

## TEORES DE NUTRIENTES NO SOLO E NUTRIÇÃO MINERAL DO MILHO EM ÁREAS IRRIGADAS COM ÁGUA CALCÁRIA<sup>1</sup>

RAFAEL VASCONCELOS VALADARES<sup>2</sup>, SAMUEL VASCONCELOS VALADARES<sup>2</sup>, LUIZ ARNALDO FERNANDES<sup>2\*</sup>, REGYNALDO ARRUDA SAMPAIO<sup>2</sup>

**RESUMO** – Objetivou-se avaliar o efeito de fontes de nitrogênio na produtividade e nutrição do milho para silagem, e nos atributos químicos de um Cambissolo do Norte de Minas Gerais, irrigado com água calcária. Utilizou-se a cultivar Decalb 390<sup>®</sup> no espaçamento de 0,8 m entre linhas e 0,2 m entre plantas. A adubação de base consistiu na aplicação de 330 kg ha<sup>-1</sup> de 4-30-10 e 50 kg ha<sup>-1</sup> de FTE-BR12 e em cobertura, aplicou-se duas doses de 40 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, na forma de KCl, 45 e 60 dias após a semeadura (DAS) nas fases fenológicas V7 e V10, respectivamente. O experimento foi montado no delineamento de blocos ao acaso com seis repetições, sendo os tratamentos referentes a fontes de nitrogênio, a saber: sulfato de amônio (em cobertura), ureia (em cobertura), *Crotalaria juncea* (em pré cultivo) e um tratamento controle (sem nitrogênio em cobertura). Os fertilizantes nitrogenados foram parcelados em três doses de 40 kg ha<sup>-1</sup> de N e distribuídos quinzenalmente a partir dos 30 DAS, fase fenológica V7. As produtividades aumentaram em relação ao tratamento controle em 33, 27 e 14 t ha<sup>-1</sup> com o uso do sulfato de amônio e da ureia em cobertura e com a *C. juncea* em pré cultivo, respectivamente. O sulfato de amônio condicionou maiores teores de S, Fe e Mn nas folhas de milho.

**Palavras-chave:** *Zea mays*. Silagem. Adubação nitrogenada. Micronutriente. Solos alcalinos.

## NUTRIENTS LEVELS AND MINERAL NUTRITION OF CORN PLANTS IN IRRIGATED AREAS WITH CALCAREOUS WATER

**ABSTRACT** – In order to study the effect of nitrogen sources upon the yields and nutrition of corn for silage and on the chemical attributes of a Cambisol, at Northern of Minas Gerais, Brazil, under calcareous water. The cultivar used was Decalb 390<sup>®</sup>, with a spacing of 0,8 m x 0,2 m. The base fertilization consisted in 330 kg ha<sup>-1</sup> of formulation 4-30-10 and 50 kg ha<sup>-1</sup> of FTE-BR12. Two equal dosages of 40 kg ha<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>O, in the KCl form, were applied 45 and 60 days after corn sowing (DAS), phenologic phases V7 and V10. The experiment was realized in a randomized blocks design with six repetitions, been the treatments constituted by: ammonium sulfate (topdressing manuring), urea (topdressing manuring), *Crotalaria juncea* (before the maize crop) and a control treatment (without nitrogen topdressing manuring). The N-fertilizers were applied parceled into three equal dosages of 40 kg ha<sup>-1</sup> of N, 30 DAS, with 15 days between fertilizations. The corn yields increased above control treatment average in 33, 27 and 14 t ha<sup>-1</sup> with ammonium sulfate and urea topdressing and with *C. juncea* pre cropped, respectively. Ammonium sulfate conditioned higher concentrations of S, Fe and Mn in the corn leaves.

**Key words:** *Zea mays*. Silage. Nitrogen fertilization. Micronutrient. Alkaline soils.

\*Autor para correspondência.

<sup>1</sup>Recebido para publicação em 13/06/2012; aceito em 30/06/2014.

<sup>2</sup>Instituto de Ciências Agrárias, UFMG, Caixa Postal 137, 39404-547, Montes Claros - MG; rafaelvvaladares@gmail.com; samucavaladares@yahoo.com.br; larnaldo@ica.ufmg.br; rsampaio@ica.ufmg.br.

