trigo, aumentando o número de folhas aos 45 DAE. A quantidade de folhas presentes na planta de trigo está ligada ao número de nós que

cada cultivar possui, podendo variar de 3 a 8 folhas por perfilhos (SCHEEREN et al., 2015). O aumento do teor de K na planta tende a aumentar a taxa de absorção e eficiência de utilização do N pela planta, aumentando a formação de órgãos vegetativos (PRADO, 2014).

Pietro-Souza et al. (2013), ao estudarem doses de nitrogênio na cultura do trigo em ambiente protegido, constataram um maior crescimento da cultura com aplicação de nitrogênio, sendo que a dose de 195,6 mg dm<sup>-3</sup> foi a que proporcionou a máxima produção de folhas.

Freitas et al. (2018), em estudos com dois anos consecutivos de cultivo de trigo irrigado e adubado com combinações de nitrogênio e potássio em condições de Cerrado, constataram aumento no número de folhas com o aumento das doses de nitrogênio (0, 70, 140, 210 e 280 kg ha<sup>-1</sup>) e potássio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha<sup>-1</sup>) de forma isolada no segundo ano de cultivo.

### **4.3 NÚMERO DE PERFILHOS**

Para a variável número de perfilhos aos 15 e 30 dias após a emergência, apresentou efeito isolado apenas para as doses de nitrogênio, e foi significativo ao modelo linear de regressão, com incremento 63,89% no número de perfilhos (Figura 8A). Aos 30 dias após a emergência o maior número foi de aproximadamente 14 perfilhos por vaso para a dose de 280 mg dm<sup>-1</sup> (figura 8B).

Para o número de perfilhos aos 45 dias após a emergência, o estudo de regressão múltipla foi significativo, demonstrando que o modelo de superfície de resposta com efeitos linear e interação pode ser adotado para explicar os resultados da variável número de perfilhos.

Aos 45 dias após a emergência, as plantas de trigo apresentaram maior número (15 perfilhos vaso<sup>-1</sup>) nas combinações da dose de nitrogênio de 280 mg dm<sup>-1</sup> com a ausência da adubação com potássio (8C). A diferença entre o número de perfilhos foi pequena entre as duas últimas avaliações, provavelmente pelo espigamento ter iniciado aos 30 dias após a emergência.

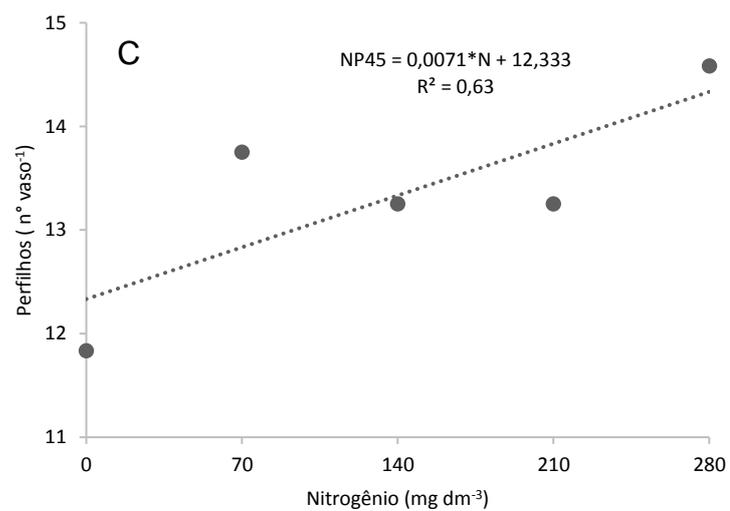
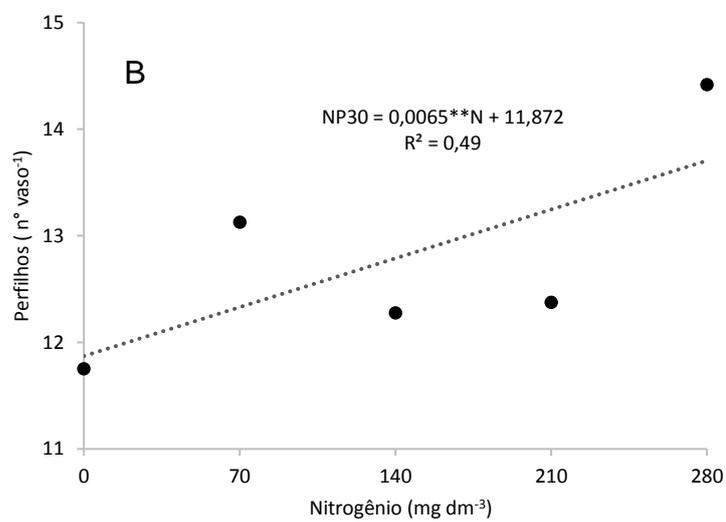
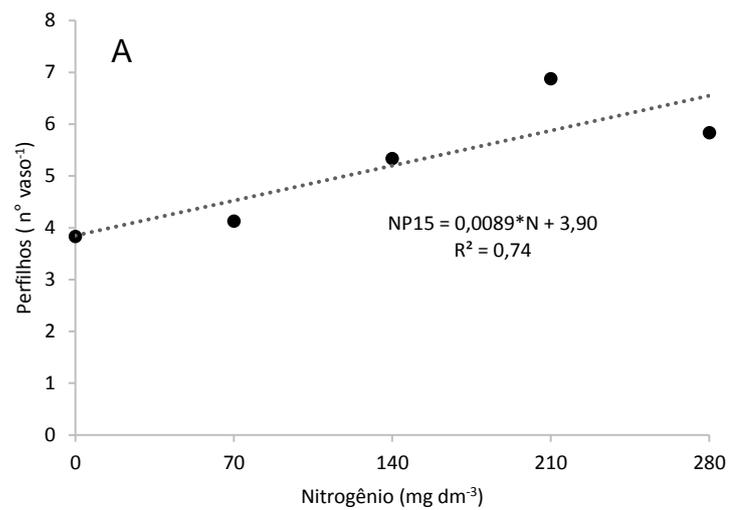


Figura 8 - Número de perfilhos aos 15 (A), 30 (B) e 45 (C) dias após a emergência do trigo BRS 394 em função das doses de nitrogênio. Rondonópolis-MT. \* = significativo a 5%.

Os perfilhos são estruturas utilizadas pelas plantas da Poaceae como estratégia para compensação de espaços vazios dentro da comunidade. Nas espécies onde o perfilhamento é comum, como o trigo, os perfilhos são considerados estruturas benéficas, aumentando o número de inflorescência por área e contribuindo para o incremento do rendimento de grãos (ALMEIDA et al., 2000).

Em estudo realizado na África do Sul com quatro cultivares de trigo, Metho et al. (1997) utilizaram combinações de potássio e nitrogênio e constataram que o benefício dos tratamentos entre as combinações de 100 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio e 70 kg ha<sup>-1</sup> de potássio foi melhor que com a aplicação de cada nutriente adicionado individualmente ao solo na cultura do trigo em sistema irrigado.

De acordo com Malavolta et al. (1997), o potássio pode estimular a vegetação e o perfilhamento nas poáceas. Isso pode ser confirmado pelo trabalho de Rozane et al. (2008), que, ao avaliarem os efeitos da omissão de nutrientes em plantas de aveia-preta cultivadas em solução nutritiva, verificaram aos 35 dias de cultivo que na ausência de potássio houve redução de 38,14% do número de perfilho.

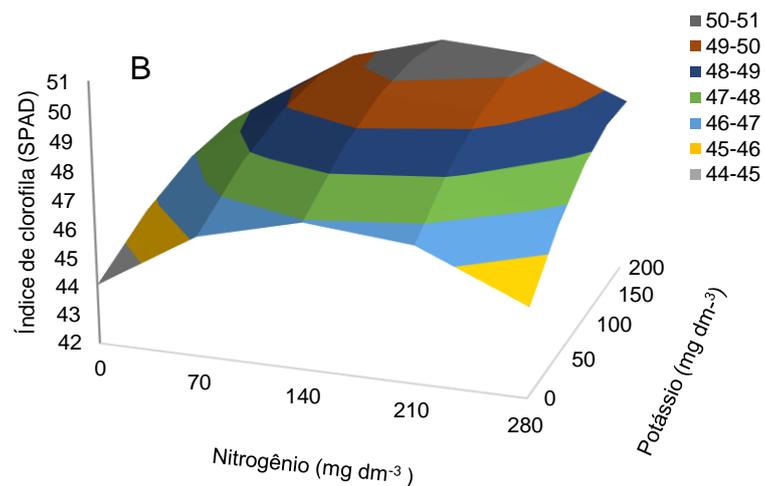
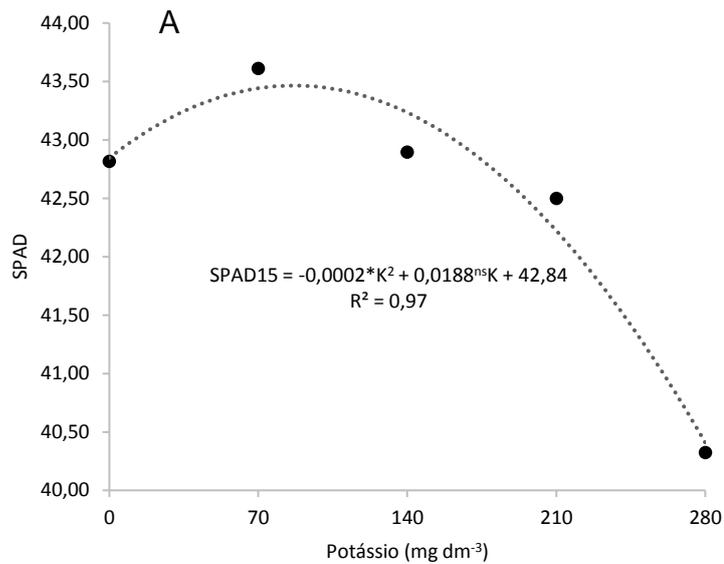
Efeitos também significativos foram observados por Nunes et al. (2011), ao estudarem adubos verdes e doses de nitrogênio em cobertura na cultura do trigo sob plantio direto no Cerrado, encontrando o maior número de perfilhos na dose de 110 Kg de N ha<sup>-1</sup>.

Ullah et al. (2018), ao avaliar o efeito de nitrogênio no crescimento e produtividade de trigo, encontraram um aumento significativo de 48,44% no número de perfilhos entre a maior dose de nitrogênio 203 kg ha<sup>-1</sup> quando comparado com a parcela que não recebeu a aplicação de nitrogênio.

#### **4.4 ÍNDICE DE CLOROFILA (SPAD)**

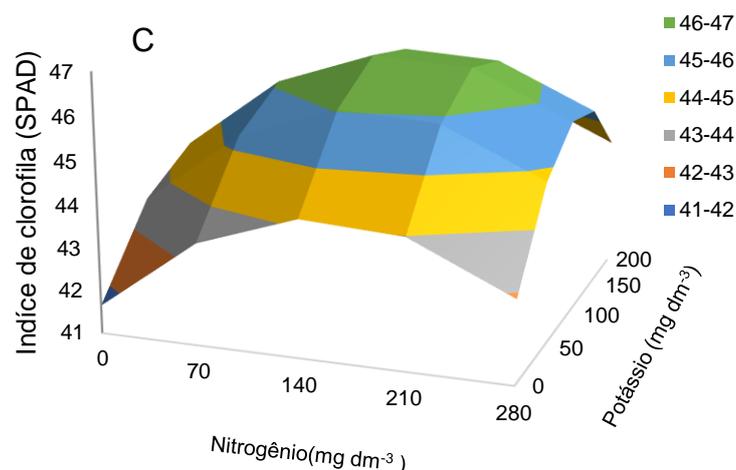
A análise de regressão múltipla apresentou diferença significativa para a variável índice de clorofila (SPAD) aos 30 e 45 dias após emergência, se ajustando ao modelo quadrático de regressão (Figura 9B e 9C) respectivamente. Aos 15 dias após a emergência apresentou efeito isolado apenas para as doses de potássio, se ajustando ao modelo quadrático de regressão, com maiores valores na dose de 47,5 mg dm<sup>-3</sup> de K (Figura 9A).

O índice de clorofila aos 30 dias após a emergência apresentou o ponto de máxima (50,63 SPAD) na combinação das doses de nitrogênio de 152,67 mg dm<sup>-3</sup> e potássio de 191,50 mg dm<sup>-3</sup>. Contudo, aos 45 dias, o maior índice (46,97 SPAD) foi observado quando foi adubado o trigo com 163,53 mg dm<sup>-3</sup> de nitrogênio e 191,50 mg dm<sup>-3</sup> de potássio.



$$SPAD_{30\text{dias}} = 49,49 + 0,25^{ns} X_1 + 1,73^{**} X_2 - 2,29 \cdot X_1^2 - 0,87^{ns} X_2^2 + 2,15^{***} X_1 X_2$$

$$R^2 = 0,32$$



$$\text{SPAD}_{45\text{dias}} = 46,66 + 0,49^{\text{ns}} X_1 + 0,53^{\text{ns}} X_2 - 1,75^* X_1^2 - 2,01^{**} X_2^2 + 1,43^{**} X_1 X_2$$

$$R^2 = 0,43$$

Figura 9 - Índice SPAD aos 15 (A), 30 (B) e 45 (C) dias após a emergência das plantas da cultivar de trigo BRS 394 em função das doses de nitrogênio e potássio. Rondonópolis-MT.  
<sup>ns</sup>, <sup>\*\*\*</sup>, <sup>\*\*</sup> e <sup>\*</sup> = não significativo e significativo a 0,0%, 1%, 5%, respectivamente.  $X_1$  e  $X_2$  = codificações das doses de nitrogênio e potássio, respectivamente.

A clorofila é o pigmento mais importante nas folhas e é responsável pela cor verde. O conteúdo de clorofila da folha pode ser usado como um indicador de nitrogênio na planta, pois este é um elemento essencial na síntese de proteínas fotossintéticas (DEMOTES-MAINARD, 2008; TAIZ et al., 2017).

Schlichting et al. (2015) estudaram métodos de índice indiretos e direto de clorofila na cultura do trigo e constataram alta correlação entre o índice de clorofila e concentração de nitrogênio nas folhas, sendo o índice de clorofila um método que pode ser utilizado para ajudar a verificar o estado nutricional de nitrogênio nas plantas.

O conteúdo de clorofila está correlacionado com a concentração de N na planta, porque o N é necessário para a síntese de clorofila e quando a planta estiver com teores baixos de clorofila ela não vai utilizar eficientemente a luz do sol para o processo fotossintético e consequente absorção de nutrientes (REIS et al., 2006).

Freitas et al. (2018), ao estudarem a influência das combinações de nitrogênio e potássio na cultura do trigo na região de Cerrado, demonstraram os efeitos isolados das adubações, com o maior valor de índice de clorofila (SPAD) de 47 com uma dose de 196 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio e 42,7 (SPAD) para a dose de 148 kg ha<sup>-1</sup> de potássio.

De acordo com Viana et al. (2010), ao realizarem estudos com adubações nitrogenada e potássica na cultura do trigo em casa de vegetação, observaram

interação entre nitrogênio e potássio no aumento do índice de clorofila aos 30 dias após a semeadura. O máximo índice de clorofila (57 unidades SPAD) foi obtido nas combinações das doses de nitrogênio e potássio de 240 e 174 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente.

Teago et al. (2014) observaram respostas positivas no índice de clorofila aos 38 DAE, em dois cultivares de trigo (IAC 370 e Embrapa 21) que foram submetidas às doses de N de até 200 kg ha<sup>-1</sup>, sendo o valor encontrado para este tratamento de 38,63 unidades SPAD. Os valores encontrados no presente trabalho foram superiores na cultura do trigo estudada.

#### 4.5 NITRATO REDUTASE NAS FOLHAS

A atividade da redutase do nitrato nas folhas de trigo foi influenciada pelas concentrações de nitrogênio, entretanto não foi significativa a interação entre o nitrogênio e o potássio, sendo significativo ao modelo quadrático de regressão.

A nitrato redutase aos 30 DAE nas folhas apresentou maior valor (1,30 μmol NO<sub>2</sub><sup>-</sup>.g.MF<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>) quando as plantas foram submetidas ao tratamento com dose de nitrogênio de 95 mg dm<sup>-3</sup> (Figura 10). A partir dessa dose, o aumento no fornecimento de nitrogênio promoveu o decréscimo da atividade da enzima.

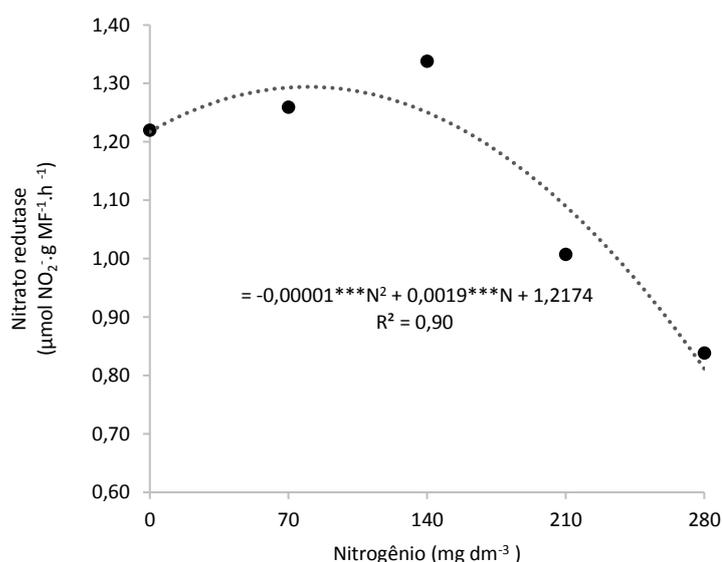


Figura 10 - Atividade da enzima redutase do nitrato em função das doses de nitrogênio nas folhas de trigo BRS 394. Rondonópolis-MT. \*\*\* = significativo a 0,1%

Segundo Viana et al. (2010), o nitrogênio aumenta a atividade da enzima redutase do nitrato até doses intermediárias, diminuindo nas concentrações elevadas. Em seus estudos, a máxima atividade da enzima redutase do nitrato foi de  $0,36 \mu\text{mol NO}_2\text{-g}^{-1}\text{h}^{-1}$  quando o fornecimento de nitrogênio foi de  $158 \text{ mg dm}^{-3}$  aos 79 dias após o fornecimento do nitrogênio para as plantas, período que já não havia nitrogênio na solução do solo para manter a atividade da enzima redutase do nitrato.

