



Revista Brasileira de Ciências Agrárias

ISSN: 1981-1160

editorgeral@agraria.pro.br

Universidade Federal Rural de Pernambuco

Brasil

Vale, Diego W. do; Prado, Renato de M.; Avalhães, Cíntia C.; Hojo, Ronaldo H.
Omissão de macronutrientes na nutrição e no crescimento da cana-de-açúcar cultivada em solução nutritiva

Revista Brasileira de Ciências Agrárias, vol. 6, núm. 2, abril-junio, 2011, pp. 189-196
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Pernambuco, Brasil

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=119018545001>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

AGRÁRIA

Revista Brasileira de Ciências Agrárias
ISSN (on line): 1981-0997
v.6, n.2, p.189-196, abr.-jun., 2011
Recife, PE, UFRPE. www.agraria.ufrpe.br
Protocolo 550 - 10/04/2009 *Aprovado em 03/02/2011
DOI:10.5039/agraria.v6i2a550

Diego W. do Vale¹

Renato de M. Prado^{2,4}

Cíntia C. Avalhães³

Ronaldo H. Hojo²

Omissão de macronutrientes na nutrição e no crescimento da cana-de-açúcar cultivada em solução nutritiva

RESUMO

A deficiência de nutrientes pode limitar a nutrição, o crescimento e a produção da cana-de-açúcar. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento, a produção de massa de matéria seca, o teor e o acúmulo de nutrientes em plantas de cana-de-açúcar em solução nutritiva, submetidas à omissão de macronutrientes, bem como descrever os sintomas visuais dessa omissão. Para isto, foi instalado um experimento na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Campus de Jaboticabal-SP, com sete tratamentos (completo e com omissão de N, P, K, Ca, Mg e S), disposto em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. Após onze semanas do transplante das plantas para a solução nutritiva com o respectivo tratamento, foram avaliados o número de perfilhos, o número de folhas totalmente desenvolvidas, a altura, o diâmetro dos perfilhos, a matéria seca da planta e os teores de macronutrientes da parte aérea e das raízes da cana-de-açúcar. N e P foram os nutrientes que mais limitaram o crescimento das plantas de cana-de-açúcar, com reduções de 91 e 57%, respectivamente. Entretanto, em relação ao crescimento das raízes, as omissões de N e Ca promoveram as maiores limitações, de 83 e 48%, respectivamente.

Palavras-chave: Desordem nutricional, *Saccharum* spp, solução nutritiva.

Macronutrients omission in the nutrition and growth of sugarcane grown in nutritious solution

ABSTRACT

Nutrients deficiency may limit the nutrition, growth and production of sugarcane. In this context, the objective of this work was to evaluate the growth, dry matter production, nutrient content and nutrients accumulation in sugarcane plants grown in nutritious solution, submitted to macronutrients omission, and to describe the visual symptoms of such omission. The experiment was carried out at the School of Agrarian and Veterinarian Sciences – Jaboticabal Campus, São Paulo, Brazil, with seven treatments (complete and with the omission of N, P, K, Ca, Mg and S), arranged in a completely randomized design, with three replications. Eleven weeks after the transplant to the nutrient solutions, the tiller number the fully developed leaves number, the height, the tillers diameter, the plant dry matter and the shoot and root macronutrient content of sugarcane were evaluated. N and P were the nutrients that limited the growth of sugarcane plants the most, with reductions of 91 and 57 %, respectively. However, regarding the root growth, the omission of N and Ca resulted in the greatest limitations, reducing the root growth in 83 and 48%, respectively.

¹ Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Av.: Pádua Dias, 11, Zona Rural, CEP 13416-070, Piracicaba-SP, Brasil. Caixa Postal 9. Fone: (19) 3417-2138. Fax: (19) 3434-5354. E-mail: drdiegodovale@yahoo.com.br

² Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, Departamento de Solos e Adubos, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, CEP 14884-900, Jaboticabal-SP, Brasil. Fone: (16) 3209-2672 Fax: (16) 3202-4275. E-mail: rmprado@pq.cnpq.br; ronaldo.hojo@yahoo.com.br

³ Universidade de São Paulo, Av. Centenário, 303, São Dimas, CEP 13400-970, Piracicaba-SP, Brasil. Caixa Postal 96. Fone: (19) 3429-4616. E-mail: cintiavalhaes@hotmail.com

INTRODUÇÃO

O Brasil é considerado o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, uma das culturas agrícolas mais importantes do mundo e uma das melhores opções de fonte de energia renovável. Calcula-se que a produção brasileira de cana-de-açúcar para safra de 2009/10 atinge cerca de 9,1 milhões de hectares, dos quais 8 milhões são destinados à produção de açúcar e álcool. O Centro Sul e o Estado de São Paulo são responsáveis por 85 e 60%, respectivamente, da produção de cana-de-açúcar (Agriannual, 2010).

Para aumentar a produção da cana-de-açúcar e a competitividade do setor sucroalcooleiro é necessário controlar os fatores produtivos, como por exemplo o adequado fornecimento de nutrientes para atender as exigências nutricionais da cultura, pois eles podem limitar o crescimento e produção vegetal (Taiz & Zeiger, 2004).

A falta ou o excesso de um nutriente pode proporcionar efeitos semelhantes em diferentes espécies vegetais, devido à similaridade das funções dos nutrientes (Meyer et al., 1983). No entanto, é comum a existência de efeitos diferenciados entre e dentro de espécies, como resultado da expressão genética, influenciada pela deficiência ou toxicidade dos nutrientes (Vose, 1963). Assim, novas variedades de cana-de-açúcar podem apresentar eficiências nutricionais distintas, com maior ou menor resposta a determinados nutrientes, e, consequentemente, influenciar a conversão de matéria seca. Portanto, é importante acompanhar os efeitos da omissão dos nutrientes na nutrição das plantas para a maximização do retorno econômico da atividade canavieira.

