

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO-UFMT
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola**

**DESENVOLVIMENTO, PRODUÇÃO E NUTRIÇÃO DE TRIGO
ADUBADO COM NITROGÊNIO E POTÁSSIO**

JANAINA MAIRA GONÇALVES CARVALHO

**RONDONÓPOLIS-MT
2014**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO-UFMT
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola**

**DESENVOLVIMENTO, PRODUÇÃO E NUTRIÇÃO DE TRIGO
ADUBADO COM NITROGÊNIO E POTÁSSIO**

JANAINA MAIRA GONÇALVES CARVALHO
Engenheira Agrícola e Ambiental

Orientador (a): Prof^a Dr^a. Edna Maria Bonfim-Silva

**Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Mato
Grosso, para obtenção do título de
Mestre em Engenharia Agrícola.
Linha de pesquisa: Engenharia de
Sistemas Agrícolas.**

**RONDONÓPOLIS-MT
2014**

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

G635d Gonçalves Carvalho, Janaina Maira.
 Desenvolvimento, produção e nutrição de trigo adubado
 com nitrogênio e potássio / Janaina Maira Gonçalves. --
 2014
 69 f. : il. color. ; 30 cm.

 Orientador: Edna Maria Bonfim-Silva.
 Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato
 Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas,
 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola,
 Rondonópolis, 2014.
 Inclui bibliografia.

 1. Triticum aestivum L.. 2. Características fitométricas. 3.
 Eficiência no uso da água. 4. Cerrado. I. 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.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO - UFMT
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

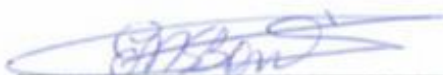
Título: DESENVOLVIMENTO, PRODUÇÃO E NUTRIÇÃO DE TRIGO
ADUBADO COM NITROGÊNIO E POTÁSSIO

Autor: JANAINA MAIRA GONÇALVES CARVALHO

Orientadora: Profª Drª. EDNA MARIA BONFIM-SILVA

Aprovado em 12 de dezembro de 2014.

Comissão Examinadora:



Profª Drª. Edna Maria Bonfim-Silva
(Universidade Federal de Mato Grosso)
(Orientadora)



Profª Dr. Geovane Lima Guimarães
(Instituto Federal Baiano)
(Membro externo)



Profª Dr. Osvaldo Guedes Filho
(Universidade Federal de Mato Grosso)
(Membro interno)

OFEREÇO

Ao meu esposo, **Tiago Rodrigues Carvalho**, por todo amor e incentivo incondicional durante essa trajetória.

Às minhas filhas, **Mariana** e **Maria Vitória**, que são os maiores presentes que Deus deu a mim.

Minha família!

DEDICO

Aos Meus Pais,
Vilmar e **Evanir**, que sempre acreditaram em mim e me apoiaram nos meus sonhos, não medindo esforços para ajudar a conquistá-los.
Esta vitória tão importante é dedicada a vocês dois.
Amo vocês!

Ao Meu Irmão,
Vailson, pela confiança, força, amor e incentivo.
Dedico essa vitória para lhe inspirar na busca dos sonhos.

À Minha Avó,
Norma, por ser esse exemplo de fé. Mulher guerreira, fiel, amorosa, autêntica, dedicada à família, inspiradora enfim; você é única.

Vó, te amo!

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente, por Ele ter me carregado em suas mãos e me acolhido nos momentos de indecisão. Sua mão poderosa sempre esteve estendida sobre mim, pra me consolar e fortalecer em todas as tribulações;

Agradeço aos meus pais, Vilmar Gonçalves e Evanir Marques Gonçalves, meu porto seguro, por todo amor, compreensão, dedicação e ensinamentos que formaram minha personalidade, e também a meu irmão Vailson Gonçalves por completar a nossa família;

Ao meu esposo, Tiago Rodrigues Carvalho, pela dedicação, zelo e amor gratuito que recebo a cada dia ao seu lado. Sua presença, cumplicidade e dedicação a nossa família foram fundamentais em mais esta vitória, que também pertence a você e as nossas filhas, Maria Vitória e Mariana;

À minha querida orientadora, Prof^a Dr^a. Edna Maria Bonfim-Silva, por todos esses anos de convívio harmonioso, que agregaram além de conhecimentos científicos, valores importantes à minha vida acadêmica e pessoal, especialmente por toda compreensão e disponibilidade prestadas. Agradeço ao Prof. Dr. Tonny José Araújo da Silva pela dedicação, tornando-se um exemplo de empenho e profissionalismo;

Aos meus amigos, Marcel Thomas Job Pereira, Ellen Cristina Alves de Anicésio, Jackeline Rosa de Oliveira, Julyane Vieira Fontenelli, Samara Loraine Soares da Silva, João Ângelo Silva Nunes, Júlio César Fornazier Moreira, Christiane Kamila Bosa, Wilson Koei Kanacilo, Renato Tillmann Bassini e Marcio Venzon, que sempre estiveram dispostos a ajudar, pela amizade, respeito, compreensão, pela ajuda nas conduções de experimentos e pelos momentos de descontração que foram marcantes;

Aos alunos de iniciação científica do curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, em especial ao meu querido amigo Adriano Bicioni Pacheco, por me prestar todo auxílio em um período muito importante de minha vida, sendo ímpar na consolidação dessa vitória, e ao Grupo de pesquisa Práticas em Água e Solo da UFMT, Campus de Rondonópolis, pelo auxílio prestado;

Ao IFMT - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, na pessoa da Natalícia Júlia Marques, pela confiança, compreensão, e incentivo recebidos durante esse período de estudos;

À UFMT - Universidade Federal de Mato Grosso, mais especificamente ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PGEAGRI), pela oportunidade oferecida;

Enfim; a todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito Obrigada!

DESENVOLVIMENTO, PRODUÇÃO E NUTRIÇÃO DE TRIGO ADUBADO COM NITROGÊNIO E POTÁSSIO

RESUMO - O trigo (*Triticum aestivum* L.) é um cereal amplamente utilizado na alimentação humana e animal, por suas propriedades nutricionais. Devido a sua adaptação, é cultivado tanto em regiões subtropicais quanto tropicais. O rendimento de grãos e as características de qualidade tecnológica são fortemente influenciados pelas condições climáticas e meteorológicas de cada região durante a safra. Junto com o manejo adequado das adubações de nitrogênio e potássio, é necessário o uso correto e eficiente da água fundamental para o transporte desses nutrientes. Objetivou-se nesse trabalho avaliar o efeito de combinações de doses de nitrogênio e de potássio no desenvolvimento, produção e nutrição das plantas de trigo. Realizou-se experimento em casa de vegetação, em vasos de 8 dm³. O solo utilizado foi Latossolo Vermelho, coletado a uma profundidade de 0 a 0,2 m. Realizou-se calagem do solo para elevação da saturação por bases à 60% e incubando por 30 dias a 60% da capacidade de campo. Adotou-se o delineamento experimental em blocos casualizados em fatorial 5x5 com cinco doses de nitrogênio (0, 100, 200, 300 e 400 mg dm⁻³) e cinco doses de potássio (0, 90, 180, 270, 360 mg dm⁻³), com quatro repetições. A umidade do solo foi mantida por sistema autoirrigante (tensão controlada a 3 kPa). Aos 50 dias após a semeadura, foi feita a leitura do índice SPAD nas folhas diagnósticas (+1 e +2), sendo estas retiradas da planta para posteriores análises nutricionais em laboratório. Após 95 dias da emergência, as plantas foram colhidas e, em seguida; a parte aérea foi seca em estufa de ventilação forçada a 65 °C até obtenção de massa constante; desse material foram separadas as espigas para a contagem dos grãos. Em moinho do tipo Willey foram triturados os grãos para a determinação do nitrogênio e do potássio. Já o sistema radicular foi limpo e seco em estufa de ventilação forçada a 65 °C até obter massa constante. O desenvolvimento vegetativo das plantas foi influenciado pelo nitrogênio e potássio isoladamente, sendo que a máxima produção de folhas foi obtida na dose de nitrogênio de 278,1 mg dm⁻³. O diâmetro respondeu linearmente à adubação potássica. Houve interação entre os fatores para a produção de massa seca da parte aérea e total das plantas de trigo. A eficiência no uso da água aumentou linearmente com o suprimento de nitrogênio e potássio. As características nutricionais foram influenciadas de forma isolada pelos nutrientes, onde o potássio aumentou a concentração do nitrogênio e proteína bruta nos grãos. O suprimento de nitrogênio e potássio no solo promoveram ganhos no desenvolvimento, produção e nutrição das plantas de trigo.

Palavras-chave: *Triticum aestivum* L., Características fitométricas, Eficiência no uso da água e Cerrado.

DEVELOPMENT, PRODUCTION AND NUTRITION OF WHEAT FERTILIZED WITH NITROGEN AND POTASSIUM

ABSTRACT- The wheat (*Triticum aestivum* L.) is a cereal widely used in feeding of human (mostly) and animal for their nutritional properties. Due to their adaptation, is grown both subtropical as tropical regions. Grain yield and technological quality characteristics are strongly influenced by climatic and meteorological conditions each region during the crop. Along with appropriate management of nitrogen and potassium fertilization is need the correct and efficient use of water, which is essential for the transport of these nutrients. The objective was to evaluate the effects of combined rates of nitrogen and potassium in the development, production and nutrition of wheat plants. The experiment was carried out a greenhouse in pots of 8 dm³. The soil used was Oxisol, collected at a depth of 0 a 0,2 m. Conducted the liming the soil to 60% of base saturation and incubating for 30 days to 60% of field capacity. Was adopted randomized block design in factorial 5x5 with five doses of nitrogen (0, 100, 200, 300 e 400 mg dm⁻³) and five doses of potassium (0, 90, 180, 270, 360 mg dm⁻³), with four replications. Soil moisture was maintained by autoirrigante system (controlled tension in 3 kPa). At 50 days after emergence, was taken reading the SPAD index in the diagnostic leaves (+1 and +2), being these removed from the plant to posteriorly nutritional analyzes in the laboratory. At 95 days after emergence, were harvested and separated in the shoot was dried in an oven with air forced ventilation 65 °C until constant weight, this material were separated the cobs for counting the grains. In a Willey mill were crushed the grains for the determination of nitrogen and potassium. The root system was cleaned and dried in an oven with air forced ventilation 65 °C until constant weight. The vegetative growth of plants was affected by nitrogen and potassium singly, the maximum leaf production was obtained at a dose of nitrogen of 278,1 mg dm⁻³. The diameter linear response to potassium fertilization. It was no interaction between the factors for production dry mass of shoots and total wheat plants. The efficient use of water increased linearly with nitrogen and potassium. Nutritional characteristics were influenced by the nutrients singly, where the potassium increased the concentration nitrogen and crude protein in grain. The supply of nitrogen and potassium in the soil promoted development gains, production and nutrition of wheat plants.

Keywords: *Triticum aestivum* L., Phytometric features, Water use efficiency and Cerrado.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vista parcial do experimento com trigo (cultivar BRS 254), em função das doses de nitrogênio e potássio, aos vinte (A) e quarenta (B) dias após a semeadura.....	22
Figura 2. Adubação nitrogenada nas plantas de trigo em casa de vegetação.....	24
Figura 3. Instalação da cápsula porosa (A) do sistema autoirrigante subsuperficial por tensão controlada (B). Metodologia estabelecida conforme Bonfim-Silva et al. (2007).	24
Figura 4. Vista geral das parcelas experimentais com sistema autoirrigante em casa de vegetação.	25
Figura 5. Leitura do índice SPAD nas folhas (+1 e +2) de trigo, cultivado em Latossolo Vermelho.....	26
Figura 6. Diâmetro de colmo do trigo em função das doses de potássio, cultivado em Latossolo Vermelho.....	29
Figura 7. Número de folhas do trigo em função das doses de nitrogênio, cultivado em Latossolo Vermelho.....	31
Figura 8. Número de perfilhos de plantas de trigo em função das doses de nitrogênio (A) e de potássio (B), cultivado em Latossolo Vermelho.	33
Figura 9. Número de espigas de trigo em função das doses de nitrogênio (A) e de potássio (B), cultivado em Latossolo Vermelho.....	35
Figura 10. Número de grãos de trigo em função das doses de nitrogênio, cultivado em Latossolo Vermelho.....	36
Figura 11. Produção de massa seca de parte aérea do trigo, em função da adubação com combinações de doses de nitrogênio e de potássio, cultivado em Latossolo Vermelho	38
Figura 12. Massa seca de raízes do trigo em função das doses de nitrogênio (A) e de potássio (B), cultivado em Latossolo Vermelho	40
Figura 13. Massa seca dos grãos de trigo em função das doses de nitrogênio, cultivado em Latossolo Vermelho	41

Figura 14. Produção de massa seca total do trigo, em função da adubação com combinações de doses de nitrogênio e potássio, cultivado em Latossolo Vermelho.....	43
Figura 15. Eficiência do trigo no uso de água em função das doses de nitrogênio (A) e de potássio (B), cultivado em Latossolo Vermelho	45
Figura 16. Índice SPAD nas folhas (+1 e +2) de trigo em função das doses de nitrogênio (A) e de potássio (B), cultivado em Latossolo Vermelho..	47
Figura 17. Concentração de nitrogênio (A) e teor de proteína bruta (PB) (B) nas folhas (+1 e +2) de trigo, em função das doses de nitrogênio, cultivado em Latossolo Vermelho.....	49
Figura 18. Concentração de nitrogênio (A) e teor de proteína bruta (B) nos grãos de trigo em função das doses de nitrogênio, cultivado em Latossolo Vermelho	51
Figura 19. Concentração de nitrogênio (A) e teor de proteína bruta (B) nos grãos de trigo em função das doses de potássio, cultivado em Latossolo Vermelho	53
Figura 20. Concentração de potássio nas folhas (+1 e +2) de trigo em função das doses de nitrogênio (A) e de potássio (B), cultivado em Latossolo Vermelho	55
Figura 21. Concentração de potássio nos grãos de trigo em função das doses de nitrogênio, cultivado em Latossolo Vermelho	57

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	13
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Cultura do trigo.....	15
2.3	Cultivo do trigo em solo do Cerrado	16
2.4	Nitrogênio na planta	17
2.5	Potássio na planta.....	18
2.6	Relação nitrogênio: potássio	20
3.	MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1	Delineamento experimental.....	22
3.3	Semeadura e manejo da adubação	23
3.3	Manutenção e reposição de água nos vasos	24
3.4	Variáveis analisadas	26
3.5	Análises estatísticas.....	28
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1	Diâmetro de colmo	29
4.2	Número de folhas	30
4.3	Número de perfilhos	32
4.4	Número de espigas	34
4.5	Número de grãos.....	36
4.6	Massa seca de parte aérea.....	37
4.7	Massa seca de raiz	39
4.8	Massa seca de grãos	41
4.9	Massa seca total	42
4.10	Consumo e eficiência no uso da água pelo trigo.....	44
4.11	Leitura do índice SPAD	46

4.12 Nitrogênio total e proteína bruta nas folhas.....	48
4.13 Nitrogênio total e proteína bruta nos grãos	50
4.14 Potássio nas folhas	54
4.15 Potássio nos grãos.....	56
4.16 Correlação de Pearson	57
5. CONCLUSÕES.....	62
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

1. INTRODUÇÃO

O trigo é um dos cereais mais utilizados no mundo, tanto na alimentação humana quanto na animal. Essa cultura se destaca por possuir uma diversidade de genótipos, o que amplia sua adaptação em diferentes condições ambientais, podendo alcançar alta produtividade em várias regiões.

No Brasil Central, em solos do Cerrado, se produz trigo de alta qualidade industrial que, por consequência, tem conquistado o mercado. Esse aumento da produção no Cerrado se dá pelo adequado manejo do solo, elevação do estado nutricional e avanço no melhoramento genético de plantas.

De acordo com Espindula et al. (2010a), gramíneas como o trigo, por não serem beneficiadas pela fixação biológica de nitrogênio com a mesma eficiência das leguminosas, precisam obter nitrogênio do solo via adubação.

O nitrogênio é um macronutriente, requerido em grandes quantidades, essencial para o desenvolvimento e produção das plantas. É absorvido e exportado para os grãos em grandes quantidades (SOUSA; LOBATO, 2004).

No entanto, vale ressaltar que a utilização de doses elevadas de nitrogênio, visando o aumento da produtividade, resulta em maior desenvolvimento vegetativo e, conseqüentemente, em acamamento das plantas, interferindo, negativamente, no rendimento e qualidade dos grãos (BUZETTI et al., 2006). Para reduzir o risco de acamamento na cultura, é importante a utilização de doses mais adequadas desse nutriente.

O potássio é o segundo elemento mais absorvido pelas plantas, e segundo Malavolta (2005), é o cátion mais abundante em todas as culturas, estando presente nos tecidos, principalmente em formas solúveis em água, sendo considerado o mais móvel dos nutrientes no sistema solo-planta-atmosfera e, particularmente, na planta.

Segundo Zambolim e Ventura (2012), o potássio atua no crescimento das raízes e estimula a absorção de água e nutrientes; participa da formação da celulose da parede celular; reduz a respiração, prevenindo a perda de energia pela planta; ajuda na fotossíntese; translocação de açúcares e amido; produz grão rico em amido; aumenta o conteúdo proteico e também ajuda a retardar doenças.

As reservas de potássio da maioria dos solos da Região do Cerrado são baixas e insuficientes para suprir as quantidades extraídas pelas principais culturas em plantios sucessivos. Portanto, seu suprimento às plantas deve ser feito por meio de adubação (VILELA et al., 2004).

