



ALTERAÇÕES NOS TEORES DE MACRONUTRIENTES EM LATOSSOLO VERMELHO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR

Renato Campos de Oliveira¹, Nelmício Furtado da Silva², Piero Iori³, Marconi Batista
Teixeira⁴, Frederico Antonio Loureiro Soares⁴, Edson Cabral da Silva⁵

RESUMO

Nos diferentes ambientes agrícolas, a produtividade dos canaviais brasileiros tem sido limitada, principalmente, por restrições hídricas e pela disponibilidade de nutrientes dos solos. O objetivo deste estudo foi avaliar as alterações nos teores de macronutrientes de um solo cultivado com cana-de-açúcar irrigada com diferentes níveis de reposição hídrica, com e sem fornecimento de nitrogênio, no ciclo da cana-planta. O experimento foi conduzido em área experimental do Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde, GO, em um Latossolo Vermelho distroférico. A variedade cultivada foi RB 85-5453, irrigada com cinco níveis de reposição hídrica (100, 75, 50, 25 e 0%) por gotejamento subsuperficial, combinados com e sem aplicação de nitrogênio (0 e 100 kg ha⁻¹ de N) parcelada via fertirrigação. Foi avaliada a produtividade de colmos da cana-de-açúcar e a análise química do solo em dois períodos, ao final do parcelamento da adubação e próximo à colheita, em duas camadas do solo, superficial (0 a 30 cm) e subsuperficial (30 a 60 cm). A reposição hídrica com o fornecimento de nitrogênio alterou os teores de macronutrientes do solo ao final do período de parcelamento da adubação via irrigação por gotejamento subsuperficial. A reposição hídrica de 100%, combinado com a adubação nitrogenada proporcionou as maiores produtividades de cana-de-açúcar. Os tratamentos que receberam nitrogênio e 100% de reposição hídrica apresentaram menores teores no solo de nitrogênio, fósforo, cálcio e enxofre ao final do ciclo, devido à maior absorção pelas plantas de cana-de-açúcar.

Palavras-chave: *Saccharum officinarum* L., fertilidade do solo, irrigação por gotejamento subsuperficial, adubação nitrogenada.

¹ Graduando em Agronomia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Câmpus Rio Verde. Rodovia Sul Goiana km 01, CEP 75901-970, Rio Verde, GO.

² Engenheiro Agrônomo, Doutorando em Ciências Agrárias - Agronomia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Câmpus Rio Verde. Rodovia Sul Goiana km 01, CEP 75901-970, Rio Verde, GO.

³ Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Professor, Universidade Estadual Paulista – UNESP – Câmpus Experimental de Registro. Rua Nelson Brihi Badur, 430, CEP 11900-000, Registro, SP.

⁴ Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agronomia, Professor, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Câmpus Rio Verde. Rodovia Sul Goiana km 01, CEP 75901-970, Rio Verde, GO.

⁵ Engenheiro Agrônomo, Pós-doutorando junto ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP). Av. Centenário, 303, Bairro São Dimas, CEP 13416-970 Piracicaba, SP.

CHANGES IN CONTENTS OF MACRONUTRIENTS IN A OXISOL GROWN WITH CANE SUGAR LEVELS UNDER APPLICABLE IRRIGATION AND NITROGEN

ABSTRACT

The sugarcane is characterized by being a crop with high technology applied to the production system. The aim of this study was to evaluate changes in macronutrient soil cultivated with sugarcane with and without nitrogen fertilizer and irrigated with different water replacement blades. This experiment was carried out in an experimental field belonging to the Instituto Federal Goiano Campus Rio Verde – GO in dystoferric Red Latosol (Oxisol). It was used a variety RB 85-5453, irrigated with five blades (0, 25, 50, 75 and 100% water replacement) and with or without nitrogen (0 and 100 kg N ha⁻¹). It was evaluated the average yield of sugarcane and chemical analysis of the soil before and after the application of nitrogen fertilizer in two layers soil surface (0 to 30 cm) and subsurface (30 to 60 cm). Water replacement with nitrogen changed the soil macronutrients to the end of the split fertilization via subsurface drip irrigation. Water replacement is complete, 100% of the blade, containing nitrogen gave the highest yield of sugarcane. Areas enriched with nitrogen and with 100% water replacement had lower amounts of soil nitrogen, phosphorus, calcium and sulfur to the end of the cycle, due to increased plant uptake of sugarcane.

Keywords: *Saccharum officinarum* L., soil fertility, subsurface drip irrigation, nitrogen fertilizer.

INTRODUÇÃO

Atualmente, o Brasil é o maior produtor mundial de açúcar e álcool (MAPA, 2013). Assim, o agroecossistema da cana-de-açúcar tem sido foco de inúmeras pesquisas, por ter relativa expressão econômica e ocupação fundiária, o que gera grande impacto pelos subprodutos oriundos da produção de açúcar e álcool (BARROS et al., 2010). A cana-de-açúcar tem por característica ser uma cultura com elevado grau de tecnologia aplicada ao sistema produtivo, como, por exemplo, as elevadas doses de adubo, controle biológico de pragas e químico de doenças e de plantas daninhas, controle da compactação do solo com uso de pneus de alta flutuação, variedades melhoradas, uso de maturadores, entre outros (DALRI & CRUZ, 2008).

Entre estas tecnologias aplicadas à cana-de-açúcar, destaca-se a irrigação. A irrigação desta cultura apresenta alguns benefícios

diretos e indiretos. Matioli et al. (1996) destacam que os benefícios diretos consistem nos aumentos de produtividade agrícola e longevidade das soqueiras, enquanto os benefícios indiretos são aqueles relacionados com a redução de custos no processo produtivo agrícola, proporcionados, por exemplo, pela dispensa de arrendamentos de terras, além da redução com o transporte da cana-de-açúcar, no caso de área arrendada mais distante da unidade industrial do que a área irrigada.

Dentre os vários métodos de irrigação existentes, o sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial é o que melhor adapta-se a cultura (DALRI & CRUZ, 2008). A redução da perda de água por evaporação direta da superfície do solo, escoamento superficial reduzido, flexibilidade do uso de máquinas agrícolas e maior disponibilidade de nutrientes são algumas das principais vantagens do sistema de gotejamento subsuperficial (BAR-YOSEF et al., 1989; ORON et al., 1991).

ALTERAÇÕES NOS TEORES DE MACRONUTRIENTES EM LATOSSOLO VERMELHO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR

Os cultivares de cana-de-açúcar plantados no país, atualmente, mostram-se potencialmente mais produtivos do que os de algumas décadas passadas, apresentando necessidades nutricionais alteradas em relação às avaliações feitas há mais de 30 anos e que se constituem, ainda hoje, na base para a elaboração de recomendações de adubação da cultura. Este fato aponta para a necessidade de reavaliações das exigências nutricionais da cana-de-açúcar plantada na atualidade, assim como de doses de nutrientes nas adubações de cana-planta e de rebrotas da cultura.

O nitrogênio é um dos nutrientes mais limitantes para cana-de-açúcar, tanto para o desenvolvimento da cultura como na expressão do potencial produtivo dos cultivares plantados em solos brasileiros (AMBROSANO et al., 2013). Glass (1989) e Marschner (1995) destacam que, entre os fatores edafoclimáticos, a disponibilidade de nutrientes e a umidade do solo têm sido consideradas as principais responsáveis por alterações nos padrões de absorção de nutrientes. Neste contexto, estabeleceu-se a hipótese de que a irrigação por gotejamento subsuperficial combinada com a adubação nitrogenada aumenta a produtividade da cana-planta e altera a disponibilidade dos macronutrientes do solo.