Nesse sentido, Reis Jr & Monnerat (2002), em trabalho sobre a avaliação do estado nutricional de lavouras cultivadas de cana-de-açúcar, verificaram que 97% das amostras apresentavam deficiência em nitrogênio, 83% de enxofre e 80% de cálcio, e apontaram o potássio e o fósforo como potenciais nutrientes limitantes à produção nessa cultura. No campo, existem constatações de que a omissão dos macronutrientes diminui a produção da soqueira da cana-de-açúcar em 30% (Rosseto et al., 2008), ou até 38% com a omissão apenas do nitrogênio (Vale, 2009).

Apesar da importância dos nutrientes para a cultura da cana-de-açúcar, existe uma carência de estudos envolvendo a omissão de nutrientes e seus reflexos nos sintomas visuais, no estado nutricional e no crescimento da cultura. As informações da literatura são restritas para alguns nutrientes como nitrogênio e potássio (Silveira & Crocomo, 1989), e outras gerais, em boletins técnicos (MacCray et al., 2006; Rice et al., 2006).

Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento, a produção de massa de matéria seca, o teor e o acúmulo de nutrientes em plantas de cana-de-açúcar em solução nutritiva, submetidas à omissão de macronutrientes, bem como descrever os sintomas visuais dessa omissão.

período de agosto a outubro de 2008, na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Campus de Jaboticabal-SP ($21^{\circ}15'22''$ e $48^{\circ}18'58''$). A temperatura média e a insolação no mês de agosto foram de $20,3^{\circ}\text{C}$ e 223,9 h, respectivamente. No mês de setembro foram de $22,9^{\circ}\text{C}$ e 201,3 h, respectivamente, e no mês de agosto foram de $23,6^{\circ}\text{C}$ e 223,8 h, respectivamente.

Os tratamentos empregados foram: 1 - completo (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn); 2 - omissão de nitrogênio (-N); 3 - omissão de fósforo (-P); 4 - omissão de potássio (-K); 5 - omissão de cálcio (-Ca); 6 - omissão de magnésio (-Mg); 7 - omissão de enxofre (-S). Os tratamentos foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições.

Foram utilizados toletes de 5 cm de comprimento da variedade RB 86-7515, os quais foram colocados em bandejas plásticas contendo areia grossa. Após 15 dias da emergência do broto, as mudas foram transplantadas para vasos de polipropileno (3 L), contendo solução nutritiva de Hoagland & Arnon (1950) diluída a 50%, e mantidas por sete dias (Tabela 1). Após esse período, foi utilizada a mesma solução nutritiva sem a diluição, renovada a cada quinze dias. A solução foi oxigenada constantemente por um compressor de ar.

As soluções nutritivas foram trocadas semanalmente e continuamente aeradas, completando-se diariamente o nível da solução no vaso com água destilada e ajustando-se o valor pH entre 5,0 e 6,0 com HCl 0,1N ou NaOH 1N. A água utilizada no experimento apresentava as seguintes características químicas: pH = 8,1; condutividade elétrica = 0,1 dS m^{-1} ; alcalinidade total = 113,0 mg L^{-1} de CaCO_3 ; dureza total = 69,0 mg L^{-1} de CaCO_3 ; sulfatos = 1,0 mg L^{-1} de SO_4^{2-} ; $\text{N}-\text{NH}_4^+$ \leq 0,001 mg L^{-1} ; $\text{N}-\text{NO}_3^-$ = 0,0013 mg L^{-1} ; Na = 21,0 mg L^{-1} ; K = 2,0 mg L^{-1} ; Ca = 26,5 mg L^{-1} ; Mg = 0,52 mg L^{-1} ; Zn = 0,002 mg L^{-1} ; Fe total = 0,005 mg L^{-1} ; Mn total = 0,003 mg L^{-1} ; Cu = 0,003 mg L^{-1} .

Semanalmente os sintomas visuais de deficiência nutricional foram observados e descritos. Para avaliar o crescimento foram consideradas as variáveis: número de perfilhos; número de folhas totalmente expandidas; altura das plantas; diâmetro do colmo primário; e diâmetro de perfilhos (brotações subsequentes). A altura foi medida do colo da planta até a bainha da primeira folha totalmente expandida, e o diâmetro dos colmos foi medido com o uso de um paquímetro digital (Starrett 727-2001®) na metade do primeiro colmo. Nos perfilhos (brotações subsequentes) foram avaliadas as mesmas variáveis de crescimento, seguindo a mesma metodologia utilizada no colmo primário.

As plantas de cana-de-açúcar foram colhidas onze semanas após o transplante. Posteriormente, foram lavadas com água desionizada, separando-se a parte aérea e raízes, e colocando-se para secar em estufa de ventilação forçada de ar a 65°C até peso constante. Após a secagem, a massa de matéria seca foi pesada e moída em moinho tipo Willey para a análise química dos teores de macronutrientes na parte aérea e nas raízes (Bataglia et al., 1983). Com os resultados da massa de matéria seca da parte aérea e das raízes, e os respectivos teores de macronutrientes, foi feito o cálculo do acúmulo dos

Tabela 1. Composição química da solução nutritiva (mL por vaso) de Hoagland & Arnon (1950), correspondente aos tratamentos utilizados no experimento.**Table 1.** Chemical composition of Hoagland & Arnon's (1950) nutrient solution (mL per pot), corresponding to the treatments used in the experiment.

