

## FITOMASSA E ACUMULO DE MACRONUTRIENTES EM CANA-DE-AÇÚCAR SOB COMPACTAÇÃO E UMIDADE DO SOLO

OTAVIO BAGIOTTO ROSSATO<sup>1</sup>; JORGE MARTINELLI MARTELLO<sup>2</sup> E CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Professor do Instituto Federal Catarinense, CEP 89700-000, Concórdia, SC, Brasil.

E-mail: otavio.rossato@ifc-concordia.edu.br

<sup>2</sup>Doutorando em Agronomia – Energia na Agricultura, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), CEP 18610-307, 237, Botucatu, SP, Brasil.

E-mail: jorgemartinelli@gmail.com

<sup>3</sup>Professor do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), CEP 18610-307, 237, Botucatu, SP, Brasil. E-mail: crusciol@fca.unesp.br

### 1 RESUMO

O experimento foi realizado em tubos de PVC, em casa de vegetação, usando um delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições, com tratamentos arranjados em esquema fatorial (4x3x2), equivalente a quatro variedades, 3 níveis de compactação do solo na camada de 0,20 a 0,30 m (1,35; 1,45 e 1,55 Mg m<sup>-3</sup>) e 2 teores de água no solo (70% e 90% da capacidade de campo). Aos 72 dias após emergência da plantas foram avaliadas a massa seca de raízes e parte aérea e os teores de N, P, K, Ca, Mg, S acumulados na parte aérea da cana-de-açúcar. O maior nível de umidade no solo propiciou aumento na produção de matéria seca de raiz e da parte aérea além de maior acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea da cana-de-açúcar, independentemente da variedade e nível de compactação. Além disso, na variedade RB72454 obteve-se maior produção de matéria seca da parte aérea e maior acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S que as demais variedades quando sob maior disponibilidade de água no solo. O maior nível de compactação do solo promoveu redução na produção de matéria seca da parte aérea e no acúmulo de N, P, K, Ca e Mg na parte aérea da cana-de-açúcar, independentemente da variedade utilizada. Em solos com menor disponibilidade de água (70%CC), o maior nível de compactação do solo (1,55 Mg m<sup>-3</sup>) promoveu redução na produção de biomassa da parte aérea e no acúmulo de N, P, K, Ca e Mg.

**Palavras-Chaves:** *Saccharum* spp, teor de água no solo, densidade, matéria seca, raiz, nutrientes, parte aérea.

**ROSSATO, O. B.; MARTELLO, J. M.; CRUSCIOL, C. A. C.**  
**DRY MATTER PRODUCTION AND MACRONUTRIENT ACCUMULATION**  
**IN SUGARCANE GROWN UNDER LEVELS OF COMPACTION AND SOIL**  
**MOISTURE**

## 2 ABSTRACT

The experiment was conducted in PVC tubes, in a greenhouse, using a randomized block design with four replications, in a factorial arrangement (4x3x2) equivalent to four varieties, three levels of soil compaction in the layer 0.20 to 0.30 m (1.35, 1.45 and 1.55 Mg m<sup>-3</sup>) and two soil moisture contents (70% and 90% of field capacity). 72 days after the plants emergence the dry mass of roots and shoots and N, P, K, Ca, Mg, S contents accumulated in shoots of sugarcane were assessed. The results show that the higher moisture level in the soil led to increases in dry matter production of shoots and roots besides higher accumulation of N, P, K, Ca, Mg and S in sugarcane shoots regardless of the variety and level of compaction. In addition, variety RB72454 provided greater shoots with dry matter and higher accumulation of N, P, K, Ca, Mg and S on shoots than in other varieties under greater availability of water in the soil. The highest level of soil compaction promoted reduction in shoot dry matter production and accumulation of N, P, K, Ca and Mg on shoots of sugarcane regardless of the variety used. On soils with lower water availability (70% of field capacity), the highest level of soil compaction (1.55 Mg m<sup>-3</sup>) promoted a reduction on shoot biomass production and accumulation of N, P, K, Ca and Mg.

**Keywords:** *Saccharum* spp, soil water content, density, dry matter, root, nutrients, shoot.

## 3 INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar apresenta uma alta produção de biomassa, que por sua vez é responsável pela absorção de grandes quantidades de nutrientes do solo considerados indispensáveis para o seu desenvolvimento e crescimento. A influência da compactação do solo sobre a absorção de nutrientes, o desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea depende, dentre outros fatores, da variedade e do teor de água no solo.