O objetivo deste estudo foi avaliar as alterações nos teores de macronutrientes do solo cultivado com cana-de-açúcar fertirrigada com nitrogênio em diferentes níveis de reposição hídrica.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em área experimental pertencente ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano

(IFGoiano) - Campus Rio Verde, GO, situado na latitude 17°48'28" S e longitude 50°53'57" O, com altitude média de 720 metros. No local predominam relevo suavemente ondulado e clima Aw, Tropical de Savana, de acordo com a classificação de Köppen (CASTRO NETO, 1982), com inverno seco e verão chuvoso, temperatura média anual entre 20°C e 25°C e média pluviométrica anual acima de 1500 mm. O período chuvoso se estende de novembro a maio, ocasião em que são registradas mais de 80% do total das chuvas do ano. O fenômeno "veranico" ocorre em plena estação chuvosa, geralmente nos meses de janeiro a março, normalmente com duração de cerca de 10 a 15 dias, podendo, eventualmente, prolongar-se por um tempo maior.

Para condução do experimento utilizou-se Latossolo Vermelho distroférrico, de textura média, fase cerrado (EMBRAPA, 2013), com histórico de mais de 20 anos com pastagem de braquiária decumbens. Na Tabela 1 são apresentados os dados da análise química do solo amostrado anteriormente à implantação do experimento, nas camadas de 0-0,30 e 0,30-0,60 m de profundidade.

Tabela 1. Características químicas do solo, nas camadas de 0-0,30 e 0,30-0,60 m de profundidade.

Profundidade (m)	P	M.O	pH	K	Ca	Mg	H+Al	S	T	Al	V
	mg/dm ³	g/dm ³	-	mmol/dm ³							%
0-0,30	7,06	63,42	6,2	2,04	20,40	16,80	57,75	41,80	99,55	0,0	41,99
0,30-0,60	2,65	44,47	6,6	4,09	14,40	13,20	44,55	31,69	76,24	0,0	41,57

pH em água destilada, g 100 cm⁻³ de terra. Extrator de P, K e micronutrientes - Mehlich¹. M.O - Matéria orgânica, g/dm³. T - Capacidade de troca de cátions, S + H+ Al. V - Porcentagem de saturação de bases, V=100 S/T.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, disposto em esquema fatorial 2x5, com quatro repetições, sendo os tratamentos com e sem aplicação de nitrogênio (0 e 100 kg ha⁻¹ de N), na forma de ureia, aplicados parceladamente via fertirrigação; e cinco diferentes níveis de reposição hídrica (100, 75, 50, 25 e 0% da capacidade de campo).

A irrigação foi conduzida com base em tensiometria digital de punção com sensibilidade de 0,1 kPa, sendo as hastas tensiométricas instaladas nas profundidades de 0,20, 0,40, 0,60 e 0,80 m de profundidade e distâncias de 0,15, 0,30, 0,45 e 0,60 m do tubo gotejador, com leitura do potencial matricial do solo (Ψ_m) registrada diariamente. Para determinar a necessidade de irrigação, utilizou-se tensão crítica de 50 kPa.

O preparo inicial do solo consistiu de uma gradagem prévia com o intuito de eliminar a vegetação existente, distribuição mecânica de calcário dolomítico na dosagem de 2,0 t ha⁻¹ e posterior gradagem com o propósito de incorporar o calcário e destorroar o solo. Posteriormente, foi feita uma gradagem de nivelamento. Para a construção dos sulcos de plantio, utilizou-se de subsolagem e posterior remoção de solo, formando o leito de plantio. O plantio foi realizado em 15 de março de 2011, com as parcelas experimentais constituídas de três sulcos de linha dupla (plantio “em W” ou plantio em “abacaxi”), com espaçamento de 0,4 m entre as linhas na fileira dupla, 1,40 m entre as linhas duplas e 8,0 m de comprimento, totalizando 35,2 m² de área total, tendo sido considerada como área útil 1,0 m no centro da linha dupla do meio de cada parcela. Foi cultivada a variedade RB 85-5453.

No momento do plantio, a área experimental foi adubada seguindo recomen-

dações de Sousa e Lobato (2004) e levando-se em consideração os resultados da análise do solo, com a aplicação de 30 kg ha⁻¹ de N, 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 80 kg ha⁻¹ de K₂O, na forma de ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente. Nas parcelas em que foi prevista a aplicação de N, este foi aplicado totalmente via sistema de irrigação, sendo a ureia dissolvida em água e fornecida via fertirrigação (através de um injetor Venturi) mensalmente até o décimo mês de cultivo. Nesses tratamentos, 30% da adubação potássica foi aplicada no plantio e o restante via fertirrigação ao longo da condução do experimento.

Para reposição hídrica, foi utilizado tubo gotejador de parede delgada, vazão de 1,0 L h⁻¹, pressão de 1,0 bar e espaçamento entre gotejadores de 0,50 m, enterrado a 0,20 m de profundidade da superfície do solo, no centro da linha dupla. As características técnicas do tubo gotejador utilizado são as seguintes: tubo gotejador de parede delgada, vazão de 1,0 L h⁻¹, pressão de 1,0 bar e espaçamento entre gotejadores de 0,50 m.

Ao final do experimento (410 dias após plantio) foi avaliada a produtividade média de colmos da cana-de-açúcar (t ha⁻¹) mediante a colheita e pesagem dos colmos da área útil das parcelas. Ao longo do experimento foi realizada duas análises químicas do solo, nas camadas de 0-0,30 m e 0-30-0,60 m de profundidade, sendo a primeira aos 300 dias após plantio (DAP), final do parcelamento da adubação; e a segunda 400 DAP. Sendo analisados os teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, conforme Vettori (1969) e Embrapa (1997). A comparação entre as médias foi feita pela barra

ALTERAÇÕES NOS TEORES DE MACRONUTRIENTES EM LATOSSOLO VERMELHO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR

de erros com o erro-padrão da média (Paes, 2008), A construção dos gráficos foi realizada por meio da versão demonstrativa do aplicativo Sigma Plot 11.0 (Systat Software Inc®).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produtividade média de colmos não apresentou diferença significativa entre os níveis de reposição hídrica, quando não houve adubação nitrogenada (Figura 1). A mesma situação foi observada para os tratamentos com fornecimento de nitrogênio, ou seja, os diferentes níveis de reposição hídrica, combinados com nitrogênio, proporcionaram produtividades médias de colmos semelhantes entre si (Figura 1 - A). Por outro lado, quando se considera o efeito da adubação nitrogenada na produtividade de colmos da cana-de-açúcar em cada nível de reposição hídrica, verifica-se que apenas o nível de 100% de reposição hídrica apresentou diferença significativa entre a adubação nitrogenada, demonstrando que a cultura respondeu positivamente ao fornecimento de nitrogênio apenas na lâmina de 100% de reposição hídrica (Figura 1 - A).

Vale ressaltar ainda que os valores de produtividade de colmos da cana-de-açúcar obtidos nos tratamentos com adubação nitrogenada, combinado a 100% de reposição hídrica, não foram obtidos em nenhum tratamento sem fornecimento de nitrogênio. O aumento da produtividade de colmos nestes tratamentos obteve incremento de 25% em relação ao tratamento de sequeiro (0% de reposição hídrica) (Figura 1 - A).

Produtividades mais elevadas da cana-de-açúcar em condição irrigada, em relação ao cultivo de sequeiro, também foram obtidas em diferentes ambientes de produção por Dantas Neto et al. (2006), Farias et al. (2008), Dalri e Cruz (2008), Dalri et al. (2008) e Carvalho et al. (2009).

