

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”
Centro de Energia Nuclear na Agricultura**

Balanço nutricional da cana-de-açúcar relacionado à adubação nitrogenada

Emídio Cantídio Almeida de Oliveira

**Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de
Plantas**

**Piracicaba
2011**

Emídio Cantídio Almeida de Oliveira
Engenheiro Agrônomo

Balanço nutricional da cana-de-açúcar relacionado à adubação nitrogenada

Orientador:
Prof. Dr. PAULO CESAR OCHEUZE TRIVELIN

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

Piracicaba
2011

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

Oliveira, Emídio Cantídio Almeida de
Balanço nutricional da cana-de-açúcar relacionado à adubação nitrogenada / Emídio
Cantídio Almeida de Oliveira. - - Piracicaba, 2011.
213 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2011.

1. Adubação 2. Cana-de-açúcar 3. Macronutrientes 4. Micronutrientes 5. Nitrogênio
Nutrientes I. Título

CDD 633.61
O48b

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

*Aos meus pais Emídio e Edelnora,
pela construção e consolidação de nossa família,
e por tudo que fizeram e por tudo que sou;*

*As minhas irmãs Amanda e Marsha,
pelo carinho, apoio irrestrito e incentivo em todos
os momentos de minha vida;*

*Ao meu amigo Danilo,
pela nossa amizade sincera;*

*Ao meu sogro Roberto e minha sogra Sidênia,
pelo apoio e carinho em todos os momentos;*

A vocês demonstro minha eterna gratidão.

OFEREÇO

*À minha esposa Maria Gabriela,
pelo companheirismo sem barreiras, pelo carinho e amizade,
por ter aceitado se privar de minha companhia e anseios profissionais pelos meus estudos,
concedendo a mim a oportunidade de realização profissional,
e por saber que estarás sempre ao meu lado.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A **Deus**, pela oportunidade e privilégio de finalizar o doutorado.

Ao Professor Dr. **Paulo Cesar Ocheuze Trivelin**, pela orientação e dedicação no trabalho de tese, pelos ensinamentos, por compartilhar tamanha experiência e principalmente pelo início de uma amizade.

Ao Professor Dr. **Godofredo Cesar Vitti**, pela amizade, ensinamentos concedidos, pela oportunidade de partilhar experiências profissionais e entender o significado do professor na formação profissional.

Ao Professor Dr. **Fernando José Freire**, pelas longas horas de conversa, conselhos e participação direta na minha carreira profissional.

Ao Professor Dr. **Laércio Alves de Carvalho**, pela nossa amizade, oportunidades concedidas e parceria profissional.

Ao Dr. **Glauber José de Castro Gava**, pela colaboração e idéias inovadoras para esse trabalho de tese.

Aos colegas **Rafael Otto, Henrique Franco, Fernando Silva e Marcelo Miranda**, pelo acolhimento, troca de experiências e engrandecimento profissional.

Aos amigos **Áurio Oliveira e Juliana Oliveira; Tiago Garcez e Juliane Garcez; Henrique Franco e Marina Franco** pelos momentos de descontração e amizade.

Aos gestores do Programa de Pós-Graduação de Solos e Nutrição de Plantas (ESALQ/USP), pela oportunidade concedida.

A CAPES e à FAPESP pelas bolsas de estudo concedidas a mim.

À FAPESP pelo apoio financeiro na execução deste projeto de pesquisa.

Às Usinas Santa Adélia, São Martinho e Abengoa Bioenergia pela disponibilidade das áreas experimentais e apoio dos colaboradores de campo.

Ao Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), especialmente aos senhores Claudemir Penatti, José Donzelli, José Forti e Carlos Faroni, nas avaliações e colheitas dos experimentos.

À equipe de pesquisa do projeto CANA PERENE: Dra. Virginia Damin, Dr. Cesar Vitti, Dr. Raul Sartori, Dr. Caio Fortes, Dr. Michele Vieira, MSc. Eduardo Mariano, MSc. José Marcos, MSc. Danilo Alves, Eng. Agr^o Pedro Vieira. Eng. Agr^a Viviane Martins pela convivência e troca de experiências.

Aos estagiários: Tiago Bonassi, Guilherme Torres, Rafael Ascoli, Luiz Tarifa, Maria Estefânia, pelo auxílio no processamento das amostras e convivência diária.

À equipe do Laboratório de Isótopo Estáveis (CENA/USP): Professor Dr. José Alberto Bendassoli, José A. Bonassi (Pingin), Hugo, Miguel, Magda, Bento e Glauco, pela ajuda constante e convívio.

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas.

A todos os meus familiares pelo carinho que me tratam e alegrias que me proporcionam.

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

MUITO OBRIGADO.

*Senhor,
Eu te agradeço pela força das sementes e pela fecundidade das minhas lavouras,
dai-nos a graça de colher os frutos das sementes que plantamos,
derrama, Senhor, a sua bênção sobre nossas lavouras,
ajuda-me a ter sempre disposição para o trabalho, vivendo na família com alegria e fé.
E à noite, Senhor, quando nos reunimos para rezar, permanece conosco, em nossa casa.*

Amém!

SUMÁRIO

RESUMO	11
ABSTRACT	13
1 INTRODUÇÃO	15
Referências	21
2 PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA E ACÚMULO DE NUTRIENTES NOS CICLOS DE CANA PLANTA E CANA SOCA, RELACIONADOS À ADUBAÇÃO NITROGENADA	25
Resumo	25
Abstract	25
2.1 Introdução	26
2.2 Material e Métodos	27
2.3 Resultados e Discussão	39
2.3.1 Produção de Matéria seca	39
2.3.2 Acúmulo de Nitrogênio	46
2.3.3 Acúmulo de Fósforo	50
2.3.4 Acúmulo de Potássio	55
2.3.5 Acúmulo de Cálcio	61
2.3.6 Acúmulo de Magnésio	66
2.3.7 Acúmulo de Enxofre	70
2.3.8 Acúmulo de Macronutrientes: considerações gerais	73
2.3.9 Acúmulo de Micronutrientes	76
2.3.10 Acúmulo de Boro	76
2.3.11 Acúmulo de Cobre	81
2.3.12 Acúmulo de Ferro	86
2.3.13 Acúmulo de Manganês	90
2.3.14 Acúmulo de Zinco	96
2.3.15 Acumulo de Micronutrientes: considerações gerais	100
2.4 Conclusões	103
Referências	104

3 CURVA DE DILUIÇÃO E CONCENTRAÇÃO CRÍTICA DE NITROGÊNIO EM CANA-DE-AÇÚCAR: CANA PLANTA E CANA SOCA.....	109
Resumo.....	109
Abstract	110
3.1 Introdução	110
3.2 Material e Métodos	113
3.2.1 Determinação da curva de diluição crítica de nitrogênio.....	114
3.2.2 Determinação da dose e nível crítico econômico.....	117
3.3 Resultados e Discussão	118
3.3.1 Concentração de nitrogênio	118
3.3.2 Determinação da curva crítica de diluição de N	120
3.3.3 Validação da curva crítica de diluição de N	123
3.3.4 Índice nutricional de nitrogênio	125
3.3.5 Dose e concentração econômica de N.....	127
3.4 Conclusões	132
Referências.....	132
4 COMPARTIMENTAÇÃO E EXIGÊNCIA NUTRICIONAL DA CANA-DE-AÇÚCAR RELACIONADOS À FERTILIZAÇÃO COM DOSES DE NITROGÊNIO	139
Resumo.....	139
Abstract	139
4.1 Introdução	140
4.2 Material e Métodos	142
4.3 Resultados	146
4.3.1 Concentração dos nutrientes nos compartimentos da cana-de-açúcar	146
4.3.2 Produção de matéria seca entre os compartimentos da cana-de-açúcar.....	155
4.3.3 Extração e compartimentação de nutrientes na cana-de-açúcar.....	157
4.3.4 Exigência nutricional da cana-de-açúcar	167
4.4 Conclusões	175
Referências.....	175
5 CONSIDERAÇÕES FINIAIS	183
APÊNDICES.....	185
ANEXOS	199

RESUMO

Balanço nutricional da cana-de-açúcar relacionada à adubação nitrogenada

O manejo eficiente da adubação na cana-de-açúcar tem início com a identificação da exigência nutricional pela cultura. Nesse sentido, foram implantados três experimentos no Estado de São Paulo, sendo o primeiro em Latossolo Vermelho Amarelo eutrófico, o segundo em Latossolo Vermelho eutrófico e o terceiro no Latossolo Vermelho distrófico. Os tratamentos constaram das doses 0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N na cana planta (2005/2006). Na primeira soca (2006/2007) as parcelas referentes aos tratamentos 0 e 120 kg ha⁻¹ de N do ciclo anterior, foram subdivididas e se aplicou 0, 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de N. Na segunda soca (2007/2008) repetiu-se os tratamentos e na terceira soca (2008/2009) se fez uso de dose única com aplicação de 100 kg ha⁻¹ de N. Durante o crescimento da cana planta e primeira soca realizaram-se amostragens da parte aérea e determinou-se a produção de matéria seca, o acúmulo de nutrientes e o nível crítico de nitrogênio em função das doses de N. No final dos ciclos de cana planta e nas três socarias subsequentes realizou-se a separação da parte aérea em colmo, folha seca e ponteiro e da parte subterrânea em raízes e rizomas. Nos compartimentos identificados e separados determinou-se a matéria seca e alocação dos nutrientes. A produção de matéria seca e o acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu e Zn na cana planta e cana soca se ajustaram ao modelo sigmoidal, apresentando três fases distintas, no qual evidenciaram que a absorção desses nutrientes ocorre antecipadamente à produção de matéria seca. O acúmulo de Fe e Mn diferenciou entre os solos e obteve ajustes sigmoidal e polinomial cúbico. A adubação nitrogenada promoveu efeito crescente no acúmulo dos macronutrientes, enquanto que para os micronutrientes as doses de N promoveram ganhos apenas para o B, Fe e Zn na cana planta e B, Fe e Mn na cana soca. A concentração crítica de N na parte aérea da cana planta variou entre 10,4 e 13,6 g kg⁻¹ nos estádios iniciais de crescimento, enquanto que no final do ciclo os valores foram de 3,0 a 4,2 g kg⁻¹. Na cana soca as concentrações críticas iniciais variaram de 9,8 a 14,8 g kg⁻¹ e as encontradas na última amostragem variaram entre 2,0 e 5,5 g kg⁻¹. A ordem de extração dos nutrientes na cana planta foi de K > N > Ca > S > Mg > Fe > P > Mn > Zn > B > Cu e para cana soca a ordem foi de K > N > Ca > Mg > S > P = Fe > Mn > Zn > B > Cu. Para produzir 1 TCH foi exigido extrações médias de N, P, K, Ca, Mg e S na ordem de 1,24, 0,15, 2,69, 0,55, 0,29 e 0,29 kg Mg⁻¹ na cana planta e média de 1,55, 0,21, 3,07, 0,75, 0,36 e 0,38 kg Mg⁻¹ na cana soca, respectivamente. Para B, Cu, Fe, Mn e Zn as exigências na cana planta foram, respectivamente, de 1,91, 0,83, 260,65, 18,12, 2,81 g Mg⁻¹ e na cana soca foi em média de 2,29, 1,02, 169,17, 20,47 e 3,90 g Mg⁻¹.

Palavras-chave: Adubação; Extração; Macronutrientes; Micronutrientes; Nitrogênio; Nutrientes; Nível crítico; *Saccharum* spp.

ABSTRACT

Sugarcane nutritional balance related to nitrogen fertilization

The efficient management of fertilization in sugarcane begins with the identification of the nutritional plant requirement. Accordingly, three experiments were established in the State of Sao Paulo, the first in Typic Eutruxox, the second in a Rhodic Eutruxox and third in the Arenic Kandistults. The treatments consisted of 0, 40, 80 and 120 kg N ha⁻¹ in plant cane cycle (2005/2006). In first ratoon (2006/2007) the portions relating to the treatments 0 and 120 kg N ha⁻¹ of the previous cycle had been subdivided and applied 0, 50, 100 and 150 kg N ha⁻¹. In the second ratoon (2007/2008) repeated the doses and third ratoon (2008/2009) use was made of single dose application of 100 kg N ha⁻¹. During the growth of cane plant and first ratoon held samples of sugarcane above ground and determined the dry matter production, nutrient accumulation and nitrogen critical level as a function of nitrogen doses. At the end of the plant cane and in three subsequent ratoons held the partitioning of sugarcane, through the separation of aerial parts in the stalks, dry leaf and green tops and underground part of the roots and rhizomes. Identified and separated in compartments determined dry matter and nutrients allocation. The dry matter production and accumulation of N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu and Zn in plant cane and first ratoon fitted the sigmoidal model, showing three distinct phases in which showed that absorption of these nutrients occur previously of dry matter production. The accumulation of Fe and Mn differed between the soils and obtained sigmoidal and cubic polynomial fits. The increasing effect of nitrogen fertilization on the accumulation of macronutrients, while the micronutrients, N doses had won only for B, Fe and Zn in plant cane and B, Fe and Mn in first ratoon. The nitrogen critical concentration in aerial parts of cane plant varied between 10,4 and 13,6 g kg⁻¹ in the initial stages of growth, while that at the end of the cycle the values were 3,0 to 4,2 g kg⁻¹. In first ratoon initial nitrogen critical concentrations ranged from 9,8 to 14,8 g kg⁻¹ and those found at the last sampling ranged between 2,0 and 5,5 g kg⁻¹. The order of nutrients build up in plant cane was K > N > Ca > S > Mg > Fe > P > Mn > Zn > B > Cu, and in the first ratoon the order was K > N > Ca > Mg > S > P = Fe > Mn > Zn > B > Cu. To produce 1 TCH was required extractions means of N, P, K, Ca, Mg and S of 1,24, 0,15, 2,69, 0,55, 0,29 and 0,29 kg Mg⁻¹ in the cane plant and average of 1,55, 0,21, 3,07, 0,75, 0,36 and 0,38 kg Mg⁻¹ in the three subsequent ratoons, respectively. For B, Cu, Fe, Mn and Zn requirements in plant cane were, respectively, 1,91, 0,83, 260,65, 18,12, 2,81 g Mg⁻¹ and ratoon average was 2,29, 1,02, 169,17, 20,47 and 3,90 g Mg⁻¹.

Keywords: Critical level; Extraction; Fertilization; Macronutrients; Micronutrients; Nitrogen; Nutrients; *Saccharum* spp

1 INTRODUÇÃO

A descarbonização dos sistemas produtivos com reduções no consumo de combustíveis fósseis, substituindo por fontes energéticas menos poluentes e renováveis, deve partir de todos os setores produtivos, inclusive do agronegócio (ALBUQUERQUE; SILVA, 2008). Neste âmbito, o agronegócio brasileiro atualmente caracterizado pelo conceito de sustentabilidade, com implicações socioeconômicas e de inovações ambientais ativas nos setores agropecuários, agroflorestais e agroindustriais, bem como na agroenergia, apresenta-se favorecido no cenário econômico mundial, com destaque nas projeções do etanol de cana-de-açúcar, que oferece menor gasto energético no processo de produtivo (PIMENTEL; PATZEK, 2007). Cabe-se ainda destacar o fato que mundialmente a cana-de-açúcar plantada no Brasil se destaca pela elevada eficiência fotossintética no ambiente tropical (RODRIGUES, 2004), conferindo alta produtividade de biomassa, de açúcar e aproveitamento ilimitado de seus subprodutos, com vantagens ambientais competitivas frente aos derivados do petróleo.

A evolução tecnológica da agroindústria canavieira nos últimos anos proporcionou aumentos significativos na produção e produtividade dos canaviais brasileiros. Estimativas para a safra 2010/2011 mostraram ser esperado processar 625 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, dos quais serão produzidos em 8,03 milhões de hectares, 38 milhões de toneladas de açúcar e 27 milhões de litros de etanol, conferindo aos canaviais produtividade média de 78 Mg ha⁻¹ de colmos (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2011). Apesar das conquistas numéricas obtidas no campo, a produtividade dos canaviais ainda se encontra abaixo do potencial genético dos cultivares atualmente utilizados, estimado em valores superiores a 300 Mg ha⁻¹ (ALBUQUERQUE; SILVA, 2008).

Dentre os principais fatores que limitam a produtividade dos canaviais brasileiros destacam-se a oferta de nutrientes dos solos e a disponibilidade hídrica. Contudo, nota-se que os cultivares desenvolvidos nos programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar do Brasil mostra-se produtivos e cada vez mais adaptados edafoclimaticamente às regiões produtoras, o que proporcionou modificações em termos nutricionais, indicando a necessidade de nova avaliação das quantidades de nutrientes já estudadas e atualmente empregadas, principalmente, diante da nova realidade do sistema produção, com a intensificação no uso da mecanização e da colheita sem despalha a fogo (“cana crua”), que gera quantidades significativas de resíduos vegetais sobre o solo.

