Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Acúmulo de fitomassa e de macronutrientes da cana-de-açúcar relacionadas ao uso de fontes de nitrogênio

José Marcos Leite

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas

Piracicaba
2011

José Marcos Leite
Engenheiro Agrônomo

Acúmulo de fitomassa e de macronutrientes da cana-de-açúcar relacionadas ao uso de fontes de nitrogênio

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 5890 de 2010

Orientador:
Prof. Dr**. PAULO CESAR OCHEUZE TRIVELIN**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas

Piracicaba
2011

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP

Leite, José Marcos
Acúmulo de fitomassa e de macronutrientes da cana-de-açúcar relacionadas ao uso de fontes de nitrogênio / José Marcos Leite. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 5890 de 2010. - - Piracicaba, 2011.
90 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2011.
Bibliografia.

1. Adubação 2. Biomassa 3. Cana-de-açúcar - Produtividade 4. Fertilizantes nitrogenados 5. Macronutrientes 6. Nitrogênio I. Título

CDD 633.61
L533a

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

Aos meus pais,

Manoel Pedro Leite e **Idalina Carmen Oliveira Leite**, pelo caráter, ensinamento, dedicação, amor e exemplo de vida.

Aos meus queridos irmãos,

Antônio Sérgio Leite e **Agostinho Junio Leite** pelo companheirismo, amizade, força de vontade e confiança.

À minha linda irmãzinha,

Aline Carmen Leite por ser um presente de Deus para a nossa família.

DEDICO

A minhas avós,

Maria da Glória e Afonsina B. Caetano, pela sabedoria, ensinamentos e exemplo de vida.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela dádiva da vida.

Ao professor e orientador Dr. Paulo Cesar Ocheuze Trivelin, pelos ensinamentos, orientação, dedicação e disponibilidade de tempo.

Aos amigos: Guilherme de Souza Hipólito, Juliano Toledo Saib Marcelino, Aijânio Gomes Brito Silva, Guilherme de Castro Franco e Willian Pereira, pela amizade, convivência, alegria e apoio no dia a dia, preenchendo o espaço vazio deixado pela solidão de morar longe da família.

Aos colegas de Pós-Graduação, pelo apoio e convívio: Henrique C. J. Franco, Rafael Otto, Emídio C. Oliveira, Michele X. Vieira, Eduardo Mariano, Oriel T. Kölln, Murilo I. M. Moraes, Danilo Ferreira e Evandro.

Aos estagiários: Guilherme, Stefânia, Luiz Renato, Rafael, Thiago Bonassi, Lucas Miachon e Adriano Claudino, pelo apoio prestado na condução deste trabalho.

A toda equipe do Laboratório Isótopo Estável-CENA/USP: Professores José Albertino Bendassoli, Helder de Oliveira, Jefferson Mortatti; a secretária Magda; aos funcionários: Bento Moçambique, Clélber Vieira, Glauco, Juliana e Susy, pela excelência do serviço realizado. Em especial ao Hugo Batagello pela disponibilidade, amizade e apoio nas colheitas dos experimentos de campo. Ao José Aurélio Bonassi (Pingin), pelas conversas e ensinamentos.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ, pela sólida formação acadêmica.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”- ESALQ/USP, ao departamento de Ciência do Solo e ao Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição Plantas, pela infra-estrutura e oportunidade concedida.

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura- CENA/USP, em especial ao Laboratório de Isótopos estáveis-LIE, pelo apoio e estrutura.

À Fundação de Amparo à pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pela concessão da bolsa de estudos (Processo nº 2009/12537-3).

As Usinas Abengoa e Iracema, pela área cedida para instalação dos ensaios a campo.

À Yara Interantional ASA e CNPq, pelo apoio e financiamento do projeto de pesquisa do qual este projeto faz parte.

À Ajinomoto Indústria e Comércio LTDA, pelo fornecimento do fertilizante Ajifer®.

Ao Centro de Tecnologia Canavieira – CTC, principalmente, Carlos Faroni e José Forti, pelo apoio indispensável nas colheitas de campo.

Aos demais colegas de Pós-Graduação: Graziella, Renato, Carlos Sant’ana, João Milagres, Claudinéia, Alecssandra, Débora Sansini e André. Em especial ao Pesquisador Dr. André Vitti pelo apoio na colheita do experimento.

Aos meus familiares, primos, primas, tios e tias, pela alegria, simplicidade e carinho.

Enfim, agradeço a todos que, de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

MUITO OBRIGADO!!!

“***A agricultura é a maior invenção da humanidade, invenção esta que ainda não está terminada.”***

NORMAN BOURLAG, NOBEL (1970)
Engenheiro agrônomo

"Se você quer ser bem sucedido, precisa ter dedicação total, buscar seu último limite e dar o melhor de si mesmo."

Ayrton Senna

SUMÁRIO

RESUMO **11**
ABSTRACT **13**
1 INTRODUÇÃO **15**
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA **17**
2.1 IMPORTÂNCIA DO SETOR SUCROENERGÉTICO 17
2.2 O MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA E A PALHADA DE CANA-DE-AÇÚCAR 18
2.3 FONTES DE NITROGÊNIO PARA ADUBAÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR DE SOQUEIRA 19
2.4 CRESCIMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR 22
2.4 NITROGÊNIO NA CANA-DE-AÇÚCAR E ACÚMULO DE NUTRIENTES 22
3 MATERIAL E MÉTODOS **25**
3.1 LOCAL DO EXPERIMENTO 25
3.2 HISTÓRICO DA ÁREA E AVALIAÇÃO DA PALHADA 25
3.3 CARACTERÍSTICAS DE CULTIVARES 26
3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS 26
3.5 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICA DOS SOLOS 27
3.6 CARACTERIZAÇÕES DAS FONTES DE NITROGÊNIO 28
3.7 BALANÇO CLIMATOLÓGICO DURANTE O CICLO DE PRIMEIRA SOQUEIRA 29
3.8 AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE FITOMASSA E DE NUTRIENTES 32
3.9 AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE FINAL E ÍNDICES TECNOLÓGICOS 34
3.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS 34
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO **35**
4.1 PRODUÇÃO E ACÚMULO DE FITOMASSA 35
4.2 ACÚMULO DE NUTRIENTES 41
4.1.1 ACÚMULO DE NITROGÊNIO 41
4.1.2 ACÚMULO DE FÓSFORO 46
4.1.3 ACÚMULO DE POTÁSSIO 51
4.1.4 ACÚMULO DE CÁLCIO 56
4.1.5 ACÚMULO DE MAGNÉSIO 60
4.1.6 ACÚMULO DE ENXOFRE 63
4.4 EXTRAÇÃO E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES 68

4.5 PRODUTIVIDADE E EXIGÊNCIA NUTRICIONAL DA CANA-DE-AÇÚCAR.....71
5 CONCLUSÕES 79
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS 81
REFERÊNCIAS..... 83

RESUMO

Acúmulo de fitomassa e de macronutrientes da cana-de-açúcar relacionadas ao uso de fontes de nitrogênio

A transição do manejo de cana queimada para a colheita sem despalha a fogo dificulta o manejo da adubação principalmente em relação à fertilização nitrogenada, seja pela maior imobilização do N-fertilizante, quando aplicado sobre a palhada, ou pelas elevadas perdas por volatilização de N-NH_3, já que a ureia é a principal fonte de N. O objetivo deste trabalho foi avaliar, em primeira soqueira de cana-de-açúcar, a marcha de absorção, a taxa de acúmulo de fitomassa e nutrientes e a produtividade relacionadas a fontes de N. Foram instalados dois ensaios, sendo o primeiro em um LATOSSOLO VERMELHO eutrófico (LVe) e o segundo em LATOSSOLO VERMELHO distrófico, ambos no Estado de São Paulo. Os tratamentos consistiram na dose de 100 kg ha^{-1} de N, utilizando as seguintes fontes: cloreto de amônio, nitrato de amônio, ureia, Ajifer®, Nitromag™ e sulfato de amônio e um tratamento sem N. Foram realizadas quatro amostragens ao longo do ciclo da cultura. A cana-de-açúcar apresentou três fases de crescimento vegetativo, independente do tratamento. No LVe, a fonte que apresentou maior contribuição foi o Nitromag™ que produziu em torno de 45 Mg ha^{-1} de fitomassa e 110 Mg ha^{-1} de colmos frescos, enquanto que no LVd o uso do Ajifer® resultou em acúmulo superior de fitomassa em relação às demais fontes com 30 Mg ha^{-1} e produtividade de colmo da ordem de 103 Mg ha^{-1}. A maior taxa de produção de fitomassa seca ocorreu aos 220 DAC atingindo cerca de 350 kg ha^{-1} dia^{-1}, nos tratamentos Nitromag™ e nitrato de amônio no LVe. A cana-de-açúcar adubada com as fontes de nitrogênio mostrou maior incremento de fitomassa, com antecipação no acúmulo de N anterior ao de biomassa. A ordem média de extração de macronutrientes foi: K>N>Ca>S>Mg>P no LVd e LVe, sendo a exportação dos nutrientes pelo colmo de 23, 50, 32, 56, 53 e 53% no LVe e 76, 46, 21, 56, 37 e 57% no LVd. A exigência nutricional da cana-de-açúcar para produzir 1 TCH é de 1,45; 0,14; 2,44; 0,61; 0,26 e 0,33 kg Mg^{-1}, no LVe, respectivamente para N, P, K, Ca, Mg e S. O teor de K, Ca, Mg e S no solo afetou diretamente o acúmulo de nutrientes na planta, interferindo na extração e exportação dos nutrientes.

Palavras - Chaves: *Saccharum* spp; Fontes de nitrogênio; Marcha de absorção; Acúmulo de macronutrientes; Produtividade

ABSTRACT

Biomass and nutrients accumulation in sugarcane as related to nitrogen fertilizer sources

The transition of burnt to unburnt sugarcane management difficult the fertilizer management (especially in relation to nitrogen, N) due to the greater immobilization of N-fertilizer applied over the straw and high N-NH_3 volatilization losses since ureia is the main N source. The objective of this study was to evaluate the rate of biomass and nutrients accumulation by sugarcane, as well the stalk yield as related do N-fertilizer sources, in the ratoon sugarcane cycle. Two trials were set up on aTypic Eutrustox (TE) and on a Typic Haplustox (TH), both in Sao Paulo State, Brazil. The treatments consisted of 100 kg N ha^{-1} applied by means of the the following N sources: ammonium chloride-AC, ammonium nitrate-AN, urea-U, Ajifer®, Nitromag™ and ammonium sulfate-AS, and an additional treatment without N. Four measurements were performed throughout the crop cycle. The sugarcane showed three phases of vegetative growth, regardless of treatment. At TE soil the Nitromag™ promoted higher biomass accumulation, reaching 45 Mg ha^{-1} and 110 Mg ha^{-1} stalk fresh, while at TH soil the Ajifer® increased the biomass as compared to the other sources, reaching 30 Mg ha^{-1}. The highest rate of biomass accumulation occurred around 220 days after harvest , reaching 350 kg ha^{-1} day^{-1} in treatments with Nitromag™ and AN. . The N addition increased sugarcane biomass accumulation, and N accumulation occurred before biomass accumulation. . The average order of nutrients extraction by sugarcane was K> N> Ca> S> Mg> P, with 23, 50, 32, 56, 53, 53% (at TE soil) or 76, 46, 21, 56, 37, 57% (at TH soil) of those nutrients being accumulated on the stalks. The nutritional requirement of sugarcane was 1.45, 0.14, 2.44, 0.61, 0.26 and 0.33 kg t^{-1} of stalks (fresh weight), respectively for N, P, K, Ca, Mg and S. The soil content of K, Ca, Mg and S directly affected the nutrients accumulation by sugarcace, increasing the extraction and exportation of nutrients.

Keywords: *Saccharum* spp; Sources of nitrogen; Mineral absorption; Nutrients accumulation; productivity

1 INTRODUÇÃO

Atualmente a cana-de-açúcar é a cultura mais promissora como fonte de energia renovável, produzindo etanol e biomassa para cogeração de energia, representando uma alternativa ambiental e econômica para reduzir as emissões de gases de efeito estufa. O Brasil é um país referência como produtor de energia alternativa e o etanol é o biocombustível mais usado, apresentando grande vantagem quando comparado com os combustíveis fósseis. O cultivo cana-de-açúcar, poácea de grande capacidade de crescimento e produção de fitomassa retira o dióxido de carbono da atmosfera pela fotossíntese, contribuindo para a mitigação do efeito estufa.

A busca por energia alternativa provocou o crescimento do setor sucroenergético e com a expansão da cultura, a cana-de-açúcar vem passando por mudanças significativas no sistema de cultivo. A principal transformação é sem dúvida a mudança do sistema de colheita da cana-de-açúcar sem despalha a fogo que é um processo que contribui, entre outros fatores, para reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Com o sistema de colheita sem queima, ela deixa sobre o solo uma cobertura de palha de 10 a 20 Mg ha^{-1}. Esta palhada apresenta diversas vantagens, mas interfere no manejo de adubação, principalmente na adubação nitrogenada em cana de soqueira. A palha prejudica a incorporação dos fertilizantes nitrogenados ao solo, além de acelerar o processo de perdas. A principal fonte de nitrogênio (N) mineral para agricultura brasileira é a ureia, que é aplicada na superfície sobre os resíduos culturais e tem sua eficiência agronômica sensivelmente diminuída devido às perdas de N por volatilização. Além disso, a palha interfere na reciclagem dos nutrientes, imobilizando-os, principalmente o N, sendo lento o processo de mineralização. Alguns resultados mostram que nas melhores condições de 10 a 20% do N da palha será mineralizado e disponível para a planta em um ano agrícola.

A adubação com N-fertilizante sempre é realizada no sentido de se obter aumento em produtividade e aumento na eficiência de uso do nutriente. Considerando as perdas do N da ureia por volatilização de NH_3 e imobilização, torna-se fundamental o estudo com novas fontes nitrogenadas para cana-de-açúcar, reduzindo custos e aumentando a eficiência de adubação.

Sabe-se que os resíduos culturais que permanecem sobre o solo, após a colheita mecanizada sem queima dos canaviais diminuem a eficiência da adubação nitrogenada, principalmente quando se utiliza a ureia; o uso de diferentes fontes de N apresentará diferentes eficiências agronômicas pela cana-de-açúcar, e o uso de uma fonte adequada nessa condição pode levar a maximização da eficiência de uso do N pela cultura, promovendo maior acúmulo de fitomassa e consequentemente maior extração dos demais nutrientes, Este projeto de pesquisa tem como objetivos:

a) Avaliar o acúmulo e a taxa de produção de fitomassa seca na parte aérea da cana-de-açúcar durante o ciclo agrícola da primeira soqueira, colhida mecanicamente e sem queima, após adubação com fontes de nitrogênio;
b) Avaliar o efeito das fontes de nitrogênio, na marcha de absorção e taxa de acúmulo dos nutrientes pela parte aérea da cana-de-açúcar (cana soca);
c) Avaliar a produtividade e a exigência nutricional da cana-de-açúcar no ciclo de primeira soqueira.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Importância do setor sucroenergético

O Brasil responde por um terço da produção mundial de cana-de-açúcar, sendo considerado o maior produtor com 8,1 milhões de hectares na safra de 2010/2011, com uma produtividade média de 77,8 Mg ha^{-1} de colmos. A produção anual situando em torno de 650 milhões de toneladas de colmos cana-de-açúcar, produzindo 38 milhões de tonelada de açúcar e 27,6 bilhões de litros de etanol correspondendo a 46,2% e 53,8%, respectivamente. O Estado de São Paulo contribui com mais 54% da produção canavieira nacional, com área total da cultura cerca de 4,3 milhões de hectares (CONAB, 2011).

O etanol já representa mais da metade do consumo nacional de combustíveis para automóveis leves e a biomassa da cana responde por 3% da produção de eletricidade, com potencial para chegar a 15% da matriz de energia elétrica brasileira até 2015. Desde 2008, a indústria da cana-de-açúcar já é a segunda principal fonte de energia do país, atrás do petróleo e acima da hidroeletricidade (UNICA, 2011). Apesar da recessão econômica mundial, atualmente o setor sucroenergético está em expansão por causa de vários fatores que estão ligados, indiretamente, à demanda do consumo de etanol, causado pelo aumento de veículos “flexfuel”, por ser um combustível limpo, renovável, causando menor poluição e impacto ambiental, se comparado com combustíveis fósseis, como avaliado por Soares et al. (2009), mitigando as emissões de gases de efeito estufa. Outro fator também importante é a exportação crescente de açúcar e álcool devido à competitividade brasileira, a redução das taxas de importação, aliado ao consumo crescente de açúcar no mundo a uma taxa de 2% ao ano; o estímulo do governo à produção biocombustível, às condições de solo, relevo e clima são alguns fatores que favorecem a expansão da cultura no Brasil (UNICA, 2011).

2.2 O manejo da adubação nitrogenada e a palhada de cana-de-açúcar

Apesar da importância da cana-de-açúcar para a economia do País, nos últimos anos a sociedade vem pressionando o setor, principalmente no que se refere a questões ambientais, saúde pública e desenvolvimento socioeconômico, levando os governos de regiões produtoras a promulgarem leis que proíbam a queima da palhada para a colheita de cana, bem como a expansão de novas fronteiras agrícolas para a exploração desta cultura (RIBEIRO, 2008).

Atualmente, o avanço da colheita de cana-de-açúcar sem o uso da queima da palha prossegue em todos os estados da região Centro-Sul, chegando na safra 2010/2011 a aproximadamente 70% no Estado de São Paulo (UNICA, 2011). Este manejo deixa sobre o solo uma cobertura de palha que varia de 10 a 20 Mg ha^{-1} de material seco de resíduos que podem ser folhas secas, ponteiros e pedaços de colmos, que vai se decompondo por ação física, química e biológica, contribuindo com fornecimento de nutrientes para os macro e microrganismos do solo e posteriormente para a própria cultura de cana-de-açúcar (OLIVEIRA et al., 1999; OLIVEIRA et al., 2010).

Conforme relatado por Rosseto et al. (2008) a principal diferença entre o sistema de produção adotado atualmente e o empregado no passado é a manutenção da palhada no solo, modificando significativamente o manejo nutricional da cana-de-açúcar, representando o marco divisor entre o canavial do século XX e o canavial do futuro (século XXI), deixando para o solo muitas vantagens, como a maior proteção contra a erosão, pela diminuição do impacto direto de gotas de chuva na superfície, redução da amplitude térmica nas camadas superficiais e aumentando atividade biológica, dentre outros benefícios. Porém com a manutenção da palhada recobrindo a superfície do solo de canaviais tem-se outro desafio que é o manejo da adubação nitrogenada. O nitrogênio é o segundo nutriente mais extraído pela cultura e o mais limitante para o crescimento, perfilhamento e desenvolvimento da cultura, além de representar um custo significativo na produção de canaviais (TRIVELIN, 2000).

Um dos desafios é em relação à composição química da palhada, verificando que os restos culturais com relação C/N maior que 20, causam imobilização microbiológica do nitrogênio (CANTARUTTI et al., 1996), sendo prejudicial ao desenvolvimento da cana, principalmente no estádio de crescimento e formação de colmos (VITTI,2003), uma vez que a cultura requer o N em grande quantidade. As altas relações C/N, C/P e C/S, iguais a 97, 947 e 695 na palha recém colhida e 68, 552 e 455 na palha remanescente, respectivamente, evidenciam que o N não estará disponível para a cultura no período considerado (OLIVEIRA et al., 1999).

2.3 Fontes de nitrogênio para adubação de cana-de-açúcar de soqueira

A fonte de nitrogênio mais usada é a ureia, e como relatado por diversos autores Trivelin et al. (1994, 2002); Costa, Vitti e Cantarella (2003), Cantarella (2007), Chien, Prochnow e Cantarella (2009) e Mariano (2011) seu uso pode resultar em elevadas perdas de N por volatilização de NH_3, quando aplicada na superfície. Em cana-de-açúcar, Cantarella et al., (2008) indicou que as perdas variaram de 16 a 44 % do N aplicado, podendo chegar em outras culturas à 78% do N aplicado sendo volatilizado na forma de NH_3 (CANTARELLA, 2007). O processo de volatilização envolve, inicialmente, a hidrólise da fonte amídica por ação da urease que é uma enzima extracelular produzida por bactérias, actinomicetos e fungos do solo ou, ainda, originada de restos vegetais. Sabe-se que a atividade de urease é maior em plantas e resíduos vegetais do que em solo. Barreto & Westerman (1989), observaram que a atividade de urease em resíduos de culturas era cerca de 30 vezes maior do que em cultivo tradicional. Portanto solos com restos de cultura como, por exemplo, a palhada de cana-de-açúcar que fica sobre o solo tende a ter maior atividade de urease e maiores perdas de NH_3 do que solos descobertos, além do fato da camada de resíduos dificultarem a incorporação do N-fertilizante ao solo.

Portanto, é de grande importância o conhecimento do manejo de outras fontes nitrogenadas, principalmente em cana-de-açúcar sem queima, já que a imobilização e a volatilização são fatores que dificultam o manejo da fertilidade do solo em relação ao

nitrogênio, sendo a adubação nitrogenada a que mais contribui para o elevado custo da produção canavieira, principalmente pelo alto e variável custo do N-fertilizante (URQUIAGA; ZAPATA, 2000) e pela baixa eficiência no aproveitamento pela cultura do fertilizante aplicado ao solo, o que comumente não ultrapassa a 40% do N-adubo aplicado, na mesma safra, (FRANCO et al., 2011). Assim posto, estratégias devem ser traçadas para aumentar a eficiência do uso de N-fertilizante, reduzindo custos e riscos ambientais. Uma alternativa é o uso de fertilizantes nitrogenados não convencionais como o co-produto da fabricação do ácido glutâmico (Ajifer®), nitrato de amônio e cálcio e o cloreto de amônio, sendo de grande importância o conhecimento do efeito dessas fontes no solo e na própria planta.

O cloreto de amônio (NH_4Cl), conforme estudado por Vieira (2009), apresentou eficiência agronômica semelhante às fontes convencionais utilizadas no setor canavieiro em avaliação realizada numa segunda soqueira. Esta fonte de N é considerada um composto químico que contém 25-26% de nitrogênio e 66% de cloro, podendo ser utilizado como fonte de nitrogênio na adubação de diversas culturas. É geralmente obtido como subproduto do processo produção de soda cáustica, uma solução de cloreto de sódio é amoniada e depois carbonatada. Formam-se NH_4Cl e $NaHCO_3$, este é separado por filtração e convertido em soda por aquecimento e o cloreto de amônio (NH_4Cl), é tido como resíduo desse processo de fabricação (LOUREIRO;MELAMED.; NETO, 2009). No Brasil, o cloreto de amônio não é comercializado como fertilizante. Esse composto é comercializado somente para fins industriais como reagente técnico para fins industriais. Apesar disso, Coelho et al. (2006) avaliaram o composto como uma possível fonte de nitrogênio na cultura de milho, obtendo maior eficiência agronômica do composto quando comparado à ureia e ao bicarbonato de amônio. A maior eficiência foi interpretada pelos autores como devido à ausência de volatilização de NH_3 na aplicação do NH_4Cl que normalmente ocorre com os fertilizantes nitrogenados amídicos/amoniacais quando aplicados na superfície do solo.

No Estado de São Paulo, o co-produto da fabricação do ácido glutâmico (Ajifer®), tem sido utilizado como fertilizante nitrogenado em cana-de-açúcar, citricultura e pastagem. Esse co-produto líquido contém quantidades apreciáveis de matéria

orgânica, N, K e S. Os teores de N podem variar de 40 a 70 g kg^{-1}; o de K_2O de 7 a 15 g kg^{-1}, e o de S-SO_4 de 20-70 g kg^{-1}, embora existam na literatura poucos trabalhos avaliando a eficiência agronômica do produto, este é muito empregado nas regiões canavieiras onde exista fábrica de ácido glutâmico.

A fonte nitrato de amônio e cálcio já foi comercializada no país nas décadas de 60 a 80 do século passado pela ULTRAFERTIL/PETROFERTIL com o nome comercial de nitrocálcio Cubatão. Por questões de ordem econômica essa fonte de N deixou de ser comercializada o que vem ocorrendo até os dias de hoje. Atualmente, com o controle na venda de nitrato de amônio, uma vez que o composto pode ser usado na fabricação de explosivos, tem sido cogitada a possibilidade pela indústria de fertilizantes em reativar a comercialização de fonte de N. A vantagem dessa fonte nitrogenada na adubação de soqueiras de cana-de-açúcar no manejo com cobertura do solo com palhada é devido a adição da dolomita, fornecendo Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg), este faz parte da estrutura da clorofila, molécula essencial no processo fotossintético, além de ativar mais enzima que qualquer outro nutriente mineral (EPSTEIN; BLOOM, 2006). O Ca é um nutriente essencial na permeabilidade da parede celular e importante no crescimento de raízes em condições em que o solo se apresenta ácido (MALAVOLTA et al., 1997). Além disso, esta fonte apresenta 50% do N na forma amoniacal e 50% na forma nítrica, que são as duas formas disponíveis para a planta no solo.