Sharma et al. (2023), ao estudarem o efeito da combinação de nitrogênio e fósforo na atividade da enzima nitrato redutase em diferentes cultivares de trigo, encontraram para a avaliação realizada aos 50 DAS uma atividade enzimática variando de  $0,22$  a  $2,43 \mu\text{mol NO}_2\text{-g MF}^{-1}\text{.h}^{-1}$ , aos 65 DAS entre  $0,41$  a  $1,73 \mu\text{mol NO}_2\text{-g MF}^{-1}\text{.h}^{-1}$  e aos 80 DAS foi de  $0,15$  a  $1,78 \mu\text{mol NO}_2\text{-g MF}^{-1}\text{.h}^{-1}$ .

Segundo Batista et al. (2020), a resposta de cultivares de trigo em relação ao fornecimento de nitrogênio é variável, e não pode ser generalizado. Porém, é essencial que o nutriente deva ser ofertado principalmente nos estádios de afilhamento, alongamento do colmo, para que ocorra melhor taxa de crescimento, produtividade e qualidade dos grãos.

Bakaeva (2020) explorou o conteúdo de nitrogênio no solo e a atividade de nitrato redutase em folhas de trigo de inverno com uso de adubos nitrogenados (nitrato de amônio, sulfato de amônio e uréia). A dose de  $90 \text{ mg dm}^{-3}$  de nitrogênio aplicada na forma de uréia apresentou um aumento de 30% em relação a atividade da enzima redutase do nitrato com a parcela sem o uso de fertilizantes. O autor considerou que a atividade da enzima nitrato redutase nas folhas pode servir como critério para avaliar o suprimento de nitrogênio das plantas e, futuramente, pode ser utilizada como indicador da otimização da nutrição nitrogenada das plantas visando processos metabólicos.

De acordo com Ruan et al. (1998) e Venkatesan et al. (2004), a fertilização potássica está envolvida no início dos processos metabólicos do nitrogênio sendo correlacionada positivamente com os níveis do nitrato redutase. Tal informação, porém, não se confirmou estatisticamente neste estudo.

Os resultados encontrados para a atividade da enzima nitrato redutase podem ser explicados pelo fato da atividade da NR tanto nas folhas quanto nas raízes, ser bastante alterada por fatores ambientais, como por exemplo: luz, temperatura, disponibilidade de nitrogênio e disponibilidade hídrica. O nitrogênio no solo induz a

síntese proteica, como por exemplo, da enzima nitrato redutase. Contudo, se a planta passa por uma condição de estresse hídrico, sua atividade pode ser limitada, devido à redução na absorção de nitrato pelas raízes, em consequência da falta de água (MARUR et al., 2000; CARELLI et al., 2006; LIMA et al., 2008).

Reis et al. (2005), avaliando a atividade da NR em cafeeiro em função de diferentes doses e sistemas de aplicação de nitrogênio, concluíram que a atividade da enzima redutase do nitrato responde à adubação nitrogenada, ou seja, aumenta com as doses crescentes de nitrogênio, interferindo diretamente na produtividade. Resultados semelhantes também foram encontrados por Khouri (2007).

#### 4.6 CONCENTRAÇÃO DE NITROGÊNIO NAS FOLHAS

Não houve interação significativa entre as doses de nitrogênio e de potássio para a concentração de nitrogênio nas folhas de trigo. Porém, houve efeito isolado das doses de nitrogênio aplicadas, ajustando-se ao modelo linear crescente de regressão. Analisando a concentração de nitrogênio nas folhas de trigo é possível visualizar um incremento de 66,18% quando comparado a maior dose de nitrogênio aplicado no presente estudo com a ausência da sua aplicação (Figura 11).

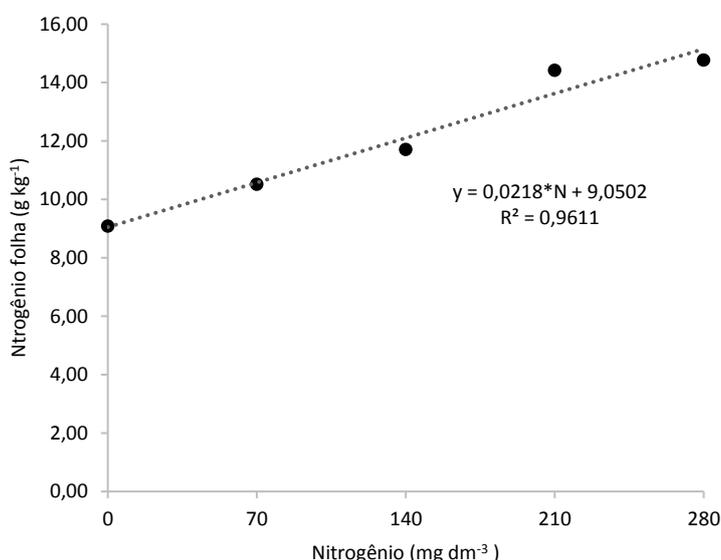


Figura 11 - Concentração de nitrogênio nas folhas de trigo BRS 394 em função das doses de nitrogênio. Rondonópolis-MT. \* = significativo a 5%.

Para Malavolta et al. (1997), as concentrações consideradas adequadas de nitrogênio nas folhas diagnósticas do trigo são entre 30 a 33 g kg<sup>-1</sup>, porém, neste

trabalho, as concentrações ficaram abaixo da faixa considerada adequada para a cultura ( $15,05 \text{ g kg}^{-1}$  na dose de  $280 \text{ kg de N ha}^{-1}$ ) em função do período da realização das análises, tendo em vista que as análises foram realizadas no final do ciclo da cultura e o nitrogênio presente na planta já havia se deslocado para a parte produtiva da planta.

Melero et al. (2013), ao estudarem o desenvolvimento e produtividade de trigo em plantio direto, observaram que o aumento das doses de nitrogênio ( $0 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $25 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $50 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $75 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $125 \text{ kg ha}^{-1}$ ) em cobertura proporcionou incremento no teor de nitrogênio foliar.

Teixeira Filho et al. (2010), ao avaliar os efeitos de doses ( $0$ ,  $50$ ,  $100$ ,  $150$  e  $200 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e fontes de nitrogênio (Entec, sulfato de amônio e ureia) por dois anos consecutivos em região de Cerrado, observaram que as doses de nitrogênio influenciaram o teor foliar de nitrogênio linearmente no ano 2006 e de forma quadrática em 2007, com ponto de máximo teor estimado com a aplicação de  $163 \text{ kg ha}^{-1}$  de nitrogênio.

Chapman et al. (1997) observaram que o aumento nos valores do índice SPAD, em função das doses de N, ocorre devido ao aumento da concentração de clorofila, promovido pela maior concentração de nitrogênio total nos tecidos. Uma vez que esta relação é atribuída, principalmente, ao fato de que 50 a 70% do N total da folha ser integrante de enzimas

#### **4.7 CONCENTRAÇÃO DE POTÁSSIO NAS FOLHAS**

Na análise de variância da concentração de potássio nas folhas de trigo não houve interação significativa entre as doses de nitrogênio e potássio. A concentração de potássio nas folhas não foi significativa estatisticamente para as doses de nitrogênio e potássio, não se ajustando aos modelos de regressão.

Bazzo et al. (2020), ao utilizarem a cultivar de trigo Quartzo aplicando doses de N em cobertura nas formas foliar e no solo, também observaram que não houve incremento de potássio nas folhas. A não interferência do N aplicado na concentração de K se explica pelo fato desse nutriente não fazer parte das moléculas de carboidrato nos grãos do cereal e sim por ser fator de coenzimas e no estabelecimento do turgor celular (TAIZ et al., 2017).

## 4.8 TEOR DE PROTEÍNA NAS FOLHAS

Na análise para o teor de proteína nas folhas de trigo não houve interação significativa entre as doses de nitrogênio e potássio. No entanto, foi observada resposta significativa isolada em função das doses de nitrogênio. A concentração de proteína bruta na matéria seca aumentou de forma linear com o aumento das doses de nitrogênio, incremento de 67,32%, quando comparado à maior dose de nitrogênio com o tratamento sem aplicação desse nutriente (Figura 12).

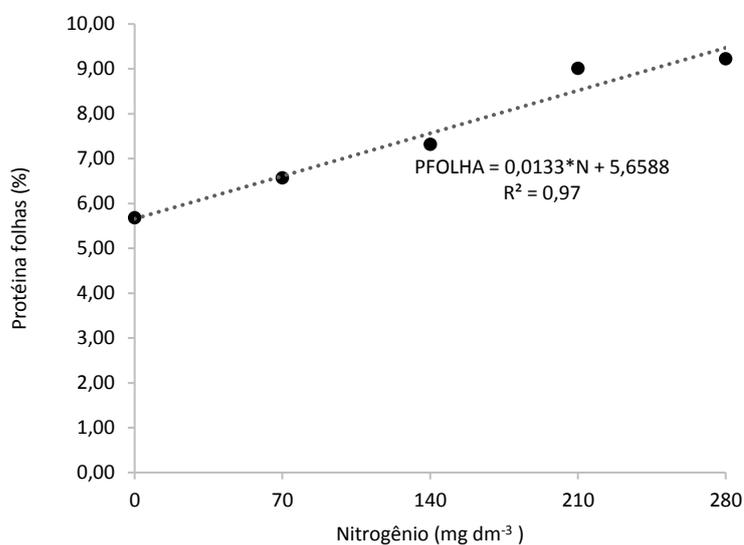


Figura 12 - Proteína nas folhas de trigo da cultivar BRS 394 em função das doses de nitrogênio. Rondonópolis-MT. \* = significativo a 5%.

Os resultados no presente trabalho são semelhantes aos observados por Wrobel et al. (2018) ao estudarem a qualidade de silagem de trigo produzida sob níveis de adubação nitrogenada, para os tratamentos 88 e 148 kg ha<sup>-1</sup>, em que encontraram um teor de proteína bruta de 6,88% e 7,05% no estágio farináceo respectivamente.

O incremento linear no teor de proteína, proporcionado pelo aumento das doses de nitrogênio, também foi observado por Souza et al. (2004), que afirmaram que o nitrogênio é um elemento necessário para a síntese da clorofila, estando envolvido no processo de fotossíntese e na função de aumentar o teor de proteína nas plantas.

Em experimento com quatro cultivares de trigo (BRS FIGUEIRA, BRS UMBU, BRS GUATAMBU e BRS TARUMÃ), cinco doses de nitrogênio na adubação (0, 45;

90; 135; e 180 kg ha<sup>-1</sup>) e diferentes manejos de corte, foram observadas médias de 26,57% e 21,98% para o teor de proteína bruta com um e dois cortes respectivamente (HASTENPFLUG et al., 2011).

Com intuito de analisar a influência do regime de cortes sobre a produção e valor nutricional de trigo cv. BRS Umbu para forragem, Carletto et al. (2020) observaram teores de proteína bruta de 21,08% no primeiro corte 57 dias após o pastejo e de 19,79% no segundo corte 48 dias após o primeiro. Corroborando com os resultados do presente estudo, parece existir uma tendência na redução dos teores de proteína bruta com as colheitas mais tardias. Possivelmente, o aumento dos componentes folhas senescentes, hastes e caule contribuam para isso. De acordo com Mancipe-Muñoz et al. (2021), ao avaliarem cultivares de trigo oriundos de diferentes países, foi observado nessas cultivares teores de proteína bruta variando entre 14,2% a 23,9% da matéria seca.

#### **4.9 RELAÇÃO NITRÓGENIO E POTÁSSIO NAS FOLHAS**

A interação entre as doses de nitrogênio e potássio não foi significativa para a relação nitrogênio:potássio nas folhas de trigo, mas significância foi observada para as doses de nitrogênio, com ajuste ao modelo linear de regressão (Figura 13).

A relação nitrogênio:potássio nas folhas teve um incremento de 83,78% quando comparada à dose de nitrogênio de 280 mg dm<sup>-3</sup> com a ausência da adubação nitrogenada.

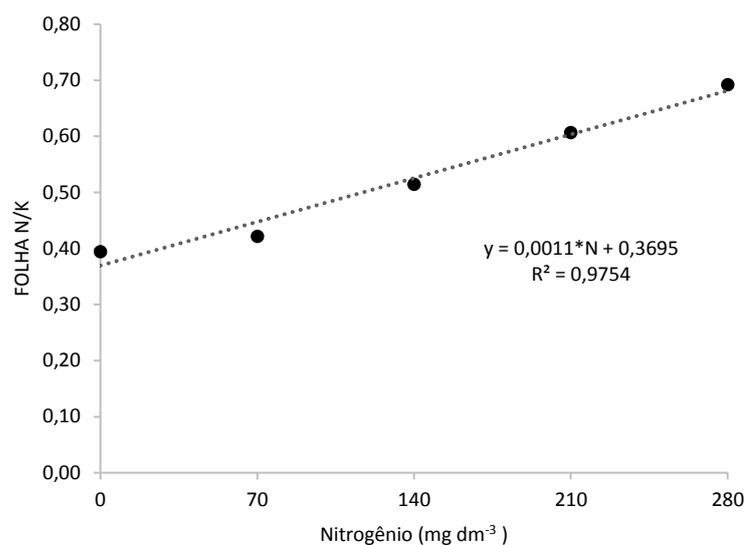


Figura 13 - Relação N:K nas folhas de trigo BRS 394 em função das doses de nitrogênio. Rondonópolis-MT. \* = significativo a 5%.

A relação nitrogênio:potássio, de forma geral, não se caracteriza como competitiva, pois a absorção de um sempre eleva a necessidade do outro (CANTARELLA, 2007).

Castanõn (2019), ao estudar a relação nitrogênio:potássio nas folhas de trigo por dois anos consultivos em condição de campo no mesmo local da coleta de solo do presente estudo, verificou que a maior relação (26:1) foi quando aplicou-se a dose de nitrogênio de 280 kg ha<sup>-1</sup> e na ausência da aplicação de potássio. E a menor relação nitrogênio:potássio (15,5:1) ocorreu com a aplicação da dose de potássio de 200 kg ha<sup>-1</sup> combinada com a ausência da aplicação de nitrogênio.

#### 4.10 CONCENTRAÇÃO DE NITROGÊNIO NOS GRÃOS

Não houve interação significativa entre as doses de nitrogênio e de potássio para a concentração de nitrogênio nos grãos de trigo. Porém, houve efeito isolado das doses de nitrogênio aplicadas, ajustando-se ao modelo quadrático de regressão.

As doses de nitrogênio contribuíram para a concentração de nitrogênio nos grãos, sendo que a dose de nitrogênio de 161,67 mg dm<sup>-3</sup> aumentou em 31,46% a concentração de nitrogênio, quando comparada com o tratamento com ausência de aplicação desse nutriente (Figura 14).

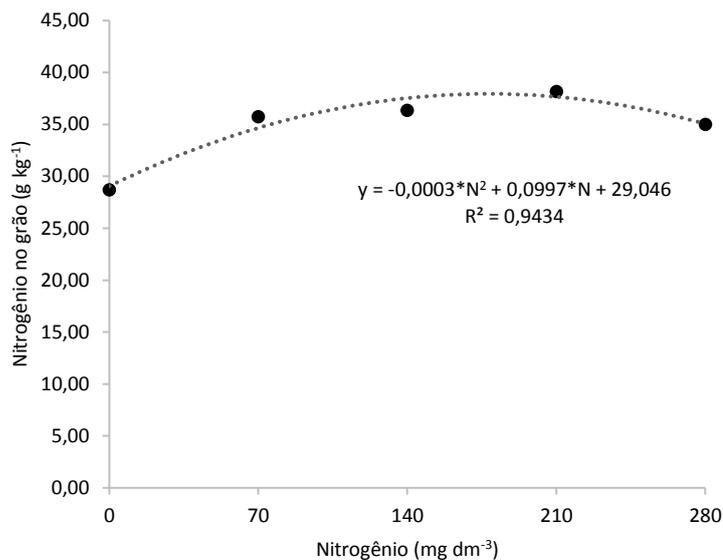


Figura 14 - Concentração de nitrogênio nos grãos de trigo BRS 394 em função das doses de nitrogênio. Rondonópolis-MT. \* = significativo a 5%.

Carvalho et al. (2016) realizaram estudos em casa de vegetação sobre a influência da adubação nitrogenada e potássica na nutrição das plantas de trigo e constataram aumento na concentração de máxima de nitrogênio, ajustando ao modelo quadrático de regressão, sendo observado na dose de nitrogênio de 286,35 mg dm<sup>-3</sup> um incremento de 22,02%, quando comparado com a ausência de adubação nitrogenada.

De acordo com Lollato et al. (2019), ao estudarem a resposta da concentração de nitrogênio nos grãos de trigo em função das doses de fertilizante de N, P e K e suas interações, usando dados de três experimentos ao longo de 50 anos, concluíram que os números de grãos aumentam com a aplicação de nitrogênio, porém, a aplicação simultânea de potássio diminui a concentração de nitrogênio nos grãos, divergindo do presente estudo em que não houve influência da adubação potássica na concentração de nitrogênio nos grãos.

Pietro-Souza et al. (2013), ao estudarem o desenvolvimento inicial de trigo sob doses de nitrogênio, relataram que os maiores números de perfilhos da planta foram encontrados nas doses de nitrogênio de 29; 106; 169 e 193 mg dm<sup>-3</sup> em avaliações que ocorreram após 26, 33, 40 e 47 dias após a emergência da cultura. Os mesmos autores ainda relatam que o perfilhamento das plantas de trigo foi instigado pelas doses de nitrogênio, em todas as épocas de avaliações.

#### 4.11 CONCENTRAÇÃO DE POTÁSSIO NOS GRÃOS

A concentração de potássio nos grãos foi significativa somente para as doses de nitrogênio, se ajustando ao modelo linear de regressão (Figura 15), com um incremento de 12,67% entre a menor e maior dose.