Nesse novo cenário de produção, o conhecimento das exigências minerais da cana-de-açúcar são informações fundamentais que poderão direcionar a novos métodos e formas de adubação mais eficazes, com menos desperdícios e economicamente viáveis (COLETI et al., 2006). Entretanto, pesquisas que atuam na identificação do potencial de extração e exportação de nutrientes em novos cultivares, são esporádicas e pouco consistentes. Atualmente as informações mais detalhadas referem-se aos cultivares Co 419 e CB 41-76, não mais cultivadas pelas unidades sucroalcooleiras (SOBRAL et al., 1983; ORLANDO FILHO; HAAG; ZAMBELLO JUNIOR, 1980) ou de estudos que não consideram a cana-de-açúcar como cultura semiperene, apresentando dados de ciclos anuais de cultivo, o que impossibilita a identificação do balanço nutricional nos diferentes ambientes de produção.

Estudos mais recentes com cultivares de cana-de-açúcar atualmente plantados, constataram diferenças na extração em determinados nutrientes para os diferentes ciclos de produção e nos ambientes os quais foram introduzidos. No trabalho realizado por Franco et al. (2007) em Latossolo Vermelho, mostraram que o acúmulo de nutrientes na parte aérea do cultivar SP81-3250 na colheita de cana planta, apresentou ordem decrescente de: $K > N > Ca > S > Mg > P$. Por outro lado Coleti et al. (2006) estudando os cultivares RB835486 e a SP81-3250, em dois Argissolos Vermelhos, constataram para cana planta, ordem de extração dos macronutrientes de: $K > N > S > P > Mg > Ca$ e na cana-soca de: $K > N > P > Mg > S > Ca$. Em cultivar mais antigo e menos produtivo como a CB41-76, cultivado em dois Latossolos Vermelhos, como também, em Argissolo Vermelho, a exigência por macronutrientes não seguiu o mesmo padrão das variedades atualmente plantadas, obtendo-se na cana planta e cana soca a ordem de extração de: $K > N > Ca > Mg > S > P$ (ORLANDO FILHO; HAAG; ZAMBELLO JUNIOR, 1980).

A análise mais exata da exigência nutricional da cana-de-açúcar pode ser obtida com a identificação da demanda por nutrientes durante o desenvolvimento da cultura, bem como sua distribuição e alocação nos componentes da planta, como: raiz, rizoma, colmo, folha seca e ponteiro, proporcionando melhor contribuição para o entendimento da capacidade produtiva dos novos cultivares (BARBOSA et al., 2002). A alocação dos nutrientes em partes exportáveis da planta (que não retornarão ao solo), como o colmo da cana-de-açúcar permite estimar a quantidade de nutriente exportado pela cultura o qual será necessário ser repostado para suprir uma futura necessidade nos próximos ciclos de cultivo. Pesquisas

realizadas em diversas regiões do Brasil mostram que o acúmulo médio de N, P, K, Ca e Mg no colmo da cana-de-açúcar corresponderam a 59, 55, 51, 61 e 74 %, respectivamente, do total extraído pela parte aérea da planta (OLIVEIRA et al., 2010; SILVA, 2007; GAVA et al., 2001; KORNDORFER et al., 1997).

Atualmente, os trabalhos que identificam a alocação de nutrientes nos componentes da cana-de-açúcar, visam contabilizar o total de nutrientes extraídos e exportados pela cultura. Todavia, a relação do teor do nutriente nos colmos industrializáveis com a qualidade tecnológica do caldo, não vem sendo levado em consideração e muitas vezes esquecidos. Adubações que promovam baixos teores de P no caldo, por exemplo, induz a baixa precipitação e remoção de impurezas, e conseqüentemente baixa clarificação do caldo, tornando o açúcar produzido mais escuro, proporcionando custo mais elevado no processo industrial de clarificação do caldo (KORNDORFER et al., 1992). Relatos científicos mostram a influência do K no transporte da sacarose produzida nas folhas para o colmo, indicando que a deficiência de K pode reduzir drasticamente a translocação de sacarose no floema devido à sua influência no crescimento, fotossíntese ou teor de umidade (RODRIGUES, 1995). O emprego de altos níveis de adubação nitrogenada, comumente eleva o teor de nitrogênio (N) nos tecidos da cana-de-açúcar, induzindo ao crescimento vegetativo, o que resulta em colmos com maior teor de umidade e menor de sacarose (FRITZ, 1974).

O rendimento agrícola e industrial afetado pela adubação pode estar relacionado com o incremento ou diminuição nos teores dos nutrientes nos tecidos da cana-de-açúcar (KORNDORFER et al., 1992). Assim, adubações, como a nitrogenada, destacam-se como uma das práticas culturais mais estudadas na cultura da cana-de-açúcar, visto que todos os estudos sobre resposta dessa cultura ao nitrogênio apresentam resultados variáveis e muitas vezes até contraditórios (KORNDORFER et al., 2002). Embora a cultura da cana-de-açúcar apresente-se exigente em N, inúmeros trabalhos encontrados na literatura que avaliam o efeito de doses, fontes e formas de aplicação de N, mostram que são poucos os casos, em que se encontra resposta à adubação nitrogenada para cana planta, enquanto a cana soca apresenta maiores possibilidades de respostas positivas a essa adubação (ORLANDO FILHO et al., 1999; CARNAÚBA, 1990; ZAMBELO JUNIOR; ORLANDO FILHO, 1981).

O motivo da baixa resposta em produtividade de colmos na cana planta a fertilização nitrogenada, vem sendo atribuído, por vários pesquisadores, à capacidade de fixação do N

atmosférico por microrganismos, sistema radicular mais vigoroso abrangendo um maior volume de solo, absorção de amônia da atmosfera e absorção do nitrato pelas raízes mais profundas (KORNDOFFER et al., 2002; TRIVELIN, 2000). Contudo, é de comum acordo no meio científico que a quantidade de N mineralizado após as operações de preparo do solo na renovação do canavial, vem sendo uma das principais fontes de N para planta, promovendo a baixa resposta da cana planta à fertilização nitrogenada.

Adicionalmente a disponibilidade de N, outro fator que reflete nas respostas da cana-de-açúcar a adubação nitrogenada é a disponibilidade hídrica. Diversos autores sugerem que a taxa de crescimento da cana-de-açúcar é mais afetada pela disponibilidade de água no solo do que pelo próprio fornecimento de N, ou seja, quando o estresse hídrico aumenta, a resposta à fertilização nitrogenada diminui (CARVALHO et al., 2009; DANTAS NETO et al., 2006; WIEDENFELD, 2000). Tal fato foi observado por Wiedenfeld; Enciso, 2008 que constataram reduções na produtividade e baixa resposta a adubação nitrogenada, quando o estresse hídrico foi mais acentuado no período de maior demanda evapotranspirativa e máximo crescimento vegetativo. Por outro lado, Oliveira et al. (2010) ao avaliar o comportamento de onze cultivares de cana-de-açúcar a irrigação plena, constataram que a disponibilidade hídrica ideal durante a fase de maior demanda evapotranspirativa, levou a produtividade de colmo e a extração de N, assim como a de P, K, Ca e Mg, a superar resultados encontrados por outros autores em condições de sequeiro.

Desse modo, além aumentar a produtividade de colmos de cana-de-açúcar, a adubação nitrogenada e disponibilidade hídrica podem gerar efeito sinérgico na absorção de outros nutrientes (FRANCO et al., 2007). As quantidades de nutrientes extraídos do solo pela cana-de-açúcar variam de acordo com os métodos de cultivo, cultivares, disponibilidade hídrica e de nutrientes (TASSO JUNIOR et al., 2007). Sendo assim, plantas adubadas com nitrogênio durante os ciclos de cana planta e nas socas consecutivas, promoveriam variações na quantidade de nutrientes extraídos, levando ao entendimento mais apurado das exigências minerais da cana-de-açúcar, direcionando a novos estudos de adubação, indicando as quantidades corretas e eficazes de nutrientes a serem fornecidos (COLETI et al., 2006).

Estudos que envolvem a relação entre doses de N com a extração dos nutrientes, são raros e os resultados bastante dispersos, sendo, portanto, necessário melhor entendimento da interação dos fatores edafoclimáticos das regiões canavieiras, com as repostas a adubações nitrogenadas e

seu efeito na absorção dos nutrientes nos diferentes ciclos agrícolas da cana-de-açúcar. Tal interação foi observada por Franco (2008) ao avaliar o efeito da adubação nitrogenada de plantio na extração de nutrientes na colheita de cana planta, em dois ambientes edafoclimaticamente distintos do Estado de São Paulo. O autor constatou que doses crescentes de N levaram a acúmulos de nutrientes diferenciados entre os componentes da parte aérea (colmo, folha seca e ponteiro) e na parte subterrânea (raiz e rizoma). Desse modo, mais estudos comparativos do efeito sinérgico com doses de N na extração de nutrientes pela cana-de-açúcar, nortearão esta afirmativa.

Indícios de boas condições hídricas, aliada ao fornecimento correto do N podem favorecer o crescimento radicular (OTTO et al., 2009; ROBINSON et al., 2010), inferindo na absorção de nutrientes pela cana-de-açúcar, o que levaria a acúmulos em níveis adequados de nutrientes nos componentes da planta, tornando-as melhor nutridas, conferindo produtividade de colmos e qualidade do açúcar, não somente em um único ciclo de produção, mas com efeito aditivo nos demais ciclos posteriores, proporcionando maior longevidade do canavial.

Diante do exposto, a presente pesquisa procurará avaliar as seguintes hipóteses: i) O aporte de resíduos vegetais deixados sobre solo com a introdução da colheita mecanizada sem despalha a fogo proporciona variações na disponibilidade e no acúmulo de nutrientes nas diferentes fases de crescimento da cana-de-açúcar, principalmente em cultivares recentes e mais produtivos, o que leva a modificações na forma e quantidade de adubo adicionado nos canaviais brasileiros; ii) O conhecimento da dinâmica de nutrientes extraídos e alocados nos componentes da cana-de-açúcar durante o ciclo de cana planta e nas socarias consecutivas, subsidiará informações de pesquisa necessárias para compreensão da exigência nutricional, auxiliando nos estudos de adubação, implicando em fertilizações mais eficazes, ganhos de produtividade e longevidade do canavial nos diferentes ambientes edafoclimáticos de cultivo; iii) A relação entre as concentrações dos nutrientes nos tecidos da planta com produtividade de colmos e qualidade tecnológica na cana-de-açúcar, certamente depende da disponibilidade hídrica e dos nutrientes ofertados nos sistema solo-planta. Assim, fatores climáticos e pluviiais favoráveis quando associados à correta adubação nitrogenada promovem efeito positivo na absorção de nutrientes, resultando em plantas melhor nutridas com capacidade de expressar o máximo do potencial genético de produção.

Para avaliar tais hipóteses foram estabelecidos os seguintes objetivos:

a) Avaliar o efeito de doses de nitrogênio e do regime hídrico, na produção de matéria seca e acúmulo dos nutrientes, nos ciclos de cana planta e cana soca, identificando a exigência nutricional durante o crescimento vegetativo.

b) Estimar a concentração crítica de N na folha diagnóstico e na parte aérea da cana-de-açúcar correlacionando com a produção de matéria seca da parte aérea, nos ciclos de cana planta e cana soca.

c) Quantificar o acúmulo e partição dos nutrientes nos componentes: raiz, rizoma, colmo, folha seca e ponteiro da cana-de-açúcar, na cana planta e em três socas consecutivas, relacionados das doses crescentes de nitrogênio.

d) Avaliar o efeito de doses de nitrogênio na extração e exportação dos nutrientes na cana-de-açúcar, bem como seu efeito residual na terceira soqueira.

Os objetivos propostos foram avaliados em três experimentos, desenvolvidos em regiões canavieiras e em três classes de solos representativas do Estado de São Paulo, sendo apresentados nesta tese nos capítulos:

- 1. Produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes nos ciclos de cana planta e cana soca relacionados à adubação nitrogenada**
- 2. Curva de diluição e concentração crítica de N em cana-de-açúcar: cana planta e cana soca**
- 3. Compartimentação e exigência nutricional da cana-de-açúcar relacionados à fertilização com doses de nitrogênio**

Referências

ALBUQUERQUE, A.C.S.; SILVA, A.S. **Agricultura tropical: quatro anos décadas de inovação tecnológica, institucionais e políticas.** Brasília: Embrapa Informações Tecnológica, 2008. v. 1: produção e produtividade agrícola. 1336 p.

BARBOSA, M.H.P. Acúmulo e alocação de nutrientes pela RB72454 no ciclo da cana planta. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 8., 2002, Recife, **Anais...** Recife:STAB, 2002. p. 264- 267.

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

CARVALHO, C.M.; AZEVEDO, H. M.; DANTAS NETO, J.; FARIAS, C. H. A.; SILVA, C. T, S.; GOMES FILHO, R. R. Rendimento de açúcar e álcool da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 4, n. 1, p. 72-77, 2009.

COLETI, J.T.; CASAGRANDE, J.C.; STUPIELLO, J.J.; RIBEIRO, L.D.; OLIVEIRA, G.R. Remoção de macronutrientes pela cana-planta e cana-soca, em Argissolos, variedades RB835486 e SP813250. **STAB. Açúcar, Álcool & Subprodutos**, Piracicaba, v. 24, n. 5, p. 32-36, 2006.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar terceiro levantamento.** Brasília, 2011. 19 p.

DANTAS NETO, J.; FIGUEREDO J.L.C.; FARIAS, C.H.A.; AZEVEDO, H.M.; AZEVEDO, C. A.V. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 283-288, 2006.

FRANCO, H.C.J. **Eficiência agrônômica 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.; BOLOGNA, I.R.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O. Acúmulo de macronutrientes em cana-de-açúcar em função da adubação nitrogenada e dos resíduos culturais incorporados ao solo no plantio. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 521-526, 2007.

FRITZ, I. Effect of fertilizer application upon sucrose% cane. In: CONGRESS OF INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGIST, 15., 1974. Durban, **Proceedings...** Durban, 1974. v. 2, p. 630-633.

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 Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 11, 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 em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

KORNDORFER, G.H.; COLOMBO, C.A.; CHIMELLO, M.A.; LEONI, P.L.C. Desempenho de variedades de cana-de-açúcar cultivadas com e sem nitrogênio. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 8., 2002, Recife. **Anais...** Recife: STAB, 2002. p. 234-238.

KORNDORFFER, G.H.; VALLE, M.R.; MARTINS, M.; TRIVELIN, P.C.O. Avaliação do nitrogênio da uréia pela cana-planta. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 223-226, 1997.

KORNDORFER, G.H.; MARTINS, M. Importância da adubação na quantidade da cana-de-açúcar. **STAB. Açúcar, Álcool & Subprodutos**, Piracicaba, v. 3, n. 10, p. 26-31, 1992.

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

ORLANDO FILHO, J.; RODELLA, A.A.; BELTRAME, J.A.; LAVORETI, N.A. Doses, fontes e formas de aplicação de nitrogênio em cana-de-açúcar. **STAB. Açúcar, Álcool & Subprodutos**, Piracicaba, v. 17, n. 4, p. 39-41, 1999.

ORLANDO FILHO, J.; HAAG, H.P.; ZAMBELLO JUNIOR, E. Crescimento e absorção de macronutrientes pela cana-de-açúcar, variedade CB41-76, em função da idade, em solos do estado de São Paulo. **Boletim Técnico PLANALSUCAR**, Piracicaba, v. 2, n. 1, p.3-128, 1980.

OTTO, R.; FRANCO, H.C.J.; FARONI, C.E.; VITTI, A.; TRIVELIN, P.C.O. Fitomassa de raízes e da parte aérea da cana-de-açúcar relacionada à adubação nitrogenada de plantio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 4, p. 398-405, 2009.

PIMENTEL, D.; PATZEK, T. Ethanol production: energy and economic issues related to U.S. and Brazilian sugarcane. **Natural Resources Research**, Houston, v. 16, n. 3, p. 235-242, 2007.

ROBINSON, N.; GAMAGE, H.; WHAN, A.; FLETCHER, A.; BRACKIN, R.; HOLST, J.; LAKSHAMANAN, P.; SCHMIDT, S. Evidence of differences in nitrogen use efficiency in sugarcane genotypes. In: AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGARCANE TECHNOLOGISTS, 31., 2009. Balina. **Proceedings...** Balina, 2010. p. 256-264.

RODRIGUES, J.D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: Instituto de Biociências, 1995. 69 p.