Para Viana (2007), o nitrogênio e o potássio estão entre os mais extraídos por diversas culturas e têm merecido destaque em relação aos cereais. A interação e toda a dinâmica desses nutrientes na planta e no solo devem ser conhecidas, a fim de melhorar as interações e aperfeiçoar o uso dos fertilizantes nitrogenados e potássicos, pois a resposta de uma cultura ao potássio depende, em grande parte, do nível em que se encontra a nutrição nitrogenada, destacando, assim, forte ligação entre eles.

A hipótese que existe uma relação entre as doses de nitrogênio e de potássio, e uma dose adequada que proporciona um melhor desenvolvimento e maior rendimento de plantas, nesse trabalho objetivou-se avaliar o efeito de combinações de doses de nitrogênio e de potássio no desenvolvimento, produção e nutrição de plantas de trigo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cultura do trigo

O trigo é uma planta monocotiledônea da família *Gramineae*, tribo Triticeae e gênero *Triticum*, sendo principalmente cultivadas e utilizadas na alimentação três espécies: *Triticum aestivum*, *Triticum durum* e *Triticum compactum* (CRUZ; KOBLIZ, 2011). Dessas espécies, a mais antiga, provavelmente originária do Sudeste asiático, é a *Triticum aestivum* (trigo comum).

É um dos cereais mais produzidos a nível mundial, com sua ampla diversidade genética e avanços no melhoramento, possuindo atualmente, elevada adaptação edafoclimática, podendo ser cultivado desde regiões com clima desértico, até em regiões com alta precipitação pluvial, como na China e na Índia, grandes produtores desse cereal (RIBEIRO JÚNIOR et al., 2007).

O seu ciclo vegetativo apresenta períodos que podem ser definidos como de emergência, perfilhamento, alongação, emborrachamento, espigamento, floração e amadurecimento. A duração desse ciclo varia de acordo com o tipo de cultivar, se é típica de inverno ou primavera, o fotoperíodo e as condições de temperatura e disponibilidade de água (LIMA, 2010).

A composição centesimal do grão de trigo varia de acordo com a espécie, variedade, o tipo e fatores ligados à sua produção agrícola. O teor de proteína apresenta maior amplitude de variação, refletindo sobre o teor de amido e na força de glúten, o teor de proteína dos grãos para a indústria é admitido entre 8 e 13%, de acordo com Lima (2010).

Utilizado na forma natural para a alimentação humana e animal, na indústria é usado no preparo de bebidas alcoólicas, etanol, glutamato monossódico, na obtenção de amido e colas, mas sua maior importância é como matéria-prima para a indústria moageira (LIMA, 2010).

No Brasil, o trigo pode ser cultivado desde a Região Sul, que compreende cerca de 90% da produção, até o Cerrado, no Brasil Central. Essa última se encontra em acelerada expansão produtiva no momento. A região tritícola do Cerrado está localizada nos Estados da Bahia, de Minas Gerais,

Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Distrito Federal (RIBEIRO JÚNIOR et al., 2007).

A previsão para a safra brasileira no ano de 2014, com base em dados do levantamento de setembro desse ano, a área plantada de trigo estimada é de 2,68 milhões de hectares. Nesta safra, apesar da expectativa de produção de 7,67 milhões de toneladas, constituindo recorde histórico da triticultura brasileira, a demanda deve chegar a 12,2 milhões de toneladas, ou seja, será necessário importar 5,5 milhões de toneladas, para atender ao consumo interno (CONAB, 2014).

2.3 Cultivo do trigo em solo do Cerrado

O trigo é uma das melhores opções para a diversificação de cultivos no Brasil Central. A vantagem da produção de trigo do Cerrado é a estabilidade em termos de quantidade e qualidade industrial, buscado pela indústria, pois em condições irrigadas, as variações de rendimento de grãos são pequenas, e o trigo é colhido no período seco e na entressafra, com preços mais interessantes para o produtor, podendo assim, a região tornar-se reguladora de estoque do cereal no país (RIBEIRO JÚNIOR et al., 2007).

Dentre as culturas promissoras de interesse para Mato Grosso, a do trigo vem despertando o interesse de produtores e pesquisadores. Por ser uma cultura considerada estratégica na fabricação de inúmeros alimentos para humanos, com ênfase em pães, bolos, biscoitos, massas, bem como para animais na composição dos chamados compostos energéticos em mistura com volumosos.

Para atender às exigências das indústrias de moagem de trigo são lançadas, através de melhoramento genético, para os triticultores, cultivares com maior capacidade produtiva e melhor qualidade industrial, de acordo com as condições ambientais de cada região (EMBRAPA, 2008).

Matte et al. (2013), também atribui ao melhoramento genéticos das cultivares de trigo a sustentabilidade da agricultura, pois além de melhorar o potencial produtivo, aumenta a resistência às pragas e doenças.

No levantamento realizado em setembro do ano de 2014, pela Conab, a produtividade estimada para a safra de trigo na região Centro-Oeste, é de 3.682 kg ha⁻¹, em uma área de 23,3 mil hectares (CONAB, 2014).

2.4 Nitrogênio na planta

O nitrogênio é o macronutriente requerido pelas plantas em maior quantidade (TAIZ; ZEIGER, 2004). Geralmente representa de 10 a 40 g kg⁻¹ de massa seca dos tecidos vegetais, sendo componente de muitos compostos essenciais aos processos de crescimento vegetal.

Esse nutriente é constituinte de vários compostos em plantas, destacando-se os aminoácidos, ácidos nucleicos e clorofila. Assim, as principais reações bioquímicas em plantas e microrganismos envolvem a presença do nitrogênio, o que o torna um dos elementos mais absorvidos pelas plantas cultivadas. O nitrogênio pode ingressar no sistema solo-planta por deposições atmosféricas, fixação biológica – simbiótica ou não e também por adubações químicas e orgânicas (CANTARELLA, 2007).

No solo encontra-se quase totalmente na forma orgânica, não disponível para as plantas. Segundo Malavolta (2006), esse nutriente é responsável por 5% da matéria orgânica do solo. A grande supridora desse nutriente para o solo é atmosfera da terra, muito rica em nitrogênio, um gás inerte que, fixado bioquímica ou industrialmente, adquire a condição de vir a ser assimilado pelos vegetais (SOUSA; LOBATO, 2004).

Esse nutriente participa com quatro átomos na molécula de clorofila e é componente dos ácidos nucleicos que são indispensáveis não só como material de construção dos tecidos vegetais, mas também nos núcleos celulares e protoplasma em que se encontram os controles hereditários (MENGEL; KIRKBY, 2001). Portanto, é responsável por características do porte da planta tais como tamanho das folhas e dos colmos, e pelo aparecimento e desenvolvimento dos perfilhos (WERNER, 1986).

Na cultura do trigo, destaca-se o importante papel que o nitrogênio desempenha no teor proteico dos grãos, que é fundamental na determinação

da qualidade do produto, pois o trigo é o principal cereal cujas as proteínas de armazenamento têm a propriedade de formar malha de glúten com as propriedades únicas de elasticidade e força para produzir pães com massa fermentada, pois o glúten é formado pela fração insolúvel das proteínas do trigo como a glutenina e a gliadina, responsáveis por formar uma rede viscoelástica capaz de se esticar até dez vezes o seu tamanho (CRUZ; KOBLIZ, 2011).

As gluteninas proporcionam elasticidade e coesão à massa, enquanto que as gliadinas são as responsáveis por sua fluidez, extensibilidade e expansão (ORDÓÑEZ PEREDA et al., 2005).

As respostas de adubação nitrogenada variam conforme as culturas, sendo de maior magnitude nas gramíneas. Vários fatores podem influenciar o potencial de resposta de uma cultura ao nitrogênio; dentre eles destacam-se: suprimento de outros nutrientes, profundidade do perfil do solo com presença efetiva de raízes, tempo de cultivo, sistema de preparo de solo e o teor de matéria orgânica do solo (SOUZA; LOBATO, 2004).

De acordo com Espindula et al., (2010a), gramíneas como o trigo, por não serem beneficiadas pela fixação biológica de nitrogênio com a mesma eficiência das leguminosas, precisam obter nitrogênio do solo na adubação.

No entanto, vale ressaltar que a utilização de doses elevadas de nitrogênio, visando o aumento da produtividade, resulta em maior desenvolvimento vegetativo e, conseqüentemente, em acamamento das plantas, interferindo, negativamente, no rendimento e qualidade dos grãos (BUZETTI et al., 2006). Para reduzir esse risco de acamamento na cultura, é importante a utilização de doses mais adequadas desse nutriente.

2.5 Potássio na planta

O potássio é o segundo elemento mais absorvido pelas plantas, e segundo Malavolta (2005), é o cátion mais abundante em todas as culturas, estando presente nos tecidos, geralmente em formas solúveis em água, sendo considerado o mais móvel dos nutrientes no sistema solo-planta-atmosfera e, particularmente, na planta.

Em solos tropicais, a disponibilidade e a capacidade de suprimento de potássio dependem da presença de minerais primários e secundários, da aplicação de fertilizantes e da capacidade de troca catiônica (CTC), além da ciclagem do nutriente pelas plantas (ROSOLEM et al., 2012).

As reservas de potássio da maioria dos solos da Região do Cerrado são baixas e insuficientes para suprir as quantidades extraídas pelas principais culturas em plantios sucessivos. Portanto, seu suprimento às plantas deve ser feito por meio de adubação (VILELA et al., 2004).

Dentre os nutrientes fornecidos pelo solo, o potássio é o segundo em concentração nas plantas, destacando assim, a necessidade de monitoramento desse nutriente em várias partes da planta e adequado manejo na adubação (VIANA, 2007).

Os papéis funcionais do potássio, como o de outros nutrientes, podem ser considerados como integração de suas funções bioquímicas em um dado processo ou em mais de um processo. Esses papéis principais são: translocação de açúcares; abertura e fechamento dos estômatos; regulação osmótica (MALAVOLTA, 2006).

O potássio é responsável pelo movimento das células-guarda dos estômatos, que segundo Appezzato-da-Glória e Carmello-Guerreiro (2012), uma das funções é entrada de ar (CO_2) e saída de água (H_2O) na folha da planta, contribuindo, assim na atividade fotossintética que ocorre nos cloroplastos.

Segundo Nelson e Cox (2011), as plantas verdes contém em seus cloroplastos uma maquinaria enzimática, que catalisa a conversão de CO_2 em compostos orgânicos simples (reduzidos), num processo chamado de assimilação de CO_2 . As plantas e microrganismos fotossintéticos podem sintetizar carboidratos a partir de CO_2 e H_2O , reduzindo o CO_2 a custas da energia e do poder redutor fornecidos pelo ATP e pelo NADPH, gerados pelas reações dependentes de luz da fotossíntese.

Nas plantas, esse nutriente estimula a vegetação e o perfilhamento (gramíneas), aumenta o teor de carboidratos, óleos, gorduras e proteínas; estimula o enchimento de grãos, diminuindo o chochamento; promove armazenamento de açúcar e amido; ajuda a fixação simbiótica de nitrogênio;

aumenta a utilização de água; aumenta a resistência a secas, geadas, pragas e moléstias (MALAVOLTA et al., 1997).

Conforme apontam Stromberger et al. (1994), dentre as várias funções na planta, o potássio é responsável pela ativação enzimática no processo de transporte do nitrogênio e, conseqüentemente, crescimento e desenvolvimento celular, o que confere aumento de tecidos na planta.

Raij (1991) enfatiza que as plantas em condições de carência desse nutriente apresentam turgidez reduzida, e sob deficiência de água tornam-se flácidas, sendo pouco resistentes à seca e mais susceptíveis ao ataque de fungos.

O potássio tem um papel importante na habilidade das plantas em tolerar o estresse induzido, como a seca, o frio, alta luminosidade e o ataque de pragas e doenças. Culturas deficientes em potássio são mais susceptíveis a sofrer os efeitos desses estresses, ao passo que a produtividade de culturas corretamente adubadas será muito menos afetadas (IPI, 2014).

Segundo Viana (2007), o suprimento adequado de potássio confere ao trigo maior resistência ao acamamento por dois motivos: maior formação de tecido lenhoso de suporte nas paredes celulares do colmo, tornando-se mais resistentes à ruptura; e maior desenvolvimento de raízes, aumentando a fixação da planta ao solo.

O acamamento, ao provocar ruptura nos tecidos, interrompe a vascularização do colmo e impede a recuperação da planta, pois de acordo com Zanatta e Oerlecke (1991), o acamamento afeta a estrutura essencial para o eficiente uso dos carboidratos e sua translocação para o grão e, quanto mais cedo ocorre, maior é a perda de rendimento da cultura. E nesse contexto, o potássio torna-se fundamental.

2.6 Relação nitrogênio: potássio

De acordo com Brar et al. (2011), o nitrogênio é o principal estimulante para o crescimento das culturas, mas para alcançar sua máxima eficiência na produção agrícola deve-se encontrar no solo uma quantidade adequada de

potássio, pois há uma forte interação entre esses dois nutrientes no crescimento de uma cultura.

Quando o solo tem baixo teor de potássio disponível, o nitrogênio é usado de forma ineficiente pelas plantas, causando prejuízos financeiros ao produtor havendo, também, o risco de ocorrer efeitos negativos sobre o meio ambiente, caso haja excesso de fertilizante e o nitrogênio for lixiviado pelo perfil de solo (BRAR et al., 2011). Aplicação de potássio facilita a absorção e transporte de nitrato para a parte aérea da planta, que por sua vez aumenta as atividades do nitrogênio (ANJANA et al., 2009).

A disponibilidade do nitrogênio e do potássio e a adequada proporção entre eles no solo são fatores importantes nos processos de crescimento e desenvolvimento das plantas (VIANA; KIEHL, 2010).

Lavres Junior e Monteiro (2003), estudando o efeito de doses de nitrogênio e de potássio nas características produtivas do capim-Mombaça, verificaram que as doses desses nutrientes interagiram nos dois cortes do capim para a produção da área foliar total, comprimento e superfície radicular total e perfilhamento no segundo corte.

Para que o potássio esteja em quantidades adequadas no solo, dependerá do tipo desse solo, nível de produção, manutenção ou remoção dos resíduos culturais, bem como a entrada de potássio, seja como fertilizante ou como um componente da água no momento da irrigação.

Trindade et al. (2006), relataram que a deficiência hídrica no solo limita a resposta da planta à aplicação de fertilizantes, retardando os processos envolvidos na nutrição mineral: difusão, fluxo de massa e interceptação pelas raízes. Segundo os autores, as produtividades médias das culturas irrigadas chegam a ser três vezes maiores que das culturas de sequeiro.

A resposta da planta à seca é caracterizada por mudanças fundamentais na relação da célula com a água, nos seus processos fisiológicos, na estrutura de membranas e de organelas celulares, além das mudanças morfológicas e fenológicas da planta, alterando a relação do seu dossel com o ambiente.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no período de junho a outubro de 2013, em casa de vegetação (Figura 1) na Universidade Federal de Mato Grosso-UFMT, Campus Universitário de Rondonópolis, no Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas-ICAT, com coordenadas geográficas de 16°28' Latitude Sul, 50°34' Longitude Oeste e altitude de 284 m. Dentro da casa de vegetação, as médias de temperatura e umidade relativa do ar foram de 31°C e 73,8%, respectivamente, aferidos por um termohigrômetro instalado durante a condução do experimento.

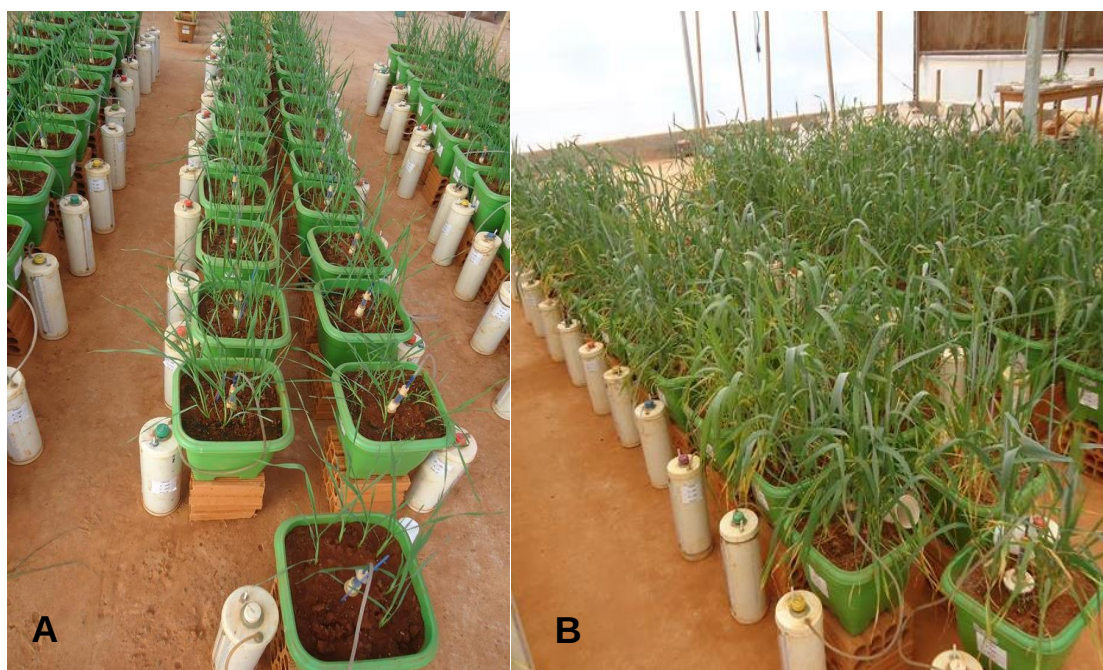


Figura 1. Vista parcial do experimento com trigo (cultivar BRS 254), em função das doses de nitrogênio e potássio, aos vinte (A) e quarenta (B) dias após a semeadura.

