

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS - AGRONOMIA

**CARACTERES MORFOLÓGICOS, ESTADO NUTRICIONAL
E PRODUTIVIDADE DE MILHO CULTIVADO SOB DOSES
E FONTES DE NITROGÊNIO**

Autor: Gustavo da Silva Vieira
Orientador: Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira

RIO VERDE - GO
Dezembro- 2020

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS

**CARACTERES MORFOLÓGICOS, ESTADO NUTRICIONAL
E PRODUTIVIDADE DE MILHO CULTIVADO SOB DOSES
E FONTES DE NITROGÊNIO**

Autor: Gustavo da Silva Vieira
Orientador: Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira
Coorientador: Frederico Antonio Loureiro Soares
Coorientador: Edson Cabral da Silva

Dissertação apresentada como parte das exigências para a obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS – AGRONOMIA no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – Área de Concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado.

Rio Verde - GO
Dezembro - 2020

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

VG982c Vieira, Gustavo da Silva
CARACTERES MORFOLÓGICOS, ESTADO NUTRICIONAL E
PRODUTIVIDADE DE MILHO CULTIVADO SOB DOSES E FONTES
DE NITROGÊNIO / Gustavo da Silva Vieira; orientador
Marconi Batista Teixeira; co-orientador Edson Cabral
da Silva. -- Rio Verde, 2020.
74 p.

Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias -
Agronomia) -- Instituto Federal Goiano, Campus Rio
Verde, 2020.

1. Zea mays L.. 2. nitrato de amônio. 3. ureia. 4.
extração. 5. exportação. I. Teixeira, Marconi Batista,
orient. II. Silva, Edson Cabral da, co-orient. III.
Título.

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES
TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Gustavo da Silva Vieira

Matrícula: 2018202310140067

Título do Trabalho: CARACTERES MORFOLÓGICOS, ESTADO NUTRICIONAL E PRODUTIVIDADE DE MILHO CULTIVADO SOB DOSES E FONTES DE NITROGÊNIO

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 10/02/2021

O documento está sujeito a registro de patente? [] Sim [X]
Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? [] Sim [X] Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

1. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
2. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
3. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde, 02/02/2021.

Local

Data

Gustavo da Silva Teixeira

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

J. B. Teixeira

Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 85/2020 - NREPG-RV/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

CARACTERES MORFOLOGICOS, ESTADO NUTRICIONAL E PRODUTIVIDADE DE MILHO CULTIVADO SOB DOSES E FONTES DE NITROGÊNIO

Autor: Gustavo da Silva Vieira
Orientador: Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira
Coorientador: Prof. Dr. Frederico Antonio Loureiro Soares
Dr. Edson Cabral da Silva

TITULAÇÃO: Mestre em Ciências Agrárias-Agronomia - Área de Concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado

APROVADA em, 10 de dezembro de 2020.

Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira (Presidente)

Dr. Edson Cabral da Silva (Membro interno)

Prof. Dr. Gustavo Castoldi (Membro interno)

Prof. Dr. Nelson facundo Rodriguez (Membro externo)

Documento assinado eletronicamente por:

- Nelson Facundo Rodríguez López, Nelson Facundo Rodríguez López - Membro externo - Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde (10651417000500), em 17/12/2020 17:37:12.
- Edson Cabral da Silva, 2016202320140131 - Discente, em 11/12/2020 12:44:51.
- Gustavo Castoldi, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 10/12/2020 14:57:04.
- Marconi Batista Teixeira, COORDENADOR DE CURSO - FUC1 - UCPG-RV, em 10/12/2020 13:49:22.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 09/12/2020. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 220913
Código de Autenticação: db4553b7e6



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, None, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3620-5600

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO
– CAMPUS RIO VERDE DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS-
AGRONOMIA

**CARACTERES MORFOLÓGICOS, ESTADO NUTRICIONAL
E PRODUTIVIDADE DE MILHO CULTIVADO SOB DOSES
E FONTES DE NITROGÊNIO**

Autor: Gustavo da Silva Vieira
Orientador: Dr. Marconi Batista Teixeira
Coorientador: Frederico Antonio Loureiro Soares
Co,orientador: Edson Cabral da Silva

TITULAÇÃO: Mestre em Ciências Agrárias-Agronomia - Área de
Concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado

10 de dezembro de 2020.

Prof. Dr. Nelson Facundo
Rodriguez
Avaliador externo
Escuela de Biologia, Facultad
de Ciencias/Colômbia

Dr. Edson Cabral da Silva
Avaliador interno
Pesquisador PNPd/CAPES
IF Goiano/RV

Prof. Dr. Gustavo Castoldi
Avaliador interno
IF Goiano/RV

Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira
Presidente da banca
IF Goiano/RV

DEDICO

A Deus,

Pela vida, saúde e força em todos os momentos.

OFEREÇO

À minha família,

Aos meus pais, Suail José Vieira e Avânia Vieira da Silva, à minha irmã, Natanne Maria da Silva Vieira Borges e à minha esposa, Laylla Beatriz de Sousa Pereira, que sempre me incentivaram aos estudos com muita sabedoria e amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela saúde e força durante essa caminhada da vida.

Aos meus pais, Suail José Vieira e Avânia Vieira da Silva, à minha irmã Natanne e à minha esposa Laylla Beatriz, que são minha base e minha fortaleza, sempre acreditaram em mim, torceram diariamente e vibraram diante de cada conquista alcançada.

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos ao Fernando Rodrigues Cabral Filho, Daniely Karen Matias Alves, Fernando Nobre Cunha e aos demais colegas do Laboratório de Hidráulica e Irrigação (grupo de pesquisa AGRICE), e a todos que, direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, pelos incentivos constantes, apoio e amizade ao longo de todo curso de pós-graduação, cuja contribuição através de discussões e troca de experiência foi de grande importância e relevância.

Ao meu orientador Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira, que desde a iniciação científica esteve me orientando e sendo um alicerce para a minha formação. Obrigado por todo o incentivo, pelo zelo e por ter sido peça fundamental na minha caminhada. Agradeço ao Prof. Dr. Frederico Antonio Loureiro Soares e Leonardo Názario Silva dos Santos, por todo o apoio, orientação e ensinamentos ao longo da execução deste trabalho e sobretudo pela valiosa demonstração de amizade no decorrer desta caminhada. A todos os professores da pós-graduação do IF Goiano que ao dividirem seus conhecimentos e experiências foram essenciais na minha trajetória.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, todo pessoal envolvido (Diretoria, coordenação, secretaria etc.), ao IF Goiano – Campus Rio Verde, pela oportunidade e suporte concedido para a realização desse curso de pós-graduação e pelo desenvolvimento deste trabalho. Aos funcionários de todos os Departamentos da Instituição, pela atenção e colaboração nos momentos em que necessitei de auxílio para continuar nesta caminhada.

Ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), pela concessão da bolsa de estudo, pelas verbas de auxílio financeiro ao projeto e fomento à pesquisa de maneira geral.

BIOGRAFIA DO AUTOR

GUSTAVO DA SILVA VIEIRA, filho de Suail José Vieira e Avânia Vieira da Silva, nasceu no dia 15 de julho de 1994, na cidade de Rio Verde, Goiás.

No mês de março de 2012, iniciou no curso Bacharelado em Agronomia no Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, graduando-se em agosto de 2018.

Em 2016, durante o curso superior ingressou na Iniciação Científica (IC) no Laboratório de Hidráulica e Irrigação, como aluno voluntário (PIVIC), sob a orientação dos Professores Dr. Leonardo Nazário Silva dos Santos, Marconi Batista Teixeira e Frederico Antonio Loureiro Soares, até a conclusão da graduação em 2018.

Em agosto de 2018, iniciou no curso de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia, no Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde - GO, sob a orientação do Professor Dr. Marconi Batista Teixeira, concluindo em dezembro de 2020.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE TABELAS	18
ÍNDICE DE FIGURAS	19
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES	21
ABSTRACT	22
1 INTRODUÇÃO GERAL	24
1.1 Referências bibliográficas	25
2 OBJETIVOS	26
2.1 Objetivo Geral.....	27
2.2 Objetivos Específicos	27
3 CAPÍTULO I	27
RESUMO	27
ABSTRACT	28
3.1 INTRODUÇÃO	28
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	30
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
3.4 CONCLUSÕES	43
3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
4 CAPÍTULO II	49
ESTADO NUTRICIONAL, EXTRAÇÃO E EXPORTAÇÃO DE MACRONUTRIENTES PELO MILHO EM FUNÇÃO DE DOSES E FONTES DE NITROGÊNIO	49
RESUMO	49
ABSTRACT	49
4.1 INTRODUÇÃO	50
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	52
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
4.4 CONCLUSÕES	69
4.5 REFERÊNCIAS	70

ÍNDICE DE TABELAS

CAPÍTULO I - DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO E PRODUÇÃO DE GRÃOS PELA CULTURA DO MILHO EM FUNÇÃO DE DOSES E FONTES DE NITROGÊNIO

Tabela 1.	Resultados da análise físico-química do solo, coletado na camada de 0 – 0,2 m de profundidade, antes da implantação do experimento	32
Tabela 2.	Altura de planta (AP), comprimento de espiga (CE), diâmetro de espiga (DE), comprimento de sabugo (CS), número de grãos por fileira (GF), número de grãos por espiga (NGE), tamanho do grão (TG) e produtividade de grãos (PROD) do milho sob a aplicação de nitrato de amônio (NA) e ureia (U) para as doses de 0, 40, 80, 120 e 160 kg de nitrogênio ha ⁻¹	34

CAPÍTULO II - ESTADO NUTRICIONAL, EXTRAÇÃO E EXPORTAÇÃO DE MACRONUTRIENTES PELO MILHO EM FUNÇÃO DE DOSES E FONTES DE NITROGÊNIO

Tabela 1.	Resultados da análise físico-química do solo, coletado na camada de 0 – 0,2 m de profundidade, antes da implantação do experimento	53
Tabela 2.	Desdobramento da interação para teor de fósforo na folha (P), teor de potássio na folha (K), teor de cálcio na folha (Ca), teor de magnésio na folha (Mg), fósforo restituído ao solo (PR), cálcio restituído ao solo (CaR), magnésio restituído ao solo (MgR), potássio exportado nos grãos, cálcio exportado nos grãos, enxofre exportados nos grãos, extração total de fósforo (PTE), extração total de magnésio (MgTE) e extração total de enxofre (STE) no início do florescimento pela cultura do milho sob a aplicação de nitrato de amônio (NA) e ureia (U) para as doses de 0, 40, 80, 120 e 160 kg de Nitrogênio ha ⁻¹	58

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I – DEEMPENHO E PRODUÇÃO DE GRÃOS PELA CULTURA DO MILHO EM FUNÇÃO DE DOSES E FONTES DE NITROGÊNIO

Figura 1.	Dados meteorológicos do município de Rio Verde e a evapotranspiração da cultura no período decorrente do experimento (Milho safra 2018/19).	31
Figura 2.	Altura de planta de milho em função das doses de nitrogênio, para as fontes nitrato de amônio (NA) e ureia (U).....	36
Figura 3.	Comprimento de espiga (A) e diâmetro de espiga (B) do milho em função das doses de nitrogênio, para as fontes nitrato de amônio (NA) e ureia (U).	37
Figura 4.	Comprimento de sabugo (A) e diâmetro de sabugo (B) de milho em função das doses de nitrogênio, para as fontes nitrato de amônio (NA) e ureia (U).....	38
Figura 5.	Número de fileiras de grãos (A) e número de grãos por fileira na espiga(B) de milho em função das doses de nitrogênio	39
Figura 6.	Número de grãos por espiga de milho em função das doses de nitrogênio para as fontes nitrato de amônio (NA) e ureia (U).	39
Figura 7.	Tamanho do grão do milho em função das doses de nitrogênio para as fontes nitrato de amônio (NA) e ureia (U).....	40
Figura 8.	Peso de mil grãos (PMG) de milho em função das fontes nitrato de amônio (NA) e ureia (U), teste Tukey a 5% de probabilidade (A) e PMG em função das doses de nitrogênio por hectare (B).....	41
Figura 9.	Produtividade do milho em função das doses de nitrogênio para as fontes nitrato de amônio (NA) e ureia (U).....	42

CAPÍTULO II – EXTRAÇÃO DE NUTRIENTES E BALANÇO NUTRICIONAL NA CULTURA DO MILHO EM FUNÇÃO DE DOSES E FONTES DE NITROGÊNIO

Figura 1.	Dados meteorológicos do município de Rio Verde e a evapotranspiração da cultura no período decorrente do experimento (Milho safra 2018/19).....	52
Figura 2.	Teor de nitrogênio (N) nas folhas no momento do florescimento do milho	56
Figura 3.	Teor de enxofre (S) nas folhas no momento do florescimento do milho.....	57
Figura 4.	Teor de fósforo (P) nas folhas (A), teor de potássio (K) nas folhas (B), teor de cálcio (Ca) (C) e teor de magnésio (Mg) (D) em função das doses de nitrogênio para as fontes nitrato de amônio (NA) e ureia.....	60
Figura 5.	Restituição de fósforo (P) via palhada (A), retorno de cálcio (Ca) via palhada (B), retorno de magnésio (Mg) via palhada (C) e retorno de enxofre (S) via palhada (D) em função das doses de nitrogênio para as fontes nitrato de amônio (NA) e ureia.....	61
Figura 6.	Exportação de nitrogênio (N) via grãos em função das doses de nitrogênio.....	64
Figura 7.	Exportação de P (A), K (B), Mg (C), Ca (E) e S (F) em função das doses de nitrogênio para as fontes nitrato de amônio (NA) e ureia, para Exportação de magnésio (D), teste de Tukey a 5% de probabilidade.....	65
Figura 8.	Regressão do total de nitrogênio extraído pela planta de milho, em função das doses (A) e teste Tukey a 5% de probabilidade para o total de nitrogênio extraído pela planta de milho, em função das fontes nitrato de amônio (NA) e ureia (U).....	67
Figura 9.	Total extraído de fósforo (P) (A), cálcio (Ca) (B), magnésio (Mg) (C) e enxofre (S) (D) em função das doses e fontes nitrato de amônio (NA) e ureia.....	68

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIações E UNIDADES

Símbolo / Sigla	Significado
%	Porcentagem
AC _G	Acúmulo do nutriente nos grãos
AC _{PA-G}	Acúmulo do nutriente na palha ou nos grãos
AC _{PL}	Acúmulo do nutriente na palha
AC _T	Acúmulo total do nutriente na planta
Al	Alumínio
B	Boro
Ca	Cálcio
CaCl ₂	Cloreto de cálcio
cm	Centímetro
CTC	Capacidade de troca catiônica
Cu	Cobre
cv	Cavalo-vapor
CV	Coefficiente de variação
DE	Diâmetro de espiga
dm ⁻³	Decímetro cúbico
DS	Diâmetro do sabugo
Fe	Ferro
g	Gramas
ha	Hectare
K	Potássio
KCl	Cloreto de potássio
kg	Quilograma
Lvdf	Latossolo Vermelho distroférico
M%	Saturação por alumínio
M.O	Matéria orgânica
m	Metro
m ³	Metro cúbico
Mg	Magnésio
mm	Milímetro
Mn	Manganês
N	Nitrogênio
Na	Sódio
NG	Número de fileiras de grãos
NF	Número de grãos por fileira
P	Fósforo
P ₂ O ₅ ⁻	Pentóxido de fósforo
pH	Potencial de hidrogênio
PROD	Produtividade de grãos
S	Enxofre
SB	Soma de bases
T	Tonelada
TG	Tamanho do grão
V%	Saturação por bases
Zn	Zinco

RESUMO

VIEIRA, G. da S. **Caracteres morfológicos, estado nutricional e produtividade de milho cultivado sob doses e fontes de nitrogênio**. 2020. P 74. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias – Agronomia. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, Brasil.

O milho é o principal cereal produzido no Brasil e é cultivado a cerca de 18,5 milhões de hectares, com produção de aproximadamente 105 milhões de toneladas de grãos, e produtividade média de 5,69 toneladas por hectare, considerando-se primeira e segunda safra “safrinha”. O baixo consumo e o manejo incorreto do nitrogênio (N) são uns dos fatores responsáveis por baixas produtividades dessa cultura. Neste contexto, objetivou-se com este estudo avaliar o desenvolvimento vegetativo, a produtividade, a extração e exportação dos macronutrientes pela cultura do milho em função de fontes e doses de nitrogênio em cobertura. O experimento foi conduzido em condições de campo, na área experimental do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. O delineamento experimental em blocos ao acaso, com 10 tratamentos e três repetições, dispostos em esquema fatorial 5x2. Os tratamentos compreenderam cinco doses de N (0, 40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹) e duas fontes de N: nitrato de amônio (33% de N) e ureia (45% de N). Avaliou-se a altura de planta; diâmetro de colmo; massa seca da palhada; comprimento de espiga; diâmetro de espiga; comprimento de sabugo; diâmetro de sabugo; número de fileiras de grãos; número de grãos por fileira; número de grãos por espiga; tamanho do grão; peso de mil grãos e produtividade. Também foram avaliados os teores de macronutrientes na folha do milho no florescimento, a extração e a exportação de macronutrientes. Independentemente da fonte de N empregada, a produtividade de grãos de milho apresentou acréscimo até a dose de 160 kg de N ha⁻¹. A exportação de N para os grãos não apresentou diferença significativa entre as fontes estudadas. Enquanto a maior exportação de N para os grãos ocorreu na dose estimada de 117,87 kg de N ha⁻¹. A fonte ureia demonstrou maior extração total de N em comparação com a fonte nitrato de amônio, apresentando maior extração para a dose de 123,87 kg de N ha⁻¹. A extração total de cálcio e magnésio foram incrementadas até a dose de 160 kg de N ha⁻¹.

Palavras-chave: *Zea mays* L., nitrato de amônio, ureia, extração, exportação, macronutrientes.

ABSTRACT

VIEIRA, G. da S. **Morphological characteristics, nutritional status and productivity of corn grown under nitrogen rates and sources.** 2020. 61p. Dissertation (Master in Agricultural Sciences – Agronomy). Federal Institute Goiano – *Campus* Rio Verde – GO, Brazil.