Solução estoque	Tratamento						
	Completo	- N	- P	- K	- Ca	- Mg	- S
K ₂ HPO ₄	2,5	2,5	-	-	2,5	2,5	2,5
KNO ₃	12,5	-	12,5	-	12,5	7,5	12,5
Ca (NO ₃) ₂ .5H ₂ O	12,5	-	12,5	12,5	-	10,0	10,0
KCl	-	12,5	12,5	-	-	5,0	5,0
CaCl ₂ .2H ₂ O	-	5,0	-	-	-	2,5	2,5
NH ₄ H ₂ PO ₄	-	-	-	2,5	-	-	-
NH ₄ NO ₃	-	-	-	5,0	-	-	-
(NH ₄) ₂ SO ₄	-	-	-	-	-	5,0	-
MgNO ₃	-	-	-	-	-	-	5,0
Solução de micros	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Solução de Fe EDTA	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5

O sinal “-” indica a omissão do respectivo nutriente na composição da solução nutritiva.

A análise estatística dos resultados foi feita a partir da análise de variância, utilizando-se o teste F a 1% de probabilidade e, sendo significativo, a comparação das médias foi feita pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o software ESTAT (Barbosa & Maldonado Júnior, 2009).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os efeitos da omissão dos macronutrientes na nutrição e nas variáveis de crescimento em relação ao tratamento completo serão discutidos separadamente para cada elemento.

Omissão de nitrogênio

A omissão de N refletiu-se no menor crescimento das plantas de cana-de-açúcar (Tabela 2) e, consequentemente, na redução de 92% da massa da matéria seca da parte aérea, 83% das raízes e 91% da planta inteira (Tabela 3), corroborando com observações de Rice et al. (2006). O menor crescimento das plantas se deve à diminuição da concentração de proteínas e da atividade da redutase de nitrato promovida pela deficiência de N (Silveira & Crocomo, 1989).

A ausência de perfilhos na omissão de N é justificada pelo importante papel deste macronutriente na taxa de perfilhamento das culturas (Santos Junior et al., 2005).

A omissão de N promoveu a maior limitação de crescimento da cana-de-açúcar em relação à omissão dos outros macronutrientes, em virtude do N exercer função estrutural, participando de diversos compostos orgânicos e processos fisiológicos vitais na planta (Prado et al., 2010).

O efeito maléfico da omissão de N no crescimento das plantas é amplamente relatado na literatura (Rice et al., 2006; Prado & Franco, 2007). Em capim elefante, a omissão de N causou decréscimo na produção de massa de matéria seca da forrageira (Saraiva & Carvalho, 1991), e a sua aplicação resultou em efeito benéfico para o crescimento da forrageira (Prado et al., 2007).

Efeitos benéficos da aplicação de N no aumento da produção da cana-de-açúcar foram constatados por diversos autores no campo (Alvarez et al., 1963; Weber et al., 2001 e Vitti et al., 2007), e em vaso (Trivelin et al., 2002), corroborando com as observações de que a omissão da aplicação desse macronutriente limita a produção da cana-de-açúcar.

Além dos efeitos maléficos no crescimento da cultura da cana-de-açúcar na omissão de N, foi observado o aparecimento de sintomas visuais de deficiência desse nutriente nas plantas, como o amarelecimento das folhas velhas e plantas raquílicas.

O tratamento completo apresentou teor de N de 22,9 g kg⁻¹ na parte aérea e de 19,5 g kg⁻¹ nas raízes, enquanto que, no tratamento com omissão de N, seu teor na parte aérea foi de 6,8 g kg⁻¹ e nas raízes foi de 8,1 g kg⁻¹ (Tabela 4), indicando o efeito prejudicial na nutrição das plantas de cana-de-açúcar com a omissão desse nutriente. Este efeito se reflete na extração de N da planta inteira que foi de 86,7 mg/vaso, no tratamento completo, e de 2,7 mg/vaso, no tratamento com a omissão (Tabela 5).

Omissão de fósforo

O tratamento com a omissão de P proporcionou o segundo menor crescimento das plantas de cana-de-açúcar (Tabela 2), com redução de 63% na massa seca da parte aérea, 29% nas raízes e 57% na planta inteira (Tabela 3).

Plantas deficientes em P apresentaram crescimento retardado devido a esse nutriente estar ligado à função estrutural e ao processo de transferência e armazenamento de energia, afetando vários processos metabólicos como a síntese de proteínas e do ácido nucléico (Prado et al., 2010).

Assim, a omissão de P provocou severa redução no crescimento das plantas de cana-de-açúcar e diminuição na absorção do nutriente, progredindo para sintomas de deficiência, tais como: desenvolvimento lento da parte aérea e do sistema radicular, folhas velhas pequenas com clorose e avermelhamento nas bordas. Relatos semelhantes foram

Tabela 2. Altura, diâmetro, número de folhas, número de perfilhos nos colmos primário e secundário da cana-de-açúcar cultivada em solução nutritiva, em função da presença e da ausência de macronutrientes

Table 2. Height, diameter, leaves number, tillers number in primary and secondary stalk of sugarcane cultivated in nutritive solution, as a function of the presence and absence of macronutrients