3.1 Delineamento experimental

Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, em esquema fatorial 5x5, com cinco doses de nitrogênio (0, 100, 200, 300 e 400 mg dm⁻³) e cinco doses de potássio (0, 90, 180, 270, 360 mg dm⁻³), em quatro repetições, perfazendo um total de 100 unidades experimentais.

O solo utilizado foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico, (EMBRAPA, 2013), sendo proveniente de área sob vegetação de Cerrado. O solo foi coletado na camada de 0-20 m de profundidade, e realizada a caracterização química e granulométrica (Tabela 1), de acordo com Embrapa (1997).

O solo foi incubado com calcário por um período de 30 dias, para elevar a saturação por bases a 60%, mantendo o solo na umidade de 60% da capacidade de campo.

TABELA 1. Caracterização química e granulométrica do Latossolo Vermelho coletado na camada de 0-0,2 m de profundidade.

pH	P	K	Ca	Mg	Al	H	V	M.O	Areia	Silte	Argila
CaCl ₂	mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³				%	g dm ⁻³	g Kg ⁻¹		
4,1	2,4	28	0,3	0,2	1,1	4,2	9,8	24,8	549	84	367

3.3 Semeadura e manejo da adubação

Após 30 dias de incubação do calcário ao solo, realizou-se a semeadura do trigo, cultivar BRS 254, simultaneamente com a adubação com fósforo (P₂O₅) de 300 mg dm⁻³, utilizando como fonte o superfosfato simples, e micronutrientes, nas doses de 0,5 mg dm⁻³ de boro, 0,8 mg dm⁻³ de cobre e 10,8 mg dm⁻³ de zinco, utilizando como fonte: ácido bórico, sulfato de cobre e sulfato de zinco, respectivamente. Para a adubação potássica, utilizou-se cloreto de potássio como fonte, aplicando-se metade da dose no plantio e a outra metade quando as plantas atingiram cerca de 15 cm de altura (Figura 2).

Para a adubação nitrogenada, utilizou-se como fonte a uréia, sendo parcelada em três aplicações, sendo a primeira quando as plantas atingiram aproximadamente 15 cm de altura, no início do estágio de perfilhamento. A segunda e a terceira foram realizadas com sete e quinze dias, respectivamente, após a primeira aplicação.



Figura 2. Adubação nitrogenada nas plantas de trigo em casa de vegetação.

3.3 Manutenção e reposição de água nos vasos

Foram utilizados vasos com capacidade de 8 dm³ de solo, com controle da umidade por um sistema autoirrigante subsuperficial, composto por um conjunto formado por uma cápsula porosa (vela de filtro, com diâmetro de 5 cm e altura de 7 cm) inserida dentro do vaso com o solo, que é conectada através de um microtubo flexível ao frasco de mariotte, confeccionado com 30 cm de tubo de PVC de 100 mm de diâmetro, frasco esse que permite a reposição de água, de acordo com a necessidade da planta (Figura 3).

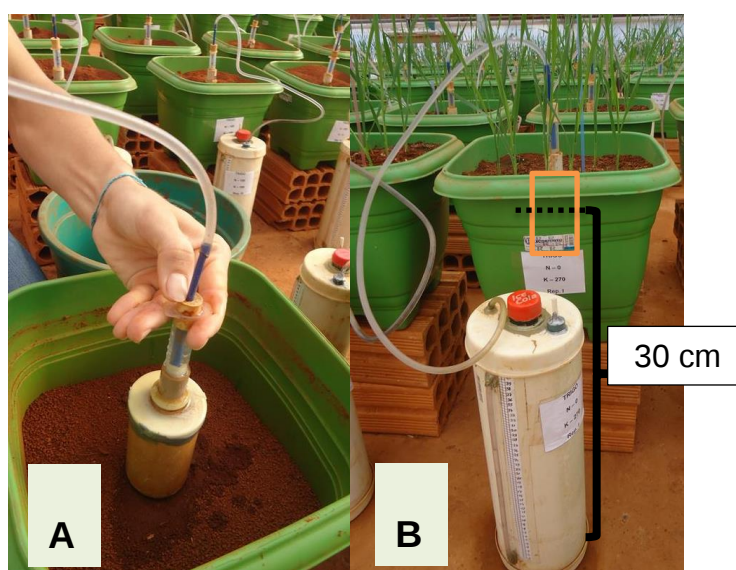


Figura 3. Instalação da cápsula porosa (A) do sistema autoirrigante subsuperficial por tensão controlada (B). Metodologia estabelecida conforme Bonfim-Silva et al. (2007).

O potencial de água no solo foi estabelecido pela altura da coluna de água entre base do reservatório e o meio da cápsula (30 cm), correspondendo a uma tensão controlada de 3 kPa na superfície da cápsula, conforme Bonfim-Silva et al. (2007).

Foi confeccionado um conjunto autoirrigante subsuperficial para cada unidade experimental, totalizando um total de 100 sistemas (Figura 4). Posteriormente, realizou-se a calibração do sistema para se mensurar a quantidade de água que o reservatório comportaria podendo, assim, efetuar as leituras, através de uma escala de nível fixada no frasco mariotte.



Figura 4. Vista geral das parcelas experimentais com sistema autoirrigante em casa de vegetação.

Foram realizadas leituras diárias do consumo de água pelas plantas de trigo, de forma individual para cada parcela, e conforme a disponibilidade de água em cada frasco mariotte era feita sua respectiva reposição. Assim, ao final do ciclo da cultura, pode-se quantificar o consumo total pelas plantas.

A eficiência no uso da água pelas plantas de trigo, em função das doses de nitrogênio e potássio, foi calculada por meio da relação entre produção e massa seca total, em gramas, e o consumo de água, em litros.

3.4 Variáveis analisadas

As variáveis analisadas para o trigo (cultivar BRS 254) em função das doses de nitrogênio e potássio, foram:

- O diâmetro do colmo foi medido a 3 cm do solo com o auxílio de um paquímetro analógico, os valores foram obtidos através da média das leituras para cada vaso.
- O número de folhas produzidas pelo trigo, foram realizadas contagens dos números de folhas por vaso, não levando em consideração as folhas senescentes. Assim, procedeu-se também para a contagem do número de perfilhos e de espigas.
- O índice de clorofila (leitura SPAD): foi realizado aos 50 dias após a semeadura, nas folhas (+1 e +2) com lígula foliar desenvolvida (Figura 5). Para a realização desta leitura utilizou-se o equipamento Chlorophyll Meter SPAD-502 (MINOLTA CÂMERA, 1989).



Figura 5. Leitura do índice SPAD nas folhas (+1 e +2) de trigo, cultivado em Latossolo Vermelho.

De acordo com Malavolta (2006), os valores SPAD são calculados com base na quantidade de luz transmitida pela folha em duas regiões de comprimento de onda e tem sido usado para avaliar o estado nutricional com relação ao suprimento de nitrogênio na planta.

As leituras foram realizadas tomando-se o cuidado de evitar as nervuras das folhas (VIANA; KIEHL, 2010). Dessa forma, foram feitas dez leituras por unidade experimental, utilizando-se a média dessas leituras como índice de

clorofila para cada vaso. Em seguida, esse material foi extraído da planta para posterior análise nutricional em laboratório.

- Aos 95 dias após a semeadura, as plantas foram cortadas rente ao solo, sendo posteriormente acondicionados em sacos de papel, identificadas e transferidas para estufa de ventilação forçada a 65 °C, até obtenção de massa constante. Por essa ocasião foi obtida a massa seca da parte aérea composta por massa seca das folhas, colmos e de espigas.

- As raízes foram lavadas, secas a sombra por 24 horas e posteriormente acondicionadas em sacos de papel, identificadas e transferidas para estufa de ventilação forçada a 65°C até obtenção de massa constante. A massa seca de raiz somada a massa seca da parte aérea, resultaram na massa seca total.

- Os grãos foram separados das espigas, contados e triturados em moinho tipo Willey, com peneiras de diâmetro de 1 mm, para a determinação de nitrogênio e potássio.

- As concentrações de nitrogênio total nas folhas (+1 e +2) e nos grãos de trigo foram realizadas por meio da metodologia semi-micro-Kjeldahl, descrito por Malavolta et al. (1997), com a utilização da digestão sulfúrica, seguida de destilação pelo método volumétrico.

A concentração de nitrogênio total nas folhas diagnósticas e nos grãos foi calculada a partir da equação:

$$N(\%) = \frac{(\text{mL H}_2\text{SO}_4) * 1.4 * (\text{Normalidade do ácido})}{(\text{Peso da amostra})}$$

- A determinação da concentração de potássio nas folhas diagnósticas e nos grãos foi realizada de acordo com os métodos propostos por Malavolta et al. (1997), obtida através de leituras do extrato vegetal (com digestão nítrico-perclórica) por meio de espectrofotometria de absorção atômica.

3.5 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos às análises estatísticas, utilizando-se o aplicativo “Statistical Analysis System” (SAS INSTITUTE, 2002). Realizou-se inicialmente o teste F e, para casos de significância ($P < 0,05$) da interação de doses de nitrogênio e de potássio, efetuaram-se análises de regressão polinomial (superfície de resposta) pelo procedimento RSREG. Nos casos de interação não significativa ($P > 0,05$), utilizou-se o procedimento GLM para estudos de regressão, aplicando-o ao nutriente ou nutrientes para os quais o efeito foi significativo no teste F. Na verificação da correlação de Pearson entre as variáveis analisadas, utilizou-se o software estatístico ASSISTAT, versão 7.7 beta (SILVA; AZEVEDO, 2009).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Diâmetro de colmo

Não houve interação significativa entre as doses de nitrogênio e de potássio para o diâmetro de colmo das plantas de trigo, verificando-se significância apenas para as doses de potássio, a qual se ajustou a modelo linear de regressão.

A adubação nitrogenada não influenciou no diâmetro de colmo do trigo, o que também foi observado em resultados encontrados por Zagonel et al. (2002), ao estudarem características agrônomicas de trigo (cultivar OR-1).

O aumento linear do diâmetro do colmo para as doses de potássio foi verificado com um acréscimo de 5,17%, quando comparado à maior dose de potássio com a ausência da aplicação desse nutriente (Figura 6).

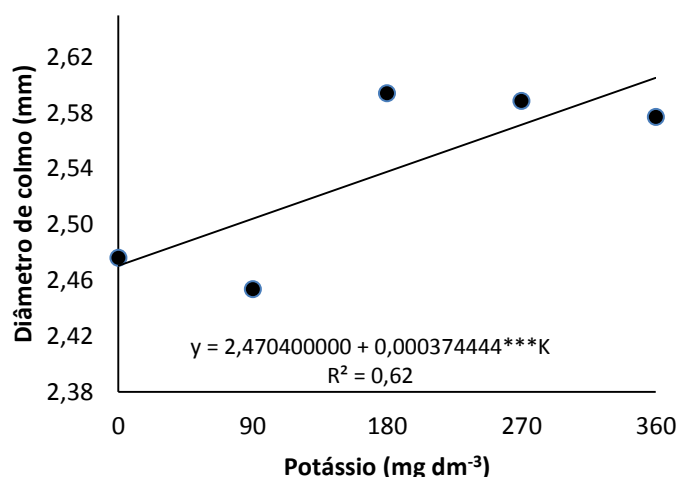


Figura 6. Diâmetro de colmo do trigo em função das doses de potássio, cultivado em Latossolo Vermelho.

*** Significativo a 0,1% de probabilidade.

Esse aumento no diâmetro do colmo em função da adubação potássica ressalta importância desse nutriente para a cultura do trigo, pois segundo Malavolta (1980), o potássio acelera a lignificação das células esclerenquimáticas e aumenta a espessura das paredes celulares do colmo, conferindo maior resistência da planta ao acamamento; o que favorece o rendimento da cultura.

Brar et al. (2012), constataram que o potássio influenciou favoravelmente no aumento do diâmetro de colmo de plantas de milho, os autores atribuíram esse aumento da espessura de colmo da gramínea à expansão celular, que induziu a robustez e sanidade das plantas, incluindo também um melhor desenvolvimento do sistema radicular.

Os resultados de diâmetro do colmo do presente estudo são importantes porque quanto maior o diâmetro do colmo, menor a probabilidade de acamamento do trigo. Na ausência desse nutriente a planta pode apresentar, paredes celulares mais finas, enfraquecimento de caules e ramos, raízes menores e mais curtas, acúmulo de açúcar nas folhas, acúmulo de nitrogênio (não utilizado) favorecendo assim o ataque de doenças (ZAMBOLIM; VENTURA, 2012).

Segundo Espindula et al. (2010b), acamamento da planta refere-se à curvatura do caule em direção ao solo, podendo ser causada por alguns fatores como ventos, massa de água acumulada nas espigas e a baixa resistência do colmo, dentre outros. De acordo com Cruz et al. (2001), no Brasil, os genótipos de trigo resistentes ao acamamento passaram a ser extremamente desejáveis em função da aplicação de doses maiores de nitrogênio nas lavouras.

A busca pela resistência ao acamamento é fundamental não só para a lavoura do trigo, mas também para outras gramíneas. Em cereais e outras culturas anuais graníferas, além de prejudicar o rendimento e a qualidade dos grãos, este fenômeno dificulta a colheita do grão de forma mecanizada (ZAGONEL; FERNANDES, 2007).

4.2 Número de folhas

Na interação entre as doses de nitrogênio e potássio para o número de folhas de trigo, não se verificou significância entre os fatores, porém ocorreu efeito isolado para as doses de nitrogênio, das quais se ajustaram a modelo quadrático de regressão. A dose de nitrogênio que proporcionou a máxima produção de folhas foi $278,1 \text{ mg dm}^{-3}$ (Figura 7), com um incremento de 29,2%

no número de folhas, quando comparado com a ausência da aplicação desse nutriente.

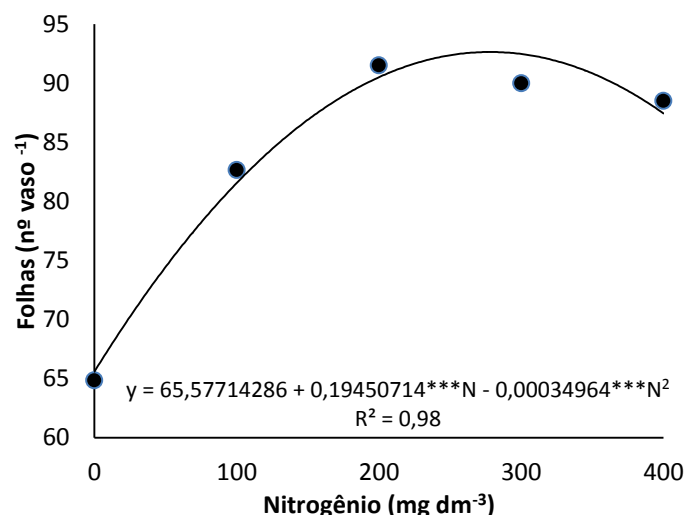


Figura 7. Número de folhas do trigo em função das doses de nitrogênio, cultivado em Latossolo Vermelho.

*** Significativo a 0,1% de probabilidade.

O nitrogênio aumentou o número de folhas, destacando a importância desse nutriente no crescimento e desenvolvimento vegetativo das plantas. Segundo Troeh e Thompson (2007), as plantas em crescimento necessitam do nitrogênio para formar novas células; portanto, novas folhas. Porém, na ausência desse nutriente, ocorre o amarelecimento das folhas, resultante da falta de clorofila, tornando lento o crescimento, pois a clorofila é necessária na produção de carboidratos pela fotossíntese.

As clorofilas são pigmentos verdes que capturam a luz, presentes nos cloroplastos (organelas intracelulares especializadas que conduzem a fotossíntese), sendo que todas as partes verdes de um vegetal possuem cloroplastos; mas para a maioria das plantas, as folhas é que são o principal local da fotossíntese (ALBERTS et al., 2011).

Para Heinemann et al. (2006), a produção de biomassa pelas culturas é influenciada pela quantidade de radiação fotossinteticamente ativa, interceptada e absorvida pelas folhas, e à eficiência com que estas convertem a energia radiante em energia química, pela fotossíntese; ou seja, ao promover

aumento na produção de folhas, o nitrogênio favorece a atividade fotossintética, vital para as plantas.

Os resultados observados estão de acordo com os obtidos por Pietro-Souza et al. (2013), que verificaram aumento no número de folhas, decorrente do incremento nas doses de nitrogênio, ao avaliarem o desenvolvimento inicial de plantas de trigo (cv. Guamirim), sob doses de nitrogênio, em Latossolo Vermelho.

Hastenspflug et al. (2011), também constataram aumento na produção de folhas, ao estudarem quatro cultivares de trigo, em Nitossolo Vermelho distroférico, em função de doses de nitrogênio, no Estado do Paraná.

Bonfim-Silva e Monteiro (2006), estudando relação entre nitrogênio e enxofre na adubação, também constataram influência positiva no aumento do número de folhas em braquiária, em função da adubação nitrogenada, mostrando a importância desse nutriente na produção de gramíneas.