Maize is the main cereal produced in Brazil and is cultivated on approximately 18.5 million hectares, with a production of approximately 105 million tons of grain, and an average of 5.69 tons per hectare, considering first and second crop “safrinha”. Low consumption and incorrect handling of nitrogen (N) are one of the factors responsible for low productivity of this crop. Given the above, the objective of this study was to evaluate the vegetative development, productivity, extraction and export of macronutrients, for maize crop in function of nitrogen source and rates. The experiment was carried out under field conditions, in the experimental area of the Federal Institute Goiano – Campus Rio Verde, Brazil. The experimental design was in randomized blocks, with 10 treatments and three replications, arranged in a 5x2 factorial scheme. The treatments comprised five rates of N (0, 40, 80, 120 and 160 kg ha⁻¹) and two sources of N: ammonium nitrate (33% N) and urea (45% N). The plant height was evaluated, stem diameter, dry straw mass, ear length, ear diameter, cob length, cob diameter, number of grains rows, number of grains per row, number of grains per ear, grain size, thousand grain weight and productivity. The macronutrient contents in the maize leaf at the beginning of flowering, the extraction and export of macronutrients were also evaluated. Regardless of the N source employed, the productivity of maize grains increased until the dose of 160 kg of N ha⁻¹. The N export for grains showed no difference for the evaluated sources. While it presented the highest N export for grains at rate of 117.87 kg of N ha⁻¹. The source urea showed greater total N extraction compared to the source of ammonium nitrate, presenting greater extraction for the rate of 123.87 kg of N ha⁻¹. The total extraction of calcium and magnesium was increased up to the dose of 160 kg of N ha⁻¹.

Keywords: *Zea mays* L., ammonium nitrate, urea, extraction, export, macronutrients.

1 INTRODUÇÃO GERAL

O agronegócio ocupa lugar de destaque na economia brasileira, principalmente nos países em desenvolvimento, garantindo o sustento de indivíduos e contribuindo para o crescimento da exportação e conseqüentemente do país (LOURENÇO, 2008). O milho é um dos principais cereais cultivados no estado de Goiás e no Brasil, estima-se que em 2020 foram cultivadas quase 18,5 milhões de hectares desta cultura no Brasil, com produção média de 5,69 milhões de toneladas (CONAB, 2020).

O nitrogênio (N) é o nutriente mineral extraído e exportado em maior quantidade pelo milho, o que mais influencia a produtividade de grãos e o único absorvido como cátion (NH_4^+) ou ânion (NO_3^-), sendo grande limitante para a produtividade dessa cultura, por suas transformações no solo, cuja dinâmica no sistema solo-planta é condicionada por condições edáficas, climáticas e sistema de manejo (dose, fonte, época e modo de aplicação). O N merece atenção não apenas pela influência que representa no custo de produção do milho, mas também, para a minimização de possíveis impactos ambientais. O milho é uma cultura que remove grandes quantidades de N; assim, para a obtenção de produtividades elevadas é recomendada a adubação nitrogenada em cobertura, para complementar a quantidade suprida pelo solo (SANGOI et al., 2015).

A dinâmica do N no sistema solo-planta, torna complexo o manejo e recomendação, considerando que apenas uma parte do N mineral aplicado é absorvido pelas plantas. Geralmente, grande parte do N é perdida pelos processos de lixiviação, volatilização, erosão e desnitrificação, além do processo de imobilização pela microbiota quimiorgano-tófica e uma parcela que permanece no solo, predominantemente na forma orgânica (VARGAS, 2010; SILVA et al., 2016).

Segundo Mota et al. (2015), a natureza complexa das transformações do N no solo pode causar um assincronismo entre a disponibilidade de N no solo e o período de demanda das plantas pelo nutriente. A lixiviação é o processo de perda de maior importância que ocorre com o N, em áreas com alta precipitação pluvial, principalmente nos países de clima tropical (ERNANI, 2008). A ureia é o fertilizante nitrogenado mais usado no Brasil e no mundo, por apresentar boa combinação entre eficiência agrônômica e preço por unidade de N. No entanto, é altamente suscetível a perdas por processo de volatilização de amônia, principalmente quando aplicada na superfície do solo, na

ausência de chuva ou irrigação (CANTARELLA e DUARTE, 2004; SOUSA e LOBATO, 2004).

Neste aspecto, a recuperação de N dos fertilizantes nitrogenados pelas plantas é relativamente baixa, decorrente dos processos de volatilização de amônia, desnitrificação, erosão e imobilização microbiana (CANTARELLA e MARCELINO, 2008; CHAVARRIA e MELLO, 2011; SILVA et al., 2016). Do ponto de vista fisiológico, a forma nítrica é preferencialmente absorvida pelo milho (Marschner, 1995). Sendo que na fonte nitrato de amônio apresenta parte do N na forma nítrica, tornando-se uma opção interessante em comparação com a fonte ureia.

O rendimento de grãos não apresenta diferença para a cultura do milho, comparando as fontes ureia e nitrato de amônio (Duete et al., 2009). Assim, torna-se imprescindível o conhecimento dos efeitos de diferentes fontes e doses de fertilizantes nitrogenados, em diferentes condições de clima e solo, na busca de um manejo correto do nutriente e sua otimização para a cultura do milho, sob aspectos técnicos, econômicos e ambientais.

1.1 Referências bibliográficas

CANTARELLA, H.; DUARTE, A.P. Manejo da fertilidade do solo para a cultura do milho. In: GALVÃO, J.C.C.; MIRANDA, G.V. (Ed.). **Tecnologia de produção de milho**. Viçosa: UFV, 2004, cap.5, p.139-182.

CANTARELLA, H.; MARCELINO, R. Fontes alternativas de nitrogênio para a cultura do milho. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n. 122, p. 12-14, 2008.

CHAVARRIA, G.; MELLO, N. de. Bactérias do gênero *Azospirillum* e sua relação com gramíneas. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo; n. 125, p. 38 - 43, 2011.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/gaos>. Acesso em: 04 de novembro de 2020.

DUETE, R. R. C. et al. Acúmulo de nitrogênio (¹⁵N) pelos grãos de milho em função da fonte nitrogenada em Latossolo Vermelho. **Bragantia**, vol. 68, no. 2, 2009.

ERNANI P. R. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. Lages: O Autor; 2008.

LOURENÇO, J.C. A evolução do agronegócio brasileiro no cenário atual. **Comunidade ADM**, p. 1-7, 2008.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic, 1995. 889 p.

MOTA, M. R.; SAGOI, L.; SCHENATTO, D. E.; GIORDANI, W.; BONIATTI, C. M.; DALL'IGNA, L. Fontes estabilizadas de nitrogênio como alternativa para aumentar o rendimento de grãos e a eficiência de uso do nitrogênio pelo milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 512-522, 2015.

SANGOI, L.; SILVA, L. M. M. da; MOTA, M. R.; PANISON, F.; SCHMITT, A.; SOUZA, N. M. de; GIORDANI, W.; SCHENATTO, D. E. Desempenho agrônômico do milho em razão do tratamento de sementes com *azospirillum sp.* e da aplicação de doses de nitrogênio mineral. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1141-1150, 2015.

SILVA, E. C.; MURAOKA, T.; FRANZINI, V. I.; SAKADEVAN, K.; BUZETTI, S.; ARF, O.; BENDASSOLLI, J. A.; SOARES, F. A. L. Use of nitrogen from fertilizer and cover crops by upland rice in an Oxisol under no-tillage in the Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 6, p.728-737, 2016.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Eds). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica/Embrapa-CPA, 2004. 416 p.

VARGAS V. P. **Manejo da adubação nitrogenada na recuperação de estresses em milho** [dissertação]. Lages: Universidade do Estado de Santa Catarina; 2010.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o efeito de diferentes fontes (nitrato de amônio e ureia) e doses de nitrogênio no desempenho vegetativo, na produtividade da cultura do milho e no acúmulo de nutrientes na planta.

2.2 Objetivos Específicos

Avaliar o efeito de diferentes doses e fontes de nitrogênio no desempenho vegetativo, nos componentes de produção do milho e na produtividade do milho;

Avaliar o estado nutricional da planta de milho, na época do florescimento, em função de diferentes doses e fontes de nitrogênio;

Avaliar a extração (grãos + palhada), a exportação (grãos) e o retorno de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) ao solo (palhada) pela cultura do milho.

3 CAPÍTULO I

DESEMPENHO E PRODUÇÃO DE GRÃOS PELA CULTURA DO MILHO EM FUNÇÃO DE DOSES E FONTES DE NITROGÊNIO

RESUMO

Os inadequados níveis associados ao manejo incorreto do nitrogênio (N) são uns dos fatores responsáveis por baixas produtividades da cultura do milho, enquanto no Brasil a quantidade utilizada de N nessa cultura é, em média, de 60 kg ha⁻¹, nos EUA é de 150 kg ha⁻¹ e na China, de 130 kg ha⁻¹. Na busca de aumentar a eficiência da adubação nitrogenada e reduzir as perdas de N, em especial por volatilização, várias práticas têm sido sugeridas. Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar o desempenho vegetativo e a produtividade do milho em resposta à aplicação de doses de N em cobertura, na forma de nitrato de amônio e de ureia. O delineamento experimental em blocos ao acaso, com 10 tratamentos e três repetições, dispostos em esquema fatorial 5x2. Os tratamentos compreenderam cinco doses de N: 0, 40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹ e duas fontes de N: nitrato de amônio (33% de N) e ureia (45% de N). Avaliou-se a altura de planta; diâmetro de colmo; massa seca da palhada; comprimento de espiga; diâmetro de

espiga; comprimento de sabugo; diâmetro de sabugo; número de fileiras de grãos; número de grãos por fileira; número de grãos por espiga; tamanho do grão; peso de mil grãos e produtividade. Independentemente da fonte de N empregada, a produtividade de grãos de milho apresentou acréscimo até a dose de 160 kg de N ha⁻¹.

Palavras-chave: *Zea mays* L., adubação nitrogenada, nitrato de amônio, ureia, produtividade.

ABSTRACT

PERFORMANCE AND GRAIN PRODUCTION BY MAIZE CULTURE ACCORDING TO NITROGEN RATES AND SOURCES

Inadequate levels associated with incorrect nitrogen (N) management are one of the factors responsible for low maize yields, while in Brazil the amount of N used in this crop is, on average, 60 kg ha⁻¹, in the USA it is 150 kg ha⁻¹ and in China 130 kg ha⁻¹. In order to increase the efficiency of nitrogen fertilization and reduce N losses, especially through volatilization, several practices have been suggested. Thus, the present study aimed to evaluate the vegetative performance and productivity of maize in response to the application of N rates in cover, in the form of ammonium nitrate and urea. The experimental design was in randomized blocks, with 10 treatments and three replications, arranged in a 5x2 factorial scheme. The treatments comprised five rates of N: 0, 40, 80, 120 and 160 kg ha⁻¹ and two sources of N: ammonium nitrate (33% N) and urea (45% N). The plant height was evaluated, stem diameter, dry straw mass, ear length, ear diameter, cob length, cob diameter, number of grains rows, number of grains per row, number of grain per ear, grain size, thousand grain weight and productivity. Regardless of the N source employed, the productivity of maize grains increased until the rate of 160 kg ha⁻¹.

Keywords: *Zea mays* L., nitrogen fertilization, ammonium nitrate, urea, productivity.

3.1 INTRODUÇÃO

O milho é o principal cereal produzido no Brasil e é cultivado a cerca de 18,5 milhões de hectares, com produção de aproximadamente 105 milhões de toneladas de

grãos, e produtividade média de 5,69 toneladas por hectare, considerando a primeira e a segunda safra “safrinha” (CONAB, 2020). A cultura de milho é de grande importância socioeconômica para o país, cujo cereal é largamente utilizado na alimentação humana e animal, sobretudo na confecção de rações. Além disso, o milho e seus derivados constituem-se em matéria-prima para vários segmentos da indústria, como por exemplo, farmacêutica, têxtil, bebidas, cosméticos, papéis, curtumes, colas, dentre outras (EMBRAPA, 2018). O baixo consumo e o manejo incorreto do nitrogênio (N) são uns dos fatores responsáveis por baixas produtividades dessa cultura (AMADO et al., 2002; SANGOI et al., 2015). Enquanto no Brasil a quantidade utilizada de N no milho é, em média, de 60 kg ha⁻¹, nos EUA é de 150 kg ha⁻¹ e na China, de 130 kg ha⁻¹. (INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION, 2008). O presente trabalho tem como hipótese que a fonte nitrato de amônio pode apresentar eficiência na produção de milho tanto quanto a fonte ureia, trazendo também outras dinâmicas como a menor volatilização do N.

O N é o nutriente absorvido e exportado em maior quantidade pelo o milho, o que mais onera no custo de produção da cultura, o de maior dificuldade para avaliar sua disponibilidade no solo e o de manejo mais complexo, decorrente das múltiplas reações a que está sujeito, mediadas por microrganismos e afetadas por fatores climáticos de difícil previsão (CANTARELLA e DUARTE, 2004). Além disso, o N, quando manejado inadequadamente, pode causar contaminação dos recursos hídricos por nitrato (BAIRD, 2002).

A obtenção de altas produtividades de milho é diretamente dependente de elevadas doses de N (AMADO et al., 2002; SOUSA e LOBATO, 2004; SILVA et al., 2009). De acordo com Gazola et al. (2014) o N tem grande importância no metabolismo da planta, uma vez que participa de inúmeras rotas metabólicas que possuem alta importância para as plantas, pois é constituinte de enzimas, coenzimas, ácidos nucleicos, molécula de clorofila; assim, atua nos processos de fotossíntese e de divisão e expansão celular. Dentre os nutrientes, quando se busca maiores níveis produtivos, o milho possui dependência nutricional principalmente de N (CANCELIER, 2011).

Geralmente, o sistema de cultivo, o tipo de fertilizantes, as formas de manejo e as condições edáficas e climáticas, são os principais fatores que influenciam na dinâmica do N no sistema solo-planta (SANTOS et al., 2010). As principais fontes nitrogenadas estão sujeitas à lixiviação, cujas perdas de N dependem do tipo de solo, do local, da precipitação

pluvial, da época de aplicação, da fonte nitrogenada e do sistema de cultivo (KAPPES et al., 2013).

Normalmente, a baixa produtividade do milho e de outros cereais está relacionada a diversos fatores, destacando-se o baixo aproveitamento do N de fertilizantes. Neste contexto, estudos demonstraram que o aumento de 1% no aproveitamento do N dos fertilizantes minerais pelos cereais representaria uma economia no mundo de quase 235 milhões de dólares (SILVA et al., 2009). A baixa eficiência dos fertilizantes nitrogenados utilizados tem sido atribuída, principalmente às perdas por volatilização de amônia, e pela lixiviação de nitrato, o que resulta no maior gasto em fertilizantes e com mão de obra (GOTT, 2014).

O fertilizante ureia é a fonte nitrogenada mais utilizada em cultivos agrícolas no Brasil e no mundo; no entanto, é susceptível a perdas por volatilização de até 60% do nitrogênio aplicado, na forma de NH_3 (DUTTA et al., 2016). Já para o nitrato oriundo dos fertilizantes, no Brasil é estimado que existam perdas por lixiviação que excedem 10-15 kg ha^{-1} por ano (ROSOLEM et al., 2017). De acordo com Omara et al. (2019), a lixiviação do nitrato ocorre, principalmente em solos arenosos que são mais permeáveis, e também em solos que apresentam mais cargas negativas que acabam não retendo os íons nitrato.

Na busca de aumentar a eficiência da adubação nitrogenada e reduzir as perdas de N por volatilização várias práticas têm sido sugeridas, desde a incorporação da ureia mecanicamente ao solo, emprego da irrigação, e a substituição da mesma por outras fontes nitrogenadas que apresentam menor potencial de perda de N por esse processo (HENNECKA et al., 2015). Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar o desempenho vegetativo e a produtividade do milho em resposta à aplicação de doses de N em cobertura, na forma de nitrato de amônio (NA) e de ureia (U).

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de campo, na área experimental do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. As coordenadas geográficas do local de instalação são 17°48'28" S e 50°53'57" O, com altitude média de 720 m ao nível do mar. O clima da região é classificado conforme Köppen e Geiger (1928), como Aw (tropical), com chuva nos meses de outubro a maio, e com seca nos meses de junho a setembro. A

temperatura média anual de 20 a 35°C e as precipitações variam de 1.500 a 1.800 mm anuais e o relevo é suave ondulado (6% de declividade).

A precipitação pluvial ocorrida durante os meses de cultivo do milho na safra 2018/19: novembro (267,30 mm); dezembro (241,20 mm); janeiro (182,30 mm); fevereiro (186,70 mm), conforme Figura 1.

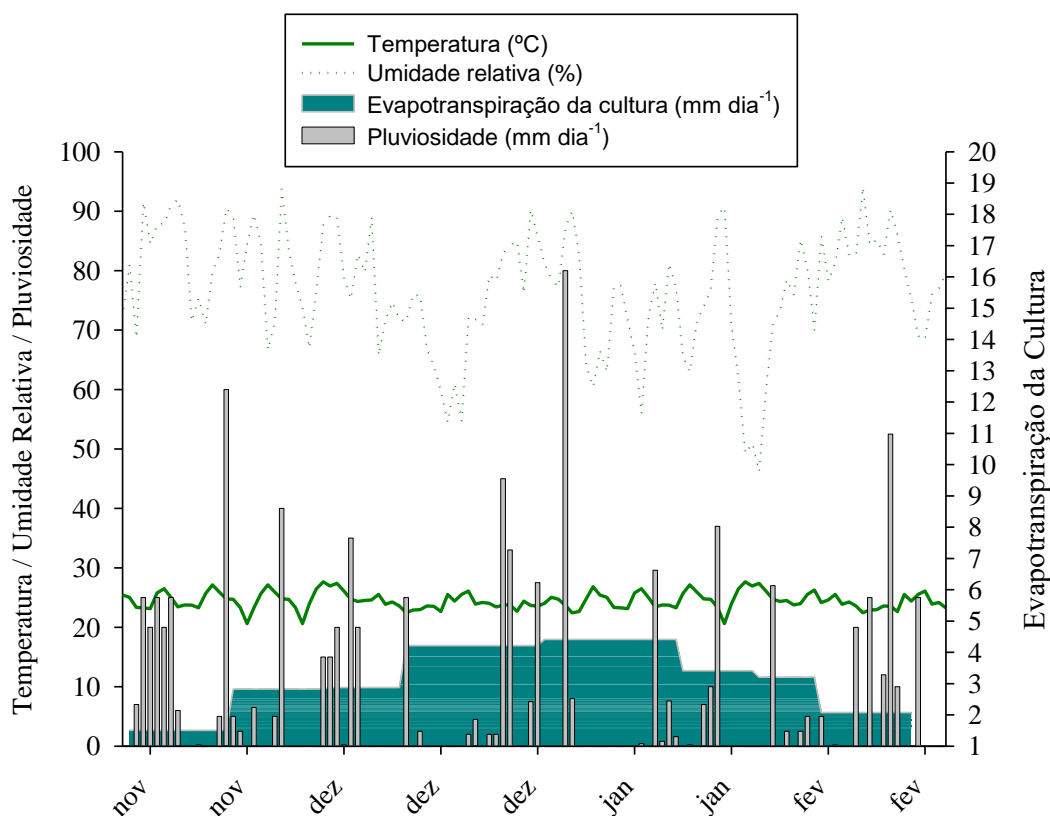


Figura 1. Dados meteorológicos do município de Rio Verde e a evapotranspiração da cultura no período decorrente do experimento (Milho safra 2018/19).