## INTRODUÇÃO

Os rendimentos das lavouras de milho vêm crescendo em nível nacional, tanto na produção de grãos quanto na de forragem (VALDERRAMA et al., 2011). A adoção de tecnologias como a adubação nitrogenada guarda forte relação com esse crescimento por ser o nitrogênio o nutriente mais extraído e exportado por essa cultura (FERNANDES et al., 1999; PAIVA et al., 2012). Segundo dados contidos no Agriannual (2014), os gastos com a fertilização nitrogenada compõem um dos principais custos no cultivo do milho, justificado, porém, como uma excelente alternativa técnica, uma vez que o ganho em escala permite a redução do custo por unidade produzida, ampliando a margem de lucro do produtor.

A profissionalização dos produtores tem potencializado a obtenção de elevadas produtividades de milho, principalmente nos estados de Mato Grosso, Rondônia, Goiás e Paraná (AGRIANUAL, 2014). Por outro lado, em regiões onde os produtores são menos capitalizados, como os do Norte do Estado de Minas Gerais, a produtividade é bastante baixa, ao redor de 1000 kg ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2013), em relação a outros estados brasileiros e a de outras regiões do Estado de Minas Gerais.

A região Norte de Minas Gerais faz parte da superfície de aplainamento da depressão Sanfranciscana, com relevo predominantemente plano a suave ondulado e solos derivados de rochas calcárias e pelíticas do grupo Bambuí (OLIVEIRA et al., 1998). O baixo nível tecnológico em conjunção com o estreito período de chuvas, concentrado de novembro a abril, são reportados como os principais impedimentos aos cultivos nessa região (OLIVEIRA et al., 1998). Entretanto, devido ao alto potencial agrícola, essa situação pode ser contornada pela adoção de sistemas irrigados, onde é frequente a irrigação com água de poços que exploram o Aquífero Cárstico do Bambuí (NUNES et al., 2008).

A água desses poços diferencia-se da captada em rios por apresentar maiores valores médios de condutividade elétrica, razão de adsorção de sódio (RAS), bem como maiores teores de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, Si, Mn e Zn (NUNES et al., 2005; NUNES et al., 2013). O uso indiscriminado dessas águas no semiárido mineiro, sem o adequado manejo dos solos, tem levado ao abandono de áreas agrícolas (NUNES et al., 2008).

Nessas condições, o excesso de Ca e de carbonato livre podem influenciar o pH do solo e, por sua vez, o metabolismo das plantas (GERENDÁS; RATCLIFFE, 2000; BRITO et al., 2014), as transformações e perdas de N no sistema solo-planta-atmosfera (CANTARELA, 2007). É possível ainda que a constante adição de água com essas características além de elevar os valores de pH, conduza a

desbalanços nutricionais devido a alterações nas relações Ca<sup>2+</sup>/K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>/Cu<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>/SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Fe<sup>2+</sup>/Zn<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>/H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, bem como a menor disponibilidade de boro, zinco, cobre e ferro, além do fósforo que pode precipitar em reação com o cálcio (MALAVOLTA et al., 1997).

Assim, dada a escassez de informações para essa região, é imprescindível se estudar fontes e formas de aplicação de fertilizantes, notadamente as nitrogenadas, pela importância no metabolismo do milho e na alteração do pH dos solos (GERENDÁS; RATCLIFFE, 2000). A eficiência dessas fontes sob sistema de irrigação com água proveniente de poços tubulares ainda não foi estudada nos cultivos de milho no Norte de Minas Gerais, tampouco os seus efeitos sobre a disponibilidade de nutrientes.