São diversas fontes de N que contribuem para o desenvolvimento da cana-de-açúcar, tais como: o N da palhada remanescente (TRIVELIN et al., 2002), o colmo da cana-de-açúcar no plantio (CARNEIRO et al., 1995), a fixação biológica de N por microrganismos associada a cultura (BODDEY et al., 2003) e o N fertilizante fornecido por diversas fontes minerais (VITTI et al., 2007). Porém alguns estudos têm apontado que a maior contribuição do N para a cana-de-açúcar pode ser através da mineralização do N do solo (BASANTA et al., 2003; MARIANO, 2010). Com isso, para a manutenção de produtividades elevadas é essencial a adição de adubos nitrogenados complementando a exigência nutricional da cultura e manter o nível adequado de N no solo.

2.4 Crescimento da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar pertence à família *Poaceae*, é uma planta C4, que tem a capacidade de acumular alto volume de biomassa, sendo cultivada em regiões tropicais e subtropicais de mais de 90 países, difundida em uma ampla faixa de latitude de 35°N e 30°S, adaptando-se a diversas condições de clima e solo exigindo precipitações pluviais entre 1500 a 2500 mm por ciclo vegetativo (DOOREMBOS; KASSAM 1979).

O comportamento vegetativo da cana-de-açúcar é altamente dependente de fatores climáticos; as variações de temperatura, pluviosidade, intensidade de luz exercem grande influência sobre o desenvolvimento fenológico da cultura afetando diretamente sua produtividade (LIU; KINGSTON; BULL 1998; SMIT & SINGELS, 2006; UEHARA et al., 2009). A deficiência hídrica e nutricional, além de temperaturas extremas e baixa radiação solar são as principais limitações do desenvolvimento da cana-de-açúcar ao longo do ciclo (TRIVELIN 2000; SMIT & SINGELS, 2006; OLIVEIRA et al., 2010).

A análise de crescimento da cana-de-açúcar tem permitido avaliar os efeitos de diferentes formas de adubação, tratos culturais e expressão genética. Esta análise é realizada por meio de avaliações seqüenciais do acúmulo de fitomassa ou de índice fisiológicos dela obtidos (GAVA et al 2001). Recentemente pesquisadores têm voltado atenção para estudos sobre processos de acúmulo de fitomassa em cana-de-açúcar, buscando desvendar os fenômenos ambientais subjacentes à redução do crescimento ao longo das fases, podendo relacionar esses fatores com o desenvolvimento, maturação da cana-de-açúcar, tempo de colheita, absorção e acúmulo de nutrientes (UEHARA et al., 2009; HEERDEN et al., 2010; OLIVEIRA, 2011).

2.4 Nitrogênio na cana-de-açúcar e acúmulo de nutrientes

N faz parte de todos os aminoácidos, ácidos nucléicos e proteínas, além de vários outros compostos das plantas, atua diretamente no perfilhamento e crescimento da cana-de-açúcar, é um dos nutrientes minerais mais extraído perdendo apenas para o K

(MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997) et al., 1997; OLIVEIRA, 2011). A planta de cana-de-açúcar exporta cerca de 0,7 a 1,1 kg de N por tonelada de colmos (ORLANDO FILHO, 1983; COLETI et al., 2002;OLIVEIRA,2011).

A adubação nitrogenada destaca-se como uma das práticas culturais mais estudadas. A busca pelo suprimento de N a ser aplicado, está embasado no histórico da área e na expectativa de produtividade, sendo que é importante a identificação da exigência nutricional nos diferentes estádios fenológicos de crescimento, o que possibilita realizar adubações na época mais próxima da necessidade da cultura, coincidindo com o crescimento. A demanda de nutrientes durante o crescimento da cana é estimada pela quantificação dos nutrientes acumulados em relação à produção de fitomassa (COALE et al., 1993; OLIVEIRA, 2011). O crescimento e a produção de fitomassa da cana-de-açúcar seguem o modelo padrão não linear sigmóide de crescimento vegetal, apresentando três fases distintas (COALE et al., 1993; GAVA et al, 2001; OLIVEIRA, 2011).

São raros os estudos envolvendo o acúmulo de N durante os estádios vegetativos de crescimento, sendo que é importante, o estudo de acúmulo de nutrientes, associado ao acúmulo de fitomassa durante o ciclo de crescimento da cultura, para melhorar a eficiência da adubação nitrogenada, já que esta exigência em N pela cana-de-açúcar, no decorrer do ciclo agrícola, também definida como marcha de absorção, não está bem esclarecida pela literatura, gerando inconsistência nas quantidades e fontes de N-fertilizante a serem aplicadas (COALE et al.,1993).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do experimento

O estudo foi realizado no ano agrícola 2009/2010, em solos do Estado de São Paulo, Brasil, cultivados com cana-de-açúcar (primeira soqueira) colhida mecanicamente sem despalha a fogo, em área comercial da Usina Iracema - Grupo São Martinho, situado na região de Piracicaba (22º35’ S; 47º 37’ W; 619 m de altitude) e na Usina São Luiz - Abengoa Bionergia, localizada no município de Santa Cruz das Palmeiras (21º47´ S; 47°11´ W; 677 m de altitude). O solo da área experimental de Piracicaba foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO distrófico (LVd) e em Santa Cruz das Palmeiras como um LATOSSOLO VERMELHO eutrófico (LVe) (EMBRAPA, 2006). A caracterização física (Tabela 2) dos solos foi realizada a partir da coleta de amostras indeformadas para determinação da densidade do solo, pelo método do anel volumétrico (BLAKE; HARTGE, 1986), e a caracterização química (Tabelas 1 e 2), foi realizada com trado caneco, coletando amostras deformadas a cada 20 cm até 1 m de profundidade, para análise química (RAIJ et al., 2001) e granulométrica, pelo método do densímetro (GEE; BAUDER, 1986).

3.2 Histórico da área e avaliação da palhada

No LVd a cana planta foi colhida mecanicamente sem despalha a fogo em 15 de junho de 2009 e os resíduos culturais (ponteiros, folhas e pedaços de colmos) depositados na superfície do terreno. A massa de matéria seca da palhada deixada no campo (17,2 ± 3,1 Mg ha^{-1}) foi obtida por meio de amostragens feitas em áreas amostrais de 1 m^2 (20 amostragens). No LVe, a colheita mecânica da cana planta foi realizada em 22 de junho de 2009 a massa da matéria seca da palha residual foi de 18,5 ± 3,7 Mg ha^{-1} (13 amostragens). Nas duas áreas experimentais, a cana-de-açúcar é cultivada sucessivamente há muitos anos, com longo histórico de corte manual com queima prévia do canavial, sendo a colheita mecanizada da cultura sem queima das folhas e ponteiros adotada recentemente em ambas as localidades (2 anos).

3.3 Características de cultivares

O cultivar plantada na Usina Iracema (solo LVd), foi a SP89-1115, destaca-se tanto pela sua alta produtividade e ótima brotação de soqueira (inclusive sob a palha), como pela sua precocidade e alto teor de sacarose; é recomendada para colheita até o meio da safra, respondendo positivamente à melhoria dos ambientes de produção. Apresenta hábito semi-ereto e baixa fibra; floresce freqüentemente, porém com pouca isoporização. É exigente em solos e fertilidade, adaptando-se melhor a ambientes A, B e C. Mostrou-se resistente ao carvão, mosaico, ferrugem, escaldadura e amarelecimento, sendo suscetível à broca. (COPLANA,2011).

O cultivar de cana-de-açúcar na Usina Abengoa (solo LVe), foi a SP81-3250, correspondendo a mais de 15% da área de cultivo nos estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul segundo Chapola et al. (2011), sendo considerada de boa produtividade agrícola em cana-planta e soca, com capacidade de adaptar-se a diferentes tipos de solos e climas. Possui tais características como: alto teor de sacarose, maturação média a tardia, longo período útil de industrialização (PUI) e teor de fibra alto, (GOMES, 2003).

3.4 Delineamento experimental e descrição dos tratamentos

O delineamento experimental empregado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos das fontes convencionais de nitrogênio: ureia, nitrato de amônio e sulfato de amônio, e as fontes alternativas de N: Ajifer® (Ajifer 8®, Ajinomoto Interamericana Ind. Com., São Paulo, BRA), cloreto de amônio e Nitromag™ (YaraBelaTM, YARA International ASA, Olso, NOR), todas aplicadas na dose de 100 kg ha^{-1} de N. Também foi conduzido um tratamento testemunha, sem adição de N. No solo LVe, foram os mesmos tratamentos descritos acima exceto o fertilizante sulfato de amônio. Os fertilizantes nitrogenados foram aplicados manualmente na superfície do solo e sobre a palhada residual da cana-de-açúcar, em um dos lados da soqueira (a 20 cm da linha da cultura), em 28 de setembro de 2009

(105 dias após a colheita da cana-planta - DAC), no LVd; no LVe a aplicação ocorreu no dia 28 de outubro, 122 DAC,. Adicionalmente ao N, aplicou-se em todos os tratamentos no LVd e LVe, respectivamente, 90 e 150 kg ha^{-1} de K_2O, na forma de cloreto de potássio, além de 35 kg ha^{-1} de P_2O_5, na forma de superfosfato triplo no LVe, conforme recomendações de Espironelo et al. (1997). As parcelas experimentais no LVd possuíam dimensões de 15 m x 15 m (10 sulcos), enquanto que no LVe, as repetições de cada tratamento continham 15 m x 12 m (8 sulcos), com espaçamento de 1,5 m entre linhas.

3.5 Caracterização química e física dos solos

As Tabelas 1 e 2 apresentam as caracterizações químicas do solo até 1 m de profundidade antes da instalação dos experimentos. Os atributos químicos de solo foram analisados segundo as metodologias: pH - $CaCl_2$ 0,01 $mol.L^{-1}$ (RAIJ et al.,2001); M.O. – Matéria orgânica, método colorimétrico (RAIJ et al.,2001); P – Extração por resina trocadora de íons e determinação por colorimetria (RAIJ et al.,2001); S – NH_4 OAc 0,5N em HOAc 0,25N (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA 1997); K- Extração por resina trocadora de íons e determinação por fotometria (RAIJ et al.,2001); Ca e Mg – Extração por resina trocadora de íons e determinação por espectrometria de absorção atômica (RAIJ et al.,2001); H + Al- Determinação por potenciometria em solução tampão SMP (RAIJ et al.,2001).

Tabela 1 - Caracterização química do LATOSSOLO VERMELLHO distrófico (LVd) e LATOSSOLO VERMELHO eutrófico (LVe) nos primeiros 100 cm de profundidade

Profundidade	pH	MOS[1]	P	S	K	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	V
cm	$CaCl_2$	g dm^{-3}	mg dm^{-3}			mmol$_c$ dm^{-3}					%
LATOSSOLO VERMELHO distrófico											
0-20	4,6	39	29	33	4,3	13	6	5	72	95,3	24
20-40	4,6	33	29	50	4,6	29	12	5	80	125,6	36
40-60	4,3	32	5	95	4,9	13	8	11	98	123,9	21
60-80	4,1	24	2	107	5,5	8	6	13	98	117,5	17
80-100	4,2	22	1	105	4	9	8	13	88	109	19
LATOSSOLO VERMELHO eutrófico											
0-20	5,5	29	8	27	0,7	49	13	0	28	90,7	69
20-40	4,8	22	16	92	0,3	33	10	2	42	85,3	51
40-60	4,6	17	2	116	0,2	19	8	4	42	69,2	39
60-80	4,7	13	1	117	0,2	16	7	2	34	57,2	41
80-100	4,9	12	1	113	0,1	16	7	1	34	57,1	40

[1] MOS: matéria orgânica do Solo.

Tabela 2 - Caracterização física e química do LATOSSOLO VERMELLHO distrófico (LVd) e LATOSSOLO VERMELHO eutrófico (LVe) nos primeiros 100 cm de profundidade

Profundidade	Areia	Argila	Silte	Densidade[2]	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g kg^{-1}			kg m^{-3}	mg dm^{-3}				
LATOSSOLO VERMELHO distrófico									
0-20	470	510	20	1.350	0,24	2	76	6,9	0,5
20-40	450	530	20	1.340	0,17	3,8	67	5,3	0,5
40-60	480	500	20	1.160	0,17	2,7	47	3,3	0,3
60-80	400	580	20	1.200	0,13	1,9	36	3,5	0,2
80-100	440	530	30	1.180	–	–	–	–	–
LATOSSOLO VERMELHO eutrófico									
0-20	320	630	50	1.450	0,18	7,1	13	13,7	0,2
20-40	320	630	50	1.470	0,17	7,7	11	7,8	0,2
40-60	320	640	40	1.320	0,17	4,8	9	3,9	1,1
60-80	300	660	40	1.260	0,14	2,9	7	3,2	-
80-100	300	660	40	1.180	0,16	2,5	6	2,9	-

[2] Densidade: densidade aparente do solo

3.6 Caracterizações das fontes de nitrogênio

O fertilizante líquido Ajifer® é um co-produto da síntese do ácido glutâmico, apresentando relativa heterogeneidade nos teores dos nutrientes devida à obtenção do mesmo por meio da fermentação biológica do caldo de cana-de-açúcar. A caracterização química do fertilizante é descrita a seguir: pH ($CaCl_2$) 3,9; densidade

1,21 g mL^{-1}; matéria orgânica total 654,7 g L^{-1} (combustão); C total 363,7 g L^{-1}; N total 94,2 g L^{-1} (Kjeldahl); P (P_2O_5) 5,3 g L^{-1} (colorimetria); K (K_2O) 9,5 g L^{-1} (fotometria de chama); Ca e Mg, respectivamente 0,7 e 0,3 g L^{-1}, (espectrometria de absorção atômica); S 88,6 g L^{-1} (gravimetria) e relação C/N de 3,9. O Nitromag™™, de constituição semelhante ao nitrato de amônio e cálcio, é um fertilizante sólido que possui grânulos com 27% de N, sendo 13,5% na forma nítrica e o restante como N-amoniacal, além de possuir 7 e 3% de Ca e Mg, respectivamente, provenientes de um pó fino de dolomita e o cloreto de amônio apresenta-se na forma sólida, contendo 25% de N e 66% de Cl.

3.7 Balanço Climatológico durante o ciclo de primeira soqueira

Durante todo o período experimental, os parâmetros meteorológicos foram obtidos pela estação meteorológica instalada próxima às áreas de estudo, e os dados armazenados em um *datalogger* (modelo CR200, Campbell Scientific®, Logan, USA). Desta forma foi possível estimar o balanço hídrico da cultura (Figura 2 e 3), foi calculado considerando os parâmetros meteorológicos obtidos pela estação e dos valores da capacidade de água disponível no solo (CAD) até 1.2 m para os dois solos. A evapotranspiração de referência (ET_o) foi calculada usando a equação de Penman-Monteith com as parametrizações propostas pela FAO (ALLEN et al., 1998). A evapotranspiração da cultura (ET_c) foi obtida multiplicando a ET_o pelo coeficiente da cultura K_c que seguiram os estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar, sendo utilizado o valor de 0,4 para a fase de crescimento inicial, que permaneceu até os 30 dias após o corte (DAC). Na fase de crescimento intermediário, se estabeleceu no período entre dos 30 DAC até 150 DAC sendo até no mês de novembro. A fase de maior crescimento ocorreu entre os meses de dezembro a março, dos 150 DAC até 250 DAC, enquanto que o estádio final ou de maturação foi estimado a partir do mês de março até a colheita, sendo utilizados gradativamente os valores 0,4, 1,25 e 0,75, respectivamente.(ALLEN et al.,1998). A evapotranspiração real (ET_r) foi obtida por meio do cálculo do balanço hídrico da cultura pelo método de Thornthwaite e Mather (1995), utilizando planilhas eletrônicas (ROLIM; SENTELHAS;BARBIERI,1998).

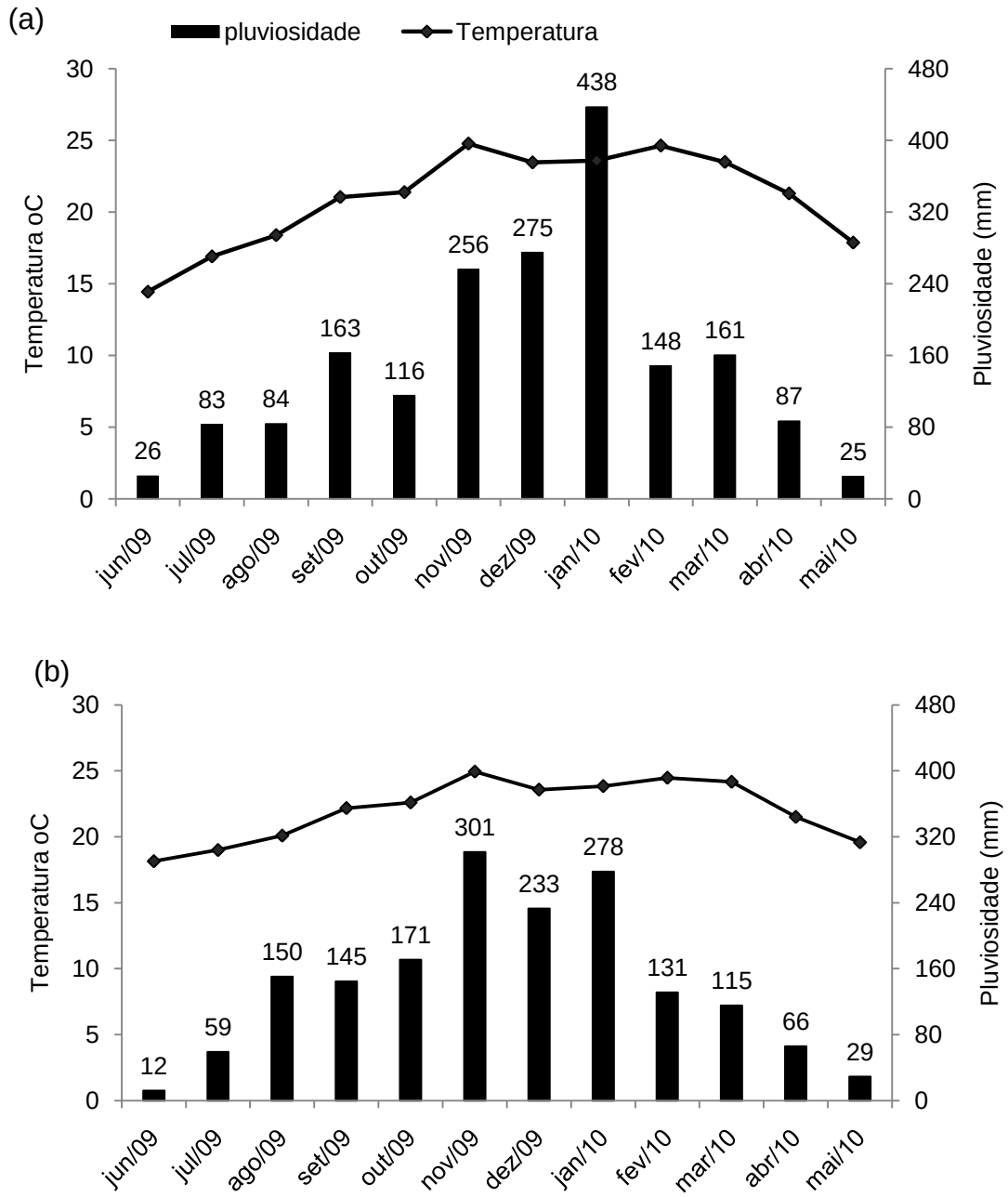

Figura 1**-** Pluviosidade mensal e temperatura média do ar durante o desenvolvimento do ciclo de cana-de-açúcar de primeira soqueira no LVd e LVe, respectivamente, fig. (a) e (b)

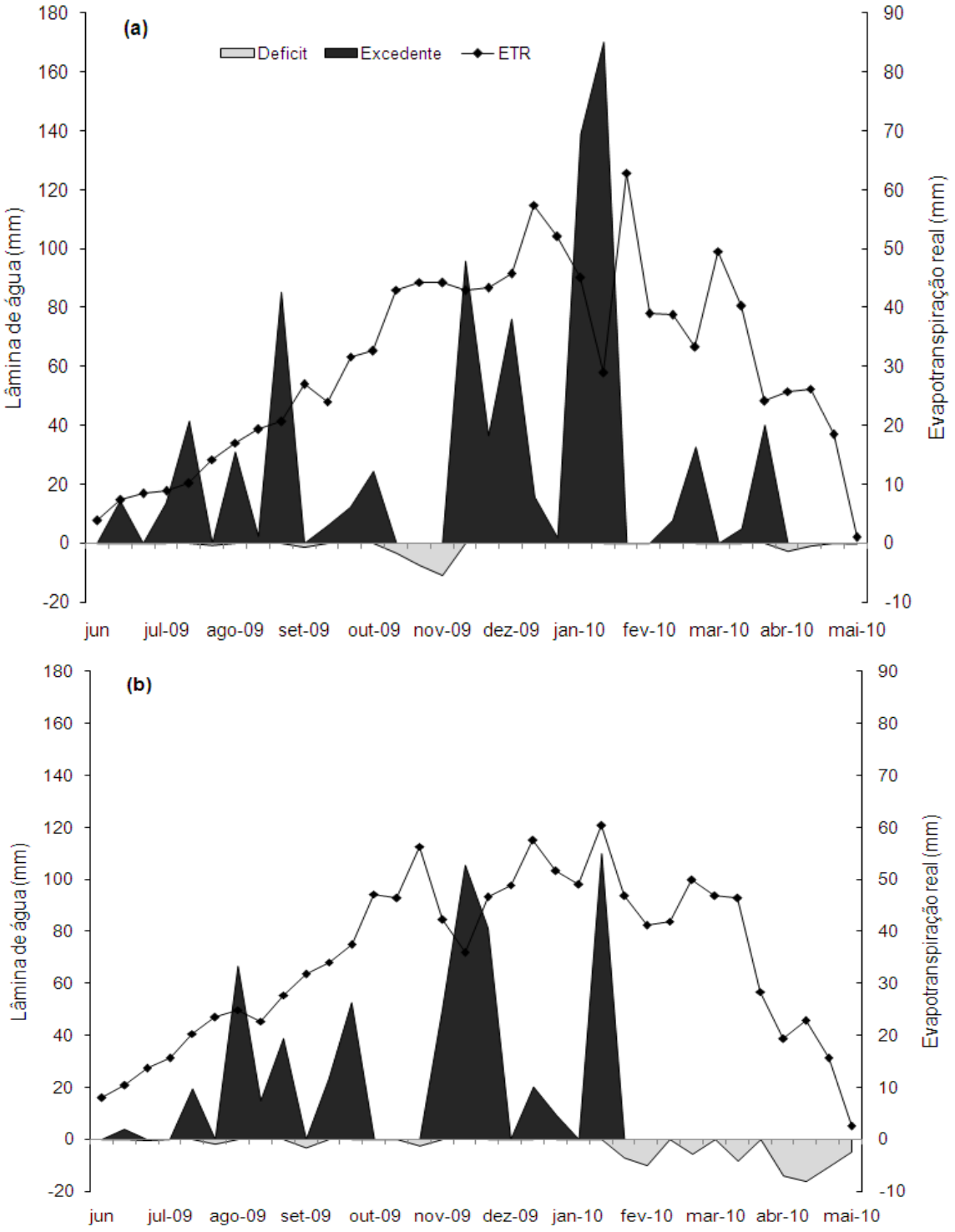

Figura 2-Balanço hídrico climatológico (déficit e excedente) e evapotranspiração real (ETr) da cana-de-açúcar no ciclo de primeira soqueira nos LVd e LVe, respectivamente Figuras (a) e (b).

3.8 Avaliação da Produção de fitomassa e de nutrientes

Para avaliar a produção de fitomassa da cana-de-açúcar ao longo do ciclo, foram realizadas quatro avaliações de produtividade durante o crescimento da soqueira. Estas aconteceram em novembro e dezembro de 2009; fevereiro e maio de 2010, respectivamente, aos 150, 180, 237 e 340 dias após o corte da cana planta (DAC), no LVe e 148,178, 235 e 330 DAC, no LVd. Nessas avaliações colheu-se e tomou-se a massa diretamente em campo de todo o material vegetal da parte aérea das plantas colhidas em 2 metros de sulco, uma amostra por parcela. Procedeu-se também, a contagem do número de perfilhos dessas amostras. Nas duas primeiras coletas (novembro e dezembro de 2009), foi colhida a parte aérea, sendo que nas duas últimas coletas (fevereiro e maio de 2010) a parte aérea foi separada em: colmo, palha e ponteiro.

Fez-se, também, a contagem de perfilhos em 15 m de linha de soqueira, de cada parcela (três segmentos de 5 m em cada parcela), calculando-se posteriormente, o número médio de colmos por metro, por parcela. Nessas avaliações obtiveram-se a produtividade de material vegetal da parte aérea em (Mg ha^{-1}). Para as duas primeiras avaliações foi considerado o número de perfilhos de cada amostra colhida em dois metros, obtendo-se a massa média de um colmo por parcela. Em seguida fez-se a relação com o número de perfilhos em um hectare, considerado o número de perfilhos em 15 m. Considerando o espaçamento de 1,5 m nas entrelinhas, a produtividade de colmo por ha foi calculada multiplicando o número de perfilhos em um hectare pela massa média de um colmo. Essa relação fez-se necessária devido à variabilidade de número de perfilhos que normalmente ocorre em um canavial.