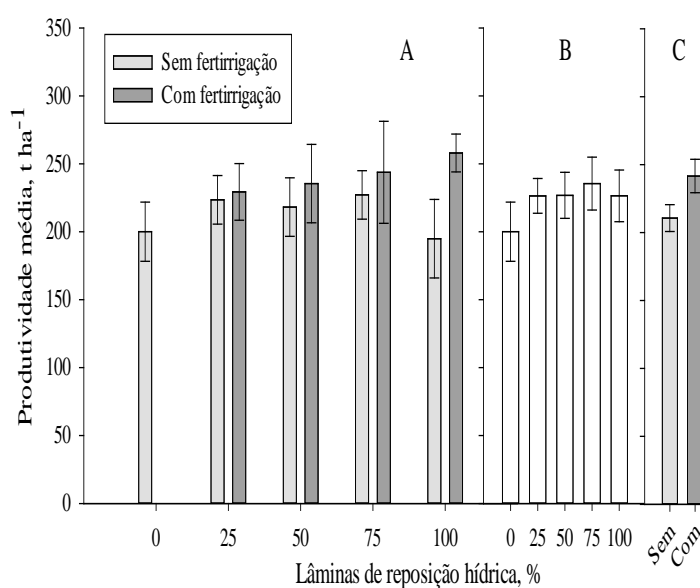


Figura 1. Produtividade média de colmos da cana-de-açúcar ($t\ ha^{-1}$) em função da adubação nitrogenada dentro de cada nível de reposição hídrica (A), dos níveis de reposição hídrica (B) e da adubação nitrogenada (C). A barra de erros representa o erro-padrão da média.

A Figura 1 – B evidencia diferentes valores médios para a produtividade de colmos da cana-de-açúcar em função dos diferentes níveis de reposição hídrica independente da adubação nitrogenada, porém, estatisticamente houve semelhança entre todos os níveis de reposição hídrica. Contudo, quando se analisou o efeito da adubação nitrogenada independente dos níveis de reposição hídrica (Figura 1 – C), verificam-se maiores produtividades de cana-de-açúcar nas parcelas adubadas em relação aquelas sem adubação. Os rendimentos de

colmos da cana-de-açúcar foi de aproximadamente 250 t ha^{-1} e 200 t ha^{-1} , para com e sem adubação nitrogenada, respectivamente (Figura 1). Dalri e Cruz (2008) também verificaram maiores produtividades de cana-de-açúcar fertirrigada via irrigação por subsuperfície. Assim como Andrade Júnior et al. (2012), que trabalhando com cana-de-açúcar fertirrigada por gotejamento subsuperficial, também verificaram incremento na produtividade com a aplicação de nitrogênio.

Os teores médios de nitrogênio presentes no solo nos tratamentos com diferentes níveis de reposição hídrica, com e sem adubação nitrogenada, nas camadas superficial (0-0,30 m) e subsuperficial (0,30-0,60 m) são apresentados na Figura 2. A primeira análise química na camada superficial do solo indicou pouca alteração nos teores médios de nitrogênio no solo comparando-se as áreas com e sem adubação nitrogenada. É possível verificar que, apenas nos tratamentos que receberam 100% de reposição hídrica, observam-se teores de nitrogênio estatisticamente superiores nos tratamentos sem adubação em relação àqueles adubados com nitrogênio. Por outro lado, na camada mais profunda (subsuperfície), ainda analisando a primeira análise química do solo, verificou-se que os tratamentos com 50 e 100% de reposição hídrica com adubação nitrogenada apresentaram teores de nitrogênio mais elevados e diferentes estatisticamente em relação às áreas sem adubação.

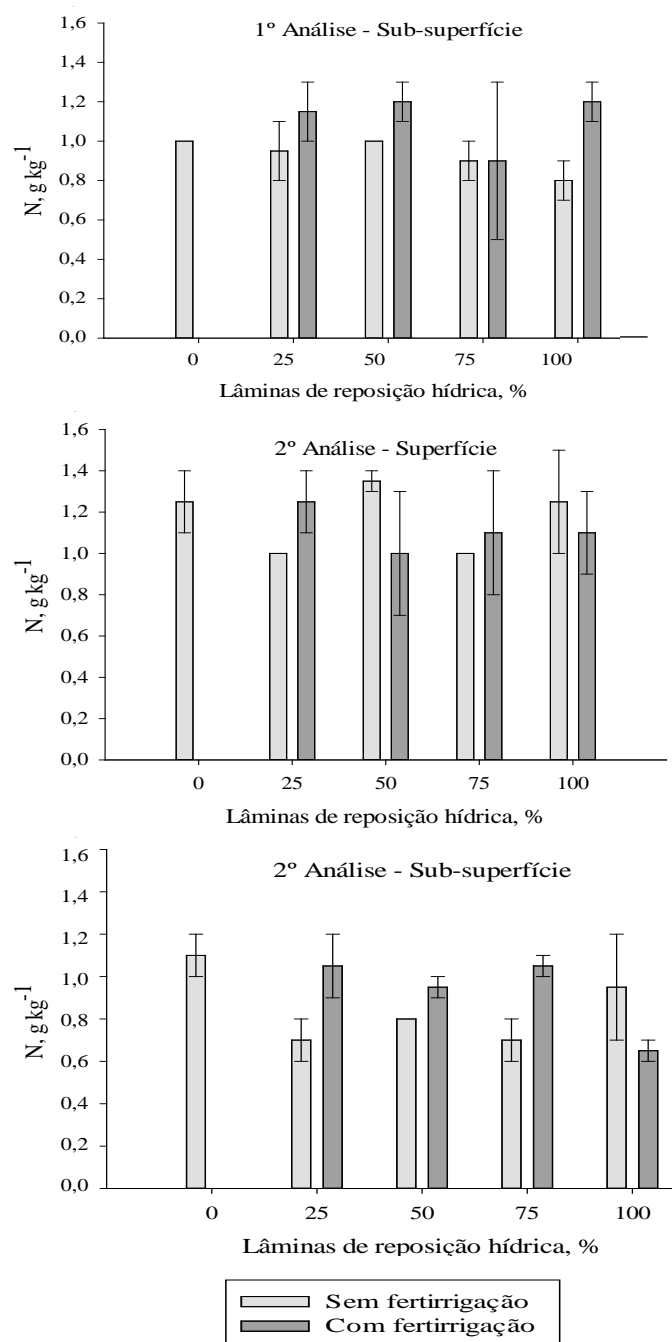
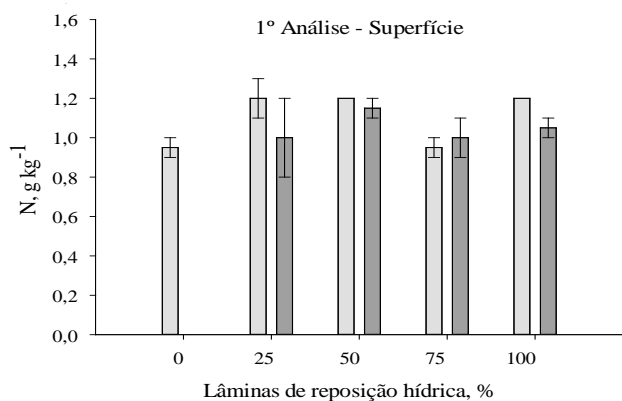


Figura 2. Teores médios de nitrogênio no solo em função da adubação nitrogenada dentro de cada nível de reposição hídrica, para primeira e segunda análise do solo, em duas camadas do solo: superfície (0-0,30 m) e sub-superfície (0,30-0,60 m). A barra de erros representa o erro-padrão da média.