Por essas razões, objetivou-se avaliar o efeito de três fontes de nitrogênio, duas fontes sintéticas aplicadas em cobertura (sulfato de amônio ou ureia) e uma fonte orgânica (crotalária juncea incorporada no pré cultivo do milho), sobre a nutrição e a produtividade do milho para silagem e sobre os atributos químicos de um solo do Norte do Estado de Minas Gerais, irrigado com água calcária.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido sob um sistema de irrigação por pivô central de 2,1 hectares de área, na Fazenda experimental do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, município de Montes Claros – MG (16° 41' de latitude S e 43° 50' de longitude W e altitude de 646,29m). O clima local é classificado, segundo Köppen, como Aw (SÁ JÚNIOR et al., 2011) – clima tropical de savana, inverno seco e verão chuvoso. O período de avaliação foi estabelecido entre os meses de setembro de 2011 a março de 2012. Os dados climatológicos referentes a esse período encontram-se na Tabela 1.

O solo da área é um Cambissolo Háptico eutrófico, relevo plano, fase floresta/cerrado, classificado segundo Santos (2013). Os atributos físicos e químicos encontram-se na Tabela 2. O histórico de produção da área consiste basicamente num sistema de rotação milho-feijão e adubações conforme recomendações para o Estado de Minas Gerais (Ribeiro et al., 1999).

O experimento foi montado em um delineamento de blocos ao acaso, com seis repetições, sendo os tratamentos referentes a fontes de nitrogênio, a saber: T1 - sem aplicação de nitrogênio em cobertura (testemunha), T2 - nitrogênio na forma de sulfato de amônio (120 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura), T3 - nitrogênio na forma de ureia (120 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura) e T4 - nitrogênio na forma de adubação verde com crotalária cultivada antes do milho.

**Tabela 1.** Precipitação acumulada, umidade relativa, velocidade do vento e temperaturas mínima, média e máxima durante o período experimental. Montes Claros, 2012.

Mês	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)			U.R. (%)	Vel. do Vento (m/s)
		Mínima	Média	Máxima		
Setembro	48,20	18,53	25,36	32,18	60,40	0,75
Outubro	313,00	20,43	25,73	31,03	71,53	0,59
Novembro	113,60	19,29	25,57	31,84	71,59	0,37
Dezembro	237,60	19,78	24,69	29,60	79,90	0,30
Janeiro	32,20	19,12	25,83	32,54	71,89	0,34
Fevereiro	21,40	19,40	26,65	33,89	67,34	0,52
Março	275,40	20,24	25,05	29,86	82,30	0,28

A incorporação do material vegetal ao solo nas parcelas correspondentes ao cultivo da crotalaria ocorreu 12 dias antes da semeadura do milho, quando as plantas apresentavam aproximadamente 50% de flores em antese. As plantas de crotalaria foram picadas manualmente e incorporada por gradagem, sendo produção de matéria fresca estimada em 31,92 Mg ha<sup>-1</sup>. Toda a área do pivô foi previamente preparada para a semeadura do milho com uma aração com arado de disco e duas gradagens com grade niveladora a uma profundidade média de 20 cm.

O híbrido de milho utilizado foi o Dekalb 390<sup>®</sup>, considerado altamente produtivo nas condições do Norte de Minas Gerais. O espaçamento utilizado foi o de 0,8 metros entre linhas e densidade de 5 sementes por metro linear de sulco, buscando-se atingir um stand de aproximadamente 60000 plantas por hectare. Para a obtenção de rendimentos entre 40 e 50 t de matéria verde por hectare, em condições de baixa disponibilidade de fósforo e boa de potássio (Tabela 2), foram aplicados 330 kg ha<sup>-1</sup> do adubo formulado 4-30-10 e 50 kg ha<sup>-1</sup> do adubo FTE-BR12 na semeadura, com distribuição nos sulcos de plantio. De modo complementar, foi aplicado em cobertura 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de cloreto de potássio, parcelado em duas doses iguais, aos 45 e 60 dias após a semeadura, em área total.

As doses dos tratamentos com fontes sintéticas de N, sulfato de amônio e ureia, foram parceladas em três aplicações quinzenais de 40 kg ha<sup>-1</sup> de N, a partir dos 30 dias após a semeadura, na fase fenológica V7. Em sequência a cada adubação a área foi irrigada para a incorporação dos fertilizantes ao solo.

Durante o período experimental não houve necessidade de utilização de tratamentos fitossanitários para o controle de pragas e doenças. No entanto, o manejo das plantas daninhas fez-se necessário, sendo adotado o controle químico (Atrazine+Nicossulfuron), com aplicação via pulverizador de barra tracionado por trator.