Após a coleta dessas amostras, a parte aérea desses 2 m de cada parcela foi obtida diretamente no campo, por meio de pesagem em balança eletrônica (carga máxima de 100 kg) com precisão de 0,01 kg. Ainda no campo e após a pesagem, as amostras de material vegetal fresco foram trituradas em picadoras e em seguida coletou-se subamostras de material vegetal que foram acondicionadas em sacos plásticos hermeticamente fechados. Estas subamostras foram levadas para o

laboratório e pesadas em balança analítica (precisão de 0,01g), secas em estufa ventilada a 65 ^{o}C até atingirem massa constante e novamente pesadas para corrigir a umidade do material vegetal colhido em campo. Com o número de perfilhos e os dados de massa seca do material vegetal em 2 m, calculou-se a produção de fitomassa, em cada época de amostragem, considerando 6.666,67 m de cana-de-açúcar em um hectare e espaçamento de 1,5 m entrelinhas.

As subamostras secas em estufa foram posteriormente moídas em moinho tipo Willey e determinada as concentrações de nitrogênio (N), obtidas por digestão sulfúrica e determinada por destilação e titulometria; fósforo (P), potássio(K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), e enxofre (S) que foram analisadas segundo metodologia descrita em Malavolta; Vitti; Oliveira, (1997). A partir disso, multiplicou a concentração dos nutrientes em cada subamostra pela fitomassa produzida em cada tratamento (Mg ha^{-1}) obteve-se o acúmulo de nutrientes na parte aérea da cana-de-açúcar durante as 4 épocas de coleta da cana-de-açúcar.

Para estimar o acúmulo de fitomassa seca e marcha de absorção de nutrientes da parte aérea da cana soca, durante o período experimental, foi utilizada a função logística sigmóide:

$$Y = \frac{Ymax}{1 + exp\big(-B * (DAC - X0)\big)}$$

Onde:

Y= Acúmulo de fitomassa em Mg ha^{-1} ou extração de nutrientes nos componentes da cana-de-açúcar em kg ha^{-1};

Y_{max}= Acúmulo máximo de fitomassa ou a extração máxima de nutrientes, compreendida entre o corte da cana e a colheita;

DAC: dias após o corte da cana-planta;

B=parâmetro de ajuste;

X_0= ponto de inflexão.

As constantes X_0 e B da função são estimadas segundo Zullo & Arruda, (1987). Assim, foram obtidas duas equações que descreveram a variação, no tempo, da massa seca da parte aérea da soqueira de cana-de-açúcar a partir do primeiro dia até os

340 dias após a colheita (DAC). Os índices fisiológicos utilizados para avaliar possíveis diferenças entre os tratamentos foram a taxa de produção de matéria seca (TPMS), a taxa de acúmulo de nutrientes (TAN) obtidos pela manipulação das funções de ajuste, segundo modelo descrito por Lucchesi, (1984).

3.9 Avaliação da Produtividade final e índices tecnológicos

A produtividade final de colmos por hectare (TCH), no LVd, foi avaliada após doze meses de cultivo, com a colheita da cana realizada através de colhedora, juntamente com um caminhão instrumentado do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) que fez a pesagem da cana picada em 4 linhas por parcela (linhas 2, 3, 4 e 5), totalizando 60 metros lineares e depois os dados transformados para Mg ha^{-1}. Já no LVe, devido a colheita final de colmos acidentalmente antecipada, não foi possível avaliar a produtividade com a colhedora. Dessa forma, para estimar a produtividade foram utilizados os dados da última avaliação descritos em no item 3.8 avaliação da produção de fitomassa seca.

3.9 Análise estatística dos resultados

Os efeitos dos tratamentos para fontes de nitrogênio foram submetidos à análise de variância utilizando o teste F, ao nível de 90% de confiança. Posteriormente para as causas de variação significativas foi aplicado o teste de Tukey ($p<0,10$) para comparar o efeito do fator fontes de N, foi utilizado o Sisvar e o SAS como programa estatístico. Para estimar fisiologicamente, a PMS e o acúmulo de nutrientes na parte aérea da cana-de-açúcar foram ajustadas regressões não-lineares e polinomiais em função do período de crescimento. Como critérios para escolha dos modelos de regressão, foram selecionados aqueles que apresentaram maiores coeficientes de determinação (R^2) e significância dos parâmetros da regressão até 5% de probabilidade pelo teste t.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Produção e acúmulo de fitomassa

O ciclo da primeira soqueira no LVe teve duração de 340 dias. Nesse período a precipitação pluvial foi de 1.690 mm, com evapotranspiração de 1174 mm e déficit hídrico de 89 mm (Figuras 1b e 2b). As condições climáticas (temperatura, pluviosidade e luminosidade) favoreceram o desenvolvimento da soca de cana-de-açúcar que apresentou três fases distintas de desenvolvimento (Figura 3). Nas duas primeiras amostragens, realizadas aos 150 e 180 (DAC), não houve diferença entre tratamentos (Tabela 1), ocorrendo diferença apenas na terceira amostragem (237 DAC), em que o tratamento com o nitrato de amônio proporcionou maior acúmulo de fitomassa, 8,9 Mg ha^{-1} a mais que o cloreto de amônio. Essa diferença entre fontes não se manteve na última amostragem, apesar do tratamento com o Nitromag™ produzir em média 45 Mg ha^{-1} e o nitrato de amônio 38 Mg ha^{-1}. A não observância de diferenças deveu-se à variabilidade nos dados e também a fatores climáticos (Figuras 1b e 2b), podendo-se observar que a partir do mês de fevereiro/2010, houve déficit hídrico, que foi um fator limitante ao desenvolvimento da cultura.

Considerando a partição da planta em ponteiro, colmo e palha, observou-se maior incremento apenas aos 237 DAC, no ponteiro, que influenciou no acúmulo da parte aérea total. No período inicial de desenvolvimento da cana-de-açúcar a maior parte de fitomassa refere-se ao crescimento de folhas. Observou-se dos resultados da Tabela 3 que até aos 150 DAC, a MS das folhas representou toda a parte aérea, impossibilitando a partição da planta em colmo, ponteiro e palha; a partir desse estádio a MS das folhas diminui progressivamente dos 237 até aos 340 DAC, representando apenas 15% em média. Esta observação evidencia que a dimensão do aparelho fotossintético é definida no estádio inicial de desenvolvimento da cultura, visando maior captação de energia solar disponível para depois desenvolver o colmo e acumular açúcar (MACHADO et al.,1982).

No LVd, ciclo de primeira soqueira com duração de 330 DAC, foi observado precipitação pluvial bem acima da média para a região, chegando à 1861 mm,

contabilizando evapotranspiração de 1032 mm e déficit hídrico de apenas 27 mm (Figura 1 e 2). É importante ressaltar que na Tabela 3 encontram-se os dados de produção de fitomassa de quatro amostragens nos dois tipos de solos; no LVe as amostragens ocorreram aos 150; 180; 237 e 340 DAC, enquanto no LVd aos148; 178; 235 330 DAC. A diferença de tempo nas três amostragens entre o LVe e LVd foram de apenas dois dias, e na última amostragem de apenas 10 dias. Para facilitar a apresentação e discussão dos resultados das Tabelas serão apresentadas as amostragens como realizada aos 150; 180; 237 e 340 DAC para os dois solos: LVd e LVe.

Cabe ressaltar que o ano de cultivo desse ciclo agrícola da cana-de-açúcar (safra 2009/2010) foi atípico, ocorrendo fortes incidências de doenças, principalmente de ferrugem alaranjada, favorecida pelos altos índices de pluviosidade e temperatura (Figura 1). De uma maneira geral a distribuição das chuvas no período foi homogênea não apresentando déficit significativo de água para a cultura (Figura 2), muito embora não tenha refletido em aumento de produtividade.

Nas três primeiras amostragens (150, 180 e 237 DAC) no LVd, não foi observado diferença no acúmulo de fitomassa, ocorrendo apenas na última amostragem aos 340 DAC. A fonte nitrogenada Ajifer® teve um incremento de 10 Mg ha^{-1} de fitomassa em relação ao sulfato de amônio, considerando a compartimentalização da parte aérea (colmo, folha e ponteiro), sendo esta diferença influenciada no colmo. Foi observado maior acúmulo de fitomassa total da segunda para a terceira amostragem, que coincidiu justamente com as melhores condições climáticas de temperatura e época de chuvas, favorecendo o desenvolvimento da cultura. Houve incremento de fitomassa entre as duas amostragens iniciais e as duas finais também influenciadas pelo clima. O acúmulo de fitomassa na parte aérea da cana-de-açúcar ajustou-se ao modelo logístico de crescimento vegetal (Figura 3), sendo possível identificar três fases de crescimento da cultura, independente do local avaliado. A primeira fase de crescimento até 120 DAC para ambos os solos, apresentou pequeno acúmulo de fitomassa, chegando a 3 Mg ha^{-1}, isto é explicado pelas condições climáticas (Figuras 1 e 2) e também pela falta de N.

Tabela 3 - Acúmulo de fitomassa total na parte aérea da cana-de-açúcar, divididas em: colmo, palha e ponteiro; no ciclo de primeira soca, adubadas com fontes de nitrogênio

	Dias após o corte (Mg ha^{-1})									
	Colmo		**Palha**		**Ponteiro**		**Parte aérea total**			
	237	340	237	340	237	340	150	180	237	340
	LATOSSOLO VERMELHO eutrófico									
TESTE	11,7	22	3,9	6,6	5,8 bc	4,7	3,4	9,3	21,4 ab	33,3
AJI	11,6	26,8	4,4	5,6	6,1 bc	5,33	3,1	10,5	22,1 ab	37,7
NITRO	15,8	30,9	5,3	7,5	7,2 ab	6,54	3,1	10,4	28,3 ab	45
CA	11,1	22,2	4,3	5,6	5,0 c	5,46	2,3	7,5	20,5 b	33,3
NA	15,6	26,5	5,2	5,8	8,6 a	5,74	3,7	8,2	29,4 a	38
UR	14,3	28,2	4,6	7,3	7,1 ab	5,85	3,4	10,1	26,0 ab	41,4
Média	13,4	26,1	4,6	6,4	6,6	5,6	3,2	9,3	24,6	38,1
Valor F	3,1*	1,9^{ns}	0,9^{ns}	12,1^{ns}	6,4*	0,7^{ns}	0,9^{ns}	0,9^{ns}	3,5**	1,8^{ns}
DMS	4,9	10,2	2,3	2,4	2	3	1,9	5,2	8,1	13,6
CV (%)	18,2	19,2	24,9	18,5	14,9	26,5	30,8	27,2	16,3	17,6
	LATOSSOLO VERMELHO distrófico									
TESTE	10,7	15,6 ab	5,9	5,9	4,1	2,4	2,5	2,8	20,7	23,8 ab
AJI	13,3	21,2 a	4,9	6,9	4,5	2,7	3,6	5,2	22,7	30,8 a
S A	9,3	12,6 b	4,2	5,2	4,4	2,5	4,4	5,9	17,9	20,3 b
NITRO	12	15,1 ab	4,4	6	6,2	2,5	3,5	4,6	22,6	23,6 ab
CA	12,6	15,7 ab	4,5	5,4	5,7	3,3	3	4,6	22,8	24,4 ab
NA	12,6	16,1 ab	4,2	6	4,5	2,4	3,3	6,2	21,3	24,6 ab
UREIA	13,8	14,4 b	4,6	6,3	4,3	2,5	3,7	5,1	22,7	23,3 ab
Média	12	15,8	4,8	6	4,8	2,6	3,4	4,9	21,5	24,4
Valor F	0,6^{ns}	3,1**	0,7^{ns}	0,9^{ns}	0,7^{ns}	0,9^{ns}	0,7^{ns}	1,1^{ns}	0,3^{ns}	2,4*
DMS	8,2	6,2	3,8	19,6	3,8	1,3	2,9	4,3	12,9	8,5
CV (%)	33,1	19	38,3	2,4	38,3	23,4	41,3	42,2	28,7	16,7

Médias seguidas pela mesma letra na coluna em cada subperíodo de coleta não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,10). *,**,*** significativo, respectivamente, a 10%, 5% e 1% de probabilidade.(TESTE: testemunha; AJI: Ajifer®; S A: sulfato de amônio CA: cloreto de amônio; NA: nitrato de amônio; NITRO: Nitromag™)

Já que a adubação de cobertura ocorreu aos 105 DAC e 122 DAC, respectivamente, no LVd e LVe. A segunda fase variou dos 120 DAC até aos 300 DAC no (LVe), enquanto no (LVd) ocorreu entre 120 e 240 DAC. Esta segunda fase está diretamente relacionada com as boas condições climáticas, início das chuvas e altas temperaturas, e por isso as plantas apresentaram rápido crescimento vegetativo e acúmulo de fitomassa, chegando nesta fase de desenvolvimento a acumular mais de 80% da fitomassa de toda a parte aérea. Neste período verificou-se diferenças significativas entre tratamentos, principalmente no LVe, que possuía boa fertilidade, favorecendo aos tratamentos com N na forma amídica ou amoniacal, respectivamente, o nitrato de amônio e Nitromag™, por fornecer o N-amônio que é prontamente assimilado pela planta e de preferência da cana-de-açúcar, segundo Robinson et al (2011).

O acúmulo de fitomassa no LVe foi em média de 38 Mg ha^{-1} para todos os tratamentos (Tabela 3), valor esse muito próximo ao obtido por Oliveira (2011) em solo semelhante; por outro lado quando o mesmo autor avaliou a produção de fitomassa de cana soca em um LVd encontrou maior fitomassa em torno de 45 Mg ha^{-1}, que é diferente do resultado deste trabalho, em que a produção média foi de 24 Mg ha^{-1}. Gava et al (2001), estudando o acúmulo de fitomassa num ARGISSOLO VERMELHO AMARELO, adubado com 100 kg ha^{-1} de N na forma de ureia com uma terceira soqueira, obteve 33 Mg ha^{-1} de MS.

Na amostragem final no LVe, não se observou diferença entre fontes, embora a maior média de MS ocorreu na fonte Nitromag™ e nitrato de amônio, respectivamente, 45 e 41,4 Mg ha^{-1}, enquanto que o cloreto de amônio resultou na menor média de 33,3 Mg ha^{-1}, valor este semelhante ao obtido por Orlando Filho (1999), em estudo de adubação de uma primeira soqueira de cana-de-açúcar, em que não encontrou diferenças entre fontes, mas somente entre doses.

As curvas de acúmulo de fitomassa dos tratamentos para um mesmo solo foram semelhantes apresentando diferenças apenas nas quantidades acumuladas (Figura 3). No LVd, de forma geral, houve menor acúmulo de fitomassa. A terceira e última fase, caracterizada como fase de maturação e acúmulo de açúcar no colmo, variou dos 240 DAC até 360 DAC no LVd e dos 300 DAC até aos 360 DAC no LVe, apresentando pouco incremento de fitomassa seca. A diferença entre os locais com experimentos se deveu, provavelmente, aos cultivares de cana-de-açúcar, já que a SP-89 1115 (LVd) foi

suscetível a ferrugem alaranjada, e se deve também à fertilidade do solo (Tabela 1), em que o LVe apresentou maior saturação de bases.

A taxa de produção de matéria seca (TPMS) apresentou curva com formato de sino, em todos os tratamentos avaliados, sendo baixa a TPMS no início do ciclo, aumentando rapidamente, até atingir um valor máximo, para, em seguida, decrescer (Figura 3). No LVe, o acúmulo máximo de TPMS ocorreu dos 194 DAC até aos 220 DAC, para todas as fonte nitrogenadas, que coincidiu com condições adequadas de luminosidade, temperatura e disponibilidade hídrica, acentuando as exigências nutricionais. Os tratamentos que obtiveram maior TPMS no LVe foram o nitrato de amônio e o Nitromag™ chegando ao máximo de 350 kg ha^{-1} dia^{-1} e média de 132 kg ha^{-1} dia^{-1}. A testemunha apresentou a menor TPMS, em torno de 240 kg ha^{-1} dia^{-1}, evidenciando a necessidade do nutriente que está diretamente relacionado com o crescimento, perfilhamento e desenvolvimento vegetativo, interferindo diretamente no desenvolvimento da cultura (TRIVELIN,2000; GAVA et al., 2001; OLIVEIRA 2011). No LVd os tratamentos que apresentaram maior TPMS foram a ureia, Nitromag™ e o Ajifer®, com máximo acúmulo, respectivamente de 310, 299 e 290 kg ha^{-1} dia^{-1} aos 210 DAC. A cana-de-açúcar adubada com Ajifer® apresentou um período mais longo de acúmulo de fitomassa seca, com TPMS diferenciando das demais fontes nitrogenadas e testemunha. Mariano (2010), estudando a mineralização da fonte Ajifer® no local deste experimento, observou alta intensidade de nitrificação no solo, concluindo que a baixa relação C/N do fertilizante favoreceu a mineralização e posteriormente a nitrificação.

Oliveira (2011), avaliando o crescimento da cana-de-açúcar num LVd, não observou diferença entre doses de N e a testemunha, sendo que a fonte utilizada foi o nitrato de amônio; o autor atribuiu, a falta de resposta a fertilização nitrogenada, à intensa mineralização do N do solo, oriundo do histórico de uso de vinhaça no local. A vinhaça possui N orgânico (média de 0,8 kg m^{-3}), que se acumula no solo e mineraliza com o tempo (ORLANDO FILHO, 1983).

Independentemente do tipo de solo, o acúmulo de fitomassa na cana-de-açúcar, apresentou três fases distintas, a saber: uma fase inicial de 0 até 130 DAC, onde o crescimento é lento acumulando no máximo de 5 a 8% da MS; apresentou a 2ª segunda fase de crescimento rápido (130 até 270 DAC), em que a cana-de-açúcar chegou a acumular mais de 70 a 80% de MS e por último a 3ª fase final (270 até 340

DAC) em que o crescimento é novamente lento, acumulando no máximo 10 a 15% de MS.

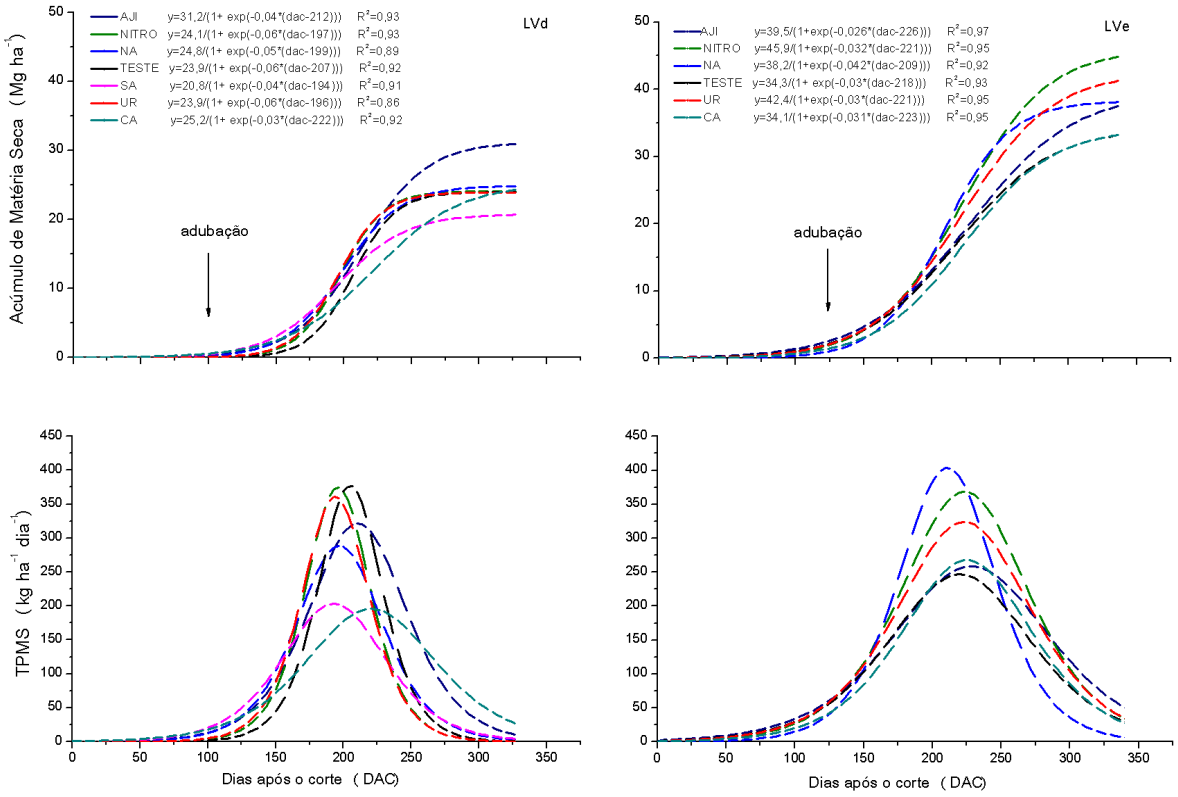

Figura 3 - Acúmulo de fitomassa na parte aérea da cana-de-açúcar (Mg ha^{-1}) e taxa de produção de matéria seca (TPMS em kg ha^{-1} dia^{-1}), nos tratamentos: TESTE: testemunha; AJI: Ajifer®; S A: sulfato de amônio CA: cloreto de amônio; NA: nitrato de amônio; NITRO: Nitromag™; no LATOSSOLO VERMELHO eutrófico (LVe) e LATOSSOLO VERMELHO distrófico (LVd)

Esta fase final correspondeu ao período de maturação, quando restrições hídricas e climáticas (Figura 1 e 2), favorecem ao acúmulo de sacarose no colmo (processo de maturação), sendo o crescimento lento, ocorrendo o transporte de fotoassimilados da fonte para o dreno (LIU et al., 1998; SMIT & SINGELS, 2006). Este padrão de crescimento é característico para diversas cultivares, tipos de solos, locais e ciclos de cultivos (MACHADO et al. 1982; COALE et al., 1993; GAVA et al.;2001; VIEIRA,2009; OLIVEIRA, 2011), variando apenas a duração de cada fase em função do manejo, ambiente e características varietais.

4.2 Acúmulo de nutrientes

4.1.1 Acúmulo de nitrogênio

O acúmulo de nitrogênio em ambos os solos apresentou diferença entre tratamentos (Tabela 4). No LVe, considerado o acúmulo na parte aérea total, foi observada diferença na primeira amostragem (25 dias após a adubação); o uso do nitrato de amônio, proporcionou maior acúmulo de N em torno de 62,1 kg ha^{-1} diferindo do cloreto de amônio 31,6 kg ha^{-1} de N. Estes resultados confirmam os encontrados por Mariano (2010), que avaliou a disponibilidade de N mineral dessas fontes de N no solo, encontrando valores baixos de N disponível que foi atribuído a dois destinos: perdas do solo e/ou absorção pelas plantas. Pelos resultados deste trabalho verifica-se que o N foi absorvido pelas plantas em elevadas quantidades. Uma vez que nesta época, o clima encontrava-se favorável para o desenvolvimento da cultura, com intensas precipitações pluviais, altas temperaturas, luminosidade e N disponível. Na segunda amostragem (180 DAC), os valores de acúmulo de N aumentaram, passando da média de 45,6 kg ha^{-1} para 112 kg ha^{-1}, ou seja, em apenas um mês a cana-de-açúcar acumulou mais de 60 kg ha^{-1} de N. Este fato demonstra que a planta antecipou o acúmulo de N em relação ao crescimento da parte aérea (WOOD et al., 1996; TRIVELIN, 2000; GAVA; et al., 2001; OLIVEIRA, 2011).

Na terceira amostragem (237 DAC), observou-se diferença no acúmulo de N na parte aérea total; as fontes ureia, nitrato de amônio e Nitromag^{TM}; sobressaíram-se em relação ao cloreto de amônio e ao tratamento testemunha. Estes dados tiveram o mesmo comportamento daqueles de acúmulo de MS na parte aérea total (Tabela 3). O menor acúmulo de N do cloreto de amônio resultou em menor acúmulo de MS pela parte aérea, evidenciando uma possível toxidez por íon cloreto. A fonte cloreto de amônio também foi estudado por Vieira et al. (2010) que constataram para altas doses de N de cloreto de amônio pode ter efeito negativo no desenvolvimento da cultura. Na última amostragem (340 DAC) não foi observado diferença entre tratamentos para o acúmulo de N na parte aérea; este resultado deveu-se a redução das chuvas nos últimos quatro meses, a partir de fevereiro, quando foi realizada a terceira amostragem.