Tratamentos	Altura cm	Diâmetro mm	Nº folhas por planta	Nº perfilhos por vaso	Perfilhos		
					Altura (cm)	Diâmetro (mm)	Nº de folhas
Completo	36,7a	16,8a	5ab	6a	15,0b	8,6a	3a
- N	10,5c	7,7b	2b	-	-	-	-
- P	23,6b	13,4ab	3b	-	-	-	-
- K	35,5a	14,9a	6a	5a	16,6ab	8,5a	3a
- Ca	30,3ab	14,4a	4ab	5a	17,9a	7,0ab	3a
- Mg	29,3ab	15,2a	6a	6a	10,5c	6,6a	3a
- S	32,8ab	13,6ab	6a	4a	16,8ab	7,7ab	3a
CV (%)	12,1	17,2	18,4	22,3	8,2	12,7	15,3
DMS	9,6	6,67	2,34	2,28	2,50	1,94	0,95

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem ($p<0,05$) significativamente entre si pelo teste Tukey
O sinal “-” indica ausência de unidade

Tabela 3. Produção de massa de matéria seca da parte aérea, das raízes e da planta de cana-de-açúcar cultivada em solução nutritiva em função da presença e da ausência de macromutrientes

Table 3. Dry mass production of the shoot and roots and of the whole sugarcane plant cultivated in nutritive solution as a function of the presence and absence of macronutrients

Tratamentos	Matéria seca		
	Parte aérea	Raízes	Planta
			g/vaso ⁻¹
Completo	31,9a	6,9a	38,9a
N	2,4c	1,2c	3,6c
P	11,9b	4,9ab	16,8b
K	30,9a	5,5ab	36,3a
Ca	33,7a	3,6bc	37,3a
Mg	28,1a	4,8ab	32,9a
S	28,3a	6,5a	34,8a
CV (%)	12,8	18,5	12,1
DMS	8,54	2,47	9,70

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem ($p<0,05$) significativamente entre si pelo teste Tukey

(2006) em cana-de-açúcar. Entretanto, em milheto, Coelho et al. (2002) relataram o aparecimento de manchas arroxeadas nas folhas mais velhas, devido ao acúmulo de fotoassimilados nos tecidos, o que favorece a síntese de antocianina, pigmento que confere essa coloração (Salvador et al., 1998).

Os tratamentos também influenciaram o teor de macronutrientes nas plantas de cana-de-açúcar, sendo que o tratamento completo apresentou teor de P na parte aérea, de

omissão de P apresentou teor de 0,4 g kg⁻¹, na parte aérea, e de 0,5 g kg⁻¹ nas raízes, indicando uma diminuição de cerca de sete vezes no teor desse nutriente (Tabela 4). A extração de P foi severamente reduzida com a omissão desse nutriente, sendo de 11,33 mg/vaso no tratamento sem omissão, e de apenas 0,7 mg/vaso na omissão (Tabela 5).

Resultados semelhantes foram observados em plantas de capim-elefante por Werner & Haag (1972), quando verificaram diminuição do teor de P do tratamento completo de 6,8 g kg⁻¹ para 0,9 g kg⁻¹ na omissão desse macronutriente.

Observa-se que a omissão de P proporcionou o baixo teor de N na parte aérea das plantas de cana-de-açúcar (14,5 g kg⁻¹ de N) e limitou a extração de N em 27,7 mg/vaso, enquanto que no tratamento sem omissão, a extração foi de 86,7 mg/vaso. A presença do P estimula o crescimento de raízes mais finas e a concentração de P na parte externa das raízes é também importante para uma adequada absorção de N (Ceconi et al., 2006), justificando a baixa extração de N nas plantas (Tabela 5), evidenciando que a aplicação de P é fundamental para uma adequada nutrição nitrogenada nas plantas (Werner et al., 1968).

Omissão de potássio

Ainda que a cana-de-açúcar seja muito exigente em K, nesse trabalho, a omissão deste macronutriente não limitou o crescimento das plantas (Tabela 2), o que resultou em redução de apenas 3% na produção de matéria seca da parte aérea, de 20% na massa seca das raízes e de 7% na planta inteira, em comparação ao tratamento sem omissão (Tabela 3). A explicação para este comportamento talvez seja a reserva de K no tolete e o início do cultivo em solução nutritiva (com solução completa) ter suprido parte da exigência da cultura, neste período inicial de crescimento. Além disso, a absorção de K é mais lenta nas fases iniciais de crescimento da cana-

Tabela 4. Teores de nutrientes na parte aérea e nas raízes de cana-de-açúcar cultivada em solução nutritiva em função da presença e da ausência de macronutrientes

Table 4. Nutrient content in the dry mass of the shoot and roots of sugarcane cultivated in nutritive solution as a function of the presence and absence of macronutrients

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
			----- g kg ⁻¹ -----			
Parte aérea						
Completo	22,90ab	2,8b	22,4a	2,5b	1,5c	2,4ab
- N	6,8d	3,3ab	15,9a	3,8ab	2,4ab	1,8b
- P	14,5c	0,4c	22,2a	4,4a	2,6ab	1,9ab
- K	23,1ab	3,0b	5,1b	4,1a	2,5ab	2,4ab
- Ca	25,7a	4,6ab	19,0a	0,4c	2,8a	2,9a
- Mg	18,2bc	5,1a	21,7a	3,8ab	0,2d	1,9ab
- S	17,0c	4,0ab	23,3a	2,7b	1,8bc	0,6c
CV (%)	10,3	21,8	15,6	16,1	16,3	19,5
DMS	5,28	2,00	8,04	1,39	0,89	1,08
Raízes						
Completo	19,5bcd	3,6abc	16,5b	1,6b	2,4b	5,5a
- N	8,1e	2,4c	13,4b	1,8b	2,0b	3,5b
- P	21,7bc	0,5d	6,3cd	0,9c	2,3b	3,9b
- K	24,2b	2,8bc	2,8d	1,6b	3,7a	5,3a
- Ca	31,9a	4,2ab	28,3a	0,1d	1,2bc	5,7a
- Mg	15,8d	4,9a	13,9b	1,5b	0,1c	3,7b
- S	17,6cd	3,4abc	11,3bc	2,6a	2,0b	0,7c
CV (%)	8,7	18,3	14,8	11,3	21,7	10,2
DMS	4,79	1,59	5,45	0,46	1,20	1,15