A necessidade de irrigação foi determinada por meio da utilização de tensiômetros instalados a 0,15, 0,30 e 0,45 cm de profundidade. Toda vez que os tensiômetros registravam uma tensão de -0,05 MPa, obedecendo as profundidades conforme o desenvolvimento da cultura, o sistema de pivô central era acionado para manutenção da umidade do solo próximo à capacidade de campo. As características da água extraída do poço artesiano estão representadas na Tabela 2.

Para avaliar os teores de nutrientes foliares da cultura foram coletadas 20 amostras compostas de folha por faixa, no período de emissão dos estilos estigmas. A amostragem seguiu a metodologia proposta por Malavolta et al. (1997), coletando-se a porção mediana da folha imediatamente abaixo à espiga superior sem a nervura central.

A época da colheita das plantas de milho para silagem foi definida conforme o estágio de maturação do grão, por isso, quando os grãos atingiram o estágio farináceo-duro, foram coletadas 20 amostras de 2m<sup>2</sup> para a estimativa da produtividade de massa fresca de milho a ser ensilado. Para melhor visualização dos resultados, os valores médios de produtividade de matéria fresca correspondentes às 20 amostras de cada tratamento foram extrapolados para valores equivalentes à área de um hectare. Para a avaliação dos atributos químicos do solo coletou-se, na camada de 0 a 20 cm de profundidade, 20 amostras compostas por faixa, correspondentes aos tratamentos estudados.

A determinação dos teores de nitrato e amônio no solo seguiu metodologia proposta por Keeney e Nelson (1982). Determinou-se K e P em Mehlich-1, pH em água e em cloreto de cálcio, e Ca, Mg, Al, e H+Al, conforme Embrapa (1997). Utilizou-se o extrator DTPA para estimar a disponibilidade de micronutrientes.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e quando houve significância pelo teste F, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo

teste de Tukey a 5% de probabilidade, por meio do software SAEG.

**Tabela 2.** Atributos químicos e físicos da camada de 0-20 cm de profundidade do solo (antes da semeadura do milho) e caracterização química da água de irrigação. Montes Claros, 2012.

Solo								
pH CaCl <sub>2</sub>	P – MI	P – Rem.	K	Ca	Mg	Al	H+Al	
	mg dm <sup>-3</sup>	-mg L <sup>-1</sup>			mmolc dm <sup>-3</sup>			
7,8	6,3	39,0	3,3	80,0	14,0	0,0		7,6
SB	t	T	m	V	Nitrato	Amônio	S	
	mmolc dm <sup>-3</sup>		%			mg kg <sup>-1</sup>		
97,2	97,2	104,8	0,0	93,0	10,6	8,4		-
B	Cu	Fe	Mn	Zn	Areia	Silte	Argila	
	mg dm <sup>-3</sup>				g kg <sup>-1</sup>			
0,5	1,3	26,0	6,8	1,2	480,00	320,0		200,0
Água de irrigação								
pH	CE	Ca	Mg	Na	Cl	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	RAS
	-dS m <sup>-1</sup>				mmolc L <sup>-1</sup>			
7,8	1,84	15,3	5,6	33,1	5,2	0,0	19,0	12,7

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias dos atributos químicos do solo, obtidas a partir das amostras coletadas no início do florescimento das plantas de milho encontram-se na Tabela 3. Verificaram-se variações significativas estatisticamente entre as médias de pH, cálcio (Ca), magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), CTC efetiva (t), CTC potencial (T), nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), ferro (Fe<sup>2+</sup>) e manganês (Mn<sup>2+</sup>) (Tabela 3).

Os menores valores pH foram observados quando se aplicou N na forma de sulfato de amônio (Tabela 3), certamente em função do processo de nitrificação. Segundo Follet (2008) a ação de microrganismos envolvidos no processo de nitrificação depende da presença de oxigênio e que essa reação geralmente leva ao predomínio do nitrogênio na forma de nitrato. Na primeira etapa desse processo, a reação é mediada por bactérias do gênero *Nitrosomonas* e ocorre a formação de íons nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) e hidrogênio (H<sup>+</sup>), explicando os menores valores de pH e maiores de nitrato no solo adubado com o sulfato de amônio (Tabela 3).