A segunda análise química do solo, realizada aos 400 DAP, indicou maior alteração das médias dos teores de nitrogênio no solo (Figura 2), comparada aquela realizada aos 300 DAP; porém, sem diferença significativa entre

ALTERAÇÕES NOS TEORES DE MACRONUTRIENTES EM LATOSSOLO VERMELHO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR

os valores médios, possivelmente devido à maior variabilidade dos dados. Na camada superficial, foi constatada diferença estatística apenas nos tratamentos com 25% de reposição hídrica, onde as parcelas adubadas com nitrogênio apresentaram teores mais elevados do elemento no solo em relação às aquelas não adubadas. Porém, nos tratamentos em que foram fornecidos 100 e 50% de reposição hídrica, os maiores teores de nitrogênio foram obtidos sem adubação nitrogenada. Na camada de maior profundidade, apenas nos tratamentos com nível de 100% de reposição hídrica, a adubação nitrogenada não proporcionou teores mais elevados de nitrogênio em relação aos tratamentos sem adubação. Já nos tratamentos com reposição hídrica de 25, 50 e 75%, a aplicação de nitrogênio de forma parcelada proporcionou teores de nitrogênio mais elevados e diferentes estatisticamente em relação aos tratamentos sem adubação nitrogenada (Figura 2).

São apresentados na Figura 3 os teores médios de fósforo no solo em função dos diferentes níveis de reposição hídrica, para primeira e segunda análise do solo em duas camadas do solo. Percebe-se um decréscimo nos teores de fósforo na segunda análise em relação à primeira análise, ou seja, após o desenvolvimento das plantas de cana-de-açúcar.

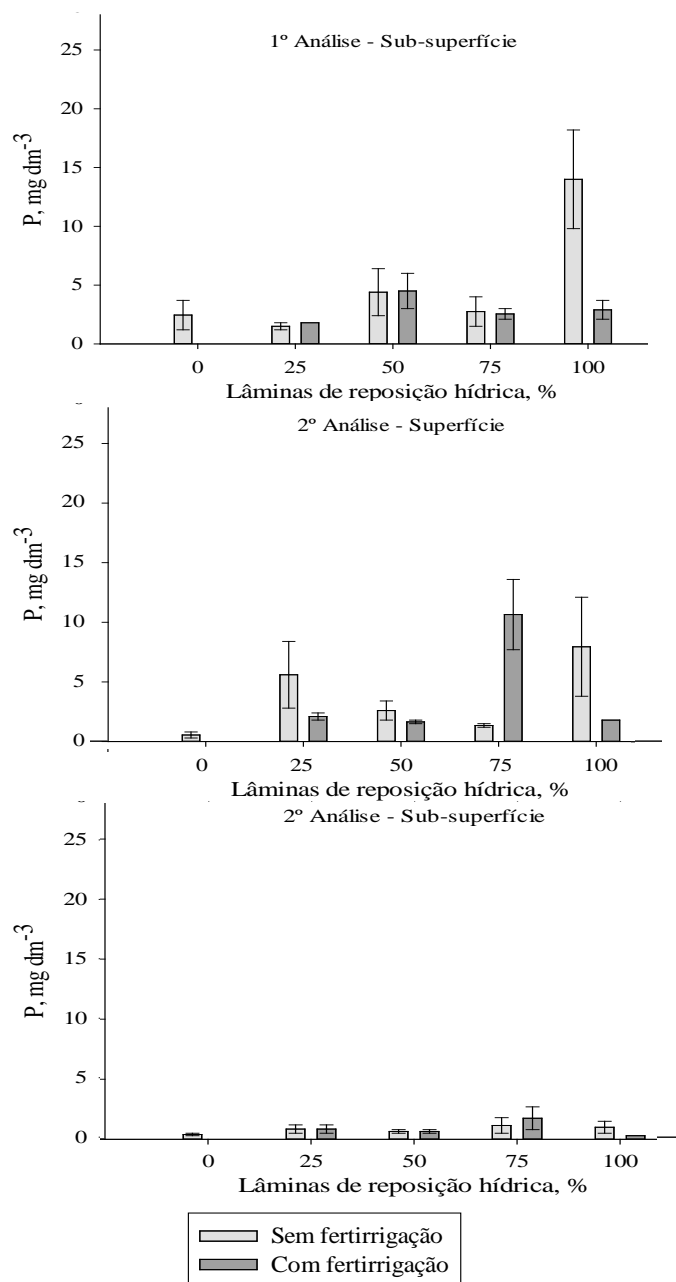
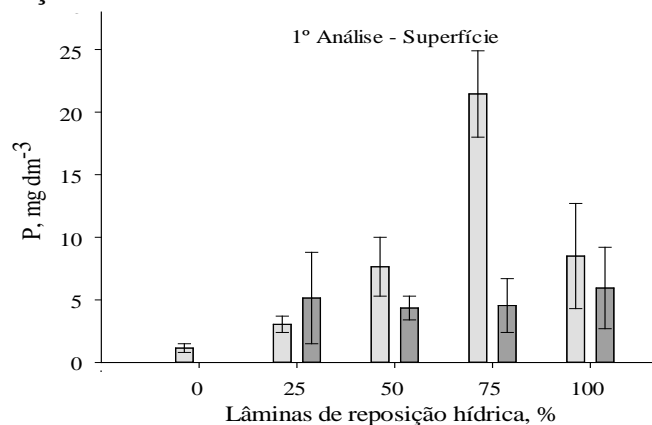


Figura 3. Teores médios de fósforo (P) no solo em função da adubação nitrogenada dentro de cada nível de reposição hídrica, para uma primeira e segunda análise do solo em duas camadas do solo: superfície (0-0,30 m) e subsuperfície (0,30-0,60 m). A barra de erros representa o erro-padrão da média.

Os tratamentos sem reposição hídrica apresentaram teores mais baixos de fósforo no solo em relação aos tratamentos com reposição hídrica (Figura 3). Além disso, verificou-se que em ambas as camadas analisadas os teores de fósforo foram maiores na primeira análise em

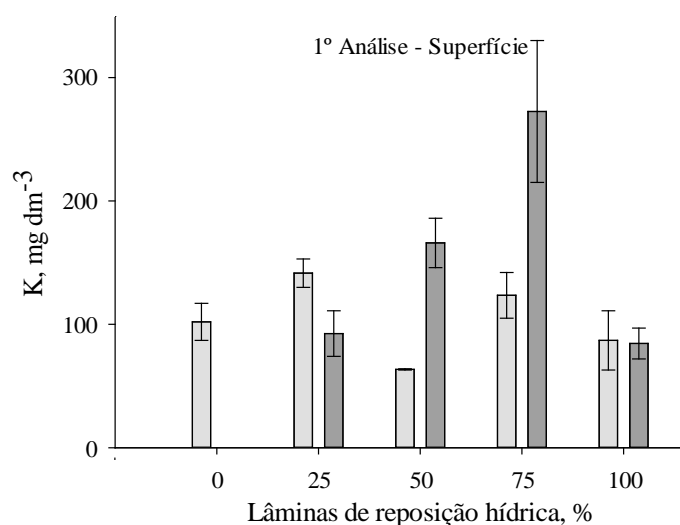
relação à segunda análise, o que pode indicar uma maior absorção deste elemento por parte das plantas de cana-de-açúcar, já que o fósforo é praticamente imóvel no solo.