Fonte: Estação Normal INMET – Rio Verde – GO, Brasil. Pluviômetro instalado na área de cultivo.

O solo utilizado é classificado como Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), fase Cerrado, de textura argilosa (SANTOS et al., 2018). A área apresenta um histórico de vários anos com cultivo de *Brachiaria decumbens*, seguido de culturas anuais, tendo sido cultivada com milho no ano agrícola precedente.

Antes da instalação do experimento, foram coletadas amostras da camada de 0,0-0,20 m de profundidade para a caracterização química e granulométrica, que foram

analisadas conforme metodologias descritas em Teixeira et al. (2017), cujos resultados se encontram na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados da análise físico-química do solo, coletado na camada de 0,00 - 0,20 m de profundidade, antes da implantação do experimento.

Ca	Mg	Ca+Mg	Al	H+Al	K	K	S	P	CaCl ₂
----- mmol _c dm ⁻³ -----					----- mg dm ⁻³ -----			pH	
17	10	27	0,03	1	2,7	126	6,0	7	4,8
Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B	CTC	SB	V%	m%
----- Micronutrientes (mg dm ⁻³) -----					mmol dm ⁻³		Sat. Bases		Sat. Al
1,0	21,4	22,52	4,25	1,13	0,09	71,7	29,7	41	3
Textura (g kg ⁻¹)			M.O.	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	Ca/CTC	Mg/CTC	K/CTC
Argila	Silte	Areia	g dm ⁻³	----- Relação entre bases -----					
420	148	432	44	1,7	6,3	3,7	24	14	3

P (res), K, Na, Cu, Fe, Mn e Zn (Melich 1); Ca, Mg, e Al (KCl 1N); S (Ca(H₂PO₄)₂ em HOAc); M.O. (Método colorimétrico); B (BaCl₂).

Com base nos resultados da análise de solo, realizou-se a calagem do solo, mediante a distribuição de calcário dolomítico, na dosagem de 2,0 t ha⁻¹, com intuito de elevar a saturação por bases 60% (Sousa & Lobato, 2004). O corretivo foi aplicado na superfície do solo, por meio de distribuidora de calcário tratorizada.

O experimento foi conduzido no delineamento experimental em blocos ao acaso, com 10 tratamentos e três repetições, em esquema fatorial 5x2. Os tratamentos compreenderam cinco doses de N: 0, 40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹ e duas fontes de N: nitrato de amônio (33% de N) e ureia (45% de N). As parcelas foram constituídas por cinco linhas de milho de 5 m de comprimento, espaçadas de 0,45 m entre si, constituindo 11,25 m² por parcela. A área útil da parcela abrangeu as três linhas centrais de cada parcela, desprezando-se 1 m em cada extremidade.

Todos os tratamentos foram adubados no sulco de semeadura com 80 kg ha⁻¹ de fósforo (P₂O₅), na forma de superfosfato triplo, 60 kg ha⁻¹ de potássio (K₂O), na forma de cloreto de potássio, e micronutrientes, conforme resultados da análise de solo (Tabela 1)

para uma expectativa de rendimento de 12 t ha^{-1} de grãos, segundo recomendações de Sousa e Lobato (2004). A adubação nitrogenada de cobertura foi aplicada no estágio fenológico de quatro folhas expandidas, cujas doses foram de acordo com os respectivos tratamentos.

O sistema cultivo adotado foi o de plantio direto, cuja semeadura do milho “safra” (ou “verão”) foi realizada mecanicamente, distribuindo-se 3,5 sementes por metro linear de sulco, resultando em $77.777 \text{ plantas ha}^{-1}$ do híbrido SYN 555, que compreende um híbrido simples de alto potencial produtivo e recomendado para as condições edáficas e climáticas da região. Os tratamentos culturais referentes ao uso de herbicidas, inseticidas, fungicidas e demais produtos relacionados com o controle de plantas invasoras, pragas e doenças, quando necessários, foram utilizados conforme a necessidade e avaliação de infestação.

Avaliou-se a altura de planta (AP), com auxílio de uma régua graduada, medindo-se a distância entre o colo da planta e a inserção da última folha; O diâmetro de colmo (DC), com auxílio de um paquímetro digital no terceiro entrenó acima do nível do solo; massa seca da palhada (MSP) comprimento de espiga (CE); diâmetro de espiga (DE); comprimento de sabugo (CS); diâmetro de sabugo (DS); número de fileiras de grãos (NF); número de grãos por fileira (GF); número de grãos por espiga (NGE) (resultado da multiplicação entre NF e GF); tamanho do grão (TG) (resultado da subtração entre DE e DS); peso de mil grãos (PMG) e produtividade (PROD), cujas avaliações foram realizadas no momento da colheita. As variáveis PMG e PROD foram realizadas com os grãos apresentando umidade igual a 14%.

As avaliações foram realizadas coletando-se três plantas ao acaso dentro das áreas úteis de cada parcela, exceto para a colheita dos grãos, em que foram coletados três linhas de três metros lineares de cada parcela, realizando a avaliação de umidade e trilhagem dos grãos, seguida de pesagem, possibilitando assim, o cálculo da produtividade de grãos por hectare.

Os dados das variáveis de resposta foram submetidos à análise de variância através da aplicação do teste F ao nível de 1 e 5% de probabilidade, realizando o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para diferença entre as fontes. Para variáveis quantitativas, no caso as doses de N, foram ajustadas equações de regressão, considerando-se as respectivas doses de N. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio dos softwares SAS 9.2 (SAS INSTITUTE, 2009) e R Core Team (2017).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis diâmetro de colmo (DC) e massa seca de palhada (MSP), não apresentaram diferenças significativas em função dos tratamentos, tanto para as fontes quanto para as doses de N avaliadas. Para o DC é resultado esperado, já que a aplicação foi de cobertura, uma vez que na fase de crescimento vegetativo há maior demanda de N para a produção de tecidos na planta (SCHIAVINATTI et al., 2011). Já a MSP apresentou resultado diferente ao encontrado por Silva et al. (2013), que observaram influência das doses de N no acúmulo da matéria seca da palhada. A altura de plantas (AP) foi maior quando se aplicou a fonte ureia (U) para as doses de 80 e 160 kg de nitrogênio (N) ha⁻¹, na ordem de 15,31 e 8,57%, respectivamente, quando comparadas à fonte nitrato de amônio (NA), como se observa na Tabela 2. Em estudo também com a cultura do milho, Scudeler et al. (2011), não observaram diferenças entre NA e U para a altura de plantas.

Tabela 2. Altura de planta (AP), comprimento de espiga (CE), diâmetro de espiga (DE), comprimento de sabugo (CS), número de grãos por fileira (GF), número de grãos por espiga (NGE), tamanho do grão (TG) e produtividade de grãos (PROD) do milho sob a aplicação de nitrato de amônio (NA) e ureia (U) para as doses de 0, 40, 80, 120 e 160 kg de nitrogênio ha⁻¹.

FN ¹	AP					CE				
	0	40	80	120	160	0	40	80	120	160
	m					cm				
NA	1,70a	2,02a	1,77b	2,10a	1,92b	14,67a	17,32a	16,42b	17,54a	17,87a
U	1,70a	1,964a	2,09a	2,05a	2,10a	14,67a	17,55a	17,99a	17,17a	17,50a
	DE					CS				
	0	40	80	120	160	0	40	80	120	160
	mm					cm				
NA	40,28a	46,12a	45,34a	46,16a	43,95b	16,67a	15,00b	17,60a	17,00a	17,17a
U	40,28a	40,29b	47,75a	46,82a	47,34a	16,67a	16,87a	17,93a	17,53a	14,80b
	GF					NGE				
	0	40	80	120	160	0	40	80	120	160
NA	33,33a	27,33b	34a	32,00a	35,33a	422,67a	382,67b	430,67a	454,00a	446,67a
U	33,33a	35,33a	35,67a	32,33a	32,00b	410,67a	520,00a	496,00a	490,67a	384,00a
	TG					PROD				
	0	40	80	120	160	0	40	80	120	160
	mm					Toneladas ha ⁻¹				
NA	7,10a	9,89a	9,04b	8,69b	8,37b	7,72a	8,50a	10,13a	12,23a	13,60a

U	7,10a	6,85b	10,52a	10,47a	11,46a	7,72a	7,99a	8,43b	12,55a	13,75a
---	-------	-------	--------	--------	--------	-------	-------	-------	--------	--------

¹Fonte de nitrogênio (FN); nitrato de amônio (NA); ureia (U). Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si segundo teste Tukey a 5% de probabilidade.

A fonte U proporcionou maior comprimento de espiga (CE) comparada à fonte NA, na dose de 80 kg de N ha⁻¹, na ordem de 8,73%. Enquanto o diâmetro de espiga (DE) para a dose de 40 kg de N ha⁻¹ foi maior com o uso da fonte NA, na ordem de 12,64%; já para a dose de 160 kg de N ha⁻¹, o DE foi maior para a fonte U, na ordem de 7,16%.

O comprimento de sabugo (CS) foi maior para a fonte U na dose de 40 kg de N ha⁻¹, na ordem de 11,08%; enquanto para a dose de 160 kg de N ha⁻¹ o NA proporcionou o maior CS, sendo este na ordem de 13,80%. A fonte U proporcionou maior número de grãos por fileira (GF) para a dose de 80 kg de N ha⁻¹, na ordem de 22,65%, já para a dose de 160 kg de N ha⁻¹, a fonte NA que apresentou maior GF, sendo este na ordem de 9,42% a mais que U.

Na dose de 40 kg de N ha⁻¹, a fonte U foi 26,41% superior à NA para o número de grãos por espiga (NGE). Para a variável tamanho do grão (TG), o NA foi superior à U para a dose de 40 kg de N ha⁻¹ na ordem de 30,74%, enquanto para as doses de 80, 120 e 160 kg de N ha⁻¹ a U proporcionou maior TG, na ordem de 14,07, 17 e 26,96%, respectivamente.

A fonte NA apresentou maior produtividade de grãos (PROD) que a U para a dose de 80 kg de N ha⁻¹, na ordem de 31,07%, para as demais doses não foram observadas diferenças significativas entre as distintas fontes de N. As diferenças observadas entre as fontes para as variáveis AP, CE, DE, CS, GF, NGE, TG e PROD, provavelmente estão ligadas à dinâmica do N no solo e de sua absorção e assimilação para cada fonte. Além disso, vale ressaltar que o alto teor de matéria orgânica também aumenta a disponibilidade de N no solo.

Como observado na Tabela 2, as variáveis ligadas aos componentes de produtividade CE, DE, NGE e PROD para a dose de 160 kg ha⁻¹ não apresentaram diferenças entre as fontes, efeito, provavelmente, causado pela presença de chuva na semana da aplicação da cobertura com NA e U, em que houve precipitação de 50 mm, cujas fontes foram aplicadas no mesmo período, isto é, no estágio vegetativo de quatro folhas expandidas, reduzindo, assim, possíveis perdas por volatilização, principalmente da ureia. Schivinatti et al. (2011) também observaram a ausência de diferenças entre fontes nitrogenadas, no caso por utilização da irrigação após a aplicação, o que reduziu perdas de N por volatilização de amônia.

A AP do milho em função das doses de 0, 40, 80, 120 e 160 kg de N ha⁻¹, para as fontes U e NA, se adequou ao modelo de regressão quadrática, com R² de 94,26% para a fonte U, apresentando acréscimo até a dose de 106 kg de N ha⁻¹, em que a AP foi igual a 2,06 m (Figura 2).

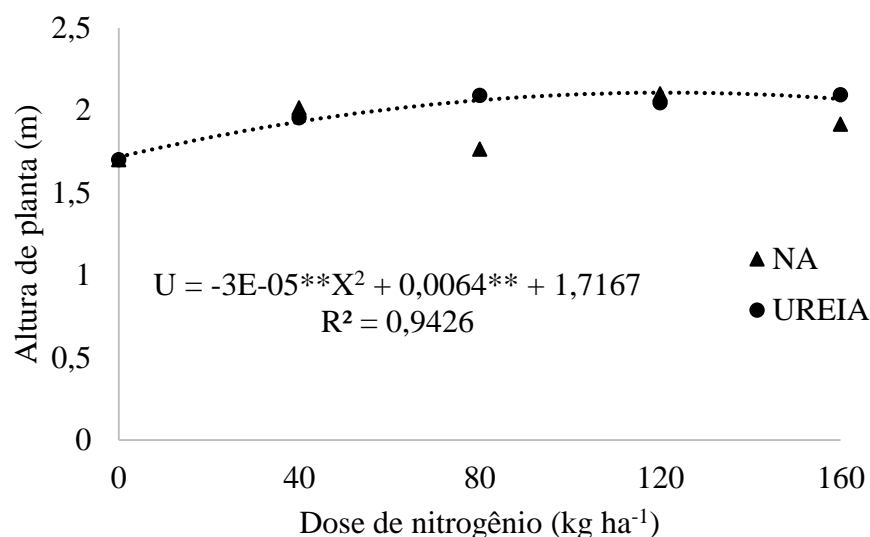


Figura 2. Altura de planta de milho em função das doses de nitrogênio, para as fontes nitrato de amônio (NA) e ureia (U).

Os dados de altura de planta, quando do uso da fonte NA não se adequaram a nenhum dos modelos estudados, como observado na Figura 2. A AP apresentou acréscimo para as doses quando comparada com a dose de 0 kg de N ha⁻¹, corroborando com Spósito (2018) que afirma que altas concentrações de N estimulam o maior desenvolvimento das plantas. Na planta o N é responsável pela formação de novas células e tecidos, refletindo no maior crescimento das plantas (MEDEIROS, 2018), o nutriente é constituinte da molécula de clorofila, atuando no processo de fotossíntese (MALAVOLTA et al., 1997). Respostas contrastantes ao do presente estudo foram observadas por Biscaro et al. (2011), que não observaram efeito significativo das doses de N sobre a altura de plantas, podendo estar relacionado ao potencial de suprimento de N do ambiente de cultivo.

O Comprimento de espiga (CE) do milho em função das doses de 0, 40, 80, 120 e 160 kg de N ha⁻¹, para as fontes NA e U, adequou-se ao modelo de regressão quadrática,

com R^2 de 73,35% para a fonte NA, apresentando acréscimo a cada dose, sendo estimada a maior dose de 150,70 kg de N ha^{-1} , que representa CE máximo de 18,11 cm, como observa-se na Figura 3A.

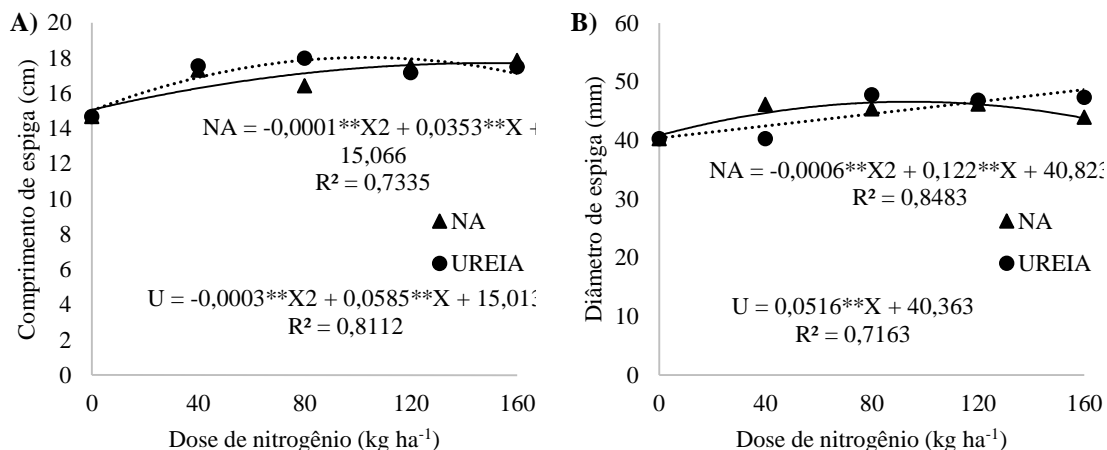


Figura 3. Comprimento de espiga (A) e diâmetro de espiga (B) do milho em função das doses de nitrogênio, para as fontes nitrato de amônio (NA) e ureia (U).

Os dados de CE com o uso da fonte U em função das doses de N se adequou ao modelo de regressão quadrática, com R^2 igual a 81,12%, apresentando maior CE para a dose de 97,5 kg de N ha^{-1} , sendo este 17,86 cm. O DE do milho em função das doses de 0, 40, 80, 120 e 160 kg de N ha^{-1} , para as fontes NA e U se adequou ao modelo de regressão quadrática, com R^2 de 84,83% para a fonte NA e 71,63 para a fonte U, apresentando acréscimo até a dose máxima de 101,67 kg de N ha^{-1} , com o DE de 47,02 mm, como mostra na Figura 3B.

De acordo com a Figura 3B, o DE em função das doses de N para a fonte U se adequou ao modelo de regressão linear, com R^2 igual a 71,63%, apresentando maior DE para a dose de 160 kg de N ha^{-1} , sendo este 48,62 mm. O acréscimo observado de 16,98, 12,74, 8,49 e 4,25% em relação com as doses de 0, 40, 80 e 120 kg de N ha^{-1} , respectivamente. Goes et al. (2013) observaram o mesmo comportamento quadrático para o DE, com maior DE para a dose de 95 kg de N ha^{-1} , porém, não houve diferenças entre as fontes ureia e sulfato de amônio.

O comprimento de sabugo (CS) do milho em função das doses de 0, 40, 80, 120 e 160 kg de N ha⁻¹, para as fontes NA e U, a fonte de NA não se adequou a nenhum dos modelos testados (Figura 4A).