Tabela 4- Acúmulo de nitrogênio na parte aérea da cana-de-açúcar, divididas em: colmo, palha e ponteiro; no ciclo de primeira soca, adubadas com fontes de nitrogênio

	Dias após o corte (kg ha^{-1})									
	Colmo		Palha		Ponteiro		Parte aérea total			
	237	340	237	340	237	340	150	180	237	340
LATOSSOLO VERMELHO eutrófico										
TESTE	47,7 b	54,2 bc	17,9 ab	35,1 a	66,0 b	35	41,4 ab	105,1	131,6 bc	124,3
AJI	51,1 b	68,4 abc	21,6 ab	21,2 b	78,6 ab	45,2	48,4 ab	140,9	151,3 abc	134,8
NITRO	84,5 a	84,6 a	22,0 ab	27,5 ab	81,3 ab	35,9	44,2 ab	117	187,8 a	147,9
CA	41,6 b	48,4 c	15,1 b	20,5 b	57,4 b	39,4	31,6 b	75,7	114,1 c	108,3
NA	54,1 b	63,9 abc	23,3 a	20,8 b	88,3 ab	40	62,1 a	109,9	165,8 ab	124,8
UR	55,7 b	79,2 ab	24,3 a	27,6 ab	106,7 a	35,9	46,1 ab	122,8	186,8 a	142,6
Média	55,8	66,4	20,7	25,5	79,7	38,6	45,6	111,9	156,2	130,5
Valor F	7,6***	3,6**	3,0**	3,3**	4,5**	0,7^{ns}	2,9**	1,4^{ns}	5,9***	1,6^{ns}
DMS	21,8	29,8	8,2	12,7	33,1	18,2	25,8	74,6	49,2	46,3
CV (%)	19,3	22,1	19,5	24,8	20,5	23,3	25,8	32,8	15,5	17,5
LATOSSOLO VERMELHO distrófico										
TESTE	51,7	47,4 b	40,6	48,6	47,8	28,9	34,2	29,9	140,1	124,8 ab
AJI	72,4	84,7 a	34,1	42,7	53,5	31,1	55,3	73,1	160	158,5 a
S A	47,4	44,1 b	28,3	32,7	62,2	27,6	62,7	68,9	137,9	104,4 b
NITRO	62,8	67,2 ab	35,1	41,1	84,1	34,3	50,1	66,5	182	142,6 ab
CA	70,5	63,4 ab	31,7	40,2	76,4	40,1	44,1	50,2	178,6	143,7 ab
NA	81,8	74,7 a	28,4	47,4	56,2	29,7	46,6	74,8	166,5	151,9 ab
UREIA	86,5	64,6 ab	32,1	45,4	56,7	25,4	54,4	60,8	175,3	135,4 ab
Média	67,6	63,7	32,9	42,6	62,4	31	49,7	60,6	162,9	137,3
Valor F	1,5^{ns}	4,9***	0,5^{ns}	1,0^{ns}	1,3^{ns}	1,5^{ns}	0,8^{ns}	1,8^{ns}	0,5^{ns}	2,1*
DMS	49,3	26,7	25,8	22,1	48,1	16,5	41,2	48,6	100,5	51,5
CV (%)	35,1	20,2	37,7	24,9	37,1	25,6	39,9	38,6	29,6	18,1

Médias seguidas pela mesma letra na coluna em cada subperíodo de coleta não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,10). *,**,*** significativo, respectivamente, a 10%, 5% e 1% de probabilidade.(TESTE: testemunha; AJI: Ajifer®; S A: sulfato de amônio CA: cloreto de amônio; NA: nitrato de amônio; NITRO: Nitromag™;)

Considerando a partição da planta de cana-de-açúcar em colmo, folha e ponteiro, foi observado diferença no acúmulo de N. No colmo ocorreu pequeno incremento da terceira para a quarta amostragem, devido ao maior acúmulo de MS. O tratamento com a fonte Nitromag^{TM} proporcionou maior acúmulo de N, diferenciando dos demais nas duas épocas amostradas. Na palha também acompanhou a mesma tendência de aumento do acúmulo de N da terceira para a quarta colheita.

O acúmulo de N no ponteiro da cana-de-açúcar apresentou diferença entre os tratamentos apenas na terceira amostragem (237 DAC), sendo que quando usou a fonte nitrogenada ureia possibilitou maior acúmulo em relação à testemunha, sem aplicação de N, e ao cloreto de amônio. Já na quarta amostragem (340 DAC), (Tabela 4), apesar de não haver diferença entre tratamentos, houve redução significativa no acúmulo de N comparativamente aos resultados de 237DAC, com redução de mais de 40 kg ha^{-1} de N na média. Existem duas hipóteses para estes dados: a primeira é que o N por ser um nutriente altamente móvel dentro da planta pode ser redistribuído para outros órgãos, como por exemplo, para colmo, raízes, rizomas e folhas secas (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997); EPSTEIN; BLOOM 2006). A segunda explicação, é que na senescência foliar, durante o período de maturação fisiológica, o aumento da fotorrespiração e da hidrólise de proteínas é acompanhada pela redução nas atividades das enzimas glutamina sintetase (GS) e glutamato sintase (GOGAT) principais responsáveis pela assimilação da amônio (NH_4^+) à aminoácidos e proteínas. A redução da atividade dessas enzimas resulta no aumento da concentração de amônio (NH_4^+) nas células das plantas (MATTSSON; HUSTED; SCHJOERRING, 1998). Como amônio em altas concentrações é tóxico para os vegetais, uma vez que ele vai dissipar os gradientes de prótons na membrana celular (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Assim postos, os vegetais de forma geral, desenvolveram um mecanismo de redução deste teor de NH_3, que é por via corrente transpiratória resultando em perdas naturais de NH_3 (MATTSSON; HUSTED; SCHJOERRING, 1998). Trivelin (2000) encontrou perdas de até 100 kg ha^{-1} ano^{-1} de N na forma NH_3 via corrente transpiratória em cana-de-açúcar. Wood et al., (1996), também encontrou redução do acúmulo de N nas folhas nos estágios finais e atribui a perdas via NH_3 foliar.

Considerando o acúmulo de nitrogênio no LVd (Tabela 4), na primeira amostragem (150 DAC), não foi observado diferença entre os tratamentos; o acúmulo

variou de 34,2 até 62,7 kg ha^{-1} de N, respectivamente, na testemunha e no tratamento com sulfato de amônio. Na segunda amostragem (180 DAC), também não houve diferença, entre os tratamentos. Diferentemente do LVe, no LVd não houve grande incremento no acúmulo de N da primeira para a segunda amostragem, isto se deve, provavelmente, às condições climáticas (Figura 1 e 2), que resultaram em pequeno déficit hídrico no fim de novembro. Esta restrição hídrica interferiu no processo de absorção de nutriente do solo que coincidiu justamente entre o intervalo dessas duas fases, apesar de haver N-mineral disponível no solo para as plantas (MARIANO, 2010).

Na terceira amostragem (237 DAC) no LVd, também não houve diferença entre tratamentos, porém foi observado maior acúmulo de N no intervalo entre a segunda e terceira amostragem, resultando no incremento de mais de 100 kg ha^{-1} de N. A diferença entre tratamentos no acúmulo de N foi observada na última amostragem (340 DAC), sendo que o Ajifer® apresentou o maior valor.

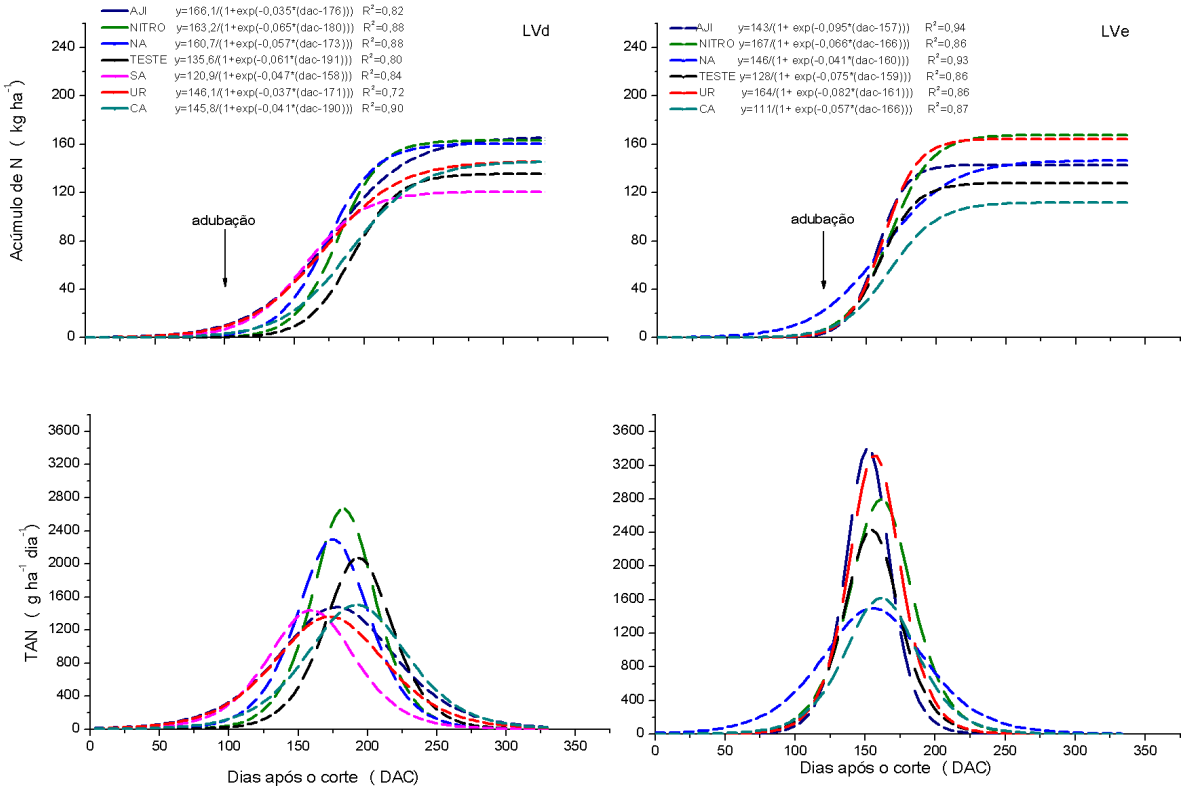

Figura 4 - Acúmulo de nitrogênio na parte aérea da cana-de-açúcar (kg ha^{-1}) e taxa de acúmulo de nitrogênio (TAN), (g ha^{-1} dia^{-1}), nos tratamentos: TESTE: testemunha; AJI: Ajifer®; S A: sulfato de amônio CA: cloreto de amônio; NA: nitrato de amônio; NITRO: Nitromag™; no LATOSSOLO VERMELHO eutrófico (LVe) e LATOSSOLO VERMELHO distrófico (LVd)

Estes resultados são coerentes com os de Mariano (2010), que observou maior disponibilidade de N mineral no solo nessa época de amostragem, diminuindo gradativamente ao longo do ciclo da cultura, à medida que aumentou o acúmulo de N na cana-de-açúcar. (Figura 4).

A taxa de acúmulo de N (TAN) variou nos dois solos. No LVe o Ajifer® teve um máximo de 3.396 g ha^{-1} dia^{-1}, e média de 425 g ha^{-1} dia^{-1}; para a ureia a TAN máxima foi de 3315,4 g ha^{-1} dia^{-1}, com média de 489 g ha^{-1} dia^{-1}, enquanto que para o cloreto de amônio a TAN foi menor e em torno de 1520 g ha^{-1} dia^{-1}. A segunda fase foi a de maior acúmulo, correspondendo dos 130 DAC até aos 180 DAC (Figura 4). As altas taxas de acúmulo de N em pouco tempo podem ser explicadas pelo fato de conciliar o período de adubação, que ocorreu aos 122 DAC, que disponibilizou o N às plantas e a necessidade nutricional da cultura, que nesta época crescia em condições climáticas ótimas (água disponível e temperatura elevada). Como observado por Mariano (2010), em relação à disponibilidade de N-mineral neste solo, nessa época não havia N disponível no solo, sendo que a maior parte deste N absorvido pela planta. Pode-se considerar, também, que não houve perda do N da ureia nas condições do estudo, já que as condições climáticas foram desfavoráveis às perdas, pela alta solubilidade da fonte nitrogenada, devido à ocorrência de chuvas intensas logo as suas aplicações possibilitaram a incorporação do fertilizante no solo, reduzindo, por conseguintes, as perdas por volatilização (CANTARELLA et al., 2008).

No LVd, os valores de TAN observados foram menores em relação ao LVe, porém apresentou um tempo maior de acúmulo; o tratamento que apresentou maior TAN foi Nitromag™ com 2671 g ha^{-1} dia^{-1} e média de 505 g ha^{-1} dia^{-1}, a seguir foi o Ajifer® com 1478 g ha^{-1} dia^{-1} e média de 510,7 g ha^{-1} dia^{-1}. Estes resultados evidenciaram a eficiência destas fontes de N, por apresentar N nas formas amoniacal e nítrica, e não apresentar perdas de N por volatilização da amônia, que é favorecida pela palhada. Mariano (2010) quantificou a perda de N por volatilização, quando usou ureia na dose de 100 kg ha^{-1} de N e obteve mais de 30% de perdas neste local do estudo.

Os valores médios de TAN, para os dois solos foram semelhantes aos de Oliveira (2011) e Coale (1993), sendo a média por volta de 500 g ha^{-1} dia^{-1}. Porém neste estudo a TAN máxima foi maior, devido a adubação coincidir com época de maior necessidade

da cultura pelo nutriente, confirmando que a maior parte de N é absorvida até aos 180 DAC, (WOOD et al., 1996). Dessa forma, primeiro a planta absorve o N para depois crescer sua parte aérea, uma vez que o nutriente é essencial no crescimento, alongamento, fotossíntese e em todos os processos metabólicos da planta relacionados ao crescimento e desenvolvimento (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; TRIVELIN, 2000; EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Portanto, o manejo de adubação nitrogenada envolve diversos fatores: a dose necessária, a época que possibilite a sintonia com absorção e demanda pela planta, a localização, a forma de aplicação, a escolha da fonte correta. Todos estes são fatores que devem ser analisados e que permitem maximizar a eficiência do fertilizante.

4.1.2 Acúmulo de fósforo

No LVe, o teor de P no solo na época da adubação era de 8 mg dm^{-3} para a camada de 0-20 cm de profundidade (Tabela 1). Este valor foi considerado baixo e por esse motivo foi realizado adubação complementar com 30 kg ha^{-1} de P_2O_5, utilizando superfosfato triplo, seguindo a recomendação de Raij et al. (1997). Para o acúmulo total de P na parte aérea não foi observado diferença entre tratamentos no LVe (Tabela 5). Na última amostragem (340 DAC), os valores não diferiram entre si, porém na média de todos os tratamentos tem-se extração de 12,6 kg ha^{-1} de P, sendo este um valor baixo. Oliveira et al. (2010) trabalhando com o mesmo cultivar SP 81-3250, em ARGISSOLO AMARELO, observou acúmulo de 28 kg ha^{-1} de P, no fim do ciclo. Schultz et al. (2010), também determinou acúmulo na fitomassa da parte aérea por volta de 20 a 25 kg ha^{-1} de P. Comparado com outros autores (ORLANDO FILHO, 1983; COALE et. al., 1993) fica evidente que o valor encontrado foi baixo e que pode ter sido influenciado pelo teor reduzido de P no solo, (tabela 1), refletindo diretamente na extração pela planta. Em geral, para todas as culturas a quantidade de fósforo extraída é pequena, em contraste com a elevada quantidade normalmente adicionada ao solo. O fósforo é um elemento que pode facilmente reagir com os colóides argilosos e formar complexos de Fe e Al, ficando indisponível para as plantas. (ORLANDO FILHO, 1983).

Tabela 5- Acúmulo de fósforo na parte aérea da cana-de-açúcar, divididas em: colmo, palha e ponteiro; no ciclo de primeira soca, adubadas com fontes de nitrogênio

	Dias após o corte (kg ha^{-1})									
	Colmo		**Palha**		**Ponteiro**		**Parte aérea total**			
	237	**340**	**237**	**340**	**237**	**340**	**150**	**180**	**237**	**340**
				LATOSSOLO VERMELHO eutrófico						
TESTE	5,9	7,0	0,8 cd	1,4	8,0 c	4,2	4,3	11,2	14,6	12,6
AJI	5,8	7,2	1,1 abc	1,2	9,1 bc	5,1	5,8	13,6	16,0	13,4
NITRO	8,4	7,6	1,2 ab	1,4	10,9 abc	4,1	4,9	12,3	20,5	13,1
CA	6,2	6,1	0,6 d	0,9	7,7 c	5,1	3,4	8,3	14,6	12,2
NA	6,6	5,3	1,3 a	0,8	12,4 a	5,2	5,9	10,5	20,3	11,4
UR	6,9	6,7	0,9 bcd	1,0	11,4 ab	5,0	5,5	11,1	19,2	12,7
Média	6,6	6,7	1,0	1,1	9,9	4,8	4,9	11,1	17,5	12,6
Valor F	1,3^{ns}	1,4^{ns}	7,2***	1,6^{ns}	5,8***	0,8^{ns}	2,3*	1,4^{ns}	3,5*	0,4^{ns}
DMS	3,4	2,8	0,4	0,8	3,3	2,3	2,5	6,2	6,0	4,6
CV (%)	25,1	20,4	19,4	33,5	16,3	23,5	25,8	27,4	17,0	18,2
				LATOSSOLO VERMELHO distrófico						
TESTE	11,3	14,1 a	2,2	2,9 ab	7,3	5,0	5,1	6,1	20,8	22,0 ab
AJI	11,6	12,5 ab	1,8	3,0 ab	9,8	5,7	6,8	9,2	23,2	21,2 abc
S A	9,6	7,5 c	1,9	2,3 b	11,0	5,0	9,6	10,8	22,5	14,9 c
NITRO	13,6	8,5 bc	2,5	3,4 ab	15,6	4,5	7,3	9,0	31,8	16,3 bc
CA	13,6	12,6 ab	2,4	2,8 ab	13,6	7,0	5,8	8,5	29,5	22,4 ab
NA	12,7	8,9 bc	2,0	3,7 ab	10,2	5,4	6,6	10,7	24,9	18,2 abc
UREIA	16,8	15,9 a	2,4	4,1 a	10,7	4,6	8,5	8,6	30,0	24,6 a
Média	12,7	11,5	2,2	3,2	11,2	5,3	7,1	9,0	26,1	19,9
Valor F	1,5^{ns}	7,2***	0,3^{ns}	2,8**	1,6^{ns}	0,9^{ns}	1,0^{ns}	0,9^{ns}	1,3^{ns}	5,3***
DMS	7,8	4,9	1,9	1,5	8,8	3,7	6,2	6,8	15,8	6,5
CV (%)	29,3	20,5	41,2	22,2	38,1	33,3	42,0	36,4	29,1	15,6

Médias seguidas pela mesma letra na coluna em cada subperíodo de coleta não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,10). *,**,*** significativo, respectivamente, a 10%, 5% e 1% de probabilidade.(TESTE: testemunha; AJI: Ajifer®; S A: sulfato de amônio CA: cloreto de amônio; NA: nitrato de amônio; NITRO: Nitromag™;)

Considerando o P em colmo, ponteiro e folha, no LVe, foi observado diferença entre tratamentos apenas na terceira amostragem (237 DAC), para folhas e ponteiros, sendo que esta diferença não refletiu no colmo. O tratamento que mais acumulou P no ponteiro foi a ureia (12,4 kg ha^{-1}), diferenciando da testemunha (8 kg ha^{-1}), apenas na terceira amostragem; na última amostragem (340 DAC), não houve diferença entre tratamentos. De uma maneira geral, analisando os três compartimentos da planta, fica destacado baixo acúmulo do P na palha em relação aos outros dois compartimentos (colmo e ponteiro), indicando que este nutriente na planta é muito móvel (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997), sendo transportado para outras partes da planta (FRANCO et al., 2008; OLIVEIRA, 2011)

No LVd o teor de P no solo encontrava-se em torno de 27 mg dm^{-3}, na camada de 0-20 cm de profundidade, e de acordo com Raij et. al., (1997) pode ser considerado como de nível médio para culturas perenes; dessa forma não foi realizada nenhuma adubação fosfatada neste solo no ciclo agrícola de primeira soqueira.

Dos resultados de acúmulo de P no LVd (Tabela 5), verificou-se que não houve diferença entre tratamentos nas primeiras três épocas de amostragens, ocorrendo apenas na colheita final (340 DAC), sendo a ureia o tratamento que acumulou mais P, por volta de 24,6 kg ha^{-1}, diferindo da testemunha e da fonte Nitromag™. Este maior acúmulo de P no tratamento ureia, pode ser explicado, que ao ocorrer a hidrólise do fertilizante ocorre o aumenta do pH ao redor do grânulo do fertilizante (CANTARELLA et al., 2008), o que pode favorecer a absorção do P na forma de $H_2PO_4^-$ por difusão (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

Nos dois tipos de solos verificou-se redução no acúmulo de P da terceira para a quarta amostragem (Tabela 5). O P é muito móvel na planta, no transporte a longa distância, chega à folha ou às regiões de crescimento e juntamente com o N é o elemento mais prontamente distribuído. Quando a folha envelhece, até 60% do P pode ser conduzida via floema a outras partes da planta, em particular aos órgãos novos e aos frutos em desenvolvimento, o que faz baixar o teor do elemento nas folhas (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Estes dados corroboram com Oliveira (2011) e Gava et al., (2001), que observou redução dos teores de N e P, na parte aérea indicando a hipótese, de que estes nutrientes foram translocados para o sistema

radicular, quando a planta apresenta déficit hídrico, podendo ser “armazenados”, e reutilizado na próxima brotação.

Segundo Orlando Filho (1983), todo o conteúdo de P na cana-de-açúcar ocorre nos centros de maior atividade da planta, tais como região de crescimento e de assimilação de carbono, fato este que ocorreu na terceira amostragem (237 DAC), podendo ser translocado para outras partes da planta de maior necessidade. Dessa forma as folhas velhas atuam como fonte, que fornece nutrientes para os pontos de crescimento que vai atuar como dreno, reciclando-o na própria planta. Orlando Filho (1983), observou a seguinte ordem decrescente de quantidade de fósforo na cana-de-açúcar: tecidos meristemáticos, colmos em elongação, folhas jovens, folhas velhas e cana madura. Assim, à medida que os tecidos envelhecem, apresentam menores quantidades de P.

Considerando a taxa de acúmulo de P (TAP), foi observado maior diferença no LVd, (Figura 5), justamente onde o teor no solo apresentava-se adequado. No LVe, as maiores TAPs, ocorreram justamente na segunda fase de desenvolvimento do canavial, dos 125 DAC até aos 200 DAC, chegando a cana soca a acumular mais de 80 % de todo o P na parte aérea. Não houve diferença entre os tratamentos levando em consideração apenas a época de absorção e acúmulo. Foi constatado diferenças nas TAP máximas, que ocorreram em torno dos 150 DAC. A cana-de-açúcar adubada com Ajifer® absorveu 357 g ha^{-1} dia^{-1} com média de 43,6 g ha^{-1} dia^{-1}; o tratamento Nitromag™ também apresentou uma alta TAP de 291 g ha^{-1} dia^{-1} e média de 49,6 g ha^{-1} dia^{-1}, ao longo do ciclo, o que refletiu em maior acúmulo de P .

No LVd foi possível observar maior diferença na TAP (Figura 5), entre os tratamentos, fato este devido ao teor médio de P no solo, refletindo diretamente no acúmulo de P na planta (Tabela 5). O período de maior acúmulo do nutriente também ocorreu na segunda fase de crescimento da cultura, variando dos 110 DAC até aos 240 DAC, em que houve acúmulo de 78% do P; o tratamento com sulfato de amônio mostrou menor acúmulo de P, com menor TAP em relação aos demais tratamentos, com máximo de 179 g ha^{-1} dia^{-1} e valor médio de 55,8 g ha^{-1} dia^{-1}. Já o tratamento com Nitromag™ mostrou a maior TAP máxima de 493 g ha^{-1} dia^{-1} e média de 73,6 g ha^{-1} dia^{-1}com esta fonte.