Os maiores teores de amônio foram encontrados no tratamento com a crotalária, seguido em ordem decrescente de grandeza pelo sulfato de amônio, ureia e testemunha. Os teores de amônio observados foram inversos aos de nitrato (Tabela 3), o que indica a conversão do amônio a nitrato.

No tratamento adubação verde com crotalária foram observados menores valores de N mineral total (nitrato + amônio) (Tabela 3), possivelmente pelo tempo decorrido entre a incorporação da crotalária e as coletas de solo, não sendo suficiente para que as formas orgânicas de N fossem completamente mine-

ralizadas pelos microrganismos do solo.

Quando se comparam os fertilizantes minerais, verifica-se que os teores de N mineral total no tratamento com uréia foram 26,66 % menores do que aqueles obtidos com sulfato de amônio (Tabela 3). Pode-se atribuir esse resultado às perdas por volatilização do N-uréia na forma de amônia, condição comum quando os valores de pH estão neutros ou alcalinos. Segundo Cantarela (2007), quando a ureia (CO (NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>) é aplicada ao solo, a molécula é hidrolizada pela enzima urease, produzida por plantas e microrganismos do solo. De acordo com esse autor, o nitrogênio é convertido em amônia (NH<sub>3</sub>) e, em seguida, protonado a amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), consumindo íons H<sup>+</sup> da solução do solo. Esse processo acaba condicionando o aumento do pH em volta do grânulo de ureia (CANTARELA, 2007). Todavia, em presença de elevados valores de pH, isto é, em condições de escassez H<sup>+</sup> em solução, a amônia não é convertida a amônio, sendo perdida do sistema solo-planta por volatilização, principalmente sob regime de elevadas temperaturas.

Menores valores de Ca, Mg e soma de bases (SB) foram encontrados no tratamento adubação verde. Esses resultados podem ser explicados pela imobilização dessas bases em componentes estruturais das plantas de crotalária que, conforme sugerido anteriormente, não haviam sido completamente mineralizadas.

**Tabela 3.** Teste de agrupamento de médias referentes aos atributos químicos do solo nas áreas em função dos tratamentos aos 80 dias após a semeadura, correspondente a época de corte do milho para ensilagem. Montes Claros 2012.

Atributos	Testemunha	Sulfato Amônio	Ureia	Adubação Verde				
pH água	7,2	a	5,6	b	6,9	ab	7,1	a
P* (mg dm <sup>-3</sup> )	11,3	a	13,4	a	9,9	a	12,5	a
K(mg dm <sup>-3</sup> )	48,0	a	33,0	a	41,0	a	40,0	a
Ca (cmolc dm <sup>-3</sup> )	5,1	a	4,10	a	4,70	a	3,6	b
Mg (cmolc dm <sup>-3</sup> )	1,8	a	1,70	a	1,50	a	1,2	b
Al (cmolc dm <sup>-3</sup> )	0,0	a	0,00	a	0,00	a	0,0	a
H + Al (cmolc dm <sup>-3</sup> )	0,8	b	1,20	a	0,75	b	0,83	ab
SB (cmolc dm <sup>-3</sup> )	7,0	a	5,88	b	6,30	ab	4,9	c
CTCt (cmolc dm <sup>-3</sup> )	7,0	a	5,98	b	6,30	ab	4,9	c
m (%)	0,0	a	0,0	a	0,0	a	0,0	a
CTCT (cmolc dm <sup>-3</sup> )	7,8	a	7,09	ab	7,05	b	5,7	c
V (%)	89,7	a	83,0	a	89,0	a	85,0	a
MOS (dag kg <sup>-1</sup> )	2,5	a	2,4	a	2,4	a	2,6	a
S – sulfato	9,6	b	13,5	a	9,8	b	10,2	ab
N-nitrato	11,4	c	46,2	a	34,5	ab	14,5	c
N-amônio	9,1	c	12,3	b	8,4	c	18,7	a
N- mineral total	20,5	d	58,5	a	42,9	b	33,2	c
B** (mg dm <sup>-3</sup> )	0,6	a	0,7	a	0,6	a	0,7	a
Cu** (mg dm <sup>-3</sup> )	1,1	a	1,0	a	1,3	a	0,9	a
Fe** (mg dm <sup>-3</sup> )	23,0	b	34	a	26	a	28	a
Mn** (mg dm <sup>-3</sup> )	6,3	b	8,4	a	7,5	a	6,9	a
Zn** (mg dm <sup>-3</sup> )	1,3	a	1,6	a	1,4	a	1,3	a