RODRIGUES, R. Século XXI, o novo tempo da agroenergia renovável. **Visão Agrícola**, Piracicaba, n. 1, p. 4-7, 2004.

SILVA, L.C. **Análise de crescimento e acúmulo nutrientes de sete cultivares de cana-de-açúcar na Região de Cururipe**. 2007. 80 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal Alagoas, Maceió, 2007.

SOBRAL, A.F.; WEBER, H. Nutrição mineral da cana-de-açúcar (micronutrientes). In: ORLANDO FILHO, J. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: PLANALSUCAR, 1983. p. 103-124.

TASSO JUNIOR, L.C.; MARQUES, M.O.; CAMILOTTI, F.; SILVA, T. Extração de macronutrientes em cinco variedades de cana-de-açúcar cultivadas na região centro-norte do estado de São Paulo. **STAB. Açúcar, Álcool & Subprodutos**, Piracicaba, v. 25, n. 6, p. 38-42, 2007.

TRIVELIN, C.P.O. **Utilização do nitrogênio pela cana-de-açúcar: três casos estudados com uso de traçador ¹⁵N**. 2000. 139 p. Tese (Livre-Docência) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

WIEDENFELD, B.; ENCISO, J. Sugarcane responses to irrigation and nitrogen in semiarid south Texas. **Agronomy Journal**, Madison, v. 100, n. 3, p. 665-671, 2008.

WIEDENFELD, R.P. Water stress during the different sugarcane growth periods on yield and response to N fertilization. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 43, p. 173-182, 2000.

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

ZAMBELLO JR.; ORLANDO FILHO, J. A adubação da cana-de-açúcar na região centro-sul do Brasil. **Boletim Técnico Planalsucar**, Piracicaba, v.3, n.3, mar. 1981.

2 PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA E ACÚMULO DE NUTRIENTES NOS CICLOS DE CANA PLANTA E CANA SOCA, RELACIONADOS À ADUBAÇÃO NITROGENADA

Resumo

Para que a exigência nutricional da cana-de-açúcar seja satisfeita de maneira adequada, torna-se fundamental identificar os diferentes períodos de produção de matéria seca e a época em que os nutrientes são exigidos em maior quantidade. Para tanto, foram realizadas em condições de campo, amostragens da parte aérea da cana-de-açúcar durante os ciclos agrícola de cana planta e cana soca. Nessas amostragens determinou-se a produção de matéria seca e o acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Mn e Zn no cultivar SP81-3250, relacionando com doses de nitrogênio. Na cana planta os tratamentos com N constaram das doses 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ e um tratamento adicional sem aplicação do nutriente, que foram distribuídos no delineamento experimental de blocos casualizados com parcelas subdivididas no tempo. Na cana soca as parcelas referentes aos tratamentos 0 e 120 kg ha⁻¹ de N do ciclo anterior, foram subdivididas e aplicou-se as doses 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de N e um tratamento controle, aleatorizadas no delineamento experimental de blocos casualizados com parcelas subdivididas no tempo. A produção de matéria seca e o acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu e Zn em ambos os ciclos de produção se ajustaram ao modelo sigmoidal, o que caracterizou três fases distintas de produção e acúmulo de nutrientes, independente do solo e da dose de N aplicada. O acúmulo de Fe e Mn diferenciou entre os solos e com a adubação nitrogenada nos dois ciclos de produção, obtendo ajustes que variaram entre sigmoidal e polinomial cúbico. A adubação nitrogenada promoveu efeito crescente no acúmulo dos macronutrientes, entretanto para os micronutrientes o efeito positivo das doses de N apenas foi observado para o B, Fe e Zn na cana planta e B, Fe e Mn na cana soca. De modo geral, a maior dose de N proporcionou redução no acúmulo de P, K, Ca, S, Cu e Mn na cana planta e de P, Ca, S, Cu e Zn na cana soca. O acúmulo dos nutrientes nas duas fases iniciais, exceto pelo Fe na cana soca, se mostrou antecipado em relação à produção de matéria seca, acumulando cerca de 90 % do total extraído pela parte aérea da cultura, evidenciando, deste modo, que a cana-de-açúcar no início armazena os nutrientes nos tecidos da parte aérea, para posterior utilização na fase de maior desenvolvimento vegetativo, tornando possível sugerir que adubação deva ser realizada no período que antecede a máxima produção de matéria seca.

Palavras-chave: Adubação; Cana-de-açúcar; Macronutrientes; Micronutrientes; Nitrogênio;
Saccharum spp

Abstract

It is essential to identify the different periods of dry matter production and the time at which nutrients are required in larger quantities to fulfill properly the nutritional requirement of sugarcane. Samples of sugarcane above ground were collected during the plant cane and first ratoon crop cycles under field conditions. In these samples were determined the dry matter production and N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Mn and Zn accumulation in the SP81-3250 cultivar, as related to N doses. In the plant cane cycle the treatments consisted of 40, 80 and 120 kg N ha⁻¹ and an additional treatment without N (check plot). The treatments were distributed in a randomized block design with split plot in the time. In the first ratoon the treatments check plot and 120 kg N ha⁻¹ applied to the plant cane were subdivided and applied the treatments 50, 100 and 150 kg N ha⁻¹ and another check plot treatment. In ratoon cycle the treatments were

distributed in the randomized blocks design with split split plots in time. The dry matter production and accumulation of N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu and Zn in both crop cycles were adjusted to the sigmoid model, which featured three separate stages of production and nutrients accumulation. The Fe and Mn accumulation differed between soils and N fertilizer in both crop cycles, with adjustments varying from sigmoidal and cubic polynomial. The N fertilization increased the macronutrients accumulation in the two crop cycles and B, Fe and Zn accumulation in the plant cane and B, Fe and Mn accumulation in the first ratoon. In general, the higher N rates reduced the accumulation of P, K, Ca, S, Cu and Mn in the plant cane and P, Ca, S, Cu and Zn in the ratoon cycle. The accumulation of nutrients in the two early stages, except for Fe in ratoon cycle, was anticipated in relation to the dry matter production, totaling about 90% of the total accumulated in the above ground. The results show that sugarcane stores nutrients in the shoot tissue in the early stages to use during the greater plant growth, suggesting that fertilization should be performed before the stage of maximum dry matter production.

Keywords: Fertilization; Macronutrients; Micronutrients; Nitrogen; *Saccharum* spp; Sugarcane

2.1 Introdução

A cana-de-açúcar vem apresentando significativa expansão em sua área cultivada, disseminando-se na maior parte das regiões agrícolas do Brasil e se estabelecendo nos diferentes tipos de solos e ambientes de produção. Assim, a busca pelo suprimento correto de nutrientes a ser aplicado, ainda encontra-se embasado em estudos de resposta a fertilização, na expectativa de produtividade da cultura e extração de nutrientes no final do ciclo de produção. No entanto, para a realização racional de um programa de adubação, torna-se necessário, em adição ao status da fertilidade do solo, a identificação da exigência nutricional nos diferentes estádios fenológicos de crescimento, o que possibilita realizar adubações em nível próximo ao ideal e na época mais adequada para seu fornecimento.

A demanda de nutrientes durante o crescimento dos vegetais é estimada pela quantificação dos nutrientes acumulados em relação à produção de matéria seca (MOUSTAKAS et al., 2005). O crescimento e a produção de matéria seca da cana-de-açúcar seguem o modelo padrão não linear sigmóide de crescimento vegetal, apresentando três fases distintas (OLIVEIRA et al., 2010; HUNT, 1982). Durante o crescimento, existem variações nas concentrações e na quantidade de nutrientes acumulados, sendo observado maior consumo de nutrientes no período de maior produção de matéria seca (OLIVEIRA, et al., 2011; COALE et al., 1993), caracterizando que o acúmulo de nutrientes pode seguir a curva sigmóide de crescimento e torna-se importante ferramenta para estimar as necessidades nutricionais da cultura e a época correta de fertilização, bem como ser utilizada em futuros estudos de adubação e programas de manejo de

nutrientes em sistema de produção fertirrigado por gotejamento, hoje bastante utilizado e difundido nas regiões que possuem estresse hídrico mais acentuado.

Os ciclos fenológicos de crescimento da cana-de-açúcar, denominados de cana planta e cana soca, apresentam diferentes períodos de desenvolvimento vegetativo. Na região Centro-Sul do Brasil, por exemplo, o ciclo de cana planta (cana de ano e meio) apresenta em média 16 meses de desenvolvimento vegetativo, enquanto que na cana soca, a fase vegetativa é reduzida para aproximadamente 12 meses (SEGATO et al, 2006). Essa característica fenológica da cultura confere variações na produção de matéria seca entre os ciclos de produção, que possivelmente proporcionará períodos de máxima exigência nutricional diferenciados, levando a distinção da época e intervalo entre práticas de adubação.

A capacidade das plantas em absorver os nutrientes é decorrente de suas características morfológicas, taxas de crescimento e distribuição do sistema radicular, (MCLACHIAN, 1976), bem como dos parâmetros da cinética de absorção (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Acredita-se que a ação conjugada de vários fatores como: variedades, a idade da planta, clima, classe de solo e variação na disponibilidade hídrica e dos nutrientes, como o nitrogênio, afeta diretamente nesses parâmetros e conseqüentemente no crescimento e desenvolvimento das plantas (MCCULLOUGH et al., 1994). Contudo, são poucos os estudos que mostram o efeito da adubação nitrogenada na produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes durante o ciclo fenológico de desenvolvimento da cana-de-açúcar. Pesquisa realizada por Silveira; Cromo (1990) demonstrou que a adubação nitrogenada em alto nível, levou a maiores taxas de acúmulo de N proporcionando maiores extrações final do nutriente na parte aérea da cana-de-açúcar.

Diante do exposto, objetivou-se quantificar durante os ciclos agrícolas de cana planta e cana soca, a produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes na parte aérea de cana-de-açúcar em relação à adubação nitrogenada, identificando os períodos de maior exigência nutricional. Essas informações poderão nortear a melhor avaliação da demanda de nutrientes a serem utilizados no estabelecimento de práticas mais eficazes no manejo de fertilizantes, possibilitando maior eficiência na absorção e utilização dos nutrientes.

2.2 Material e Métodos

A pesquisa foi realizada em três áreas experimentais localizadas no Estado de São Paulo, durante as safras agrícolas de 2005/2006 (cana planta de ano e meio) e 2006/2007

(primeira soqueira). Os experimentos foram implantados, respectivamente, em áreas comerciais das Usinas: São Luiz – Abengoa Bioenergia, São Martinho e Santa Adélia.

O primeiro experimento foi instalado no período de 21 a 24 de fevereiro de 2005, em solo classificado como Latossolo Vermelho Amarelo eutrófico (LVAe), de textura argiloarenosa, localizado no município de Santa Cruz das Palmeiras (Latitude 21° 55' 54''S, Longitude 47° 10' 54''W), apresentando altitude de 650 m e o clima Aw (Tropical de Savana, na classificação de Köppen). No preparo do solo foram realizadas duas gradagens pesadas, antes e após a subsolagem, sendo a primeira para eliminar a soqueira antiga e a segunda para incorporar 2 Mg ha⁻¹ de calcário e 2 Mg ha⁻¹ de gesso agrícola. Na sequência, realizou-se uma gradagem intermediária para o preparo final do solo antes da abertura dos sulcos de plantio.

A segunda área experimental, instalada entre 1 a 4 de março de 2005, localizou-se no município de Jaboticabal (Latitude 21° 15' 54''S, Longitude 48° 18' 54''W), na altitude de 580 m, possuindo clima Aw (Tropical de Savana, na classificação de Köppen). Este experimento foi em solo de textura muito argilosa, classificado de Latossolo Vermelho eutrófico (LVe). As operações de preparo de solo consistiram na dessecação da soqueira velha, com aplicação de 5 L ha⁻¹ de herbicida (glifosato), seguida de subsolagem para quebra da camada compactada e posterior sulcação para o plantio.

O terceiro experimento foi instalado no período de 4 e 8 de abril de 2005, em solo de textura Franco-argiloarenosa, classificado de Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd), localizado no município de Jaboticabal (Latitude 21° 19,98' S, Longitude 48° 19,03' W), com altitude predominante na região de 600 m e clima Aw (Tropical de Savana, na classificação de Köppen). As principais operações efetuadas na reforma do canavial antes do plantio foram: dessecação da soqueira anterior com aplicação de 4 L ha⁻¹ de herbicida (glifosato); aração profunda para incorporação ao solo dos resíduos vegetais e de 2 Mg ha⁻¹ de calcário e gradagem para o preparo final do solo antes da sulcação e plantio. Nesse local houve aplicação de vinhaça (média de 200 m³ ha⁻¹ ano⁻¹) por mais de dez anos consecutivos até dois anos que antecederam a implantação do experimento. A classificação dos solos seguiu os resultados analíticos dos horizontes diagnósticos (Tabela 2.1) e as especificações descritas em EMBRAPA (2006).

Tabela 2.1 - Caracterização química e física dos solos realizada após o primeiro corte, para fins de classificação

Horizonte	pH	M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	T	V	Argila	ρ^*
Diagnóstico	H ₂ O	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	----- mmol _c kg ⁻¹ -----						%	g kg ⁻¹	Mg m ⁻³
LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Eutrófico – (LV Ae)												
Ap (0,2 m)	7,2	20	10	1,9	43	11	0	8	63,9	87	260	1,64
BA (0,44 m)	6,5	8	1	2,6	7	3	0	11	23,6	53	269	1,63
BW ₁ (0,81 m)	6,9	6	2	2,5	11	4	0	10	27,5	64	248	1,44
BW ₂ (0,81+)	6,4	8	1	1,8	18	7	0	11	37,8	71	231	1,37
LATOSSOLO VERMELHO Eurófico - (LVe)												
Ap (0,37 m)	5,4	30	36	1,7	29	9	1	59	98,7	40	671	1,29
Bw ₁ (0,60 m)	5,5	15	6	0,2	22	6	0	30	58,2	48	707	1,33
Bw ₂ (0,98 m)	6,0	10	2	0,2	20	5	0	23	48,2	52	692	1,31
Bw ₃ (0,98+)	6,8	8	1	0,2	16	4	0	19	39,1	51	648	1,37
LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico - (LVd)												
Ap (0,15 m)	6,3	23	10	3,6	18	13	0	17	51,6	67	285	1,30
A ₂ (0,37 m)	6,0	16	11	2,2	9	5	2	18	34,2	47	296	1,46
BA (0,56 m)	5,1	11	3	1,2	2	1	8	31	35,2	12	347	1,39
BW ₁ (0,96 m)	5,6	8	1	0,9	3	1	3	20	24,9	20	371	1,20
BW ₂ (0,96+)	5,9	7	1	3,5	2	1	0	9	15,5	42	367	1,24

pH - CaCl₂ 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); K – Extração por resina trocadora de íons e determinação por fotometria de chama (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); Al – KCl 1N; * ρ - Densidade do solo

O balanço hídrico da cultura durante os ciclos de cana planta e cana soca (Figuras 2.1; 2.2; 2.3) foi calculado considerando os parâmetros meteorológicos mensurados por meio de estações automáticas situadas próximas às áreas experimentais, por dados de pluviosidade obtidos em pluviômetros instalados nos experimentos e dos valores da capacidade de água disponível do solo (CAD) até 1,2 m para os solos LV Ae e LVd e 0,8 m para LVe. A diferença da CAD entre os solos deve-se ao menor desenvolvimento do sistema radicular encontrado no LVe (OTTO, 2007).

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). Os valores de K_c 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 60 dias após o plantio (DAP) para o ciclo de cana planta e até os 30 dias após corte (DAC) para o ciclo de cana soca. Na fase de crescimento intermediário, se estabeleceu o período entre os 60 DAP e 30 DAC até o mês de novembro. A fase de elevado crescimento foi instituída entre os meses de dezembro a março, enquanto que estágio final de maturação foi estimado a partir do mês de abril a até a colheita, sendo assim, utilizados gradativamente os valores de 0,4, 1,25 e 0,75, respectivamente

(INMAN-BAMBER; MCGLINCHEY, 2003; ALLEN et al., 1998). A evapotranspiração real (ETr) foi obtida por meio do cálculo do balanço hídrico de cultura pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), utilizando planilhas eletrônicas (ROLIM; SENTELHAS; BARBIERI, 1998).

Em todos os experimentos, utilizaram-se no plantio dois colmos de cana (colmosamente) do cultivar SP81-3250, que foram depositados no sulco de plantio e posteriormente cortados, de modo que os toletes (rebolos) permanecessem com 2 a 3 gemas, proporcionando a distribuição de 17 a 20 gemas por metro de sulco. Em seguida aplicou-se a adubação de plantio, que consistiu na adição de 120 kg ha^{-1} de K_2O , na forma de cloreto de potássio (KCl) e 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 , na forma de superfosfato triplo (SFT), calculados com base nos resultados da análise de terra (Tabela 2.2).