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem ($p < 0,05$) significativamente entre si pelo teste Tukey

Verifica-se que o tratamento com omissão de K não influenciou as variáveis de crescimento (Tabela 2), concomitantemente, a massa de matéria seca da planta inteira reduziu de 38,9 g/vaso, no tratamento completo, para 36,3 g por vaso na omissão de K (Tabela 3). Monteiro et al. (1995), trabalhando com capim *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, também observaram que a omissão de K não proporcionou redução na produção de massa de matéria seca e no perfilhamento em relação ao tratamento completo.

Por outro lado, em cana-de-açúcar com 180 dias após o plantio, Silveira & Crocomo (1989) verificaram que a omissão de K promoveu menor fotossíntese, crescimento e teor sacarose. Essa diferença se deve, provavelmente, ao diferente período de condução do experimento e variedade cultivada.

Ainda que a omissão K não tenha limitado o crescimento da cultura, ela promoveu a diferença no estado nutricional das plantas, pois o tratamento completo apresentou teor de K na parte aérea de 22,4 g kg⁻¹ e nas raízes de 16,5 g kg⁻¹, enquanto que, no tratamento de omissão de K, proporcionou teor na parte aérea de 5,1 g kg⁻¹ e nas raízes de 2,8 g kg⁻¹ (Tabela 4). Efeito semelhante foi observado no acúmulo, tendo o tratamento completo acumulado na planta inteira 82 mg/vaso e o tratamento com omissão desse macronutriente acumulado 17,3 mg/vaso (Tabela 5).

Além disso, a omissão de K aumentou o teor de Ca (4,1 g kg⁻¹) e Mg (2,5 g kg⁻¹) na parte aérea, e de Mg (3,7 g kg⁻¹)

(Tabela 4). Santi et al. (2006), em cultivo de sorgo, também observaram que a omissão de K aumentou o teor foliar de Mg na parte aérea e de Ca na parte aérea e nas raízes. Com relação à extração de nutrientes, observou-se que a omissão de K também promoveu aumento na extração de Ca e Mg (Tabela 4), indicando que a omissão de K promoveu efeito de concentração Mg e Ca (Prado & Vidal, 2008), ou que ocorreu menor competição entre esses cátions e o K, promovendo maior absorção de Ca e Mg na omissão de K (Regis et al., 2000).

Desse modo, observou-se que a omissão de K resultou em maior absorção de Ca e Mg pelas plantas de cana-de-açúcar (Tabela 4), indicando o desequilíbrio nutricional em plantas deficientes em K, o que levou as plantas a apresentarem clorose seguida de necrose nos bordos das folhas velhas, confirmando relatos de Salvador et al. (1998).

Sintomas visuais semelhantes aos observados nesse trabalho foram obtidos com a cultura do capim-elefante, quando foi omitido K, devido a este macronutriente ser necessário ao desenvolvimento da clorofila e participar da ativação de várias enzimas (Avalhães et al., 2009).

Omissão de cálcio

A omissão de Ca promoveu redução de 48, 6 e 4% no crescimento do sistema radicular, da parte aérea e da planta inteira, em comparação ao tratamento completo (Tabelas 1 e 2).

O efeito maléfico da omissão de Ca na diminuição do

Tabela 5. Extração de nutrientes em cana-de-açúcar cultivada em solução nutritiva em função da presença e da ausência de macronutrientes**Table 5.** Nutrients extractions in sugarcane cultivated in nutritive solution as a function of the presence and absence of macronutrients

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	----- mg/vaso ⁻¹ -----
Completo	86,7a	11,33a	82,0a	8,9a	6,3b	11,3a	
- N	2,7d	1,0b	5,0c	1,1c	1,0c	1,0c	
- P	27,7c	0,7b	29,3b	5,8bc	4,0b	4,0c	
- K	84,5a	11,0a	17,3bc	13,6a	10,0a	10,3ab	
- Ca	98,0a	17,0a	74,3a	1,3c	10,0a	12,0a	
- Mg	58,5b	16,3a	67,7a	11,3a	1,0c	7,3b	
- S	59,5b	13,7a	73,3a	9,7ab	6,3b	2,0c	
CV (%)	11,5	24,5	15,5	23,9	17,7	16,5	
DMS	19,16	6,94	21,51	4,89	2,72	3,16	

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem ($p < 0,05$) significativamente entre si pelo teste Tukey

2009). Isto se deve ao papel do Ca na estrutura das plantas, fazendo parte dos pectatos de Ca da parede celular e também das membranas da pectina (pectatos de Ca), sendo requerido para a alongação e divisão mitótica celular (Prado et al., 2010). Assim, a presença de Ca é indispensável para o crescimento das raízes de plantas de milho (Rosolem et al., 1994) e também para a maior produção da cana-de-açúcar (Morelli et al., 1987).

Observa-se ainda que as plantas submetidas à omissão de Ca apresentaram baixo teor desse nutriente na parte aérea de $0,4 \text{ g kg}^{-1}$ e nas raízes de $0,1 \text{ g kg}^{-1}$, enquanto que o tratamento completo apresentou teor de Ca na parte aérea de $2,5 \text{ g kg}^{-1}$ e nas raízes de $1,6 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabela 4). O menor teor de Ca, no tratamento com omissão desse nutriente, refletiu baixo acúmulo desse nutriente na planta inteira ($1,3 \text{ mg/vaso}$) se comparado ao tratamento completo ($8,9 \text{ mg/vaso}$) (Tabela 5).