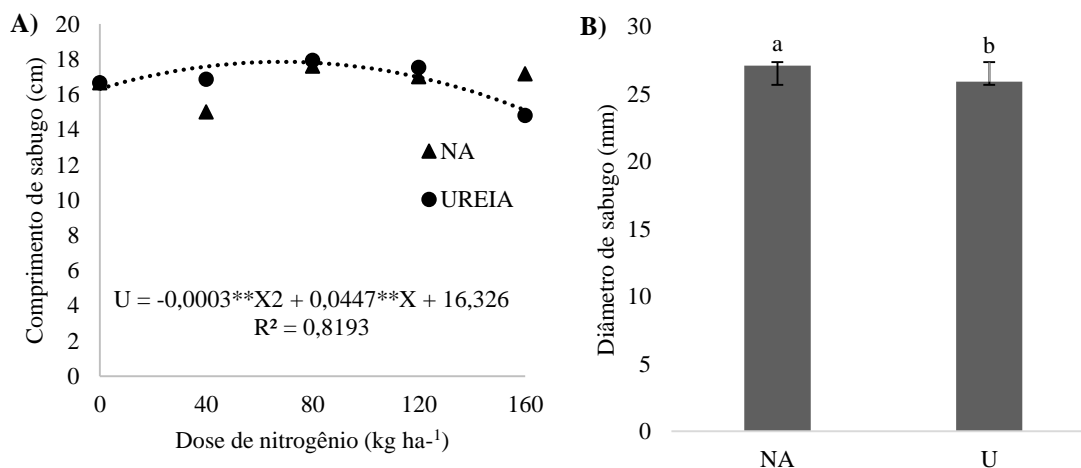


Figura 4. Comprimento de sabugo (A) e diâmetro de sabugo (B) de milho em função das doses de nitrogênio, para as fontes nitrato de amônio (NA) e ureia (U).

Os dados de CS com o uso da fonte U em função das doses de N se adequou ao modelo de regressão quadrática, com R^2 igual a 81,93%, apresentando maior CS para a dose de 74,5 kg de N ha⁻¹, sendo este 17,9 cm. O diâmetro de sabugo (DS) foi maior com uso da fonte NA, na ordem de 4,39% em relação à fonte U (Figura 4B).

O número de fileiras de grãos de milho (NF) apresentou diferença apenas entre as doses de N. O NF em função das doses 0, 40, 80, 120 e 160 kg de N ha⁻¹, não se adequou a nenhum dos modelos estudados (Figura 5A). O número de grãos por fileira (GF) em função das doses 0, 40, 80, 120 e 160 kg de N ha⁻¹, não se adequou a nenhum dos modelos estudados (Figura 5B). Goes et al. (2013) observaram para o número de fileiras de grãos por espiga e número de grãos por fileira os melhores resultados para as doses de 103,5 e 80,6 kg de N ha⁻¹, respectivamente.

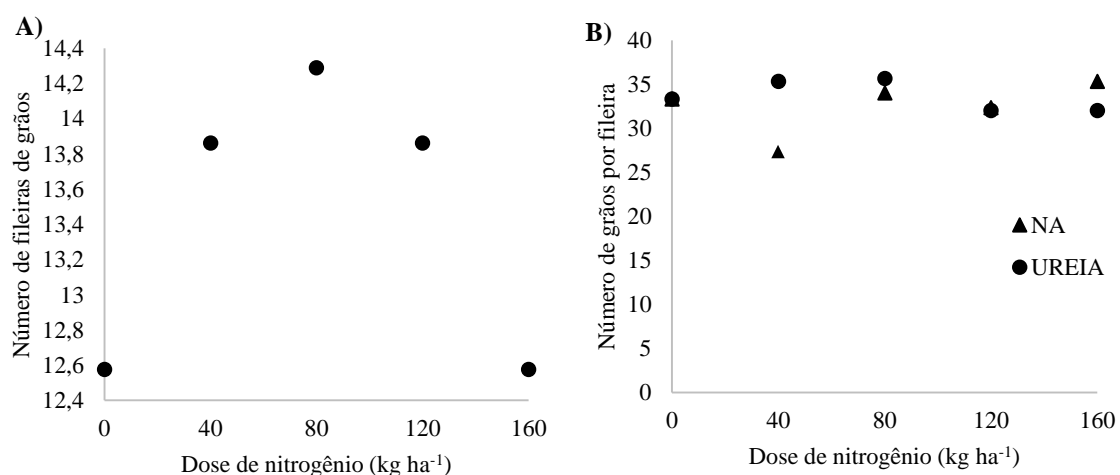


Figura 5. Número de fileiras de grãos (A) e número de grãos por fileira na espiga (B) de milho em função das doses de nitrogênio.

Os dados de número de grãos por espiga (NGE) com o uso da fonte NA não se adequou a nenhum dos modelos testados, em função das doses de N. Já com o uso da fonte U, os dados de NGE se adequaram ao modelo de regressão quadrática, apresentando R^2 de 91,75%, como pode ser observado na Figura 6.

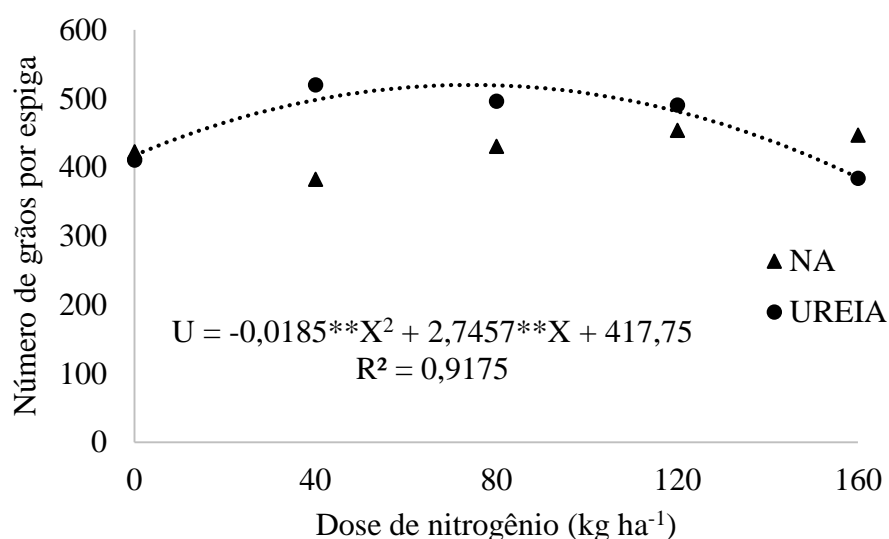


Figura 6. Número de grãos por espiga de milho em função das doses de nitrogênio para as fontes nitrato de amônio (NA) e ureia (U).

De acordo com a Figura 5, a fonte U apresentou acréscimo até a dose de 74,21 kg de N ha⁻¹, apresentando 519,63 NGE. Souza et al. (2011), também observaram diferenças para as doses de N no número de grãos por espiga.

O tamanho do grão (TG) de milho com o uso da fonte U se adequou ao modelo de regressão linear, com R² igual a 82,87%; enquanto com o uso da fonte NA, o TG não se adequou a nenhum dos modelos estudados (Figura 7).

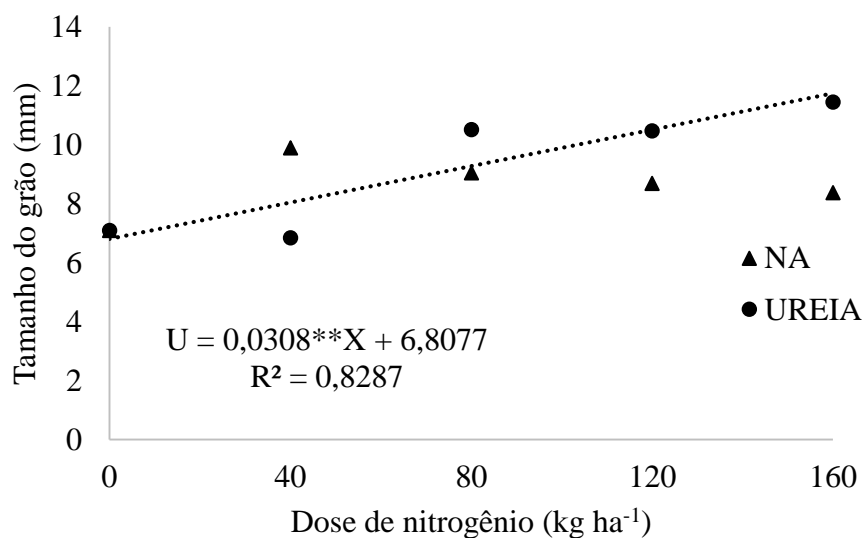


Figura 7. Tamanho do grão do milho em função das doses de nitrogênio para as fontes nitrato de amônio (NA) e ureia (U).

O TG apresentado na Figura 7, para a fonte U apresentou acréscimo de acordo com o aumento da dose de N ha⁻¹, até a dose de 160 kg de N ha⁻¹, e apresentou o TG igual a 13,18 mm, acréscimo esse na ordem de 93,54, 56,86, 31,86 e 13,74% superior às doses de 0, 40, 80 e 120 kg de N ha⁻¹, respectivamente.

O peso de mil grãos (PMG) foi maior para a fonte U, na ordem de 2,53%, Figura 8A.

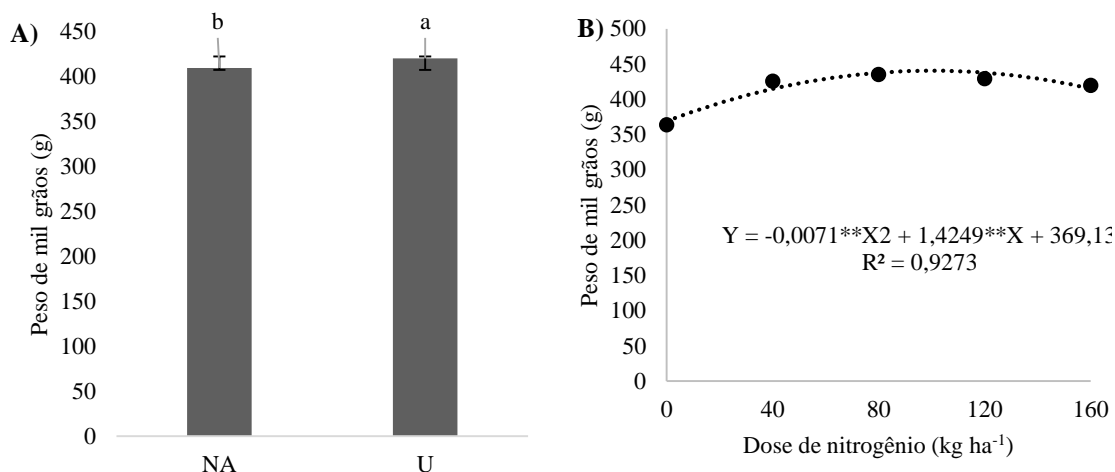


Figura 8. Peso de mil grãos (PMG) de milho em função das fontes nitrato de amônio (NA) e ureia (U) (A) e PMG em função das doses de nitrogênio por hectare (B).

O PMG em função das doses 0, 40, 80, 120 e 160 kg de N ha⁻¹ se adequou ao modelo de regressão quadrática, com R² igual a 92,73%, apresentando acréscimo até a dose máxima de 100,34 kg de N ha⁻¹, e apresentou PMG igual a 441,63 gramas (Figura 7B). Os resultados obtidos no presente estudo diferem dos obtidos por Gomes et al. (2007), que não observaram diferenças em função das doses de N para o peso de mil grãos.

A produtividade (PROD) em função das doses de 0, 40, 80, 120 e 160 kg de N ha⁻¹, quando o uso das fontes NA e U se adequou ao modelo de regressão linear, com R² de 98,16% para a fonte NA, apresentando acréscimo até a PROD de 13.535,4 kg ha⁻¹ de milho para a dose de 160 kg de N ha⁻¹, sendo esse acréscimo na ordem de 75,36, 59,25, 33,57e 10,67% quando comparada com as doses de 0, 40, 80 e 120 kg de N ha⁻¹, respectivamente, como se pode observar na Figura 9.

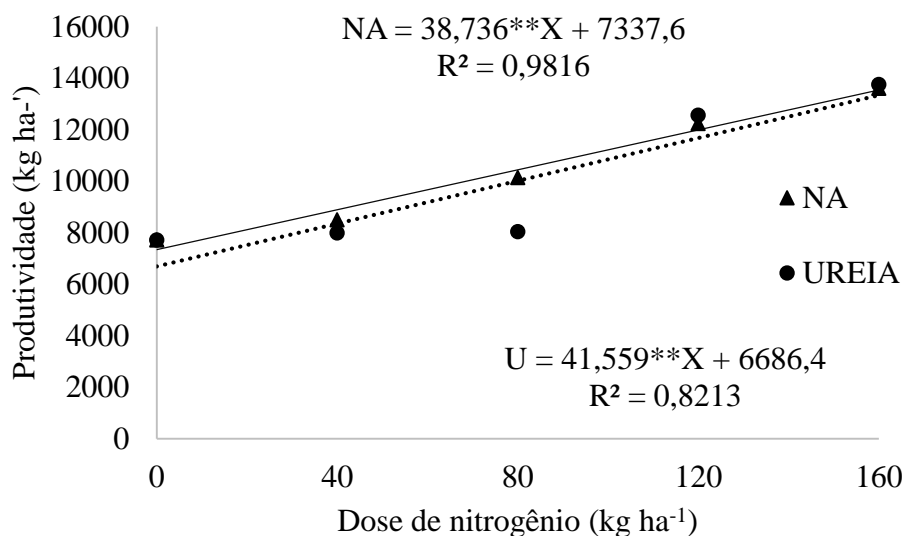


Figura 9. Produtividade do milho em função das doses de nitrogênio para as fontes nitrato de amônio (NA) e ureia (U).

De acordo com a Figura 9, a produtividade de grãos de milho em função do uso de doses de N da fonte U se adequou ao modelo de regressão linear, com R^2 igual a 82,13%, apresentando acréscimo até a PROD de 13.335,8 kg ha⁻¹ de milho para a dose de 160 kg de N ha⁻¹, sendo esse acréscimo na ordem de 99,45, 59,73, 33,21 e 14,24% quando comparada com as doses de 0, 40, 80 e 120 kg de N ha⁻¹, respectivamente. Fidelis et al. (2007) observaram que doses de 120 kg ha⁻¹ proporcionam a maior produtividade de milho, resultados diferentes dos observados neste estudo. Não houve diferença na produtividade entre as fontes estudadas, corroborando com Duete et al. (2009), que não observaram diferença na produtividade para as fontes ureia e nitrato de amônio.

O aumento da PROD associado ao aumento da dose de N por hectare, corrobora com Cancellier (2011), que afirma que o principal nutriente para atingir altas produtividades é o N. E com a afirmação de Moreira et al. (2019), que o acréscimo da produtividade do milho está aliado ao aumento nutricional, cujo N é o nutriente mais absorvido e extraído pela cultura. De acordo com Coelho e França (1995) e Von Pinho et al. (2009), que afirmam que a extração total de N se situa entre 216 e 362 kg ha⁻¹ para produtividades entre 10.000 a 14.000 kg ha⁻¹ de grãos.

O estudo evidencia a importância da adubação nitrogenada para a cultura do milho, em virtude de as fontes nitrato de amônio e ureia. Observou-se diferença entre a dinâmica das fontes, que nas menores doses a fonte nitrato de amônio quando apresentava

diferenças era superior a fonte ureia, enquanto isso, a fonte ureia quando aumentava a dose tinha tendência de ser maior que a fonte nitrato de amônio, em algumas das variáveis estudadas. A fonte nitrato de amônio apresentou produtividade máxima igual a fonte ureia, porém, as condições climáticas foram ideais para a utilização da fonte ureia, pois houve precipitação no período da aplicação, levando a fonte ureia a não apresentar volatilização, quando o avaliado é a produção de milho segunda safra “safrinha”, as condições de precipitação nem sempre são adequadas para a utilização da ureia, em que a fonte nitrato de amônio que não sofre volatilização e não depende de precipitação para ser eficiente pode se apresentar como fonte mais viável.

3.4 CONCLUSÕES

As fontes nitrato de amônio e ureia não apresentam diferenças entre as variáveis avaliadas, exceto para as variáveis diâmetro de sabugo, em que a fonte nitrato de amônio apresenta maior diâmetro de sabugo, enquanto para a variável peso de mil grãos a fonte ureia apresenta maior peso de mil grãos, sendo o maior peso de mil grãos para a dose de 100,34 kg de N ha⁻¹.

O milho apresenta maior altura de planta para a dose de 106 kg de N ha⁻¹. O diâmetro do colmo e a massa seca da palhada, não apresenta diferenças em função das fontes nitrato de amônio e ureia, e também não há diferença em função das doses de 0, 40, 80, 120 e 160 kg de N ha⁻¹.

Independentemente da fonte de N empregada, a produtividade de grãos de milho apresenta acréscimo até a dose de 160 kg de N ha⁻¹. A fonte nitrato de amônio é tão eficiente no rendimento da cultura do milho, quanto a fonte ureia, isto deixa em aberto a escolha entre as fontes, por questões de logística e/ou econômicas. Também, torna interessante o surgimento de trabalhos avaliando a época de aplicação das duas fontes e a avaliação do comportamento das fontes quando não houver precipitação ou irrigação, após a aplicação via cobertura das duas fontes.

3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMADO, T.J.C.; MILNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.241-248, 2002.

BAIRD, C. **Química ambiental**. 2^{da} ed. Porto Alegre: Bookman, 2002, 622p.

BISCARO, G. A.; MOTOMIYA, A. V. A.; RANZI, R.; VAZ, M. A. B.; PRADO, E. A. F.; SILVEIRA, B. L. R. *Desempenho do milho safrinha irrigado submetido a diferentes doses de nitrogênio via solo e foliar*. **Agrarian**, Dourados, v. 4, n. 11, p. 10-19, 2011.

CANCELLIER, L. L.; AFFÉRI, F. S.; CARVALHO, E. V.; DOTTO, M. A.; LEÃO, F. F. Eficiência no uso de nitrogênio e correlação fenotípica em populações tropicais de milho no Tocantins. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, p. 139-148, 2011.

CANTARELLA, H.; DUARTE, A.P. Manejo da fertilidade do solo para a cultura do milho. In: GALVÃO, J.C.C.; MIRANDA, G.V. (Ed.). **Tecnologia de produção de milho**. Viçosa: UFV, 2004, cap.5, p.139-182

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. D. **Seja o Doutor do seu Milho**. Arquivo do agrônomo n°2 Potafos, 1995.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 04 de novembro de 2020.

DUETE, R. R. C. et al. Acúmulo de nitrogênio (15N) pelos grãos de milho em função da fonte nitrogenada em Latossolo Vermelho. **Bragantia**, vol. 68, no. 2, 2009.

DUTTA, B.; CONGREVES, K.A.; SMITH, W.N.; GRANT, B.B.; ROCHETTE, P.; CHANTIGNY, M.H.; DESJARDINS, R.L. Improving DNDC model to estimate ammonia loss from urea fertilizer application in temperate agroecosystems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Netherlands, v.106, p.275-292, 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA - EMBRAPA. **Sistemas diferenciais de cultivo.** Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONT000fy779fnj02wx5ok0pvo4k3nojxnsf.html#>>, 2018. Acesso em: 05 de julho de 2020.