No ciclo de cana planta (2005/2006), os tratamentos constituíram-se em três doses de N (40 , 80 e 120 kg ha^{-1}) e um tratamento adicional sem aplicação do nutriente. O N-fertilizante foi aplicado na forma de uréia e distribuído no sulco de plantio. O delineamento experimental no primeiro ciclo da cana-de-açúcar foi de blocos ao acaso com parcelas subdivididas no tempo, com quatro repetições por tratamento, perfazendo o total de 16 parcelas experimentais, que constaram de 48 sulcos com 15 m de comprimento, espaçadas 1,5 m entre si.

No ciclo agrícola de cana soca (2006/2007), a adubação constou na aplicação de 100 kg ha^{-1} de K_2O em todos os solos. Para as parcelas que não receberam N e nas que foram aplicados 120 kg ha^{-1} de N no plantio, foram utilizados os tratamentos 0, 50, 100 e 150 kg ha^{-1} de N em parcelas subdivididas e composta por 12 sulcos de 15 m de comprimento. Como fonte de K utilizou-se o KCl e para o N se fez uso do sulfato de amônio nos experimentos LVAe e LVd, no LVe empregou-se o sulfato de amônio na dose de 50 kg ha^{-1} N e mistura de sulfato de amônio (50 kg ha^{-1} N) complementado com nitrato de amônio (50 e 100 kg ha^{-1} N), respectivamente, nas doses 100 e 150 kg ha^{-1} N. Os adubos nitrogenados foram aplicados sobre a palha ao lado da linha de cana e sem incorporação. O delineamento experimental empregado no ciclo de cana soca foi de blocos ao acaso com parcelas subdivididas no tempo, com quatro repetições por tratamento, perfazendo o total de 32 parcelas experimentais por local.

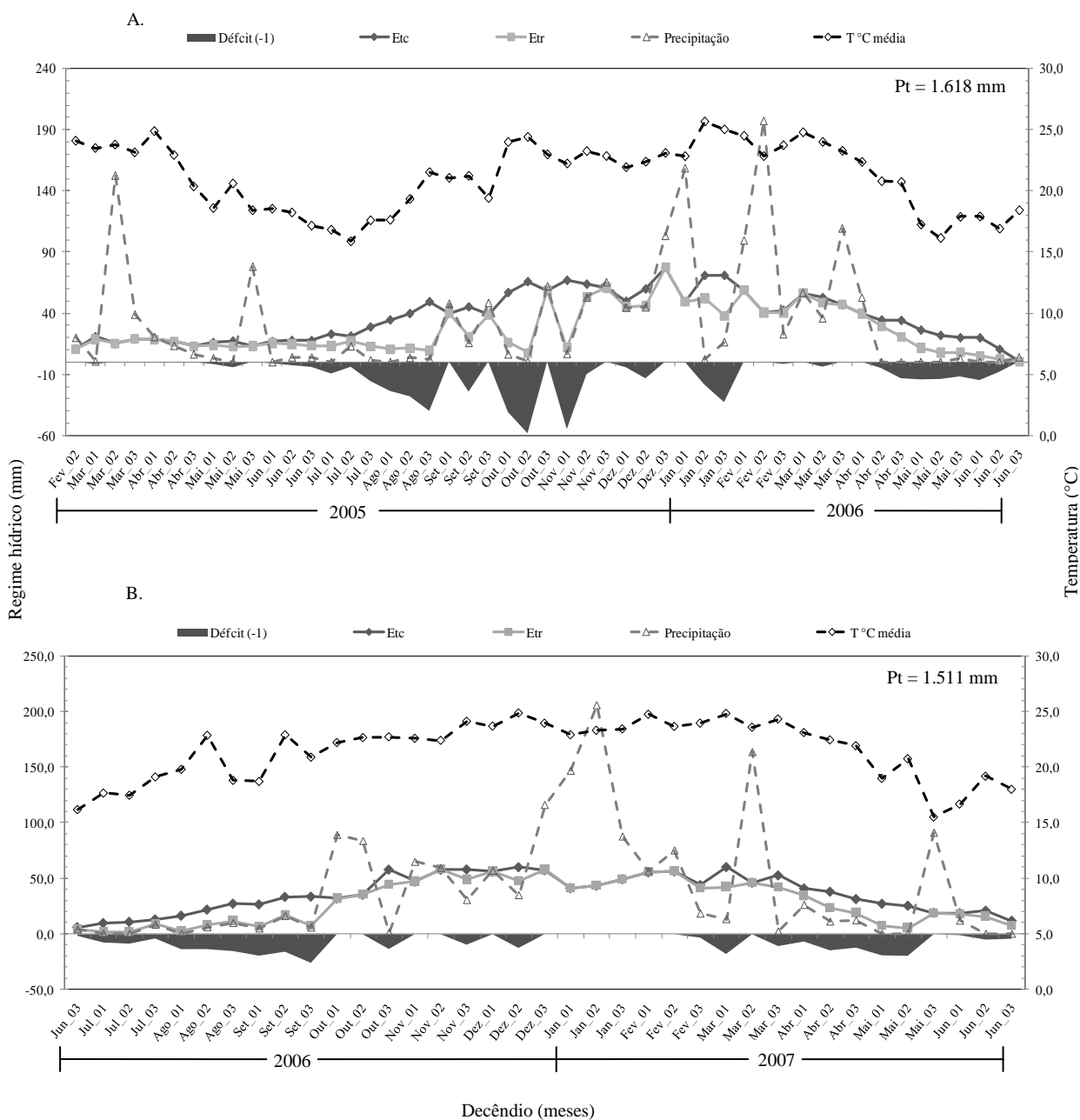


Figura 2.1 - Balanço hídrico climatológico e temperatura média do ar nos ciclos de cana planta (A) e cana soca (B), para o experimento localizado em Santa Cruz das Palmeiras (LVAe)

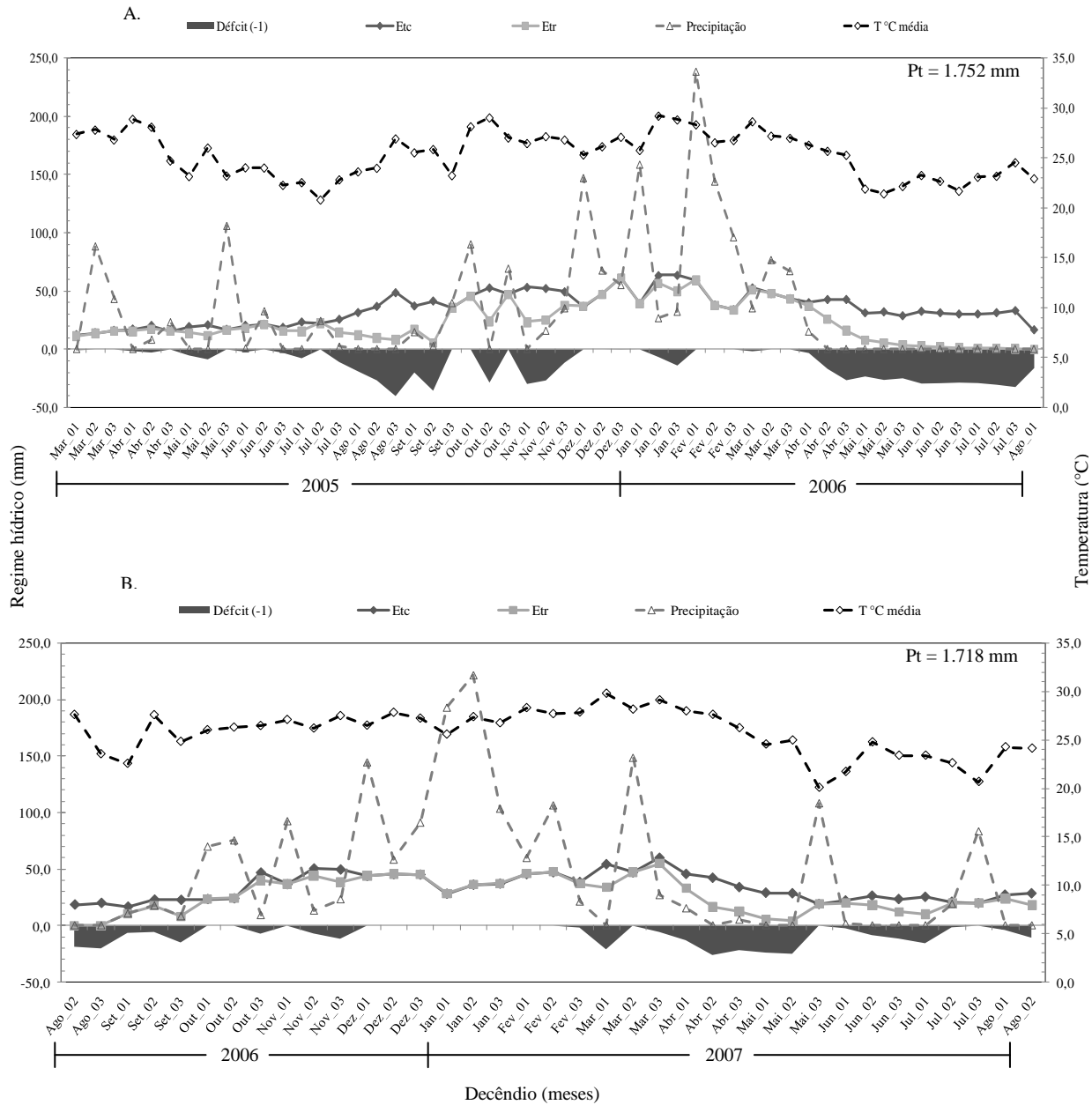


Figura 2.2 - Balanço hídrico climatológico e temperatura média do ar nos ciclos de cana planta (A) e cana soca (B), para o experimento localizado em Jaboticabal (LVe)

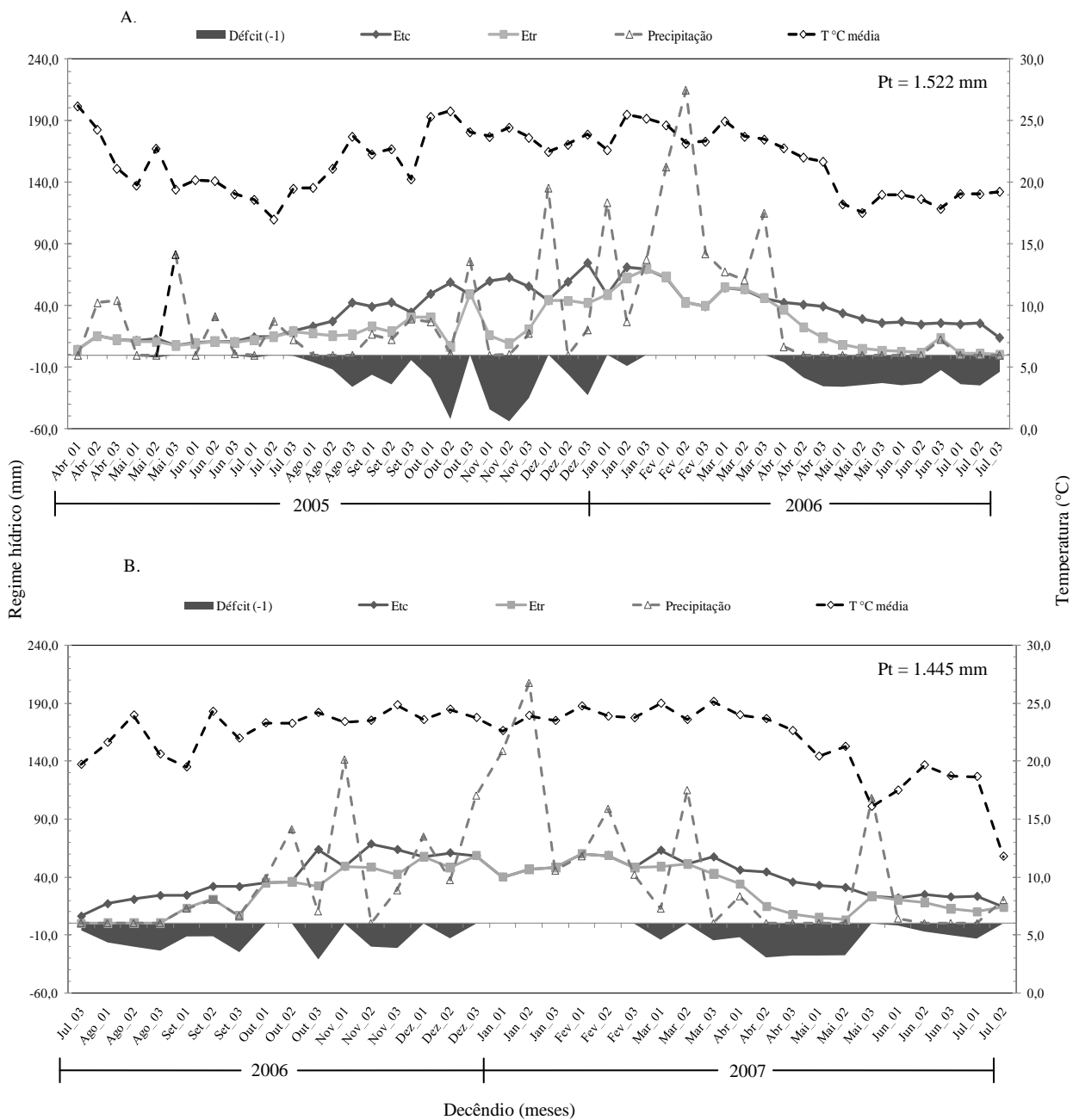


Figura 2.3 - Balanço hídrico climatológico e temperatura média do ar nos ciclos de cana planta (A) e cana soca (B), para o experimento localizado em Jaboticabal (LVd)

Tabela 2.2 - Caracterização química e física de amostras de terra das áreas experimentais realizadas antes do preparo do solo para plantio

Determinações	Profundidade (cm)				Determinações	Profundidade (cm)			
	0-25	25-50	50-75	75-100		0-25	25-50	50-75	75-100
LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Eutrófico - (LVAe)									
pH (CaCl ₂)	5,5	4,7	4,6	4,6	m (%)	2,5	18	22	24
M.O. (g dm ⁻³)	20	13	10	8	S (mg dm ⁻³)	6	45	68	74
P _{resina} (mg dm ⁻³)	9	6	2	4	Cu (mg dm ⁻³)	1,2	0,9	0,6	0,4
K _{resina} (mmol _c dm ⁻³)	2,4	1,0	0,8	0,7	Fe (mg dm ⁻³)	25	20	11	7
Ca _{resina} (mmol _c dm ⁻³)	29	10	7	6	Zn (mg dm ⁻³)	0,4	0,4	0,3	0,5
Mg _{resina} (mmol _c dm ⁻³)	8	3	3	3	Mn (mg dm ⁻³)	3,4	0,4	0,3	0,5
H+Al (mmol _c dm ⁻³)	20	31	28	25	B (mg dm ⁻³)	0,17	0,18	0,14	0,12
Al (mmol _c dm ⁻³)	1	3	3	3	Argila (g kg ⁻¹)	338	413	413	388
SB (mmol _c dm ⁻³)	39,4	14,0	10,9	9,7	Silte (g kg ⁻¹)	10	3	19	48
CTC (mmol _c dm ⁻³)	59,6	44,8	38,6	34,7	Areia (g kg ⁻¹)	653	585	568	565
V (%)	66	31	28	28					
LATOSSOLO VERMELHO Eurófico - (LVe)									
pH (CaCl ₂)	5,2	5,6	5,8	6,0	m (%)	2,3	3,2	3,3	4,1
M.O. (g dm ⁻³)	31	18	16	13	S (mg dm ⁻³)	6	22	29	35
P _{resina} (mg dm ⁻³)	42	12	9	5	Cu (mg dm ⁻³)	1,5	1,7	0,7	0,6
K _{resina} (mmol _c dm ⁻³)	3,1	0,5	0,3	0,3	Fe (mg dm ⁻³)	15	8	6	6
Ca _{resina} (mmol _c dm ⁻³)	31	24	24	19	Zn (mg dm ⁻³)	1,0	0,3	0,1	0,1
Mg _{resina} (mmol _c dm ⁻³)	9	6	5	4	Mn (mg dm ⁻³)	71,7	27,7	14,9	10,4
H+Al (mmol _c dm ⁻³)	34	22	20	18	B (mg dm ⁻³)	0,19	0,15	0,11	0,11
Al (mmol _c dm ⁻³)	1	1	1	1	Argila (g kg ⁻¹)	638	688	713	713
SB (mmol _c dm ⁻³)	43,1	30,5	29,3	23,3	Silte (g kg ⁻¹)	227	196	171	176
CTC (mmol _c dm ⁻³)	77,4	53,0	49,5	41,5	Areia (g kg ⁻¹)	135	117	117	112
V (%)	56	58	59	56					
LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico - (LVd)									
pH (CaCl ₂)	5,1	4,2	4,3	4,8	m (%)	4,8	54	54	8
M.O. (g dm ⁻³)	16	11	10	8	S (mg dm ⁻³)	4	38	71	68
P _{resina} (mg dm ⁻³)	15	5	2	2	Cu (mg dm ⁻³)	0,7	0,4	0,3	0,2
K _{resina} (mmol _c dm ⁻³)	3,9	1,8	2,0	3,3	Fe (mg dm ⁻³)	16	11	6	4
Ca _{resina} (mmol _c dm ⁻³)	11	4	4	6	Zn (mg dm ⁻³)	0,5	0,4	0,1	0,2
Mg _{resina} (mmol _c dm ⁻³)	5	1	1	2	Mn (mg dm ⁻³)	20,4	9,4	13,9	11,7
H+Al (mmol _c dm ⁻³)	28	34	34	22	B (mg dm ⁻³)	0,24	0,21	0,16	0,14
Al (mmol _c dm ⁻³)	1	8	6	1	Argila (g kg ⁻¹)	288	313	288	313
SB (mmol _c dm ⁻³)	19,9	6,8	7,0	11,3	Silte (g kg ⁻¹)	60	53	73	91
CTC (mmol _c dm ⁻³)	47,7	41,1	41,3	33,8	Areia (g kg ⁻¹)	652	635	640	597
V (%)	42	17	17	33					

pH - CaCl₂ 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); K – Extração por resina trocadora de íons e determinação por fotometria de chama (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); Al – KCl 1N; S - NH₄ OAc 0,5N em HOAc 0,25N (VITTI, 1988); Cu, Fe, Mn, Zn – DTPA-TEA pH 7,3 (RAIJ et al., 2001); B – BaCl₂.2H₂O 0,125% microondas (RAIJ et al., 2001).