O cultivo de cana-de-açúcar condicionado ao tráfego de máquinas para colheita e quando em situações de solo com elevados conteúdos de água, pode levar ao aumento da compactação em decorrência da colheita mecanizada (SEVERIANO et al., 2009). Durante a reforma da cana-de-açúcar ocorrem arações e gradagens, a fim de eliminar a compactação existente além de melhorar as condições para o plantio das mudas de cana-de-açúcar. Porém, em muitos casos, ocorre o que é denominado de “pé de arado ou grade”, que é a área compactada logo abaixo do local onde foi realizado o revolvimento do solo. Essa camada compactada pode afetar a absorção de água e nutrientes em camadas mais profundas, reduzindo a produção de biomassa das plantas. Por isso, de acordo com Camilotti et al. (2005), a descompactação do solo na reforma do canavial deve efetivamente descompactar o solo em profundidade.

Em condições de solo saturado a compactação diminui a quantidade de água retida pelo solo, porém as baixas tensões em solo compactado retêm menos água do que em um não compactado (CAMARGO e ALLEONI, 2011). Para esses autores, como a compactação diminui a quantidade de poros grandes, ela tem grande influência na transmissão da água em um solo saturado. Pesquisas mostram que a compactação do solo reduz o volume de macroporos enquanto os microporos permanecem praticamente inalterados ao aumento da resistência à penetração das raízes (STONE; GUIMARÃES e MOREIRA, 2002). Assim, o desenvolvimento das raízes é afetado negativamente pela redução dos macroporos (SÉGUY et al., 1999), pela diminuição da concentração de oxigênio, pela menor taxa de mineralização da matéria orgânica

no solo, e difusão lenta de nutrientes e de oxigênio para as raízes (COSTA, 1998; RIBEIRO et al., 2010), diminuindo então a disponibilidade e a absorção de água e de nutrientes (PEDROTTI; VAHL e PAULETTO, 1994). Corrêa et al. (2001), verificaram que o aumento do nível de compactação provocou a redução da produção da parte aérea de duas variedades da cana-de-açúcar (RB72454 e SP701143) e a redução dos teores de Ca e Mg acumulados na parte aérea.

Por outro lado, o aumento dos teores de água no solo reduz à resistência do solo a penetração de raízes (ASSIS et al., 2009) e, assim, as raízes podem romper camadas que eram impermeáveis quando sob menores teores de umidade do solo. Além disso, com o aumento nos teores de água no solo, ocorre o aumento na disponibilidade de água e nutrientes para as plantas, o que pode não comprometer o desenvolvimento das plantas, mesmo em ambientes onde existam camadas subsuperficiais compactadas.

Estudos avaliando o comportamento de diferentes variedades de cana-de-açúcar submetidas a compactação do solo e umidade do solo são escassos. Assim, objetivou-se avaliar a biomassa de raízes, parte aérea e acúmulo de nutrientes em variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob níveis de compactação subsuperficial e teores de água no solo.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

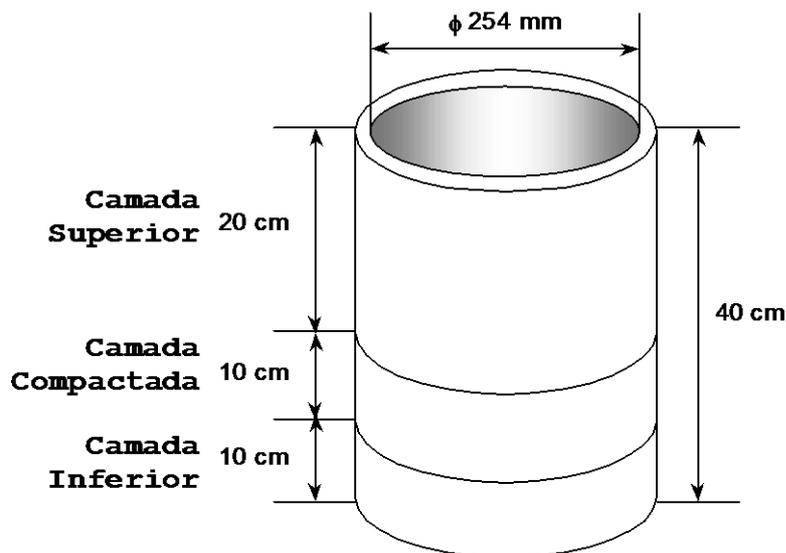
O experimento foi instalado em casa de vegetação da Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista (FCA/UNESP), Campus de Botucatu (SP), (latitude 22° 51' 22" e longitude 48° 26'08", altitude 840 metros).

Um solo Latossolo Vermelho (EMBRAPA, 2006) foi coletado na camada de 0,0-0,40 m e, em seguida, foi seco em temperatura ambiente. Após análise química (RAIJ et al., 2001), obteve-se os seguintes atributos no solo: argila 20 g kg<sup>-1</sup>; areia 65 g kg<sup>-1</sup>; silte 15 g kg<sup>-1</sup>; matéria orgânica 16 g kg<sup>-1</sup>; pH em CaCl<sub>2</sub> 4,8; Ca trocável 0,9 cmolc dm<sup>-3</sup>; Mg trocável 0,8 cmolc dm<sup>-3</sup>; P disponível 2 mg dm<sup>-3</sup>; K trocável 0,09 cmolc dm<sup>-3</sup> e saturação por bases (V%) de 36%.