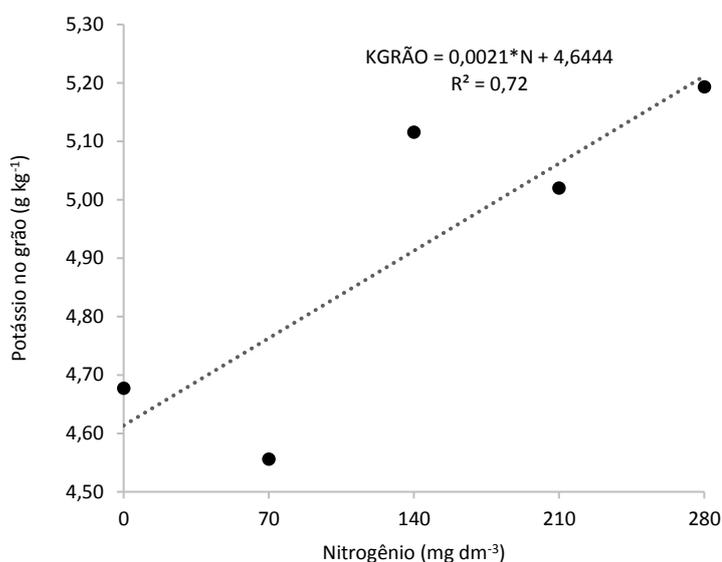


Figura 15 - Concentração de potássio nos grãos de trigo BRS 394 em função das doses de nitrogênio. Rondonópolis-MT. \* = significativo a 5%.

A ausência de interação entre as doses de nitrogênio sobre o teor de potássio nos grãos pode ser justificada pelo motivo do potássio não fazer parte das moléculas de carboidrato, principal componente dos grãos de trigo, e atuar como cofator de enzimas e no estabelecimento do turgor celular (TAIZ et al., 2017).

Carvalho et al. (2016), analisando os componentes de grãos em trigo submetido a diferentes doses de nitrogênio (0, 100, 200, 300 e 400 mg dm<sup>-3</sup>), observaram que o incremento da adubação nitrogenada elevou a concentração de potássio nos grãos de trigo, sendo a melhor dose de 224,79 mg dm<sup>-3</sup> de N.

Esse padrão no aumento da concentração de potássio nos grãos de trigo não foram encontrados por Bazzo et al. (2020) ao avaliarem a composição mineral de grãos de trigo em função de diferentes formas de aplicação de nitrogênio em Latossolo Vermelho. Favarato et al. (2012) também verificaram que o aumento do teor de nitrogênio presente nas sementes de trigo produzidas sob diferentes doses de nitrogênio (0, 30, 60, 90, 120 e 150 kg ha<sup>-1</sup>) não interferiu na concentração de potássio nas sementes.

#### 4.12 TEOR DE PROTEÍNA NOS GRÃOS

As doses de nitrogênio contribuíram para o teor de potássio nos grãos, sendo que a dose de nitrogênio de  $140 \text{ mg dm}^{-3}$  aumentou em 23,53% o teor de proteína nos grãos de trigo quando comparada com o tratamento com ausência de aplicação desse nutriente (Figura 16).

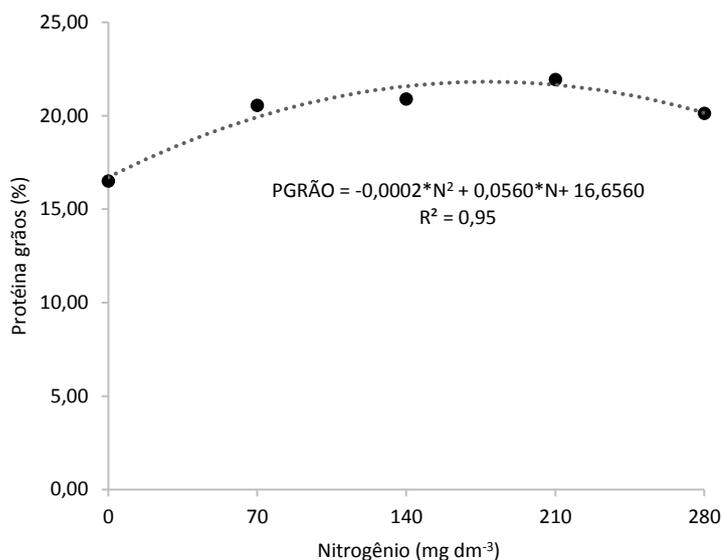


Figura 16 - Teor de proteínas nos grãos de trigo BRS 394 em função das doses de nitrogênio. Rondonópolis-MT. \* = significativo a 5%.

O teor de proteína do grão de trigo varia em função de fatores agronômicos e condições ambientais, a qualidade das proteínas é característica primariamente genotípica (BUSHUK, 1985; SILVA et al., 2019). O teor de proteína do grão de trigo tem uma correlação positiva com o volume do pão produzido, ou seja, na qualidade industrial das farinhas (GUTKOSKI et al., 2002).

Bressiani et al. (2018), ao estudarem as características de qualidade protéica do trigo em resposta a sete formas de manejo da adubação nitrogenada aplicada em cobertura nas cultivares TBIO Itaipu, TBIO Pioneiro, TBIO Quartzo e TBIO Seleto na cidade de Coxilha – RS, observaram aumento da concentração de proteína nos grãos com a aplicação de  $140 \text{ kg ha}^{-1}$  nas quatro cultivares estudadas independente do manejo aplicado.

Wrobel et al. (2016), em estudos com doses de nitrogênio ( $120$  e  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  de N) sobre produtividade e aspectos nutricionais de grãos e palha de trigo de duplo

propósito, constataram aumentos nas concentrações de proteína nos grãos e palhada do trigo, com o aumento da dose de nitrogênio.

Boschini et al. (2011), ao pesquisarem a influência de lâminas de irrigação e doses de nitrogênio na qualidade dos grãos de trigo na região de Cerrado, constataram a maior concentração de proteína bruta (17,6%) na dose de nitrogênio de 200 kg ha<sup>-1</sup>, valor abaixo do que foi encontrado nesse estudo que foi de 20,57% para a dose de 140 mg dm<sup>-3</sup>.

#### 4.13 RELAÇÃO NITROGÊNIO E POTÁSSIO NOS GRÃOS

Verificou-se significância isolada para as doses de nitrogênio, com os resultados descritos por modelo quadrático de regressão para a relação nitrogênio:potássio nos grãos (Figuras 17), sendo o máximo valor de 7,1:1, observado na dose de nitrogênio de 80 mg dm<sup>-3</sup>.

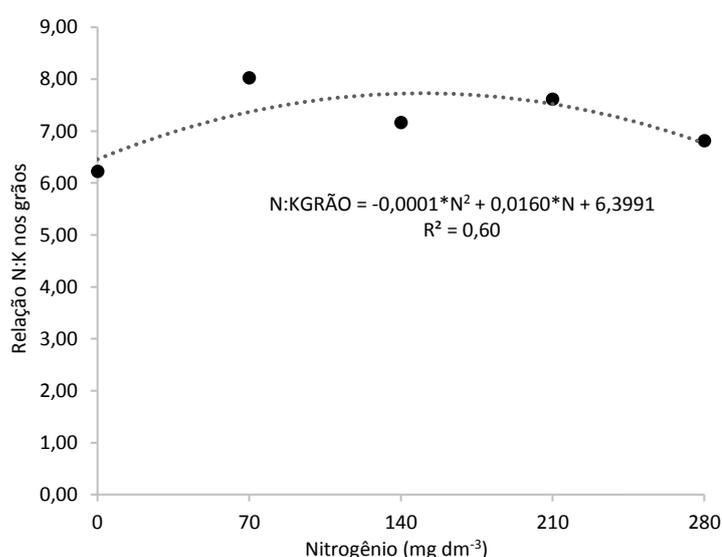


Figura 17 - Relação de N:K nos grãos de trigo BRS 394 em função das doses de nitrogênio. Rondonópolis-MT. \* = significativo a 5%.

Esses resultados estão de acordo com os discutidos por Niu et al. (2013), onde constataram que a adubação potássica promove aumento na eficiência do uso do nitrogênio pelas plantas. O potássio, mesmo não fazendo parte de nenhum composto orgânico da planta, tem o papel de auxiliar na parte estrutural da planta, que acaba

sendo benéfico para que não ocorra o acamamento, que pode ser influenciado por doses elevadas de nitrogênio aplicadas ao solo. O motivo para que o potássio trabalhe na redução do acamamento é porque ele proporciona maior turgidez das células, encurtamento dos internódios e aumento da espessura da parede celular.

Para Viana et al. (2010), a disponibilidade de nitrogênio e potássio bem como a adequada proporção entre eles no solo são fatores determinantes no processo de crescimento e desenvolvimento das plantas. Zahoor et al. (2017) afirmam que a adição de potássio ao sistema regula o metabolismo do nitrogênio, aumentando sua absorção pela planta, favorecendo a produção.

Em solos que apresentam baixo teor de potássio disponível, a planta acaba utilizando o nitrogênio disponível de forma ineficiente, gerando perdas financeiras ao produtor rural e danos ao meio ambiente, pois pode ocorrer a lixiviação do nitrogênio para o lençol freático (BRAR et al., 2015). O fornecimento equilibrado na adubação nitrogenada e potássica promove uma maior reposta para as plantas, mas, em solos que apresentam deficiência de um desses nutrientes, a não adição pode interferir na resposta do outro nutriente para a cultura, podendo ocorrer redução na produção final e na qualidade da cultura (CANTARELLA, 2007).

#### **4.14 NÚMERO DE ESPIGAS**

O número de espigas de trigo foi significativo de forma isolada para aplicação de nitrogênio. O ajuste foi para o modelo linear de regressão, com incremento de 26,75% no número de espigas quando comparado a dose de nitrogênio de 280 kg ha<sup>-1</sup> com a ausência da aplicação de nitrogênio (Figura 18). O número de espigas foi proporcional ao aumento dos números de perfilhos com o aumento das doses de nitrogênio.

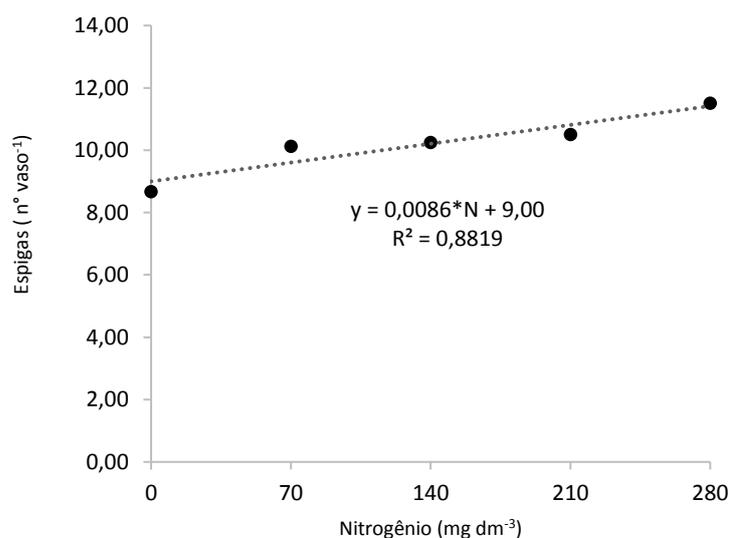


Figura 18 - Número de espigas de trigo BRS 394 em função das doses de nitrogênio.

O nitrogênio é o nutriente mais limitante na produtividade do trigo, afetando diretamente os componentes de rendimento, tais como número de espigas, tamanho de espigas e massa de grãos (MUNDOSCK, 2005).

Benin et al. (2012) observaram variabilidade nas cultivares de trigo em resposta ao aproveitamento do nitrogênio e que o efeito positivo observado nos níveis de fertilização se deve à melhor expressão dos componentes de produtividade de grãos.

Metho et al. (1997), ao estudarem quatro cultivares de trigo (SST86, Inia, Kariega e Carina) em sistema de cultivo irrigado, observaram o maior número de espigas nas combinações entre potássio e nitrogênio para a dose 70 kg ha<sup>-1</sup> de K e 100 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio.

#### 4.15 NÚMERO DE GRÃOS POR ESPIGAS

Para a variável número de grãos não foi possível verificar efeito significativo para a interação entre as doses de nitrogênio e potássio no cultivar de trigo BRS 394. Apenas o nitrogênio influenciou o número de grãos por espiga do trigo com ajuste ao modelo linear de regressão com produção máxima (40 grãos, dentro do intervalo experimental) na dose 280 mg dm<sup>-3</sup> com incremento de 17,30%, quando comparado à maior dose de nitrogênio com o tratamento sem aplicação desse nutriente (Figura 19).

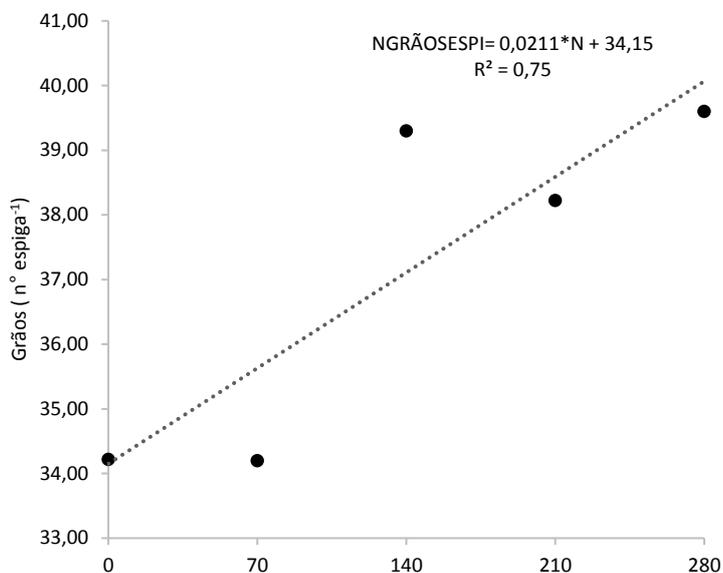


Figura 19 - Número de grãos da cultivar de trigo BRS em função das doses de nitrogênio. Rondonópolis-MT. \* = e significativo a 5%.

Esse resultado corrobora com o obtido por Bazzo et al. (2016) que, analisando a produtividade de grãos na cultura do trigo submetido a diferentes doses de N em cobertura (0, 30, 60 e 90 kg ha<sup>-1</sup>) e a adubação foliar com molibdênio, observaram que o incremento da fertilização nitrogenada elevou linearmente a produtividade dos grãos do cereal.

De acordo com Ronsani et al. (2018), a melhor produtividade de grãos foi para a dose de 120 kg de N ha<sup>-1</sup> ao avaliar adubação nitrogenada na produção de grãos e matéria seca de cultivares de trigo de duplo propósito (possibilitando um período de pastejo e a colheita de grãos em uma mesma área).

Quanto ao número de grãos por espiga em região de Cerrado, Meleiro et al. (2013) obtiveram um aumento linear encontrando 42,45 grãos por espigas para a dose de nitrogênio de 125 kg ha<sup>-1</sup>. Teago et al. (2014), ao avaliarem diferentes doses nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha<sup>-1</sup>), também em região de Cerrado de baixa altitude, encontraram 46 grãos por espiga para a dose 100 kg ha<sup>-1</sup>.

Teixeira Filho et al. (2008), analisando o desempenho agrônomo de duas cultivares (IAC 24 e IAC 370) de trigo em resposta a população de planta e adubação nitrogenada, observaram que não houve diferença em relação ao número de grãos

por espiga em relação às doses de nitrogênio estudadas (0, 30, 60, 90, 120 e 150 kg ha<sup>-1</sup>).

Outro fator que interfere no número de grãos por espigas é a temperatura que, neste experimento, obteve a média de 29,5°C, alcançando temperaturas máximas 47°C e mínimas 13,5°C, sendo assim, a cultura atingiu a maturidade fisiológica aos 80 dias após a semeadura. Para Stone et al. (1994) a temperatura ideal para o desenvolvimento de trigo está na faixa de 18-24°C.

Cooper (1992), trabalhando com trigo irrigado na Austrália, observou que quanto maior o tempo entre a semeadura e a maturação, maior o rendimento de grãos. Da mesma forma, Raddatz et al. (1994) observaram que os rendimentos de trigo, cevada e canola nas pradarias canadenses aumentaram à medida que o período da semeadura até a maturidade se prologavam.

Ecco et al. (2018), ao estudarem a influência da aplicação de diferentes doses de K<sub>2</sub>O (0, 10, 20, 30 e 40 kg ha<sup>-1</sup>) na cultura do trigo no Estado do Paraná, não encontraram diferenças significativas entre os tratamentos avaliados. Para eles, isso ocorreu principalmente pelo alto teor de potássio no solo devido possivelmente a retenção do elemento por conta do sistema de semeadura direta, assim como foi observado no resultado de Rodrigues et al. (2014), avaliando a aplicação de fontes de K em plantas de milho.

Cazetta et al. (2008) verificaram, em estudos com trigo e triticale, que a elevação das doses do N-fertilizante incrementou significativamente o teor de proteína nos grãos e o valor da alveografia, trazendo benefícios em incrementar o número de grãos por espigas na inflorescência do trigo.

#### **4.16 MASSA DE 100 GRÃOS**

A massa de 100 grãos foi significativa para as doses de nitrogênio, se ajustando ao modelo linear de regressão. O nitrogênio influenciou de forma negativa, com redução na massa de 100 grãos de trigo em 19,40%, na comparação da ausência da aplicação de nitrogênio com a dose de 280 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 20 e 21).

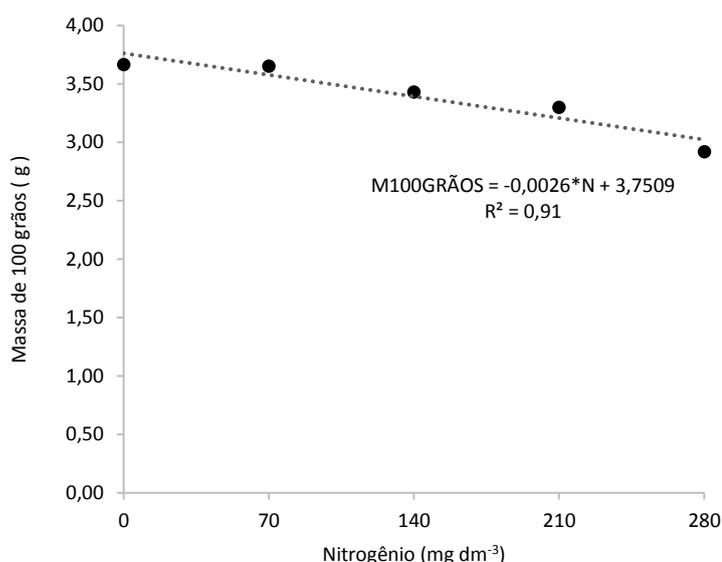


Figura 20 - Massa de 100 grãos da cultivar de trigo BRS 394 em função das doses de nitrogênio. Rondonópolis-MT. \* = significativo a 5%.