Para quantificar a produção de matéria seca na parte aérea da cana-de-açúcar foram realizadas nos ciclos de cana planta e de cana soca, amostragens de material vegetal durante o desenvolvimento da cultura. No primeiro experimento (LV Ae) as avaliações da parte aérea foram realizadas em 7 de julho de 2005 (134 dias após o plantio-DAP), 25 de outubro de 2005 (244 DAP), 13 de dezembro de 2005 (293 DAP), 20 de fevereiro de 2006 (358 DAP), 12 de abril de 2006 (413 DAP) e 6 de junho de 2006 (468 DAP). Para o ciclo de cana soca foram realizadas coletas em 5 de dezembro de 2006 (163 dias após o corte - DAC), 01 de março de 2007 (249 DAC), 17 de maio de 2007 (326 DAC) e 07 de junho de 2007 (361 DAC).

No segundo experimento (LV e) as amostras foram coletadas em 10 de outubro de 2005 (221 DAP), 9 de dezembro de 2005 (280 DAP), 7 de fevereiro de 2006 (342 DAP), 4 de abril de 2006 (400 DAP) e 7 de agosto de 2006 (523 DAP) no ciclo de cana planta. No ciclo de cana soca as amostragens foram realizadas em 12 de dezembro de 2006 (125 DAC), 9 de março de 2007 (212 DAC), 11 de maio de 2007 (274 DAC) e 14 de agosto de 2007 (367 DAC).

Para o terceiro experimento (LV d) as amostragens no ciclo de cana planta foram efetuadas em 11 de outubro de 2005 (186 DAP), 09 de dezembro de 2005 (246 DAP), 8 de fevereiro de 2006 (307 DAP), 5 de abril de 2006 (363 DAP) e 10 de julho de 2006 (459 DAP). Enquanto que para o ciclo de cana soca realizou-se as coletas em 18 de dezembro de 2006 (157 DAC), 8 de março de 2007 (237 DAC), 10 de maio de 2007 (300 DAC) e 10 de julho 2007 (362 DAC).

As amostragens foram realizadas aleatoriamente nas parcelas experimentais, em locais previamente sorteados, coletando-se toda a parte aérea da cana-de-açúcar em 2 metros de linha de cana-de-açúcar. A massa fresca vegetal (folhas secas + ponteiro + colmo) de cada repetição foi obtida diretamente em campo, por meio de pesagem em balança eletrônica (carga máxima de 100 kg) com precisão de 0,02 kg. Ainda no campo e após a pesagem, as amostras de material vegetal fresco foram trituradas em picadora e em seguida, coletou-se subamostras úmidas que foram acondicionadas em sacos plásticos hermeticamente fechados. Adicionalmente, contabilizou-se o número de perfilhos em 10 metros de comprimento nas três linhas destinadas a mensuração da produtividade.

No laboratório, as subamostras foram pesadas em balança analítica (precisão de 0,01 g), secas em estufa ventilada a 65 °C até atingirem massa constante e novamente pesadas para determinação da umidade do material. De posse do número de perfilhos em 30 metros, da massa

do material vegetal em 2 metros e da umidade determinada em laboratório, calculou-se a produção de matéria seca em cada época de amostragem, considerando 6.666,67 metros lineares de cana-de-açúcar em um hectare, quando adotado o espaçamento de 1,5 metros entre as linhas da cultura.

As subamostras secas em estufa foram posteriormente moídas em moinho tipo Willey e determinada às concentrações de nitrogênio (N), obtidas por digestão sulfúrica e determinado por destilação e titulometria; fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) que foram obtidos por digestão nitroperclórica (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997) e determinados em aparelho de espectrometria de emissão óptica de plasma (ICP/POES). Multiplicando a concentração dos nutrientes em cada subamostra pela matéria seca produzida em cada tratamento (Mg ha^{-1}), obteve-se o acúmulo de nutrientes na parte aérea da cana-de-açúcar durante as fases de desenvolvimento da cana planta e cana soca.

Os dados obtidos na cana planta foram submetidos à análise da variância, utilizando-se o teste F a 5 % de probabilidade em delineamento de blocos casualizados com parcelas subdivididas no tempo. Na cana soca eliminou-se o efeito dos tratamentos 0 e 120 kg ha^{-1} da cana planta e analisou-se os dados das três áreas experimentais separadamente utilizando o delineamento experimental como blocos casualizados com parcelas subdivididas no tempo. Para estimar fisiologicamente, a produção de matéria seca e 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 maior coeficiente de determinação (R^2) e significância dos parâmetros da regressão até 10 % de probabilidade pelo teste t, bem como os modelos que melhor representaram o fenômeno (eq. 1; 2; 3).

Após a escolha dos modelos, foi determinado o período (dias) correspondente desde o plantio (cana planta) ou do corte (cana soca) até a ocorrência da taxa máxima de produção de matéria seca (TMPMS) ou da taxa máxima de acúmulo de nutrientes (TMANu), assim como, os respectivos valores e o tempo de duração dos mesmos (Anexos A a L). Adicionalmente, também foram estimadas as fases (dias) de produção de matéria seca (PMS) e acúmulo de nutrientes (ANu).

Para os dados que obtive ajuste sigmoidal, o ponto de inflexão (x_0) correspondeu à época (dias) em que ocorreu a TMPMS ou TMANu (Figura 2.4 B). Os valores de TMPMS e TMANu (massa $ha^{-1} dia^{-1}$) foram determinados pelo resultado obtido no ponto de inflexão (x_0) menos o constatado no dia anterior (LAVIOLA et al., 2009). Ainda para o modelo sigmoidal, o período em que ocorreu as fases de PMS e ANu (Figura 2.4 A), foi calculado utilizando os parâmetros da equação (b e x_0), conforme o método citado por Venegas et al. (1998). Para os modelos de sino e polinomial cúbico, os índices de PMS e ANu acima citados, foram obtidos por meio da manipulação dos resultados e das funções de ajustes segundo o modelo descrito por Lucchesi (1984).

eq. Sigmóide:

$$\hat{y} = \frac{a}{1 + \exp\left[-\left(\frac{x-x_0}{b}\right)\right]} \quad (1)$$

Onde: a: ponto de máximo da curva;

b: parâmetro de ajuste;

x_0 : ponto de inflexão;

x: DAP ou DAC.

eq. Sino:

$$\hat{y} = a * \exp\left[-0,5 \left\{\left(\frac{x-x_0}{b}\right)\right\}^2\right] \quad (2)$$

Onde: a: ponto de máximo da curva;

b: parâmetro de ajuste;

x_0 : ponto de inflexão;

x: DAP ou DAC.

eq. Cúbico:

$$\hat{y} = y_0 + ax + bx^2 + cx^3 \quad (3)$$

Onde: x: DAP ou DAC

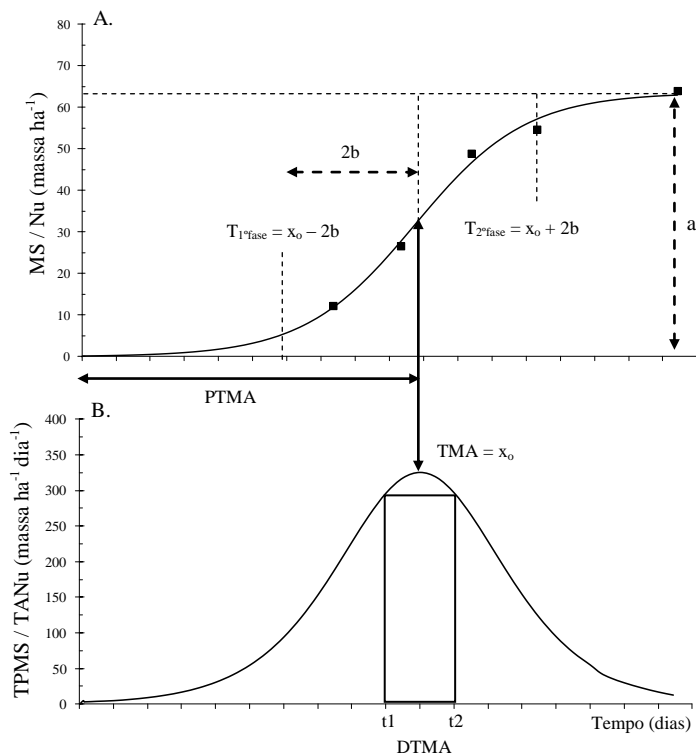


Figura 2.4 - Modelo sigmoidal (A), taxa de acúmulo (B), identificação término das fases de acúmulo ($T_{1ºfase}$ e $T_{2ºfase}$), determinação da taxa máxima de acúmulo (TMA), período até a máxima taxa de acúmulo (PTMA) e duração da taxa máxima de acúmulo (DTMA)

O momento na curva de acúmulo em que se iniciam os ganhos significativos foi representado pelo $T_{1ºfase}$, por outro lado o momento em que os acúmulos começam a se estabilizar foi indicado por $T_{2ºfase}$. Desse modo, a produção relativa de matéria seca e acúmulo relativo de nutrientes (Apêndices A a L) foi obtida a partir da diferença entre os valores mínimos e máximos calculados em cada fase (eq. 4), sendo os valores em percentagem, calculados em relação ao valor total obtido (eq. 5).

$$ARe = Af - Ai \quad (4)$$

$$ARe (\%) = \frac{ARe}{At} * 100 \quad (5)$$

onde: Are - acúmulo relativo nas fases de desenvolvimento da cana-de-açúcar; Af e Ai - acúmulo no final e no início das fases, respectivamente; At - acúmulo total obtido na colheita da cana-de-açúcar.

2.3 Resultados e Discussão

2.3.1 Produção de Matéria seca

A produção matéria seca (PMS), nos ciclos agrícolas de cana planta e cana soca, se ajustou ao modelo sigmóide de crescimento vegetal (HUNT, 1982), possibilitando identificar três fases de desenvolvimento, que diferiram entre os ambientes edafoclimáticos (solos), com uso da adubação nitrogenada e principalmente entre os ciclos de produção (Figura 2.5 A, C e E; Figura 2.6 A, C e E). Na cana planta as doses de N promoveram ganhos lineares significativos na PMS nos solos LVAe e LVe, enquanto que para cana soca a matéria seca produzida nos três solos estudados não diferenciou com a adubação nitrogenada (Anexo A).

A primeira fase de crescimento foi caracterizada por baixas produções de matéria seca em ambos os ciclos fenológicos de produção, equivalendo em média a 13 % de toda matéria seca produzida. Na cana planta esta fase inicial para os solos LVe e LVd, ocorreu até os 194 e 161 DAP, respectivamente, produzindo em média 9,4 e 8 Mg ha⁻¹ (Figura 2.5 C e E). Para o LVAe as produções iniciais perduraram até os 218 DAP apresentando valores médios de 7 Mg ha⁻¹ de MS (Figura 2.5 A). Nesta fase inicial a produção de matéria seca obtida nos solos LVAe e LVe, mostrou tendência linear crescente com adição do N, entretanto a duração do período correspondente a esta fase, não foi influenciado (Figura 2.5 A e C).

No plantio de cana planta de ano e meio, semelhante ao do presente estudo, Segato, (2006) relata haver nos primeiros 60 DAP a emergência de brotos e dos primórdios radiculares que se utilizam das reservas do colmo-semente. Em seguida, até aproximadamente os 120 DAP, permanece a fase perfilhamento, constatando-se folhas fotossinteticamente ativa e raízes capazes de absorver água e nutrientes. Nesse contexto, a maior oferta de N com aumento das doses, quando associada à temperatura moderada, a disponibilidade hídrica residual das chuvas de verão e pluviosidade observada no período de março a junho de 2005 (Figuras 2.1A; 2.2A; 2.3A), possivelmente promoveu maior influxo de N pelas raízes dos perfilhos fotossinteticamente ativos, estimulando o crescimento, bem como o próprio perfilhamento (MOURA FILHO et al., 2007; LAL, 1950), o que levou, nos solos LVAe e LVe, a incrementos de matéria seca com as doses de N, nesta fase de crescimento.

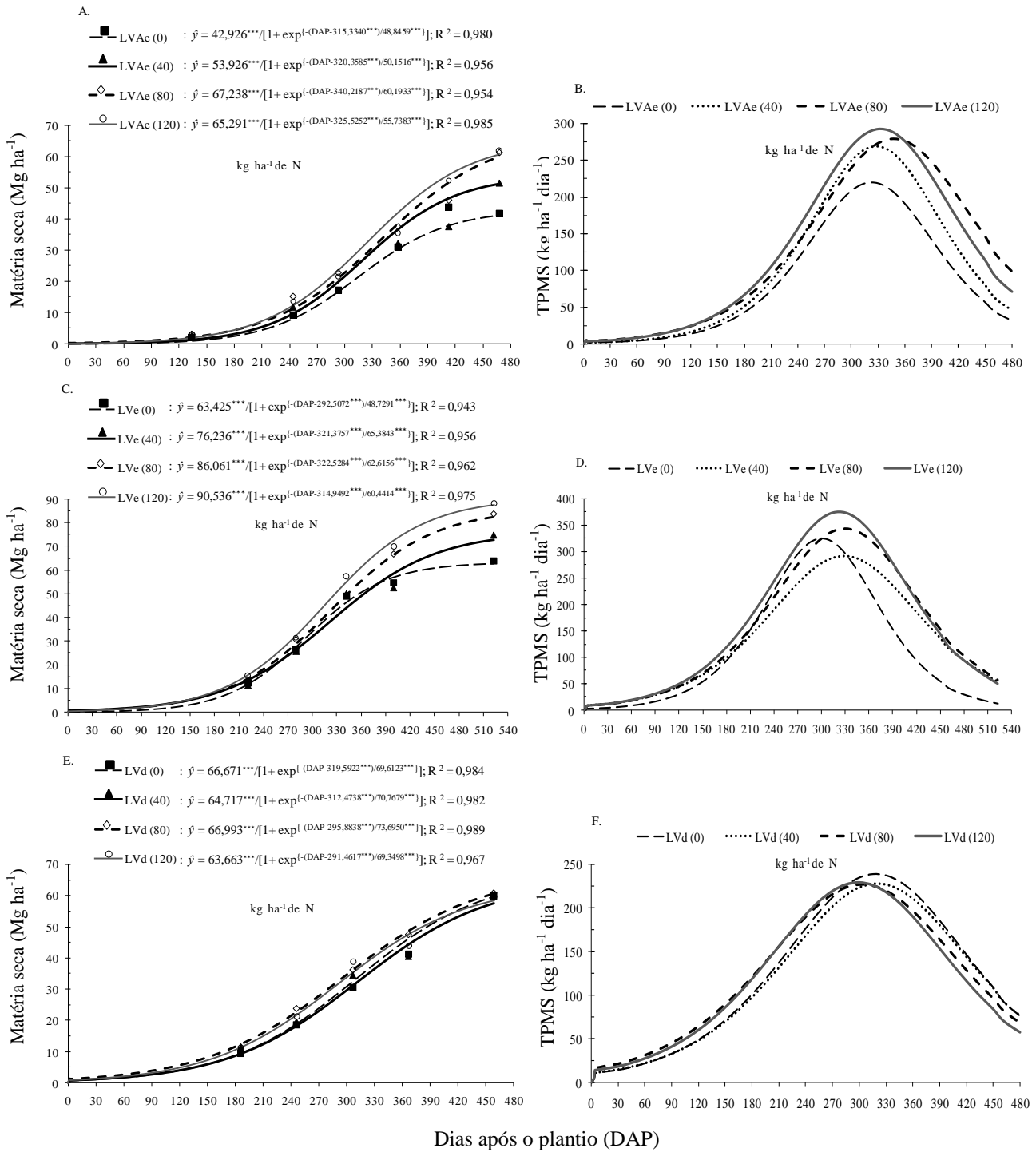


Figura 2.5 - Produção e taxa de produção de matéria seca (TPMS) na parte aérea da cana-de-açúcar, no ciclo de cana planta, em três classes de solos LV Ae (A e B), LVe (C e D) e LVd (E e F), relacionados à adubação nitrogenada. *** significativo a 1% de probabilidade