O solo foi submetido à aplicação de calcário, visando elevar a saturação por bases até 60%, de acordo com a recomendação proposta por Raij et al. (1996). Em seguida, para a adubação de pré-plantio foi adicionado, na superfície do solo, 150 mg de P por dm<sup>-3</sup> de solo, na forma de superfosfato simples; 150 mg de K por dm<sup>-3</sup> solo, na forma de cloreto de potássio e 11 mg de N por dm<sup>-3</sup> de solo, na forma de uréia. Posteriormente, os fertilizantes foram homogeneizados com o solo e, em seguida, as amostras de solo foram umedecidas à capacidade de campo e acondicionadas em sacos de plástico por 30 dias.

Para a compactação do solo, foram utilizados anéis cortados de tubos de PVC com diâmetro de 254 mm (10") e altura de 400 mm (Figura 1). A construção da camada compactada (0,20 a 0,30 m) foi realizada usando-se um sistema de prensagem, constituído de um macaco hidráulico com acionamento manual por alavanca. Confeccionou-se, também, um suporte de aço cilíndrico, para garantir que os tubos de PVC não sofressem deformações durante a aplicação das pressões nas amostras de solo.

**Figura 1.** Anéis cortados de tubos de PVC utilizados para o plantio dos toletes de cana-de-açúcar.



Os níveis de compactação do solo foram definidos por meio de um ensaio preliminar, com quatro repetições, onde foram colocados anéis de aço (diâmetro interno de 40 mm e altura de 25 mm) dentro da massa de solo que sofreu prensagem, para determinar a densidade do solo pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997). Para a realização da compactação do solo corrigiram-se todas as porções do solo a 90% da capacidade de campo (teor de água de  $0,216 \text{ kg kg}^{-1}$ ). Foram utilizadas as pressões de 300 kPa, 450 kPa e 600 kPa para atingir as densidades de 1,35; 1,45 e  $1,55 \text{ Mg m}^{-3}$ . Posteriormente à prensagem da camada compactada (0,20-0,30 m), os tubos de PVC, foram montados com camadas sobrepostas. A camada superior (0,00 a 0,20 m) e inferior (0,30 a 0,40 m) foi preenchida com solo solto. A união entre os três tubos de PVC foi realizada utilizando-se fita adesiva.

Em cada respectivo vaso de PVC com solo, foram plantados dois mini-toletes de cana-de-açúcar das variedades RB72454, RB855536, SP801842 e SP813250, contendo uma gema cada. Os mini-toletes foram depositados a 0,10 m abaixo da superfície do solo. Depois da emergência das duas gemas em cada vaso, uma foi eliminada. Após a brotação das gemas, a cada semana e durante sete semanas foi realizada a aplicação de  $28,5 \text{ mg}$  de N por  $\text{dm}^{-3}$  de solo. Para o controle do teor de água no solo, depois do plantio e diariamente foi realizada a pesagem de cada vaso e, quando necessário foi adicionado água destilada para manter o teor de água a 70% da Capacidade de Campo (CC) de  $0,168 \text{ kg kg}^{-1}$  e 90 % da CC com  $0,216 \text{ kg kg}^{-1}$ .

O delineamento experimental utilizado foi o bloco ao acaso com quatro repetições, em um arranjo fatorial ( $4 \times 3 \times 2$ ) equivalente a quatro variedades, três níveis de compactação na camada de 0,20 a 0,30 m (1,35; 1,45 e  $1,55 \text{ Mg m}^{-3}$ ) e 2 teores de água no solo (70% e 90% da capacidade de campo).

Aos 72 dias após a emergência (DAE), a parte aérea das plantas foi cortada rente a superfície do solo, secas em estufa com ar forçado na temperatura de  $70^\circ\text{C}$  até atingir peso constante e, em seguida, foi determinado a massa seca. Posteriormente a colheita da parte aérea, os vasos de PVC foram desmontados e as raízes separadas do solo. As raízes foram acondicionadas em peneiras plásticas e submetidas à lavagem em água corrente. Posteriormente, as raízes foram secas em estufa com ar forçado na temperatura de  $70^\circ\text{C}$  até atingir peso constante e, logo depois foi determinado a massa seca.

Após obtenção da massa seca da parte aérea, as amostras foram passadas em moinho tipo Wiley, para em seguida se determinar a concentração de s teores de N, P, K, Ca, Mg e S do tecido vegetal foram determinados de acordo com os procedimentos propostos por Malavolta; Vitti e Oliveira (1997).