Esses resultados colaboram com os de Teixeira filho et al. (2007), que verificaram que o aumento das doses de nitrogênio influenciou a massa de 100 grãos com decréscimo linear. Teixeira Filho et al. (2010) afirmam que essa redução nos valores de massa de 100 grãos pela elevação das doses de nitrogênio pode ser atribuída ao aumento no número de grãos por espiga, que aumenta a competição por nutrientes e fotoassimilados dentro da espiga e, como consequência, reduz a massa unitária dos grãos.

Teago et al. (2014), ao avaliarem diferentes doses e fontes de nitrogênio e formas de aplicação na produção de duas cultivares de trigo irrigado em sistema de plantio direto, cultivado numa região de Cerrado de baixa altitude, não encontraram diferença significativa para as doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha<sup>-1</sup>). Porém, a média da massa de 100 grãos de trigo foi de 3,68 g, valor semelhante observado no presente trabalho para a dose de 27,26 mg dm<sup>-3</sup>.

Fang et al. (2018), ao estudarem o efeito da taxa de aplicação de fertilizantes e da densidade de plantio no rendimento do trigo Ceroso na China, observaram que a dose 300 kg ha<sup>-1</sup> na adubação nitrogenada foi a que apresentou maior rendimento.

Streck (2005), em seus estudos, constatou que os aumentos de temperaturas de 15/10°C (diurno/noturno) para 21/16°C reduz de 60 para 36 dias a duração do enchimento de grãos, reduzindo para 22 dias quando a temperatura aumenta para

30/25°C, afetando significativamente também o peso de grãos. No presente estudo também foi observado uma redução no período de enchimento dos grãos, que pode ter ocorrido em função das elevadas temperatura da casa de vegetação durante a condução do experimento.

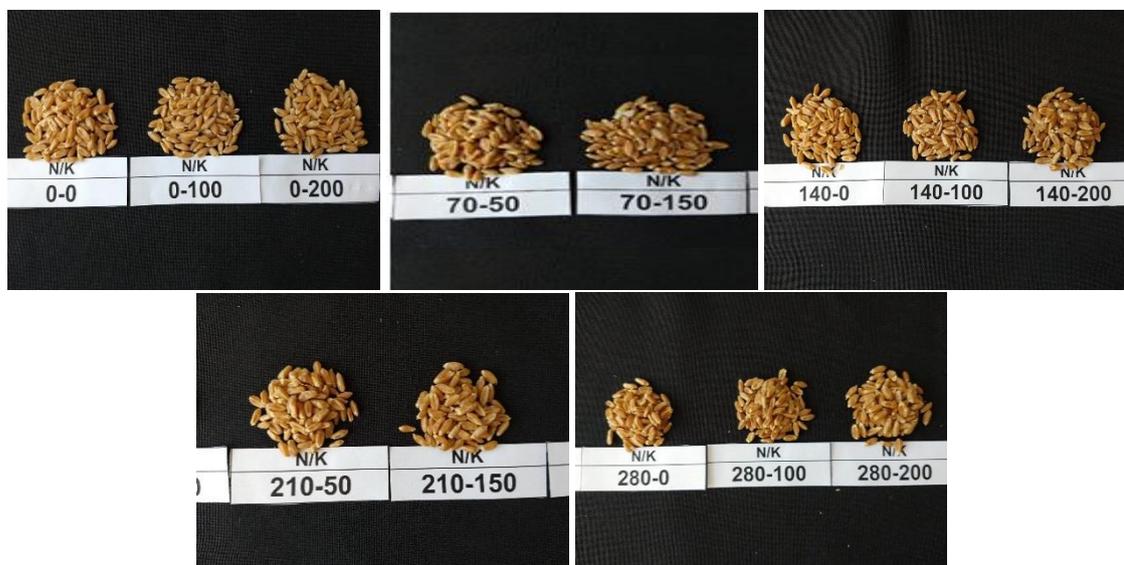


Figura 21 - Volume de 100 grãos de trigo BRS 394 nas combinações de doses de nitrogênio e potássio. Rondonópolis-MT. Rondonópolis-MT (2020).

#### 4.17 MASSA SECA DE CAULE

Para a massa seca de caule não houve interação entre as doses de nitrogênio e de potássio. Contudo, foi observado efeito isolado apenas para as doses de nitrogênio, com ajuste dos resultados ao modelo linear de regressão. A maior dose aplicada apresentou um acréscimo de 1,84 g vaso<sup>-1</sup> na massa seca de caule quando comparada com a menor dose aplicada no presente estudo (Figura 22).

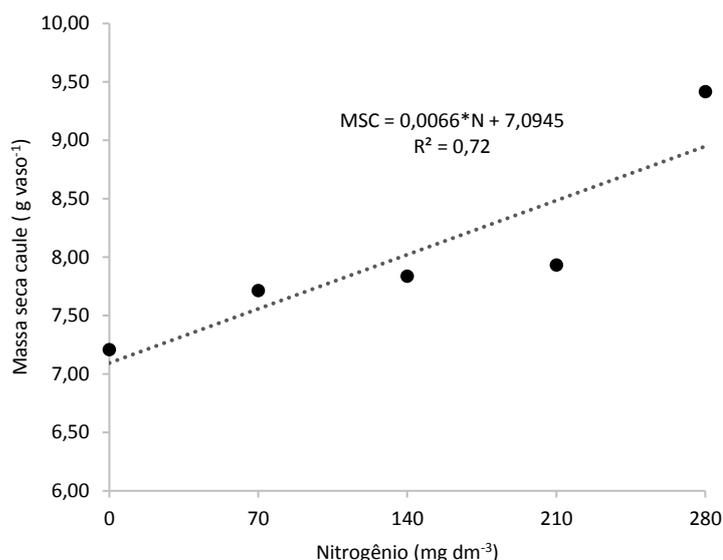


Figura 22 - Massa seca de caule da cultivar de trigo BRS 394 em função das doses de nitrogênio e potássio. Rondonópolis-MT. \* = significativo a 5%.

Nozaki et al. (2013), ao utilizar o cultivar de trigo CD108 em um solo classificado como Latossolo vermelho eutroférico típico, observaram que a inoculação de *A. brasilense* via sementes resultou em um acréscimo da massa seca das raízes e da parte aérea, comprimento de raiz e produtividade de grãos.

Mumbach et al. (2017), ao inocularem sementes de trigo cultivar Tbio Sintonia com *A. brasilense* associado a doses de N mineral, observaram que este tratamento aumentou a produtividade e matéria seca da cultura. Sendo assim, uma nova tecnologia que pode ser utilizada pelo produtor com menor custo de produção.

#### 4.19 MASSA SECA DE ESPIGAS

A massa seca de espigas não se ajustou ao modelo de superfície de resposta, entretanto, apresentou efeito isolado para doses de nitrogênio, com ajuste ao modelo linear de regressão. Foi observado incrementos de 29,66% na massa seca de espigas quando comparados a dose de nitrogênio de 280 mg dm<sup>-1</sup> com a ausência da aplicação do nutriente (Figura 23A e 23B).

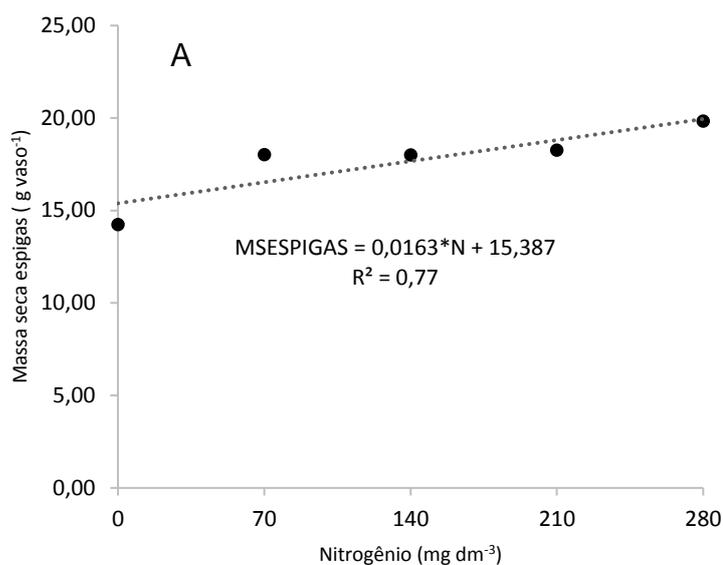


Figura 23 - Massa seca de espigas da cultivar de trigo BRS 394 (A) em função das doses de nitrogênio. Rondonópolis-MT. \* = significativo a 5%.

Os resultados deste estudo estão de acordo com os encontrados por Carvalho et al. (2016) que, ao estudarem doses de nitrogênio e potássio na produção, nutrição e eficiência do uso da água em plantas de trigo em casa de vegetação, verificaram que o nitrogênio proporcionou um incremento de 31,47% quando comparado o tratamento controle com a maior dose (400 mg dm<sup>-3</sup>) de nitrogênio aplicada ao solo.



Figura 23 – Espigas de trigo BRS 394 (B) sob as doses de nitrogênio e potássio. Rondonópolis-MT (2020).

Pietro-Souza et al. (2013), ao estudarem o desenvolvimento inicial sob seis doses de nitrogênio (0, 80, 160, 240, 320 e 400 mg dm<sup>-3</sup>) em Latossolo Vermelho de Cerrado na cultivar de trigo cv. Guamirim, encontraram o ponto máximo de produção de massa seca da parte aérea para a dose de nitrogênio de 165 mg dm<sup>-3</sup> aos 47 DAE.

#### 4.20 VOLUME DE RAIZ

Para o volume de raiz não houve interação entre as doses de nitrogênio e potássio, apenas efeito isolado para a adubação nitrogenada com ajuste ao modelo linear de regressão, sendo o incremento de 18,89% com a maior dose de adubação nitrogenada (Figura 24 e 25).

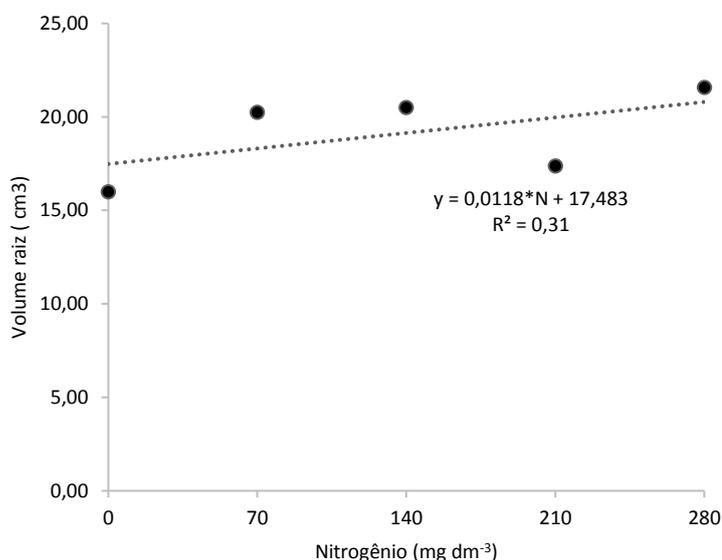


Figura 24 - Volume de raiz da cultivar de trigo BRS 394 em função das doses de nitrogênio. Rondonópolis-MT. \* = significativo a 5%.

O nitrogênio pode melhorar o crescimento radicular, aumentar o volume, área, diâmetro, comprimento total e principal da raiz, massa seca e, posteriormente, aumentar a absorção de nutrientes e melhorar o equilíbrio de nutrientes (GOOD et al., 2004).

Buzetti et al. (2006) demonstram que o nitrogênio induz o crescimento do sistema radicular do arroz, e, como consequência, estimula o perfilhamento, aumentando o número de espiguetas por panícula e a porcentagem de proteína nos grãos.

Segundo Kant (2018), o nitrato desempenha um papel importante no crescimento, desenvolvimento e arquitetura das raízes, especialmente no desenvolvimento das raízes laterais. Uma alta concentração homogênea de nitrato em um meio de crescimento tem efeitos inibitórios sobre o alongamento da raiz lateral, que ocorre imediatamente após a emergência dos primórdios da raiz lateral, mas antes da ativação do meristema, e resulta em raízes laterais mais curtas.

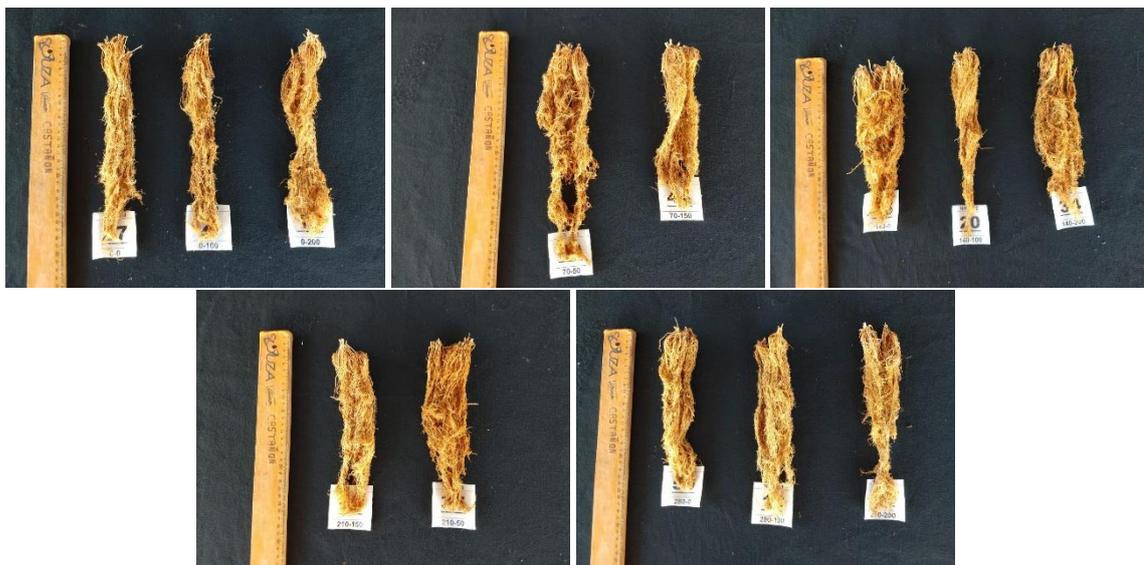
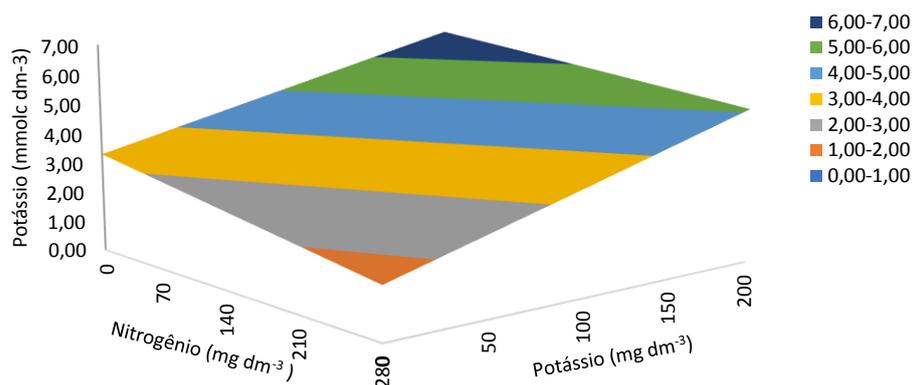


Figura 25 - Raízes de trigo BRS 394 cultivado sob as doses de nitrogênio e potássio. Rondonópolis-MT (2020).

## 4.21 PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO

Para a análise química do solo, foi observado significância para o estudo de regressão múltipla para a variável teor de potássio (Figura 26), demonstrando que o modelo de superfície de resposta aos 30 dias após a emergência apresentou efeito linear.



$$K \text{ solo} = 3,86 - 0,97^{***}X_1 + 1,82^{***}X_2$$
$$R^2 = 0,63$$

Figura 26 - Teores de potássio no solo, \*\*\* = significativo a 0,1%.  $X_1$  e  $X_2$  = codificações das doses de nitrogênio e potássio, respectivamente.

Para as variáveis cálcio, magnésio, alumínio e soma de bases, observou-se influência das doses de nitrogênio de forma isolada, não havendo efeito significativo para as doses de potássio. Para o cálcio, o magnésio e a saturação por bases (%), em função das doses de nitrogênio, observou-se um decréscimo de 27,02%, 35,49% e 28,52%, respectivamente, em relação aos tratamentos que não receberam adubação nitrogenada (Figura 27 A, B e C). O alumínio apresentou um acréscimo de 291,63% e a saturação por alumínio (m%) de 479,15% (Figura 27 D e E).

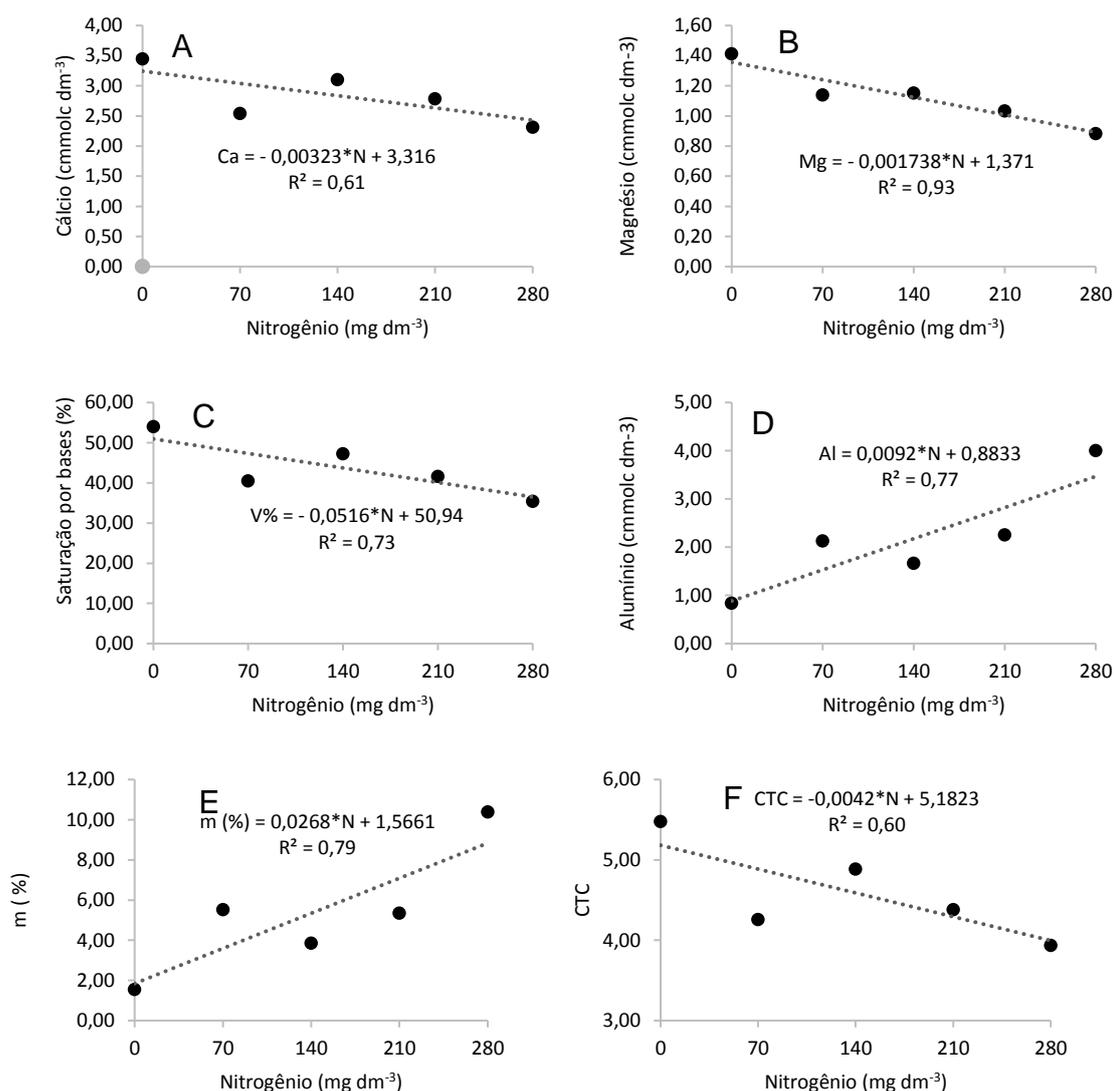


Figura 27 - Teores de cálcio (A), magnésio(B), alumínio(C), soma de bases(D) e M%(E). Rondonópolis-MT. \* = significativo a 5%.