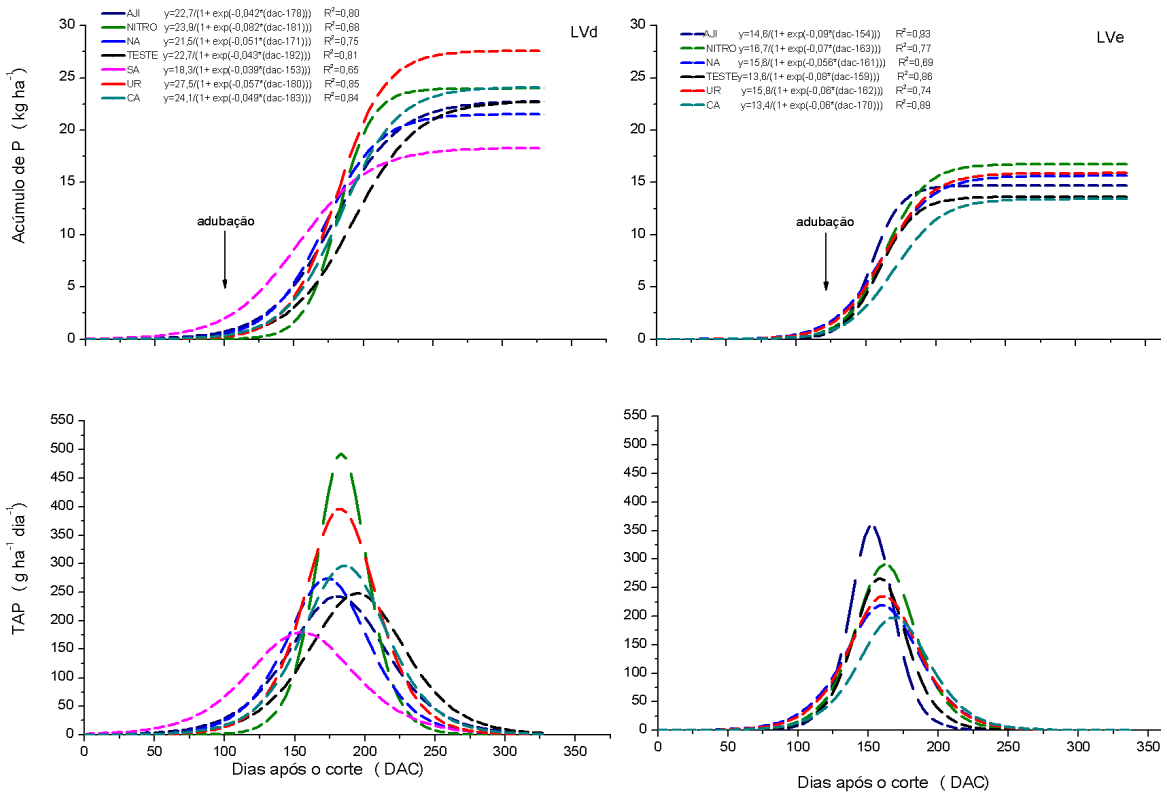

Figura 5 - Acúmulo de fósforo na parte aérea da cana-de-açúcar (kg ha^{-1}) e taxa de acúmulo de fósforo (TAP), (g ha^{-1} dia^{-1}), nos tratamentos: TESTE: testemunha; AJI: Ajifer®; S A: sulfato de amônio CA: cloreto de amônio; NA: nitrato de amônio; NITRO: Nitromag™; no LATOSSOLO VERMELHO eutrófico (LVe) e LATOSSOLO VERMELHO distrófico (LVd)

As diferenças entre fontes na taxa de acúmulo pode ser devido a que o N-NH_4^+ do sulfato de amônio, ao ser nitrificado no solo, acidifica o meio, podendo indiretamente, indisponibilizar o P às plantas, devido sua fixação em óxidos de Fe e de Al, processos esses que estão diretamente relacionados ao pH do solo (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Por sua vez a maior TAP e, consequentemente, maior acúmulo no tratamento com o Nitromag™, se deveu ao fato deste fertilizante apresentar uma quantidade significativa de Mg, em torno de 3%. A absorção de P na forma de H_2PO_4 é máxima na presença do Mg^{+2}, tendo o papel de "carregador de fósforo", o que é explicado, possivelmente, pela sua participação na ativação de ATPases da membrana, influenciando diretamente a absorção (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

A TAP encontrada neste estudo são valores mais elevados comparando com Oliveira (2011), que encontrou TAP máxima de 150 g ha^{-1} dia^{-1} num LVd, porém não houve diferença na média ao longo do ciclo, ou seja, nestas condições, observou-se

acúmulo mais rápido do nutriente em menor tempo, assim como, as condições climáticas podem ter favorecido a absorção do nutriente. É fundamental entender a dinâmica do fósforo no sistema solo-planta, uma vez que, direta ou indiretamente o P participa de todos os processos metabólicos da vida da planta, tais como: armazenamento de energia (ADP e ATP), desdobramento de açúcares na respiração e como fornecedor de energia a partir do ATP, que é o composto-chave no metabolismo energético (EPSTEIN; BLOOM, 2006). O fósforo ainda tem importante participação na formação da sacarose (ORLANDO FILHO, 1983).

4.1.3 Acúmulo de potássio

Houve diferença no acúmulo de K na parte aérea da cana soca nos dois tipos de solos, sendo que no LVe foi observado diferença entre tratamentos apenas na última amostragem (340 DAC) (Tabela 6). É importante destacar que o teor de K deste solo na instalação do experimento era de 0,7 $mmol_c$ dm^{-3} na camada de 0-20 cm, sendo este valor considerado muito baixo por Raij et al., (1997); a partir disso foi realizado adubação para todos os tratamentos fornecendo 150 kg ha^{-1} de K_2O na forma de cloreto de potássio. O acúmulo de K na parte aérea total variou de 73 kg ha^{-1} na primeira até 214,3 kg ha^{-1} na amostragem final. Tanto na primeira aos 150 DAC e na segunda amostragem (180 DAC), também não foi observada diferença entre tratamentos, porém verifica-se elevado acúmulo em pouco tempo, mais de 80 kg ha^{-1} de K em menos de 30 dias. Orlando Filho (1983), estudando o acúmulo de K ao longo do ciclo de uma soqueira também observou elevado acúmulo deste nutriente aos 6 meses de idade, em torno de 133 kg ha^{-1}, média de 3 solos, mesmo com um cultivar que atualmente, já não é mais plantada (CB41-76). Na terceira amostragem houve grande acúmulo médio de K de 313,6 kg ha^{-1}, porém não foi constatada diferença entre os tratamentos. Na última amostragem (340 DAC), as fontes nitrogenadas influenciaram no acúmulo de K, sendo que o tratamento sem adubação com N-mineral acumulou 262,9 kg ha^{-1}, e no tratamento com ureia 176,8 kg ha^{-1}. Um fato importante a ser observado houve uma redução do acúmulo de K para todas as fontes nitrogenadas, exceto para o tratamento sem adubação nitrogenada (262,3 kg ha^{-1}), que praticamente manteve a mesma quantidade acumulada e diferenciou da ureia (176,8 kg ha^{-1}).

Quando a parte aérea da planta foi particionada em colmo, palha e ponteiro houve diferença entre fontes de N no ponteiro (aos 237 e 340 DAC) e em colmo aos 340 DAC (Tabela 6), constatando-se redução no acúmulo de K no colmo dos 237 para os 340 DAC. Orlando filho (1983) avaliou o acúmulo de todos os nutrientes a cada dois meses no ciclo de cana planta e soca, e observou esta redução de K no colmo dos 14 aos 16 meses em cana planta. Esta redução no final de ciclo é facilitada por que o K^+ na planta não é um constituinte de qualquer metabólito; ao contrário o K está presente no citosol e no vacúolo como íon livre (K^+) em altas concentrações (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Nessa forma, a sua translocação é facilitada para o sistema radicular, principalmente, devido às condições climáticas (GAVA et al., 2001; OLIVEIRA, 2011).

No LVd, o teor de K no solo apresentava-se em torno de 4,3 $mmol_c$ dm^{-3} na camada de 0-20 cm (Tabela 1), mantendo este valor até a profundidade de 1 m. Este valor é considerado muito alto por Raij et al. (1997), e como a cana-de-açúcar apresenta elevada extração de K (ORLANDO FILHO, 1983), fez uma adubação na cana-soca de 90 kg ha^{-1}, somente para assegurar que o K não ficasse como nutriente limitante. Pelo exposto, observou-se dos resultados na Tabela 6 elevado acúmulo de K, sendo que nas duas primeiras amostragens não houve diferença entre tratamentos, mas na terceira amostragem (237 DAC), o tratamento com Nitromag™ destacou e a cana soca acumulou mais de 900 kg ha^{-1}, diferenciando do tratamento com sulfato de amônio que produziu menor MS (Tabela 3), com extração em torno de 433,4 kg ha^{-1}, e também da testemunha (sem adubação de N), do cloreto de amônio e ureia. Uma possível explicação para as duas fontes (Nitromag™ e nitrato de amônio) terem acumulado mais K nesta terceira amostragem deve-se ao fato que estas fontes possuem parte do N na forma nítrica (NO_3^-); as plantas adubadas com essas fontes de N podem acumular mais K^+ mantendo o equilíbrio químico e osmótico (EPSTEIN;BLOOM,2006).

Tabela 6 - Acúmulo de potássio na parte aérea da cana-de-açúcar, divididas em: colmo, palha e ponteiro; no ciclo de primeira soca, adubadas com fontes de nitrogênio

	Dias após o corte (kg ha^{-1})									
	Colmo		**Palha**		**Ponteiro**		**Parte aérea total**			
	237	**340**	**237**	**340**	**237**	**340**	**150**	**180**	**237**	**340**
					LATOSSOLO VERMELHO eutrófico					
TESTE	152,7	44,2 ab	8,1 b	11,0	104,5 cd	207,7 a	62,1	133,9	265,3	262,9 a
AJI	188,2	53,1 ab	21,2 a	15,6	116,8 bcd	146,9 b	79,7	170,8	326,2	215,5 ab
NITRO	181,4	65,5 a	11,6 b	13,1	149,8 ab	119,1 b	72,7	158,8	342,7	197,6 ab
CA	192,7	48,2 ab	8,7 b	10,6	100,4 d	156,6 ab	58,1	124,8	301,9	215,3 ab
NA	173,9	58,4 ab	11,3 b	9,2	140,9 abc	150,0 b	80,8	155,2	326,1	217,6 ab
UR	150,4	36,5 b	7,7 b	11,1	161,8 a	129,2 b	84,4	158,1	319,9	176,8 b
Média	173,2	50,9	11,4	12,1	129,0	153,0	73,0	150,3	313,6	214,3
Valor F	0,51^{ns}	2,4*	5,2***	1,5^{ns}	7,1***	5,3***	0,9^{ns}	0,7^{ns}	0,8^{ns}	2,5*
DMS	101,8	28,3	9	7,4	38,7	59,8	43,9	43,9	121,2	82,6
CV (%)	29,0	27,5	38,9	30,4	14,7	19,3	29,7	27,3	19,1	19,0
					LATOSSOLO VERMELHO distrófico					
TESTE	243,1 b	393,2	56,1 a	13,2 ab	136,0 b	100,8	66,9	97,7	435,2 b	507,1
AJI	575,5 a	582,8	21,6 bc	20,7 ab	274,7 ab	130,7	96,3	159,4	871,9 ab	734,2
S A	251,5 b	354,2	35,1 abc	16,3 ab	146,8 b	136,6	134,0	179,7	433,4 b	507,1
NITRO	539,4 ab	354,9	30,1 abc	18,8 ab	426,4 a	106,9	106,5	151,3	995,9 a	480,7
CA	341,1 ab	370,0	42,2 ab	10,9 b	174,8 b	151,7	91,7	139,7	558,1 bc	532,6
NA	482,7 ab	465,4	11,8 c	22,4 a	287,0 ab	115,7	101,7	196,5	781,6 abc	603,5
UREIA	360,3 ab	529,5	42,8 ab	20,5 ab	127,4 b	87,6	118,8	153,6	530,5 bc	637,6
Média	399,1	435,7	34,2	24,2	224,7	118,5	102,3	154,0	658,1	571,8
Valor F	3,2**	2,6*	4,9***	2,5*	5,9***	1,5^{ns}	0,8^{ns}	0,9^{ns}	5,2***	2,5*
DMS	310,0	236,1	27,6	11,2	187,7	75,8	97,4	135,0	410,5	251,6
CV (%)	37,4	26,1	38,7	30,6	40,2	30,7	45,7	42,3	29,9	20,9

Médias seguidas pela mesma letra na coluna em cada subperíodo de coleta não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,10). *,**,*** significativo, respectivamente, a 10%, 5% e 1% de probabilidade.(TESTE: testemunha; AJI: Ajifer®; S A: sulfato de amônio CA: cloreto de amônio; NA: nitrato de amônio; NITRO: Nitromag™)

Na última amostragem no LVd (340 DAC), efetuada em maio/2010, não foi possível verificar diferença entre tratamentos, porém houve redução no acúmulo de K como observado com os resultados do LVe. Esta redução pode ter como explicação as alterações nas condições climáticas (temperatura do ar, umidade do solo, chuvas, entre outros fatores), notadamente a partir de março/2010, juntamente com severa infestação de *Puccinia kuehnii* (ferrugem alaranjada) nas folhas de cana-de-açúcar do cultivar SP89-1115, que reduziu marcantemente a demanda nutricional da cultura nesse período, causando estresse na planta. O potássio, embora seja o mais abundante mineral catiônico constituinte das plantas e possa constituir até 10% da sua massa, não faz parte de nenhuma estrutura, conforme comentado anteriormente (EPSTEIN; BLOOM, 2006), estando sujeito a perdas por lavagem pela chuva (lixiviação do K da parte aérea dos vegetais). O acúmulo médio de K (570 kg ha^{-1}) na última amostragem foi superior aos observado por Oliveira et al. (2010), que trabalhou com dez cultivares diferentes em sistema de irrigação plena com alta produtividade, porém o teor de K no solo era baixo. Os valores também foram superiores aos de Schultz et al. (2010) e Orlando Filho (1983), de 518 e 192 kg ha^{-1} respectivamente. O teor de K no solo afeta diretamente a concentração do nutriente na planta; assim, sendo o teor de K disponível na camada de 0 até a 1 m, analisadas a cada 20 cm de profundidade neste solo foi de: (4,3+4,6+4,9+5,5+4) = 23,3 $mmol_c$ dm^{-3} x 39 mg = 908,7 mg dm^{-3} x 10.000.000 dm^{-3} = 9.087 kg ha^{-1} de K. Sabendo-se que a concentração de K no vacúolo pode variar amplamente, quando sua concentração externa é alta, promovendo o consumo excessivo “consumo de luxo”, sendo o nutriente estocado, podendo as concentrações na célula-guarda alcançar valores de várias centenas de mM, (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Outro aspecto que também influencia a concentração e exportação de K estão relacionados aos cultivares. Nesse contexto, Oliveira et al., (2010) observou que o cultivar SP 81-3250 acumulou mais de 400 kg ha^{-1}, em um ciclo de cultivo.

Considerando a TAK (Figura 6), o maior acúmulo de K, aconteceu na segunda fase de 150 DAC até os 240 DAC, antecipou ao crescimento da cultura, porém não foi observada diferença significativa entre os tratamentos no LVe. Na Figura 6 é possível verificar discrepância no acúmulo de K pelos dois solos, influenciada diretamente pelo teor do nutriente no solo. No LVd, a TAK variou de 16,378 kg ha^{-1} dia^{-1} e 15,267 kg ha^{-1} dia^{-1}, respectivamente, para o tratamento Nitromag^{TM} e nitrato de amônio.O tratamento

com Ajifer® também apresentou uma TAK alta de 11,3 kg ha^{-1} dia^{-1}, já as demais fontes mostraram baixos valores. Oliveira (2011) observou valores bem mais baixos na TAK, sendo que as maiores TAK, foram num LVAe e LVd, com valores médios de 2.317 e 2.234 g ha^{-1} dia^{-1}

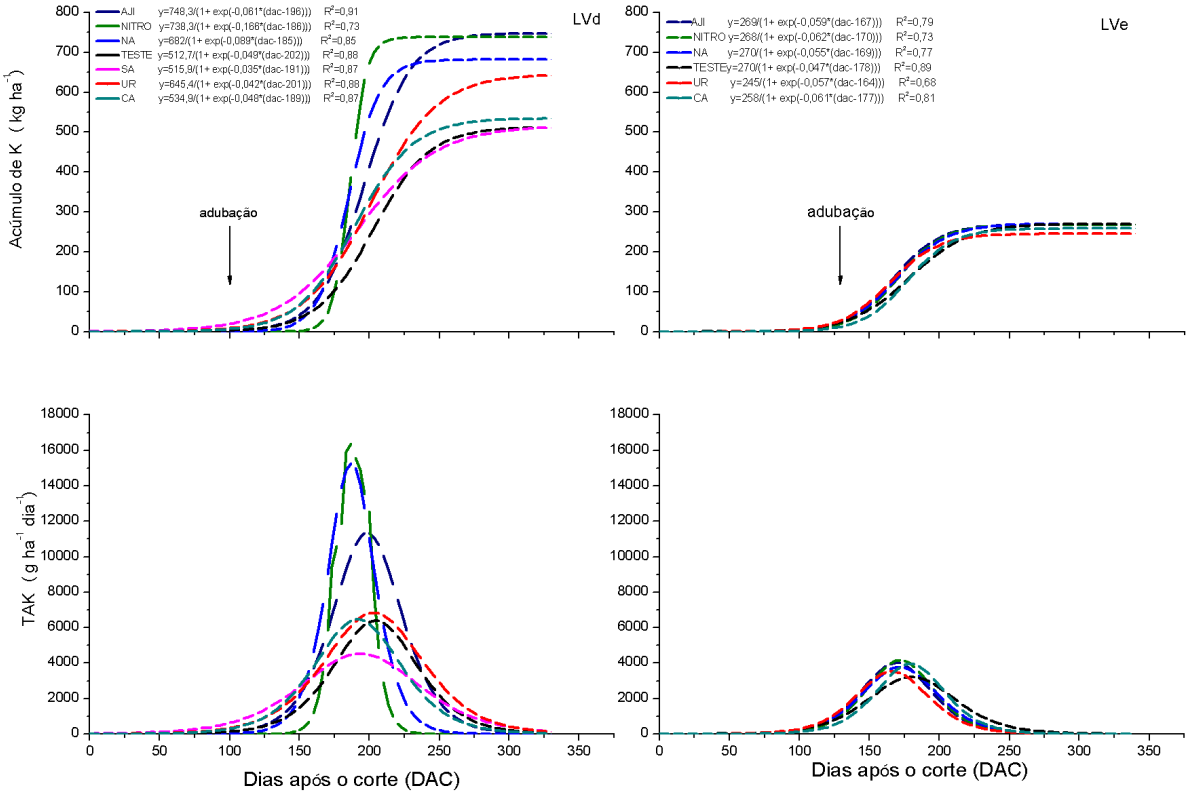

Figura 6 - Acúmulo de potássio na parte aérea da cana-de-açúcar (kg ha^{-1}) e taxa de acúmulo de potássio (TAK), (g ha^{-1} dia^{-1}), nos tratamentos: TESTE: testemunha; AJI: Ajifer®; S A: sulfato de amônio CA: cloreto de amônio; NA: nitrato de amônio; NITRO: Nitromag™; no LATOSSOLO VERMELHO eutrófico (LVe) e LATOSSOLO VERMELHO distrófico (LVd)

Segundo Segato et al. (2006), a eficiência da adubações potássica chega a 70%, podendo variar pouco de acordo com a textura do solo. Considerando que foi adicionado ao solo como fertilizante, no LVe, 120 kg ha^{-1} de K e neste experimento a extração média foi de 220 kg ha^{-1}, e de acordo com Oliveira et al. (2010), 60% do K será exportado no colmo, podemos inferir que a adubação de K neste caso não foi suficiente para suprir a necessidade da cultura. Desta forma, nas condições em que o estudo foi conduzido, no LVe, a quantidade de K recomendada foi inferior a

necessidade da planta. Portanto, a prática da adubação é de extrema importância para a manutenção produtiva dos solos cultivados com cana-de-açúcar, devido à grande quantidade extraída pela cultura, quando seu teor no solo não é suficiente para suprir a necessidade da cultura. Já no experimento com LVd fica evidente a importância da análise química de solo e o conhecimento do histórico da área para recomendar a adubação potássica, revelando que quando o teor no solo é alto (LVd) haverá sempre um consumo de luxo pela cana-de-açúcar.

4.1.4 Acúmulo de cálcio

Os valores de Ca^{2+} trocável no solo (Tabela 1), chegou a 49 $mmol_c$ dm^{-3} no LVe na camada de 0-20 cm, sendo este valor é considerado alto (RAIJ et al., 1997). Ao avaliar o acúmulo de Ca na parte aérea total da cana soca, nas duas primeiras amostragens (150 e 180 DAC), não houve diferença entre tratamentos em ambos os solos (LVe e LVd). Verifica-se um elevado acúmulo comparando a primeira e segunda época de coleta. Esta discrepância de acúmulo (16,8 kg ha^{-1} no LVe) em tão pouco tempo (30 dias) deveu-se ao crescimento da parte aérea, que foi estimulada pelas excelentes condições climáticas (chuva, luminosidade e temperatura). Levando em consideração as épocas de amostragem, observaram diferenças apenas na terceira amostragem (237 DAC) no LVe, sendo os tratamentos com as fontes ureia e nitrato de amônio que apresentaram os maiores valores, 72,8 kg ha^{-1} e 68 kg ha^{-1} respectivamente, e que diferiram da testemunha e do tratamento com cloreto de amônio. Em geral estes resultados acompanharam no LVe o acúmulo de MS (Tabela 3).

A partição da parte aérea das plantas em colmo, palha e ponteiro, revelou diferença entre os tratamentos no colmo e no ponteiro apenas na terceira amostragem (237 DAC). No colmo, o tratamento com nitrato de amônio diferenciou do cloreto e da testemunha, e estes valores tiveram o mesmo comportamento do acúmulo de MS. No ponteiro houve diferença do tratamento com cloreto de amônio, acumulando menos Ca em relação às demais fontes nitrogenadas, apenas na terceira amostragem, sendo que, na última não teve diferença. Estes resultados estão em paralelos aos de massa seca, que também apresentaram respostas apenas nessa época, devido às condições climáticas, e ao estresse causado por falta d'água, que equiparou tanto o acúmulo de MS como o de Ca.

Tabela 7- Acúmulo de cálcio na parte aérea da cana-de-açúcar, divididas em: colmo, palha e ponteiro; no ciclo de primeira soca, adubadas com fontes de nitrogênio

	Dias após o corte (kg ha^{-1})									
	Colmo		Palha		Ponteiro		Parte aérea total			
	237	340	237	340	237	340	150	180	237	340
					LATOSSOLO VERMELHO eutrófico					
TESTE	11,6 bc	14,3	17,8	26,2	17,2 ab	8,0	12,1	37,1	46,7 b	48,5
AJI	15,9 ab	20,1	21,2	22,7	17,4 ab	13,2	11,7	36,2	54,5 ab	56,1
NITRO	14,7 ab	20,4	26,6	29,6	21,4 a	13,1	11,1	29,2	62,7 ab	63,1
CA	10,0 c	15,6	19,4	20,8	13,4 b	12,6	9,0	22,7	42,7 b	49,0
NA	16,2 a	20,7	32,7	22,9	23,8 a	14,2	16,8	26,3	72,8 a	57,8
UR	15,5 ab	17,0	31,4	25,8	21,1 a	14,2	12,6	22,6	68,0 a	57,0
Média	14,0	18,0	24,8	24,7	19,1	12,6	12,2	29,0	57,9	55,2
Valor F	5,6***	2,2^{ns}	2,1^{ns}	1, 6^{ns}	4,2**	1,5^{ns}	1,4^{ns}	1,77^{ns}	5,5***	1,9ns
DMS	4,4	7,4	17,5	10,0	7,4	7,7	8,7	19,5	20,5	16,0
CV (%)	15,4	20,3	34,9	20,0	19,3	30,2	35,5	33,2	17,5	14,3
					LATOSSOLO VERMELHO distrófico					
TESTE	7,8	7,0	19,7	23,5	9,5	5,6	8,4	7,6	37,0	36,1
AJI	6,1	7,7	20,5	19,5	10,2	5,8	9,8	16,6	36,8	33,1
S A	5,7	7,0	16,4	15,5	11,5	4,9	12,6	17,2	33,6	27,3
NITRO	8,9	6,5	18,8	19,1	14,2	4,9	9,6	10,5	41,9	30,5
CA	7,8	5,9	19,3	17,6	13,7	6,7	9,2	13,2	40,7	30,2
NA	7,9	7,2	18,3	22,7	10,8	5,4	8,6	15,7	37,1	35,3
UREIA	8,5	6,7	18,9	20,3	9,7	7,5	11,1	7,4	37,1	34,5
Média	7,5	6,9	18,8	19,8	11,4	5,8	9,9	12,6	37,8	32,4
Valor F	0,9^{ns}	0,3^{ns}	0,1^{ns}	1,4^{ns}	0,5^{ns}	1,6^{ns}	0,5^{ns}	2,4*	0,2^{ns}	1,0^{ns}
DMS	5,0	4,2	14,7	9,9	11,1	3,1	8,6	11,2	26,7	12,9
CV (%)	31,8	29,2	37,6	24,2	47,1	26,0	41,8	42,7	34,0	19,2

Médias seguidas pela mesma letra na coluna em cada subperíodo de coleta não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,10). *,**,*** significativo, respectivamente, a 10%, 5% e 1% de probabilidade.(TESTE: testemunha; AJI: Ajifer®; S A: sulfato de amônio CA: cloreto de amônio; NA: nitrato de amônio; NITRO: Nitromag™)

No LVd, o teor de Ca^{2+} trocável no solo foi de 13 $mmol_c$ dm^{-3} na camada de 0-20 cm de profundidade, sendo este valor considerado adequado de acordo com Raij et al. (1997). Não verificou nenhuma diferença entre tratamentos em todas as quatro amostragens realizadas para o acúmulo de Ca no LVd (Tabela 7). Os resultados acompanharam os de MS, que apresentaram maior acúmulo nas duas últimas amostragens.