De maneira geral, as parcelas sem adubação nitrogenada apresentaram valores mais elevados de fósforo em relação às parcelas adubadas com nitrogênio na camada superficial, mostrando que nestas parcelas a absorção deste elemento foi mais elevada. Não foi observado este mesmo comportamento em sub-superfície. A constante reposição hídrica, atuando de forma mais ativa na camada superficial pelo fato dos gotejadores estarem localizados a 0,20 m de profundidade, pode ter favorecido a absorção deste nutriente (fósforo) pelas plantas de cana-de-açúcar (Figura 3). Pesquisas têm mostrado que mais de 90% do fósforo é absorvido pela planta pelo processo de difusão, visto este processo ser estritamente dependente do volume da água no solo (MEURER, 2007). Novais et al. (1990) também afirmam que o fósforo tem baixa mobilidade no solo, principalmente se o solo apresentar baixo teor de umidade, o que implica reduzida difusão do elemento no solo e consequentemente menor desenvolvimento das plantas.

Na Figura 4 são apresentados os teores médios de potássio dos tratamentos com diferentes níveis de reposição hídrica, com e sem adubação nitrogenada, nas duas camadas do solo. A avaliação do potássio no solo pode ser de alta importância, principalmente em relação à cana-de-açúcar. Uchôa et al. (2009) ressaltaram que o potássio tem papel fundamental na qualidade tecnológica do caldo de cana-de-açúcar, sobretudo no que diz respeito ao conteúdo de açúcares totais. Além disso, a

avaliação deste elemento no solo é de extrema importância, pois pode informar a ocorrência de desequilíbrios deste nutriente em relação a outro nutriente, como observado por Barros et al. (2010), que ressaltaram que o aumento excessivo da concentração de potássio no solo, em algumas áreas, pode ocasionar desequilíbrios nutricionais, dependendo da cultura a ser implantada.

Da mesma forma que os nutrientes anteriores, houve redução nos teores de potássio na segunda análise, evidenciando aumento na absorção deste nutriente por parte da planta de cana-de-açúcar. Foram verificados valores médios de potássio de aproximadamente 136 mg dm⁻³ na primeira análise, enquanto na segunda análise os valores de potássio foram de aproximadamente 103 mg dm⁻³. Outra possibilidade para a diminuição deste elemento no solo após a adubação pode ser devida à maior disponibilidade de água no solo, que pode ter ocasionado maior lixiviação deste elemento (Figura 4). Andrade Júnior et al. (2012) também atribuíram maior disponibilidade hídrica no solo ao maior processo de lixiviação do potássio. Barros et al. (2010) também atentaram para o alto potencial de lixiviação do potássio no solo.



ALTERAÇÕES NOS TEORES DE MACRONUTRIENTES EM LATOSSOLO VERMELHO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR

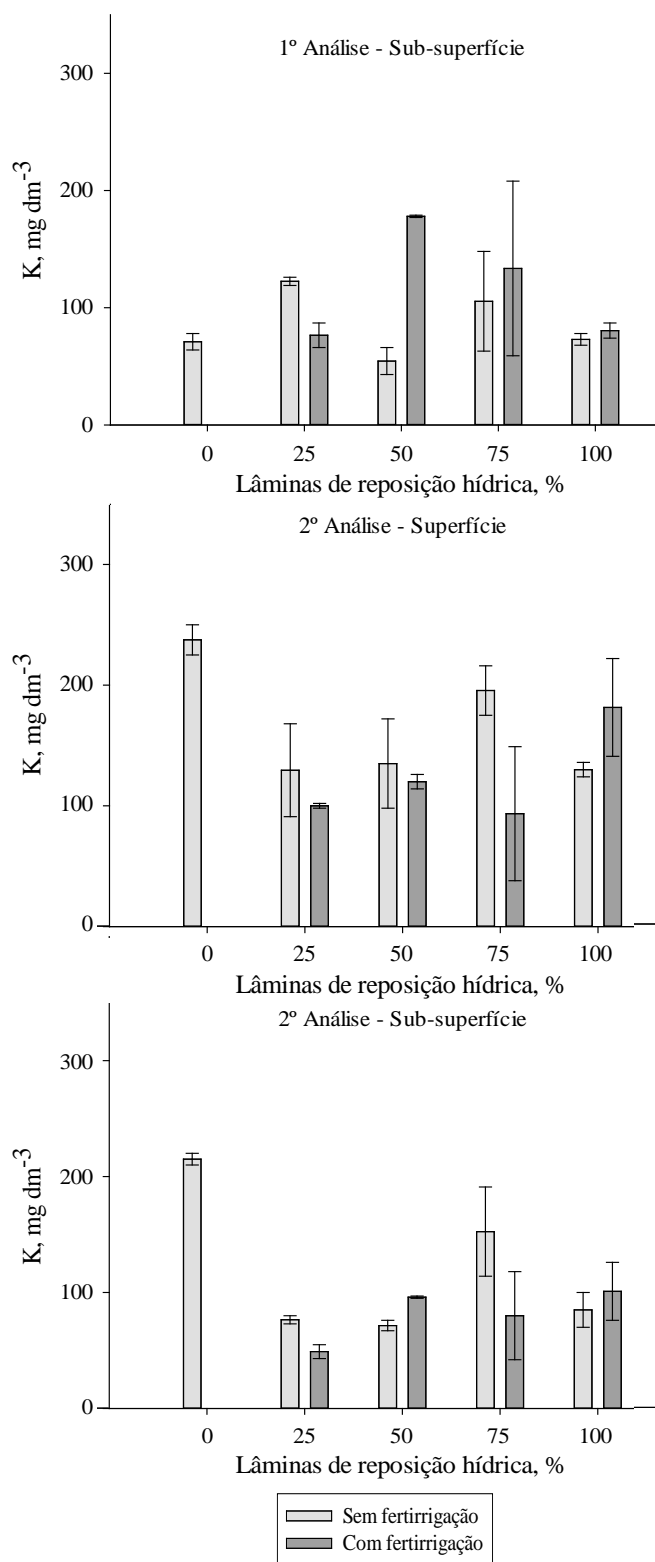
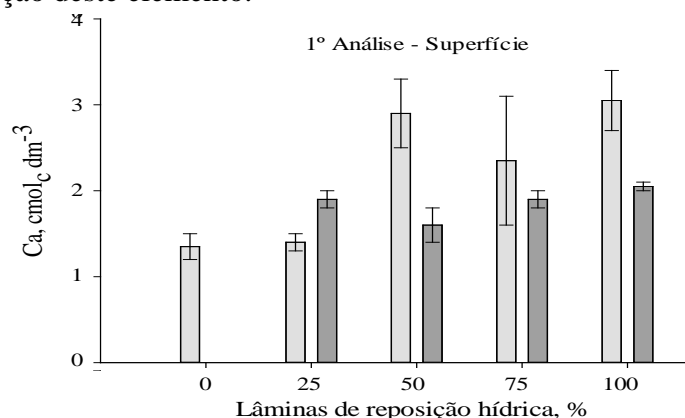


Figura 4. Teores médios de potássio (K) no solo em função da adubação nitrogenada dentro de cada nível de reposição hídrica, para uma primeira e segunda análise do solo a adubação, para duas camadas do solo: superfície (0-0,30 m) e subsuperfície (0,30-0,60 m). A barra de erros representa o erro-padrão da média.