Os dados originais foram submetido a análise de variância, seguido teste de comparação de médias, teste t – LSD (5%) para os fatores teor de água, variedade e níveis de compactação.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de análise de variância ( $p \leq 0,05$ ) para a massa seca de raízes (MSR) e parte aérea (MSPA) e os teores de N, P, K, Ca, Mg e S acumulados na parte aérea das plantas estão apresentados na Tabela 1.

Não houve interação tripla para nenhuma variável avaliada, e para a interação entre níveis de compactação e umidade do solo, observou-se interação significativa para todas as variáveis exceto, a MSR e o S acumulado na parte aérea. Para a interação entre variedades e umidade do solo, observaram-se interações altamente significativas para todas as variáveis, exceto a MSR. Já para a interação entre variedades e níveis de compactação do solo, não se observou interação significativa para nenhuma variável avaliada. Para a análise da variância dos fatores isolados observa-se que tanto para o fator Variedade quanto para o fator Umidade houve significância para os valores de todas as variáveis avaliadas. Para o fator níveis de compactação observou-se diferenças significativas apenas para as variáveis MSPA, N, P, K, Ca e Mg.

Para a MSR não se observou diferenças com o aumento dos níveis de compactação independentemente da variedade utilizada. Discordando dos dados encontrados, Fagundes; Silva e Bonfim-Silva (2014) verificaram que a massa seca de raiz reduziu de forma linear com o aumento da densidade do solo, mas corroborando com os dados encontrados, verificaram que esse efeito ocorreu de forma independente da variedade utilizada.

A maior densidade do solo ( $1,55 \text{ Mg m}^{-3}$ ) propiciou redução na MSPA e K acumulado na parte aérea da cana-de-açúcar (Tabela 2) diferindo das demais densidades ( $1,35$  e  $1,45 \text{ Mg m}^{-3}$ ), e também promoveu redução nos teores de N, P e Ca acumulado na parte aérea diferindo apenas da menor densidade do solo ( $1,35 \text{ Mg m}^{-3}$ ). Os maiores níveis de compactação  $1,45$  e  $1,55 \text{ Mg m}^{-3}$  também propiciaram redução nos teores acumulados de Mg. Esses resultados indicam que densidades do solo a partir de  $1,45 \text{ Mg m}^{-3}$  podem limitar o desenvolvimento inicial da cultura da cana-de-açúcar, bem como, o acúmulo de nutrientes na parte aérea para este tipo de solo. Corroborando com estes dados, Fagundes; Silva e Bonfim-Silva (2014) verificaram que a produção de massa seca de colmos da variedade RB002504 apresentou redução de 54,37%, em comparação com a densidade de  $1,0$  para  $1,8 \text{ Mg m}^{-3}$ . Guimarães e Moreira (2001) também verificaram, estudando a compactação do solo na cultura do arroz, que a massa seca da parte aérea foi reduzida com o aumento da densidade do solo em razão da menor absorção de nutrientes.

Para o presente trabalho, não observou-se diferenças varietais quanto a capacidade de enfrentar os níveis de compactação do solo (Tabela 2), diferindo dos resultados encontrados por Fagundes; Silva e Bonfim-Silva (2014) que verificaram que a variedade RB931011 apresentou maior massa seca e comprimento de colmos evidenciando ser tolerante à compactação do solo.

**Tabela 1.** Resumo da análise de variância e níveis de significância para as variáveis massa seca de raízes (MSR) e parte aérea (MSPA) e nutrientes da parte aérea a de variedades de cana-de-açúcar submetidas a níveis de compactação e umidade do solo.

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio							
		MSR	MSPA	N	P	K	Ca	Mg	S
		g vaso <sup>-1</sup>			mg vaso <sup>-1</sup>				
Variedade (Var.)	3	78,69*	740,07**	415924,36**	2429,7**	338517,68**	12628,56**	1591,28**	2366,84*
Nível de compactação (N.C.)	2	30,03 <sup>ns</sup>	153,13*	67060,51*	307,26*	99231,78*	3069,5*	1043,46*	144,19 <sup>ns</sup>
Umidade do solo (U.S.)	1	2604,17**	13680,37**	6371581,5**	38440,01**	8035365,37**	171281,51**	33862,59**	106200,51**
Var. x N.C.	6	0,85 <sup>ns</sup>	40,98 <sup>ns</sup>	11671,37 <sup>ns</sup>	50,45 <sup>ns</sup>	2697,5 <sup>ns</sup>	1321,8 <sup>ns</sup>	77,12 <sup>ns</sup>	47,86 <sup>ns</sup>
Var. x U.S.	3	20,5 <sup>ns</sup>	2089,37**	353483,75**	1651,37**	303221,45**	11626,39**	2160,89**	4333,45**
N.C. x U.S.	2	21,63 <sup>ns</sup>	114,44*	96271,9*	586,57*	25598,46*	4319,54*	954,09*	350,13 <sup>ns</sup>
Var. x N.C. x U.S.	6	5,31 <sup>ns</sup>	46,81 <sup>ns</sup>	2653,9 <sup>ns</sup>	49,6 <sup>ns</sup>	2038,55 <sup>ns</sup>	221,01 <sup>ns</sup>	96,1 <sup>ns</sup>	21,16 <sup>ns</sup>
Bloco	3	10,47	74,21	1844,36	74,23	206913,56	3335,51	546,26	161,70
Erro	69	14,85	1122,29	16603,16	129,77	20826,65	1120,20	191,26	312,20
CV (%)		17,92	8,36	11,34	14,78	13,84	15,49	15,62	17,75
Média Geral		21,5	48,23	1137	77,07	1043	216	88	100