O acúmulo de Ca nas partes da planta (colmo, palha e ponteiro), nos dois solos: LVd e LVe, é possível identificar maior acúmulo de Ca na palha. Mesmo o sendo menor no LVd, devido ao baixo teor de Ca no solo, pode-se chegar a conclusão que a palha acumula mais Ca que as demais (ponteiro e colmo). Em números relativos o acúmulo de Ca na palha atingiu a 60% e 44%, respectivamente, no LVd e LVe. Este valor mais alto do Ca na palha é devido ao seu papel estrutural na planta. O Ca é essencial para manter a integridade estrutural das membranas e paredes celulares, está ligado na pectina da parede celular, formando pectatos de Ca que faz parte da lamela média e “cimenta” uma célula a outra (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997), sendo depositado durante a citocinese, e dessa forma quando a célula cresce, aumenta também a necessidade de Ca (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Por isso o cálcio é considerado um elemento de baixíssima mobilidade dentro da planta. (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

Os resultados de acúmulo de Ca no LVe são parecidos com os de Oliveira (2011), que encontrou 63 kg ha^{-1} de Ca, no LVe, com o mesmo cultivar cultivar (SP 81-3250), havendo diferença entre doses de N, sendo que a dose de 100 kg ha^{-1} de N proporcionou maior acúmulo de Ca. A fonte utilizada nesse estudo foi a mistura de sulfato de amônio mais nitrato de amônio. Orlando Filho (1983), trabalhando com três tipos de solos diferentes, obteve valores similares, sendo em média, no fim do ciclo, de 72,53 kg ha^{-1}.

No LVd, na média final de todos os tratamentos (32,4 kg ha^{-1}) para a última amostragem, resultou em menor acúmulo se comparando com o LVe (55,2 kg ha^{-1}). Existem duas hipóteses para esse fato; a primeira refere-se ao teor de Ca no LVe que era maior (Tabela 1); a segunda explicação relaciona-se ao teor de K no LVd que era 6 vezes maior em relação ao LVe.

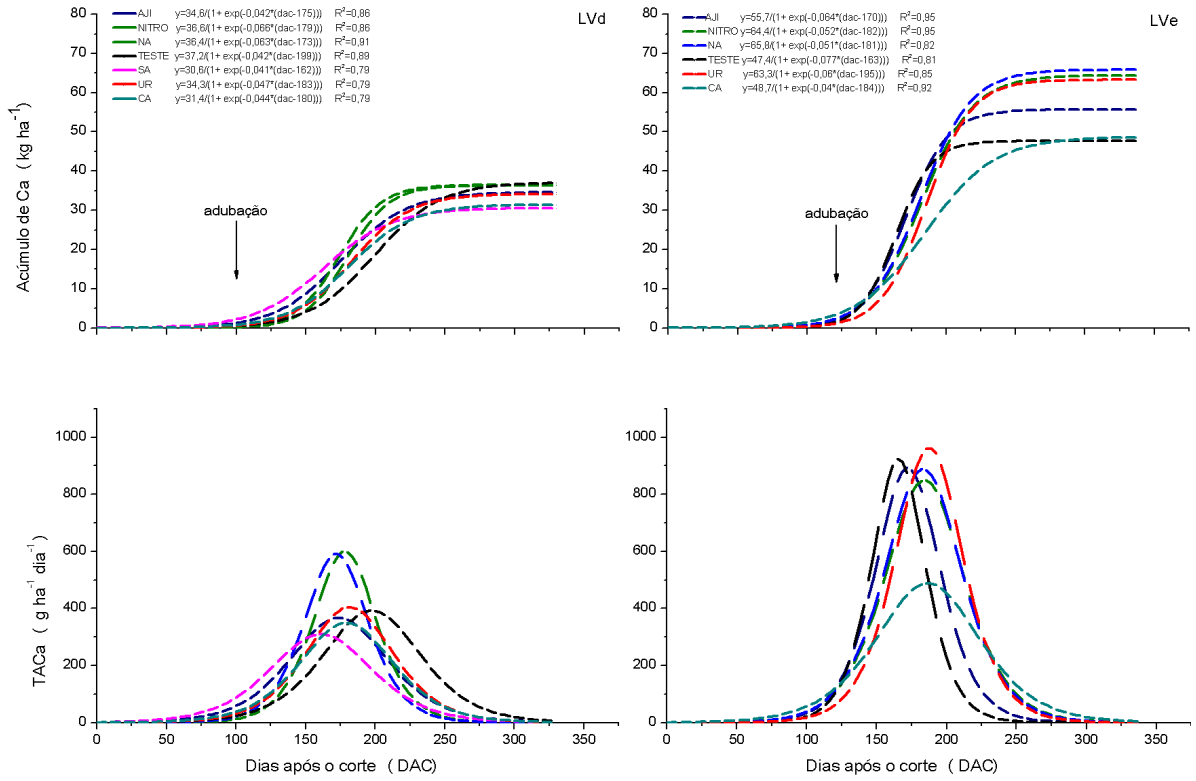

Figura 7 - Acúmulo de cálcio na parte aérea da cana-de-açúcar (kg ha^{-1}) e taxa de acúmulo de cálcio (TACa), (g ha^{-1} dia^{-1}), nos tratamentos: TESTE: testemunha; AJI: Ajifer®; S A: sulfato de amônio CA: cloreto de amônio; NA: nitrato de amônio; NITRO: Nitromag™; no LATOSSOLO VERMELHO eutrófico (LVe) e LATOSSOLO VERMELHO distrófico (LVd)

Sabe-se que a absorção de cátions depende principalmente da concentração na solução do solo, mas pode ocorrer competição não-específica entre cátions pelo mesmo sítio de absorção na superfície das raízes. Isto faz com que a velocidade de absorção de um cátion seja diminuída pela presença de outro na solução, inibindo a absorção do primeiro (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). O K^+ apesar de ter valência +1, tem o menor raio hidratado (0,53 nm), o que pode facilitar sua absorção pela planta, sendo assim, absorvido mais rapidamente pela planta, embora a concentração de Ca no solo possa ser até dez vezes maior (MENGEL & KIRKBY, 2001).

Foi observada diferença na TACa nos tipos solos. No LVd, a segunda fase (120 DAC até 220 DAC) foi a que resultou em maior acúmulo, chegando a 75% de todo o Ca na parte aérea. As fontes que mais se destacaram foram: o nitrato de amônio e o Nitromag™, com valores máximos de 590 g ha^{-1} dia^{-1} e 599 g ha^{-1} dia^{-1} e média, respectivamente, de 111 g ha^{-1} dia^{-1} e 112 g ha^{-1} dia^{-1}. Já no LVe, também houve

diferenças entre fontes, sendo que a maior TACa, foi na segunda fase de crescimento, dos 125 DAC até 240 DAC, com TACas máximas semelhantes entre os tratamentos, exceto para o cloreto de amônio, que apresentou a menor TACa, 488 g ha^{-1} dia^{-1}, e média de 143 g ha^{-1} dia^{-1}. Coale et al., (1993), encontrou uma TACa máxima de 550 g ha^{-1} dia^{-1}, porém o período de acúmulo foi maior variando dos 150 DAC até 290 DAC.

4.1.5 Acúmulo de magnésio

Houve diferença entre os tratamentos, nos dois tipos de solos (Tabela 8) no acúmulo de magnésio na parte aérea da cana soca aos 340 DAC. No LVe, o teor no solo era de 13 $mmol_c$ dm^{-3} na camada de 0-20 cm, considerado adequado (RAIJ et al. (1997). As diferenças entre tratamentos no LVE ocorreram nas duas últimas amostragens, sendo que na terceira amostragem (237 DAC), as fontes que resultaram em maior acúmulo de Mg foram: Nitromag^{TM}, nitrato de amônio e ureia, respectivamente, 24,9; 23,9 e 21 kg ha^{-1}, diferindo do cloreto de amônio que acumulou 13,9 kg ha^{-1}. Essas diferenças mantiveram-se na última amostragem, porém apenas o Nitromag^{TM} diferiu da testemunha (18 kg ha^{-1}) e do cloreto de amônio (20,8 kg ha^{-1}), sendo que o maior acúmulo pode ter sido causado pela maior fitomassa e também pelo fato do Nitromag^{TM} apresentar em sua constituição uma pequena percentagem de magnésio.

Considerando a parte aérea dividida em colmo, palha e ponteiro, observaram-se diferenças nos três compartimentos no LVe. Para o colmo, tanto na terceira e quarta amostragem, as duas fontes que mais destacaram foram o nitrato de amônio e Nitromag^{TM}, diferindo também da testemunha e cloreto de amônio aos 340DAC; estes valores foram similares para os outros compartimentos: palha e ponteiro.

No LVd, o teor no solo era de 6 $mmol_c$ dm^{-3}, sendo considerado médio por Raij et al. (1997). Nesse solo houve diferença no Mg extraído apenas na última amostragem (340 DAC), sendo que o tratamento com cloreto de amônio acumulou mais Mg, diferindo das demais fontes nitrogenadas. Considerando a repartição da parte aérea, apenas houve diferença no ponteiro, na última coleta (340DAC), que resultou também no acúmulo do nutriente na parte aérea total.

Tabela 8 - Acúmulo de magnésio na parte aérea da cana-de-açúcar, divididas em: colmo, palha e ponteiro; no ciclo de primeira soca, adubadas com fontes de nitrogênio

	Dias após o corte (kg ha^{-1})									
	Colmo		Palha		Ponteiro		Parte aérea total			
	237	340	237	340	237	340	150	180	237	340
	LATOSSOLO VERMELHO eutrófico									
TESTE	8,2 ab	8,8 b	3,0 c	5,4 ab	6,9 ab	3,9	4,8	10,4	18,1 ab	18 b
AJI	9,7 ab	13,4 ab	3,8 bc	5,2 ab	6,8 ab	4,9	4,2	11,7	20,3 ab	23,5 ab
NITRO	11,1 a	15,5 a	6,1 a	8,5 a	7,7 a	6,2	4,4	10,1	24,9 a	30,2 a
CA	7,0 b	11,1 ab	2,7 c	4,3 b	4,2 b	5,4	3,9	7,9	13,9 b	20,8 b
NA	10,7 a	14,1 a	5,2 ab	4,7 b	8,0 a	4,7	4,9	9,0	23,9 a	23,5 ab
UR	9,5 ab	12,2 ab	4,0 bc	6,4 ab	7,5 a	6,7	5,1	8,7	21,0 a	25,3 ab
Média	9,4	12,5	4,1	5,7	6,8	5,3	4,5	9,6	20,3	23,5
Valor F	3,7**	3,6**	7,1***	3,5**	3,5**	2,1 ^{ns}	0,3^{ns}	0,8^{ns}	5,6***	3,7**
DMS	3,1	5,0	1,9	3,2	3,0	3,0	3,1	6,3	6,8	8,6
CV (%)	16,9	19,92	23,5	28,1	21,6	27,4	34,3	32,4	16,5	18,1
	LATOSSOLO VERMELHO distrófico									
TESTE	5,9	7,7	4,6	5,9	4,6	3,4 b	2,7	3,0	15,1	17,0 ab
AJI	3,9	7,0	5,3	7,6	5,6	4,3 ab	2,7	5,1	14,8	18,8 ab
S A	4,0	5,0	3,6	5,4	5,3	3,5 b	5,1	7,4	12,8	13,9 b
NITRO	6,6	5,4	5,5	7,1	8,7	3,2 b	4,0	5,1	20,8	15,7 b
CA	6,5	8,2	4,5	8,3	6,2	6,1 a	3,5	4,5	17,2	22,7 a
NA	6,3	6,3	5,0	8,9	8,9	4,6 ab	4,0	8,1	20,2	19,8 ab
UREIA	6,0	7,5	4,9	8,1	5,8	4,6 ab	5,4	6,2	16,6	20,3 ab
Média	5,6	6,8	4,8	7,3	6,4	4,3	3,9	5,6	16,8	18,3
Valor F	1,2^{ns}	2,2*	0,4 ^{ns}	2,3*	1,6 ^{ns}	2,8**	1,2 ^{ns}	1,5 ^{ns}	1,1 ^{ns}	3,5**
DMS	4,3	2,4	4,3	3,5	5,5	2,53	3,9	5,8	11,6	6,6
CV (%)	36,9	17,2	43,2	23,2	41,0	28,7	48,3	49,7	33,3	17,3

Médias seguidas pela mesma letra na coluna em cada subperíodo de coleta não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,10). *,**,*** significativo, respectivamente, a 10%, 5% e 1% de probabilidade.(TESTE: testemunha; AJI: Ajifer®; S A: sulfato de amônio CA: cloreto de amônio; NA: nitrato de amônio; NITRO: Nitromag™)

De maneira geral, observou-se que os acúmulos de Mg, foram proporcionalmente parecido nos três compartimentos da planta. Logicamente, o teor de Mg na folha é maior que em outras partes, mesmo tendo menor acúmulo de MS; o fato é que este nutriente se apresenta em maior concentração na folha, por ser o componente central da molécula de clorofila, e está em maior quantidade nos pontos de crescimento (EPSTEIN;BLOOM, 1996). De acordo com Epstein; Bloom, (2006), cerca de 2,7 % do peso molecular da clorofila são representados pelo magnésio. O Mg é ainda ativador de muitas enzimas, principalmente aquelas ligadas ao metabolismo energético, tais como respiratórias, de ativação de aminoácidos e descarboxilase.

Os valores encontrados de acúmulo de Mg deste estudo são inferiores aos de Orlando Filho (1983), que obteve acúmulo médio 50,8 kg ha^{-1} na média de três solos, assim como aos de Oliveira et al. (2010), que avaliaram dez cultivares e obtiveram a extração média 87 kg ha^{-1}. Os resultados deste trabalho também são inferiores aos de Thangavelu; Rao (2004) que estudaram três cultivares e obtiveram acúmulo médio de 45 kg ha^{-1}, apesar de haver diferenças entre as cultivares avaliadas. Sabe-se que o magnésio é absorvido em menor quantidade do que o cálcio e o potássio, e a competição entre eles é especificamente importante podendo levar a deficiência do primeiro (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Talvez o baixo acúmulo de Mg encontrado neste trabalho, comparando com outros autores, pode ser explicado pela competição intra específica entre cátions, já que o teor de K, no solo era elevada.

Independente do tipo de solo estudado observou-se baixo acúmulo de Mg. No LVe, o período de maior acúmulo foi na segunda fase (120 DAC até aos 240 DAC), sendo o TAMg máxima no tratamento com nitrato de amônio e Nitromag^{TM}, respectivamente de 303 e 289, 2 g ha^{-1} dia^{-1}, com a média de 71 e 88 g ha^{-1} dia^{-1}, aos 187 e 197 DAC, respectivamente. No Nitromag^{TM} a extração do nutriente foi mais prolongada, favorecendo ao maior acúmulo. No LVd, apenas as fontes nitrato de amônio e Nitromag^{TM} se destacaram com maior valor de TAMg, sendo maior para o Nitromag^{TM}, com 497 g ha^{-1} dia^{-1} e média de 65 g ha^{-1} dia^{-1}.

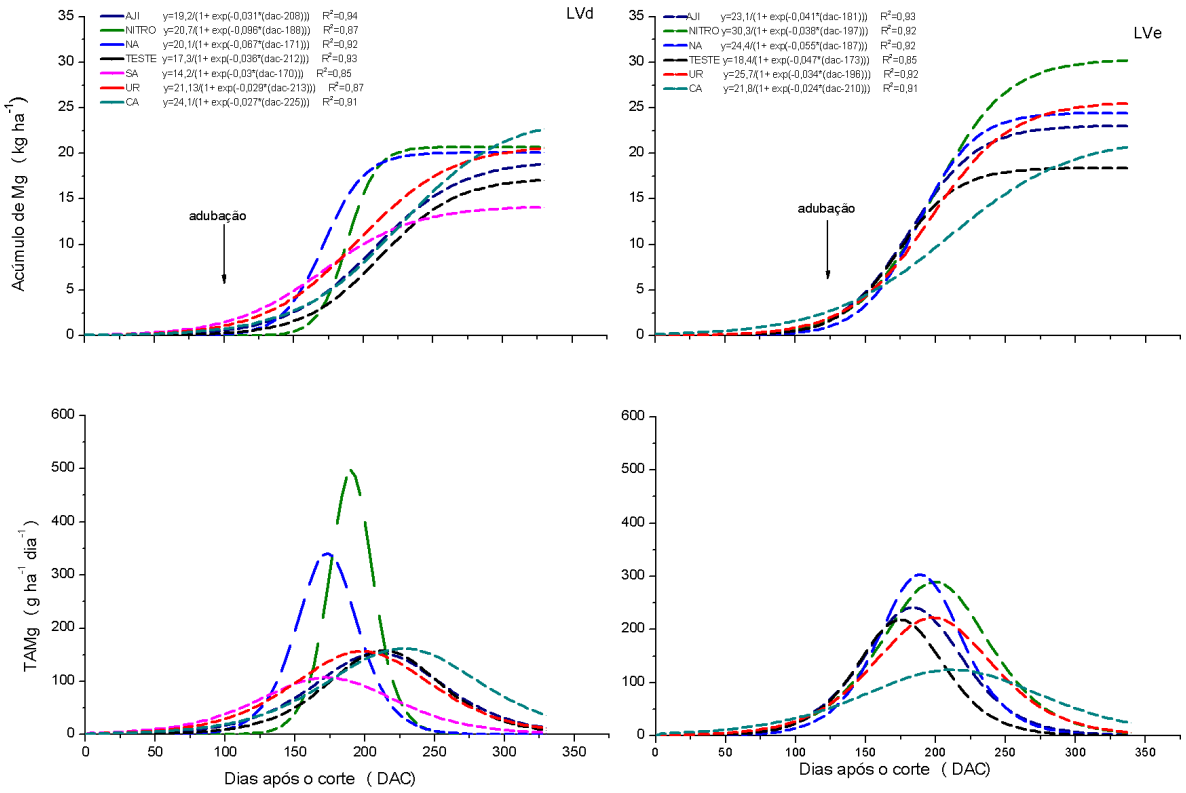

Figura 8 - Acúmulo de magnésio na parte aérea da cana-de-açúcar (kg ha^{-1}) e taxa de acúmulo de magnésio (TAMg), (g ha^{-1} dia^{-1}), nos tratamentos: TESTE: testemunha; AJI: Ajifer®; S A: sulfato de amônio CA: cloreto de amônio; NA: nitrato de amônio; NITRO: Nitromag™; no LATOSSOLO VERMELHO eutrófico (LVe) e LATOSSOLO VERMELHO distrófico (LVd)

Há de se destacar que diferentemente dos outros macronutrientes o Mg, apresentou comportamento da TAMg mais acentuada, sendo sua absorção prolongada por mais tempo. Este período mais amplo de absorção de Mg, nos dois tipos de solos pode ser atribuída a demanda constante por este nutriente na constituição da clorofila. As folhas recém formadas e pontos de crescimentos tem maior necessidade pelo nutriente, bem como a maior exigência na atividade da ATpase, durante o período de maiores taxas transpiratórias e fotossintéticas (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

4.1.6 Acúmulo de enxofre

Nos dois solos, apenas o LVe apresentou diferenças entre tratamentos para o acúmulo de S na cana soca (Tabela 9). Este solo apresentava alto teor de S segundo Raij et al. (1997) na camada de 0-20 cm (Tabela 1). Na primeira amostragem (150 DAC), no LVe, não houve diferença entre tratamentos no acúmulo de S, com média 8,4 kg ha^{-1} de S. A partir da segunda amostragem o tratamento com Ajifer® (32,7kg ha^{-1} de S) se destacou e diferiu do Nitromag™, cloreto de amônio, ureia e testemunha. Na terceira amostragem (237 DAC), o Ajifer® e o nitrato de amônio acumularam mais S que o cloreto de amônio e testemunha. Essa tendência se manteve também na última amostragem (340 DAC), acumulando a cana soca em média 35 kg ha^{-1} de S, enquanto que os tratamentos testemunha e com cloreto de amônio acumularam 23 kg ha^{-1}.

Considerando a partição da parte aérea (colmo, palha e ponteiro) no LVe, houve diferença entre tratamentos nos compartimentos, sendo que no colmo, na terceira amostragem (237 DAC), o tratamento que mais acumulou S foi o Ajifer®, o mesmo sendo verificado na palha e ponteiro, e posteriormente na última amostragem. Thangavelu; Rao, (2004), estudando o acúmulo de S em cana-de-açúcar observou diferenças entre clones e em diferentes partes das plantas, sendo a média 4,5; 9,6 e 14,4 kg ha^{-1} para folha seca, ponteiro e colmo; esses valores são parecidos com os resultados deste estudo. Os mesmos autores observaram ainda interação do S com outros nutrientes: fósforo, potássio e principalmente nitrogênio. Existe uma estreita relação entre N e S, uma vez que o enxofre é constituinte de numerosos compostos da planta, sendo as proteínas os mais importantes; o S faz parte dos aminoácidos, tais como metionina (21% S) e cistina (27% de S), reguladores de crescimento (tiamina, biotina e glutamina) (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

O maior acúmulo de S observado no tratamento com Ajifer® foi devido a presença do nutriente na sua composição, já que esta fonte apresenta 88,6 g L^{-1} de S, considerando a dose de 100 kg ha^{-1} de N aplicada como Ajifer®, aplicou-se por volta de 100 kg ha^{-1} de S. Casoti (2008), avaliando o Ajifer® como fonte de N, também encontrou maior teor de S na folha, e observou resposta na produtividade, quando trabalhou com doses.

Tabela 9 - Acúmulo de enxofre na parte aérea da cana-de-açúcar, divididas em: colmo, palha e ponteiro; no ciclo de primeira soca, adubadas com fontes de nitrogênio

	Dias após o corte (kg ha^{-1})									
	Colmo		Palha		Ponteiro		Parte aérea total			
	237	340	237	340	237	340	150	180	237	340
	LATOSSOLO VERMELHO eutrófico									
TESTE	11,3 c	12,4 bc	3,5 c	5,1	10,9 ab	5,4	9,3	19,3 b	25,6 bc	23,0 b
AJI	20,6 a	19,8 ab	5,6 ab	6,7	14,1 ab	8,0	11,4	32,7 a	40,3 a	34,5 a
NITRO	15,9 abc	22,7 a	5,3 ab	5,7	15,0 a	7,3	6,1	15,5 b	36,3 ab	35,7 a
CA	12,3 c	10,5 c	3,4 c	4,7	9,4 b	7,8	6,4	13,5 b	25,1 c	23,0 b
NA	18 ab	18,6 abc	6,6 a	5,3	15,8 a	7,8	9,6	21,8 ab	40,5 a	31,7 ab
UR	14,4 bc	17,7 abc	3,9 c	6,7	11,3 ab	8,0	7,4	14,1 b	29,6 abc	32,4 ab
Média	15,4	16,9	4,7	5,7	12,8	7,4	8,4	19,5	32,9	30,1
Valor F	6,8***	5,0***	4,3**	2,2 ^{ns}	3,78**	0,7 ^{ns}	2,2^{ns}	5,57***	6,7***	4,5***
DMS	5,5	8,3	2,6	2,2	5,3	4,7	5,6	12,3	11,0	10,7
CV (%)	17,5	24,2	27,2	19,4	20,7	31,0	33,2	31,2	16,2	17,6
	LATOSSOLO VERMELHO distrófico									
TESTE	19,2	17,1	5,9	4,8	10,4	4,8	5,8	9,2	35,5	26,7
AJI	17,0	23,0	4,3	5,4	10,8	6,5	8,4	14,8	32,1	34,9
S A	16,8	14,0	4,6	4,1	12,4	5,2	11,6	17,4	33,9	23,4
NITRO	20,7	18,4	4,6	4,8	15,6	5,1	8,7	11,7	40,9	28,3
CA	17,8	19,1	5,5	3,4	14,6	6,9	6,6	10,8	37,9	29,5
NA	17,2	17,8	3,4	5,7	11,7	5,8	7,7	15,9	32,3	29,3
UREIA	26,2	27,1	5,6	5,9	12,3	4,7	8,4	15,0	44,2	37,7
Média	19,3	19,5	4,9	4,9	12,5	5,6	8,1	13,5	36,7	30,0
Valor F	0,9 ^{ns}	1,4 ^{ns}	1,4 ^{ns}	2,1 ^{ns}	0,6 ^{ns}	1,2 ^{ns}	0,8 ^{ns}	1,2 ^{ns}	0,8 ^{ns}	1,6 ^{ns}
DMS	14,2	15,2	3,0	2,58	9,7	3,2	8,4	11,2	21,7	16,0
CV (%)	35,3	37,5	30,3	25,4	37,0	28,0	49,8	39,9	28,4	25,7

Médias seguidas pela mesma letra na coluna em cada subperíodo de coleta não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,10). *,**,*** significativo, respectivamente, a 10%, 5% e 1% de probabilidade.(TESTE: testemunha; AJI: Ajifer®; S A: sulfato de amônio CA: cloreto de amônio; NA: nitrato de amônio; NITRO: Nitromag™)

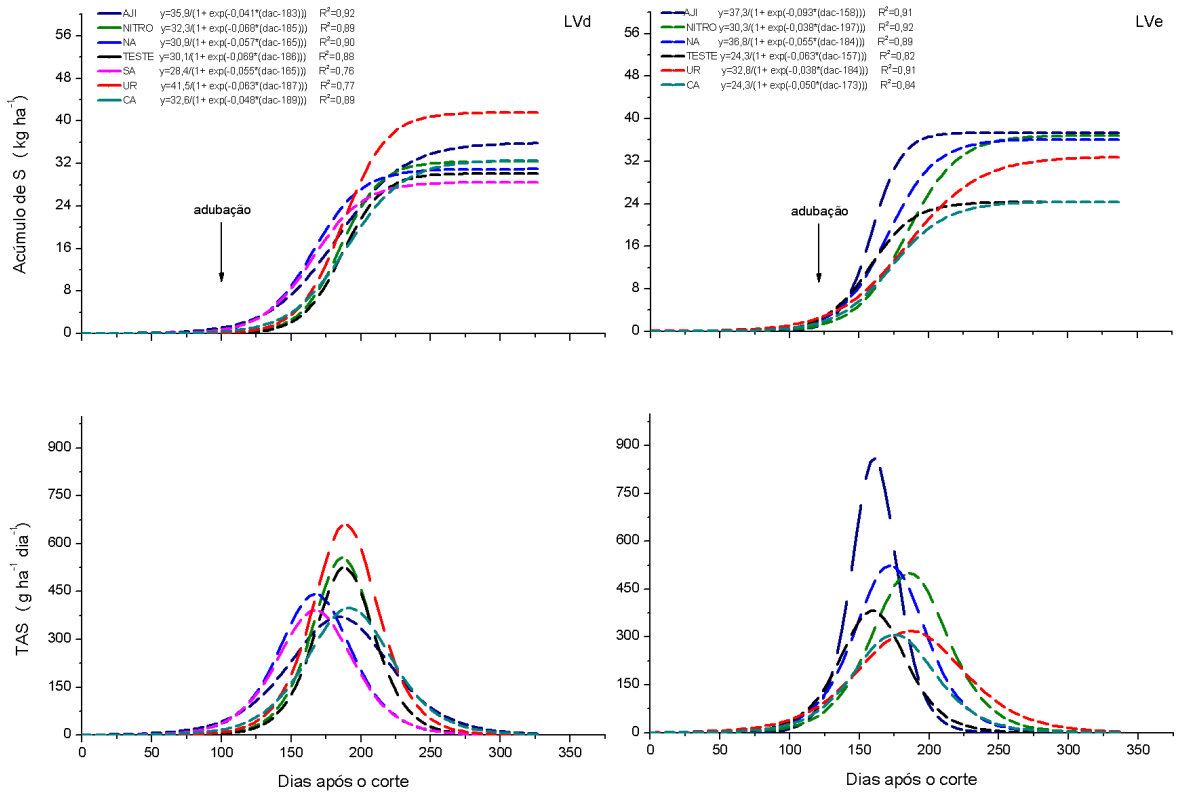

Figura 9 - Acúmulo de enxofre na parte aérea da cana-de-açúcar (kg ha^{-1}) e taxa de acúmulo de enxofre (TAS), (g ha^{-1} dia^{-1}), nos tratamentos: TESTE: testemunha; AJI: Ajifer®; S A: sulfato de amônio CA: cloreto de amônio; NA: nitrato de amônio; NITRO: Nitromag™; no LATOSSOLO VERMELHO eutrófico (LVe) e LATOSSOLO VERMELHO distrófico (LVd)

No LVd, não foi verificada resposta entre tratamentos com fontes de N, tantos nas épocas de amostragem, e também nas partes da planta: colmo, palha e ponteiro. O acúmulo médio na amostragem final muito próximo ao do LVe, em torno de 30 kg ha^{-1} de S. Orlando filho (1983), encontrou acúmulo de 44 kg ha^{-1} de S na média de três solos. Oliveira, (2011) em um LVe estimou acúmulo médio de 26 kg ha^{-1} na média de 4 tratamentos com doses de N.