FIDELIS, R.R.; MIRANDA, G.V.; SANTOS, I.C.; GALVÃO, J.C.C.; PELUZIO, J.M.; LIMA, S.O. Fontes de germoplasma de milho para estresse de baixo nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.37, p.147-153, 2007.

GAZOLA, D.; ZUCARELI, C.; SILVA, R.R.; FONSECA, I.C.B. Aplicação foliar de aminoácidos e adubação nitrogenada de cobertura na cultura do milho safrinha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.7, p.700-707, 2014.

GOES, R, J; et al. Características agronômicas e produtividade do milho sob fontes e doses de nitrogênio em cobertura no inverno. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 3, p. 250-259, 2013.

GOMES, R, F; et al. Efeito de doses e da época de aplicação de nitrogênio nos caracteres agronômicos da cultura do milho sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 31, no. 5, 2007.

GOTT, R. M.; SICHOKI, D.; AQUINO, L. A.; XAVIER, F. O.; SANTOS, L. P. D. dos; AQUINO, R. F. B. A. de. Fontes e épocas de aplicação de nitrogênio no milho safrinha, **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 1, p. 24-34, 2014.

INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION (Paris, França). **Fertilizer use by crop.** 5th ed. Disponível em: <<http://www.fertilizer.org/ifa/statistics.asp>> Acesso em: 19 jan. 2008.

HENNECKA, J.; BACK, D.; ZAMBIAZI, M.; PAVAN, D.; MARTINI, A.; FELDMANN, N.; RHODEN, A.; MÜHL, F. R. Diferentes estádios de aplicação e fontes de nitrogênio em milho. **2º Simpósio de Agronomia e Tecnologia em Alimentos**, 2015.

KAPPES, C.; ZANCANARO, L.; LOPES, A. A.; KOCH, C. V.; FUJIMOTO, G. da R.; FRANCISCO, E. A. B. Fontes e Doses de Nitrogênio na Cultura do Milho em Sistema de Semeadura Direta. **XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, Florianópolis-SC, 2013.

KÖPPEN, W. **Köppen climate classification**. Geography about. Available in: <<http://geography.about.com/library/weekly/aa011700b.htm>>. Access in: 15 May. 2020.
MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319p.

MEDEIROS, L. C. **Dinâmica do nitrogênio e potássio nos resíduos culturais de milho submetido à adubação mineral**. Dissertação (Ciência do Solo). Universidade Federal da Paraíba, Areia-PB, 2018.

MOREIRA, R. C.; VALADÃO, F. C. A.; JÚNIOR, D. D. V. Desempenho agrônomico do milho em função da inoculação com *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, 62, 2019.

OMARA, P.; AULA, L.; OYEBIYI, F.; RAUN, W.R. World Cereal Nitrogen Use Efficiency Trends: Review and Current Knowledge. **Agrosystems, Geosciences & Environment**, Madison, v.2, n.1, p.180045, 2019.

R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria, 2017. URL <https://www.R-project.org/>

ROSOLEM, C.A.; RITZ, K.; CANTARELLA, H.; GALDOS, M.V.; HAWKESFORD, M.J.; WHALLEY, W.R.; MOONEY, S.J. Enhanced plant rooting and crop system management for improved N use efficiency. **Advances in Agronomy**, Newark, v.146, p.205-239, 2017.

SANGOI, L.; SILVA, L. M. M. da; MOTA, M. R.; PANISON, F.; SCHMITT, A.; SOUZA, N. M. de; GIORDANI, W.; SCHENATTO, D. E. Desempenho agronômico do milho em razão do tratamento de sementes com *azospirillum sp.* e da aplicação de doses de nitrogênio mineral. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1141-1150, 2015.

SANTOS, H. G.; JACOMINE P. K. T; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F; COELHO, M. R; ALMEIDA, J. A; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa, 5 ed. ver. amp., 2018.

SANTOS, M. M.; GALVÃO, J. C. C.; SILVA, I. R. et al. Épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do milho em plantio direto, e alocação do nitrogênio (15N) na planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:1185-1194, 2010.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT**: user's Guide. Version 9.2. Cary: SAS Institute, 2009. 7869p.

SCHIAVINATTI, A. F; et al. Influência de fontes e modos de aplicação de nitrogênio nos componentes da produção e produtividade do milho irrigado no cerrado. **Bragantia**. Vol. 70, no4, Campinas, 2011.

SILVA E.C., MURAOKA T, ALVAREZ VILLANUEVA FC, CONTRERAS ESPINAL FS. Aproveitamento de nitrogênio pelo milho, em razão da adubação verde, nitrogenada e fosfatada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 44, p. 118-127, 2009.

SILVA, F. C.; SILVA, M. M.; LIBADI, P. L. Aplicação de nitrogênio no cultivo de milho, sob sistema plantio direto: efeitos na qualidade física do solo e características agronômicas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, p. 3513-3528, 2013.

SCUDELER, F; et al. Avaliação técnica e econômica de fontes de nitrogênio em plantio e cobertura na cultura do milho (*Zea mays L.*). **Ensaio e Ciência: Ciências biológicas, Agrárias e da Saúde**, vol. 15, no 2, p. 67-75, 2011.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Eds). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica/Embrapa-CPA, 2004. 416 p.

SOUZA, J. A.; et al. Adubação nitrogenada na cultura do milho safrinha irrigado em plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 2, p. 447-454, 2011.

SPÓSITO, T. H. N. Matéria seca e acúmulo de nutrientes no aguapé utilizado para fitorremediação em águas residuárias de suinocultura. Tese (Agronomia). Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP, Ilha Solteira, 2018.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3ª edição revista e ampliada. Embrapa, Brasília, DF, 574 p., 2017.

VON PINHO, R. G.; BORGES, I. D.; PEREIRA, J. L. D. A. R.; REIS, M. C. D. Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.8, n.2, 2009.

4 CAPÍTULO II

EXTRAÇÃO DE NUTRIENTES E BALANÇO NUTRICIONAL NA CULTURA DO MILHO EM FUNÇÃO DE DOSES E FONTES DE NITROGÊNIO

RESUMO

O nitrogênio é o nutriente mineral extraído em maior quantidade pelo milho, que mais influencia a produtividade de grãos e o único absorvido como cátion (NH_4^+) ou ânion (NO_3^-), sendo grande limitante para a produtividade da cultura, por suas transformações no solo, cuja dinâmica no sistema solo-planta é condicionada por condições edáficas, climáticas e sistema de manejo (dose, fonte, época e modo de aplicação). Neste aspecto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de fontes e doses de nitrogênio no balanço nutricional, extração, exportação e retorno ao solo dos macronutrientes pela cultura do milho. O experimento foi conduzido em condições de campo, na área experimental do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, no período de novembro de 2018 a fevereiro de 2019. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com 10 tratamentos e três repetições, em esquema fatorial 5x2. Os tratamentos compreenderam cinco doses de N e duas fontes de N: nitrato de amônio e ureia. A exportação de N para os grãos de milho não apresentou diferença para as fontes estudadas. A maior exportação de N para os grãos de milho ocorreu na dose de 117,87 kg de N ha⁻¹. A fonte ureia proporcionou maior extração total de N pelo milho comparada com a fonte nitrato de amônio, cuja maior extração ocorreu para a dose de 123,87 kg de N ha⁻¹. A extração total de cálcio e de magnésio pelo milho foi incrementada até a dose de 160 kg de N ha⁻¹.

Palavras-chave: *Zea mays* L., nitrato de amônio, ureia, exportação, teor.

ABSTRACT

NUTRIENT EXTRACTION AND NUTRITIONAL BALANCE IN MAIZE CULTURE AS A FUNCTION OF NITROGEN RATES AND SOURCES

Nitrogen is the mineral nutrient extracted in greater quantity by maize, which most influences grain productivity and the only one absorbed as cation (NH_4^+) or anion (NO_3^-), being a major limiting factor to the crop's productivity, due to its transformations in the soil, whose dynamics in the soil-plant system is conditioned by edaphic, climatic conditions and management system (rates, source, season and method of application). In view of the above, the objective of this study was to evaluate the effect of sources and rates of nitrogen on the nutritional balance, extraction, export and return to the soil of macronutrients by maize culture. The experiment was carried out under field conditions, in the experimental area of the Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Brazil from November 2018 to February 2019. The experiment was conducted in a randomized block design with 10 treatments and three replications, in a 5x2 factorial scheme. The treatments comprised five N rates and two N sources: ammonium nitrate and urea. The N export for grains showed no difference for the studied sources. While it presented the highest N export for grains at a rate of 117.87 kg of N ha⁻¹. The source urea showed greater total N extraction compared to the source of ammonium nitrate, presenting greater extraction for the rate of 123.87 kg of N ha⁻¹. The total extraction of calcium and magnesium was increased up to the rate of 160 kg of N ha⁻¹.

Keywords: *Zea mays* L., ammonium nitrate; urea, export, content.

4.1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o terceiro maior produtor de milho do mundo (CONAB, 2020). Porém, a produtividade média brasileira (5,63 toneladas ha⁻¹) ainda é baixa, quando comparada com áreas de alto rendimento, como os Estados Unidos, que possui média de 10,84 toneladas ha⁻¹ e da Europa, com média de 8,39 toneladas ha⁻¹ (EUROSTAT, 2020; USDA, 2020; CONAB, 2020).

A versatilidade do milho aumenta a sua importância, sendo utilizado tanto para alimentação animal, quanto para indústria de alta tecnologia (NETO et al., 2016). Segundo Contini et al. (2019) o milho é uma importante cultura que faz parte do alicerce

da agricultura brasileira, em virtude de participar de diversos sistemas de cultivos e ter alcançado nos últimos anos o patamar de maior cultura agrícola do mundo. O presente trabalho tem como hipótese que a fonte nitrato de amônio pode apresentar maior eficiência na extração dos macronutrientes pela cultura do milho que a fonte ureia.

O nitrogênio (N) é o nutriente mineral extraído em maior quantidade pelo milho, que mais influencia a produtividade de grãos e o único absorvido como cátion (NH_4^+) ou ânion (NO_3^-), sendo grande limitante para a produtividade da cultura, por suas transformações no solo, cuja dinâmica no sistema solo-planta é condicionada por condições edáficas, climáticas e sistema de manejo (dose, fonte, época e modo de aplicação). O N merece atenção não apenas pela influência que representa no custo de produção do milho, mas também para a minimização de possíveis impactos ambientais. O milho é uma cultura que remove grandes quantidades de N; assim, para a obtenção de produtividades elevadas é recomendada a adubação nitrogenada em cobertura, para complementar a quantidade suprida pelo solo (SANGOI et al., 2015).

A absorção de N ocorre, principalmente na forma de ânion nitrato (NO_3^-) e a forma nítrica é absorvida mais rapidamente; porém, é mais susceptível à lixiviação no perfil do solo. A forma amoniacal apresenta menores perdas por lixiviação, por se ligar às partículas do solo (BARBOSA, 2017). Porém, apresenta susceptibilidade ao processo de volatilização de amônia. A cultura do milho em relação à exportação de nutrientes para os grãos, normalmente tem o fósforo como nutriente mais exportado (80 a 90%), seguido pelo nitrogênio (75%), enxofre (60%), magnésio (50%), potássio (20-30%) e cálcio (10-15%) (COELHO e FRANÇA, 1995; CABRAL FILHO, 2019).

Logo, a avaliação da extração total, exportação pelos grãos e retorno dos nutrientes durante o ciclo do milho são importantes para informar o manejo dos nutrientes exigidos pela cultura, a eficiência na utilização de tais nutrientes, sendo assim, uma forma de possibilitar maximizar o potencial produtivo e diminuir perdas de nutrientes ao longo do sistema.

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de fontes e doses de nitrogênio no balanço nutricional, extração, exportação e retorno ao solo dos macronutrientes pela cultura do milho.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de campo, na área experimental do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, no período de novembro de 2018 a fevereiro de 2019. As coordenadas geográficas do local de instalação são 17°48'28" S e 50°53'57" O, com altitude média de 720 m ao nível do mar. O clima da região é classificado conforme Köppen e Geiger (1928), como Aw (tropical), com chuva nos meses de outubro a maio, e com seca nos meses de junho a setembro. A temperatura média anual de 20 a 35°C e as precipitações variam de 1.500 a 1.800 mm anuais e o relevo é suave ondulado (6% de declividade).

A precipitação pluvial ocorrida durante os meses de cultivo do milho na safra 2018/19: novembro (267,30 mm); dezembro (241,20 mm); janeiro (182,30 mm); fevereiro (186,70 mm), conforme Figura 1.

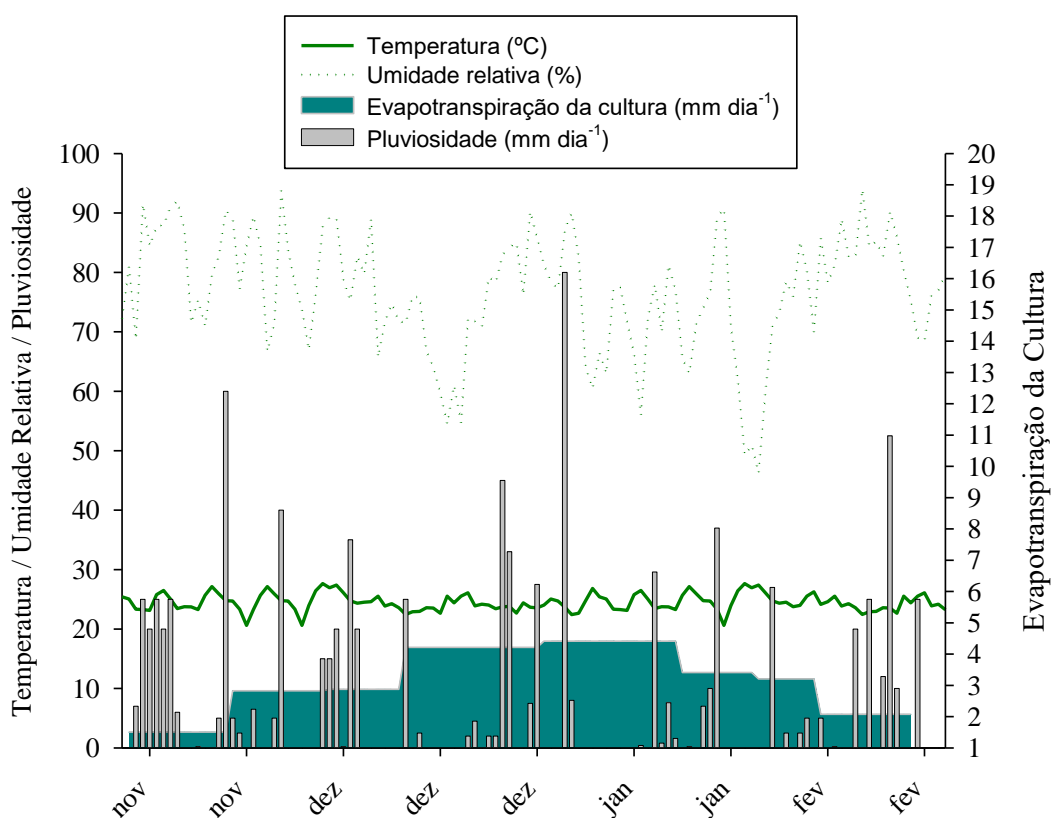


Figura 1. Dados meteorológicos do município de Rio Verde e a evapotranspiração da cultura no período decorrente do experimento (Milho safra 2018/19). Fonte: Estação Normal INMET – Rio Verde – GO, Brasil. Pluviômetro instalado na área de cultivo.

O solo utilizado é classificado como Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), fase Cerrado, de textura argilosa (SANTOS et al., 2018). A área apresenta histórico de vários anos com cultivo de *Brachiaria decumbens*, seguido de culturas anuais, tendo sido cultivada com milho no ano agrícola precedente.

Antes da instalação do experimento foram coletadas amostras da camada de 0,0-0,20 m de profundidade para a caracterização química e granulométrica, que foram analisadas conforme metodologias descritas em Teixeira et al. (2017), cujos resultados se encontram na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados da análise físico-química do solo, coletado na camada de 0 – 0,2 m de profundidade, antes da implantação do experimento.

Ca	Mg	Ca+Mg	Al	H+Al	K	K	S	P	CaCl ₂
----- mmol _c dm ⁻³ -----					----- mg dm ⁻³ -----			pH	
17	10	27	0,03	1	2,7	126	6,0	7	4,8
Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B	CTC	SB	V%	m%
----- Micronutrientes (mg dm ⁻³) -----						mmol dm ⁻³		Sat. Bases Sat. Al	
1,0	21,4	22,52	4,25	1,13	0,09	71,7	29,7	41	3
Textura (g kg ⁻¹)			M.O.	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	Ca/CTC	Mg/CTC	K/CTC
Argila	Silte	Areia	g dm ⁻³	----- Relação entre bases -----					
420	148	432	44	1,7	6,3	3,7	24	14	3

P (res), K, Na, Cu, Fe, Mn e Zn (Melich 1); Ca, Mg, e Al (KCl 1N); S (Ca(H₂PO₄)₂ em HOAc); M.O. (Método colorimétrico); B (BaCl₂).

Com base nos resultados da análise de solo, realizou-se a calagem do solo, mediante a distribuição de calcário dolomítico, na dosagem de 2,0 t ha⁻¹, com intuito de elevar a saturação por bases 60% (Sousa & Lobato, 2004). O corretivo foi aplicado por meio de distribuidora de calcário tratorizada.

O experimento foi conduzido no delineamento experimental em blocos ao acaso, com 10 tratamentos e três repetições, em esquema fatorial 5x2. Os tratamentos compreenderam cinco doses de N: 0, 40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹ e duas fontes de N: nitrato de amônio (33% de N) e ureia (45% de N). As parcelas foram constituídas por cinco linhas de milho de 5 m de comprimento, espaçadas de 0,45 m entre si, constituindo 11,25

m² por parcela. A área útil da parcela abrangeu as três linhas centrais de cada parcela, desprezando-se 1 m em cada extremidade.

A adubação nitrogenada foi aplicada no estágio fenológico de quatro folhas expandidas, de acordo com os tratamentos. Todos os tratamentos foram adubados no sulco de semeadura com 80 kg ha⁻¹ de fósforo (P₂O₅), na forma de superfosfato triplo, 60 kg ha⁻¹ de potássio (K₂O), na forma de cloreto de potássio, e micronutrientes, conforme resultados da análise de solo (Tabela 1) para a expectativa de rendimento de 12 t ha⁻¹ de grãos, segundo recomendações de Sousa e Lobato (2004).