4.3 Número de perfilhos

Na análise de variância para o número de perfilhos do trigo, não houve diferença significativa para a interação entre as doses de nitrogênio e de potássio. No entanto, foi verificada significância para as doses de nitrogênio e de potássio, isoladamente, ajustando-se a modelo linear e quadrático de regressão, respectivamente.

A resposta da produção de perfilhos, em função das doses de nitrogênio, apresentou um incremento de 21,3% quando comparado à maior dose de nitrogênio com a ausência de aplicação desse nutriente (Figura 8A). Quanto ao potássio, a dose que proporcionou o maior número de perfilhos em plantas de trigo foi 218,36 mg dm⁻³, com um incremento de 30,07%, quando comparado à dose de máxima produção de perfilhos com ausência da adubação potássica (Figura 8B).

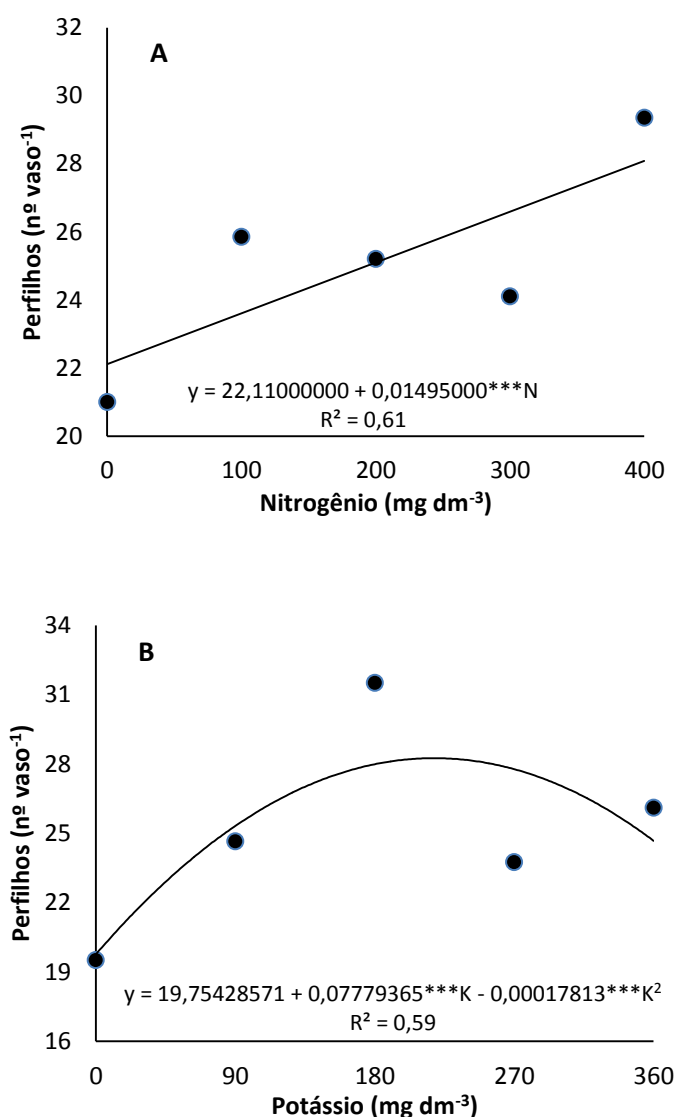


Figura 8. Número de perfilhos de plantas de trigo em função das doses de nitrogênio (A) e de potássio (B), cultivado em Latossolo Vermelho.

*** Significativo a 0,1% de probabilidade.

O estudo da variável número de perfilhos é importante ao se trabalhar com a cultura do trigo, pois a produção de grãos em trigo é representada, em grande parte, pela produção de perfilhos. Segundo Costa et al. (2013), a fertilização nitrogenada no início do perfilhamento é muito importante na determinação do número de perfilhos, espigas por planta e, consequentemente, no número de grãos de trigo.

Mundstock e Bredemeier (2001), ao trabalharem com aveia, observaram que a aplicação de nitrogênio no início do desenvolvimento da cultura é importante para aumentar o número e percentual de sobrevivência dos

perfilhos que afetam diretamente o rendimento de grãos. De acordo com Gondim et al. (2008), na fase de desfolha e enchimento de grãos, os assimilados são translocados do colmo para suprir alta demanda da planta, e essa é uma característica desejável do ponto de vista de produtividade que tem sido buscada no melhoramento do trigo.

Pietro-Souza et al. (2013), ao trabalharem o efeito do nitrogênio no trigo em Latossolo Vermelho, coletado na mesma área do presente estudo, também verificaram que a adubação nitrogenada promoveu aumento na produção de perfilhos, destacando a importância de se avaliar o número de perfilhos, o qual podem influenciar na capacidade de absorção, assimilação e conversão de nitrogênio pelas plantas.

A adubação potássica também influenciou no aumento do número de perfilhos, pois conforme relatado por Malavolta et al. (1997), o potássio estimula a vegetação e o perfilhamento nas gramíneas.

Isso se confirma em estudos realizados por Rozane et al. (2008), que ao avaliarem os efeitos da omissão de nutrientes em plantas de aveia-preta cultivadas em solução nutritiva, verificaram que na ausência de potássio houve redução do número de perfilhos, bem como no número de folhas e, conseqüentemente, na massa seca da parte aérea. Os autores ainda destacaram o aparecimento de alguns sintomas visuais de deficiência na omissão do potássio, como a clorose nas pontas e margens das folhas mais velhas, seguida por secamento e necrose, internódios mais tortuosos e maior acamamento.

4.4 Número de espigas

Para o número de espigas, não se detectou significância para a interação entre as doses de nitrogênio e potássio. Contudo, efeitos significativos para número de espigas foram observados, tanto para nitrogênio quanto para o potássio, isoladamente, com ajuste dos resultados a modelo linear de regressão.

As doses de nitrogênio (Figura 9A) e de potássio (Figura 9B) contribuíram para o aumento no número de espigas de trigo, sendo que as

máximas doses promoveram um incremento de 42,18% e de 28,7%, respectivamente, quando comparados com ausência de aplicação desses nutrientes.

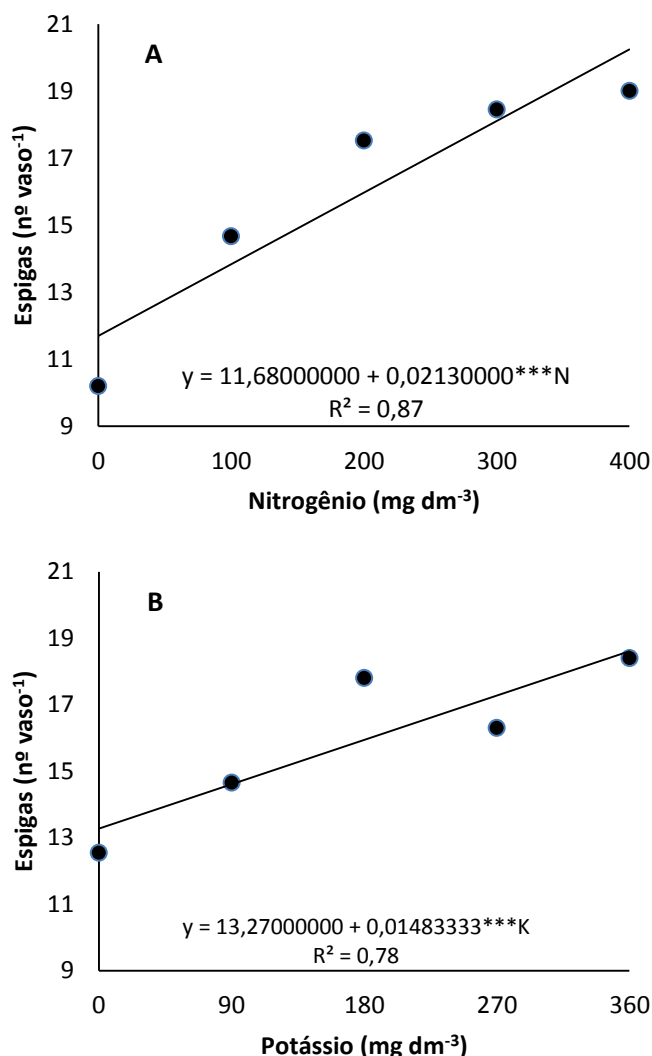


Figura 9. Número de espigas de trigo em função das doses de nitrogênio (A) e de potássio (B), cultivado em Latossolo Vermelho
*** Significativo a 0,1% de probabilidade.

O número de espigas nas plantas é determinante na produção de grãos de trigo, o que também é confirmado por Matte et al. (2013), que verificaram uma correlação positiva entre o número de espigas com a produtividade do trigo, ao estudarem o desempenho de seis cultivares em Latossolo Vermelho distrófico, na cidade de Nova Mutum-MT.

Marchetti et al. (2001), ao avaliarem o efeito da adubação nitrogenada e do fosfatada em solução nutritiva com duas espécies de trigo (*Triticum*

aestivum L., cultivar BR-40 e *Triticum durum*, linhagem CD 86672-3M), verificaram que a adição de nitrogênio aumentou o número de espigas para as cultivares estudadas.

Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Schmidt e Osaki (2007), no estudo da cultivar IPR 118, ao observarem que a adubação nitrogenada proporcionou incremento no número de espigas da cultura do trigo.

Niu et al. (2013), ao avaliarem três níveis de adubação potássica em quatro anos de cultivo de trigo de inverno, em um Luvissoilo Háplico, verificaram que o potássio influenciou positivamente no desempenho do parâmetro espiga (como comprimento, espiguetas por espiga), à medida em que se aumentou a adubação.

4.5 Número de grãos

Para a variável número de grãos de trigo, não houve interação significativa entre as doses de nitrogênio e de potássio. O número de grãos foi influenciado significativamente pelas doses de nitrogênio, isoladamente.

As doses de nitrogênio proporcionaram um aumento linear do número de grãos, com incremento de 27,98%, quando comparado à maior dose de nitrogênio com o tratamento sem aplicação desse nutriente (Figura 10).

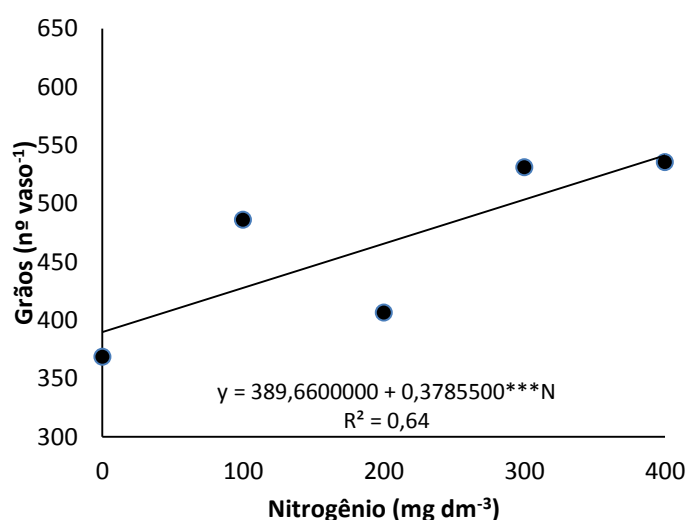


Figura 10. Número de grãos de trigo em função das doses de nitrogênio, cultivado em Latossolo Vermelho

*** Significativo a 0,1% de probabilidade.

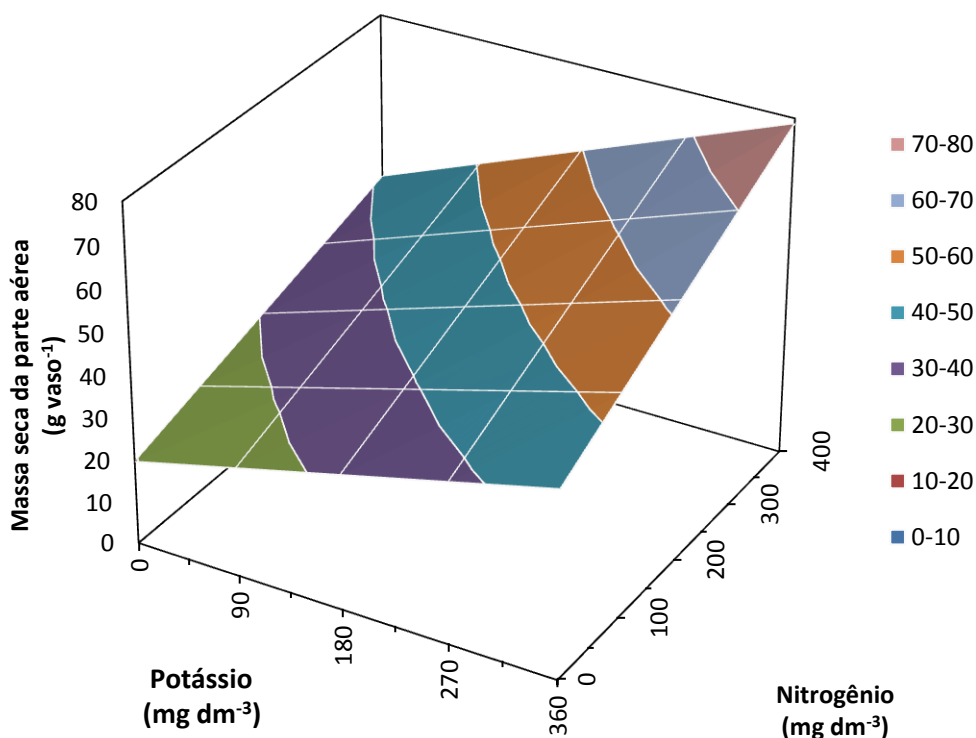
O incremento linear no número de grãos, proporcionado pelo aumento das doses de nitrogênio, também foi observado por Cazetta et al. (2007), ao estudarem as respostas de cultivares de trigo e de triticale, em função das doses de nitrogênio, em sistema plantio direto.

Zagonel e Fernandes (2007) verificaram que o suprimento com nitrogênio aumentou a produção de grãos de quatro cultivares de trigo (CD-104, Ônix, Supera e CEP-24), ao avaliarem o efeito do redutor de crescimento trinexapac-ethyl, e doses de nitrogênio (50 e 240 kg ha⁻¹) em um Cambissolo háplico distrófico.

Boschini et al. (2011), ao avaliarem a interação de nitrogênio com lâminas de água, em plantas de trigo, observaram o efeito isolado de nitrogênio para o número de grãos por espiga, sendo que as máximas produções foram alcançadas com as doses de nitrogênio de 100, 200 e 400 Kg ha⁻¹. Trindade et al. (2006), em estudos com plantas de trigo com adubação nitrogenada em cobertura, também observaram influência do nitrogênio na produção de grãos, sendo a máxima produção observada na dose de nitrogênio de 185,9 Kg ha⁻¹, os autores ainda encontraram uma correlação ($R = 0,94^{**}$) do número de grãos m⁻² com a produtividade (Kg ha⁻¹).

4.6 Massa seca de parte aérea

Houve interação significativa entre as doses de nitrogênio e de potássio para a massa seca da parte aérea do trigo, no estudo de superfície de resposta (Figura 11).



$$Y = 19,763114 + 0,052675^{**}N + 0,067512^{***}K + 0,000094708^{**}NK$$

$$R^2 = 0,60$$

Figura 11. Produção de massa seca de parte aérea do trigo, em função da adubação com combinações de doses de nitrogênio e de potássio, cultivado em Latossolo Vermelho

***, ** e * Significativo a 0,1; 1 e a 5%, respectivamente.

No estudo de superfície de resposta para a massa seca da parte aérea, verificou-se comportamento linear, sendo que máxima produção de massa seca não foi observada dentro do intervalo adotado no presente estudo.

Essa influência do nitrogênio e do potássio para produção de massa seca da parte aérea do trigo, também foi verificada por Viana e Kiehl (2010), os quais observaram aumento dessa variável com as doses combinadas de nitrogênio e potássio, onde verificaram que a máxima produção foi obtida na dose de nitrogênio de 251 mg dm⁻³ e na dose de potássio de 200 mg dm⁻³.

Esses resultados também estão de acordo com os encontrados por Andrade et al. (2000), ao observarem efeito na interação entre nitrogênio e potássio sobre a produção de matéria seca da parte aérea do capim-elefante, correspondente ao incremento de 85,6%.

A contribuição da adubação potássica foi observada por Rosolem et al. (2012), constatando que a produção de massa seca da parte aérea das plantas de Braquiária (*B. ruziziensis*) foi alterada pela adubação potássica. Assim sendo, atestam esses autores que, quanto maior o teor de potássio, maior é a sua disponibilidade para as plantas e, conseqüentemente, maior a capacidade de produção de matéria seca.

Lavres Júnior e Monteiro (2002), também verificaram aumento na produção da massa seca da parte aérea do capim-Mombaça, devido à interação de doses de nitrogênio e de potássio em solução nutritiva, no primeiro e segundo cortes da gramínea, sendo que nesse último a máxima produção ocorreu nas doses de nitrogênio e de potássio de 412 e 410 mg L⁻¹, respectivamente, destacaram ainda os autores, que para essa máxima produção a proporção dos nutrientes na solução nutritiva foi de 1,00: 1,00.

Rodrigues et al. (2008), ao avaliarem a combinação de doses de nitrogênio e potássio na produção de massa seca de *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés cultivado em um Latossolo Vermelho-Amarelo, verificaram aumento da massa seca da parte aérea das plantas em função das doses de nitrogênio e potássio isoladamente, onde as máximas produções foram observadas no segundo corte das gramíneas obtidas com as doses de nitrogênio e potássio de 180 e 61 mg dm⁻³, respectivamente.