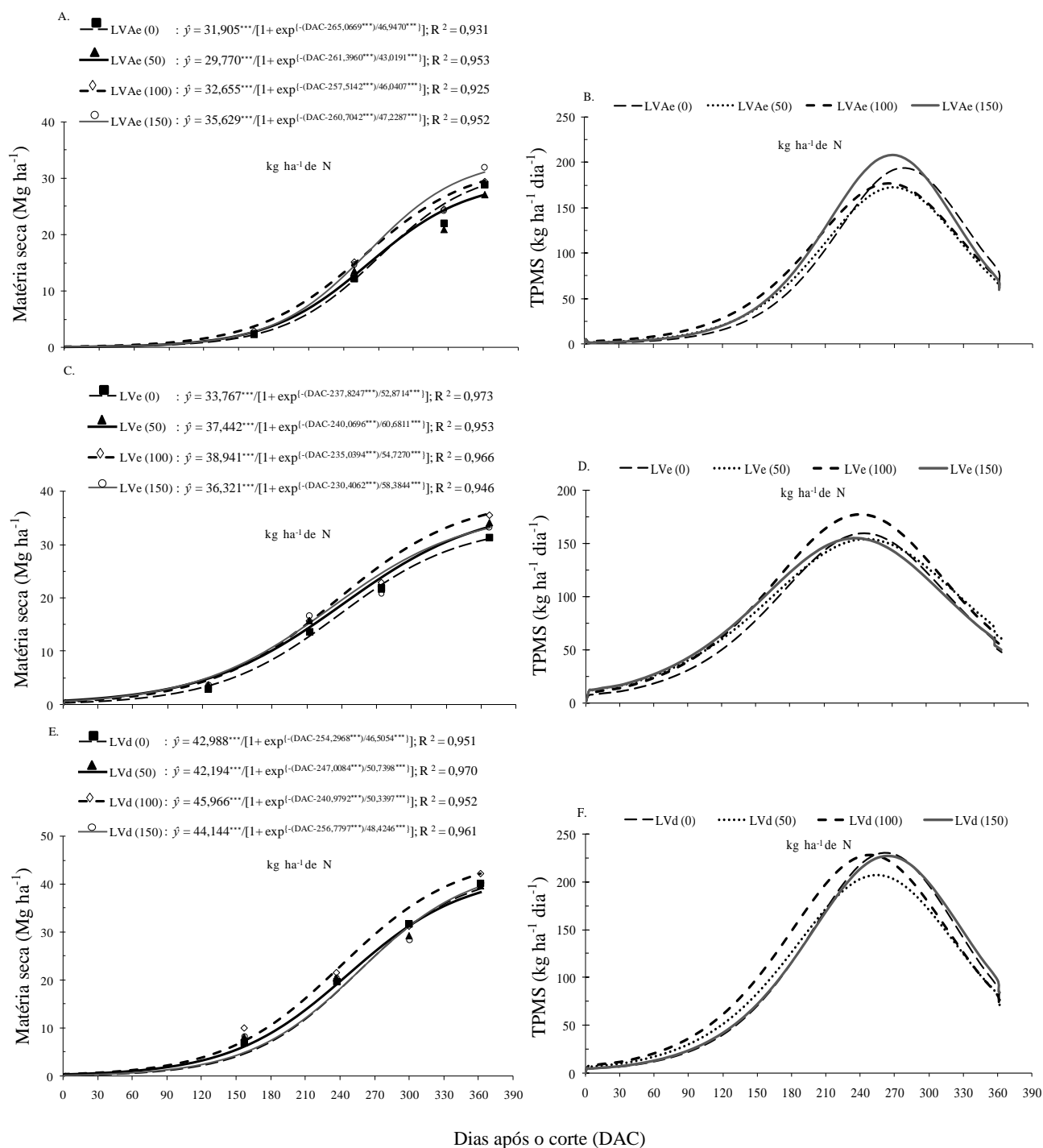


Figura 2.6 - Produção e taxa de produção de matéria seca (TPMS) da parte aérea da cana-de-açúcar, no ciclo de cana soca, em três classes de solos LVaE (A e B), LVe (C e D) e LVd (E e F), relacionados à adubação nitrogenada. *** significativo a 1% de probabilidade

Para o ciclo de cana soca a duração da primeira fase de crescimento foi menor e apresentou acúmulos inferiores em comparação a cana planta. Nos solos LVe e LVd a primeira fase ocorreu até os 123 e 152 DAC respectivamente, produzindo em média 4,4 e 5,2 Mg ha⁻¹ (Figura 2.6 C e E). Como observado em cana planta, esta fase de produção no LVAe também se mostrou mais elevada (177 DAC), sendo observado produções média de 4 Mg ha⁻¹ (Figura 2.6 A). Com relação ao efeito da adubação nitrogenada, verificou-se em todos os solos que o primeiro período de crescimento antecipou-se com os tratamentos (Anexo A), mostrando nos solos LVAe e LVd pequeno aumento desta fase na dose mais elevada (150 kg ha⁻¹ de N), entretanto sem efeito na quantidade de matéria seca produzida.

Após o corte da cana planta, até aproximadamente os 90 DAC, o sistema radicular residual é responsável pela captação de água e nutrientes que são translocados para gema de base da soqueira (SEGATO et al., 2006). Em seguida há gradativa renovação do sistema radicular que se torna mais superficial (OTTO, 2007). Nesse sentido, como os experimentos foram colhidos no inverno (junho a agosto de 2006), a temperatura média do ar e as reserva hídrica do solo encontravam-se baixas, o que resultou em menores taxas transpiratórias (Figuras 2.1B; 2.2B; 2.3B), diminuindo o influxo de água e nutrientes pelas raízes residuais, o que levou ao menor desenvolvimento inicial, sem que houvesse diferença entre os tratamentos no primeiro período de desenvolvimento.

Com os resultados iniciais de produção de matéria seca, foi possível constatar que, independentemente da época de plantio, o término da primeira fase ($T_{1^{\circ}fase}$), ou seja, o início do estágio de maior produção de matéria seca, na cana planta, ocorreu para todos os experimentos na primavera (setembro de 2005), com o retorno das precipitações e aumento da temperatura (Anexo A; Figuras 2.1A; 2.2A; 2.3A). No ciclo de cana soca o início do estágio de maior desenvolvimento foi observado no início do verão (dezembro de 2006), em todos os solos, quando se constatou redução significativa do déficit hídrico, altas precipitações e temperaturas elevadas (Anexo A; Figuras 2.1B; 2.2B; 2.3B).

A segunda fase de desenvolvimento mostrou as maiores produções de matéria seca na parte aérea da cana-de-açúcar para ambos os ciclos de cultivo (Figuras 2.5; 2.6). Na média dos três solos, a matéria seca acumulada nessa fase, na cana planta e cana soca, representou, respectivamente, 80 e 83 % do total produzido, tornando possível evidenciar que a diferença na produção final de matéria seca observada no ciclo de cana planta com as doses de N ou a

diferença entre os solos, em ambos os ciclos fenológicos de produção, pode ser atribuída aos valores obtidos nesta fase de crescimento.

Na cana planta, a segunda fase diferenciou entre os solos, sendo observado para o LVd o maior período de acúmulo, que ocorreu entre 161 e 444 DAP (283 dias), com produção média de 50 Mg ha⁻¹ (Figuras 2.5 E). Para o LVe a maior produção de matéria seca foi observada entre 194 e 431 (237 dias), enquanto que para o LVAe, o segundo período de desenvolvimento ocorreu dos 218 até os 433 DAP (215 dias), produzindo em média 60 e 44 Mg ha⁻¹ respectivamente (Figuras 2.5 A e C). Com esses resultados foi possível identificar que o final da segunda fase ocorreu em média nos meses de abril de 2006 para o LVAe, maio de 2006 no LVe e junho de 2006 para o LVd, seguindo deste modo a ordem de plantio.

As produções obtidas nesse estudo para a segunda fase foram superiores as encontradas por Barbosa et al. (2002) que obtiveram no cultivar RB72454 produções de 40 Mg ha⁻¹. Por outro lado, Freire et al. (2010) avaliando o mesmo cultivar SP81-3250, em cana planta de ano, manejada sob irrigação plena nas condições edafoclimáticas de Pernambuco, observou na segunda fase, menor período de produção de matéria seca, que ocorreu entre 90 e 240 DAP (150 dias), porém com produção de 56 Mg ha⁻¹, valor esse semelhante aos observados neste estudo.

Notou-se que o ganho de matéria seca obtido no LVe foi superior aos demais solos, mesmo com a duração da segunda fase sendo inferior ao LVd. Possivelmente este resultado esteja relacionado com o regime hídrico no segundo período de desenvolvimento, no qual se constatou maiores precipitações (1.425 mm) e menor déficit hídrico (244 mm). Estes fatores em adição a alta fertilidade em todo perfil do solo (Tabela 2.2), pode ter proporcionado taxas de produção de matéria seca (TPMS) mais elevadas, com valores médios de 253 kg ha⁻¹ dia⁻¹. Nos solos LVAe e LVd a pluviosidade acumulada na segunda fase de produção de matéria seca foi menor (1.185 e 1.268 mm) e o déficit hídrico mais acentuado (259 e 476 mm), bem como a fertilidade no perfil do solo mostrou-se inferior, o que possivelmente promoveu nesta fase valores de TPMS menores, com médias de 176 e 204 kg ha⁻¹ dia⁻¹, respectivamente.

Pode-se observar na cana planta, que os solos LVAe e LVe apresentaram no segundo período de desenvolvimento tendência a ganhos positivos com as doses de N (Figuras 2.5 A e C), verificando-se na dose 120 kg ha⁻¹ de N que os acúmulos obtidos nesta fase de produção, foram superiores ao encontrado no tratamento não fertilizado com N e apresentando ganhos médios 18 e 21 Mg ha⁻¹ de MS, respectivamente. Por outro lado, no LVd a PMS no segundo período de

crescimento não foi influenciada com as doses de N. A falta de resposta à fertilização nitrogenada nesse solo pode ser atribuída aos resíduos culturais incorporados ao solo na reforma do canavial, que continham cerca de 200 kg ha^{-1} de N (FRANCO et al., 2007), que associado à intensidade de revolvimento do solo pode ter favorecido a mineralização dos resíduos recém incorporados ou da matéria orgânica do solo, com conseqüente nivelamento na disponibilidade de N (OTTO et al., 2009). Adicionalmente aos resíduos culturais incorporados, outra possibilidade refere-se à intensa mineralização de N do solo, oriundo do histórico de aplicação de vinhaça nesta área em doses apreciáveis por dez anos, no mínimo. A vinhaça possui N-orgânico na concentração média de $0,8 \text{ kg m}^{-3}$ que se acumula no solo e mineraliza com o tempo. Considerando a dose média de $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, estima-se o aporte de N-orgânico de vinhaça neste solo, em 10 anos, na ordem de 1.600 kg ha^{-1} de N. Esse N é de mineralização relativamente lenta e irá se acumular no solo, sendo disponibilizado com o tempo (PARNAUDEAU et al., 2008). Avaliações da taxa de amonificação bruta desse solo comparado aos demais, usando a técnica da diluição do isótopo ^{15}N , mostrou valores três vezes superiores na camada de 0-20 cm (dados não publicados).

Na cana soca a adubação nitrogenada não influenciou na PMS do segundo período de crescimento, verificando-se para no solo LVe o maior período, que ocorreu entre 123 e 349 DAC (227 dias), seguido do LVd em que os maiores acúmulos foram observados entre 152 e 347 DAC (196 dias) e do LVAe que ocorreu entre 177 e 348 DAC (170 dias), obtendo-se produções médias de 28, 33 e 24 Mg ha^{-1} respectivamente (Figuras 2.6 A; C; E). Com base na duração da segunda fase constatou-se que as maiores produções de matéria seca foram crescentes até o mês de junho de 2007, corroborando com os resultados obtidos por Gava et al. (2001) que observaram a segunda fase de produção entre os meses de dezembro a maio, em cana soca colhida em outubro de 1997, com produção média de 20 Mg ha^{-1} , indicando, deste modo, que independente da época de corte as maiores produções de matéria seca na parte aérea da cana-de-açúcar, para a cana soca, ocorrerão no início do verão até o começo do inverno, nas condições climáticas do Centro-Sul do Brasil.

Ainda na segunda fase de desenvolvimento, observaram-se as taxas máximas de produção de matéria seca (TMPMS). Na cana planta a TMPMS foi maior no LVe ocorrendo aos 313 DAP (janeiro de 2006) com acúmulos de $334 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (Figura 2.5 D). Nos solos LVAe e LVd a taxa máxima foi observada aos 325 e 303 DAP (janeiro de 2006) respectivamente,

acumulando em média 265 e 231 kg ha⁻¹ dia⁻¹ (Figura 2.5 B e F). Para a cana soca a TMPMS ocorreu antes da observada para o ciclo de cana planta, constatando-se no solo LVd as maiores taxas, com valores de 224 kg ha⁻¹ dia⁻¹, em março de 2007, aos 250 DAC (Figura 2.6 F). Por outro lado no LVAe e LVe verificou-se as taxas máximas aos 262 e 236 DAC (março e abril de 2007), respectivamente, acumulando em média 188 e 161 kg ha⁻¹ dia⁻¹ de matéria seca (Figura 2.6 B e D).

A partir desses resultados pode-se observar que as doses de N promoveram tendência a efeito positivo na TMPMS para os solos LVAe e LVe no ciclo de cana planta (Figura 2.5 B e D). No solo LVd e para os todos os solos no ciclo de cana soca, a adubação nitrogenada não influenciou nas taxas máximas de produção (Figuras 2.5 F; Figura 2.6 B, D e F). De modo geral, os tratamentos e solos que demonstraram as maiores TMPMS, também obtiveram as maiores produções finais. Entretanto, em alguns casos, como no LVd (cana planta) e no LVe (cana soca) a TMPMS foi à menor entre os solos avaliados, porém apresentaram, respectivamente, produção semelhante e superior aos solos que obtiveram a segunda maior TMPMS (Anexo A). De acordo com os resultados obtidos por Greef et al. (1999), plantas produtivas apresentam altas TMPMS por maior período de tempo, enquanto que plantas menos produtivas ou submetidas a algum tipo de estresse, mostram valores altos de TMPMS, contudo com baixa duração, não compensando taxas inferiores com maior tempo de permanência. Corroborando com esses resultados, as taxas máximas encontradas no ciclo de cana planta para LVd mostraram-se mais duradouras em relação às obtidas no LVAe (Anexo A; Figuras 2.5 B e F) e no ciclo de cana soca as taxas máximas do LVe permaneceram mais constantes em comparação as do LVAe (Anexo A; Figura 2.6 B e D) permitindo identificar que taxas elevadas de produção de matéria seca com pequena duração ou baixas taxas de acúmulo de matéria seca de longa duração, não foram indicadores de alta produtividade, evidenciando que o manejo da cana-de-açúcar deve visar à obtenção de taxas elevadas e duradouras, principalmente na segunda fase de desenvolvimento.