A aplicação de nitrogênio causou decréscimo nos teores de  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e aumento do  $Al^{3+}$  no solo, sendo observado os menores valores quando da aplicação de doses mais altas de N.

O cálcio é um nutriente que deve estar disponível para a planta em quantidade adequada, pois ele é um componente da parede celular e com isso auxilia na resistência ao estresse climático e a doenças; e o magnésio é um nutriente que constitui a molécula de clorofila, além de realizar síntese de proteínas e contribuir com o desenvolvimento do sistema radicular (TAIZ et al., 2017).

O cálcio é responsável pela estabilidade estrutural e fisiológica dos tecidos das plantas e regula os processos de permeabilidade das células e tecidos e função de

ativador enzimático. O Cálcio cumpre função importante na manutenção da integridade da parede celular, que apresenta enorme importância na prevenção como barreira física da entrada de pragas e doenças (PRADO, 2020).

Os resultados do presente estudo estão de acordo com os discutidos por Sobral et al. (2008), ao estudarem a influência de nitrogênio e potássio na fertirrigação. Essa condição pode ser atribuída às reações de hidrólise da ureia no solo, que produzem  $H^+$  e contribuem para decrescer os teores de  $Ca^{2+}$  e de  $Mg^{2+}$ .

Segundo Pavan et al. (1997), a aplicação de fertilizantes amoniacais causa acidificação do solo e faz com que parte das cargas do solo sejam ocupadas pelo Al, impedindo a adsorção de cátions básicos. Assim, os cátions básicos tornam-se mais facilmente lixiviados, resultando em menores teores de Ca e Mg nas maiores doses de N aplicadas. O mesmo foi observado por Costa et al. (2008), em estudo com doses de N em capim-Marandu utilizando ureia, em que observaram maior teor de Al devido à acidificação do solo em função das doses de N.

O magnésio também apresenta função importante no desenvolvimento radicular das plantas, assim como o cálcio. O potássio, em contrapartida, pode inibir a absorção de cálcio e magnésio e, conseqüentemente, tem-se redução na produtividade (DIAS et al., 2012).

#### **4.22 CONCENTRAÇÃO DE NITRATO E AMÔNIO NO SOLO**

Para a concentração de nitrato e amônio no solo não se detectou significância para a interação entre as doses de nitrogênio e de potássio. Contudo, efeitos significativos para concentração de nitrato e amônio no solo foram observados apenas para as doses de nitrogênio, com ajuste dos resultados ao modelo linear de regressão (Figura 28A e 28B).

A concentração de nitrato no solo teve uma variação de 3,11 a 7,53  $mg\ kg^{-1}$  para as condições de sem aplicação e com maior suprimento de nitrogênio, respectivamente. Sendo assim, a adição de doses crescente de nitrogênio resultou em aumento da disponibilidade de nitrato na amostra de solo estudada. Nota-se que a concentração de amônio no solo aumentou linearmente com a aplicação de nitrogênio, com uma variação de 72,37% entre a menor e maior dose de nitrogênio aplicada.

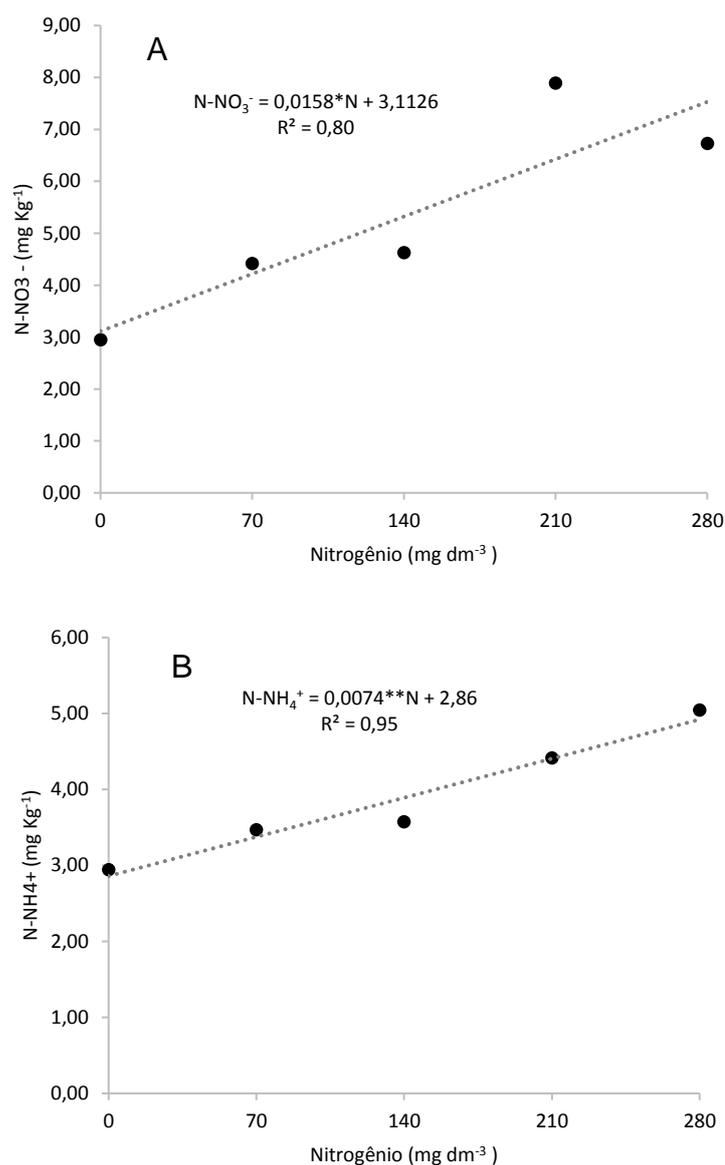


Figura 28 - Concentração de nitrato (A) e amônio (B) da amostragem de solo cultivado com trigo BRS 394 em função das doses de nitrogênio. Rondonópolis-MT. \*\* = significativos a 1%.

A concentração de nitrato no solo foi maior que a concentração de amônio na proporção de solo amostrado. Owen et al. (2001) e Miller et al. (2007), após estudarem as formas de nitrogênio no solo, também observaram resultados semelhantes.

Miao et al. (2015), ao estudarem 18 áreas cultivadas com trigo em condições de sequeiro com precipitação média anual de 601,6 mm, encontraram para a concentração de nitrato no solo o valor máximo de 45,7 mg kg<sup>-1</sup> e mínimo de 2,2 mg kg<sup>-1</sup>, para a concentração de amônio nas mesmas áreas o valor máximo encontrado pelos pesquisadores foi de apenas 3,6 mg kg<sup>-1</sup>.

Em seus estudos, Bakaeva et al. (2020), ao estudarem o aumento da eficiência do uso de fertilizantes nitrogenados e seu efeito na capacidade redutora de nitratos do aparelho foliar, encontraram que a maior quantidade de nitrogênio no solo estava na forma de nitrato, sendo a maior na concentração encontrada de  $21 \text{ mg kg}^{-1}$  para a dose de  $158 \text{ mg dm}^{-3}$  de nitrato de amônio e a maior concentração de amônio no solo foi de  $11 \text{ mg kg}^{-1}$  para a dose de  $146 \text{ mg dm}^{-3}$  de sulfato de amônio.

O nitrogênio, dentre os elementos minerais essenciais para a planta, se destaca como um dos principais componentes da biomassa. Assim, para suprir suas necessidades, as plantas absorvem o nitrogênio da solução do solo nas formas de nitrato e amônio, sendo que o nitrato é a principal forma inorgânica do elemento (ERNANI, 2016), em particular na zona tropical (MARSCHNER, 1995).

O nitrato se origina da mineralização da matéria orgânica do solo, dos fertilizantes minerais nitrogenados aplicados, bem como da decomposição de dejetos animais, resíduos de colheita e outros (WEIGHTMAN et al., 2013), enquanto o amônio permanece no complexo trocável do solo, podendo ser absorvido pelas plantas ou oxidado a nitrato (POLLETTO et al., 2008).

Para Bredemeier et al. (2000), a taxa e a quantidade de nitrogênio assimilado pelas plantas durante o seu ciclo dependem da atividade das enzimas envolvidas no ciclo do nitrogênio e da disponibilidade de energia necessária para os processos de assimilação.

Segundo Golik et al. (2003), diferenças genéticas em gramíneas como o trigo interferem na absorção e assimilação de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), responsáveis pelo consumo de 15 a 23% do total de carboidratos fixados pela planta.

A alta concentração de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) nos solos pode ser benéfica para as culturas, mas em excesso pode levar a contaminação do solo e das águas subterrâneas. Como foi observado por Xi et al. (2021), que relataram um acúmulo significativo de nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e nitrato em solos mais profundos que receberam aplicação de efluentes.

Outra preocupação relacionada ao ciclo do nitrogênio é a desnitrificação, um processo mediado por microrganismos no qual o  $\text{NO}_3^-$  é reduzido sequencialmente, produzindo gás nitrogênio ( $\text{N}_2$ ). Essa é uma das principais causas da perda de nitrogênio dos solos agrícolas, além disso, em condições de baixa disponibilidade de  $\text{O}_2$ , o processo também tem o potencial de produzir óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) que é um

potente gás causador do efeito estufa (WAFULA et al., 2015). Nesse processo, o  $\text{NO}_3^-$  é utilizado como receptor de elétrons pelas bactérias anaeróbicas facultativas responsáveis pelo processo de desnitrificação (NUNES et al., 2022).

Trabalhos como o de Mendes-Santos et al. (2017) mostram que o crescimento da planta não está relacionado a disponibilidade de nitrogênio nos primeiros dias de desenvolvimento, pois avaliando os níveis de nitrato e amônio de solo com cultura de milho inoculada com *A. brasilense* 20 dias após a semeadura, não evidenciaram diferença nos níveis dos compostos nitrogenados entre os tratamentos e a testemunha.

## 5. CONCLUSÃO

A atividade da enzima nitrato redutase responde significativamente apenas para a adubação nitrogenada, sendo a dose de 95 mg dm<sup>-3</sup> de nitrogênio a que proporcionou maior atividade do nitrato redutase. No entanto, doses acima desse valor causaram a redução na atividade da enzima nitrato redutase.

A concentração de nitrato no solo é maior que a concentração de amônia no solo em todos as doses de nitrogênio.

A aplicação de doses de nitrogênio entre 152,67 e 163,53 mg dm<sup>-3</sup> e a dose 191,50 mg dm<sup>-3</sup> de potássio proporciona as melhores respostas para o índice de SPAD na cultivar de trigo BRS 394.

A massa seca da parte aérea, a concentração de nitrogênio e o teor de proteína nas folhas, são influenciadas apenas pelas doses de nitrogênio com incremento de 39,26%, 66,18% e 67,32% respectivamente, entre a ausência de adubação nitrogenada e maior dose do intervalo experimental.

As características produtivas da cultura do trigo apresentam ajuste de regressão linear positiva em função da adubação nitrogenada, com exceção para massa de 100 grãos.

## Referências Bibliográficas

ABITRIGO. Associação Brasileira da Indústria de Trigo. O que é o Trigo? Disponível em: < <http://www.abitrigo.com.br/trigo.php> >. Acesso em: 01 set. 2021.

ALBRECHT J.; SOARES S. J.; SÓ S. M.; CHAGAS J.; CAIERAO E.; SCHEEREN P.; EICHELBERGER L.; MIRANDA M. Z.; ANDRADE S. R.; SUSSEL A.; DIANESE A. D. Trigo BRS 394 - nova cultivar para o cerrado. In Embrapa Trigo-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE, 10, 2016, Londrina. Anais. Londrina: Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale, 2016.

ALBRECHT, J. C.; RIBEIRO JUNIOR, W. Q.; SILVA, M. S. Cultivares de trigo para o Cerrado. In: FALEIRO, F. G.; SOUSA, E. S. de. (Ed.). Pesquisa, desenvolvimento e inovação para o Cerrado. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2007. p. 61-68. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2010/28569/1/faleiro-02.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2022.

ALI, S., HAFEEZ, A., MA, X., TUNG, SA, CHATTHA, MS, SHAH, A.N, YANG, G. A proporção igual de potássio-nitrogênio regulou o metabolismo do nitrogênio e o rendimento do algodão de alta densidade plantado tardiamente (*Gossypium hirsutum* L.) no vale do rio Yangtze, na China. *Industrial Crops and Products* , v.129, p.231-241, 2019.

ALMEIDA, M. L.; SANGOI, L.; ENDER, M.; TRENTIN, P. S. Determinação do momento da emissão de afilhos de trigo usando suplementação com luz vermelha e luz vermelha extrema. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, v.6, n.1, p.89-96, 2000.

ALVES, V.; GOMES, E.; de RESENDE, A. V.; OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; MARRIEL, I.; de SOUSA, S. M.; LANA, U. D. P. Solubilização de potássio presente em minerais por microrganismos e efeitos no desenvolvimento de culturas agrícolas. *Embrapa Milho e Sorgo-Documents (INFOTECA-E)*, 2021.

ARENHARDT, E. G.; DA SILVA, J. A. G.; GEWEHR, E.; DE OLIVEIRA, A. C.; BINELO, M. O.; VALDIERO, A. C.; DE LIMA, A. R. C. The nitrogen supply in wheat cultivation dependent on weather conditions and succession system in southern Brazil. *African Journal of Agricultural Research*, v. 10, p. 4322-4330, 2015.

ASSENG, S.; CAMMARANO, D.; BASSO, B.; CHUNG, U.; ALDERMAN, P.D.; SONDER, K.; REYNOLDS, M.; LOBELL, D.B. Hot spots of wheat yield decline with rising temperatures. *Global Change Biology*, v.23, p.2464-2472, 2017.

BAKAEVA, N. P. Nitrogen content and nitrate reductase activity in winter wheat leaves with the use of nitrogenic fertilizers. *Samara State Agricultural Academy Bulletin*, v.5, p.13-19, 2020.

BAR-ANKIVA, A. Biochemical indications as a means of distinguishing between iron and manganese deficiency symptoms in citrus plants. *Nature*, v. 190, p. 647-648, 1961.

BAR-AKIVA, A.; STERBAUM, J. Possible use of the nitrate reductase activity of leaves as a measure of the nitrogen requirement in citrus trees. *Plant and Cell Physiology*, Kyoto, v.6, p. 575-577, 1965.

BARRACLOUGH, P. B.; LOPEZ-BELLIDO, R.; HAWKESFORD, M. J. Genotypic variation in the uptake, partitioning and remobilisation of nitrogen during grain-filling in wheat. *Field Crops Research*, v.156, p.242-248, 2014.

BRAR, B. S., SINGH, J., SINGH, G. AND GURPREET, K. Effects of Long Term Application of Inorganic and Organic Fertilizers on Soil Organic Carbon and Physical Properties in Maize–Wheat Rotation. *Agronomy*, v.5, p.220-238, 2015.

BATISTA, V. V.; SALAPATA, M. C.; OLIGINI, K. F.; CAMANA, D.; DA FONSECA, A. C.; ADAMI, P. F. 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.

BAZZO, J. H. B.; DA COSTA SAPUCAY, M. J. L.; FRANZONI, I.; ZUCARELI, C. Adubação nitrogenada de cobertura via solo e foliar na produtividade e composição mineral de grãos de trigo. *Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa*, v.36, n.70, p.181-194, 2020.

BAZZO, J. H. B.; FRACALLOSSI, F. P.; ZUCARELI, C.; FONSECA, I.C. B.; BARBOSA, A. P.; SANTOS, R. J. Wheat production performance in response to nitrogen sidedressing and molybdenum leaf application. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v.37, n.5, p.2963-2976, 2016.

BECHE, E., DA SILVA, C. L.; TODESCHINI, M. H.; MILIOLI, A. S.; BENIN, G.; MARCHESE, J. A. Improvement in Brazilian wheat breeding: changes in developmental phases and ecophysiological traits. *Euphytica*, v. 214, n. 3, p. 56, 2018.

BEEVERS, L.; HAGEMAN, R. H. Nitrate and nitrite reduction. In: *Amino Acids and Derivatives*. Academic Press, p. 115-168, 1980.

BEEVERS, L.; HAGEMAN, R. H. Nitrate reduction in higher plant. *Annual Review of Plant Physiology*, v. 20, p. 495-522, 1969.

BENETTI, Maria Domingues. Endividamento e crise no cooperativismo empresarial do Rio Grande do Sul: análise do caso FECOTRIGO/CENTRALSUL-1975-83. *Ensaio FEE*, v. 6, p. 23-56, 1985.

BENIN, G.; BORNHOFEN, E.; BECHE, E.; PAGLIOSA, E. S.; SILVA, C. L. S.; PINNOW, C. Agronomic performance of wheat cultivars in response to nitrogen fertilization levels. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.34, p.275-283, 2012.