\*: Significativo, a 5% de probabilidade; \*\*: Significativo, a 1% de probabilidade; <sup>ns</sup>: Não significativo. Teste t LSD a 1 e 5% de probabilidade. GL - Graus de liberdade

**Tabela 2.** Desdobramento da interação entre níveis de compactação do solo e variedades de cana-de-açúcar para a matéria seca de raízes, parte aérea e nutrientes acumulados na parte aérea de cana-de-açúcar, Botucatu, SP.

Densidade do solo, Mg m <sup>-3</sup>	Variedade				Média
	RB72454	RB855536	SP801842	SP813250	
	Matéria seca de raízes, g vaso <sup>-1</sup>				
1,35	21	24	21	23	22 a
1,45	21	24	20	22	22 a
1,55	20	23	18	21	20 a
Média	21 AB <sup>(1)</sup>	24 A	20 B	22 AB	
	Matéria seca da parte aérea, g vaso <sup>-1</sup>				
1,35	58	50	46	47	50 a
1,45	57	46	44	47	48 a
1,55	54	45	41	43	46 b
Média	56 A	47 B	44 C	45 BC	
	N acumulado na parte aérea, mg vaso <sup>-1</sup>				
1,35	1317	1183	1098	1129	1182 a
1,45	1340	1115	1016	1083	1139 ab
1,55	1303	1124	954	979	1090 b
Média	1320 A	1141 B	1023 C	1064 C	
	P acumulado parte aérea, mg vaso <sup>-1</sup>				
1,35	92	74	76	76	80 a
1,45	93	68	73	78	78 ab
1,55	91	66	68	69	74 b
Média	92 A	70 B	72 B	74 B	
	K acumulado na parte aérea, mg vaso <sup>-1</sup>				
1,35	1237	1095	962	1010	1076 a
1,45	1238	1083	994	979	1073 a
1,55	1146	980	910	877	978 b
Média	1207 A	1053 B	955 C	955 C	
	Ca acumulado parte aérea, mg vaso <sup>-1</sup>				
1,35	238	251	223	196	227 a
1,45	249	211	198	195	213 ab
1,55	242	218	186	185	208 b
Média	243 A	227 B	203 C	192 C	
	Mg acumulado na parte aérea, mg vaso <sup>-1</sup>				
1,35	103	96	96	86	95 a
1,45	98	84	81	79	85 b
1,55	98	87	79	76	85 b
Média	100 A	89 B	85 BC	81 C	
	S acumulado na parte aérea, mg vaso <sup>-1</sup>				
1,35	117	96	103	92	102 a
1,45	115	94	94	92	99 a
1,55	110	95	96	91	98 a
Média	114 A	95 B	98 B	92 B	

<sup>(1)</sup>Letras minúsculas iguais na coluna e letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste t LSD (p≤0,05).

A variedade RB855536 propiciou maior produção de MSR que a variedade SP801842, porém, sem diferir das variedades SP801842 e SP813250. A variedade RB72454 propiciou produção de MSPA 16%, 21% e 20% superior as variedades RB855536, SP801842 e SP813250, respectivamente. Da mesma forma esta variedade acumulou maiores quantidades de N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea que as demais variedades. Esses resultados mostram que esta variedade possui maior velocidade de crescimento e acúmulo de MSPA e nutrientes que as demais.

Para o desdobramento da interação entre umidade do solo e variedades (Tabela 3) observou-se aumento na produção de MSPA, N, P, K, Ca, Mg e S acumulados na parte aérea da cana-de-açúcar no maior teor de umidade do solo (90%CC) dentro de cada variedade. Na média das variedades, a MSR na umidade do solo de 90% CC também foi superior a de 70%CC. Esse resultado corrobora, em parte, com os encontrados por Crusciol (2001) e Medeiros; Soares e Guimarães (2005) os quais obtiveram aumento da absorção de N, P e K na parte aérea de plantas de arroz, à medida que se elevaram os teores de água no solo. Isso é explicado pelo aumento na disponibilidade dos nutrientes, o incremento do fluxo difusivo do P e do K (RIBEIRO et al., 2010), aumentos da eficiência fotossintética, das taxas de respiração e transpiração da planta, além da redução da resistência a penetração das raízes (STONE; GUIMARÃES e MOREIRA, 2002), resultando na maior absorção desses e de outros nutrientes.