De acordo com Malavolta; Vitti; Oliveira, (1997), as principais funções do S na planta são: componentes de proteínas, componentes de coenzimas, participando no metabolismo de carboidratos e lipídeos, reações de descarboxilação, através da biotina e reações de fixação do carbono na fotossíntese. A deficiência desse nutriente desorganiza a estrutura dos cloroplastos, diminuindo a atividade fotossintética e aumentando a relação N solúvel/N protéico. Por isso, neste estudo observou-se uma

relação estreita entre N e S, quando comparado a média de acúmulo de N de 130 kg ha^{-1} em relação ao acúmulo de S (30 kg ha^{-1}), chegando-se a uma relação de 4,3: 1. Esta relação é considerada adequada de acordo com a literatura (ORLANDO FILHO, 1983; OLIVEIRA et al.,2010).

No LVd, não foi observado diferença entre os tratamentos, porém a ureia apresentou maior TAS máxima de 659 g ha^{-1} dia^{-1}, e média de 128 g ha^{-1} dia^{-1}. O período de maior acúmulo ocorreu logo após a adubação, acompanhando o desenvolvimento da soqueira.

No LVe, a segunda fase foi a que apresentou o maior acúmulo, variando de 125 DAC até 250 DAC, com absorção de mais de 82% de todo o S acumulado ao longo do ciclo da cultura. A fonte que apresentou maior TAS pela soca foi o Ajifer®, com 860 g ha^{-1} dia^{-1} e média de 109 kg ha^{-1} dia^{-1}. Oliveira (2011), num LVe observou valores de TAS em torno de 161 g ha^{-1} dia^{-1}, destacando ainda que a adubação nitrogenada proporcionou incrementos na TAS em todos os solos avaliados.

Vitti et al., (2005), obtiveram maior rendimento de colmo com a aplicação de sulfato de amônio do que com ureia ou nitrato de amônio, e atribuiu a diferença a presença do S naquele fertilizante e também pela maior absorção do N-fertilizante pela planta, devido a menor volatilização e/ou efeito sinérgico entre N e S. Neste estudo não foi possível identificar o mesmo efeito devido ao menor acúmulo de fitomassa no tratamento com sulfato de amônio que interferiu diretamente no acúmulo do nutriente.

4.4 Extração e exportação de nutrientes

As fontes nitrogenadas influenciaram na extração e exportação de nutrientes nos dois solos (Tabela 10). A ordem média de extração foi: K>N>Ca>S>Mg>P no LVd e LVe. Estes dados corroboram com Orlando Filho (1980) e Oliveira (2011).

No LVe a adubação nitrogenada influenciou na extração de K e Mg. A ausência da adubação nitrogenada proporcionou maior extração de K diferindo do tratamento com ureia. Por outro lado, quando observa a extração de Mg, o uso do Nitromag™ proporcionou maior extração diferindo da testemunha e do tratamento com cloreto de amônio. Não houve efeito positivo da adubação nitrogenada na extração de N, P e Ca. Oliveira (2011) observou que na primeira soqueira houve efeito positivo da adubação nitrogenada nas extrações totais de N e P. Em condições de campo Schultz et al. (2010) verificaram que a extração dos macronutrientes na parte aérea da cana soca, não foi influenciado positivamente com aumento da adubação nitrogenada, exceto o K que apresentou ganhos lineares com as maiores doses de N. A fonte utilizada foi ureia, mesmo trabalhando com duas doses de N (40 e 80 kg ha^{-1}).

Ainda no LVe (Tabela 10), os dados médios de exportação de N, P, K, Ca, Mg e S do cultivar SP-81 3250 mostraram que 50, 53, 23, 32, 53 e 56%, respectivamente, dos nutrientes absorvidos foram exportados pelo colmo da cana-de-açúcar. É provável que a baixa mobilidade do Ca no floema não permita a redistribuição na planta fazendo com que se acumule na palha e ponteiro, reduzindo sua exportação (EPSTEIN; BLOOM, 2006). A exportação de N foi influenciada pelas fontes nitrogenadas, sendo que o tratamento com Nitromag™ proporcionou maior extração, certamente pela maior produção de fitomassa (Tabela 1) e produtividade de colmos (Tabela 11).

No LVd, as fontes nitrogenadas influenciaram a extração de N, P, K e Mg. A menor extração de N no tratamento com sulfato de amônio comparado ao Ajifer® se deveu provavelmente ao menor acúmulo de fitomassa (Tabela 1). Os dados médios de exportação N, P, K, Ca, Mg e S do cultivar SP-89 1115 revelaram que 46, 57, 76, 21, 37 e 56% dos nutrientes foram exportados pelo colmo.

Tabela 10 - Extração (A) e exportação (B) de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre em dois solos adubados com fontes nitrogenadas

	N		P		K		Ca		Mg		S	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
	kg ha^{-1}											
LATOSSOLO VERMELHO eutrófico (LVe)												
TESTE	124,3	54,2 bc	12,6	7,0	273,0 a	44,2 ab	48,5	14,3	18 b	8,8 b	23,0 b	12,4 bc
AJI	134,8	68,4 abc	13,4	7,2	215,6 ab	53,1 ab	56,1	20,1	23,5 ab	13,4 ab	34,5 a	19,8 ab
NITRO	155,5	84,6 a	13,1	7,6	193,8 ab	65,5 a	63,1	20,4	30,2 a	15,5 a	35,7 a	22,7 a
CA	108,3	48,4 c	12,2	6,1	215,4 ab	48,2 ab	49	15,6	20,8 b	11,1 ab	23,0 b	10,5 c
NA	124,8	63,9 abc	11,4	5,3	217,6 ab	58,4 ab	57,8	20,7	23,5 ab	14,1 a	31,7 ab	18,6 abc
UR	142,6	79,2 ab	12,7	6,7	176,8 b	36,5 b	57	17	25,3 ab	12,2 ab	32,4 ab	17,7 abc
Média	131,7	66,4	12,6	6,7	215,4	50,9	55,2	18	23,6	12,5	30,1	17
Valor F	1,8^{ns}	3,6**	0,4^{ns}	1,42^{ns}	2,7**	2,36*	1,98^{ns}	2,2^{ns}	3,75**	3,56**	4,54***	5,04***
CV (%)	18,5	22,1	18,2	20,4	18,7	27,5	14,4	20,3	18,7	19,9	17,6	24,2
LATOSSOLO VERMELHO distrófico (LVd)												
TESTE	124,8 ab	47,4 b	22,0 ab	14,1 a	507,1	393,2	36,1	7,04	17,0 ab	7,7	26,7	17,1
AJI	158,5 a	84,7 a	21,2 abc	12,5 ab	734,2	582,8	33,1	7,74	18,8 ab	7	34,9	23
S A	104,4 b	44,1 b	14,9 c	7,5 c	507,1	354,2	27,3	6,97	13,9 b	5	23,4	14
NITRO	142,6 ab	67,2 ab	16,3 bc	8,5 bc	480,7	354,9	30,5	6,48	15,7 b	5,4	28,3	18,4
CA	143,7 ab	63,4 ab	22,4 ab	12,6 ab	532,6	370	30,2	5,95	22,7 a	8,2	29,5	19,1
NA	151,9 ab	74,7 a	18,2 abc	8,9 bc	603,5	465,4	35,3	7,18	19,8 ab	6,3	29,3	17,8
UREIA	135,4 ab	64,6 ab	24,6 a	15,9 a	637,6	529,5	34,5	6,73	20,3 ab	7,5	37,7	27,1
Média	137,3	63,7	19,9	11,5	571,8	435,7	32,4	6,87	18,3	6,8	30	19,5
Valor F	2,13*	4,95***	5,27***	7,2***	2,52*	2,6*	1,04^{ns}	0,316^{ns}	3,52**	2,2*	1,61^{ns}	1,37^{ns}
CV (%)	18,1	20,2	15,6	20,5	20,9	26,1	19,2	29,2	17,3	17,2	25,7	37,5

Médias seguidas pela mesma letra na coluna em cada subperíodo de coleta não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). *,**,*** significativo, respectivamente, a 10%, 5% e 1% de probabilidade.(TESTE: testemunha; AJI: Ajifer®; S A: sulfato de amônio CA: cloreto de amônio; NA: nitrato de amônio; NITRO: Nitromag™;)

Como já comentado anteriormente (tópico de acúmulo de K), foi revelado uma alta extração e exportação de K devido ao elevado teor no solo. Outro ponto importante é que houve baixa exportação de Ca e Mg, devido sua dinâmica na planta; o Ca por ser imóvel no floema e o Mg por fazer parte da clorofila, apresentam maior concentração nas outras partes da planta (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Além desses dois pontos apresentados a menor extração de Ca e Mg no LVd se deveu, provavelmente, ao desequilíbrio de bases no solo (MALAVOLTA; VITTI;OLIVEIRA,1997). Coale et al. 1993 encontraram extração de Ca e Mg, respectivamente de 142 kg ha^{-1} e 68 kg ha^{-1}, valores esses bem mais elevados se comparados aos deste trabalho (Tabela 10).

Ao analisar a extração de K nos dois solos observou-se que no LVd, onde houve “consumo de luxo”, pelo elevado teor no solo, mais de 76% do K extraído foi exportado. No LVe apenas 23% do K extraído foi exportado. Estes resultados são importantes porque revela que a cana-de-açúcar necessita de uma quantidade mínima de K na parte aérea para manter o seu metabolismo, sendo “a sobra” acumulada no colmo. Os valores encontrados na parte aérea (ponteiro + folha seca), que não foram exportados, apresentaram baixas variações, de 136 a 164 kg ha^{-1}, respectivamente, no LVe e LVd. Oliveira (2011) encontrou valores semelhantes variando de 108 kg ha^{-1} na primeira soqueira até 168 kg ha^{-1} na terceira soca. Nas folhas, o citoplasma, o núcleo e os cloroplastos têm concentração de K semelhante, que é o dobro do normalmente encontrado no vacúolo, tratando-se, pois, de uma indicação dos papéis bioquímicos do elemento na planta (MALAVOLTA, 2006). O K^+ é o cátion mais abundante na planta e tem alta exigência no citoplasma para garantir ótima atividade enzimática (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Os principais papéis do K são: translocação de açúcares; abertura e fechamento dos estômatos; regulação osmótica. Na cana-de-açúcar, a deficiência em K diminui o movimento dos açúcares da folha (fonte) para o colmo (dreno), (MALAVOLTA, 2006). Dessa forma é possível que a cana-de-açúcar tenha necessidade de manter uma concentração mínima de K na parte aérea, a fim de exercer todo o metabolismo da planta, sendo o excesso translocado para o colmo. Pelo exposto, houve diferença na exportação de K nos dois solos LVe e LVd, 50,9 e 435,7 kg ha^{-1}, respectivamente.

Há de se destacar que as quantidades de P extraídas pela cultura no LVd foram cerca de 58% maiores que as obtidas no LVe, devido, ao teor mais alto do nutriente no

solo LVd (Tabela 1). Sabe-se que o N tem uma interação positiva com P, K, Ca, Mg e S. No caso do P, há um sinergismo com N dentro da planta, sendo o P constituinte do núcleo das células, que é essencial na divisão celular e desenvolvimento do tecido meristemático do vegetal. O P tem efeito direto na fotossíntese, síntese de aminoácidos, transferência de energia e síntese de monossacarídeos (MARSCHNER, 1995).

Em resumo, nos dois solos, os nutrientes exportados em maior quantidade foram o nitrogênio e o potássio, sendo o fósforo removido em menor quantidade. Observou-se também baixo acúmulo de Ca e Mg, principalmente no LVd, possivelmente pela competição de cátions, em que o K inibe a absorção de Ca e Mg (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). A extração média de S está de acordo com os relatos da literatura (ORLANDO FILHO et al 1980; FRANCO, 2009) sendo observado uma estreita relação com o N, devido sua constituição nas proteínas e aminoácidos (EPSTEIN; BLOOM,2006).

4.5 Produtividade e exigência nutricional da cana-de-açúcar

A produtividade de colmos foi significativamente influenciada pelas fontes de N apenas no LVe (Tabela 11). O cultivar deste solo foi o SP 81-3250, que é considerado responsivo à adubação. Neste caso, adubação com Nitromag™ diferiu do tratamento cloreto de amônio e testemunha, produzindo aproximadamente 33 Mg ha^{-1} a mais de colmo, não diferindo dos demais tratamentos. A maior resposta observada com a fonte Nitromag™ foi devido ao fato desta fonte possuir 13% de N na forma nítrica e 13% na forma amoniacal, de constituição semelhante ao nitrato de amônio e cálcio, além de possuir 7% e 3% de Ca e Mg, respectivamente, provenientes de um pó fino de dolomita. A decomposição desses compostos ($CaCO_3$ e $MgCO_3$) pode elevar o pH do meio, o que favoreceu a atividade microbiana nas proximidades do grânulo, intensificando temporariamente a mineralização da matéria orgânica (MARIANO, 2010).

A redução de produtividade no tratamento com o cloreto pode ser um indicativo da toxidez por Cl^-, uma vez que o ânion representa 66% da composição do adubo e contém somente 25% de N. Dessa forma, quando se aplicou 100 kg ha^{-1} de N de

cloreto de amônio, foi adicionado ao meio 264 kg ha^{-1} do íon Cl^{-1}. Segundo Marschner (1995) altas concentrações de Cl^{-} no solo, podem diminuir a absorção de nitrogênio pelas plantas, devido ao efeito antagônico existente entre ambos, o que pode ter influenciado na produtividade.

De acordo com Ayers e Westcot (1991), o limite de tolerância à salinidade depende da concentração do sal em solução, do tempo de exposição, bem como do estágio de desenvolvimento da planta, sendo a fase inicial de desenvolvimento da cultura considerada a mais crítica. Na época da fertilização, a cana soca apresentava pouca fitomassa (Tabela 3), o que pode ter contribuído ainda mais para a fitotoxidez, aumentando o teor na planta e alta concentração de íons no solo.

Tabela 11 - Produção de colmos por hectare (TCH) e extração de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre necessários para produção de uma tonelada de colmo em dois solos adubada com fontes nitrogenadas

Tratamentos	**TCH**	**N**	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**	**S**
	Mg ha^{-1}	kg Mg^{-1}					
			LATOSSOLO VERMELHO eutrófico				
TESTE	76,6 b	1,61 a	0,17 a	3,68 a	0,64	0,23	0,30
AJI	92,2 ab	1,47 ab	0,15 abc	2,34 ab	0,61	0,26	0,38
NITRO	110,1 a	1,42 ab	0,12 c	1,78 b	0,58	0,28	0,33
CA	77,3 b	1,40 ab	0,16 ab	2,77 ab	0,64	0,27	0,30
NA	95,6 ab	1,31 b	0,12 c	2,30ab	0,60	0,25	0,33
UR	96,2 ab	1,48 ab	0,13 bc	1,81 ab	0,59	0,26	0,34
Média	91,3	1,45	0,14	2,44	0,61	0,26	0,33
Valor F	2,46*	2,4*	6,3***	8,6***	$0,56^{ns}$	$1,37^{ns}$	$1,98^{ns}$
CV (%)	17,7	9,1	10,9	19,7	9,99	9,54	12,4
			LATOSSOLO VERMELHO distrófico				
TESTE	91,4	1,43	0,25 a	5,72	0,42	0,19	0,30
AJI	103,3	1,58	0,21 b	7,20	0,33	0,19	0,35
S A	88,3	1,21	0,17 b	5,85	0,32	0,16	0,27
NITRO	91,4	1,61	0,18 b	5,35	0,35	0,18	0,32
CA	91,5	1,59	0,25 a	5,90	0,34	0,25	0,33
NA	92,6	1,65	0,20 b	6,60	0,38	0,22	0,32
UREIA	94,4	1,43	0,26 a	6,73	0,36	0,22	0,39
Média	93,3	1,50	0,22	6,19	0,36	0,20	0,33
Valor F	$0,34^{ns}$	$1,03^{ns}$	2,97**	$1,06^{ns}$	$0,87^{ns}$	$1,9^{ns}$	$0,9^{ns}$
CV (%)	17,6	20,4	19,32	20,7	20,1	21,63	24,16

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,10). *,**,*** significativo, respectivamente, a 10%, 5% e 1% de probabilidade.(TESTE:testemunha; AJI: Ajifer®; S A: sulfato de amônio CA: cloreto de amônio; NA: nitrato de amônio; NITRO: Nitromag™;)

Coelho et al. (2006), avaliou o cloreto de amônio comparando com ureia e bicarbonato de amônio sobre duas formas de aplicação na cultura do milho. A ureia e o bicarbonato de amônio apresentaram eficiência agronômica inferior à do cloreto de amônio, quando aplicados na superfície do solo. Mas, quando incorporou o efeito dessas fontes foram similares.

O potencial agrícola de utilização do cloreto de amônio como fonte de nitrogênio foi demonstrado por Vieira (2009), em experimento de campo com cana-de-açúcar, em que foi aplicado cloreto nas doses de 60, 120 e 180 kg ha^{-1} de N. Vieira (2009) concluiu que o cloreto de amônio em altas doses pode reduzir a produtividade devido ao feito tóxico do íon cloreto, embora em menores doses o cloreto de amônio apresentou a mesma eficiência agronômica e viabilidade econômica das fontes nitrogenadas tradicionalmente utilizadas pelo setor canavieiro, não apresentando retorno econômico a partir da dose de 120 kg ha^{-1} de N.

No LVe ficou evidente a resposta da cana soca à adubação nitrogenada. Os tratamentos com ureia, nitrato de amônio e Ajifer® produziram, na média, 26, 24 e 20% a mais em comparação com a testemunha, apesar de não apresentar diferença estatística, exceto o Nitromag™. A resposta da cana soca à adubação com N é alta e relatada por diversos autores (ORLANDO FILHO et al.,1999; TRIVELIN,2000; VITTI, 2003; VIEIRA, 2008). O nitrogênio é fator determinante na produtividade e longevidade do canavial, influenciando no perfilhamento e desenvolvimento da cultura (CARNAÚBA,1990; TRIVELIN,2000; VITTI, 2003; VIEIRA, 2008).

No LVd, apesar do uso de fertilização nitrogenada com Ajifer® ter aumentado a produtividade média em 10 Mg ha^{-1} a mais, não houve diferença estatística entre fontes. Entre os tratamentos, na média, a ureia apresentou produtividade de colmos equivalente a demais fontes nitrogenadas e testemunha. Mariano (2010) estimou que mais de 25% do N da ureia foi perdido por volatilização de amônia. Esta perda normalmente ocorre quando a fonte é aplicada superficialmente sobre a palhada, por ação da urease.

Existem diversas razões pela ausência de resposta à adubação nitrogenada neste solo: o uso de vinhaça e torta de filtro na cana planta é uma das possibilidades. A

vinhaça é um subproduto da indústria sulcroalcooleira e apresenta composição muito variável em função da sua origem e da qualidade da cana-de-açúcar. Em uma mesma unidade, ocorrem variações durante a safra, diferenças de cultivares, tipos de solos, época de colheita, todos esses são fatores que interferem na composição da vinhaça (ROSSETO et al., 2010). Sabe-se que a vinhaça é uma fonte de potássio e pode variar em concentração de 814 mg L^{-1} até 3.852 mg L^{-1}, elevando o teor de K no solo (ROSSETO et al., 2010). Além de K, a vinhaça é também composta por N-orgânico, variando a concentração de 90 mg L^{-1} até 885 mg L^{-1}(ROSSETO et al., 2010). Com base nesta informação, a aplicação de 150 m^3 ha^{-1} ano^{-1} pode adicionar ao solo de 13,5 a 135 kg ha^{-1} ano^{-1} de N. Apesar do baixo teor de N, se aplicada em doses elevadas, ou mesmo, associado ao uso contínuo por diversos anos, os solos podem ter aumentados seus teores de K e N, o que provavelmente pode ter ocorrido no LVd (Tabela 1). Além disso, pode ocorrer a elevação da CTC, favorecer a mineralização da matéria orgânica dos solos. Mariano (2010) observou intenso potencial de mineralização de N desse solo. Os valores mostraram que o N mineralizado acumulado em 32 semanas de incubação aeróbia variou de 225 a 411 kg ha^{-1} na camada de 0-60 cm.

Apesar do experimento no solo LVd ser em cana soca, deve ser lembrado que na cana planta foi adicionado 30 Mg ha^{-1} de torta de filtro no fundo do sulco de plantio. O uso da torta de filtro pode apresentar um efeito residual, mesmo apresentando alto teor de matéria orgânica compostável, com relação C: N próxima de 20. Detecta-se ainda na composição, presença de N em torno de 13,8 g kg^{-1} (ROSSETO et al., 2010). São vários os benefícios de uso da torta: Auxilia na retenção de água, fonte de matéria orgânica, reduz a fixação de fósforo, aumento da CTC e auxilia na mineralização da matéria orgânica do solo (ROSSETO et al., 2010).

A outra possibilidade para explicar a ausência de resposta à adubação nitrogenada no LVd está na ocorrência de fixação biológica de nitrogênio, isto é a contribuição de bactérias de vidas livres no solo ou associada à cana-de-açúcar capturando N_2 do ar atmosférico para a nutrição da planta (URQUIAGA et al., 1992; BODDEY et al., 2001). Polidoro et al.(2001) obtiveram 13% e 45% de N proveniente da fixação biológica, na cultivar RB72454, em diferentes locais e regiões.