BERTONI J. Panificação SENAC. Rio de Janeiro. Disponível em: [https://drive.google.com/file/d/1Tc\\_l8bhIDRa3c3vcQ724KJnwq1G\\_mlUh/view](https://drive.google.com/file/d/1Tc_l8bhIDRa3c3vcQ724KJnwq1G_mlUh/view). Acesso em: 23 mar. 2022.

BIOTRIGO. Biologia do Trigo. Especial trigo: importância social. Publicado em 24/07/17. Disponível em: <https://biotrigo.com.br/bionews/especial-trigo-importancia-social/1263>. Acesso em: 20 fev. 2022.

BISCARO, G.A. Sistema de Irrigação Localizada. 1º ed. Editora UFGD, Dourados, 2014. 256p.

BONFIM-SILVA, E. M., DA SILVA, T. J. A., CABRAL, C. E. A., KROTH, B. E., REZENDE, D. Desenvolvimento inicial de gramíneas submetidas ao estresse hídrico. Revista Caatinga, v.24, n.2, p. 180-186, 2011.

BLOOM, A. J. The increasing importance of distinguishing among plant nitrogen sources. Current Opinion in Plant Biology, v.25, p.10-16, 2015.

BOSCHINI, A. P. M.; SILVA, C. L.; OLIVEIRA, C. A. S. OLIVEIRA JÚNIOR, M. P.; MIRANDA, M. Z.; FAGIOLI, M. Aspectos quantitativos e qualitativos do grão de trigo influenciados por nitrogênio e lâminas de água. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.15, p.450–457, 2011.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 38, de 30 de novembro de 2010, 2010.

BRASIL. Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos. Plano Nacional de fertilizantes 2050, Brasília, 2021, p.195.

BRAUN, H.; COELHO, F. S.; DE CASTRO SILVA, M. C.; FONTES, P. C. R.; CECON, P. R.; BUSATO, C. Absorção, Metabolismo E Diagnóstico Do Estado De Nitrogênio Nas Plantas De Batata. Revista De Ciências Agrárias Amazonian Journal Of Agricultural And Environmental Sciences, v. 56, n. 3, p. 185-195, 2013.

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C.M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. Ciência Rural, Santa Maria, v. 30, p. 365-372, 2000.

BRESSIANI, J.; ORO, T.; SANTETTI, G.; VALÉRIO, I.; GUTKOSKI, L. C. Productivity parameters and protein quality characteristics of wheat cultivars in response to nitrogen fertilization. Revista de Ciências Agroveterinárias, Lages, v.17, n.2, p.182-189, 2018.

BUSHUK, W. Flour proteins: structure and functionality in dough and bread. Cereal Foods World, v.30, p.447-451, 1985.

BUTTERBACH-BAHL, K., BAGGS, E. M., DANNENMANN, M., KIESE, R., & ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, S. Nitrous oxide emissions from soils: how well do we understand the processes and their controls? Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, v. 368, n.1621, p.20130122, 2013.

BUZETTI, S.; BAZANINI, G. C.; FREITAS, J. G. D.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; SÁ, M. E. D.; MEIRA, F. D. A. Resposta de cultivares de arroz a doses de nitrogênio e do regulador de crescimento cloreto de clomequat. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 41, p. 1731–1737, 2006.

CAFÉ, S. L., FONSECA, P. S. M. D., AMARAL, G. F., MOTTA, M. F. D. S. R., ROQUE, C. A. L.; ORMOND, J. G. P. Cadeia produtiva do trigo. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 18, p. 193-219, 2003.

CALDEIRA, M. T. M.; LIMA, A. L. V.; SEKI, A. H.; RUMJANEK, D. F. Diversidade de trigos, tipificação de farinhas e genotipagem. Biotecnologia e Desenvolvimento, v.3, p.44-48, 2003.

CAMPBELL, W. H. Nitrate reductase structure, function and regulation: Bridging the gap between biochemistry and physiology. Annual Review of Plant Physiology Plant Molecular Biology, v. 50, p. 277-303, 1999

CAMPONOGARA, A., GALLIO, E., DE BORBA, W. F., & GEORGIN, J. O atual contexto da produção de trigo no Rio Grande do Sul. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v.19, p. 246-257, 2015.

CANTARELLA H, MONTEZANO ZF. Nitrogênio e Enxofre. In: PROCHNOW LI, CASARIN V, STIPP SR, editores. Boas práticas para o uso eficiente de fertilizantes: nutrientes. Piracicaba: IPNI, 2010. p. 5-46.

CARELLI, M. L. C.; FAHL, J. I. Partitioning of nitrate reductase activity in Coffea arabica L. and its relation to carbon assimilation under different irradiance regimes. Brazilian Journal of Plant Physiology, v. 18, p. 397-406, 2006.

CARLETTO, R., LEÃO, G. F. M., NEUMANN, M., & HORST, E. H. Influência do regime de cortes sobre a produção e valor nutricional de trigo cv. BRS Umbu para forragem. Revista de Ciências Agroveterinárias, v.19, p.254-262, 2020.

CASTANÕN, T. H. F. M. Trigo irrigado sob combinações de nitrogênio:potássio e nitrogênio:enxofre no Cerrado. 2019. 178f. Tese (doutorado) Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical.

CARVALHO, J. M. G. ; BONFIM-SILVA, EDNA MARIA ; SILVA, TONNY J. A. DA ; SOUSA, H. H. F. ; GUIMARÃES, S.L. ; PACHECO, A. B. Nitrogen and potassium in production, nutrition and water use efficiency in wheat plants. Ciencia e investigación agraria: revista latinoamericana de ciencias de la agricultura, v.43, p.442-451, 2016.

CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A.; SESTARI, I. Manual de fisiologia vegetal: fisiologia de cultivos. São Paulo: Ed. Ceres, 2008. 864 p.

CAZETTA, D. A.; FORNASIERI FILHO, D.; ARF, O.; GERMANI, R. Qualidade industrial de cultivares de trigo e triticales submetidos à adubação nitrogenada no sistema de plantio direto. Bragantia, v.67, p.741-750, 2008.

CECON, D. A.; SILVA, A. R. Introdução à metodologia de Superfícies de resposta. Viçosa: UFV, 2011. 38p.

CHAGAS, A. P. A síntese da amônia: alguns aspectos históricos. Química nova, v. 30, p. 240-247, 2007.

CHAGAS, J. H.; SOARES SOBRINHO, J.; ALBRECHT, J. C.; FRONZA, V.; SUSSEL, A. A. B.; PIRES, J. L. F.; MIRANDA, M. Z. Informações fitotécnicas das cultivares de trigo BRS 254, BRS 264 e BRS 394 para o sistema irrigado do Cerrado do Brasil Central. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2020. (Embrapa Trigo. Circular Técnica, 54).

CHAGAS, J. H.; ALBRECHT, J. C.; PIRES, J. L. F.; SOBRINHO, J. S.; FRONZA, V. Densidade de semeadura e nitrogênio no trigo BRS 404 em sistema sequeiro em Planaltina-DF. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, v.5, p.1439-1444, 2022.

CHAMIZO-AMPUDIA, A.; SANZ-LUQUE, E.; LLAMAS, A., GALVAN, A.; FERNANDEZ, E. Nitrato redutase regula a homeostase do óxido nítrico vegetal. *Trends in Plant Science*, v.22, p.163-174, 2017.

CHAPMAN, S. C.; BARRETO, H. J. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. *Agronomy Journal*, Madison, v. 89, p. 557-562, 1997.

CONAB. Companhia Nacional Do Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v.3 Safra 2022/23 – Terceiro levantamento. Brasília, p.1-82, dezembro 2022.

COOPER, J. L. Effect of time sowing and cultivar on the development and grain yield of irrigated wheat in the Macquarie Valley, New South Wales. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. v. 32, p. 345-353, 1992.

CONTI, M. E. Dinámica de la liberación y fijación de potasio en el suelo. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. INPOFOS, v. 8, p. 25-37, 2000.

COSTA, A. R. DA; MADARI, B. E.; CARVALHO, M. D. M.; MACHADO, P. D. A.; BERNARDES, T. G.; DA SILVEIRA, P. M. Uso do nitrogênio na agricultura e suas implicações na emissão do gás de efeito estufa óxido nítrico (N<sub>2</sub>O) / Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2009. 47 p.

COSTA, K.A.P.; FAQUIN, V.; OLIVEIRA, I.P.; RODRIGUES, C.; SEVERIANO, E.C. Doses e fontes de nitrogênio em pastagem de capim-marandu. I - alterações nas características químicas do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.1591-1599, 2008.

CRAWFORD, N.M.; GLASS, A.D.M. Molecular and physiological aspects of nitrate uptake in plants. *Trends in Plant Science Reviews*, v.3, p.389-395, 1998.

CUNHA, G. R. A expedição de Martim Afonso. In: CUNHA, G. R. (Org.) Trigo 500 anos. Passo Fundo: Embrapa Trigo, p. 40-44, 1999.

CUNHA, G. R.; PASINATO, A.; PIRES, J. L. F.; DALMAGO, G. A.; SANTI, A.; GOUVÊA, J.A. Bioclimatologia e zoneamento agrícola. In: Trigo: o produtor pergunta, a Embrapa responde / Claudia De Mori ... [et al.]. Brasília. Embrapa, 2016.

DA SILVA, J. J. N.; DE MELLO, W. Z.; RODRIGUES, R.; ALVES, B. J. R.; DE SOUZA, P. A.; DA CONCEIÇÃO, M. C. G. Ciclagem de nitrogênio em florestas tropicais e

plantações de eucalipto no Brasil no Antropoceno. Revista Virtual de Química, v.10, p.1792-1808, 2018.

DE PAULA, R. P. F. Características fitométricas de trigo adubado com nitrogênio: potássio e nitrogênio: enxofre no cerrado mato-grossense. 2020. Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola.

DE MORI, C. Aspectos comerciais e econômicos do trigo. In: Trigo: o produtor pergunta, a Embrapa responde / Claudia De Mori [et al.]. Brasília. Embrapa, 2016.

DE MORI, C.; IGNACZAK, J. C. Aspectos econômicos do complexo agroindustrial do trigo. Embrapa Trigo-Capítulo em livro científico (ALICE), 2011.

DEMOTES-MAINARD, S.; BOUMAZA, R.; MEYER, S.; CEROVIC, Z.G. Indicators of nitrogen status for ornamental woody plants based on optical measurements of leaf epidermal polyphenol and chlorophyll contents. Scientia Horticulturae, v.115, p.377–385, 2008.

DIAS, J.S.; NEVES, I.; SILVEIRA, V.H. Nutrientes – do que a planta precisa? Unifertil, v.02, 2012

DONATO, V.M.T.S.; ANDRADE, A. G. DE; SOUZA, E. S. DE; FRANÇA, J. G. E. DE; MACIEL, G. A. Atividade enzimática em variedades de cana-de-açúcar cultivadas in vitro sob diferentes níveis de nitrogênio. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.39, p.1087-1093, 2004.

ECCO, M.; DUARTE, R. P.; POTTKER, V. L.; REUTER, R. J.; LENHARDT, V. L.; ROCHA, H. G. A.; MULLER, A. L. Adubação potássica em cobertura na cultura do trigo. Revista Cultivando o Saber, v. 11, n. 3, p. 91-104, 2018.

EMBRAPA. Empresa Brasileira De Pesquisa. Embrapa trigo 46 anos. [2020]. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/56840850/embrapa-trigo-46-anos>>. Acesso em: 22 abr. 2022.

EMBRAPA. Empresa Brasileira De Pesquisa. Manual de Métodos de Análise de solo. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017.

EMBRAPA. Empresa Brasileira De Pesquisa. Sistema brasileiro de classificação de Solos. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2018.

EMBRAPA. Empresa Brasileira De Pesquisa. Caminhos da safra. Disponível em:< <https://www.embrapa.br/macrologistica/caminhos-da-safra>> Acesso em: 16 set. 2019.

ERNANI, P. R. Química do solo e disponibilidade de nutrientes. 2 ed. Lages: O autor, 2016. 256p.

ESPINDULA, M. C.; ROCHA, V. S.; SOUZA, M. A. D.; GROSSI, J. A. S.; SOUZA, L. T. D. Doses e formas de aplicação de nitrogênio no desenvolvimento e produção da cultura do trigo. Ciência e Agrotecnologia, v. 34, n. 6, p.1404-1411, 2010.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Enhancing Nitrogen Use Efficiency in Crop Plants. *Advances in Agronomy*, n.88, p.97-185, 2006.

FANG, X. M.; SHE, H. Z.; WANG, C.; LIU, X. B.; LI, Y. S.; NIE, J.; RUAN, R. W.; WANG.; YI, Z. L. Effects of fertilizer application rate and planting density on photosynthetic characteristics, yield and yield components in waxy wheat. *Cereal Research Communications*, v. 46, p. 169-179, 2018.

FAQUIN, V. Nutrição mineral de plantas. Lavras: Universidade Federal de Lavras/Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão, 2005. 186p.

FARIAS, F. R.; ESPÍNDOLA, C. J. O cooperativismo agropecuário do Sul do Brasil a partir da conjuntura econômica dos anos 1980: alteração territorial de seu centro dinâmico. *Geosul*, v.31, p.227-248, 2016.

FAVARATO, L. F.; ROCHA, V. S.; ESPINDULA, M. C.; SOUZA, M. D.; PAULA, G. D. S. Adubação nitrogenada e qualidade fisiológica de sementes de trigo. *Bragantia*, v. 71, p.371-379, 2012.

FENILLI, T. A. B. Destino do nitrogênio (15N) do fertilizante em uma cultura de café. Tese apresentada ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Ciências. Piracicaba, 2006. 100p.

FERNANDES, M. C. N.; BOTELHO, F. B. S.; DE SOUZA, K. R. D.; PEREIRA, G. C.; DA SILVA, C. S. C.; CASTRO, D. G. Atividade da enzima nitrato redutase em arroz de terras altas sob condições de estresse hídricos. *Nativa*, v.8, p.484-489, 2020.

FOLONI, J. S. S.; ECHER, F. R.; CRESTE, J. E.; VILASBOAS, G. A. Ureia e Nitrato de Amônio Via Pulverização Foliar no Trigo. *Cultura Agronômica*, v.18, p.83-94, 2009.

FOLONI, J.S.S.; BASSOI, M.C.; OLIVEIRA JUNIOR, A.; CASTRO, C. Fontes e doses de nitrogênio na adubação de semeadura do trigo no Paraná. Londrina: Embrapa Soja. 34p. 2014.

FORBES AGRO: Safra de trigo no Brasil pode passar dos 10 milhões de toneladas. Disponível em: <<https://forbes.com.br/forbesagro/2022/04/safra-de-trigo-no-brasil-pode-passar-dos-10-milhoes-de-toneladas/>>. Acesso em: 30 jun. 2022.

FREITAS, C. D.; BONFIM-SILVA, E. M. ; SILVA, T. J. A. DA ; SOUSA, H. H. F. ; KOETZ, M. ; SCHLICHTING, A. F. ; GUIMARÃES, S.L. Nitrogen and potassium fertilization on the development and chlorophyll index of irrigated wheat in the Cerrado, Central Brazil. *Australian journal of crop science (online)*, v. 12, p. 44-50, 2018.

GALLOWAY, J. N.; TOWNSEND, A. R.; ERISMAN, J. W.; BEKUNDA, M.; CAI, Z.; FRENEY, J. R.; MARTINELLI, L. A.; SEITZINGER, S. P.; SUTTON, M. A. Transformation of the nitrogen cycle: recent trends, questions, and potential solutions. *Science*, v. 320, p. 889-892, 2008.

GEWEHR, E.; RODRIGUES, D. B.; DO AMARANTE, L.; MARTINS, A. C.; DA SILVA ALMEIDA, A.; DE TUNES, L. V. M. Caracterização bioquímica de sementes de trigo

produzidas a partir da associação de Azospirillum Brasiliense com nitrogênio. Brazilian Journal of Development, v. 6, p. 58140-58151, 2020.

GLOBALFERT. Outlook GlobalFert 2021. Disponível em: <https://www.globalfert.com.br/OGFposEvento/arquivo/Outlook-GlobalFert-2021.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2022.

GODFREY, D.; HAWKESFORS, M. J.; POWERS, S. J.; MILLAR, S.; SHEWRY, P. R. Effects of crop Nutrition on wheat grain composition and end use quality. Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 58, p. 3012–3021, 2010.

GOLIK, S. I.; CHIDICHIMO, H. O.; PÉREZ, D.; PANE, L. Acumulación, removilización, absorción postantesis y eficiencia de utilización de nitrógeno en trigo bajo diferentes labranzas y fertilizaciones, Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.38, p.619-626, 2003.

GOOD, A. G.; SHRAWAT, A. K.; MUENCH, D. G.; Can less yield more? Is reducing nutrient input into the environment compatible with maintaining crop production? Trends in Plant Science, v. 9. p. 597–605, 2004.

GÓRNY, A. G.; BANASZAK, Z; LUGOWSKA, B; RATAJCZAK, D. Herança da eficiência de captação e utilização de nitrogênio em trigo de inverno (*Triticum aestivum* L.) sob diversos níveis de nutrição . Eufítica, v.177, p.191-206, 2011.

GREENBERG, A. Uma breve história da química: da alquimia às ciencias moleculares modernas. 5. ed., São Paulo: Blucher, 2009. 400p.

GREENWELL, B. Canadian Minerals Yearbook- General review [1999]. Disponível em: <<http://www.nrcan.gc.ca/mms/cmy/content/1999/01.pdf>>, Acesso em: 19 jul. 2020.

GREGORY, P. Plant roots: growth, activity and interaction with soils. John Wiley & Sons, 2008. 318p.

GUEDES, T. D. M. Produção e qualidade fisiológica de sementes de linhagem de milho em função de doses de nitrogênio e umidade na colheita. 2021, 91f. Dissertação (Mestrado). Instituto Federal De Educação, Ciência E Tecnologia Goiano, Pós-Graduação E Inovação Programa De Pós-Graduação Em Irrigação No Cerrado.

GUO, J.; JIA, Y.; CHEN, H.; ZHANG, L.; YANG, J.; ZHANG, J.; ZHOU, Y; photosynthesis, and nutrient uptake in wheat are affected by differences in nitrogen levels and forms and potassium supply. Scientific reports, v.9, p.1-12, 2019

GUTKOSKI, L. C.; OTONI, R. F.; TROMBETTA, C. Correlação entre o teor de proteínas em grãos de trigo e a qualidade industrial das farinhas. Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos, v. 20, n. 1, 2002.