A omissão de Ca promoveu aumento nos teores P ($4,4 \text{ g kg}^{-1}$) e Mg ($3,8 \text{ g kg}^{-1}$), na parte aérea, e de N ($31,9 \text{ g kg}^{-1}$) e K ($28,3 \text{ g kg}^{-1}$), nas raízes, em relação ao tratamento sem a omissão desse macronutriente (Tabela 4), corroborando com os resultados obtidos por Prado & Vidal (2008). A elevação dos teores de alguns nutrientes, pela omissão de Ca na solução nutritiva, se deve ao efeito da concentração, sendo que o menor crescimento concentrou os nutrientes disponíveis nos tecidos vegetais das plantas de cana-de-açúcar. Outra hipótese para o aumento do teor e acúmulo de K e Mg se deve à competição entre estes nutrientes com o Ca durante a absorção (Regis et al., 2000).

Na omissão de Ca houve rápida emissão dos perfilhos, menor crescimento do sistema radicular e aparecimento de folhas secas no ponteiro “chicote”, sintomas semelhantes aos descritos por Avalhães et al. (2009). Os sintomas de “chicote” em plantas de cana-de-açúcar também foram verificados por MacCray et al. (2006). A omissão de Ca também refletiu no menor crescimento e aparecimento de pontos cloróticos em capim-Marandu (Monteiro et al., 1995). Segundo Prado et al. (2010) plantas deficientes em Ca apresentam folhas com “ganchos”, que são folhas enroladas para baixo.

Omissão de magnésio

As omissões de Mg, assim como a omissão de Ca, refletiu

cana-de-açúcar de 15 cm (tratamento completo) para 10,5 cm (omissão de Mg) (Tabela 2). Além disso, a omissão de Mg limitou em 12, 30 e 15% a massa seca da parte aérea, das raízes e da planta inteira, respectivamente (Tabela 3).

A limitação no crescimento das plantas, com a omissão de Mg, refletiu no estado nutricional da cana-de-açúcar. Assim, o tratamento completo apresentou teor de Mg na parte aérea de $1,5 \text{ g kg}^{-1}$ e nas raízes de $2,4 \text{ g kg}^{-1}$. Por outro lado, na omissão de Mg, o teor desse nutriente na parte aérea foi de $0,2 \text{ g kg}^{-1}$ e nas raízes foi de $0,1 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabela 4), o que refletiu no menor acúmulo de Mg na planta inteira ($1,0 \text{ mg/vaso}$) em relação ao tratamento sem omissão desse nutriente ($6,3 \text{ mg/vaso}$) (Tabela 5).

O menor teor Mg, no tratamento com omissão desse nutriente, fez com que os bordos das folhas mais velhas ficassem encurvados com clorose em faixas, seguido de pontuações marrons, avançando para necrose (MacCray et al., 2006; Prado & Vidal, 2008). Segundo Salvador et al. (1998) os sintomas de deficiência de N, P, K e Mg ocorrem principalmente nas folhas mais velhas devido à alta mobilidade desses nutrientes nas plantas.

Omissão de enxofre

O tratamento completo proporcionou teor de S na parte aérea de $2,4 \text{ g kg}^{-1}$ e de $5,5 \text{ g kg}^{-1}$; nas raízes, por outro lado, o tratamento com omissão de S, apresentou teor de S na parte aérea de $0,6 \text{ g kg}^{-1}$ e nas raízes de $0,7 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabela 4). Estes resultados foram refletidos na diminuição do acúmulo de S de $11,3 \text{ mg/vaso}^{-1}$, no tratamento completo, para $7,3 \text{ mg/vaso}^{-1}$, na omissão desse nutriente (Tabela 5).

Observa-se que o tratamento com a omissão de S proporcionou baixo teor de N na parte aérea ($17,0 \text{ g kg}^{-1}$) e nas raízes ($17,6 \text{ g kg}^{-1}$) quando comparado ao tratamento sem omissão desse macronutriente (Tabela 4). Segundo Koprivova et al. (2000) a assimilação de N e S é bem coordenada, e a deficiência de um deles afeta a via de assimilação do outro. Deve-se atentar para a relação N:S da adubação, pois esta influencia a resposta das plantas, sendo que, ao se elevar a dose de N na adubação, é necessário aumentar a dose de S

nutrientes dentro da planta e para obter-se maior produtividade e qualidade dos produtos agrícolas (Cunha et al., 2001).

A omissão de S promoveu distúrbios nutricionais, o que resultou em alguns sintomas leves de clorose nas pontas das folhas velhas (Avalhães et al., 2009), devido à participação do S nas estruturas orgânicas, em diversas reações enzimáticas e na síntese de proteínas (Prado et al., 2010).

Não foi observada influência da omissão de Ca, Mg e S no crescimento inicial e na produção da massa de matéria seca da cana-de-açúcar devido à extração pela cultura não ser muito elevada, seguindo a seguinte ordem de extração de nutrientes na cana-planta: K > N > S > P > Mg > Ca, e na cana-soca: K > N > P > Mg > S > Ca (Coleti et al., 2006), embora existam trabalhos avaliando a extração de nutrientes em 11 variedades de cana-de-açúcar, que apontou extração de Ca maior que a de N (Oliveira et al., 2010). Todavia, isso ocorreu devido à dose de N utilizada no ensaio, uma vez que as elevadas produtividades de cultivos irrigados aumentam a demanda por esse macronutriente devidos as perdas por lixiviação. Desta forma, as reservas contidas nos colmos com Ca, Mg e S foram suficientes para o crescimento inicial da cultura, no entanto, como foi discorrido neste trabalho, começaram a ser evidenciados alguns sintomas visuais de deficiência, portanto, acredita-se que com o desenvolvimento da cultura, a omissão desses nutrientes provocaria limitações no crescimento das plantas de cana-de-açúcar.