O sistema cultivo adotado foi o de plantio direto, cuja semeadura do milho “safra” (ou “verão”) foi realizada mecanicamente, distribuindo 3,5 sementes por metro linear de sulco, resultando em 77.777 plantas ha⁻¹ do híbrido SYN 555, que compreende um híbrido simples de alto potencial produtivo e recomendado para as condições da região. Os tratos culturais referentes ao uso de herbicidas, inseticidas, fungicidas e demais produtos relacionados com o controle de plantas invasoras, pragas e doenças, quando necessários, foram utilizados conforme a necessidade e avaliação de infestação.

Foram coletadas por ocasião do florescimento do milho, o terço central de seis folhas da base da espiga principal (superior), segundo metodologia descrita em Raij et al. (1996). O material colhido foi levado ao laboratório, lavado em água destilada, seco a 65°C em estufa com circulação forçada de ar por 72 horas, passado em moinho tipo Wiley e realizadas as determinações dos teores (g kg⁻¹) de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), segundo metodologia descrita em Malavolta et al. (1997).

Para a determinação destas variáveis, no momento da colheita (114 dias após a semeadura - DAS) as plantas foram divididas em palhada (colmo, folhas, palha da espiga e sabugo) e grãos, posteriormente acondicionadas em sacos de papel previamente identificados com os tratamentos e levadas a estufa de ventilação forçada de ar a 65°C por 72 horas, e em seguida, as amostras foram trituradas em moinho tipo Wiley, numa peneira de 10 mesh. Acondicionadas em recipientes herméticos de acrílicos e levadas ao laboratório de análises químicas, para determinação dos teores (g kg⁻¹) dos macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), segundo metodologia descrita em Malavolta et al. (1997). O acúmulo do nutriente (g planta⁻¹) nos grãos e na palhada foi calculado com base nas Equações 1, 2 e 3:

$$AC_{PL}=T_{PL}\times MSPA \quad (1)$$

$$AC_G=T_G\times MSG \quad (2)$$

$$AC_T=AC_{PL}+AC_G \quad (3)$$

Em que: AC_{PL} : acúmulo do nutriente na palhada ($g\ planta^{-1}$); T_{PA} : teor do nutriente na palhada ($g\ kg^{-1}$); $MSPA$: matéria seca da parte aérea ($kg\ planta^{-1}$); AC_G : acúmulo do nutriente nos grãos ($g\ planta^{-1}$); T_G : teor do nutriente nos grãos ($g\ kg^{-1}$); MSG : massa seca de grãos ($kg\ planta^{-1}$); AC_T : acúmulo total do nutriente na planta ($g\ planta^{-1}$).

Também foram calculados os parâmetros técnicos: Extração ($kg\ ha^{-1}$) do nutriente pela planta de milho (Equação 4) e a exportação ($kg\ ha^{-1}$) do nutriente pelos grãos (Equação 5):

$$EXT=\frac{AC_T\times 75.000}{1.000} \quad (4)$$

$$EXP=\frac{AC_G\times 75.000}{1.000} \quad (5)$$

Os dados das variáveis de resposta foram submetidos à análise de variância através da aplicação do teste F ao nível de 1 e 5% de probabilidade. Realizando o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para diferença entre as fontes e para variáveis quantitativas, no caso as doses de N, foram ajustadas equações de regressão, considerando as respectivas doses de nitrogênio. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio dos softwares SAS 9.2 (SAS INSTITUTE, 2009) e R Core Team (2017).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de regressão para o teor de nitrogênio (N) nas folhas no momento do florescimento se adequou ao modelo de regressão quadrática, com R^2 igual a 87,73%, e houve o acréscimo do teor de N na folha até a dose máxima de $129\ kg\ de\ N\ ha^{-1}$, que

proporcionou o maior teor de N na folha, $32,65 \text{ g kg}^{-1}$ (Figura 2). Em função das fontes estudadas o teor de N na folha não apresentou diferenças significativas. Corroborando com Duete et al. (2009), que não observaram diferença no teor de N entre as fontes ureia e nitrato de amônio. Independentemente da dose e da fonte de N aplicada, os teores de N foliar situaram dentro da faixa considerada como adequada proposta por Raij et. al (1996), que é de $27\text{-}35 \text{ g kg}^{-1}$. Verifica-se, também, que os teores de N não ultrapassaram o limite superior da faixa, para nenhuma das doses. Goes et al. (2013) observaram diferença no teor de N entre as fontes Ureia e sulfato de amônio, em que a ureia foi superior ao sulfato de amônio, para as doses de 120 e 160 kg de N ha^{-1} . O aumento no teor de N em função do aumento da dose de N, provavelmente ocorreu, sobretudo pela textura argilosa e a capacidade de troca catiônica (CTC) adequada do solo em que foi cultivado o milho (Tabela 1), favorecendo à disponibilidade do nutriente para absorção pelas raízes da planta de milho.

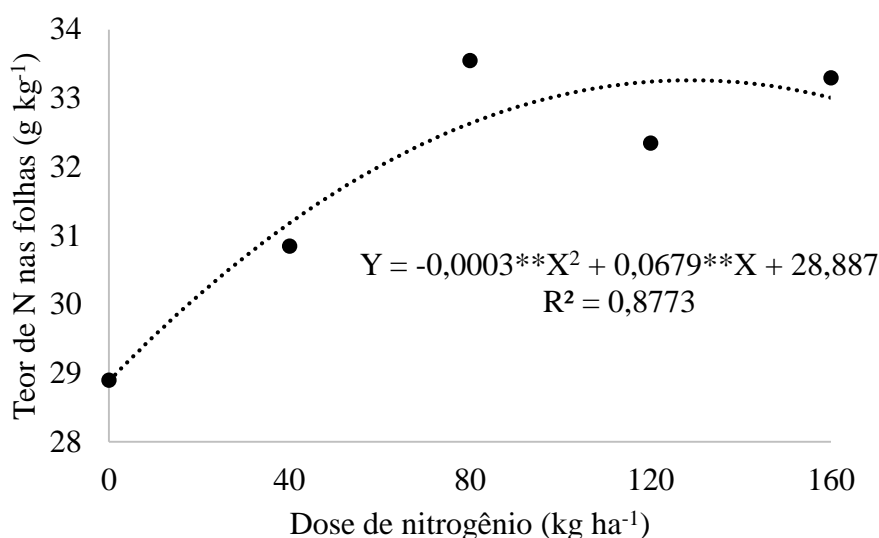


Figura 2. Teor de nitrogênio (N) nas folhas no momento do florescimento do milho.

O aumento no teor de N nas folhas de milho é dependente da disponibilidade de N para as plantas (Borges et. al, 2006). Soratto et al. (2011), avaliando o efeito da adubação nitrogenada na nutrição e produtividade da cultura do milho, observaram que a maior disponibilidade de N, proporciona incrementos ao teor foliar desse nutriente em plantas de milho. No presente estudo, a estagnação do teor a partir da dose de $129 \text{ kg de N ha}^{-1}$ pode ser explicado também pela lei dos incrementos

decrecentes, em que a absorção do nutriente pela planta é reduzida conforme o aumento da dose, pela própria limitação fisiológica da planta.

O teor de enxofre (S) nas folhas de milho, não demonstrou diferenças em função das fontes aplicadas, enquanto para as doses de N o teor de S se adequou ao modelo de regressão quadrática, com R^2 igual a 77,95%, em que ocorreu acréscimo no teor de S até a dose 111,44 kg ha⁻¹ de N, cujo o maior teor de S na folha foi igual a 1,156 g kg⁻¹ (Figura 3). O teor de S ficou abaixo da faixa considerada adequada, proposta por Raij et al. (1996), que é de 1,5-3,0 g kg⁻¹ de S. Também abaixo do teor foliar de S ideal para o milho, proposto por Sousa e Lobato (2004), que se situa entre 1,4 e 3,0 g kg⁻¹.

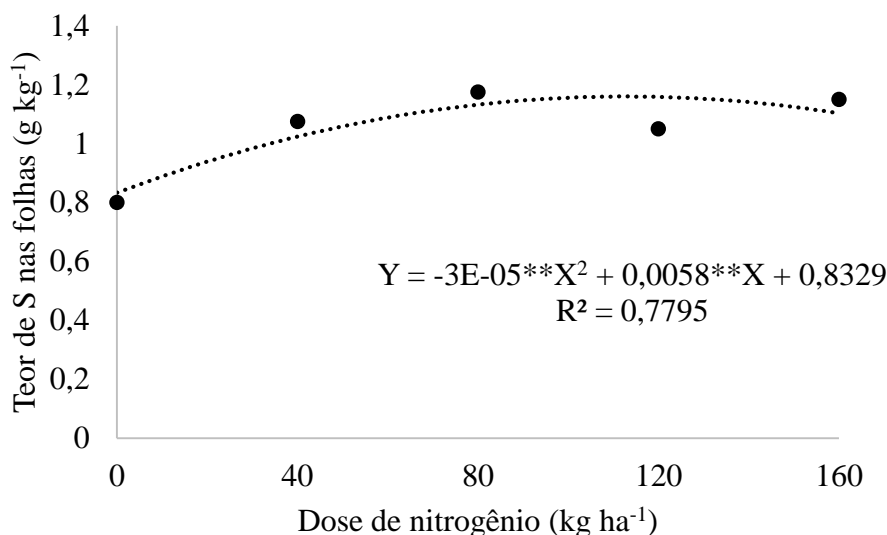


Figura 3. Teor de enxofre (S) nas folhas no momento do florescimento do milho.

Os demais macronutrientes, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) apresentaram diferenças para a interação entre as fontes e as doses de N estudadas. Para a dose de 80 kg de N ha⁻¹, a fonte ureia (U) para o teor de P na folha foi 8,62% maior que o teor de P proporcionado pela fonte nitrato de amônio (NA), enquanto para as doses de 40 e 80 kg de N ha⁻¹, a fonte NA superou a fonte U na ordem de 8,77 e 8,33 %, respectivamente (Tabela 2).

Visualiza-se na Tabela 2 para o teor de potássio (K) na folha do milho foi superior com uso da fonte U para as doses de 80 e 120 kg de N ha⁻¹; enquanto para a dose de 160 kg ha⁻¹ de N, o maior teor de K foi observado quando do uso da fonte NA, na ordem de 18,31%.

Tabela 2. Desdobramento da interação para teor de fósforo na folha (P), teor de potássio na folha (K), teor de cálcio na folha (Ca), teor de magnésio na folha (Mg), fósforo restituído ao solo (PR), cálcio restituído ao solo (CaR), magnésio restituído ao solo (MgR), potássio exportado nos grãos, cálcio exportado nos grãos, enxofre exportados nos grãos, extração total de fósforo (PTE), extração total de magnésio (MgTE) e extração total de enxofre (STE) no início do florescimento pela cultura do milho sob a aplicação de nitrato de amônio (NA) e ureia (U) para as doses de 0, 40, 80, 120 e 160 kg de Nitrogênio ha⁻¹.

FN ¹	Teor de P					Teor de K				
	0	40	80	120	160	0	40	80	120	160
	g kg ⁻¹					g kg ⁻¹				
NA	3,00a	2,60b	2,65b	2,70a	3,00a	18,80a	19,70a	18,85b	19,10b	20,75a
U	2,90a	2,85a	2,90a	2,85a	2,75b	17,70a	17,95a	22,85a	22,20a	16,95b
	Teor de Ca					Teor de Mg				
	0	40	80	120	160	0	40	80	120	160
	g kg ⁻¹					g kg ⁻¹				
NA	4,90a	5,10a	4,50b	5,40a	4,95a	1,30a	1,15b	1,20a	1,15a	1,30a
U	3,90a	4,90a	5,00a	4,35b	4,30b	0,80a	1,40a	1,35a	1,25a	1,00b
	PR					CaR				
	kg ha ⁻¹					kg ha ⁻¹				
	0	40	80	120	160	0	40	80	120	160
NA	6,11a	5,09a	2,04a	2,04a	2,55a	36,68a	41,26a	28,53a	37,19b	38,20b
U	6,11a	3,57a	3,57a	2,04a	2,04b	37,70a	28,02b	30,57a	45,34a	51,45a
	MgR					Extração de K				
	kg ha ⁻¹					kg ha ⁻¹				
	0	40	80	120	160	0	40	80	120	160
NA	12,23a	14,77a	6,11a	12,23b	13,75b	49,10a	47,41b	56,72a	55,45a	47,41a
U	8,15a	7,13b	5,60a	16,81a	21,91a	55,87a	65,61a	57,57b	59,26a	54,18a
	Extração de Ca					Extração de S				
	kg ha ⁻¹					kg ha ⁻¹				
	0	40	80	120	160	0	40	80	120	160
NA	23,70a	22,43a	20,32a	21,59a	19,05a	4,23a	4,66b	3,39a	4,66a	2,96a
U	22,01a	24,97a	18,20a	19,05a	20,32a	3,39b	4,23a	3,39b	3,39b	3,39a
	PTE					MgTE				
	kg ha ⁻¹					kg ha ⁻¹				
	0	40	80	120	160	0	40	80	120	160
NA	39,98a	43,61a	45,21a	40,98b	47,84a	21,54a	24,93a	17,96a	24,08b	23,91b
U	34,04a	47,59a	44,20a	52,00a	36,32b	19,16a	21,52a	18,30a	30,36a	32,49a
	STE									
	kg ha ⁻¹									
	0	40	80	120	160					
NA	7,29a	7,71a	6,44a	8,22a	6,53b					
U	7,46a	7,29a	6,44a	6,44b	8,48a					

¹Fonte de nitrogênio (FN); nitrato de amônio (NA); ureia (U). Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si segundo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Observa-se na Tabela 2 que para o teor de Ca e Mg na folha (a fonte NA foi superior na dose de 160 kg de N ha⁻¹, na ordem de 13,13 e 23,08%, respectivamente. Já para fonte U, o teor foliar de Ca condicionou maior teor na dose de 80 kg de N ha⁻¹ na ordem de 10%. Já para o teor foliar de Mg, a fonte U proporcionou teor 16,86 % maior que o FMg na fonte NA (Figura 2).

No momento da colheita, observou-se que ocorreu diferença entre as fontes apenas nas doses de 160 kg de N ha⁻¹ para o P restituído na palhada (PR). Já para o Ca restituído na palhada (CaR), houve diferenças entre NA e U nas doses de 40, 120 e de 160 kg ha⁻¹, cujo retorno de P foi 20% superior na fonte NA, enquanto para o CaR a fonte NA foi maior na dose de 40 kg de N ha⁻¹, e nas doses 120 e 160 kg de N ha⁻¹ a fonte U foi maior na ordem de 17,97 e 25,75%, respectivamente (Tabela 2).

O K restituído via palhada (KR) não apresentou efeito significativo entre as fontes e doses estudadas. Para o Mg restituído (MgR) via palhada a fonte NA apresentou maior MgR qu U para a dose de 40 kg de N ha⁻¹, enquanto a fonte U foi superior à NA para as doses de 120 e 160 kg de N ha⁻¹ na ordem de 27,25 e 37,24%, respectivamente para o MgR ao solo pela palhada. (Figura 2).

A exportação de K pelos grãos apresentou diferenças entre as fontes apenas para a dose de 40 kg de N ha⁻¹, e a doente NA proporcionou maior exportação de K com uso da dose de 40 kg de N ha⁻¹ em 27,74%. Já a exportação de Ca pelos grãos não apresentou diferenças entre as distintas fontes de N aplicadas (Tabela 2).

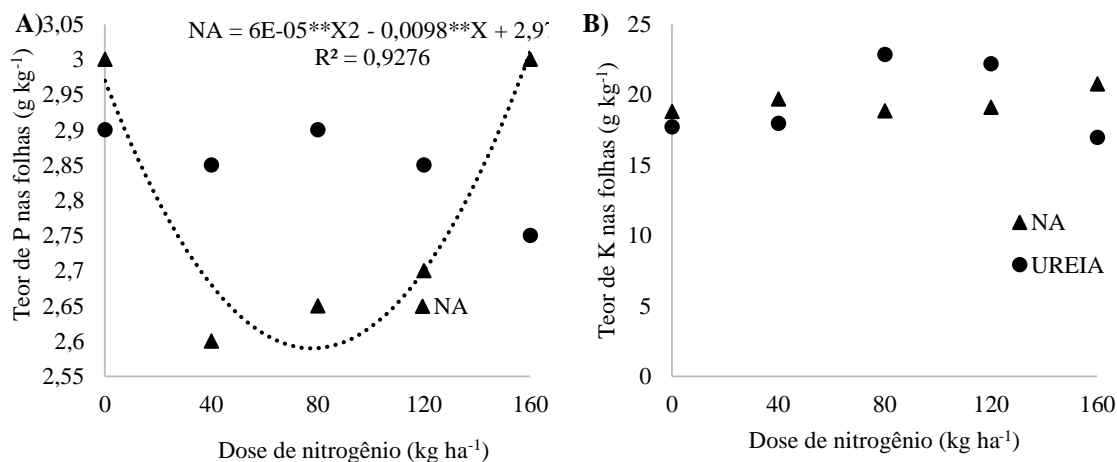
De acordo com a Tabela 2 para a exportação de S pelos grãos houve diferença entre as fontes nas doses 0, 40, 80 e 120 kg de N ha⁻¹, cujo uso de U proporcionou maior exportação de S que a fonte NA para a dose de 40 kg de N ha⁻¹, enquanto para as doses de 0 e 120 kg de N ha⁻¹ a fonte NA apresentou maior exportação de S, na ordem de 19,86 e 27,25%, respectivamente.

A extração total de P (PTE) pelas plantas de milho apresentou diferenças entre as fontes apenas para as doses de 120 e 160 kg de N ha⁻¹, em que U proporcionou maior extração deste nutriente, na ordem de 21,19%; enquanto NA proporcionou extração total de P 24,08% superior para as doses supracitadas (Figura 2). A extração total de Mg e de S pelo milho (MgTE) e (STE) apresentaram diferenças entre as fontes apenas para as

doses 120 e 160 kg ha⁻¹, em que U proporcionou maior MgTE que o NA, na ordem de 20,68 e 26,41%, respectivamente. Para a extração total de S, a fonte NA proporcionou extração de S 21,65% maior para a dose de 120 kg de N ha⁻¹, quando comparada a fonte U, enquanto para a dose de 160 kg de N ha⁻¹ a fonte U foi superior para a extração total de S, na ordem de 22,99%, como mostra a Figura 2.