HAGEMAN, R. H.; REED, A. J. Nitrate reductase from higher plants. Methods in Enzymol, v.69, p.270-280, 1980.

HAGIN, J.; OLSEN, S.R.; SHAVIV, A. Review of interaction of ammonium nitrate and potassium nutrition of crops. Journal of Plant Nutrition v.13, p.1211-1226, 1990.

HASTENPFLUG, M.; BRAIDA, J. A.; MARTIN, T. N.; ZIECH, M. F.; SIMIONATTO, C. C.; CASTAGNINO, D. S. Cultivares de trigo duplo propósito submetidos ao manejo nitrogenado e a regimes de corte. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 63, n.1, p. 196-202, 2011.

HAVLIN, J.; BEATON, J. D.; TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. *Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management*. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1999, p.499.

HAWKESFORD, M. J ARAUS, J. L.; PARK, R.; CALDERINI, D.; MIALLES, D.; SHEN, T.; ZHANG, J.; PARRY, M. A. J. Prospects of doubling global wheat yields. *Food and Energy Security*, v. 2, p. 34-48, 2013.

HAWKESFORD, M. J. Redução da dependência de fertilizantes nitrogenados para a produção de trigo. *Journal of cereal science*, v.59, p. 276-283, 2014.

HE, P.; YANG, L.; XU, X.; ZHAO, S.; CHEN, F.; LI, S.; TU, S.; JIN, J.; JOHNSTON, A. M. Temporal and spatial variation of soil available potassium in China (1990–2012). *Field crops research*, v.173, p. 49-56, 2015.

HUNT, J.; FLOHR, B.; RIFFKIN, P.; RICHARDS, R.; AUSTRALIA, N. P. F. *Wheat phenology and the drivers for yield in the high rainfall zone*. London: Climate Science. 2018.

HASANUZZAMAN, M.; BHUYAN, M. B.; NAHAR, K.; HOSSAIN, M. S.; MAHMUD, J. A.; HOSSEN, M. S.; FUJITA, M. Potassium: a vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses. *Agronomy*, v.8, p.31, 2018.

IGARASHI, S.; UTIAMADA, C.M.; IGARASHI, L.C.; KAZUMA, A.H.; LOPES, R.S. *Pyricularia sp. em trigo. Ocorrência de Pyricularia sp. no Estado do Paraná. Fitopatologia Brasileira*, v. 11, p. 351-352, 1986.

JACOB, H. E. *Seis mil anos de pão: a civilização humana através de seu principal alimento*. São Paulo: Ed. Nova Alexandria, 2003.

JENKINSON, DENIS S. The impact of humans on the nitrogen cycle, with focus on temperate arable agriculture. *Plant and Soil*, v. 228, p. 3-15, 2001.

JONES JUNIOR, J. B.; WOLF, B.; MILLS, H.A. *Plant analysis handbook, a practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide*. Micro-Macro Publishing, 1991. 183 p.

KANT, S. Understanding nitrate uptake, signaling and remobilisation for improving plant nitrogen use efficiency. In: *Seminars in Cell & Developmental Biology*. Academic Press, v.74, p. 89-96, 2018.

KAUR, B.; ASTHIR, B.; BAINS, N. S. Enzymatic efficiency and genotypic differences for nitrogen assimilation in wheat. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, v. 87, p.985-995, 2017.

KAUR, G., ASTHIR, B., BAINS, N. S., FAROOQ, M. Nitrogen nutrition, its assimilation and remobilization in diverse wheat genotypes. *International Journal of Agriculture and Biology*, v.17, p.531-538, 2015.

KHOURI, Camila Rodrigues. Atividade da redutase do nitrato, teores de nitrogênio e de carboidratos em cafeeiro influenciados pelo sombreamento e estágio fenológico. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.63p.

KINPARA, D. I. A importância estratégica do potássio para o Brasil. Planaltina, DF: EMBRAPA, 2003. (Documentos, 100).

KNACK, E. R. J. Industrialização e Urbanização no centenário de Passo Fundo/RS–1957. *História: Questões & Debates*, v.64, n.1, 2016.

KOWALSKI, A. P. Formação de preços das commodities agrícolas. Curitiba: FAEP, 2019. Disponível em: <[https://sistemafaep.org.br/wpcontent/uploads/2019/12/nota\\_tecnica\\_sobre\\_formacao\\_de\\_precos\\_das\\_commodities\\_sistema\\_faep\\_senar\\_pr.pdf](https://sistemafaep.org.br/wpcontent/uploads/2019/12/nota_tecnica_sobre_formacao_de_precos_das_commodities_sistema_faep_senar_pr.pdf)>. Acesso em: 23 mar. 2022

KUNZ, V.L.; SIRTOLI LF, FURLAN L.; POLETTI, L.; PRIMO, M.A.; Rodrigues, J. D. Produtividade de cebola sob diferentes fontes e modos de aplicação de adubos nitrogenados em cobertura. *Revista Biodiversidade*, v.8, p.31-37, 2009.

LILLO, C. Light regulation of nitrate reductase in green leaves of higher plants. *Physiologia Plantarum*, Copenhagen, v. 90, p. 616-620, 1994.

LAM, H.M.; COSCHIGANO, K.; SCHULTZ, C.; MELO-OLIVEIRA, R.; TJADEN, G.; OLIVEIRA, I.; CORUZZI, G. Use of Arabidopsis mutants and genes to study amide amino acid biosynthesis. *The Plant Cell*, v. 7, p.887-898, 1995.

LAM, H.M.; COSCHIGANO, K.T.; OLIVEIRA, I.C.; OLIVEIRA, R.M.; CORUZZI, G.M. The molecular-genetics of nitrogen assimilation into amino acids in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, v.47, p.569-593, 1996.

LIMA, J. D. N.; MORAES, W, S.; SILVA, S. H. G. M.; IBRAHIM, F. N.; SILVA, A, C. Acúmulo de compostos nitrogenados e atividade da redutase do nitrato em alface produzida sob diferentes sistemas de cultivo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 38, p. 180-187, 2008.

LAMOTHE, A.G. Fertilización con N y potencial de rendimiento en trigo. In: KOHLI, M.M.; MARTINO, D.L. Explorando altos rendimientos de trigo. Montevideo: CIMMYT/INIA, 1998. p.207-246.

LIU, M.; WU, X.; LI, C.; LI, M.; XIONG, T.; TANG, Y. Dry matter and nitrogen accumulation, partitioning, and translocation in synthetic-derived wheat cultivars under nitrogen deficiency at the post-jointing stage. *Field Crops Research*, v.248, p.107720, 2020.

LITTELL, R. C.; MOTT, G. O. Computer assisted design and analysis of response surface experiments in agronomy. *Soil and Crop Science of Society of Florida Proceedings*, v. 34, p.94-97, 1975.

LOBELL, D. B.; SCHLENKER, W.; COSTA-ROBERTS, J. Climate trend sand global crop production since 1980. *Science*, v. 333, p. 616– 620. 2011.

LOLLATO, R. P.; FIGUEIREDO, B. M.; DHILLON, J. S.; ARNALL, D. B.; RAUN, W. R. Wheat grain yield and grain-nitrogen relationships as affected by N, P, and K fertilization: a synthesis of long-term experiments. *Field Crops Research*, v.236, p.42-57, 2019.

MACIEL, J. S.; MARTIN, T. N.; LUDWIG, R. L.; ROCKEMBACK, D. Importância da escolha da cultivar de trigo para plantios na região Sul. *Grandes Culturas Cultivar*, Ano XV, n. 181, 2014.

MAJEROWICZ, N.; FRANÇA, M. G. C.; PERES, L. E. P.; MÉDICI, L. O.; FIGUEIREDO, S. A. *Fisiologia vegetal: curso prático*. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural Edições, 2003, 137p.

MALAVOLTA, E. *Manual de nutrição de plantas*. São Paulo. Ceres, 2006.

MALAVOLTA, E.; CROMODO, O. J. Funções do Potássio nas Plantas. In: YAMADA, T. et al. *Potássio na Agricultura Brasileira*. Piracicaba: Potafos, 1982. p.95-162.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S.A. de. *Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações*. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1997, 230 p.

MANCIPE-MUÑOZ, E. A.; VÁSQUEZ-VENEGAS, J. E.; CASTILLO-SIERRA, J.; ORTIZ-CUADROS, R. E.; AVELLANEDA-AVELLANEDA, Y.; VARGAS-MARTÍNES, J. J. Productividad y valor nutricional de forraje de cebada y trigo del trópico alto colombiano. *Agronomía Mesoamericana*, v.32, p. 271-292, 2021.

MANOSSO, F. C. A produtividade de soja, trigo e milho e suas relações com a precipitação pluviométrica no município de Apucarana-PR no período de 1968 a 2002. *Geografia*, Londrina, v.14, p.87-98, 2005.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. *Fisiologia Vegetal: Fotossíntese, Respiração, Relações Hídricas e Nutrição Mineral*. Viçosa: UFV, 2005. 451p.

MARQUES, D. J.; BIANCHINI, H. C.; ROEWER L. A.; Fosfite de potássio contribui para enchimento de grãos. *Campo & Negócios*, Uberlândia, MG ed. 141, 2014.

MARSCHNER, H. *Mineral Nutrition of Higher Plants* London: Academic Press, 1995. 889p.

MARTUSCELLO, J. A.; FONSECA, D. M.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; SANTOS, P. M.; JUNIOR, J. I. R.; CUNHA, D. N. F. V.; MOREIRA, L. M. Características morfogênicas e estruturais do capim-xaraés submetido à adubação nitrogenada e desfolhação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 1475-1482, 2005.

MARUR, C. J.; MAZZAFERA, P.; MAGALHÃES, A. C. Atividade da enzima e redutase do nitrato em algodoeiro submetido ao déficit hídrico e posterior recuperação da turgescência. *Scientia Agricola*, v. 57, n. 2, p. 277-281, 2000.

MELERO, M. M.; GITTI, D. C.; ARF, O.; RODRIGUES, R. A. F. Coberturas vegetais e doses de nitrogênio em trigo sob sistema plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.43, p.343-353, 2013.

MENDES-SANTOS, R.; KANDASAMY, S.; CID-RIGOBELLO, E. Ammonium and nitrate levels of soil inoculated with *Azospirillum brasilense* in maize. *African Journal of Agricultural*, v. 12, n. 11, p. 863-870, 2017. ISSN 1991-637X.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. Principles of plant nutrition. London: Kluwer Academic, 2001. 849 p.

METHO, L. A.; HAMMES, P. S.; DE BEER, J. M.; GROENEVELD, H. T. Interaction between cultivar and soil fertility on grain yield, yield components and grain nitrogen content of wheat. *South African Journal of Plant and Soil*, v.14, p. 158-164, 1997.

MEURER, J. M.; TIECHER, T.; MATTIELO, L. Potássio. In: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A. *Nutrição Mineral de Plantas*. Viçosa, MG: SBCS, p. 429-464, 2018.

MIAO, Y. F.; WANG, Z. H.; LI, S. X. Relation of nitrate n accumulation in dryland soil with wheat response to N fertilizer. *Field Crops Research*, v.170, p.119-130, 2015.

MILLER, A. J.; FAN, X.; ORSEL, M.; SMITH, S. J.; WELLS, D. M. Nitrate transport and signalling. *Journal of Experimental Botany* v.58, p.2297-2306, 2007.

MISHRA, D.; SHEKHAR, S.; AGRAWAL, L.; CHAKRABORTY, S.; CHAKRABORTY, N. Cultivar-specific high temperature stress responses in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) associated with physicochemical traits and defense pathways. *Food Chemistry*, v.221, p.1077-1087, 2017.

MITTELMANN, A.; NETO, J. F. B.; CARVALHO, F. I. F.; LEMOS, M. C. I.; CONCEIÇÃO, L. D. H. Herança de caracteres do trigo relacionados à qualidade de panificação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 35, p. 975-983, 2000.

MIRALLES, D.J.; SLAFER, G.A. Wheat development. In: SATORRE, E.H.; SLAFER, G.A. *Wheat: ecology and physiology of yield determination*. New York: Food Products, 2000. p.13-43.

MIURA, J. Produção de trigo no Cerrado do Brasil central tem potencial para crescer 20 vezes. Embrapa, 2020. Disponível em: <[https://www.embrapa.br/busca\\_de-noticias/-/noticia/50236912/producao-detrigo-no-cerrado-do-brasil-central-tem-potencial-para-crescer-20-vezes](https://www.embrapa.br/busca_de-noticias/-/noticia/50236912/producao-detrigo-no-cerrado-do-brasil-central-tem-potencial-para-crescer-20-vezes)> .Acesso em: 23 mar 2022

MONTEIRO, J. E. B. A. Agrometeorologia dos cultivos – o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília: INMET, 2009. 530 p.

MORI, C.; IGNACZAK, J. C. Aspectos econômicos do complexo agroindustrial do trigo. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. (Eds.). *Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável*. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. p. 41-76.

MUMBACH, G. L.; KOTOWSKI, I. E.; SCHNEIDER F. J. A.; MALLMANN, M. S.; BONFADA, E. B.; PORTELA, V. O.; BONFADA, E. B.; KAISER, D. R. Resposta da inoculação com *Azospirillum brasilense* nas culturas de trigo e de milho safrinha. *Scientia Agraria*, Curitiba, v. 18, n. 2, p. 97-103, 2017.

MUNDOSCK, C, M., Quando aplicar o Nitrogênio em Trigo, Cevada e Aveia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 2005. Disponível em: <[www.ufrgs.br/agronomia/plantas/destaques/folder\\_trigo.php](http://www.ufrgs.br/agronomia/plantas/destaques/folder_trigo.php)> Acessado em: 07 abril de 2022.

NASCIMENTO, M.; LOUREIRO, F. E. L. Fertilizantes e sustentabilidade: o potássio na agricultura brasileira, fontes e rotas alternativas. 2004. Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/579/1/sed-61.pdf>>. Acessado em: 02 abr. 2022

NASCIMENTO, M.; MONTE, M. B. M.; LOUREIRO, F. E. L. Agrominerais - potássio. IN: Rochas e Minerais Industriais no Brasil: usos e especificações. 2.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2008. p.175-203.

NELSON, D. L.; COX, M. M. Princípios de bioquímica de Lehninger. Artmed Editora, 2022.

NEVES, L. S. DAS; ERNANI, P. R.; SIMONETE, M. A. Mobilidade de potássio em solos decorrente da adição de doses de cloreto de potássio. *Revista Brasileira Ciências do Solo*, v. 33, p.25-32, 2009.

NIU, J.; ZHANG, W.; CHEN, X.; LI, C.; YUAN, L.; XIE, J. Potassium nutrition of crops under varied regimes of nitrogen supply. *Plant and Soil*, v. 335, n. 1, 2013.

NOZAKI, M. de H.; LORENZATTO, R.; MANCINI, M. Efeito do *Azospirillum* spp. em associação com diferentes doses de adubação mineral na cultura do trigo. *Ensaios e Ciências Biológicas Agrárias e da Saúde*, v. 17, n. 6, 2013.

NUNES, A. S.; SOUZA, L. C. F.; VITORINO, A. C. T.; MOTA, L. H. S. Adubos verdes e doses de nitrogênio em cobertura na cultura do trigo sob plantio direto. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v.32, p.1375-1384, 2011.

NUNES, J. A. S., MARCHESAN, E., GIACOMINI, S. J., GROHS, M., TASCHETTO, Â. M., FORTUNA, C. R., SOARES, C. F., FLECK, A. G., & DONATO, G. Emission of greenhouse gases and yield-scaled global warming potential of rice cultivars under permanent and intermittent irrigation. *Bragantia*, v.81, p.2122, 2022.

OOSTERHUIS, D. M.; LOKA, D. A.; KAWAKAMI, E. M.; PETTIGREW, W. T. The physiology of potassium in crop production. *Advances in agronomy*, v.126, p.203-233, 2014.

OUKO, M. O. Nitrate reductase activity in rice as a screening tool for weed competitiveness. 73p, 2003.

OWEN, A. G.; JONES, D. L. Competition for amino acids between wheat roots and rhizosphere microorganisms and the role of amino acids in plant N acquisition. *Soil Biology and Biochemistry*, v.33, p.651-657, 2001.

PAULETTI, V. Plantio Direto: Atualização Tecnológica. São Paulo: Fundação Cargil, 1998.

PAVAN, M.A.; OLIVEIRA, E.L. Manejo da acidez do solo. Londrina: IAPAR, 1997. 86p. (IAPAR. Circular, 95).

PEREIRA, J. Tecnologia e qualidade de cereais: arroz, trigo, milho e aveia. 2002. 130f. Tese (doutorado) Universidade Federal de Lavras.

PETTIGREW, W. T. Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. *Physiologia plantarum*, v. 133, p. 670-681, 2008.

PIETRO-SOUZA, W.; BONFIM-SILVA, E. M.; 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, v.17, n.6, p.575- 580, 2013.

PILBEAM, D. J. The utilization of nitrogen by plants: a whole plant perspective. *Annual Plant Reviews*, v. 42, p. 305-351, 2018.

PIRES, J.F. A importância do trigo para a sustentabilidade da agricultura brasileira. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/23416523/artigo-a-importancia-do-trigo-para-a-sustentabilidade-da-agricultura-brasileira>>. Acesso em: 29 mar. 2022.

PIZZINATO, A. Qualidade da farinha de trigo: conceito, fatores determinantes e parâmetros de avaliação e controle. Campinas, 1999.

POLLETO, N.; GROHS, D. S.; MUNDSTOCK, C. M. Flutuação diária estacional de nitrato e amônio em um argissolo vermelho distrófico típico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.32. p.1619-1626, 2008.

PRADO, R. de M. 500 perguntas e respostas sobre nutrição de plantas. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2014.

PRADO, R. De M. Nutrição de plantas. 2ed. São Paulo: UNESP, 2020.

PRANDO, A.M.; ZUCARELI, C.; FRONZA, V.; OLIVEIRA, F.A.; OLIVEIRA JUNIOR, A. Características produtivas do trigo em função de fontes e doses de nitrogênio. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.43, p.34-41, 2013.

RADDATZ, N.; MORALES DE LOS RÍOS, L.; LINDAHL, M.; QUINTERO, F. J.; PARDO, J. M. Coordinated transport of nitrate, potassium, and sodium. *Frontiers in Plant Science*, v.11, p.247, 2020

RADDATZ, R. L.; SHAYKEWICH, C. F.; BULLOCK, P. R. Prairie crop yield estimates from modelled phenological development and water use. *Canadian journal of plant science*, v. 74, p. 429-436, 1994.