De maneira geral, observou-se que as médias dos tratamentos com omissão dos macronutrientes foram inferiores ao tratamento completo, em relação à produção de matéria seca. Verifica-se que no tratamento completo o maior acúmulo dos nutrientes da parte aérea foi K>N>P>Ca>S>Mg e nas raízes foi N>K>S>P>Mg>Ca.

CONCLUSÕES

N e P foram os nutrientes que mais limitaram o crescimento das plantas de cana-de-açúcar, com reduções de 91 e 57%, respectivamente.

Em relação ao crescimento das raízes, as omissões de N e Ca promoveram as maiores limitações, da ordem de 83 e 48%, respectivamente.

LITERATURA CITADA

- Anuário estatístico da agricultura brasileira - Agriannual. 14.ed. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2010. 497p.
- Alvarez, R.; Segalla, A.L.; Wutke, A.C.P. Adubação da cana-de-açúcar. VIII. Adubação mineral em solos Massapê-Salmourão (1957-58). *Bragantia*, v. 22, n. único, p. 657-675, 1963.
- Avalhães, C.C.; Prado, R.M.; Rozane, D.E.; Romualdo, L.M.; Correia, M.A.R. Omissão de macronutrientes no crescimento e no estado nutricional de capim-elefante (cv. Mott) cultivado em solução nutritiva. *Scientia Agraria*, v.10,
- Barbosa, J.C.; Maldonado Júnior, W. Software AgroEstat - Sistema de análises estatísticas de ensaios agronômicos. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, 2009.
- Bataglia, O.C.; Furlani, A.M.C.; Teixeira, J.P.F.; Furlani, P.R.; Gallo, J.R. *Métodos de análise química de plantas*. Campinas: Instituto Agronômico, 1983. 48p. (Circular, 78).
- Conconi, D.E.; Poletto, I.; Brun, E.J.; Lovato, T. Crescimento de mudas de açoita-cavalo (*Luehea divaricata* Mart.) sob influência da adubação fosfatada. *Cerne*, v.12, n.3, p. 292-299, 2006.
- Coelho, A.M.; Waquil, J.M.; Karan, D.; Casela, C.R.; Ribas, P.M. *Seja o doutor do seu sorgo*. Piracicaba: Potafos, 2002. 24 p. (Arquivo do Agrônomo, 14).
- Coleti, J.T.; Casagrande, J.C.; Stupiello, J.J.; Ribeiro, L.D.; Oliveira, G.R. Remoção de macronutrientes pela cana-planta e cana-soca, em Argissolos, variedades RB83486 e SP81-3250. *STAB-Açúcar e Álcool e Subprodutos*, v.24, p.32-36, 2006.
- Cunha, M.K.; Siewerdt, L.; Junior, P.S.; Siewerdt, F. Doses de nitrogênio e enxofre na produção e qualidade da forragem de campo natural de planossolo no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.30, n.3, p.651-658, 2001. Crossref
- Hoagland, D.R.; Arnon, D.I. *The water culture method for growing plants without soils*. Berkeley: California Agricultural Experimental Station, 1950. 347p.
- Koprivova, A.; Suter, M.; Camp, R.O.; Brunold, C.; Kopriva, S. Regulation of sulfate assimilation by nitrogen in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, v.122, n.3, p.736-746, 2000. Crossref
- Korndörfer, G.H.; Anderson, D.L. Use and impact of sugar-alcohol residues vinasse and filter cake on sugar cane production in Brazil. *Sugar y Azucar*, v.3, n.92, p.26-35, 1997.
- Márquez, F.; Sánchez, J.; Urbano, D.; Dávila, C. Evaluación de la frecuencia de corte y tipos de fertilización sobre tres genotipos de pasto elefante (*Pennisetum purpureum*). 1. Rendimiento y contenido de proteína. *Zootecnia Tropical*, v.25, n.4, p.253-259, 2007.
- MacCray, J.M.; Ezenwa, I.V.; Rice, R.W.; Lang, T.A. Sugarcane plant nutrient diagnosis. *Sugarcane Handbook*, v.1, n.1, p.1-25, 2006.
- Meyer, B.; Anderson, D.; Bohning, R.; Fratianne, D. *Introdução à fisiologia vegetal*. 2.ed. Lisboa: Fundação Calourest Gulbenkian, 1983. 710p.
- Monteiro, F.A.; Ramos, A.K.B.; Carvalho, D.D.; Abreu, J.B.R.; Daiub, J.A.S.; Silva, J.E.P.; Natale, W. Cultivo de *Brachiaria brizantha* Stapf. cv. Marandu em solução nutritiva com omissões de macronutrientes. *Scientia Agricola*, v.52, n.1, p.135-141, 1995. Crossref
- Morelli, J.L.; Demattê, J.L.I.; Nelli, E.J.; Dalben, A.E. Efeito do gesso e do calcário nas propriedades químicas de solos arenosos álicos e na produção da cana-de-açúcar. *STAB-Açúcar e Álcool e Subprodutos*, v.6, p.21-24, 1987.
- Oliveira, E.C.A.; Freire, F.J.; Oliveira, R.I.; Freire, M.B.G.; Simões Neto, D.E.; Silva, S.A.M. Extração e exportação de nutrientes por variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34,