Para o fator variedades dentro do teor de água de 90% da CC, observou-se na variedade RB72454 os maiores valores de MSPA, N, P, K, Ca, Mg e S que as demais variedades. Para 70% da CC não foi observado diferenças entre as variedades para as variáveis avaliadas. Esses resultados mostram que o menor teor de água no solo propiciou redução no potencial produtivo independentemente das variedades utilizadas.

**Tabela 3.** Desdobramento da interação umidade do solo e variedades de cana-de-açúcar para a matéria seca de raízes, parte aérea e nutrientes acumulados na parte aérea de cana-de-açúcar, Botucatu, SP.

Umidade do solo, % da CC <sup>(1)</sup>	Variedade				Média
	RB72454	RB855536	SP801842	SP813250	
Matéria seca de raízes, g vaso <sup>-1</sup>					
70%CC	16	17	15	17	16 b
90%CC	25	30	24	27	27 a
Média	21 A <sup>(2)</sup>	24 A	20 A	22 A	
Matéria seca da parte aérea, g vaso <sup>-1</sup>					
70%CC	37 Ab	36 Ab	35 Ab	38 Ab	36
90%CC	76 Aa	59 Ba	52 Ca	53 Ca	60
Média	56	47	44	45	
N acumulado na parte aérea, mg vaso <sup>-1</sup>					
70%CC	910 Ab	840 Ab	856 Ab	910 Ab	879
90%CC	1730 Aa	1442 Ba	1189 Ca	1217 Ca	1394
Média	1320	1141	1023	1064	
P acumulado na parte aérea, mg vaso <sup>-1</sup>					
70%CC	63 Ab	59 Ab	54 Ab	64 Ab	60
90%CC	113 Aa	87 BCa	83 Ca	98 Ba	95
Média	88	73	68	81	
K acumulado na parte aérea, mg vaso <sup>-1</sup>					
70%CC	757 Ab	772 Ab	724 Ab	760 Ab	753
90%CC	1656 Aa	1333 Ba	1187 Ca	1151 Ca	1332
Média	1207	1053	955	955	
Ca acumulado na parte aérea, mg vaso <sup>-1</sup>					
70%CC	174 Ab	174 Ab	180 Ab	166 Ab	174
90%CC	311 Aa	279 Ba	225 Ca	218 Ca	258
Média	243	227	203	192	
Mg acumulado na parte aérea, mg vaso <sup>-1</sup>					
70%CC	68 Ab	68 Ab	73 Ab	70 Ab	70
90%CC	131 Aa	109 Ba	98 Ca	91 Ca	107
Média	100	89	85	81	
S acumulado na parte aérea, mg vaso <sup>-1</sup>					
70%CC	63 Ab	59 Ab	74 Ab	69 Ab	66
90%CC	165 Aa	131 Ba	121 BCa	114 Ca	133
Média	114	95	98	92	

<sup>(1)</sup>CC = capacidade de campo <sup>(2)</sup>Letras minúsculas iguais na coluna e letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste t LSD ( $p \leq 0,05$ ).

Para o desdobramento da interação entre os níveis de compactação do solo e umidade do solo (Tabela 4) observou-se aumento na produção de MSPA, N, P, K, Ca e Mg acumulados na parte aérea da cana-de-açúcar no maior teor de umidade do solo (90%CC) dentro de cada nível de compactação do solo. Na média dos níveis de compactação do solo, a MSR e o S acumulados na parte aérea, na umidade do solo de 90% CC, também foram superiores a umidade do solo de 70%CC.

**Tabela 4.** Desdobramento da interação densidade do solo e umidade do solo para a matéria seca de raízes, parte aérea e nutrientes acumulados na parte aérea de cana-de-açúcar, Botucatu, SP.