O teor de P na folha com emprego da fonte NA se adequou ao modelo de regressão quadrática, com R² igual a 92,76%, apresentando decréscimo no teor foliar de P até a dose de 77,78 kg de N ha⁻¹, em que o menor teor de P foi 2,59 g kg⁻¹. Os valores para o teor de P ficaram próximos aos encontrados por Costa et al. (2012), que obtiveram teores na faixa de 2,69 g kg⁻¹. A fonte U para o teor de P não se adequou a nenhum dos modelos estudados, como mostra a Figura 4A.

Para o teor foliar de K, os dados de nenhuma das fontes se adequaram aos modelos estudados (Figura 4B).



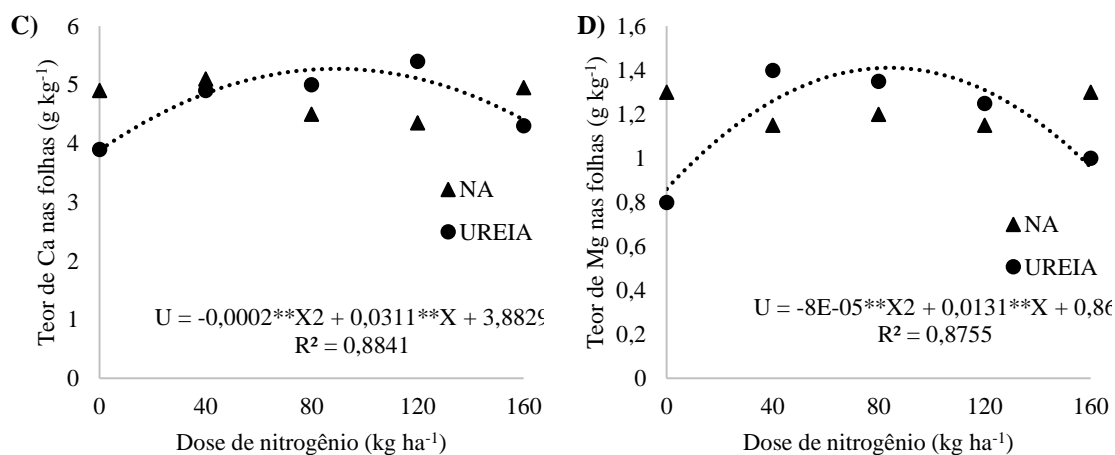


Figura 4. Teor de fósforo (P) nas folhas (A), teor de potássio (K) nas folhas (B), teor de cálcio (Ca) (C) e teor de magnésio (Mg) (D) em função das doses de nitrogênio para as fontes nitrato de amônio (NA) e ureia, no momento do florescimento das plantas de milho.

De acordo com a Figura 4C, o teor de Ca na folha em função da fonte NA, não se adequou a nenhum dos modelos estudados, enquanto o teor de Ca para fonte U se adequou ao modelo de regressão quadrática com R² igual a 88,41%, apresentando acréscimo do teor de Ca até a dose máxima de 97,50 kg de N ha⁻¹, em que o teor de Ca foi 5,09 g kg⁻¹. A fonte NA para o teor de Mg não se adequou a nenhum dos modelos estudados, já a fonte U se adequou ao modelo de regressão quadrática, com R² igual a 87,55%, houve o acréscimo do teor de Mg até a dose máxima 83,97 kg de N ha⁻¹, em que apresentou teor de Mg igual a 1,41 g kg⁻¹ (Figura 4D). Em contraste com a afirmação de Silva (2015), que não observou interação no teor de N nas folhas em função da aplicação de doses de Mg, e afirmou que existe mínima interação entre a absorção de N e Mg.

Os teores dos macronutrientes P, K e Ca se mantiveram dentro da faixa considerada adequada, proposta por Raij et al. (1996), sendo de 1,9-4,0, 17-35, e 3-10 g kg⁻¹, para P, K e Ca, respectivamente. Já o teor de Mg, ficou abaixo dos teores considerados adequados por Raij et al. (1996), que são os teores entre 1,5-5,0 g kg⁻¹.

Para o N restituído ao solo (NR) via palhada, não houve diferença significativa entre as fontes e nem para as doses. O P restituído (PR) via palhada ao solo, para as fontes NA e U se adequaram ao modelo de regressão quadrática, com R² igual a 89,79 e 91,28%, respectivamente. Para ambas as fontes de N, houve decréscimo até as doses 126,56 e

135,74 kg de N ha⁻¹, respectivamente, apresentando PR máximo de 2,04 e 2,26 g kg⁻¹ para as fontes NA e U, respectivamente (Figura 5A).

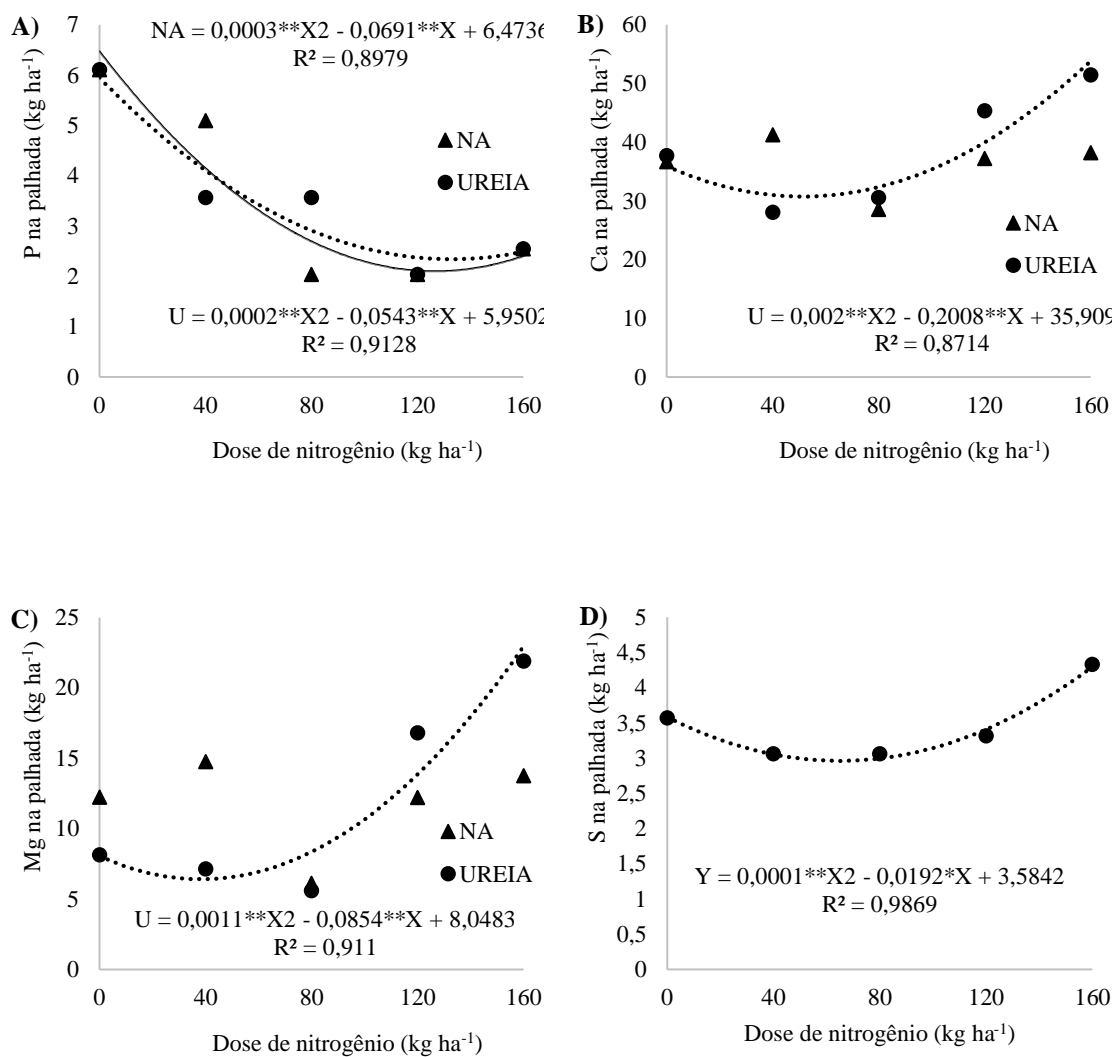


Figura 5. Restituição de fósforo (P) via palhada (A), retorno de cálcio (Ca) via palhada (B), retorno de magnésio (Mg) via palhada (C) e retorno de enxofre (S) via palhada (D) em função das doses de nitrogênio para as fontes nitrato de amônio (NA) e ureia.

Observa-se na Figura 5B para o CaR, que a fonte NA não se adequou a nenhum dos modelos estudados, enquanto a fonte U se adequou ao modelo de regressão quadrática, com R^2 igual a 87,14%, com decréscimo até a dose de 51,34 kg de N ha⁻¹, que

apresentou CaR mínimo de 30,75 kg ha⁻¹. Após o decréscimo, iniciou o acréscimo até a dose máxima de 160 kg de N ha⁻¹, retornando 53,85 kg de Ca ha⁻¹.

Para o MgR, os dados quando do uso da fonte NA não se adequou a nenhum dos modelos estudados, enquanto com uso da fonte U se adequaram ao modelo de regressão quadrática, com R² igual a 91,10%, houve o decréscimo até a dose de 38,29 kg de N ha⁻¹, sugerindo MgR mínimo de 6,41 kg de Mg ha⁻¹. Após, iniciou-se o acréscimo em função das doses de N, até a dose máxima de 160 kg de N ha⁻¹, apresentando MgR máximo igual a 22,93 kg de Mg ha⁻¹ (Figura 5C).

De acordo com a Figura 5D, o SR não apresentou diferença entre as fontes de N estudadas. Já em função das doses de N, o SR se adequou ao modelo de regressão quadrática, com R² igual 98,69%, apresentando decréscimo até a dose de 64,81 kg de N ha⁻¹, entrando em acréscimo até a dose máxima de 160 kg de N ha⁻¹, apresentando RS máximo de 4,29 kg ha⁻¹. O maior retorno de S para o solo está ligado na maior absorção desse nutriente, que segundo Pessis e Agenbag (1994), o fornecimento de N via cobertura estimula a absorção de S, pelo sinergismo existente entre esses nutrientes. As variáveis CaR, MgR e SR (Figuras 5B, 5C e 5D) apresentaram comportamento similar, sugerindo inicialmente decréscimo no retorno de nutriente via palhada ao solo, provavelmente esse efeito em doses menores pode ter sido afetado pelo alto teor de matéria orgânica do solo e o manejo dos últimos anos, e já apresenta potencial de disponibilidade de N para o milho, porém, quando se aumentou as doses de N, demonstrou também maior retorno de Ca, Mg e S para o solo via palhada.

A exportação de N para os grãos não apresentou diferença para as fontes de N estudadas. Para as doses de N, a exportação de N para os grãos se adequou ao modelo de regressão quadrática, com R² igual a 87,16%, houve o acréscimo da exportação de N até a dose máxima 117,87 kg de N ha⁻¹, apresentando exportação igual a 134,62 kg ha⁻¹ de N (Figura 6).

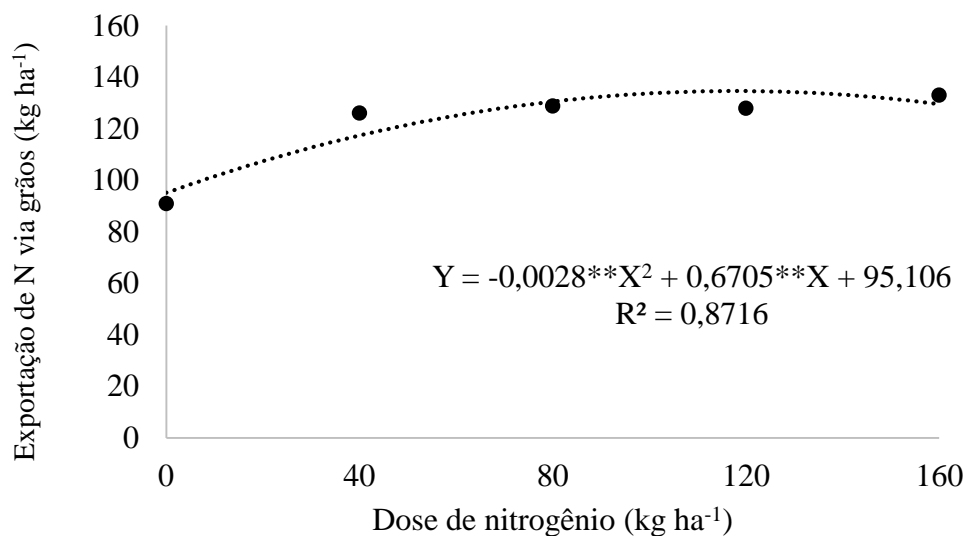
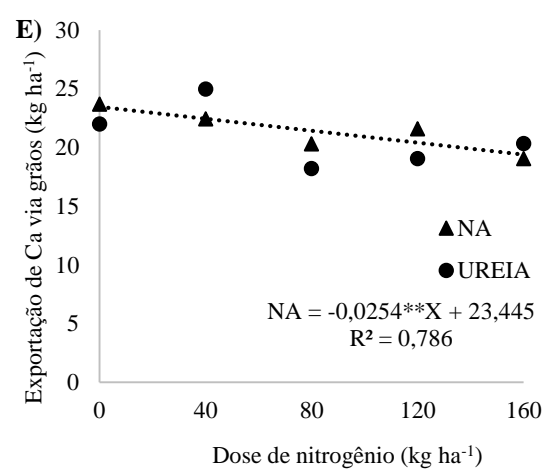
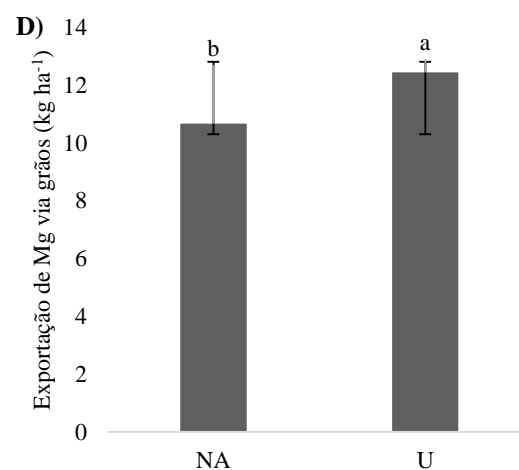
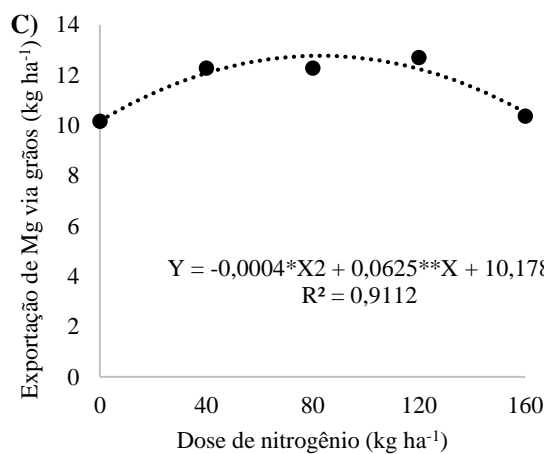
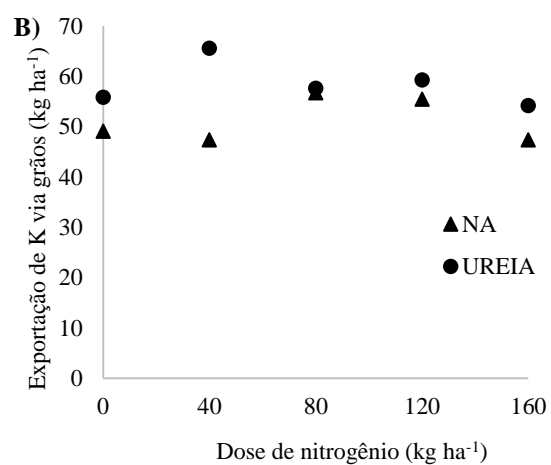
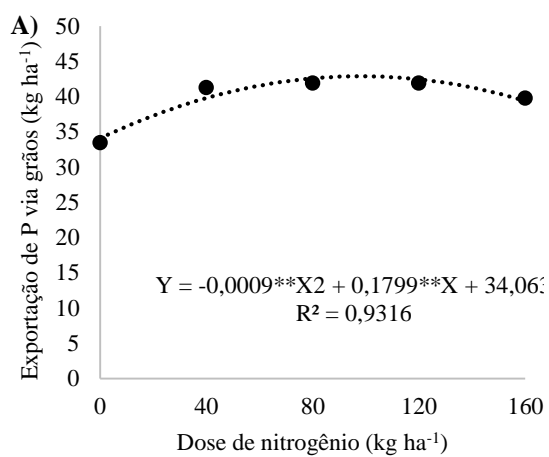


Figura 6. Exportação de nitrogênio (N) via grãos em função das doses de nitrogênio.

A exportação de N para os grãos foi em média aproximada de 72,00% do total extraído, apresentando resultados diferentes ao observado por Silva et al. (2016), que observou 50% do N exportado para os grãos. Porém, corroborando com os autores que observaram a extração de N para os grãos de milho igual a aproximadamente 75% (COELHO e FRANÇA, 1995; CABRAL FILHO, 2019) A exportação de P para os grãos não apresentou diferença entre as fontes, em função das doses de nitrogênio a exportação de P se adequou ao modelo de regressão quadrática, com R^2 igual a 93,16%, com acréscimo até a dose máxima de 98,21 kg de N ha⁻¹, e a exportação de P foi igual a 42,90 kg de P ha⁻¹ (Figura 7A).



abi

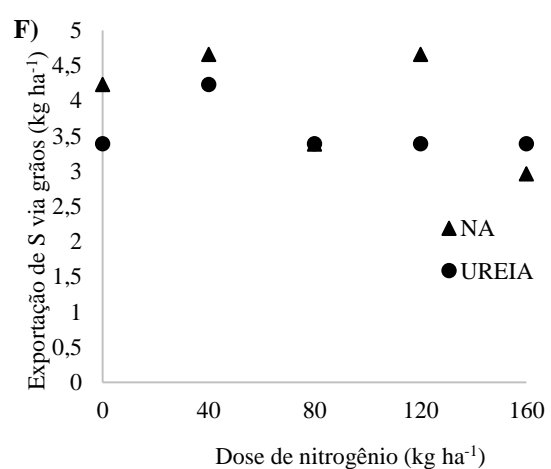


Figura 7. Exportação de P (A), K (B), Mg (C), Ca (E) e S (F) em função das doses de nitrogênio para as fontes nitrato de amônio (NA) e ureia, para Exportação de magnésio (D).