Os teores médios de cálcio nos tratamentos com diferentes níveis de reposição hídrica, com e sem adubação nitrogenada, nas duas camadas do solo são apresentados na Figura 5. Foi observada pouca variação nos teores de cálcio entre a primeira e segunda análise para ambas as camadas do solo. Os teores médios de cálcio foram de 2 e 1,7 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ para a camada superficial e subsuperficial, respectivamente, para a primeira análise do solo, realizada antes do plantio. Já na segunda análise do solo, realizada após a colheita, os valores médios de cálcio foram de 1,9 e 1,4 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ para a camada superficial e subsuperficial, respectivamente. Verificou-se ainda que o uso da irrigação (reposição hídrica) alterou os teores de cálcio no solo, sendo que os menores valores do elemento observados nos tratamentos sem reposição hídrica. A absorção deste elemento é favorecida em locais onde a disponibilidade hídrica é maior, isso porque o cálcio é transportado pelo fluxo de massa (BARBER, 1974; NOVAIS et al. 1990), e a alta umidade do solo favorece este tipo de transporte dos nutrientes. Além disso, a absorção de cálcio é desfavorecida pela maior presença de raízes suberizadas e como o estresse hídrico intensifica o processo de suberização de raízes (BOWEN, 1984). Além disso, nestes locais com 100% de reposição hídrica, a alta umidade do solo provavelmente favoreceu o desenvolvimento de raízes mais novas, o que pode ter favorecido a absorção deste elemento.



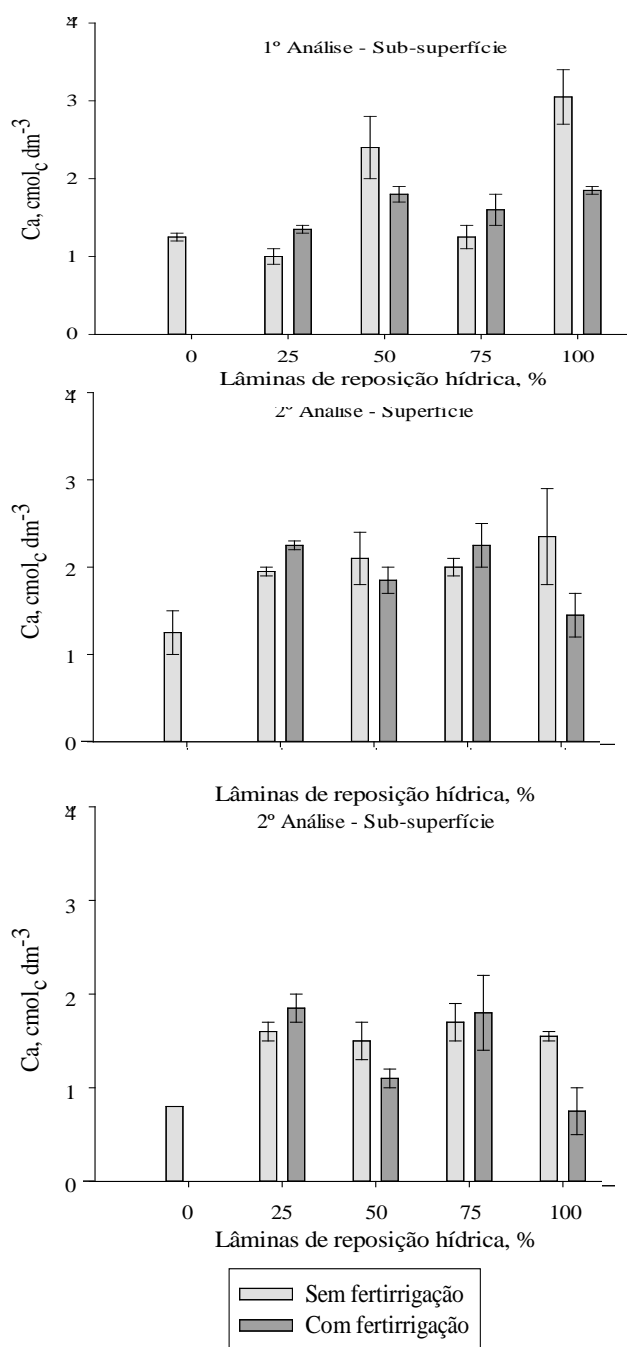
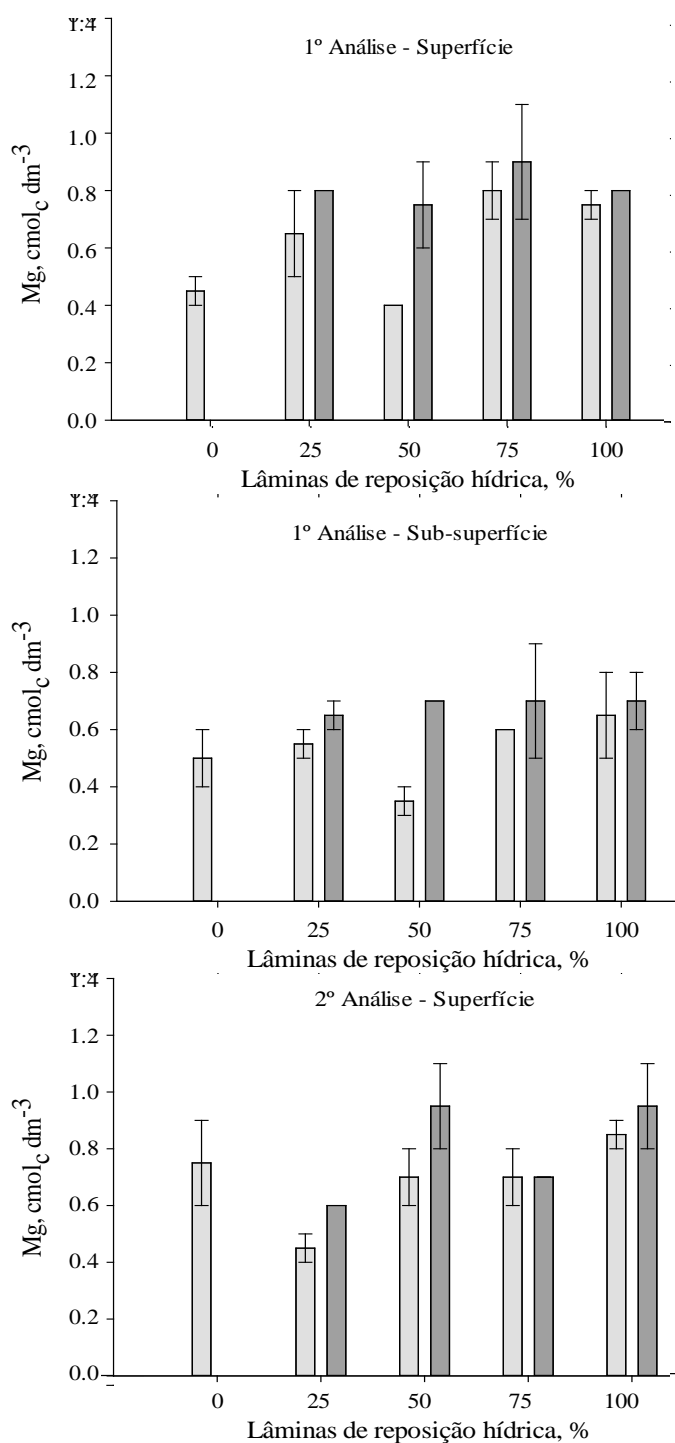


Figura 5. Teores médios de cálcio (Ca) no solo em função da adubação nitrogenada dentro de cada nível de reposição hídrica, para uma primeira e segunda análise do solo a adubação, para duas camadas do solo: superfície (0-0,30 m) e subsuperfície (0,30-0,60 m). A barra de erros representa o erro-padrão da média.