Densidade do solo, Mg m <sup>-3</sup>	Umidade do solo, % da CC <sup>(1)</sup>		
	70%CC	90%CC	Média
Matéria seca de raízes, g vaso <sup>-1</sup>			
1,35	17	27	22 a
1,45	16	28	22 a
1,55	16	25	20 a
Média	16 B <sup>(2)</sup>	27 A	
Matéria seca da parte aérea, g vaso <sup>-1</sup>			
1,35	39 Ba	61 Aa	50
1,45	37 Ba	60 Aa	48
1,55	32 Bb	59 Aa	46
Média	36	60	
N acumulado na parte aérea, mg vaso <sup>-1</sup>			
1,35	976 Ba	1387 Aa	1182
1,45	885 Bb	1392 Aa	1139
1,55	775 Bc	1405 Aa	1090
Média	879	1394	
P acumulado na parte aérea, g vaso <sup>-1</sup>			
1,35	64 Ba	95 Aa	80
1,45	58 Ba	98 Aa	78
1,55	49 Bb	98 Aa	74
Média	57	97	
K acumulado na parte aérea, mg vaso <sup>-1</sup>			
1,35	816 Ba	1336 Aa	1076
1,45	781 Ba	1365 Aa	1073
1,55	662 Bb	1294 Aa	978
Média	753	1332	
Ca acumulado na parte aérea, mg vaso <sup>-1</sup>			
1,35	195 Ba	259 Aa	227
1,45	173 Bab	253 Aa	213
1,55	153 Bb	263 Aa	208
Média	174	258	
Mg acumulado na parte aérea, mg vaso <sup>-1</sup>			
1,35	81 Ba	109 Aa	95
1,45	68 Bb	102 Aa	85
1,55	60 Bb	110 Aa	85
Média	70	107	
S acumulado na parte aérea, mg vaso <sup>-1</sup>			
1,35	72	132	102 a
1,45	65	133	99 a
1,55	62	134	98 a
Média	66 B	133 A	

<sup>(1)</sup>CC = capacidade de campo <sup>(2)</sup>Letras minúsculas iguais na coluna e letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre si pelo teste t LSD ( $p \leq 0,05$ ).

Na umidade do solo de 90%CC não foram observadas diferenças significativas entre os níveis de compactação do solo para todas as variáveis avaliadas. Isso pode ser explicado pela redução da resistência à penetração das raízes (ASSIS et al., 2009), ou mesmo que haja impedimento ao aprofundamento radicular pela camada subsuperficial compactada, a planta pode ter obtido a água e nutrientes necessários ao seu desenvolvimento nas camadas superficiais.

Para teores de água no solo de 70%CC, a produção de MSR não foi afetada pelos níveis de compactação do solo, pois as raízes podem ter sido condicionadas a crescer nas camadas superficiais em detrimento das camadas mais profundas e, portanto, apesar dos maiores níveis de compactação, o crescimento e a produção de raízes não foram afetados.

Para os teores de água no solo de 70%CC houve redução da MSPA, N, P e K acumulado na maior densidade do solo ( $1,55 \text{ Mg m}^{-3}$ ). A maior densidade do solo ( $1,55 \text{ Mg m}^{-3}$ ) propiciou menor acúmulo de 'Ca' na parte aérea apenas em relação a menor densidade ( $1,35 \text{ Mg m}^{-3}$ ). Também houve redução no acúmulo de Mg na parte aérea da cana-de-açúcar nas densidades do solo de 1,45 e  $1,55 \text{ Mg m}^{-3}$ . Isso ocorreu, provavelmente, porque as raízes exploraram um menor volume de solo e, conseqüentemente, ocorreu menor absorção destes nutrientes. Esses resultados concordam com os encontrados por Corrêa et al. (2001), que verificaram que o aumento do nível de compactação provocou a redução da produção da parte aérea de duas variedades da cana-de-açúcar (RB72454 e SP701143) e a redução dos teores de Ca e Mg acumulados na parte aérea.

Apesar da MSR não ter sido afetada pelos níveis de compactação do solo, de maneira geral, a menor disponibilidade de água no solo propiciou condições para que o maior nível de compactação do solo ( $1,55 \text{ Mg m}^{-3}$ ) reduzisse a MSPA e o acúmulo de N, P, K, Ca e Mg da cana-de-açúcar. Isso provavelmente ocorreu, porque sob menores teores de água no solo ocorre aumento da resistência do solo a penetração de raízes (ASSIS et al., 2009) e, portanto, devido à camada subsuperficial compactada dificultar o aprofundamento das raízes, estas ficaram restritas a camada superficial, não absorvendo as quantidades adequadas de água e nutrientes. Além disso, as raízes das plantas que crescem em solos compactados podem apresentar modificações morfológicas. Assim, o decréscimo na divisão celular no meristema e aumento no diâmetro da raiz, resultante do aumento na espessura do córtex, podem reduzir a área de solo explorado pelas raízes e a absorção de água e nutrientes (TAYLOR e BRAR, 1991; BENGOUGH; CROSER e PRITCHARD, 1997). Segundo esses autores, em condições adversas ao crescimento, as raízes enviam sinais à parte aérea informando que as condições para o desenvolvimento da planta estão se restringindo, e que é necessário reduzir a taxa de crescimento, resultando em menor produção.