A PMS na terceira fase, em ambos os ciclos de desenvolvimento, não foi influenciada com as doses de N e resultou nos menores ganhos de matéria seca, representando na média dos ciclos a 8 e 4 %, respectivamente de toda produção acumulada na parte aérea da cana-de-açúcar. Na cana planta, a terceira fase para o LVe ocorreu entre 431 e 523 DAP, produzindo em média 8 Mg ha⁻¹. Para o solo LVAe a produção de matéria seca nesta fase final de crescimento foi observada dos 433 aos 468 DAP, com acúmulo médio de 4 Mg ha⁻¹, enquanto que no LVd esta

fase ocorreu entre os 444 e 459 DAP com produção média de 2,5 Mg ha⁻¹ de matéria seca. Por outro lado a massa de matéria seca produzida na cana soca na terceira fase, foi semelhante entre os solos, apresentando média de 1,5 Mg ha⁻¹, na média de 15 dias de desenvolvimento vegetativo.

O ajuste sigmoidal observado na produção de matéria seca, também se ajustou para o acúmulo dos macronutrientes na parte aérea da cana-de-açúcar, caracterizando para os ciclos de cana planta e cana soca, três fases de acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S (Figuras 2.7 a 2.18 A; C e E).

2.3.2 Acúmulo de Nitrogênio

O acúmulo de N em ambos os ciclo de produção para os solos LVAe e LVe, apresentaram incrementos com a adubação nitrogenada, enquanto que no LVd não houve diferença nos acúmulos de N com os tratamentos utilizados (Anexo B; Figura 2.7 A, C e E; Figura 2.8 A, C e E). Resultados semelhantes para cana planta foram óbitos por Franco et al. (2007), ao observarem acúmulos de N significativamente maiores na parte aérea da cana-de-açúcar com a fertilização nitrogenada.

Entre os solos, verificou-se que as extrações iniciais na cana planta, ocorreram até os 138, 112 e 101 DAP (junho a julho de 2005) apresentando acúmulos médios de 25 kg ha⁻¹ para os solos LVe, LVAe e LVd respectivamente. De forma geral, neste ciclo de produção o período inicial de acúmulo de N antecipou-se com a adubação nitrogenada, porém apenas nos LVAe e LVe os ganhos se mostraram tendência positiva (Figura 2.7 A, C e E). Na cana soca a duração da primeira fase de acúmulo foi inferior à verificada em cana planta, constatando-se com as doses de N, redução dos períodos para os solos LVAe e LVe e aumento no LVd (Figura 2.8 A, C e E). Para este ciclo verificou-se acúmulos médios iniciais de 13 kg ha⁻¹ de N, que ocorreram na média dos tratamentos até os 91, 60 e 65 DAC (setembro a outubro de 2006), respectivamente, no LVAe, LVe e LVd.

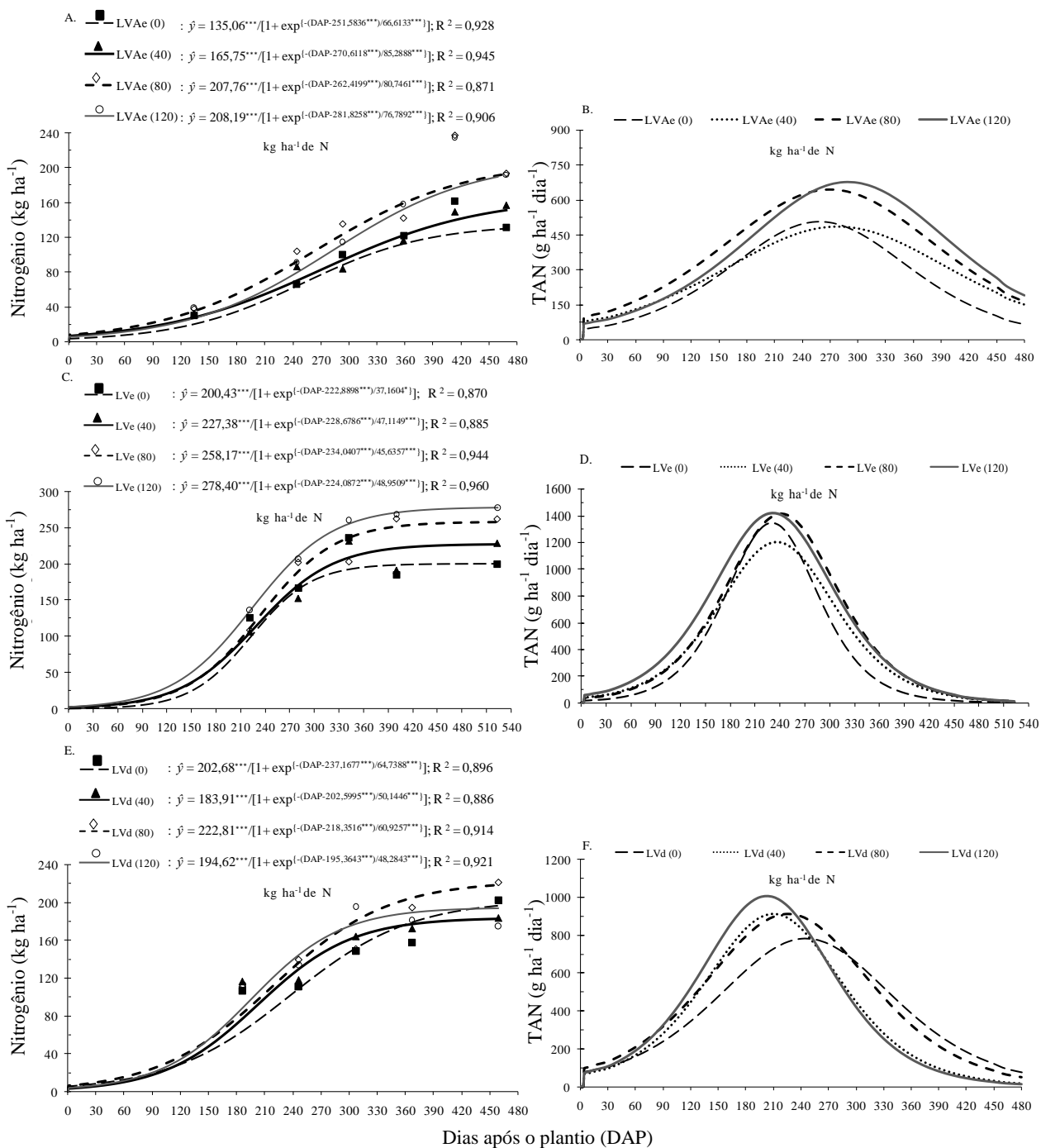


Figura 2.7 - Acúmulo e taxa de acúmulo de nitrogênio (TAN) na parte aérea da cana-de-açúcar, no ciclo de cana planta, em três classes de solos LV Ae (A e B), LVe (C e D) e LVd (E e F), relacionados à adubação nitrogenada. *, *** significativo, respectivamente, a 10 e 1% de probabilidade

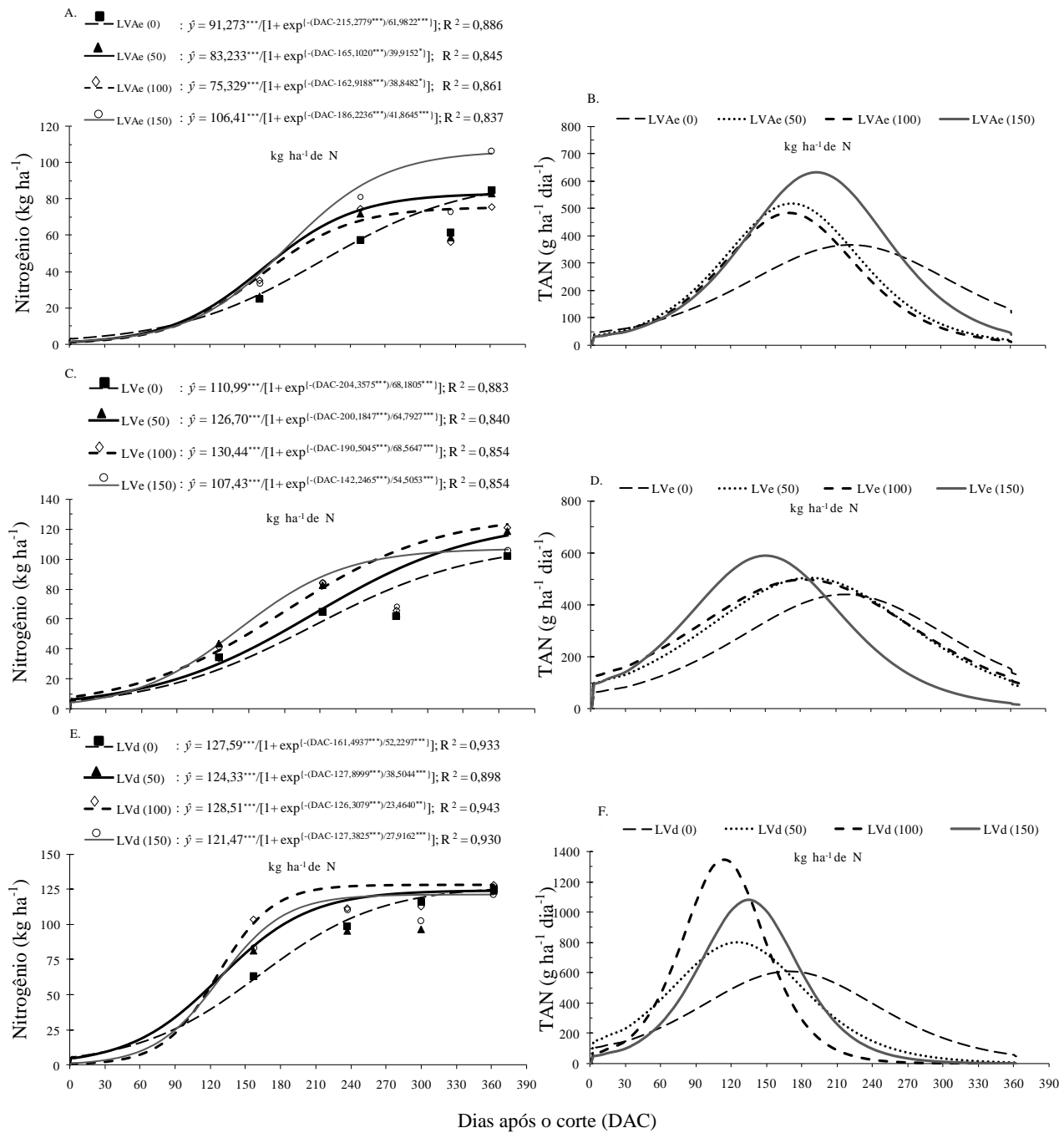


Figura 2.8 - Acúmulo e taxa de acúmulo de nitrogênio (TAN) na parte aérea da cana-de-açúcar, no ciclo de cana soca, em três classes de solos LVAe (A e B), LVe (C e D) e LVd (E e F), relacionados à adubação nitrogenada. *, **, *** significativo, respectivamente, a 10, 5 e 1% de probabilidade

As maiores extrações de N foram obtidas na segunda fase, sendo observado na cana planta os maiores acúmulos no LVe, com valores de 184 kg ha^{-1} , no período de 138 a 317 DAP. No LVAe as maiores extrações de N foram observadas entre 112 e 421 DAP, enquanto que para o LVd o período de maior acúmulo ocorreu dos 101 aos 325 DAP, extraindo em média 136 e 153 kg ha^{-1} respectivamente (Anexo B). Na segunda fase, a adubação nitrogenada apresentou tendência positiva no acúmulo de N, constatando-se na dose 120 kg ha^{-1} , nos solos LVAe e LVe incrementos médios da ordem de 58 kg ha^{-1} em relação às parcelas não fertilizadas. Por outro lado no solo LVd o tratamento 80 kg ha^{-1} de N apresentou as maiores extrações, com ganhos de 16 kg ha^{-1} de N em comparação ao tratamento controle (Figuras 2.7 A; C; E).

Na cana soca o acúmulo de N na segunda fase foi maior nos solos LVd, ocorrendo no período de 65 aos 207 DAC e no LVe entre 60 e 306 DAC, acumulando em média 93 kg ha^{-1} de N (Anexo B). Enquanto que para o LVAe os acúmulos de N nesta fase foram observados entre 91 e 274 DAC, com valores médios de 68 kg ha^{-1} . Com relação ao efeito dos tratamentos, observou-se que as doses crescentes de N promoveram diminuição no tempo de duração do segundo período, em todos os solos, porém apenas nos solos LVAe e LVe este comportamento foi acompanhado por tendência positiva no acúmulo de N na parte aérea da cana-de-açúcar (Figuras 2.8 A e C).

Durante a segunda fase verificou-se em ambos os ciclos de produção as maiores taxas de acúmulo de N (TMAN), que se mostraram antecipadas em relação à TMPMS (Anexos A e B; Figuras 2.5 e 2.7; Figuras 2.6 e 2.8). Na cana planta a maior TMAN foi obtida no solo LVe aos 227 DAP (outubro de 2005) com valores médios de $1.348 \text{ g ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$. Para os solos LVAe e LVd os acúmulos máximos ocorreram aos 267 e 213 DAP (novembro de 2005), com valores médios de 578 e $905 \text{ g ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ respectivamente. Na cana soca a TMAN diferenciou entre os solos ocorrendo aos 136 DAC (novembro de 2006) no solo LVd com acúmulos de $967 \text{ g ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$. Nos solos LVAe e LVe as taxas máximas foram observadas em média aos 182 DAC, ou seja, nos meses de dezembro de 2006 e fevereiro de 2007 respectivamente, com valores médios de $500 \text{ g ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$.

Os valores médios da TMAN encontrados neste estudo foram semelhantes aos obtidos por Coale et al. (1993), com dois cultivares de cana-de-açúcar em diferentes condições edafoclimáticas da Florida, EUA. Entretanto aos acúmulos relativos obtidos pelos autores, na segunda fase, equivaleram a 54 % de todo N contido na parte aérea, enquanto que no presente

estudo a média dos três solos correspondeu a 78 % do total acumulado, o que levou a acúmulos de N no final do ciclo a superar os encontrados pelos autores.

Em ambos os ciclos fenológicos de produção, as doses de N proporcionaram aumentos lineares positivos na TMAN, exceto para os solos LVAe e LVe na cana planta, em que se observou no tratamento controle, taxas máximas superiores as obtidas na dose 40 kg ha⁻¹ (Figura 2.7 B e D). No entanto, a duração da TMAN no tratamento não fertilizado foi menor, o que levou a acúmulos inferiores de N no final ciclo de produção (Anexo B; Figura 2.7 A e C). Como relatado para a produção de matéria seca, os tratamentos e solos que proporcionaram as maiores TMAN associados à maior duração, também obtiveram as maiores extrações finais (Figuras 2.7 B, D e F; 2.8 B, D e F). Aumentos significativos na TMAN com a adubação nitrogenada, também foi observado por Silveira e Cromo (1990), ao identificar no ciclo de cana planta de ano, para o cultivar NA56-79, taxas máximas de 1.000 g ha⁻¹ dia⁻¹, valor esse próximo aos obtidos no presente estudo.

A terceira fase de acúmulo correspondeu para os ciclos de cana planta e cana soca, em média a 10 % de todo N extraído pela parte aérea da cana-de-açúcar. Na cana planta os solos LVe e LVD resultaram, respectivamente, em acúmulos médios de 30 e 19 kg ha⁻¹ de N no período correspondente a 206 e 134 dias. Para o LVAe, o acúmulo de N após o término do segundo período até a colheita ocorreu em 47 dias com ganhos médios na parte aérea de 11 kg ha⁻¹ de N. Na cana soca o período de crescimento foi semelhante entre os solos, o que levou a diferenciação no acúmulo de N para o ultimo período, a relacionar-se com o comportamento obtido nas duas primeiras fases. Assim, a terceira fase no LVD foi maior (155 dias) acumulando em média 14 kg ha⁻¹ de N, enquanto que nos solos LVAe e LVe, os acúmulos ocorreram em 87 e 61 dias, com valores médios de 8 kg ha⁻¹.

2.3.3 Acúmulo de Fósforo

O acúmulo de P na parte aérea da cana-de-açúcar apresentou diferença entre os solos avaliados e com as doses de N (Anexo C; Figura 2.9 A, C e E; Figura 2.10 A, C e E), verificando-se na cana planta o efeito dos tratamentos apenas para os solos LVAe e LVe, enquanto que para cana soca o efeito das doses de N foi observado nos solos LVe e LVD.