Médias seguidas pelas mesmas letras na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \* extrator Mehlich 1, \*\* extrator DTPA.

No solo adubado com o sulfato de amônio também se notou baixo valor de CTC efetiva e CTC potencial, semelhantemente ao tratamento com a crotalária (Tabela 3), provavelmente pela elevada extração de Ca, Mg e K pelas plantas de milho, em função da maior produção de biomassa (Figura 1). Nesse tratamento ocorreu produtividade cerca de 35 % superiores à faixa adubada com a crotalária e 61 % superior ao tratamento testemunha (Figura 1). Além disso, esses resultados colocam em evidência a importância do enxofre na melhoria do ambiente radicular, vez que os maiores ganhos em produtividade e a maior absorção de bases do solo ocorreram quando se adubou com o sulfato de amônio (Tabela 3 e Figura 1).

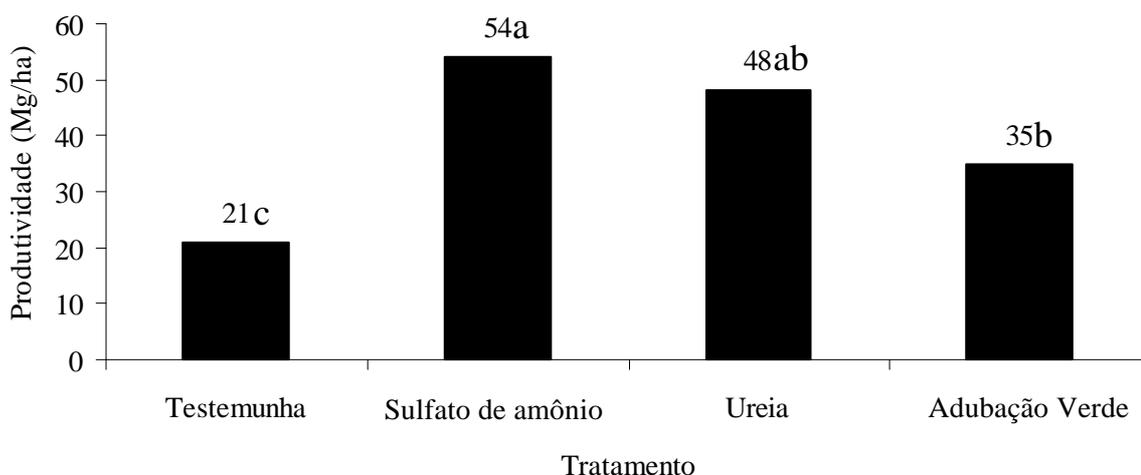
A acidez potencial total (H+Al) também apresentou menores valores nos tratamentos adubação verde e ureia (Tabela 3) devido, provavelmente a menor taxa de nitrificação nesses tratamentos em relação ao tratamento sulfato de amônio, como discutido anteriormente.

Por outro lado, os teores de fósforo (P), potássio (K), matéria orgânica (MO), boro (B), cobre (Cu) e zinco (Zn) não variaram estatisticamente entre os tratamentos (Tabela 3). Em função dos valores de pH do solo, era de se esperar diferenças entre os tratamentos.

No caso do fósforo, pode ter ocorrido superestimação desse nutriente pelo extrator Mehlich 1. Braida et al. (1996) descreve esse fenômeno como sendo resultado da acidez desse extrator que promove a liberação do fósforo ligado ao cálcio, caracterizando a superestimação da concentração do P disponível às plantas.