Os teores médios de magnésio nas áreas com diferentes níveis de reposição hídrica, com e sem adubação nitrogenada, nas duas camadas do solo são apresentados na Figura 6. Os

valores de magnésio encontrados na primeira e na segunda análise do solo foram muito próximos entre as camadas estudadas e também entre os diversos níveis de reposição hídrica, permanecendo os valores no intervalo de 0,6 e 1,0 cmol_c dm⁻³, considerados médios altos por Rajj et al. (1997).



ALTERAÇÕES NOS TEORES DE MACRONUTRIENTES EM LATOSSOLO VERMELHO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR

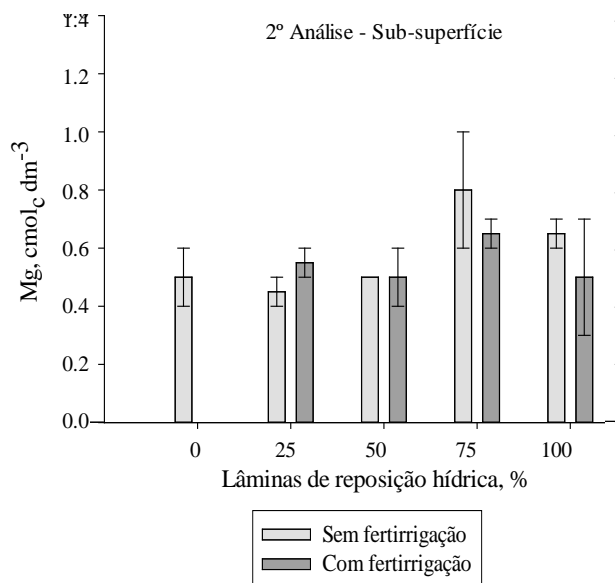
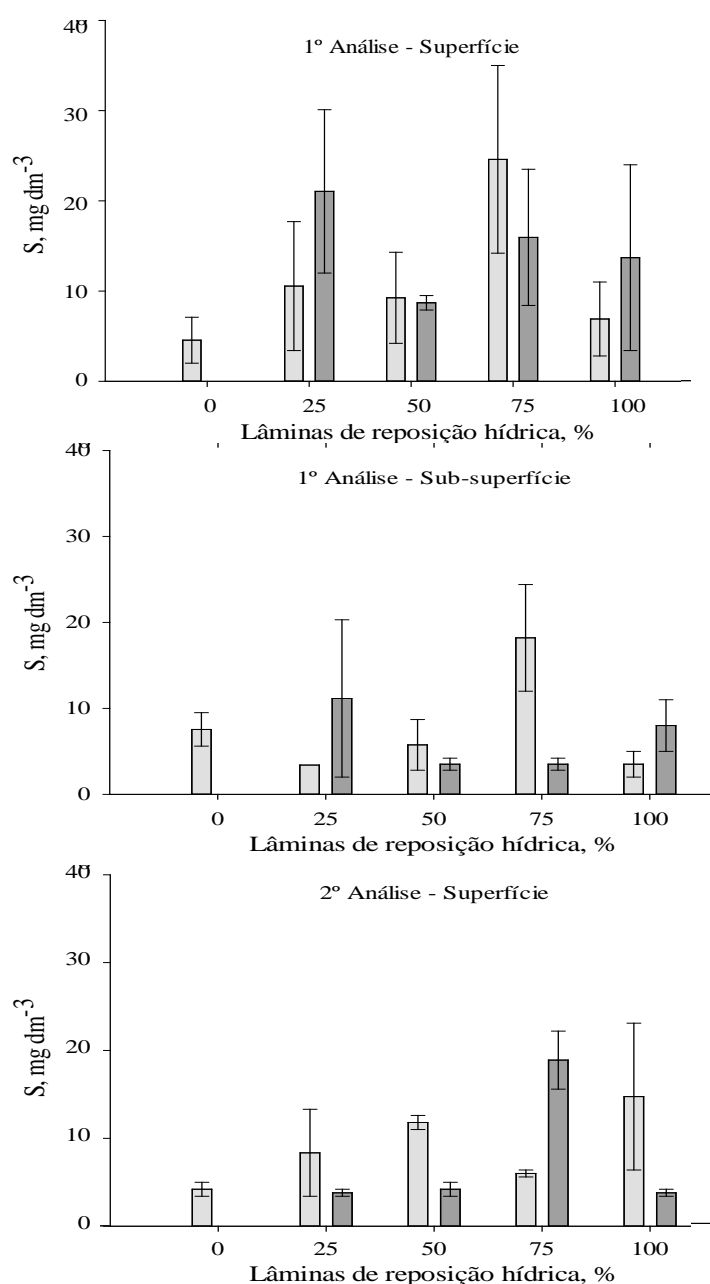


Figura 6. Teores médios de magnésio (Mg) no solo em função da adubação nitrogenada dentro de cada nível de reposição hídrica, para uma primeira e segunda análise do solo, para duas camadas do solo: superfície (0-0,30 m) e subsuperfície (0,30-0,60 m). A barra de erros representa o erro-padrão da média.

São apresentados na Figura 7 os teores médios de enxofre nas áreas com diferentes níveis de reposição hídrica, com e sem adubação, em superfície e subsuperfície do solo. De maneira contrária aos dois últimos elementos aqui discutidos (cálcio e magnésio), na camada superficial do solo os teores mais elevados de enxofre foram verificados na primeira análise de solo realizada, apresentando valores médios próximos de 13 mg dm^{-3} , já para a mesma camada na segunda análise de solo o valor médio foi de $8,3 \text{ mg dm}^{-3}$. Segundo interpretação de teores de nutrientes no solo de Vitti et al. (2006), na primeira análise do solo estes valores foram considerados altos. Por outro lado, na segunda análise do solo, os valores médios deste elemento caíram, estando na classe média na interpretação, segundo estes últimos autores.

Houve também variação nos teores de enxofre do solo devida à reposição hídrica. Os tratamentos sem reposição hídrica apresentaram teores inferiores de enxofre em relação à maioria dos níveis de reposição hídrica utilizados neste estudo. Porém, nos tratamentos com 100% de reposição hídrica, os teores de enxofre nas parcelas sem fornecimento de nitrogênio foram superiores e diferentes estatisticamente das áreas com adubação nitrogenada.



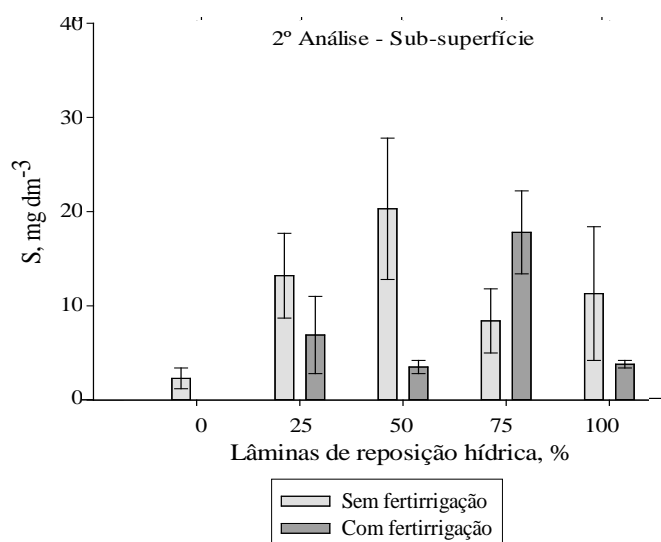


Figura 7. Teores médios de enxofre (S) no solo em função da adubação nitrogenada dentro de cada nível de reposição hídrica, para uma primeira e segunda análise do solo, para duas camadas do solo: superfície (0-0,30 m) e subsuperfície (0,30-0,60 m). A barra de erros representa o erro-padrão da média.