O P é extraído pela cultura do milho em menor quantidade, em comparação com o N e K, porém, é fortemente exportado para os grãos (OLIVEIRA et al., 2019). A exportação de K para os grãos não se adequou a nenhum dos modelos estudados (Figura 7B). O K é altamente extraído, mas possui baixa exportação de K para os grãos, indicando alta restituição deste nutriente para o solo, pela cultura do milho (OLIVEIRA et al., 2019). Geralmente no caso do K, a maior parte é acumulada na parte vegetativa e, sendo restituído ao solo após a colheita, através da incorporação da palhada do milho (ZORB et al., 2014). Enquanto a exportação de Mg para os grãos, em função das doses se adequou ao modelo de regressão quadrática, com R^2 igual a 91,12% apresentando acréscimo até a dose máxima de 82,71 kg de N ha⁻¹, e apresentou maior exportação de Mg igual a 12,76 kg de Mg ha⁻¹ (Figura 7C). De acordo com a Figura 7D a fonte U apresentou maior exportação de Mg que a fonte NA, na ordem de 14,31%. A Exportação de Ca para a fonte NA (Figura 7E), adequou-se ao modelo de regressão linear com R^2 igual a 78,60%, houve o decréscimo até a dose de 160 kg de N ha⁻¹, apresentando exportação de Ca igual a 19,39 kg ha⁻¹, sendo este decréscimo na ordem de 17,30 em relação a dose de 0 kg de N ha⁻¹. A exportação de S não se adequou a nenhum dos modelos estudados (Figura 7F).

A exportação de N, P e Mg para os grãos deste estudo foram inferiores à exportação de N, P e Mg para os grãos encontradas por Bender et al. (2013), que observaram a exportação de N, K e Mg em 166, 90 e 15 kg ha⁻¹, respectivamente. Enquanto a exportação de K e Ca observada neste estudo permaneceram na mesma faixa dos estudos de Bender et al. (2013), sendo 66 kg ha⁻¹ para o K e 17 kg ha⁻¹ para Ca.

A exportação de S para os grãos no presente trabalho foi entre 45 e 62% do enxofre total extraído pelas plantas de milho, valores que se igualam e também extrapolam um pouco aos observados por Silva (2016), que encontrou exportação de S para os grãos de 47 a 51%. Diferenças para a extração de S entre estudos com a cultura do milho podem ser ocasionadas pelos distintos fertilizantes, época de cultivo, cultivar e região cultivada (BULL et al., 1993; SIMÃO et al., 2017).

O total extraído de nitrogênio (NTE) pela planta de milho, em função das doses de N, adequou-se ao modelo de regressão quadrática, com R^2 igual a 81,47%,

apresentando aumento no NTE, até a dose máxima de 123,84 kg de N ha⁻¹, em que NTE igual a 183,62 kg de N ha⁻¹ (Figura 8A). Extração total de N menor que a faixa observada por Silva et al. (2016), que encontraram faixa média de extração de N entre 200-294 kg de N ha⁻¹. Conforme a Figura 8B o NTE em função das fontes NA e U, a fonte U foi maior que a fonte NA, na ordem de 5,46%.

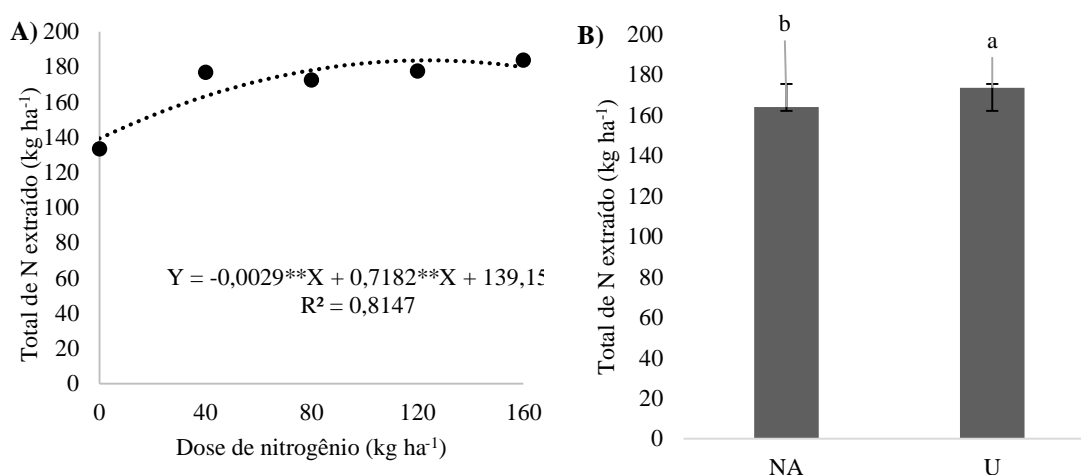


Figura 8. Regressão do total de nitrogênio extraído pela planta de milho, em função das doses (A) para o total de nitrogênio extraído pela planta de milho, em função das fontes nitrato de amônio (NA) e ureia (U).

O K total extraído não apresentou diferenças significativas para as doses e fontes estudadas. O PTE com uso da fonte NA não se adequou a nenhum dos modelos estudados, enquanto com uso da fonte U se adequou ao modelo de regressão quadrática, com R^2 igual a 74,46% e houve o acréscimo do PTE até a dose máxima de 85,32 kg de N ha⁻¹, em que PTE igual a 49,64 kg de P ha⁻¹, como pode ser observado na Figura 9A. Valor esse menor que o observado por Borin et al. (2010), que observaram extração de P igual a 70,67 kg ha⁻¹.

De acordo com a Figura 9B, o CaTE para a fonte NA não se adequou a nenhum dos modelos estudados, já para a fonte U, adequou-se ao modelo de regressão quadrática, com R^2 igual a 87,66%, e houve o decréscimo do CaTE até a dose mínima de 59,30 kg de N ha⁻¹, apresentando CaTE de 51,74 kg de Ca ha⁻¹, após esse decréscimo o CaTE

iniciou o processo de acréscimo, que se elevou até a dose máxima de 160 kg de N ha⁻¹, sendo CaTE igual a 71,77 kg de Ca ha⁻¹.

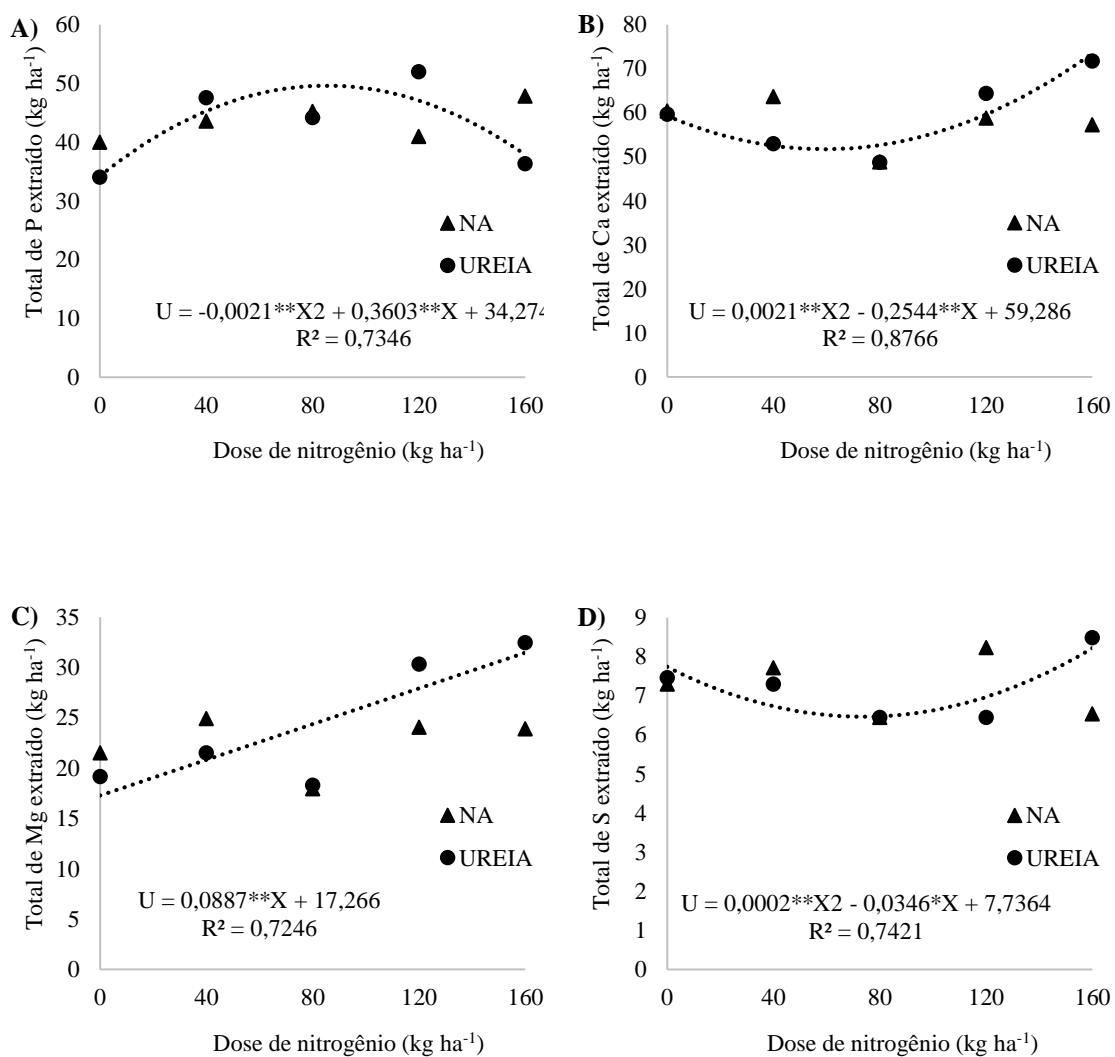


Figura 9. Total extraído de fósforo (P) (A), cálcio (Ca) (B), magnésio (Mg) (C) e enxofre (S) (D) em função das doses e fontes nitrato de amônio (NA) e ureia.

Observa-se na Figura 9C o MgTE, não se adequou aos modelos estudados para a fonte NA, já para a fonte U o MgTE se adequou ao modelo de regressão linear com R² igual a 72,46%, apresentando acréscimo em função das doses de nitrogênio até a dose de 160 kg de N ha⁻¹, em que o MgTE foi igual a 31 kg de Mg ha⁻¹, apresentando acréscimo na ordem de 45,12, 33,84, 22,56 e 11,28% para as doses de 0, 40, 80 e 120 kg de N ha⁻¹,

respectivamente. Já para o S total extraído (STE) em função da fonte NA para as doses estudadas, não se adequou a nenhum dos modelos estudados, enquanto para a fonte U o STE se adequou ao modelo de regressão quadrática com R^2 igual a 74,21% apresentando declive até a dose de 73,69 kg de N ha^{-1} , em que o STE mínimo foi 6,46 kg de S ha^{-1} , após o decréscimo, houve o acréscimo do STE até a dose máxima de 160 kg de N ha^{-1} , e STE foi igual a 8,48 kg de S ha^{-1} (Figura 9D). As diferenças entre as fontes se dão pela dinâmica diferente no solo. Para Bull (1986), a absorção de um nutriente pela planta é dependente dos cátions na solução do solo em equilíbrio com o complexo de troca iônica. Corroborando com Silva et al. (2016) que observaram que N e K são extraídos em maiores quantidades, enquanto P, Ca, Mg e S são extraídos em quantidades menores. De acordo com os mesmos autores a extração total de P foi maior que a extração total de Ca, entrando em contraste com este estudo, em que a extração de Ca apresentou valores maiores que a extração total de P. De acordo com a figura 9B, C e D, observa-se que a fonte U apresentou decréscimo para o CaTE, MgTE e STE, provável pela dose de N aplicado ainda não estar influenciando na absorção de Ca, Mg e S, pelo fato do solo apresentar alto teor de matéria orgânica, facilitando a disponibilidade natural de N mesmo sem aplicação de N, porém, após o ponto máximo de decréscimo, CaTE, MgTE e STE apresentaram acréscimo até a dose máxima de 160 kg de N ha^{-1} , mostrando que a maior disponibilidade de N pela fonte U, auxilia também na absorção de Ca, Mg e S.

4.4 CONCLUSÕES

Independentemente da fonte de N aplicada, o maior teor de N na folha do milho é obtido com a dose de 129 kg de N ha^{-1} .

O retorno do N via palhada não é influenciado pelas distintas doses ou fontes de N aplicadas ao milho.

A exportação de nitrogênio para os grãos de milho não sofre influência das fontes de N utilizadas.

Independente da fonte, a dose de 117,9 kg de N ha^{-1} proporciona maior exportação de N para os grãos de milho.

A fonte ureia demonstra maior extração total de N comparada ao nitrato de amônio, apresentando maior extração para a dose de 123,87 kg de N ha^{-1} .

O retorno de cálcio, magnésio e enxofre em função das doses de nitrogênio apresentam acréscimo até a dose máxima de 160 kg de N ha⁻¹.

A extração total de cálcio e magnésio são incrementadas até a dose de 160 kg de N ha⁻¹.

4.5 REFERÊNCIAS

BENDER, R. R.; HAEGELE, J. W.; RUFFO, M. L.; BELOW, F. E. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern, transgenic insect-protected maize hybrids. **Agronomy Journal**, v.105, n.1, p.161-170, 2013

BORGES, E. A.; FERNANDES, M. S.; LOSS, A. SILVA, E. E.; SOUZA, S. R. Acúmulo e remobilização de nitrogênio em variedades de milho. **Revista Caatinga**, v.19, n.3, p.278-286, 2006.

BORIN, A. L. D. C.; LANA, R. M. Q.; PEREIRA, H. S. Absorção, acúmulo e exportação de macronutrientes no milho doce cultivado em condições de campo. **Ciência Agro técnica**. Lavras, v. 34, Edição Especial, p. 1591-1597, 2010.

BULL, L. T. **Influência da relação K/(Ca + Mg) do solo na produção de matéria seca e na absorção de potássio por gramínea e leguminosa forrageiras**. 1986. 107 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1986.

BULL, L. T. Nutrição mineral do milho. In: BULL, L.T.; CANTARELLA, H. **Cultura do milho**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: POTAFÓS, 1993.

CABRAL FILHO, F. R. **Desempenho agrônômico e balanço nutricional na planta de milho fertirrigado com vinhaça concentrada e cloreto de potássio**. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias – Agronomia). Instituto Federal Goiano – *Campus* Rio Verde, Rio Verde – GO, 2019.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. de. **Seja o doutor do seu milho: nutrição e adubação**. 2 ed. aum. Informações Agronômicas, Piracicaba, n. 71, p. 1-9, set. 1995.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Grain bulletin – March/2020. (In Portuguese). Brasília: CONAB. Disponible in: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253>. Acesso em 19 de maio de 2020.

CONTINI, E.; MOTA, M. M.; MARRA, R.; BORGHI, E. MIRANDA, R. A.; SILVA, A. F.; SILVA, D. D.; MACHADO, J. R. A.; COTA, L. V.; COSTA, L. V.; MENDES, S. M.; Milho - Caracterização e Desafios Tecnológicos. In: **Série desafios do agronegócio brasileiro** (NT2), EMBRAPA, 2019.

COSTA, M. S.; COSTA, Z. V. B.; ALVES, S. M. C.; NETO, M. F.; MARINHO, J. C. Avaliação nutricional do milho cultivado com diferentes doses de efluente doméstico tratado. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, p. 12 - 26, 2012.

DUETE, R. R. C. et al. Acúmulo de nitrogênio (^{15}N) pelos grãos de milho em função da fonte nitrogenada em Latossolo Vermelho. **Bragantia**, vol. 68, no. 2, 2009.

EUROSTAT. **European Statistics. Agriculture, forestry and fishery statistics**. Disponible in: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Agriculture,_forestry_and_fishery_statistics. Acesso em 20 de maio de 2020.

GOES, R, J; et al. Caracaterísticas agronômicas e produtividade do milho sob fontes e doses de nitrogênio em cobertura no inverno. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 3, p. 250-259, 2013.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

OLIVEIRA, T. F.; OLIVEIRA, V. J. B.; CLEMENTE, J. M.; AQUINO, L. A.; REIS, M. R.; FERNANDES, F. L. Extração e exportação de macronutrientes em lavouras de milho

de alta produtividade. **Revista Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 12, n.3, p. 837-854, 2019.

PLESSIS, J. P.; AGENBAG, G. A. Reaction of two wheat cultivars to nitrogen and sulphur fertilizer in the Swartland: I. Vegetative growth, nitrogen and sulphur uptake and concentration in the plant. **South African Journal of Plant and Soil**, Pretoria, v. 11, n. 4, p. 163-169, 1994.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1996. 285 p. (Boletim Técnico, 100).

SANGOI, L.; SILVA, L. M. M. da; MOTA, M. R.; PANISON, F.; SCHMITT, A.; SOUZA, N. M. de; GIORDANI, W.; SCHENATTO, D. E. Desempenho agronômico do milho em razão do tratamento de sementes com *azospirillum sp.* e da aplicação de doses de nitrogênio mineral. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1141-1150, 2015.

SILVA, A. D. J. **Fontes e doses de magnésio na cultura do milho**. Dissertação. Universidade de Rio Verde, 2015.

SILVA, A. D.; MENEZES, C. C. E.; MENEZES, J. F. S.; NASCIMENTO, W. P. Fontes e doses de magnésio na cultura do milho. **Gl. Sci Technol**, Rio Verde, v.09, n.03, p.20 - 30, set/dez. 2016

SILVA, C. G. M. **Absorção e exportação de macronutrientes em milho transgênico sob dois níveis de investimento em adubação**. Dissertação (Ciências Agrárias) – Universidade Federal de São João del-Rei, Sete Lagoas, 2016.

SIMÃO, E. P.; RESENDE, A. V.; NETO, M. M. G.; BORGHI, E.; MARTINS, D. C.; VANIN, A. Demanda de nutrientes pelo milho safrinha em função da época de semeadura e adubação. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.16, n.3, p. 481-494, 2017.

SORATTO, R. P.; SILVA, A. H.; CARDOSO, S. M.; MENDONÇA, C. G. Doses e fontes alternativas de nitrogênio no milho sob plantio direto em solo arenoso. **Ciência agrotécnica**, Lavras, v. 35, n. 1, p. 62-70, 2011.

USDA. United States Department of Agriculture. National agricultural statistics service. Crop production. Disponible in: <http://www.nass.usda.gov/Publications/index.php>. Acesso em 20 de maio de 2020.

ZORB, C.; SENBAYRAM, M.; PEITERC, E. Potassium in agriculture - Status and perspectives. **Journal of Plant Physiology**, Parkville, v. 171, n. 9, p. 656-669, 2014.