Entre os micronutrientes, apenas para o Fe e o Mn se verificou variações significativas. Nesse caso, convém lembrar que a disponibilidade desses nutrientes cresce com a acidez do solo, em detrimento da formação de hidróxidos insolúveis (GÁRCIA-MINA et al., 2004). Ademais, deve-se ter em conta que todas as fontes de N utilizadas desempenham reconhecido papel na acidificação do solo, o que explica os maiores valores de disponibilidade observados nas amostras coletadas em parcelas que receberam tratamentos com adubação nitrogenada mineral.

As plantas de milho tiveram alterações no comportamento nutricional conforme os tratamentos utilizados, sendo encontradas diferenças significativas entre as médias dos teores foliares de N, Ca, S, Fe, Mn e Zn (Tabela 4). Os teores de nitrogênio diferiram apenas do tratamento testemunha, onde foram observados sintomas iniciais de deficiência desse nutriente.



**Figura 1.** Teste de agrupamento de médias para a produtividade de matéria fresca de milho para silagem em função de fontes de nitrogênio aos 80 dias após a semeadura. Montes Claros, MG, 2012. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de tukey a 5% de probabilidade.

Embora não se tenha observado diferenças estatísticas entre as fontes de N, levanta-se a possibilidade da ocorrência de efeitos de diluição e concentração, uma vez que a produtividade quando da aplicação do sulfato de amônio e da ureia foi significativamente superior ao da adubação verde (Figura 1).

Os maiores teores foliares de Fe e Mn no tratamento com sulfato de amônio (Tabela 4) podem ser explicados pela maior disponibilidade desses nutrientes no solo, em função do menor pH no solo, conforme discutido anteriormente.

Por outro lado, os teores de zinco não diferiram entre as fontes de N, sendo inferiores apenas no tratamento testemunha. Tal resultado pode ser explicado pela baixa eficiência do extrator utilizado na simulação desse nutriente as plantas.

A ordem de produtividades conforme a fonte de nitrogênio utilizada foi a seguinte: sulfato de amônio ( $54 \text{ t ha}^{-1}$ )  $\approx$  ureia ( $48 \text{ t ha}^{-1}$ ) > adubação verde ( $35 \text{ t ha}^{-1}$ ) > testemunha ( $21 \text{ t ha}^{-1}$ ) (Figura 1). Esses resultados colocam em relevo a significativa resposta do milho à aplicação de N em cobertura. Respostas

semelhante a aplicação de nitrogênio no milho foram observadas por Paiva et al. (2012). A maior produtividade no tratamento com sulfato de amônio pode ser atribuída à redução do pH do solo pelas reações de nitrificação, com conseqüente maior disponibilidade de N mineral e micronutrientes catiônicos, como Fe e Mn, além de ser uma fonte de enxofre.

O tratamento com ureia, embora estatisticamente igual ao sulfato de amônio, teve uma produtividade cerca de 11 % inferior à do sulfato de amônio, podendo-se relacionar às prováveis perdas de N por volatilização, à menor disponibilidade de micronutrientes catiônicos e à menor disponibilidade de S.

Já no tratamento com crotalária os valores de produtividades foram aproximadamente 35 % menores que a do sulfato de amônio. Esses baixos rendimentos põem em evidência a desproporcionalidade existente entre o N mineralizado pela microbiota e as exigências nutricionais da cultura e, ou, a menor capacidade da crotalária em fixar nitrogênio nessas condições ou a menor influência sobre o pH e, conseqüentemente, na disponibilidade de micronutrientes.

**Tabela 4.** Teste de agrupamentos de médias para os teores foliares de nutrientes em função de fontes de nitrogênio. Montes Claros, 2012.

Atributos	Testemunha	Sulfato de Amônio	Ureia	Adubação Verde
N ( $\text{g kg}^{-1}$ )	2,56	3,34	2,98	3,12
P ( $\text{g kg}^{-1}$ )	0,18	0,29	0,21	0,30
K ( $\text{g kg}^{-1}$ )	2,39	2,23	2,35	2,14
Ca ( $\text{g kg}^{-1}$ )	0,42	0,31	0,41	0,41
Mg ( $\text{g kg}^{-1}$ )	0,30	0,29	0,26	0,28
S ( $\text{g kg}^{-1}$ )	0,11	0,21	0,14	0,18
B ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	14	18	17	15
Cu ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	12	14	11	11
Fe ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	138	223	175	198
Mn ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	55	86	67	64
Zn ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	31	52	43	46

Médias seguidas pelas mesmas letras na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

## CONCLUSÕES

Tanto a adubação em cobertura com o nitrogênio mineral quanto o pré cultivo com crotalária potencializa os cultivos de milho em regiões com limitações pela alcalinidade dos solos.