4.7 Massa seca de raiz

Não houve diferença significativa para a interação entre as doses de nitrogênio e potássio para a massa seca de raízes. Contudo, houve efeitos significativos tanto para nitrogênio quanto para o potássio, isoladamente, com ajustes dos resultados a modelo linear de regressão.

A massa seca das raízes variou de 3,85 a 6,22 g vaso⁻¹, com um incremento de 38%, quando comparado a máxima dose com o tratamento com ausência da aplicação de nitrogênio (Figura 12A). As doses de potássio influenciaram a massa seca das raízes, com incremento de 19%, quando se compara a máxima dose de potássio com o tratamento sem adubação com esse nutriente (Figura 12B).

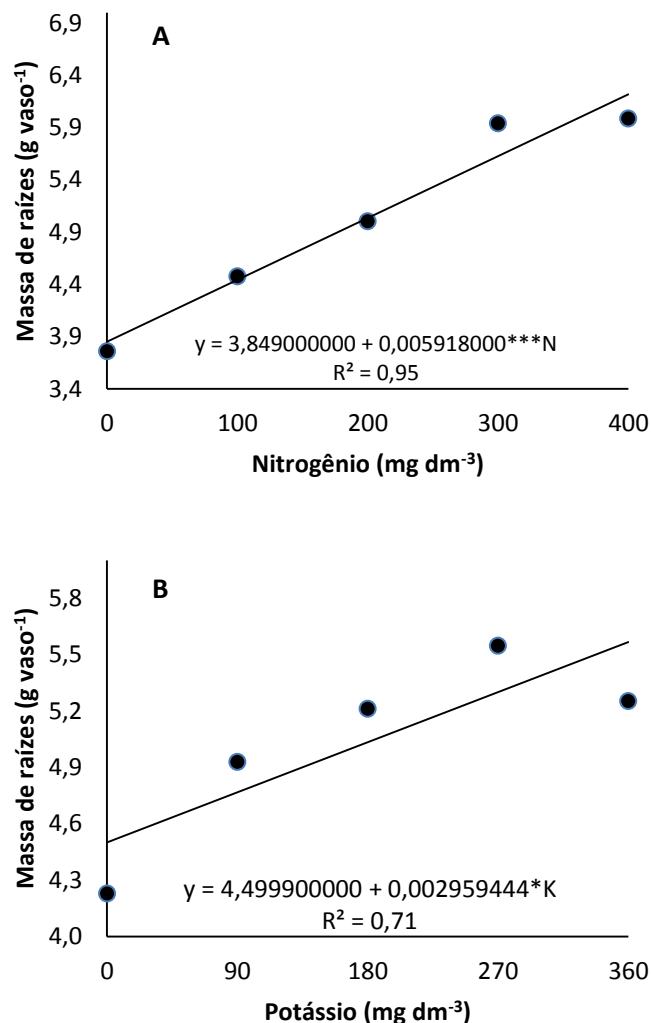


Figura 12. Massa seca de raízes do trigo em função das doses de nitrogênio (A) e de potássio (B), cultivado em Latossolo Vermelho

***, * Significativo a 0,1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

O aumento do sistema radicular é interessante do ponto de vista da nutrição de plantas, pois é um dos meios de absorção e assimilação de nitrogênio. Segundo Bredemeier e Mundstock (2000), o nitrogênio, uma vez absorvido, pode ser assimilado na própria raiz ou ser transportado para as folhas, onde, então, também ocorre a sua assimilação.

Batista e Monteiro (2006), ao avaliarem o sistema radicular do capim-Marandu submetido a doses de nitrogênio e de enxofre, constataram que o aumento na massa seca de raiz se deu em função do suprimento de nitrogênio, com ajuste a modelo de raiz quadrada, onde o máximo valor de produção

excedeu o limite empregado no estudo que foi a dose de nitrogênio equivalente a 462 mg L⁻¹.

Rosolem et al. (2012), ao trabalharem com potássio observaram que a adição de potássio em Latossolo Vermelho resultou em aumento na produção de massa seca de raízes de Braquiária (*B. ruziziensis*).

A importância do estudo dessa variável no sistema produtivo é confirmado por Bonfim-da-Silva (2005), trabalhando com capim-Braquiária (*Brachiaria decumbens*) ao destacar que com o aumento do volume e comprimento do sistema radicular, maior será o volume de solo explorado pelas raízes, o que, conseqüentemente favorece a absorção de água e nutrientes pela planta.

4.8 Massa seca de grãos

Para a massa seca de grãos do trigo, não houve interação significativa entre as doses de nitrogênio e de potássio. Contudo, a massa seca de grãos foi influenciada pelas doses de nitrogênio, isoladamente, com ajuste dos resultados a modelo linear de regressão.

As doses de nitrogênio contribuíram no aumento da massa seca de grãos de trigo, com incremento de 28,18%, quando comparado à maior dose com a ausência de aplicação (Figura 13).

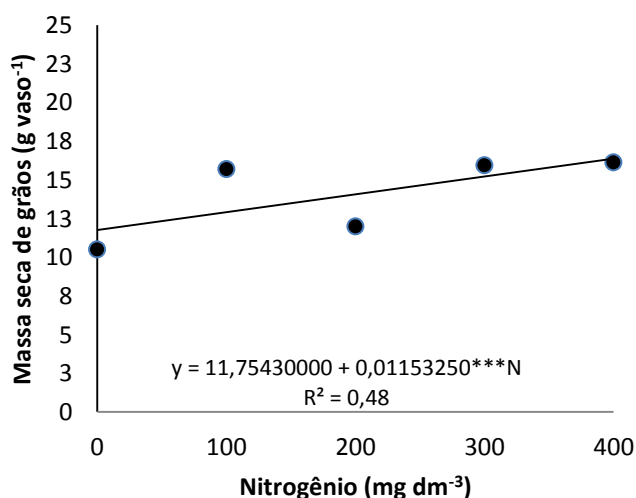


Figura 13. Massa seca dos grãos de trigo em função das doses de nitrogênio, cultivado em Latossolo Vermelho

*** Significativo a 0,1% de probabilidade.

Foi observado aumento na massa de grãos, em função do fornecimento das doses de nitrogênio, uma vez que esse nutriente influencia diretamente o potencial produtivo da cultura do trigo. Esse aumento na produção de massa seca de grãos, em função da adubação nitrogenada, também foi observada por Stefen et al. (2014), que constataram a influência positiva do nutriente para o aumento da massa seca de grãos de trigo.

Para Sangoi et al. (2007), o aumento da massa de grãos de trigo foi associada a oferta de nitrogênio durante a fase de floração e início do enchimento de grãos. Já Heinemann et al. (2006) ao avaliarem as cultivares de trigo (Embrapa 22 e Embrapa 42) em função de doses de nitrogênio aplicadas em cobertura, encontraram resposta quadrática aos efeitos do nitrogênio para a produção de grãos. Cossani et al. (2012), ao trabalharem com trigo e cevada, também atribuíram o aumento no rendimento dos grãos à maior absorção de nitrogênio.

Esse resultado se assemelhou com o encontrado por Teixeira Filho et al. (2010), que ao trabalharem com trigo (cv. E 21), cultivar recomendada para a região do Cerrado, verificaram aumento da produtividade de grãos em dois anos de cultivo.

4.9 Massa seca total

Houve interação significativa entre as doses de nitrogênio e de potássio para a massa seca total, no estudo de superfície de resposta (Figura 14).

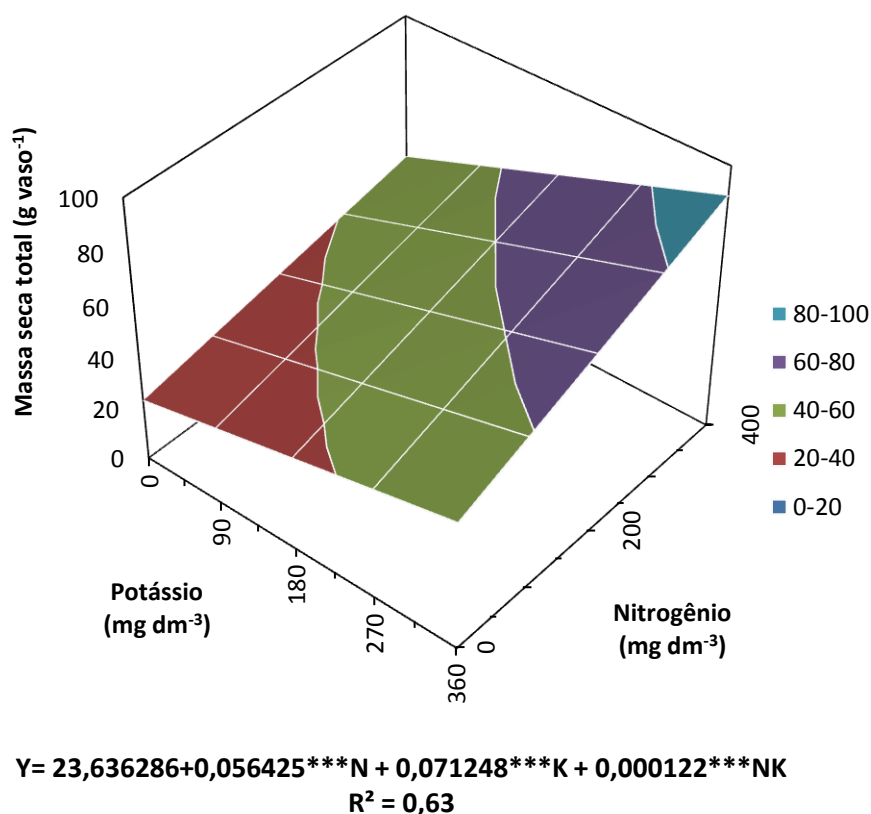


Figura 14. Produção de massa seca total do trigo, em função da adubação com combinações de doses de nitrogênio e potássio, cultivado em Latossolo Vermelho. ***, ** e * Significativo a 0,1; 1 e a 5%, respectivamente.

Verificou-se que as doses de nitrogênio e potássio, para a máxima produção de massa seca, não foram observadas dentro do intervalo do presente estudo, dentro de cada dose nitrogênio a produção de massa seca aumenta em função da elevação das doses de potássio e assim ocorre com o mesmo, pode-se então inferir que a medida que é aumentada a oferta do potássio através dos tratamentos, este influencia no uso mais eficiente do nitrogênio pelas plantas o que é refletido no aumento da produção.

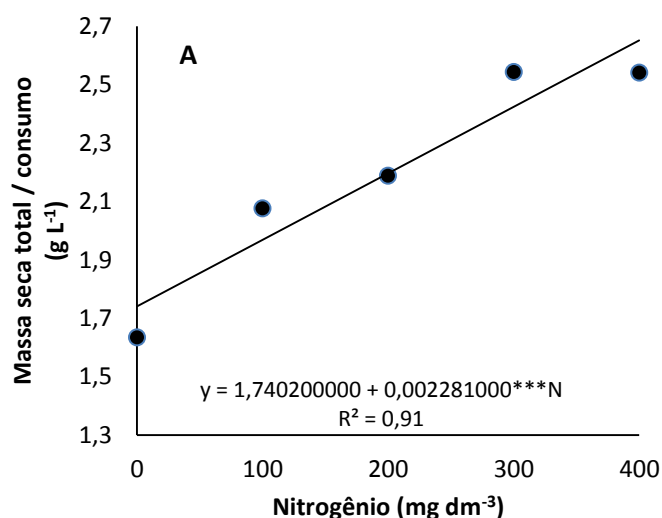
O aumento na produção de massa seca, promovido pela adubação nitrogenada, foi também relatado por Araújo et al. (2005), ao avaliarem a resposta de trigo (cv. IAC-24), na utilização do nitrogênio via adubo verde e via fertilização mineral (uréia). Os autores destacaram que a adubação mineral proporcionou uma rápida absorção de nitrogênio pelas plantas, gerando impacto positivo na produção de massa seca.

4.10 Consumo e eficiência no uso da água pelo trigo

Não houve diferença significativa na interação das combinações de nitrogênio e potássio no estudo do consumo de água pelas plantas de trigo, bem como estudando isoladamente esses nutrientes. Desse modo, independente das doses de nitrogênio e de potássio o consumo de água foi o mesmo para todos os tratamentos.

A eficiência de uso da água pelo trigo obteve interação não significativa entre as doses de nitrogênio e de potássio. Porém, houve efeito significativo das doses de nitrogênio (Figura 15A) e de potássio (Figura 15B) isoladamente, com ajuste dos resultados a modelo linear de regressão.

A eficiência no uso de água é de grande importância para a sobrevivência em condições de baixa disponibilidade hídrica como no cerrado brasileiro. A absorção contínua de água é essencial ao crescimento e desenvolvimento vegetal, pois a maioria das plantas, em clima tropical, pode chegar a perder mais do que seu próprio peso em água, por dia, em certas condições (PIMENTEL, 2004).



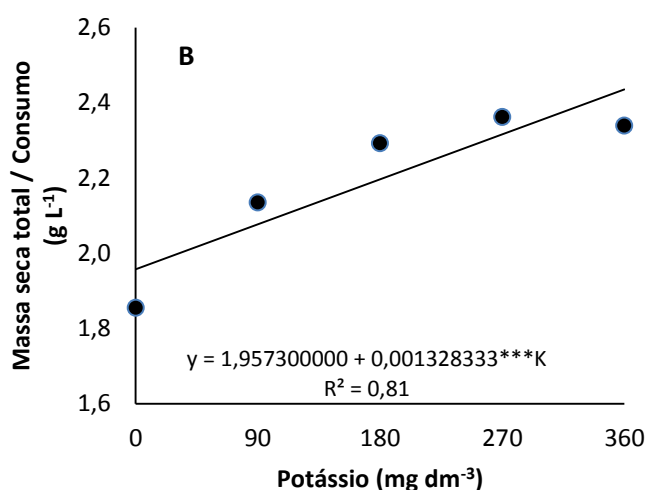


Figura 15. Eficiência do trigo no uso de água em função das doses de nitrogênio (A) e de potássio (B), cultivado em Latossolo Vermelho
 *** Significativo a 0,1% de probabilidade.

O suprimento adequado de água é essencial para a cultura do trigo, o que pode ser confirmado, em estudos realizados por Santos et al. (2012) ao estudarem a resposta de genótipos de trigo submetidos a déficit hídrico, constatando assim, que o déficit hídrico afetou negativamente o desenvolvimento das plantas, reduzindo as variáveis biométricas, quando comparado com as plantas que foram mantidas em hidratação satisfatória, durante todo o ciclo.

Cossani et al. (2012), também observaram que o nitrogênio tendeu a aumentar a eficiência no uso da água 27%, em média, ao trabalharem com cevada e duas espécies de trigo.

A influência do potássio na eficiência no uso da água é esperada, pois esse nutriente é muito importante na manutenção de água na planta, por meio do controle da abertura e fechamento dos estômatos, ao reduzir a transpiração, de acordo com Ernani et al. (2006). Assim, pode-se explicar o aumento linear da eficiência no uso da água para a massa seca, em função das doses de potássio aplicadas.

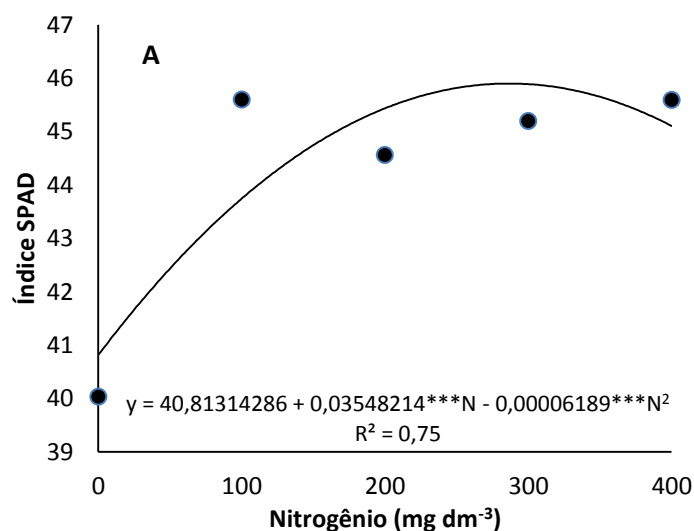
Medeiros et al. (2005), ao trabalharem com arroz, em função da compactação do solo e do manejo da água, verificaram que a produção de massa da parte aérea das plantas foi favorecida pelos maiores teores de água no solo, independente dos níveis de compactação. Atribuíram isso à redução

da resistência à penetração das raízes, à maior disponibilidade de nitrogênio, fósforo, potássio e outros nutrientes, que proporcionaram maior eficiência fotossintética e o desenvolvimento do sistema radicular e demais parâmetros produtivos das plantas.

4.11 Leitura do índice SPAD

Para a leitura do índice SPAD, não se observou significância para a interação entre as doses de nitrogênio e de potássio. Contudo, efeitos significativos para o índice SPAD foram observados tanto para o nitrogênio quanto para o potássio, isoladamente. Ambos os resultados ajustaram-se a modelo quadrático de regressão.

As doses de nitrogênio influenciaram o índice SPAD, sendo o maior valor (45,9 unidades SPAD) observado na dose de nitrogênio de 286,6 mg dm⁻³ (Figura 16A). Diferentemente, foi a influência da adubação potássica no índice SPAD; inicialmente, os valores tenderam a uma redução; no entanto, a partir da dose de potássio de 204,35 mg dm⁻³ (Figura 16B), esse índice tornou a aumentar.