Conforme apresentado anteriormente, são diversos os fatores que podem explicar à ausência de resposta à adubação nitrogenada no LVd. Além disso, é importante ressaltar que na região de Piracicaba/SP onde foi instalado o presente experimento, houve severa infestação de ferrugem alaranjada (*Puccinia kuehnii*), tendo em vista o clima úmido e quente predominante entre os meses de setembro de 2009 a março de 2010, com média mensal de 206 mm de chuva e temperatura de aproximadamente 30°C (Figura 1a). Nessa época ocorreu o máximo desenvolvimento vegetativo da cultura, que favoreceu o desenvolvimento do fungo, causando, como fator limitante, a elevação do coeficiente de variação e da diferença mínima significativa, não sendo possível detectar diferença entre os tratamentos, proporcionando a queda da média de produtividade do ensaio experimental.

Pelos resultados da literatura nota-se que as exigências dos nutrientes para cana-de-açúcar são variáveis (ORLANDO FILHO, 1980; FRANCO, 2008; OLIVEIRA, 2011). Diversos fatores interferem na exigência da cultura: tipo de solo, cultivares, manejo, época de plantio, tratos culturais. Contudo, as variações observadas não são extremas (Tabela 11), exceto o K no LVd. Para N no LVe os valores obtidos quando se usou o nitrato de amônio variaram de 1,31 a 1,61 kg Mg^{-1} na testemunha. Esta diferença se deveu a elevada produtividade quando usou a fonte nitrogenada, acumulando menos N e produzindo mais colmo, e aumentando a eficiência do uso de N. No LVd, não houve diferença entre tratamentos sendo a média entre os tratamentos de 1,5 kg Mg^{-1} de N. Oliveira et al., (2010) no cultivar SP81- 3250 em sistema de cana irrigada observou a necessidade de 1,04 kg Mg^{-1} de N . Os valores corroboram com Coleti et al., (2006) ao estudar as cultivares SP 81-3250 e RB835486 e verificaram que para a produção de 1 TCH é necessário 1,4 e 1,2 kg ha^{-1} de N.

A demanda por P variou entre tratamentos nos dois tipos de solos. No LVd, para a produção de 1 TCH com o sulfato de amônio foi de 0,17 kg Mg^{-1}, diferenciando do tratamento com ureia (0,26 kg Mg^{-1}). No LVe, também houve diferença, apresentado-se com valores mais baixo e variando de 0,17 kg Mg^{-1} na testemunha até 0,12 kg Mg^{-1} quando adubado com nitrato de amônio. Estes baixos valores para P confirmam a baixa exigência do nutriente pela cultura (FRANCO, 2008; OLIVEIRA, 2011). Oliveira et al. (2010) relataram a necessidade em 0,13 kg Mg^{-1} de P, na média de dez cultivares.

Já o K é o nutriente mais extraído pela cultura. A demanda de K pela cana-de-açúcar nos dois solos foi elevada. No LVe, os teores variaram de 1,78 a 3,68 kg Mg^{-1} entre nitrato de amônio e testemunha, respectivamente. No LVd, não houve efeito de tratamentos, sendo a média para produção de 1TCH de 6,19 kg de K. Um valor extremamente elevado e considerado “consumo de luxo”, devido ao teor no solo (Tabela 1). Os resultados deste trabalho para o LVd quando comparando com outros autores são elevados. Oliveira et al. (2010) ao comparar extração de K em 10 cultivares de cana-de-açúcar, concluiu que a cultivar SP79- 1011 é mais exigente, extraindo 2,58 kg^{-1} Mg^{-1}. Coleti et al. (2006) quantificou a necessidade de 1,7 kg Mg^{-1} no cultivar SP 81-3250.

A necessidade de Ca e Mg variaram pouco entre os tratamentos e não apresentaram diferença. Para se produzir 1 TCH são necessários, em médias, 0,48 e 0,23 de Ca e Mg, respectivamente. No LVe verificou-se a maior necessidade de Ca, devido ao efeito do K no solo, já comentado anteriormente. Observou-se baixa necessidade de Ca quando comparado com outros resultados. Oliveira (2011) obteve valores 0,87 e 0,37 kg Mg^{-1}, de Ca e Mg, respectivamente. A exigência de S não variou entre solos, sendo necessário para produzir cada tonelada de cana em torno de 33 kg de S. Thangavelu et al. (2006) estudando a extração em clones promissores de cana-de-açúcar observou a extração média de 0,27 kg Mg^{-1}, nas condições edafoclimáticas da Índia. Exigência semelhante encontrada por Oliveira (2011), trabalhando com dois solos e média de três soqueiras, constatou valores de 0,27 kg Mg^{-1}.

Observou-se que as exigências para macronutrientes encontradas neste estudo foram semelhantes aos resultados de outros trabalhos de pesquisa, sendo que a cana apresentou maior exigência por K e N. Foi observado também baixos valores para Ca e Mg, e P, devido à fertilidade do solo. Quanto ao S, os valores são semelhantes, uma vez que o nível disponível nos solos encontrava-se alto.

5 CONCLUSÕES

1- A adubação nitrogenada promoveu maior incremento de fitomassa na cana-de-açúcar. O tratamento com a fonte Nitromag^{TM} no LVe e o tratamento com o Ajifer no LVd foram os que influenciaram em maior acúmulo de fitomassa da cana-de-açúcar.
2- O acúmulo de N antecipou ao acúmulo de fitomassa da parte aérea. A taxa máxima de acúmulo de N ocorreu em média aos 165 DAC nos dois solos, enquanto que o máximo acúmulo de fitomassa ocorreu aos 210 DAC.
3- As fontes nitrogenadas influenciaram na marcha de absorção e no acúmulo de macronutrientes.
4- A ordem média de extração foi: K>N>Ca>S>Mg>P no LVd e LVe. Sendo que 23, 50, 32, 56, 53 e 53% no LVe e 76, 46, 21, 56, 37 e 57% no LVd, respectivamente, dos nutrientes foram exportado pelo colmo.
5- A cana-de-açúcar respondeu à adubação nitrogenada no LVe; o tratamento com Nitromag^{TM} produziu 33 Mg ha^{-1} a mais de colmos em relação aos tratamentos testemunha e ao cloreto de amônio.
6- A exigência nutricional da cana-de-açúcar no LVe para produzir 1 TCH foi de 1,45; 0,14; 2,44; 0,61; 0,26 e 0,33 kg Mg^{-1}, respectivamente para N, P, K, Ca, Mg e S. Enquanto que no LVd para produzir 1 TCH a exigência foi de 1,5; 0,22; 6,19; 0,36; 0,20; 0,33, respectivamente para N, P, K, Ca, Mg e S.
7- O teores de P, K, Ca e Mg no solo afetaram diretamente o acúmulo desses nutrientes na planta, aumentando a extração e exportação.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conhecimento do manejo da adubação nitrogenada na cultura da cana-de-açúcar é de extrema importância, visto que o nitrogênio é um nutriente muito dinâmico, seja no solo ou na planta, sofrendo diversas transformações. Na cana-de-açúcar o N influencia diretamente na taxa fotossintética, por estar diretamente relacionado a atividade das enzimas fixadoras de CO^2: PEPcase e RuBisco, e por conseguinte no desenvolvimento e crescimento vegetal, fazendo parte de aminoácidos e proteínas (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; TRIVELIN, 2000). O N aplicado como fertilizante, nas formas amídica, amoniacal ou nítrica pode estar sujeito a diversas perdas, tais como: volatilização de amônia, lixiviação de nitrato e de formas amídicas como a ureia e por volatilização de N_2 e N_2O na nitrificação, desnitrificação e perdas por amônia na parte aérea da planta (TRIVELIN, 2000; CANTARELLA et al., 2008; MARIANO,2010)

Ao se conhecer a marcha de absorção de nutrientes da cultura, foi possível identificar em qual época a cultura apresentou maior demanda pelos macronutrientes. A cana de açúcar apresentou no ciclo agrícola de soqueira três fases de crescimento, sendo que no início, até por volta dos 120 DAC, foi de crescimento lento, dos 120 DAC até os 250 DAC ocorreu a fase de máximo crescimento, acumulando a cana-de-açúcar mais de 80% da fitomassa e com antecipação no maior acúmulo de nutrientes; essa época foi coincidente com a estação de boas condições climáticas (temperatura, disponibilidade de água e luminosidade). Na última fase, dos 250 DAC até aos 340 DAC, foi a fase de maturação e acúmulo de açúcar (MACHADO, 1982; GAVA et al., 2001). Ao analisar esses dados é possível estabelecer qual será a melhor época para se adubar, ou seja, previamente a fase de máximo crescimento, quando (a cana-de-açúcar passa pelos pelas fases de taxas máximas de absorção e acúmulo dos macronutrientes) e qual a quantidade certa de adubo a se aplicar, a fim de atender suas necessidades nutricionais e dessa forma aumentar a eficiência agronômica da adubação nitrogenada.

Os acúmulos de fitomassa foram influenciados pela adubação nitrogenada, sendo que no LVe o tratamento que se destacou e acumulou maior quantidade de fitomassa

foi o Nitromag™ na ordem de 45 Mg ha^{-1}, e como conseqüência resultou em maior produtividade de colmos 110 Mg ha^{-1}. No LVd o tratamento com Ajifer acumulou 30 Mg ha^{-1} de fitomassa e 103 Mg ha^{-1} de colmo.

No estudo realizado foi possível verificar a importância dos resultados de análises de solos. O teor de K no solo interferiu diretamente no acúmulo de nutrientes nas plantas. No LVd, com teor no solo de aproximadamente 4 $mmol_c$ dm^{-3} de K, a cana-de-açúcar apresentou acúmulo médio de 571 kg ha^{-1}. Além disso, o excesso de K influenciou negativamente no acúmulo de Ca e Mg. Em complemento foi possível identificar que a adubação com Nitromag™ e Ajifer® se destacaram em relação às demais fontes de N, especialmente por não resultar em perdas de N por volatilização da amônia além de possibilitar o aporte ao sistema de outros nutrientes em adição ao N.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration:** guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).

AYERS, R.S.;WESTCOT,D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande; UFPB, 1991, 218 P (Estudos FAO, Irrigação e Drenagem, 29).

AZEREDO, D.F.; BOLSANELLO, J.; WEBER, H.; VIEIRA, J.R. Nitrogênio em cana-dea-çúcar – Doses e fracionamento. **STAB,** Piracicaba, v.4, n.5**,** p. 26-33, 1986.

BARRETO, H.J. WESTERMAN, R.L. Soil urease activity in winter wheat residue management systems. **Soil Science Society America. Journal**, Madison, v.53, p.1455-1458, 1989.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk Density. In: KLUTE A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Pt. 1: Physical and mineralogical methods. 2nd ed. Madison: ASA, SSSA, 1986. p.363-376. (Agronomy Series, 9)

BODDEY, R.M.; POLIDORO, J.C.; RESENDE, A.S.; ALVES, B.J.R.;URQUIAGA, S. Use of the 15N natural abundance technique for the quantification of the contribution of N2 fixation to sugar cane and other grasses. **Australian Journal of Plant Physiol**ogy, Melbourne, v. 28, p. 1-7, 2001.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVARES, V.; V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L.(Org.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa:Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.375-470.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O.; CONTIM, T.L.M.; DIAS, F.L.F.; ROSSETTO, R.; MARCELINO, R.; COIMBRA, R.B.; QUAGGIO, J.A. Ammonia volatilisation from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola**,Piracicaba, v.65, p.397-401, 2008.

CANTARUTTI, R.B.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; CASSINI, S.T. Cinética de mineralização do N contido na palha de *Desmodium ovalifolium* CV. Itabela. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996. Águas de Lindóia. **Solo-Suelo 96**: trabalhos. Piracicaba: SBCS/SLCS, 1996. 1 CD-ROM

CARNAÚBA, B.A.A. O nitrogênio e a cana-de-açúcar. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.8, n.3/4. p.24-41, jan/abr. 1990.

CASOTI, R. O.**Adubação nitrogenada e potássica na cultura da cana-de-açúcar e seus efeitos na produção e qualidade nutricional.** 2008. 53 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Faculdade de Odontologia e Curso de Medicina Veterinária, Universidade Estadual Paulista " Julio de Mesquita Filho", 2008.

CHAPOLA, R.G.; HOFFMANN, H.P.; BASSINELLO, A.I.; FERNANDES JUNIOR, A.R.; VIEIRA M.A.S.; SCHIAVINATO, S.R. Censo Varietal 2010 de Cana-de-açúcar nos Estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul. STAB**-Açúcar, Álcool e Subprodutos,** Piracicaba, v.29, n.3, p.42-45 2011.

CHIEN, S.H.; PROCHNOW, L.I.; CANTARELLA, H. Recent developments of fertilizer production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmental impacts.**Advances in Agronomy**, San Diego, v. 102, p. 267-322, 2009.

COELHO, A.M.; RIBEIRO, B.N; RESENDE, F.A.; TEIXEIRA, Z.K. **Eficiência agronômica do cloreto de amônio e do bicarbonato de amônio como fontes de nitrogênio para a cultura do milho.** 6 p. 2006.(Comunicado Técnico Embrapa ,136).

COALE, F.J.; SANCHEZ, C.A.; IZUNO, F.T.; BOTTCHER, A.B. Nutrient accumulation and removal by sugar cane grown on everglades histosols. **Agronomy Journal,** Madison, v.85, p. 310-315, 1993.

COLETI , J . T. ; CASA GRANDE , 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**, 24:32-36, 2006.

COMPANHA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira**: cana-de-açúcar,safra 2010/2011- terceiro levantamento. Brasília, 2011 18p.

COPLANA - Cooperativa dos Plantadores de Cana da Zona de Guariba. Disponível em: <http://www.coplana.com/gxpsites/hgxpp001.aspx?1,5,316,O,P,0,MNU;E;32;5;MNU;,>. Acesso em: 15 jun.2011.

COSTA, M.C.G.; VITTI, G.C.; CANTARELLA, H.. Volatilização de N-NH_3 de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.631-637, 2003.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yields response to water**. Rome: FAO, 1979. 306p. (FAO: Irrigation and Drainage Paper, 33).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas:** princípios e perspectivas. Londrina: Editora Planta, 2006. 403p.

ESPIRONELO, A.; RAIJ, B. van; PENATTI, C.P.; CANTARELLA, H.; MORELLI, J.L.;ORLANDO FILHO, J.; LANDELL, M.G.A.; ROSSETTO, R. Cana-de-açúcar. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** Campinas: Fundação IAC, 1997.p. 237-239. (IAC. Boletim Técnico, 100)

FRANCO, H.C.J. **Eficiência agronômica da adubação nitrogenada na cana planta.** 2008 190 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

FRANCO, H.C.J.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; OTTO, R.; FARONI, C.E.; SARTORI, R.H.;TRIVELIN, M.O. Acúmulo de nutrientes pela canaplanta. **STAB Açúcar, Álcool Subprodutos**., Piracicaba, v. 26, p.47-51, 2008.

FRANCO, H.C.J. ; OTTO, R. ; FARONI, C.E. ; VITTI, A.C. ; OLIVEIRA, E.C.A ; TRIVELIN, P.C.O. Nitrogen in sugarcane derived from fertilizer in Brazilian field conditions. **Field Crops Research**, Amsterdan, v. 121, p. 29-41, 2011.

GAVA , G.J.C.; TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.W.; PENATTI, C.P. Crescimento e acúmulo de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em solo coberto com palhada. **Pesquisa Agropecuária Bras**ileira, Brasília, v.36, p. 1347-1354, 2001.

GOMES, J.F. **Produção de colmos e exportação de macronutrientes primário por cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*)**.2003. 65 p. Dissertação (Mestrado Solos e Nutriçaõ de Plantas), - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

HEERDEN, P.D.R. van; DONALDSON, R.A; WATT, D.A.; SINGELS, A. Biomass accumulation in sugarcane: unraveling the factors underpinning reduced growth phenomena. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.61,n.11, p.2877-2887, 2010.

LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; BENDASSOLLI, J.A.; SANTANA, D.G.; GASCHO, G.J. Calibration of a semi-open static collector for determination of ammonia volatilization from nitrogen fertilizers. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.30, p.389-406, 1999.

LIU, D.L.; KINGSTON, G.; BULL T.A. A new technique for determining the thermal parameters of phonological development in sugarcane, including sub optimum and supra-optimum temperature regimes. **Agricultural and Forest Meteorology,** Amsterdan,v. 90, p.119-139,1998.

LOUREIRO,L.; MELAMED R.; NETO J.F. **Fertilizantes**: agroindústria e sustentabilidade. Rio de Janeiro: CETEM/MCT,2009. 645 p

LUCCHESI, A.A. Utilização prática da análise de crescimento vegetal. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v.41, p.181-201, 1984.

MACHADO, E.C.; PEREIRA, A.R.; FAHL, J.I.; ARRUDA, H.V.; CIONE, J. Índices biométricos de duas variedades de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**,Brasília, v.17, n.9, p.1323-1329, 1982

MACHADO, R.S.; RIBEIRO R. V.; MARCHIORI, P.E.R; MACHADO, D.F.S.P.; MACHADO, E.C.; LANDELL, M.G.A;Respostas biométricas e fisiológicas ao deficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuária Bra**sileira, Brasília, v. 44, n. 12, p. 1118-1126, dez. 2009.

MARIANO, E. **Mineralização e disponibilidade de nitrogênio em solos cultivados com cana-de-açúcar**. 2010. 92p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo,Piracicaba, 2010.

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

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MATTSSON, M.; HUSTED, S.; SCHJOERRING, J.K. Influence of nutrition and metabolism on ammonia volatilization in plants. **Nutrient Cycling in Agroecosystem,** London, v. 51,p.35–40, 1998.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. 5th ed. Dordrecht: Kluwer Academic, 2001. 849 p.

OLIVEIRA, E.C.A.; FREIRE, F.J.; OLIVEIRA R.I; FREIRE, M.B.G.S.; NETO, D.E.S.; SILVA A.M.S. Extração e exportação de nutrientes por variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa , v. 34, n. 4, p 1343-1352, 2010.

OLIVEIRA, M.W; TRIVELIN, P.C.O.; PENATTI, C.P. PICCOLO, M.C. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de cana-de-açúcar em campo **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.12, p. 2359-2362,1999.

OLIVEIRA, E.C.A. **Balanço nutricional da cana-de-açúcar relacionada à adubação nitrogenada**, 2011. 213p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

OLIVEIRA, E.C.A. ; OLIVEIRA, R.I. ; ANDRADE, B.M.T. ; FREIRE, F.J ; LIRA JUNIOR, M.A. ; SIMÕES NETO, D.E. Crescimento e acúmulo de matéria seca em variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** (Online), v. 14, p. 951-960, 2010.

ORLANDO FILHO, J**. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil.** Piracicaba:IAA/PLANALSUCAR. Superintendência geral, 1983. 369p.

ORLANDO FILHO, J.; RODELLA, A.A.; BELTRAME, J.A.; LAVORENTI, N.A.; Doses, fontes e formas de aplicação de nitrogênio em cana-de-açúcar, **STAB**,Piracicaba, v.**17,** p. 39–41, 1999.

POLIDORO J.C.; RESENDE A.S.; QUESADA D.M.;XAVIER R.P.; COELHO C.H.M.; ALVES B.J.R.;BODDEY R.M.; URQUIAGA, S**. Levantamento da contribuição da fixação biológica de nitrogênio (FBN) para a cultura cana-de-açúcar no Brasil.** Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2001. p.26. (Documentos, 144).

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1997. 285p

RAIJ, B. VAN; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285 p.

RIBEIRO, H. Queimadas de cana-de-açúcar no Brasil: efeitos à saúde respiratória. **Revista Saúde Pública**, São Paulo, v. 42 n. 2, p. 370-376, abr, 2008.

ROBINSON, N.; BRACKIN R.; VINALL K.; SOPER, F.; HOLST, J.; GAMAGE, H.; RENNENBERG H.; LAKSHMANAN P.; SCHMIDT S. Nitrate Paradigm Does Not Hold Up for Sugarcane. **Plos One**.v.6(4) e19045; 2011.Disponível em: http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0019045 Acesso em: 12 de junho de 2011.

ROLIM, G.S.; SENTELHAS, P.C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL™ para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 133-137, 1998.

ROSSETO, R.; DIAS, F.L.F.; VITTI, A.C.; CANTARELLA, H.; LANDELL, M.G.A.; Manejo conservacionista e reciclagem de nutrientes em cana-de-açúcar tendo em vista a colheita mecânica. **Informações agronômicas,** n.124, 2008.

ROSSETO R.; CANTARELLA, H.; DIAS, F.L.F.; VITTI, A.C; TAVARES S. Cana-de-açúcar. In: PROCHNOW, L.I; CASARIN, V.; STIPP, S.R.; (Org.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes-Culturas**. IPNI-Brasil, 2010. v.3 p.163-221.

SCHULTZ, N.; LIMA, E.; PEREIRA, M.G.; ZONTA, E. Efeito residual da adubação na cana-planta e da adubação nitrogenada e potássica na cana-soca colhidas com e sem a queima da palhada. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa,v. 34, n. 3, June 2010.

SEGATO, S.V.; PINTO, A.S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: Gráfica Prol, 2006. 415p.

SMIT, M.A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crop Research,** Amsterdan, v. 98, p. 91-97, 2006.

SOARES, L.H.B.;ALVES, B.J.R;URQUIAGA, S.S.C;BODDEY,R.M. **Mitigação das emissões de gases efeito estufa pelo uso de etanol da cana-de-açúcar produzido no Brasil**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, 2009. 27p. (Circular Técnica)

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to Soil Taxonomy.**11th ed. Washington, DC. :USDA-Natural Resources Conservation Service, 2010. 344p.

THANGAVELU, S.; RAO, K.C.I; Calcium, magnesium and sulphur uptake above ground parts in intergeneric hybrids. **SugarTechnology,** Coimbatore,v.6, p.25-33, 2004.

THANGAVELU, S.; RAO, K. C.I Sulphur uptake by sugarcane genetic stocks and its relationship with the uptake of other nutrients, and sugar productivity. **SugarTechnology** Coimbatore,v. 8 (1) p. 143 147, 2006.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (Publications in Climatology,v.8, n.1).

TRIVELIN, P.C.O.; LARA CABEZAS, W.A.R.; VICTORIA, R.L.; REICHARDT, K. Evaluation of a 15N plot design for estimating plant recovery of fertilizer nitrogen applied to sugar cane. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.51, n.2, p.226-234, 1994.

TRIVELIN, P.C.O. **Utilização do nitrogênio pela cana-de-açúcar:três casos estudados com o traçado 15N.** 2000 143p, Tese (Livre-docência em Isótopos Estáveis)-Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.W.; VITTI, A.C.; GAVA, G.J.C.;BENDASSOLLI, J.A. Perdas de nitrogênio da uréia no sistema solo-planta em dois ciclos de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.2, p.193-201, 2002.

UEHARA, N.;SASAKI, N.; AOKI, N.;OHSUG, R. Effects of the temperature lowered in the daytime and night-time on sugar accumulation in sugarcane. **Plant Production Science,** Kyouritsu**,** v.12, n. 4, p.420-427, 2009.

UNIAO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. Safra 2010/2011, Disponível em: **<http://www.unica.com.br/opiniao/show.asp?msgCode=D4975F4F-9953-4541-8C87-980E462214CD.>** Acesso em: 20 maio 2010.

URQUIAGA, S.; ZAPATA, F. **Manejo eficiente de la fertilización nitrogenada de cultivos anuales en América Latina y el Caribe**. Porto Alegre: Gênesis, 2000. 110p.

URQUIAGA, S.; CRUZ, K.H.S.; BODDEY, R.M. Contribution of nitrogen fixation to sugar cane: Nitrogen 15 and nitrogen balance estimates. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.56, p.105-114, 1992.

VIEIRA, M.X. **Eficiência agronômica da adubação de soqueira de cana-de-açúcar com cloreto de amônio.** 2009. 134p. Dissertação (Mestrado na área de Solos e

Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

VIEIRA, M.X; TRIVELIN, P.C.O.; FRANCO,H.C.J; OTTO, R.; FARONI' C.E;. Ammonium chloride as nitrogen source in sugarcane harvested without burning. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 4, 1165-1174, ago. 2010.

VITTI, A.C. **Adubação nitrogenada da cana-de-açúcar (soqueira) colhida mecanicamente sem a queima prévia**: Manejo e efeito na produtividade. 2003. 114p.Tese (Doutorado na área de Energia Nuclear na agricultura) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura ,Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

VITTI, A.C. ; TRIVELIN, P.C.O. ; GAVA, G.J.C. ; PENATTI, C.P. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada à localização de adubos nitrogenados sobre a palha. **STAB. Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil**, Piracicaba, v. 23, n. 5, p. 30-35, 2005.

WANG, Z.; LIU, X.; JU, X.; ZHANG, F.; MALHI, S.S. Ammonia volatilization loss from surface-broadcast urea: comparison of vented and closed-chamber methods and loss in winter wheat-summer maize rotation in North China Plain. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.35, p.2917-2939, 2004.

WOOD, A.W.; MUCHOW, R.C.; ROBERTSON, M.J. Growth of sugarcane under high input conditions in tropical Australia. Accumulation, partitioning and use of nitrogen, **Field Crops Research,** Madison v.48,p. 223–233, 1996.

ZULLO, J.J.; ARRUDA, F.B. Programa computacional para ajuste de equações em dados experimentais. Campinas: **Instituto Agronômico**, 1987. 31 p. (IAC. Boletim Técnico, 113).