- Prado, R.M.; Franco, C.F. Omissão de nutrientes no crescimento, na nutrição e nos sintomas visuais em plantas de milho variedade Al - Bandeirante. *Revista de Agricultura*, v.82, n.1, p.84-97, 2007.
- Prado, R.M. Nutrição de plantas. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 407p.
- Prado, R.M.; Franco, C.F.; Puga, A.P. Deficiências de macronutrientes em plantas de soja cv. BRS MG 68 (Vencedora) cultivada em solução nutritiva. *Comunicata Scientiae*, v.1, n.2, p.114-119. 2010.
- Prado, R.M.; Vidal, A. Efeito da omissão de macronutrientes em solução nutritiva sobre o crescimento e nutrição do milheto. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.38, n.3, p.208-214, 2008.
- Regis, P.V.; Bastos, A.R.R.; Mendonça, A.V.R.; Carvalho, J.G. Efeito da relação ca:mg do corretivo no desenvolvimento e nutrição mineral de mudas de Aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. All.). *Cerne*, v.6, n.1, p.30-39, 2000.
- Reis Jr, R.A.; Monnerat, P.H. Diagnose nutricional da cana-de-açúcar em campos dos Goyatacazes, RJ. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, n.2, p.367-372, 2002.
- Rice, R.W.; Gilbert, R.A.; Lentini, R.S. Nutritional requirements for Florida sugarcane. *Sugarcane Handbook*, v.2, n.2, p.1-8, 2006.
- Rosolem, C.A.; Vale, L.S.R.; Grassi Filho, H.; Moraes, M.H. Sistema radicular e nutrição do milho em função da calagem e da compactação do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.18, n.3, p.491-497, 1994.
- Rosseto, R.; Dias, F.L.F.; Vitti, A.C. Fertilidade do solo, nutrição e adubação. In: Dinardo-Miranda, L.L.; Vasconcelos, A.C.M.; Landell, M.G.A. (Eds.). *Cana-de-açúcar*. Campinas: Instituto Agronômico, 2008. p.271-287.
- Salvador, J.O.; Moreira, A.; Muraoka, T. Deficiência nutricional em mudas de goiabeira decorrente da omissão simultânea de dois macronutrientes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.33, n.10, p.1623-1631. 1998.
- Santi, A.; Camargos, S.L.; Scaramuzza, W.L.M.P.; Scaramuzza, J.F. Deficiências de macronutrientes em sorgo. *Ciência e Agrotecnologia*, v.30, n.2, p.228-233, 2006. Crossref
- Santos Júnior, J.D.G.; Monteiro, F.A.; Macedo, M.C.M.; Euclides, V.P.B. Componentes morfológicos do capim-Tanzânia cultivado em quatro condições de fertilidade do solo na região dos cerrados. *Boletim de Indústria Animal*, v.62, n.2, p.91-99, 2005.
- Saraiva, O.F.; Carvalho, M.M. Adubação nitrogenada e fosfatada para o estabelecimento de capim-elefante em Latossolo Vermelho-Amarelo textura argilosa. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.15, n.2, p.201-205, 1991.
- Silva, F.C.; Bergamasco, A.F.; Montali, E.F.; Rodrigues, L.H.; Farias, J.R. Avaliação da adubação nitrogenada e potássica em cana-de-açúcar baseada em modelos. In: Yamada, T.; Roberts, T.L. (Eds.). *Potássio na agricultura brasileira*. Piracicaba: Potafós, 2005. p.763-812.
- Silveira, J.A.G.; Crocomo, O.J. Sintomas de deficiência de potássio induzidos pelo acúmulo de aminoácidos e amônia em cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.13, n.3, p.329-334, 1989.
- Taiz L.; Zeiger, E. *Plant physiology*. New York: The Benjamin/Cummings Publishing Company, 2004. p.391-395.
- Trivelin, P.C.O.; Vitti, A.C.; Oliveira, M.W.; Gava, G.J.C.; Sarriés, G.A. Utilização de nitrogênio e produtividade da cana-de-açúcar (cana-planta) em solo arenoso com incorporação de resíduos da cultura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, n.3, p.636-646, 2002.
- Vale, D.W. Efeito da aplicação de nitrogênio nos atributos químicos do solo, na nutrição e na produção de cana-de-açúcar. *Jaboticabal: UNESP*, 2009. 120p. Dissertação Mestrado.
- Vicente-Chandler, J.; Figarella, J. Effects of the nitrogen sources on yields and composition of napier grass. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, v.44, n.2, p.215 - 227, 1962.
- Vitti, A.C.; Trivelin, P.C.O.; Gava, G.J.C.; Penatti, C.P.; Bologna, I.R.; Faroni, C.E.; Franco, H.C.J. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada ao nitrogênio residual da adubação e do sistema radicular. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.42, n.2, p.249-256, 2007. Crossref
- Vose, P.B. Differences in plant nutrition. *Herbage Abstracts*, v.33, n.1, p.1-13, 1963.
- Weber, H.; Daros, E.; Camargo, J.L.; Teruyo, O.; Barela, J.D. Recuperação da produção de cana-de-açúcar com adubação NPK. *Scientia Agraria*, v.2, n.1-2, p.73-77, 2001.
- Werner, J.C.; Gomes, F.P.; Kalilk, E.B.; Rocha, G.L.; Marinelli, D. Fontes de nitrogênio e seus efeitos na produção forrageira. *Boletim da Indústria Animal*, v.25, n.1, p.151-159, 1968.
- Werner, J.C.; Haag, H.P. Estudos sobre a nutrição mineral de alguns capins tropicais. *Boletim de Indústria Animal*, v.29, n.1, p.191-245, 1972.