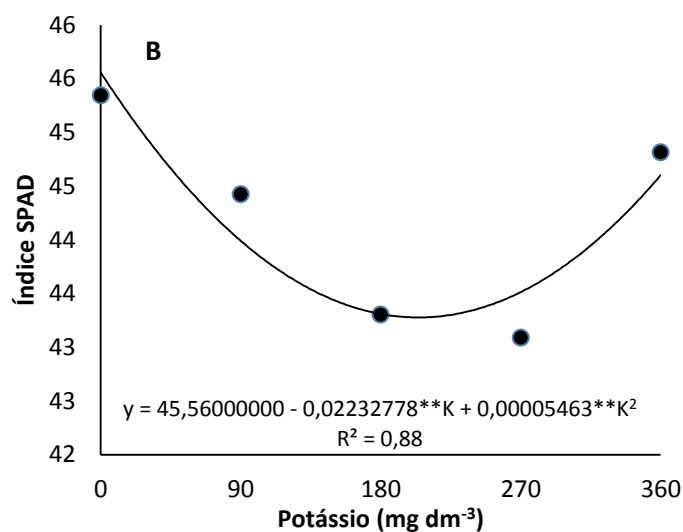


Figura 16. Índice SPAD nas folhas (+1 e +2) de trigo em função das doses de nitrogênio (A) e de potássio (B), cultivado em Latossolo Vermelho
 ***,** Significativo a 0,1 e 1% de probabilidade, respectivamente.

O índice SPAD é um atributo relevante a ser estudado, pois segundo Argenta et al. (2001), o teor de clorofila da folha se correlaciona positivamente com o teor de nitrogênio na planta e com o rendimento das culturas. Nos resultados encontrados por Viana e Kiehl (2010), também foi constatado que o fornecimento de nitrogênio e de potássio incrementaram o conteúdo de clorofila nas plantas de trigo.

O aumento nos valores do índice SPAD, em consequência das doses de nitrogênio, também foi observado por Teixeira Filho et al. (2010), ao trabalharem com trigo em um Latossolo Vermelho distrófico em Selvíria- MS, os autores atribuíram esse comportamento ao aumento da concentração de clorofila, promovido pela maior disponibilidade de nitrogênio total nos tecidos.

A adubação potássica inicialmente reduziu o índice SPAD, o que pode ser explicado pela ausência de adubação nitrogenada; pois o nitrogênio é constituinte das moléculas de clorofila, porém a partir da dose de potássio de 204,35 mg dm⁻³, o índice começou a aumentar. Nesse intervalo pode ter ocorrido mineralização do nitrogênio orgânico, por meio dos microrganismos presentes no solo, e a medida em que se tornou disponível, sua assimilação e transporte foram favorecidos com o aumento das doses de potássio.

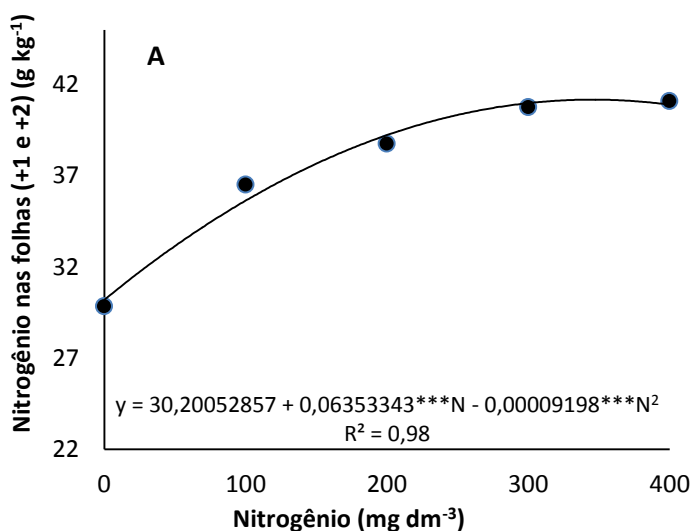
Contudo, pode-se inferir que a adubação potássica influencia positivamente no índice SPAD, desde que seja ofertada na quantidade

adequada, pois além de aumentar a assimilação e transporte de nitrogênio; o potássio é responsável pelo movimento das células-guarda dos estômatos, que regula a entrada de CO_2 que serve de combustível para a fotossíntese conforme relatado por Appezzato-da-Glória e Carmello-Guerreiro (2012).

4.12 Nitrogênio total e proteína bruta nas folhas

A concentração de nitrogênio total e teor de proteína bruta nas folhas (+1 e +2) de trigo, não apresentaram significância para interação entre as doses de nitrogênio e de potássio. No entanto, foi observada resposta significativa nessas variáveis para as doses de nitrogênio isoladamente, com ajuste a modelo quadrático de regressão para ambas as variáveis (Figura 17).

Desse modo, a máxima concentração de nitrogênio e teor de proteína bruta nas folhas (+1 e +2) de trigo, foram observados na dose de nitrogênio de 345 mg dm^{-3} , com um incremento de 26,7% para ambas as variáveis, quando comparado à dose máxima com o tratamento que não houve a aplicação desse nutriente.



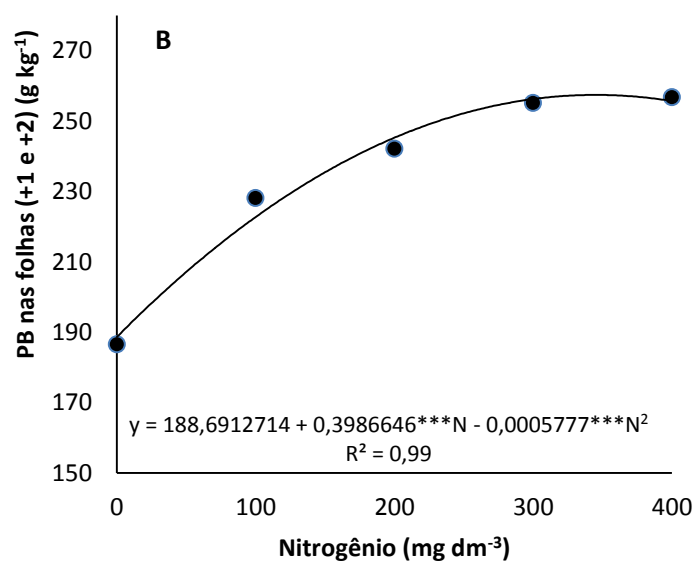


Figura 17. Concentração de nitrogênio (A) e teor de proteína bruta (PB) (B) nas folhas (+1 e +2) de trigo, em função das doses de nitrogênio, cultivado em Latossolo Vermelho.
*** Significativo a 0,1% de probabilidade.

Esses resultados divergem dos encontrados por Viana (2007), que verificou interação significativa para a combinação das doses de nitrogênio e potássio na concentração de nitrogênio na parte aérea do trigo. Porém em relação a acúmulo de nitrogênio na parte aérea, nesse mesmo estudo, Viana e Kiehl (2010) verificaram a influência isolada apenas do nitrogênio, e relataram que mesmo a adubação nitrogenada tendo influenciado mais nas concentrações de nitrogênio, o potássio foi fundamental para não houvesse limitação na resposta das plantas ao nitrogênio.

A concentração de nitrogênio está intimamente associada com a proteína bruta presente nas folhas, pois de acordo com Damodaran et al. (2010), as proteínas são constituídas a partir de um conjunto de aminoácidos, e na estrutura desses aminoácidos existe o grupo amino que realiza as ligações entre eles.

O nitrogênio é um constituinte fundamental das proteínas e por participar de funções metabólicas, se torna essencial para as plantas. Na falta desse nutriente, a planta não consegue dar continuidade aos seus processos vitais, como crescimento e reprodução (TROEH e THOMPSON, 2007).

Os resultados estão de acordo com encontrados por Boschini et al. (2011) que também verificaram efeito isolado de nitrogênio para o teor de

proteína bruta a ajuste quadrático, ao trabalharem a interação desse nutriente com lâminas de água em plantas de trigo. Esses autores afirmaram que esse comportamento se explica devido ao nitrogênio ser um elemento fundamental na constituição das proteínas.

O aumento na concentração da proteína bruta em função das doses de nitrogênio também foi constatado por Hastenpflug et al. (2011), ao avaliarem o valor nutricional na forragem de cultivares de trigo em um Nitossolo Vermelho distroférico. Moreira et al. (2001), também verificaram aumento de proteína bruta em função da adubação nitrogenada ao trabalharem com aveia-preta, cultivadas em um Latossolo Vermelho escuro.

4.13 Nitrogênio total e proteína bruta nos grãos

Na análise de variância para a concentração de nitrogênio e o teor de proteína bruta nos grãos do trigo, não houve interação significativa entre as doses de nitrogênio e de potássio. No entanto, foi observada resposta significativa para a concentração de nitrogênio e o teor de proteína bruta nos grãos em função das doses de nitrogênio e potássio, isoladamente.

Para ambas as variáveis, houve ajuste dos resultados a modelo quadrático de regressão, em função da adubação nitrogenada. A concentração de nitrogênio variou de 27,70 a 35,52 (g kg^{-1}) com o suprimento das doses de nitrogênio (Figura 18A). Este aumento se deve à maior absorção pela planta, devido a maior disponibilidade desse nutriente no solo, favorecendo, assim, na translocação do nitrogênio para os grãos.

O máximo teor de proteína bruta nos grãos de trigo, assim como a máxima concentração de nitrogênio nos grãos, foram observados na dose de nitrogênio de $286,35 \text{ mg dm}^{-3}$, com um aumento de 22,02% (Figura 18B).

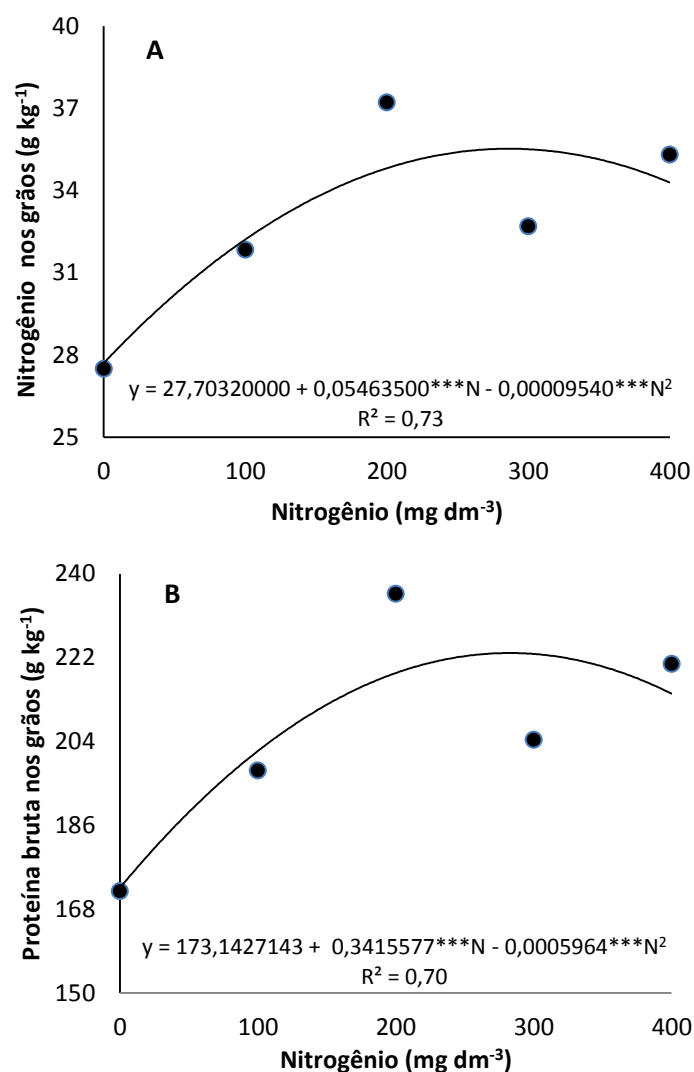


Figura 18. Concentração de nitrogênio (A) e teor de proteína bruta (B) nos grãos de trigo em função das doses de nitrogênio, cultivado em Latossolo Vermelho
 *** Significativo a 0,1% de probabilidade.

Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Trindade et al. (2006), ao trabalharem com aplicação de nitrogênio em cobertura para duas cultivares de trigo (EMBRAPA 22 e EMBRAPA 42), e Boschini et al. (2011), ao trabalharem a interação de nitrogênio com lâminas de água, em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, com a cultivar BRS 254.

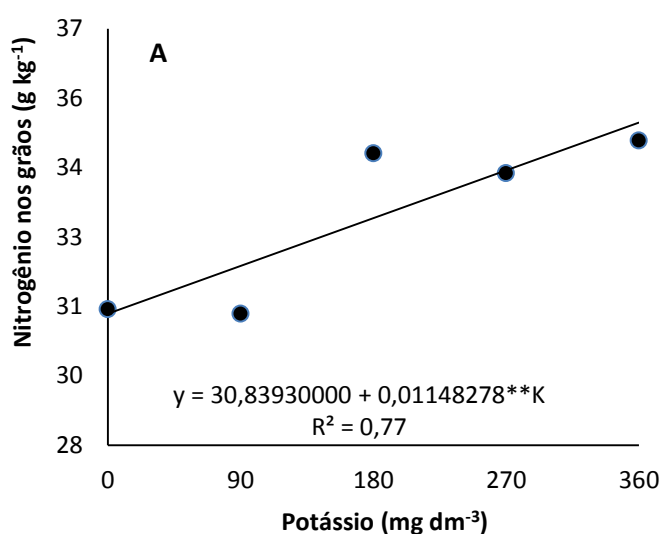
A quantidade de nitrogênio absorvido (concentração de nitrogênio) durante o ciclo da planta é fundamental na determinação do teor proteico do grão. Em cereais, as sínteses de proteína e de amido competem por fotossintetizados durante o período de enchimento de grãos e quando a necessidade de nitrogênio para o rendimento é satisfeita, esse nitrogênio é

usado para aumentar a concentração de proteína na planta; caso contrário, o nutriente seria convertido em carboidratos (RIBEIRO JÚNIOR et al., 2007).

O estudo do teor de proteínas nos grãos é de fundamental importância para a cultura, pois o trigo é o principal cereal cujas as proteínas de armazenamento têm a propriedade de formar malha de glúten componente fundamental na qualidade do trigo, conforme já relatado por (CRUZ; KOBLIZ, 2011).

Os resultados do presente trabalho estão de acordo com os encontrados por Stefen et al. (2014), ao constatarem que a adubação nitrogenada aumentou o percentual de proteína total nos grãos trigo (cv. Mirante), no estudo do efeito da aplicação de nitrogênio em cobertura, associada ao emprego de redutores de crescimento. Também Pinnow et al. (2013), observaram aumento da proteína bruta nos grãos de trigo, em função da adubação nitrogenada, em um Latossolo Vermelho distroférrico.

Quanto ao efeito isolado da adubação potássica na concentração de nitrogênio e teor de proteína bruta nos grãos de trigo, houve ajuste a modelo linear de regressão, sendo que os máximos valores de ambas as variáveis atingiram um incremento de 11,82% quando comparado à dose máxima com o tratamento sem adubação potássica (Figuras 19).



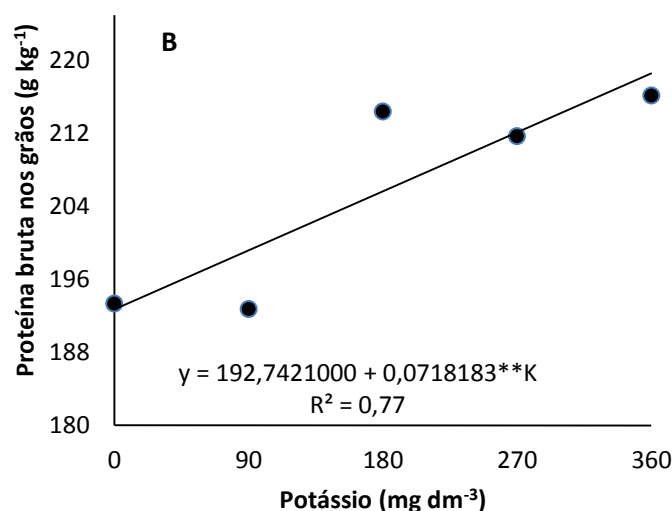


Figura 19. Concentração de nitrogênio (A) e teor de proteína bruta (B) nos grãos de trigo em função das doses de potássio, cultivado em Latossolo Vermelho

** Significativo a 1% de probabilidade.

A influência das doses de potássio, tanto para a concentração de nitrogênio quanto para a proteína bruta nos grãos já era esperada, uma vez que esse íon possui alta mobilidade no interior da planta, auxiliando no transporte e na absorção do nitrogênio.

De acordo com Troeh e Thompson (2007), o potássio é importante para a fotossíntese, e para a formação e transporte de carboidratos e proteínas na planta. A assimilação de nitrogênio na planta é dependente da atividade fotossintética. Portanto, era esperado que houvesse uma dependência do estado nutricional de potássio na planta, uma vez que esse elemento está envolvido nesse processo.