O sulfato de amônio em cobertura atenuou os efeitos da alcalinidade em solos calcários e promoveu a maior absorção de Zn, Mn, Fe e S pelas plantas de milho.

A adubação de base junto à aplicação do nitrogênio em cobertura na forma de sulfato de amônio ou com ureia foi a melhor opção para alcançar maiores produtividades de matéria fresca de milho quando comparadas à adubação com crotária em pré cultivo.

O uso da ureia não influenciou na disponibilidade de micronutrientes e predisps à menor recuperação do nitrogênio em solos calcários.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) a concessão de bolsas e recursos para a realização desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- AGRIANUAL 2014: **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: Instituto FNP, 2014. Disponível em: <<http://www.agriannual.com.br>>. Acesso em: 14 jun. 2014.
- BRAIDA, J. A. et al. Comparação de métodos de determinação da disponibilidade de fósforo do solo para as plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 20, n. 2, p.345-347, 1996.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F. et al. (Eds.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 375-470.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo**: Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.
- SANTOS, H. G. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.
- FERNANDES, L. A. et al. Preparo do solo e adubação nitrogenada na produção de grãos e matéria seca e acúmulo de nutrientes pelo milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n. 9, p. 1691-1698, 1999.
- FOLLET, R. F. Transformation and transport processes of nitrogen in agricultural systems. In: HATFIELD, J. L.; FOLLETT, R. F. (Eds). **Nitrogen in the environment: sources, problems, and management**. USDA/ARS, Soil-Plant-Nutrient Research Unit: Fort Collins, CO, USA. 2008. p. 19-50.
- GÁRCIA-MINA, J. M.; ANTOLÍN, M. C.; SANCHEZ-DIAS, M. Metal-humic complexes and plant micronutrient uptake: a study based on different plant species cultivated in diverse soils types. **Plant and Soil**, The Hague, v. 258, p. 57-68, 2004.
- GERENDÁS, J.; RATCLIFFE, R. G. Intracellular pH regulation in maize root tips exposed to ammonium at high external pH. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 51, p. 207-219, 2000.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola – Dez. 2006**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 8 mar. 2014.
- KEENEY, D. R.; NELSON, D. W. Nitrogen: inorganic forms. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy, 1982. Part 2, p. 625-642.
- 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. 319 p.
- BRITO, M. E. B. et al. Sensibilidade à salinidade de híbridos trifoliados e outros porta-enxertos de citros. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 1, p. 17 – 27, 2014.
- NUNES, R. L. C. et al. Efeitos da salinidade da solução nutritiva na produção de pimentão cultivado em substrato de fibra de coco. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 26, n. 4, p. 48 – 53, 2013.
- NUNES, W. A. G. de A. et al. Qualidade da água de irrigação de poços tubulares e do rio gorutuba na região de Janaúba-MG. **Irriga**, Botucatu, v.10, n. 4, p.403-410, 2005.
- NUNES, W. A. G. de A. et al. Características químicas de solos da região de Janaúba, MG, irrigados com água de poços tubulares e do rio gorutuba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n. 1, p.227-236, 2008.
- OLIVEIRA, C. V. et al. Química e mineralogia de solos derivados de rochas do grupo Bambuí no Norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n. 4, p. 583-593, 1998.

PAIVA, M. R. F. C. et al. Doses de nitrogênio e de fósforo recomendadas para produção econômica de milho-verde na chapada do Apodi-RN. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 4, p. 1-10, 2012

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5º Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais – CFSEMG, 1999. 359 p.

SÁ JÚNIOR, A. et al. Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, 2011.

VALDERRAMA, M. et al. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 254-263, 2011.