Para a maioria dos macronutrientes avaliados neste estudo, nos tratamentos com as maiores produtividades de cana-de-açúcar (100% de reposição hídrica), o maior desenvolvimento das plantas de cana-de-açúcar pode ter sido influenciado pela maior absorção destes elementos. A alta umidade do solo favorece o fluxo de massa. Silva et al. (1998) trabalhando com a cultura do milho, verificaram que o fluxo de massa foi o principal mecanismo de transporte de enxofre até a superfície radicular.

CONCLUSÃO

A reposição hídrica via irrigação por gotejamento subsuperficial combinado com a adubação nitrogenada na dose de 100 kg ha⁻¹ alterou os macronutrientes do solo no final do período de parcelamento da adubação.

A reposição hídrica completa, ou seja, com 100% e reposição hídrica, associada com fornecimento de nitrogênio proporcionou as

maiores produtividades de cana-de-açúcar.

As áreas adubadas com nitrogênio e com 100% de reposição hídrica apresentaram menores teores no solo de nitrogênio, fósforo, cálcio e enxofre ao final do ciclo de cultivo, devido à maior absorção pelas plantas de cana-de-açúcar.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMBROSANO, E. J.; CANTARELLA, H.; ROSSI, F.; SCHAMMASS, E. A.; SILVA, E. C.; AMBROSANO, G. M. B.; DIAS, F. L. F.; TRIVELIN, P. C. O.; MURAOKA, T. Desempenho de adubos verdes e da primeira soqueira de cana-de-açúcar cultivados consorciadamente. *Rev. Bras. de Agroecologia*. v.8, n.3, p80-90, 2013.
- ANDRADE JÚNIOR, A.S.; BASTOS, E.A.; RIBEIRO, V.Q.; DUARTE, J.A.L.; BRAGA, D.L.; NOLETO D.H. Níveis de água, nitrogênio e potássio por gotejamento subsuperficial em cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.47, n.1, p.76-84, 2012.
- BARBER, S. A. Influence of the plant root on ion movement in soil. In: CARSON, E.W., (Ed.). *The plant root and its environment*. Charlottesville: University Press of Virginia, 1974. p. 524-564.

ALTERAÇÕES NOS TEORES DE MACRONUTRIENTES EM LATOSSOLO VERMELHO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR

- BARROS, R.P.; VIÉGAS, P.R.A.; SILVA, T.L.; SOUZA, R.M.; BARBOSA, L. VIÉGAS, R.A; BARRETTO, M.C.V.; MELO, A.S. Alterações em atributos químicos de solo cultivado com cana-de-açúcar e adição de vinhaça. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.40, n.3, p.341-346, 2010.
- BAR-YOSEF, B.; SAGIV, B.; MARKOVITCH, T. Sweet corn response to surface and subsurface trickle phosphorus fertigation. *Agronomy Journal*, California, v.81, n.3, p.443-7, 1989.
- BOWEN, G.D. Tree roots and the use of soil nutrient. In: BOWEN, G.D., NAMBIAR, E.K.S. (Eds.). *Nutrition of plantation forest*. London: Academic press, 1984. p.147-179.
- CARVALHO, C.M. de; AZEVEDO, H.M. de; DANTAS NETO, J.; FARIAS, C.H. de A.; SILVA, C.T.S.; GOMES FILHO, R.R. Rendimento de açúcar e álcool da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de irrigação. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.4, p.72-77, 2009.
- CASTRO NETO, P. Notas de aula prática do curso de agrometeorologia. Lavras, ESAL, 1982. 45p.
- DALRI, A.B.; CRUZ, R.L. Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial. *Engenharia Agrícola*, v.28, p.516-524, 2008.
- DALRI, A. B.; CRUZ, R.L.; GARCIA, C.J.B.; DUENHAS, L.H. Irrigação por gotejamento subsuperficial na produção e qualidade de cana-de-açúcar. *Irriga*, v.13, p.1-11, 2008.
- DANTAS NETO, J.; FIGUEREDO, J.L. da C.; FARIAS, C.H. de A.; AZEVEDO, H.M.; AZEVEDO, C.A.V. de. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, p.283-288, 2006.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solos*. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do abastecimento, 2006. 306p.
- FARIAS, C.H. de A.; FERNANDES, P.D.; AZEVEDO, H.M.; DANTAS NETO, J. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, p.356-362, 2008.
- GLASS, A.D.M. *Plant nutrition: an introduction to current concepts*. Boston: Jones and Bartlett Publishers, 1989. 234 p.
- MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Cana-de-açúcar*. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cana-de-acucar>>. Acesso em 02 abril de 2013.
- MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. 2th. London: Academic Press, 1995. 889 p.
- MATIOLI, C.S.; PERES, F.C.; FRIZZONE, J.A. Análise de decisão sobre a viabilidade da irrigação suplementar de cana-de-açúcar colhida no mês de julho na região de Ribeirão

- Preto - SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 25., CONGRESSO LATINOAMERICANO DE INGENIERIA AGRÍCOLA, 2., 1996, Bauru. Resumos... Jaboticabal: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 1996. p. 386.
- MEURER, E.J. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, R. F. et al. Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS, 2007. 1017p.
- NOVAIS, R.F., BARROS, N.F., NEVES, J.C.L. Nutrição Mineral do Eucalipto. In: BARROS, N.F., NOVAIS, R.F. (Eds). Relações solo-eucalipto. Viçosa, Folha de Viçosa, 1990. p. 25-91.
- ORON, G.; DEMALACH, J.; HOFFMAN, Z.; CIBOTARU, R. Subsurface microirrigation with effluent. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Reston, v.117, n.1, p.25-37, 1991.
- PADILLA, W.A. Factores que limitan el crecimiento y desarrollo de las plantas. Segundo Curso Internacional de Fertirrigacion en cultivos protegidos. Universidade San Francisco de Quito, Quito – Ecuador, Maio 1998, p.1-10.
- PAES, A.T. Por dentro da estatística. Einstein: Educação Continuada. Saúde, n. 6, p. 107-108, 2008.
- PEIXOTO, J.F.S.; GUERRA, H.O.C.; CHAVES, L. H. G. Alterações de atributos químicos do solo pela fertirrigação com nitrogênio e potássio. *Agropecuária Técnica*, v.27, n.2, p.69-76, 2006.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. 285 p. (Boletim Técnico, 100).
- SILVA, D.J.; ALVAREZ, V.H.; RUIZ, H.A. Fluxo de massa e difusão de enxofre para raízes de milho em solos ácidos de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 22, n.109-114, 1998.
- SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Cerrado: Correção do solo e adubação. 2.ed. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.
- UCHÔA, S.C.P.; ALVES JUNIOR, H. de O.; ALVES, J.M.A.; MELO, V.F.; FERREIRA, G.B. Resposta de seis variedades de cana-de-açúcar a doses de potássio em ecossistema de cerrado de Roraima. *Revista Ciência Agrônômica*, v.40, p.505-513, 2009.
- VETTORI, L. Métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, EPF, 1969, 24p. (Boletim Técnico, 7).
- VITTI, G. C. Nutrição e adubação de cana-de-açúcar. 2006. Disponível em: <www.malavolta.com.br/pdf/730.pdf>. Acesso em 02 abril de 2013.