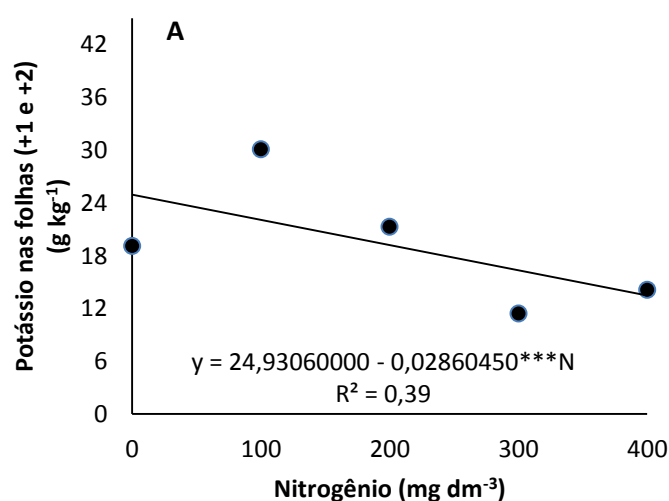
Em trigo de inverno na planície da China, o aumento de nitrogênio também foi constatado com o suprimento de potássio, inferindo que esse nutriente promove maior absorção de nitrogênio pelas plantas, indicando, assim uma interação positiva entre nitrogênio e potássio (NIU et al., 2013).

O potássio desempenha um papel fundamental em várias etapas do metabolismo de nitrogênio (síntese de proteínas). Sendo assim, Farinelli et al. (2004), ao avaliarem o efeito da adubação nitrogenada e potássica em cobertura no cultivo de arroz de terras altas, observaram que o potássio proporcionou aumento na produção de proteína bruta.

4.14 Potássio nas folhas

Na análise de variância da concentração de potássio nas folhas diagnósticas do trigo, não houve interação significativa entre as doses de nitrogênio e potássio. A concentração de potássio nas folhas diagnósticas foi significativa para as doses de nitrogênio e de potássio, isoladamente. Tais resultados discordam daqueles obtidos por Viana e Kiehl (2010), os quais ao verificaram que o acúmulo de potássio na parte aérea do trigo aumentou em função da adubação potássica, não havendo influência da adubação nitrogenada nessa variável.

A variação da concentração de potássio nas folhas diagnósticas do trigo, em função das doses de nitrogênio, ajustou-se a modelo linear de regressão (Figura 20A), com uma redução da concentração de potássio de 24,93 para 13,49 (g kg^{-1}), quando aumentadas as doses de nitrogênio. Contudo, para o efeito do potássio nessa mesma variável, houve ajuste a modelo quadrático de regressão, sendo observada máxima concentração, na dose de potássio de $223,3 \text{ mg dm}^{-3}$ (Figura 20B).



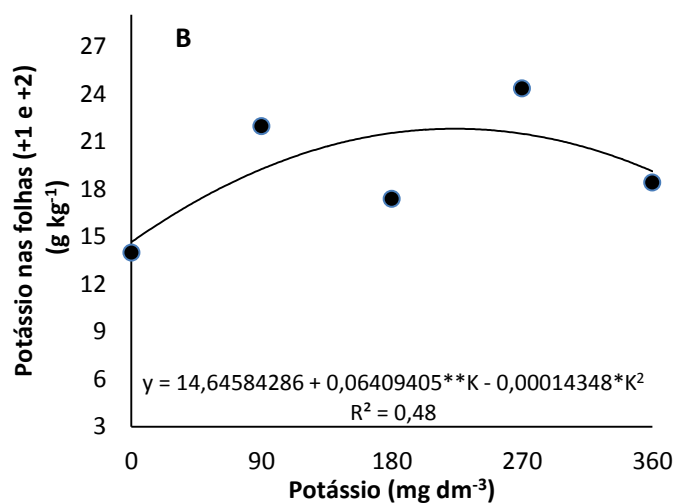


Figura 20. Concentração de potássio nas folhas (+1 e +2) de trigo em função das doses de nitrogênio (A) e de potássio (B), cultivado em Latossolo Vermelho
 ***, ** e * Significativo a 0,1, 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

Segundo Cantarella (2007), o nitrogênio e o potássio são os dois nutrientes absorvidos em maiores quantidades por quase todas as plantas, e as interações entre eles normalmente são do tipo não-competitiva, aonde a absorção de um eleva a demanda pelo outro, mas o estímulo no crescimento, provocado pela adição de nitrogênio, pode levar à deficiência de potássio, por efeito de diluição, o que pode explicar a redução na concentração de potássio com o aumento das doses de nitrogênio nas folhas diagnósticas.

Essa redução na concentração de potássio com incremento das doses de nitrogênio assemelha-se aos resultados obtidos por Espindula et al. (2010a), ao verificarem que a adição de doses de nitrogênio (sulfato de amônio) promoveram decréscimo na concentração de potássio em plantas de trigo.

Esse comportamento também foi observado por Alves e Bellingieri (2004), ao estudarem a influência do nitrogênio na concentração de potássio na parte aérea da aveia-amarela no segundo corte, sendo que a maior dose de nitrogênio (400 mg dm⁻³) proporcionou a menor concentração de potássio.

Batista e Monteiro (2010), ao estudarem *Brachiaria brizantha* cv. Marandú, em função das doses de nitrogênio e enxofre, observaram que o efeito isolado do nitrogênio interferiu negativamente no teor de potássio nas lâminas de folhas do capim, atribuindo essa redução ao efeito de diluição.

Esses resultados também corroboram com os encontrados por Andrade et al. (2000), ao constatarem que os teores de potássio na lâmina foliar do capim-elefante, reduziram com a adubação nitrogenada, ao mesmo tempo em que aumentaram com a potássica.

Contudo, a contribuição da adubação potássica nessa variável foi positiva, sendo que à medida que se elevou as doses de potássio, a concentração foi aumentada. Para Brar et al. (2012), a absorção de potássio também aumentou com o aumento progressivo dos níveis de potássio, em estudos realizados com plantas de milho (*Zea mays* L.).

Para Rosolem et al. (2012), a quantidade de potássio acumulado pelas plantas de *B. ruziziensis* também aumentou com a adubação potássica. Os autores também destacaram que por ter sido adicionado ao teor inicial do solo uma adubação potássica complementar, isso resultou na maior disponibilidade desse nutriente. Sendo assim, as plantas absorveram quantidades acima da sua necessidade metabólica, caracterizando-se como “consumo de luxo”.

Alves e Bellingieri (2004), ao avaliarem os efeitos das doses de nitrogênio e de potássio na parte aérea da aveia-amarela cultivada em Latossolo Vermelho distrófico, também verificaram que os teores de potássio foram aumentados com a adubação potássica, e que a maior dose de potássio (400 mg dm^{-3}) proporcionou os maiores teores tanto no primeiro quanto no segundo corte.

4.15 Potássio nos grãos

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

A adubação potássica não influenciou significativamente na concentração de potássio nos grãos, corroborando com os resultados obtidos por Nakagawa e Rosolem (2005), ao estudarem o efeito de doses de potássio e de fósforo sobre os teores de nutrientes nos grãos de aveia-preta.

Essa resposta contrasta com os resultados encontrados por Niu et al. (2013), em estudos com trigo de inverno, ao verificarem que a elevação das doses de potássio aumentaram significativamente a concentração desse nutriente nos grãos.

As doses de nitrogênio contribuíram para concentrações de potássio nos grãos, sendo que a dose de nitrogênio de 224,79 mg dm⁻³, aumentou em 26,4% a concentração de potássio, quando comparada com o tratamento com ausência de aplicação desse nutriente (Figura 21).

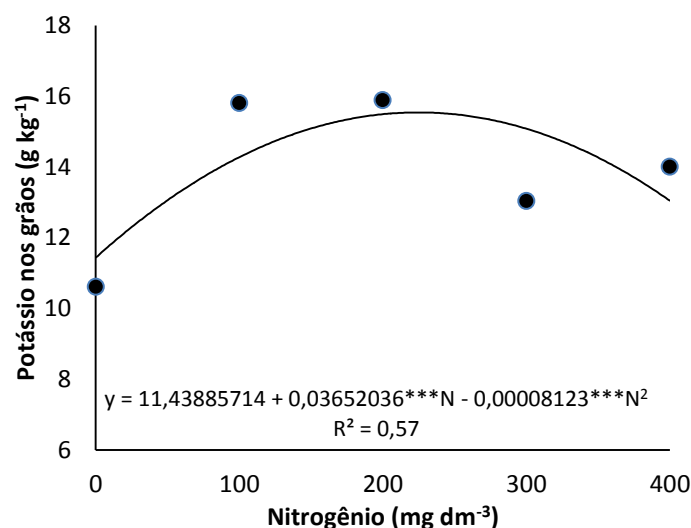


Figura 21. Concentração de potássio nos grãos de trigo em função das doses de nitrogênio, cultivado em Latossolo Vermelho
 *** Significativo a 0,1% de probabilidade.

As doses de nitrogênio promoveram aumento na concentração de potássio nos grãos de trigo diferindo, assim, dos resultados encontrados por Espindula et al. (2010a), ao observarem que a concentração de potássio nos grãos reduziu com o aumento de nitrogênio (sulfato de amônio), ao trabalharem com trigo (cv. Pioneiro), cultivado em Argissolo Vermelho-Amarelo.

4.16 Correlação de Pearson

No estudo de correlação de Pearson, foi verificada relação entre as variáveis analisadas do trigo, em função das adubações nitrogenada e potássica, quando cultivado em Latossolo Vermelho (Tabela 2).

O diâmetro do colmo correlacionou-se com número de folhas, perfilhos e de espigas, com a massa seca da parte aérea, de raiz e massa seca total da planta. Essa variável também correlacionou-se positivamente com a concentração de nitrogênio nos grãos, ligado ao teor de proteína bruta resultando, assim, em ganho na qualidade do produto.

De acordo com Appezzato-da-Glória e Carmello-Guerreiro (2012), o colmo é o órgão da planta que sustenta as folhas e as estruturas de reprodução e estabelece o contato entre esses órgãos e as raízes. Constitui-se de um sistema vascular formado pelo xilema e floema, cuja as funções são o transporte de água e solutos, materiais orgânicos e inorgânicos por toda a planta.

Assim à medida que o potássio promoveu aumento no diâmetro do colmo, já mostrado anteriormente, favoreceu o desenvolvimento vegetativo do trigo, bem como, a assimilação e transporte do nitrogênio para os grãos, conforme constatado na análise desta variável. Para Silveira e Malavolta (2000), as plantas bem nutridas em potássio apresentam maior síntese de material para a formação da parede celular; o que aumenta a resistência do colmo.

O número de folhas correlacionou-se com todas as variáveis analisadas, com exceção da concentração do potássio nos grãos. A produção de folhas estabeleceu correlação alta com o número de espigas e com a concentração de nitrogênio e proteína bruta nos grãos destacando, assim, a importância desse órgão à planta, por melhorar a eficiência da atividade fotossintética que ao produzir mais fotoassimilados aumenta a produção de grãos ao mesmo tempo que contribui na qualidade do mesmo, uma vez que é aumentada a proteína bruta.

Segundo Damodaran et al. (2010), as proteínas de forma geral têm grande influência sobre os atributos sensoriais dos alimentos, tais como textura, sabor, cor e aparência. Por exemplo, as propriedades sensoriais de produtos de padaria estão relacionadas às propriedades viscoelásticas e de formação da massa do glúten presente nos grãos do trigo.

O número de perfilhos correlacionou-se com todas as variáveis, exceto com a concentração de potássio nas folhas. Observa-se nessa análise alta

correlação entre o número de perfilhos e o número de folhas, o que é refletido diretamente na concentração do nitrogênio nas folhas diagnósticas.

Contudo, a correlação dos perfilhos com a produção da massa seca da parte aérea, foi maior do que a correlação entre as folhas com esta variável, isso pode ser explicado pela senescência das folhas, que é característica das plantas de trigo.

Em virtude disso, foi observada a correlação entre o número de perfilhos com as concentrações de nitrogênio e potássio nos grãos. Segundo os autores Gondim et al. (2008), isto sugere que quando se realiza a desfolha, ocorre a remobilização de assimilados do colmo, para atender à demanda da planta durante a fase de enchimento dos grãos, a fim de diminuir perdas no rendimento. Esse efeito positivo foi confirmado no presente estudo pela correlação estabelecida entre a produção de perfilhos com o número de espigas, de grãos e com a massa seca de grãos.

Na análise conjunta das variáveis, de número de grãos e número de espigas, observa-se correlação positiva entre elas, e correlação de ambas com o número de folhas, número de perfilhos, massa seca da parte aérea, massa seca de grãos e massa seca total da planta, reforçando que o número de espigas é um importante componente de rendimento de grãos.

O número de espigas correlacionou-se com a massa seca de raiz, índice SPAD, concentração de nitrogênio nas folhas e nos grãos, o que não ocorreu com a outra variável. O aumento no número de grãos não se correlacionou com o aumento obtido nas concentrações de nitrogênio e de potássio nos grãos, o que pode ser explicado pelo efeito de diluição.

O benefício resultante do aumento do sistema radicular do trigo foi constatado na correlação entre os valores de massa seca de raiz com o aumento na produção do número de folhas, número de perfilhos, massa seca da parte aérea, massa seca de grãos, massa seca total e na concentração de nitrogênio nas folhas diagnósticas do trigo, evidenciando que a maior biomassa de raízes, promovida pela adubação nitrogenada e potássica, relaciona-se diretamente com o aumento das variáveis mencionadas.

A produção de massa seca da parte aérea correlacionou-se positivamente com a massa seca de grãos, massa seca total, índice SPAD,

concentração de nitrogênio nas folhas e grãos, bem como na proteína bruta nos grãos.

O índice SPAD, além de correlacionar-se com variáveis já comentadas anteriormente, também obteve ligação direta com a concentração de nitrogênio nas folhas e nos grãos, bem como na concentração de potássio nos grãos. É importante a correlação do índice SPAD com a concentração de nitrogênio nas folhas das plantas, pois segundo Argenta et al. (2001), o uso do medidor portátil realiza leituras instantâneas do teor de clorofila na folhas sem haver necessidade de sua destruição, tornando-se, assim, uma ferramenta para avaliação do nível de nitrogênio nas plantas em cereais, além da vantagem da leitura não ser influenciada pelo consumo de luxo de nitrogênio pela planta.

A correlação estabelecida entre o índice SPAD e a concentração de nitrogênio e de potássio nos grãos, é um importante parâmetro que pode antecipar as condições nutricionais da planta e determinar a qualidade do produto final.

A concentração de nitrogênio teve correlação negativa com a concentração de potássio nas folhas diagnósticas, onde o aumento das doses de nitrogênio reduziram as concentrações de potássio, podendo ser explicado pelo efeito diluição, uma vez que o nitrogênio aumentou a produção, o número de perfilhos e de folhas do trigo. Em contrapartida, a adubação nitrogenada favoreceu as concentrações de potássio nos grãos, o que pode ser constatado na correlação estabelecida entre essas variáveis.

As concentrações de potássio e de nitrogênio nos grãos se correlacionaram positivamente, onde o aumento das doses de potássio influenciaram na concentração de nitrogênio, bem como, na proteína bruta, comprovando, assim, a relação significativa entre esses dois nutrientes na planta.

É relatado por Malavolta (2006) que, uma das funções bioquímicas do potássio é o transporte dos assimilados da fotossíntese. Esse papel do potássio é explicado, em parte, pela ação que tem na translocação no floema, um processo que exige energia do ATP, cuja produção depende desse cátion. E isso vem a confirmar a contribuição da adubação potássica na assimilação de nitrogênio pelos grãos.

Tabela 2. Coeficientes de correlação de Pearson das variáveis estruturais, produtivas e nutricionais do trigo, adubado com nitrogênio e potássio em Latossolo Vermelho.

	DC	NF	NP	NG	NE	MSPA	MSR	MSG	MST	SPAD	NFD	NG	PBG	KF	KG
DC	1	0,2050*	0,2380*	0,0280 ^{ns}	0,2799**	0,2100*	0,2504*	0,0287 ^{ns}	0,2268*	-0,0533 ^{ns}	0,1010 ^{ns}	0,2457*	0,2456*	-0,0499 ^{ns}	-0,1098 ^{ns}
NF		1	0,6007**	0,2424*	0,7090**	0,4287**	0,4205**	0,3581**	0,4496**	0,1924*	0,4093**	0,5232**	0,5233**	-0,2284*	0,0560 ^{ns}
NP			1	0,2298*	0,5190**	0,5187**	0,3773**	0,3382**	0,5244**	0,0456 ^{ns}	0,2349*	0,4387**	0,4388**	-0,0876 ^{ns}	0,2204*
NG				1	0,3206**	0,4779**	0,1894 ^{ns}	0,6446**	0,4597**	0,1787 ^{ns}	0,2744**	-0,0354 ^{ns}	-0,0353 ^{ns}	-0,0653 ^{ns}	-0,0381 ^{ns}
NE					1	0,6309**	0,5519**	0,4732**	0,6517**	0,2954**	0,4510**	0,5605**	0,5606**	-0,2105*	-0,0145 ^{ns}
MSPA						1	0,6054**	0,5875**	0,9930**	0,2961**	0,4951**	0,4671**	0,4672**	-0,0552 ^{ns}	0,1255 ^{ns}
MSR							1	0,4246**	0,6952**	0,2391*	0,4585**	0,3701**	0,3701**	-0,1415 ^{ns}	0,1495 ^{ns}
MSG								1	0,5936**	0,2898**	0,3123**	0,0613 ^{ns}	0,0615 ^{ns}	0,0701 ^{ns}	0,0540 ^{ns}
MST									1	0,3030**	0,5152**	0,4768**	0,4769**	-0,0709 ^{ns}	0,1355 ^{ns}
SPAD										1	0,6325**	0,2849**	0,2850**	0,0364 ^{ns}	0,2851**
NFD											1	0,4858**	0,4859**	-0,2447*	0,3283**
NG												1	0,9999**	-0,1407 ^{ns}	0,2426*
PBG													1	-0,1407 ^{ns}	0,2426*
KF														1	0,2973**
KG															1

DC – Diâmetro de colmo; NF – Número de folhas; NP – Número de perfilhos; NG – Número de grãos; NE – Número de espigas; MSPA – Massa seca da parte aérea; MSR – Massa seca de raiz; MSG – Massa seca de grãos; MST – Massa seca total; SPAD – Índice SPAD; NFD – Nitrogênio nas folhas diagnósticas; NG – Nitrogênio nos grãos; PBG – Proteína bruta nos grãos; KF – Potássio nas folhas; KG – Potássio nos grãos. ^{ns} Não significativo. *, ** Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

5. CONCLUSÕES

O suprimento de nitrogênio e potássio no solo promovem ganhos no desenvolvimento, produção e nutrição das plantas de trigo (cv BRS 254), cultivadas em Latossolo Vermelho.