## 6 CONCLUSÕES

O maior nível de umidade no solo proporcionou aumento na MSR, MSPA e no acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea da cana-de-açúcar, independentemente da variedade e nível de compactação.

O maior nível de compactação do solo reduziu a MSPA e o acúmulo de N, P, K, Ca e Mg na parte aérea da cana-de-açúcar, independentemente da variedade utilizada.

A variedade RB72454 possui maior MSPA e conteúdo de N, P, K, Ca, Mg e S que as demais variedades quando sob maior disponibilidade de água no solo.

Em solos com menor disponibilidade de água (70%CC), o maior nível de compactação do solo (1,55 Mg m<sup>-3</sup>) promoveu redução na produção de biomassa da parte aérea e no acúmulo de N, P, K, Ca e Mg.

## 7 AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelas bolsas de estudos ao primeiro e segundo autores e pelo financiamento da pesquisa (PROAP- Programa de Apoio à Pós-Graduação); ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de produtividade em pesquisa ao terceiro autor.

## 8 REFERÊNCIAS

ASSIS, R.L.; LAZARINI, G.D.; LANCAS, K. P.; CARGNELUTTI FILHO, A. Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 4, p. 558-568, 2009.

BENGOUGH, A. G.; CROSER, C.; PRITCHARD, J. A biophysical analysis of root growth under mechanical stress. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 189, p. 155-164, 1997.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L.R.F. Efeitos da compactação em atributos do solo. 2006. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <<http://www.infobibos.com/Artigos/CompSolo/C4/Comp4.htm>>. Acesso em: 30 de set. de 2016.

CAMILOTTI, F.; ANDRIOLI I.; DIAS, F.L.F.; CASAGRANDE, A.A.; SILVA, A.R.; MUTTON, M.A.; CENTURION, J.F. Efeito prolongado de sistemas de preparo do solo com e sem cultivo de soqueira de cana crua em algumas propriedades físicas do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, p.189-198, 2005.

CORRÊA, J. B. D.; ANDRADE, L. A.; DIAS JUNIOR, M. de S.; ALVES, V.G. Influência da compactação na concentração de nutrientes da parte aérea da cana-de-açúcar, em três tipos de solos. **REVISTA STAB Açúcar, Alcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 19, p. 34-37, 2001.  
COSTA, J. P. V. da. **Fluxo de difusivo de fósforo e de potássio em Latossolos**. Viçosa: UFV, 67 p. 1998.

CRUSCIOL, C. A. C. **Crescimento radicular, nutrição e produção de cultivares de arroz de terras altas em função da disponibilidade hídrica e de fósforo**. 2001. 111 f. Tese (Livre docência) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro Embrapa-CNPS, 212p. 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, Embrapa, 374p. 2006.

FAGUNDES, E.A.A.; SILVA, T.J.A.; BONFIM-SILVA, E.M. Desenvolvimento inicial de variedades de cana-de-açúcar em Latossolo submetidas a níveis de compactação do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.2, p. 188-193, 2014.

GUIMARÃES, C.M.; MOREIRA, J.A.A. Compactação do solo na cultura do arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, p.703-707, 2001.

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

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

PEDROTTI, A; VAHL, L. C.; PAULETTO, E. A. Absorção de nutrientes em diferentes níveis de compactação de um planossolo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21. 1994, Petrolina. **Anais...** Petrolina: EMBRAPA/CPTASA, 1994. p. 302-304.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas Instituto Agrônomo, 285p, 2001.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem no Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas Instituto Agrônomo, 300p. 1996.

RIBEIRO, M. A. V.; NOVAIS, R. F.; FAQUIN, V.; FERREIRA, M. M.; FURTINI NETO, A. E.; LIMA, J. M.; VILLANI, E. M. de A. Resposta da soja e do eucalipto ao aumento da densidade do solo e a doses de fósforo. **Revista Brasileira Ciência do Solo** [online]. 2010, Viçosa, vol.34, n.4, pp.1157-1164. ISSN 1806-9657. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000400015>>. Acesso em: 30 de set. de 2016.

SEVERIANO, E.C.; OLIVEIRA, G.C.; CURI, N.; DIAS JÚNIOR, M.S. Potencial de uso e qualidade estrutural de dois solos cultivados com cana-de-açúcar em Goianésia, GO. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa - MG, v.33, n.1, p.159-168, 2009.

SÉGUY, L.; BOUZINAC, S.; MARONEZZI, A. C.; TAFFAREL, V.; TAFFAREL, J. Plantio direto do arroz de sequeiro de alta tecnologia na zona tropical úmida do centro-norte do Mato Grosso. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 86, p. 1-28, jun. 1999. Encarte técnico.

STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro: I. nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 213-218, maio/ago. 2002.

TAYLOR, H. M.; BRAR, G. S. Effect of soil compaction on root development. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 19, p. 111-119, 1991.