RAWLS, S. C. Pão arte e ciência. 5. ed. São Paulo: Senac São Paulo, 2012. p.37, 92, 98,127.

- REETZ, H. F. J. Fertilizantes e o seu uso eficiente. São Paulo: ANDA, 2017.
- REIS, A. R.; FURLANI, E.J.; BUZETI, S.; ANDREOTTI, M. Diagnóstico da exigência do cafeeiro em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. *Bragantia*, v. 65, p. 163-171, 2006.
- REIS, A. R. D.; FURLANI, E.; BENKE, F. D. M.; PERSEGIL, E. O.; FERRARI, S. Atividade da Enzima Redutase do Nitrato de cafeeiros em produção cultivado em diferentes níveis e sistemas de aplicação de nitrogênio. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, Londrina, 4, 2005.
- RHEIN, A. F. DE L; DOS SANTOS, M.; MARIA, D.; CARLIN, S. D. Atividade da enzima redutase do nitrato e teores de prolina livre em raízes de cana-de-açúcar sob os estresses hídrico e ácido no solo. *Semina: Ciências Agrárias*, p. 1345-1359, 2011.
- RIBEIRO JÚNIOR, W. Q.; ALBRECHT, J. C.; SILVA, M. e S. Viabilidade do cultivo do trigo no Cerrado do Brasil Central. In: FALEIRO, F. G.; SOUSA, E. dos S. de. Pesquisa, desenvolvimento e inovação para o Cerrado. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2007. Cap. 5, p. 55-60.
- RIBEIRO JÚNIOR, W.; ROCHA, O., RODRIGUES, L. ; GUERRA, A.; ANTONINI, J. Trigo do plantio à colheita. 2015.
- RIBEIRO, G.; PIMENTE, A. J. B; SOUZA, M. A. DE; ROCHA, J. R. A. S. C.; FONSECA, W. B. ESTRESSE por altas temperaturas em trigo: impacto no desenvolvimento e mecanismos de tolerância. *Revista Brasileira de Agrociência*, v.18, p.133-142, 2012
- REICHARDT, K.; TIMM, L. C. Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações. Manole Barueri, 2004.
- RÓDENAS, R.; GARCÍA-LEGAZ, M. F.; LÓPEZ-GÓMEZ, E.; MARTÍNEZ, V.; RUBIO, F.; ÁNGELES BOTELLA, M.  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  deprivation reduced LKT1-mediated low-affinity  $\text{K}^+$  uptake and SKOR-mediated  $\text{K}^+$  translocation in tomato and Arabidopsis plants. *Physiologia Plantarum*, v.160, p.410-424, 2017.
- RODRIGUES, M. A. C.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M; GARCIA, C. M. P.; ANDREOTTI, M. Adubação com KCl revestido na cultura do milho no cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, p.127-133. 2014.
- ROHILLA, P.; YADAV, J. P. Nitrate reductase structure, role and factors affecting its regulation: a review. *Plant Archives*, v.20, p.5787-5793, 2020.
- RÖMHELD, V. Diagnosis of deficiency and toxicity of nutrients. In: MARSCHNER, P. Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3. ed. San Diego: Academic Press, 2012. cap. 11. p. 299-312.
- RONSANI, S. C.; PIVA, J. T.; FIOREZE, S. L.; BASSO, K. C.; RIBEIRO, R. H.; BESEN, M. R. Adubação nitrogenada na produção de grãos e matéria seca de cultivares de trigo de duplo propósito. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v.17, p.174-181, 2018.

ROSCOE, R.; BROCH, D. L.; PITOL, C. Boletim Técnico 17- Resultados de Pesquisa Safra 2008-09 e Safrinha 2009. Fundação de Apoio a Pesquisa e Desenvolvimento Integrado Rio Verde. Lucas do Rio Verde: edição do autor, p.92–106, 2009.

ROZANE, D. E.; PRADO, R. M.; ROMUALDO, L. M. Deficiências de macro nutrientes no estado nutricional da aveia-preta cultivar comum. Científica, Jaboticabal, v. 36, p. 116 –122, 2008.

RUAN, J.; WU, X.; HARDTER, R. Effects of Potassium and Magnesium Nutrition on the Quality Components of Diffents Types of Tea. Journal of the Science of Food and Agriculture, v.79, p.47-52, 1999.

RUAN, J.; WU, X.; YE, Y.; HARDTER, R. Effect of potassium, magnesium and sulphur applied in different form of fertilizers on free amino acid content in leaves of tea (*Camellia sinensis* L.). Journal of the Science of Food and Agriculture, v.76, p.389-396, 1998.

SAMPAIO, J. A. A cultura do trigo. Ministério da Agricultura, Pecuária e Alimentação. P. 172, 1990.

SANTOS, C. L. R.; CAZETTA, J. O.; SARAN, L. M.; SANCHES, A. Otimização da análise da atividade da redutase do nitrato e sua caracterização em folhas de cana de açúcar. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.49, p.384-394, 2014.

SANTOS, C. L. R.; CAZETTA, J. O.; SARAN, L. M.; MORAES, M. F.; SILVA, C. F. Relações do uso de nitrogênio e atividade da redutase do nitrato por cultivares de cana-de-açúcar. Scientific Electronic Archives, v.13, p.38-45, 2020.

SATHEE, L.; MEENA, H. S.; ADAVI, S. B.; JHA, S. K. Nitric oxide-induced regulation of plant developmental processes and abiotic stress responses. Plant Abiotic Stress Tolerance: Agronomic, Molecular and Biotechnological Approaches, p.381-408, 2019

SCHEEREN, P. L.; CASTRO, R. L.; CAIERÃO, E. Botânica, morfologia e descrição fenotípica. In: BORÉM, A.; SCHEEREN, P. L. Trigo: do plantio à colheita. Viçosa: Editora UFV, 2015, p.35-55.

SCHLICHTING, A. F.; BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, M. C.; PIETRO-SOUZA, W.; SILVA, T. J. A.; FARIAS, L. N. Efficiency of portable chlorophyll meters in assessing the nutritional status of wheat plants. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.19, p.1148–1151, 2015.

SCHRÖDER, J. J.; NEETESON, J.J.; OENEMA, O.; STRUIK, P.C. A cultura ou o solo indicam como economizar nitrogênio na produção de milho? Revendo o estado da arte. Field Crops Research, v. 66, n. 2, p. 151-164, 2000.

SENGER, M. Influência do nitrogênio, regulador de crescimento e densidade de semeadura na produtividade e na qualidade industrial do trigo. 2017. 154 f. Tese (Doutorado em Agronomia) Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2017.

SHARMA, P. K.; GURJAR, R.; KUMAR, M.; KUMAR, D.; DABARIA, A. Combined Effect of Nitrogen and Phosphorus Fertilizer on the Activity of the Nitrate Reductase Enzyme in Different Wheat Cultivars. *International Journal of Environment and Climate Change*, v.13, p.196-204, 2023.

SILVA, A. R. da; ANDRADE, J. M. V. de; LEITE, J.C. Contribuição da Embrapa ao Desenvolvimento do trigo na região dos Cerrados. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1981. (Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 5).

SILVA, A. R. da; LEITE, J. C.; MAGALHÃES, J. C. A. J.; NEUMAIER, N. A cultura do Trigo Irrigada nos Cerrados do Brasil Central. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1976. (Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 1).

SILVA, F. A. M.; MELONI, R.; MIRANDA, J.R.P.; CARVALHO, J.G. efeito de estresse salino sobre a nutrição mineral e o crescimento de mudas de aroeira (*myracrodruon urundeuva*) cultivadas em solução nutritiva. *Revista Cerne*, v.6, p.52-59, 2000.

SILVA, S. M.; OLIVEIRA, L. J.; FARIA, F.P.; REIS, E. F.; CARNEIRO, M. A. C.; SILVA, S. M. Atividade da enzima nitrato redutase em milho cultivado sob diferentes níveis de adubação nitrogenada e potássica, *Ciência Rural*, v.41, n.11, p.1931- 1937, 2011.

SILVA, R. R.; ZUCARELI, C.; FONSECA, I. C. D. B.; RIEDE, C.R.; GAZOLA, D. Manejo de qualidade na qualidade de cultivares e ambientes de cultivo de grãos de trigo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v. 23, p. 826-832, 2019.

SINHA, S.K.; RANI, M.; BANSAL, N.; VENKATESH, K.; MANDAL, P. K. A privação de nitrato induziu mudanças na arquitetura do sistema radicular, metabolismo de carbono: nitrogênio e expressão de miRNA em genótipos de trigo responsivos a nitrogênio. *Bioquímica aplicada e biotecnologia* , v.177, p.1299-1312, 2015.

SOBRAL, L. F; NOGUEIRA, L. C. Influência de nitrogênio e potássio, via fertirrigação, em atributos do solo, níveis críticos foliares e produção do coqueiro-anão. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 1675-1682, 2008.

SOCOLOW, R. H. Nitrogen management and the future of food: lessons from the management of energy and carbon. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 96, p. 6001-6008, 1999

SONNTAG, F., BUNZEL, D., KULLING, S., PORATH, I., PACH, F., PAWELZIK, E., NAUMANN, M. Effect of potassium fertilization on the concentration of antioxidants in two cocktail tomato cultivars. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, v.93, p.34-43, 2020.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília-DF: Embrapa Cerrados. 2017. 416 p.

STEDUTO, P.; HSIAO, T.; FEREREA, E.; RAES, D. Crop yield response to water, *FAO Irrigation and Drainage Paper 66*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2012.

STEMPKOWSKI, L. A.; MAR, T. B.; PEREIRA, F.; SANTOS, A.; VALENTE, J. B.; LAU, D.; DA SILVA, F. N; Viroses em trigo no Brasil: uma visão histórica. 2022.

STONE, P. J.; NICOLAS, M. E. Wheat cultivars vary widely in their responses of grain-yield and quality to short periods of post-anthesis heat-stress. *Australian Journal of Plant Physiology*, v.21, p.887-900, 1994.

STRECK, N. A. Climate change and agroecosystems: the effect of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> and temperature on crop growth, development, and yield. *Ciência Rural*, v.35, n.3, p.730-740, 2005.

TABUCHI, M.; ABIKO, T.; YAMAYA, T. Assimilation of ammonium ions and reutilization of nitrogen in rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Experimental Botany*, v.58, p.2319–2327, 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2012. 720p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. *Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

TEIXEIRA FILHO, M. C. M., BUZETTI, S., ANDREOTTI, M., ARF, O., & BENETT, C. G. S. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em trigo irrigado em plantio direto. *Pesquisa agropecuária brasileira*, v.45, p.797-804, 2010.

TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; ALVAREZ, R. C. F.; FREITAS, J. G.; ARF, O.; SÁ, M. E. Desempenho agrônômico de cultivares de trigo em resposta a população de plantas e a adubação nitrogenada. *Científica*, v.36, p.97-106, 2008.

TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; ALVAREZ, R. C. F.; FREITAS, J. G.; ARF, O.; SÁ, M. E. Resposta de cultivares de trigo irrigado por aspersão ao nitrogênio em cobertura na região do cerrado. *Acta Scientiarum Agronomy*.v.29, p.421-425, 2007.

THEAGO, E. Q.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO M, M.C.; ANDREOTTI, M.; MEGDA, M. M. M; BENETT, C.G.S. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio influenciando teores de clorofila e produtividade do trigo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.38, p.1826-1835. 2014.

TORRES, G. A. M.; SIMIONI, A.; GAMBIM, E.; TOMAZIN, T. *Proteínas de Reserva do Trigo: Gluteninas*. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. 11 p. Disponível em<<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/852580/1/pdo117.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2019.

ULLAH, I.; ALI, N.; DURRANI, S.; SHABAZ, M. A.; HAFEEZ, A.; HAFEEZ, A.; ISHFAQ, M.; AMEER, H.; FAYYAZ, M. R.; REHMAN, A.; WAHEED, A. Effect of different nitrogen levels on growth, yield and yield contributing attributes of wheat. *Internacional Journal of Scientific & Engineering Research*, v. 9, p. 595-602, 2018.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE -USDA. *World agricultural production*. Washington: USDA, 2021. 38 p. (Circular Series, WAP 1-21)

VENKATESAN, S.; GANAPATHY, M. N. K. Nitrate reductase activity in tea as influenced by various levels of nitrogen and potassium fertilizers. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.35, p. 1283-1291, 2004.

VENTUROSO, L. R.; BERGAMIN, A. C.; JÚNIOR, D. D. V.; LIMA, W. A.; OLIVEIRA, W. B.; SCHLINDWEIN, J. A.; CARON, B. O.; SHIMIDT, D. Avaliação de duas cultivares de soja sob diferentes doses de potássio, no município de Rolim de Moura, RO. *Revista Agrarian, Dourados*, v.2, p.17-29, 2009.

VIANA, E. M.; KIEHL, J. C. Doses de nitrogênio e potássio no crescimento do trigo. *Bragantia*, v.69, p.975-982, 2010.

VIEIRA, R. F. Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas. 1ª ed. Brasília: Embrapa, 2017. 163p.

WAFULA, D.; WHITE, J. R.; CANION, A.; JAGOE, C.; PATHAK, A.; CHAUHAN, A. Impacts of Long-Term Irrigation of Domestic Treated Wastewater on Soil Biogeochemistry and Bacterial Community Structure. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 81, n. 20, p. 7143–7158, 2015.

WALSH, O. S.; SHAFIAN, S.; CHRISTIAENS, R. J. Manejo de fertilizantes nitrogenados em sistemas de cultivo de trigo em sequeiro. *Plantas*, v.7, p.1-9, 2018.

WANG, J.; SONG, K.; SUN, L.; QIN, Q.; SUN, Y.; PAN, J.; XUE, Y. Morphological and transcriptome analysis of wheat seedlings response to low nitrogen stress. *Plants*, v.8, p.98, 2019.

WANG, R.; GUEGLER, K.; LABRIE, S. T.; CRAWFORD, N. M. Genomic analysis of a nutrient response in *Arabidopsis* reveals diverse expression patterns and novel metabolic and potential regulatory genes induced by nitrate. *Plant Cell*, v. 12, p. 1491-1509, 2000

WEEKS, M. E. Daniel Rutherford and the discovery of nitrogen, *Journal of Chemical Education*, v.1, p.101-107, 1934.

WEIGHTMAN, R.M.; HUDSON, E.M. Noxious or nutritious? Progress in controlling nitrate as a contaminant in leafy crop species. *Food and Energy Security*, v.2, p.141-156, 2013.

WROBEL, F. L.; NEUMANN, M.; LEÃO, G. F. M.; HORST, E. H.; UENO, R. K. Doses de nitrogênio sobre produtividade e aspectos nutricionais de grãos e palha de trigo duplo propósito. *Revista Acadêmica: Ciência Animal*, v.14, p.27-35, 2016.

WROBEL, F. L.; NEUMANN, M.; LEÃO, G. F. M.; SANDINI, I. E.; POCZYNEK, M.; MARAFON, F. Qualidade da silagem de trigo produzida sob níveis de adubação nitrogenada em dois estádios fenológicos. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v. 17, n. 4, p. 539-546, 2018.

XU, G.; WOLF, S.; KAFKAFI, U. Ammonium on potassium interaction in sweet pepper. *Journal of Plant Nutrition*, v. 25, p. 719-734, 2002.

Xi, B., Yu, H., Li, Y., Dang, Q., Tan, W., Wang, Y., & Cui, D. Insights into the effects of heavy metal pressure driven by long-term treated wastewater irrigation on bacterial communities and nitrogen-transforming genes along vertical soil profiles. *Journal of Hazardous Materials*, v. 403, p. 123853, 2021.

YANEVA, I.A.; BAYDANOVA, V.D.; VUNKOVA-RADEVA, R.V. Nitrate reductase activation state in leaves of molybdenum-deficient winter wheat. *Journal of Plant Physiology*, v.157 p.495-501, 2000.

ZAHOOR, R., ZHAO, W.; DONG, H.; SNIDER, J.L; ABID, M.; IQBAL, B.; ZHOU, Z. O potássio melhora a tolerância fotossintética e a recuperação do estresse hídrico episódico em folhas funcionais de algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.). *Fisiologia e bioquímica vegetal*. v. 119, p. 21-32, 2017.

ZADOKS, J. c., CHANG, T. T.; KONZAK, C. F. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research, Oxford*, v.14, p.415 -421, 1974.

ZAGONEL, J.; VENÂNCIO, W.S.; KUNZ, R.P.; TANAMATI, H. Doses de nitrogênio e densidades de plantas com e sem regulador de crescimento afetando o trigo, Cultivar OR-1. *Ciência Rural*, v.32, p.25-29, 2002.

ZAMBOLIM, L.; VENTURA, J. A. Efeito da nutrição mineral no controle de doenças de plantas. Viçosa:UFV, 2012. 321p.

ZHANG, J.; WANG, J.; MÜLLER, C.; CAI, Z. Significados ecológicos e práticos da absorção preferencial de N por espécies cultivadas combinando com a dinâmica de N do solo. *Soil Biology and Biochemistry* , v.103 , p.63-70, 2016.

ZHANG, L.; TAN, Q.; LEE, R.; TRETHERY, A.; LEE, Y. H.; TEGEDER, M. Altered xylem-phloem transfer of amino acids affects metabolism and leads to increased seed yield and oil content in *Arabidopsis*. *The Plant Cell*, v. 22, p. 3603-3620, 2010.

ZHANG, F.; NIU, J.; ZHANG, W.; CHEN, X.; LI, C.; YUAN, L.; XIE, J. Nutrição potássica de culturas submetidas a regimes variados de adubação nitrogenada. *Planta e solo*. v.335 , p.21-34, 2010.

ZIBETTI FORNARI, E.; GAVIRAGHI, L.; BASSO, C. J.; MARQUES PINHEIRO, M. V.; VIAN, A. L.; SANTI, A. L. Relação entre pigmentos fotossintéticos e produção de milho sob fontes de nitrogênio. *Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia*, v. 50, p. e63661, 2020. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/pat/article/view/63661>. Acesso em: 26 abr. 2022.

ZILLES, U. Significação dos símbolos cristãos. 6 ed. Edipucrs, Porto Alegre. 2006.

ZORB, C.; LUDEWIG, U.; HAWKESFORD, M. J. Perspective on wheat yield and quality with reduced nitrogen supply. *Trends in plant science*, v.23, p.1029-1037, 2018.

ZORB, C.; SENBAYRAM, M.; PEITER, E. "Potássio na agricultura-status e perspectivas." *Jornal de fisiologia vegetal*, v.171, p. 656-669, 2014.