Há interação entre as doses de nitrogênio e potássio, resultando em aumento da massa seca da parte aérea e na massa seca total das plantas de trigo.

O nitrogênio e o potássio promovem aumento nas características vegetativas, produtivas e maior eficiência no uso da água, porém o nitrogênio isoladamente proporcionou maior ganho no rendimento dos grãos de trigo.

O potássio promove maior absorção e conseqüentemente, maior aproveitamento do nitrogênio nos grãos.

As concentrações de potássio nos grãos foi favorecida pela adubação nitrogenada de forma isolada.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTS, B.; BRAY, D.; HOPKIN, K.; JOHNSON, A.; LEWIS, J.; RAFF, M.; ROBERTS, K.; WALTER, P. **Fundamentos da biologia celular**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2011. 844p.

ALVES, L. L.; BELLINGIERI, P. A. Efeito de doses de nitrogênio e potássio no crescimento, na composição química e nos teores de amônio e nitrato da parte aérea de aveia-amarela cultivada em casa de vegetação. **Científica**, Jaboticabal, v.32, n.2, p.107-114, 2004.

ANDRADE, A. C.; FONSECA, D. M.; GOMIDE, J. A.; ALVAREZ, V. H.; MARTINS, C. E.; SOUZA, D. P. H. Produtividade e Valor Nutritivo do Capim-Elefante cv. Napier sob Doses Crescentes de Nitrogênio e Potássio. **Revista Brasileira Zootecnia**. v. 6, n. 29, p. 1589-1595, 2000.

ANJANA, S. U.; IQBAL, M. Effect of Applied Potassium in Increasing the Potential for N Assimilation in Spinach (*Spinacea oleracea* L). **e-ifc**, n.20, 2009.

APPEZZATO-da-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. **Anatomia vegetal**. 3.ed.rev. e ampl, Viçosa: Ed. UFV, 2012. 404p.

ARAÚJO, A. S. F.; TEIXEIRA, G. M.; CAMPOS, A. X.; SILVA, F. C. Utilização de nitrogênio pelo trigo cultivado em solo fertilizado com adubo verde (*Crotalaria juncea*) e/ou uréia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.2, p.284-289, mar-abr, 2005.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; BORTOLINI, C. G. Clorofila na folha como indicador do nível de nitrogênio em cereais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.4, p.715-722, 2001.

BATISTA, K.; MONTEIRO, F. A. Sistema radicular do capim-marandu, considerando as combinações de doses de nitrogênio e de enxofre. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.821-828, 2006.

BATISTA, K.; MONTEIRO, F. A. Variações nos teores de potássio, cálcio e magnésio em capim-marandu adubado com doses de nitrogênio e de enxofre. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.151-161, 2010.

BONFIM-da-SILVA, E.M. **Nitrogênio e enxofre na recuperação de pastagem de capim-Braquiária em degradação em Neossolo Quartzarênico com expressiva matéria orgânica**. 2005. 123p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2005.

BONFIM-SILVA, E.M.; MONTEIRO, F.A. Nitrogênio e enxofre em características produtivas do capim-braquiária proveniente de área de pastagem em degradação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.4, p.1289-1297, 2006

BONFIM-SILVA, E.M.; MONTEIRO, F.A.; SILVA, T.J.A. Nitrogênio e enxofre na produção e no uso de água pelo capim-braquiária em degradação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.2, p.309-317, 2007.

BOSCHINI, A. P. M.; SILVA, C. L.; OLIVEIRA, C. A.; 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 Ambiental**, v.15, n.5, p.450–457, 2011.

BRAR, M.S.; BIJAY-SINGH.; BANSAL, S.K.; SRINIVASARAO, C.H. Role of potassium nutrition in nitrogen use efficiency in cereals. **e-ifc** No. 29, December 2011.

BRAR, M.S.; SHARMA, P.; SINGH, A.; SAANDHU, S.S. Nitrogen use efficiency (nue), growth, yield parameters and yield of maize (*Zea mays* L.) as Affected by K application. **e-ifc**, n.30, 2012.

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 2, p. 365-372, 2000.

BUZETTI, S.; BAZANINI, G. C.; FREITAS, J. G.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; SÁ, M. E.; MEIRA, F. A. Resposta de cultivares de arroz a doses de nitrogênio e do regulador de crescimento cloreto de cloromequat. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.12, p.1731-1737, dez. 2006.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAEZ, V. H. V.; BARROS, N.F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG; Sociedade brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.551-594.

CAZETTA, D. A.; FORNASIERI, D.; ARF, O. Resposta de cultivares de trigo e tritcale ao nitrogênio no sistema de plantio direto. **Científica**, Jaboticabal, v.35, p.155-165, 2007.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira – grãos: Safra 2013/14**. Décimo Primeiro Levantamento, Brasília, v.1, n.11, p. 1-82. ago. 2014.

COSSANI, C. M.; SLAFER, G. A.; SAVIN, R. Nitrogen and water use efficiencies of wheat and barley under a Mediterranean environment in Catalonia. **Field Crops Research** v.128, p.109–118. mar, 2012.

COSTA, L.; ZUCARELI, C.; RIEDE, C. R. Parcelamento da adubação nitrogenada no desempenho produtivo de genótipos de trigo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 2, p.215-224, 2013.

CRUZ, P. J.; CARVALHO, F. I. F.; CAETANO, V. R.; SILVA, S. A.; KUREK, A. J.; BARBIERI, R. L. Caracteres relacionados com a resistência ao acamamento em trigo comum. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.4, p.563-568, 2001.

CRUZ, R. S.; KOBLITZ, M. G. B. Grãos, cereais e leguminosas. In: KOBLITZ, M. G. B. (Ed.) **Matérias-primas alimentícias: composição e controle de qualidade**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011. p. 44-120.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de alimentos de Fennema**. 4.ed. Porto Alegre, Artmed, 2010. 900p.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. BRS 254 – Trigo melhorador: cultivar com alta qualidade industrial para a região do Cerrado. Brasília: Embrapa Cerrados, 2008. 18p. **Documentos, 228**.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. rev. ampl. Brasília, 2013. 353p.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análises de solo**. Centro Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. p. 212, 1997.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A.; SANTOS, F. C. Potássio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAEZ, V. H. V.; BARROS, N.F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG; Sociedade brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.551-594.

ESPINDULA, M. C.; CAMPANHARO, M.; ROCHA, V. S.; MONNERAT, P. H.; FAVARATO, L. F. Composição mineral de grãos de trigo submetidos a doses de sulfato de amônio e trinexapac-etil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 4, p. 513-520, out.-dez. 2010a.

ESPINDULA, M. C.; ROCHA, V. S.; SOUZA, L. T.; SOUZA, M. A.; GROSSI, J. A. S. Efeitos de reguladores de crescimento na elongação do colmo de trigo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 1, p. 109-116, 2010b.

FARINELLI, R.; PENARIOL, F. G.; FORNASIERI FILHO, D.; BORDIN, L. Características agronômicas de arroz de terras altas sob plantio direto e adubação nitrogenada e potássica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n.3, p. 447-454, 2004.

GONDIM, T. C. O.; ROCHA, V. S.; SEDIYAMA, C. S.; MIRANDA, G. V. Análise de trilha para componentes do rendimento e caracteres agronômicos de trigo sob desfolha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.4, p.487-493, 2008.

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.

HEINEMANN, A. B.; STONE, L. F.; DIDONET, A. D.; TRINDADE M. G.; SOARES. B. B.; MOREIRA J. A. A.; CÁNOVAS A. D. Eficiência de uso da

radiação solar na produtividade do trigo decorrente da adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.10, p.352-356, 2006.

IPI. INSTITUTO INTERNACIONAL DO POTÁSSIO. **Potássio um Nutriente Essencial para a Vida**. Disponível em: <<http://www.ipipotash.org/udocs/397-potassio-um-nutriente-essencial-para-a-vida.pdf>> Acessado em: 01 set. 2014.

LAVRES JUNIOR, J.; MONTEIRO, F. A. Perfilhamento, área foliar e sistema radicular do capim-Mombaça submetido a combinações de doses de nitrogênio e potássio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.5, p.1068-1075, 2003.

LAVRES JUNIOR, J.; MONTEIRO, F. A. Combinações de doses de nitrogênio e potássio para a produção e nutrição do capim-Mombaça. **Boletim de Indústria Animal**. N. Odessa, v.59, n.2, p.101-114, 2002.

LIMA, U. A. **Matérias-primas dos alimentos**. São Paulo: Blucher, 2010. 402 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do Estado Nutricional das Plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 2006. 638p.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 253p.

MALAVOLTA, E. Potássio – Absorção, transporte e redistribuição na planta. In: AMADA, T.; ROBERTS, T.L. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Instituto da Potassa e do Fosfato; Instituto Internacional da Potassa, 2005. p. 179-230.

MARCHETTI, M.E.; CARAMORI, T.B.A.; CAMPOS, A.M.B. Resposta de duas espécies de trigo ao nitrogênio e ao fósforo em solução nutritiva. **Ciências Agrotécnicas**, Lavras, v. 25, n. 4, p. 925-933, 2001.

MATTE, W. D.; ROQUE, M. W.; RAMOS, F. T.; ROCHA, I. B.; SILVA, A. R. B.; PARO, H. Avaliação dos componentes de produção e da produtividade de cultivares de trigo irrigado em Nova Mutum – MT. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.9, n.17; p.402-414, 2013.

MEDEIROS, R. D.; SOARES, A. A.; GUIMARÃES, R. M. Compactação do solo e manejo da água. I: efeitos sobre a absorção de N, P, K, massa seca de raízes e parte aérea de plantas de arroz. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 5, p. 940-947, 2005.

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

MINOLTA CAMERA. **Manual for chlorophyll meter SPAD-502**. Osak: 1989. 22 p.

MOREIRA, F. B.; CECATO, U.; PRADO, I. N.; WADA, F. Y.; REGO, F. C. A.; NASCIMENTO, W. G. Avaliação de aveia preta cv lapar 61 submetida a níveis crescentes de nitrogênio em área proveniente de cultura de soja. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 4, p. 815-821, 2001.

MUNDSTOCK, C. M.; BREDEMEIER, C. Disponibilidade de nitrogênio e sua relação com o afilhamento e o rendimento de grãos de aveia. **Ciência Rural**, v. 31, n. 2 p. 205-211, 2001.

NAKAGAWA, J.; ROSOLEM, C. A. Teores de nutrientes na folha e nos grãos de aveia-preta em função da adubação com fósforo e potássio. **Bragantia**, Campinas, v.64, n.3, p.441-445, 2005.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de bioquímica Lehninger**. 5.ed. Porto Alegre: Artemed, 2011, 1274p.

NIU, J.; WEIFENG, Z.; RU, S.; CHEN, X.; XIAO, K.; ZHANG, X.; ASSARAF, M.; IMAS, P.; MAGEN, H.; ZHANG, F. Effects of potassium fertilization on winter wheat under different production practices in the North China Plain. **Field Crops Research** v. 140, p. 69-76, 2013.

ORDÓÑEZ PEREDA, J. A.; RODRÍGUEZ, M. I. C.; ÁLVAREZ, L. F.; SANZ, M. L. G.; MINGUILLÓN, G. D. G. F.; PERALES, L. de la H.; CORTECERO, M. D. S. **Tecnologia de alimentos**. Porto Alegre: Artmed, 2005. 294p.

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 Ambiental**, v.17, n.6, p.575–580, 2013.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Rio de Janeiro: Edur, Seropédica, 2004. 191p.

PINNOW, C.; BENIN, G.; VIOLA, R.; SILVA, C. L.; GUTKOSKI, L. C.; CASSOL, L. C. Qualidade industrial do trigo em resposta à adubação verde e doses de nitrogênio. **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 1, p.20-28, 2013.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Potafos, 1991. 343p.

RIBEIRO JÚNIOR, W. Q.; RAMOS, M. L. G.; AMÁBILE, R. F.; FERRAZ, D. M. M.; CARVALHO, A. M. de; CARVALHO, J. G.; ALBRECHT, J. C.; SÓ E SILVA, M.; GUERRA, A. F. Efeito da fertirrigação nitrogenada no rendimento de grãos de genótipos de trigo, no cerrado. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2007. 17 p. (Embrapa Trigo. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento Online**, 50).

RODRIGUES, R. C.; MOURÃO, G. B.; BRENNECKE, K.; LUZ, P. H. C.; HERLING, V. R. Produção de massa seca, relação folha/colmo e alguns índices de crescimento do *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés cultivado com a combinação de doses de nitrogênio e potássio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.3, p.394-400, 2008.

ROSOLEM, C.A.; VICENTINI, J. P. T. M. M.; STEINER, F. Suprimento de potássio em função da adubação potássica residual em um Latossolo Vermelho do Cerrado, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36:1507-1515, 2012.

ROZANE, D. E.; PRADO, R. M.; ROMUALDO, L. M. Deficiências de macronutrientes no estado nutricional da aveia-preta cultivar comum. **Científica**, Jaboticabal, v.36, n.2, p.116 - 122, 2008.

SANGOI, L.; BERNS, A. C.; ALMEIDA, M. L.; ZANIN, C. G.; SCHWEITZER, C. Características agronômicas de cultivares de trigo em resposta à época da adubação nitrogenada de cobertura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, p.1564-1570, nov-dez, 2007.

SANTOS, D.; GUIMARÃES, V. F.; KLEIN, J.; FIOREZE, S. L.; MACEDO JÚNIOR, E. K. Cultivares de trigo submetidas a déficit hídrico no início do florescimento, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.16, n.8, p.836–842, 2012.

SAS INSTITUTE. **SAS**. User's guide: statistics. 9th ed. Cary, 2002. 943p.

SCHMIDT, F. M.; OSAKI, F. Parâmetros fitotécnicos de uma cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.) com adubação nitrogenada em cobertura, em Colombo – PR. **Revista Acad. Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 5, n. 1, p. 63-69, 2007.

SILVA, F.A.S.; AZEVEDO, C.A.V. Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance. In: WORLD CONGRESS ON 80 COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, **Reno-NV-USA**: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

SILVEIRA, R. A.; MALAVOLTA, E. Nutrição e adubação potássica em *Eucalyptus*. **Informações agrônômicas**, n 91, Potafos, 2000.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Adubação com nitrogênio. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Ed.) **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. p. 129-145.

STEFEN, D. L. V.; SOUZA, C. A.; COELHO, C. M. M.; TORMEN, M. E.; ZANESCO, P. R.; CASA, R. T.; SANGOI, L.; NUNES, F. R. Adubação nitrogenada associada ao emprego de reguladores de crescimento em trigo cv. Mirante. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.13, n.1, p.30-39, 2014.

STROMBERGER, J.A.; TSAI, C.Y.; HUBER, D.M. Interactions of potassium with nitrogen and their influence on growth and yield potential in maize. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 17, n. 1, p. 19-37, 1994.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Tradução Eliane Romanato Santarém et al. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

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**, Brasília, v.45, n.8, p.797-804, 2010.

TRINDADE, M. G.; STONE, L. F.; HEINEMANN, A. B.; CÁNOVAS, A. D.; MOREIRA, J. A. A. Nitrogênio e água como fatores de produtividade do trigo no cerrado. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v.10, p.24-29, 2006.

TROEH, F. R.; THOMPSON, L. M. **Solos e fertilidade do solo**. Ed: Andrei, São Paulo, SP. ed. 6, 718p. 2007.

VIANA, E. M. **Interação de nitrogênio e potássio na nutrição, no teor de clorofila e na atividade da redutase do nitrato em plantas de trigo**. 2007. 95 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2007.

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

VILELA, L.; SOUSA, D.M.G., SILVA, J.E. Adubação potássica. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Ed.) **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. p.169-182.

WERNER, J. C. **Adubação de pastagens**. Nova Odessa: IZ, 1986. 49 p.

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

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**, Santa Maria, v.32, p.25-29, 2002.

ZAMBOLIM, L.; VENTURA, J. A. Mecanismos de ação do potássio na interação com doenças de plantas. In: ZAMBOLIM, L.; VENTURA, J. A.; JÚNIOR, L. A. Z. (Ed.) **Efeito da nutrição mineral no controle de doenças de plantas**. Viçosa: Os autores, 2012. p.105-134.

ZANATTA, A. C. A.; OERLECKE, D. Efeito de genes de nanismo sobre alguns caracteres agronômicos e morfológicos de *Triticum aestivum* L. Thell. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.26, n.7, p.1001-1016, 1991.