Em ambos os ciclos de produção, as doses de N não influenciaram no tempo de duração da primeira fase de acúmulo, bem como na quantidade extraída de P, sendo observado valor

médio de 3,1 e 1,8 kg ha⁻¹ para cana planta e cana soca, respectivamente, o que equivaleu a 12 % do total extraído (Figura 2.9 A, C e E; Figura 2.10 A, C e E). No ciclo de cana planta o acúmulo inicial de P para os solos LVd e LVAe ocorreu, respectivamente, até os 123 e 160 DAP (julho de 2005), enquanto que no LVe a primeira fase perdurou até agosto de 2005 (160 DAP). Na cana soca a primeira fase foi mais prolongada no solo LVe ocorrendo em outubro de 2006, aos 75 DAC, e para os solos LVAe e LVd esta fase inicial ocorreu até os 104 e 56 DAC (setembro de 2006), respectivamente.

Na média dos solos e tratamentos, os acúmulos observados na segunda fase corresponderam a 80 % na cana planta e 76 % na cana soca de todo P extraído pela cana-de-açúcar. Nesse período os valores obtidos nos dois ciclos de produção para o LVAe foram inferiores aos demais solos, observando-se acúmulos médios de 15 e 9 kg ha⁻¹ de P, que ocorreram entre 160 e 408 DAP e 104 e 309 DAC, respectivamente (Anexo C; Figura 2.9 A; Figura 2.10 A). No ciclo de cana planta, os solos LVe e LVd obtiveram nessa fase, acúmulos de P até os 336 e 371 DAP respectivamente, extraindo em média 22 kg ha⁻¹ (Figura 2.9 C e E). Os acúmulos de P encontrados até o final desse período foram inferiores aos obtidos por Barbosa et al. (2002), que observaram no ciclo de cana planta da variedade RB72454, acúmulos de 52 kg ha⁻¹ na parte aérea até os 370 DAP. Por outro lado, em cana planta de ano, cultivada nas condições edafoclimáticas dos tabuleiros costeiros do Estado de Alagoas, Silva et al. (2007) verificaram que o acúmulo de P na parte aérea de diferentes cultivares foi semelhante aos encontrados nesta pesquisa.

Na cana soca, a segunda fase de acúmulo no LVe foi observada entre os 75 e 229 DAC e no LVd no período de 56 e 282 DAC, com valor acumulado de 11 e 15 kg ha⁻¹ de P (Anexo C; Figura 2.10 C e E). No mesmo ciclo de produção, acúmulos de P obtidos na parte aérea da mesma variedade quando fertirrigada por gotejamento em Argissolo situado nos tabuleiros costeiros de do Estado de Alagoas, se mostraram superiores em 18 kg ha⁻¹ (MOURA FILHO et al., 2007), demonstrando que a dose aplicada de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ pelos autores, pode ser considerada alta para essas condições de cultivo, uma vez que produção de matéria seca obtida, no mesmo período, foi semelhante à média encontrada no presente estudo, evidenciando consumo de luxo e armazenamento de P no vacúolo das células dos tecidos da parte aérea.

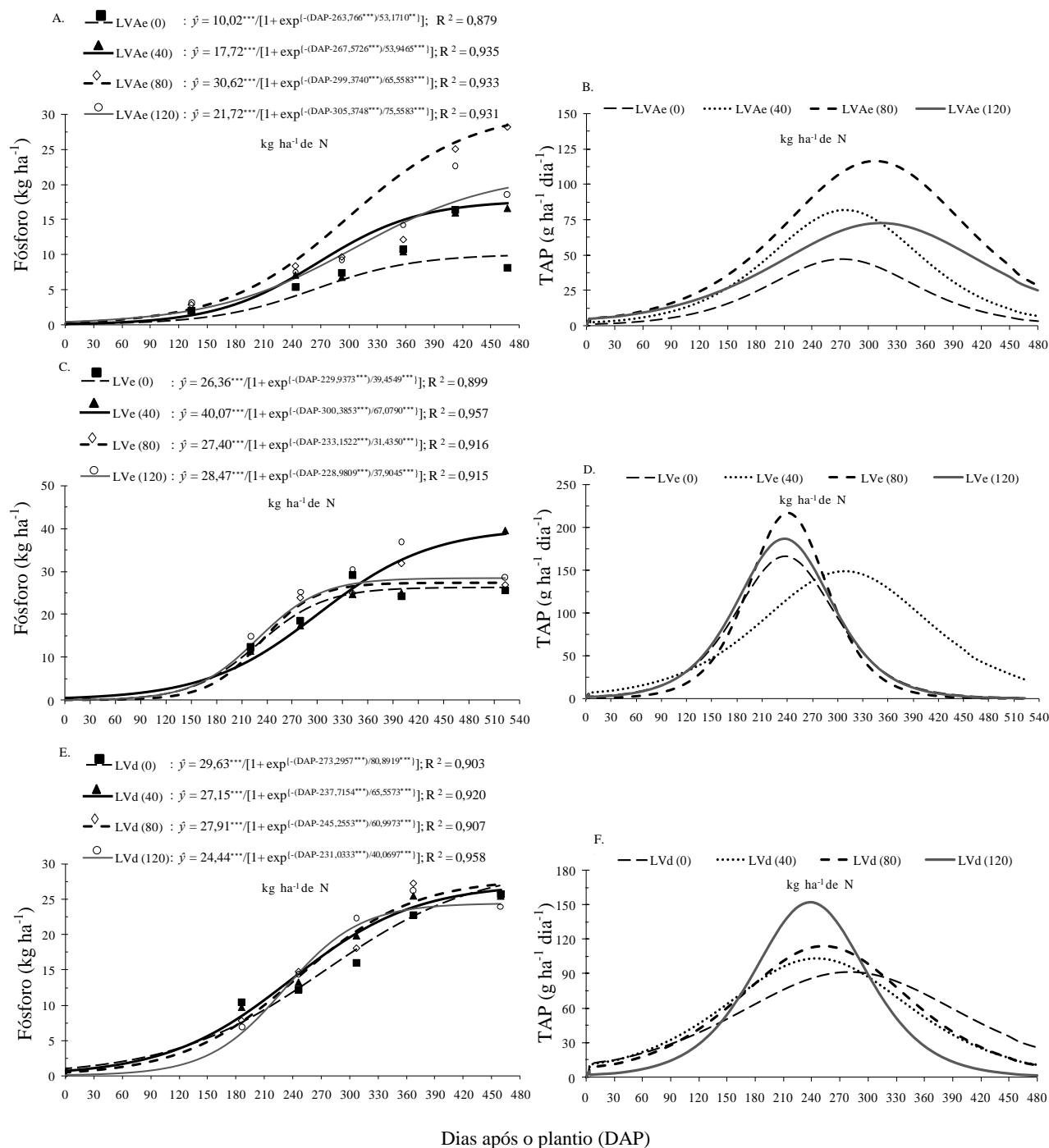


Figura 2.9 - Acúmulo e taxa de acúmulo de fósforo (TAP) na parte aérea da cana-de-açúcar, no ciclo de cana planta, em três classes de solos LVAe (A e B), LVe (C e D) e LVd (E e F), relacionados à adubação nitrogenada. **, *** significativo, respectivamente, a 5 e 1% de probabilidade

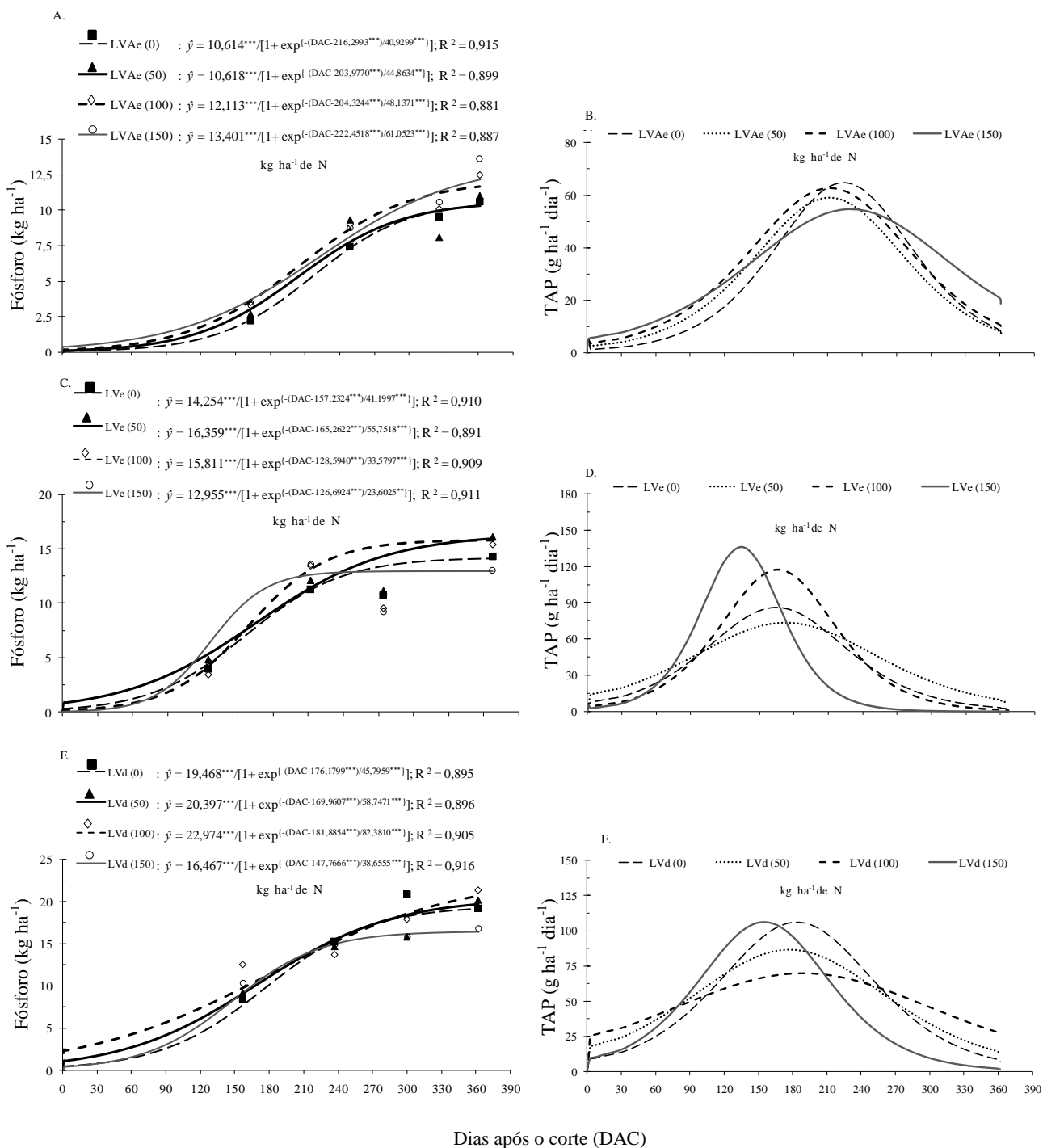


Figura 2.10 - Acúmulo e taxa de acúmulo de fósforo (TAP) na parte aérea da cana-de-açúcar, no ciclo de cana soca, em três classes de solos LV Ae (A e B), LVe (C e D) e LVd (E e F), relacionados à adubação nitrogenada. **, *** significativo, respectivamente, a 5 e 1% de probabilidade

Para as doses de N aplicadas no plantio e na primeira soqueira de cana-de-açúcar, o acúmulo de P na segunda fase apresentou comportamento diferenciado entre os solos (Figura 2.9 A, C e E; Figura 2.10 A, C e E). Na cana planta o acúmulo de P no LVAe foi crescente até a dose de 80 kg ha⁻¹ de N, enquanto que no LVe os maiores acúmulos no final desta fase foram observados com adição de 40 kg ha⁻¹ de N. Para o LVd os acúmulos de P nessa fase não foram influenciados pela adubação nitrogenada.

As reduções no acúmulo de P na segunda fase, com as doses mais elevadas, podem ser atribuídas o amento significativo na produção de matéria seca após aplicação das doses de N (Figura 2.5 A e C), que possivelmente elevou a demanda por nutrientes pela planta (TAIZ; ZAIGER, 2009), concentrando em excesso o N dos tratamentos 80 e 120 kg ha⁻¹, na forma de N-NO₃⁻, junto à membrana plasmática das células das raízes, o que pode ter proporcionado efeito competitivo na absorção de P, principalmente com aumento do déficit hídrico a partir de abril de 2006 (Figuras 2.1 A; 2.2 A) que limitou o deslocamento do P no solo em direção as raízes. Em adição a essa hipótese, observou-se nesses solos que durante todo desenvolvimento vegetativo, os acúmulos de N foram sempre crescentes com a adubação nitrogenada e a relação N/P no final do ciclo de produção foi maior na dose 120 kg ha⁻¹ de N para o LVAe e a partir da dose 80 kg ha⁻¹ de N no LVd, em relação aos outros tratamentos, evidenciando maior absorção de N em relação ao P. Em contra partida, no LVd a hipótese que a intensidade de revolvimento do solo e a aporte de N oriundo da matéria orgânica da vinhaça terem favorecido a mineralização dos resíduos recém incorporados ou da matéria orgânica do solo, com conseqüente nivelamento na disponibilidade de N e produções semelhantes de matéria seca na segunda fase, levou os acúmulos de P a não serem influenciados com os tratamentos.

No ciclo de cana soca o acúmulo de P na segunda fase apresentou tendência a incrementos lineares positivos no LVAe e acúmulos crescentes até a dose de 100 kg ha⁻¹ de N nos solos LVe e LVd (Figura 2.10 A, C e E), esses resultados podem ser atribuídos ao efeito sinérgico da adubação nitrogenada, uma vez que a produção de matéria seca não diferenciou com as doses de N nesse período (Figura 2.6 A, C e E). A redução no acúmulo de P observadas com as doses 150 kg ha⁻¹ de N, pode ser atribuídas à hipótese mencionada para o ciclo de cana planta.

A taxa máxima de acúmulo de P (TMAP) na cana planta ocorreu aos 248 e 284 DAP (novembro de 2005) nos solos LVAe e LVe com valores de 79 e 180 g ha⁻¹ dia⁻¹, respectivamente. No LVd o período até a ocorrência da TMAP foi observado aos 247 DAP

(dezembro de 2005) acumulando em média $115 \text{ g ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (Anexo C; Figura 2.9 B, D e F). Do mesmo modo com observado no ciclo anterior, a TMAP na cana soca foi superior para os solos LVe e LVd ocorrendo aos 152 e 119 DAC (janeiro de 2007 e novembro de 2006) respectivamente, com extrações média de 104 e $92 \text{ g ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (Figura 2.10 D e F). Por outro lado, no solo LVAe a taxa máxima ocorreu aos 212 DAP (janeiro de 2007) com acúmulos de $60 \text{ g ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, (Figura 2.10 B). Os maiores acúmulos de P observados nos solos LVe e LVd, possivelmente estão relacionados à ação conjunta da maior disponibilidade desse nutriente nas camadas superficiais (Tabelas 2.1; 2.2), com a produtividade mais elevada de matéria seca de ambos os solos (Anexo A).

Com relação ao efeito da adubação nitrogenada na TMAP, observou-se na cana planta que os tratamentos 80 kg ha^{-1} nos solos LVAe e LVe e o tratamento 120 kg ha^{-1} de N no LVd apresentaram os maiores valores de TMAP (Figura 2.9 B, D e F). Na cana soca apenas no LVe foi possível identificar tendência crescente na TMAP com uso de N, enquanto que para os demais solos os valores das taxas máximas não foram influenciadas com os tratamentos (Figura 2.10 B, D e F).

Na terceira fase, o acúmulo de P não foi influenciado pela adubação nitrogenada e os valores obtidos nesse período, corresponderam na cana planta e cana soca, respectivamente, a 8 e 12 % de todo nutriente extraído na parte aérea da cana-de-açúcar (Figura 2.9 A, C e E; Figura 2.10 A, C e E). Os acúmulos encontrados no LVe, mostraram-se na cana planta superiores aos demais solos, com valores de 3 kg ha^{-1} no período de 187 dias. Nos solos LVAe e LVd a terceira fase obteve menor duração ocorrendo em 60 e 88 dias respectivamente, com acúmulos médios de $1,2 \text{ kg ha}^{-1}$ de P. Na cana soca a terceira fase acumulou em média $1,7 \text{ kg ha}^{-1}$ de P, no período de 138, 80 e 52 dias, respectivamente, para os solos LVe e LVd e LVAe.

2.3.4 Acúmulo de Potássio

O acúmulo de K também diferenciou entre os solos e foi influenciado pela adubação nitrogenada, sendo observado na cana planta para os solos LVAe e LVe diferença entre as doses aplicadas, enquanto que para cana soca o efeito da adubação nitrogenada no acúmulo de K, foi notado apenas no LVe (Anexo D; Figura 2.11 A, C e E; Figura 2.12 A, C e E).

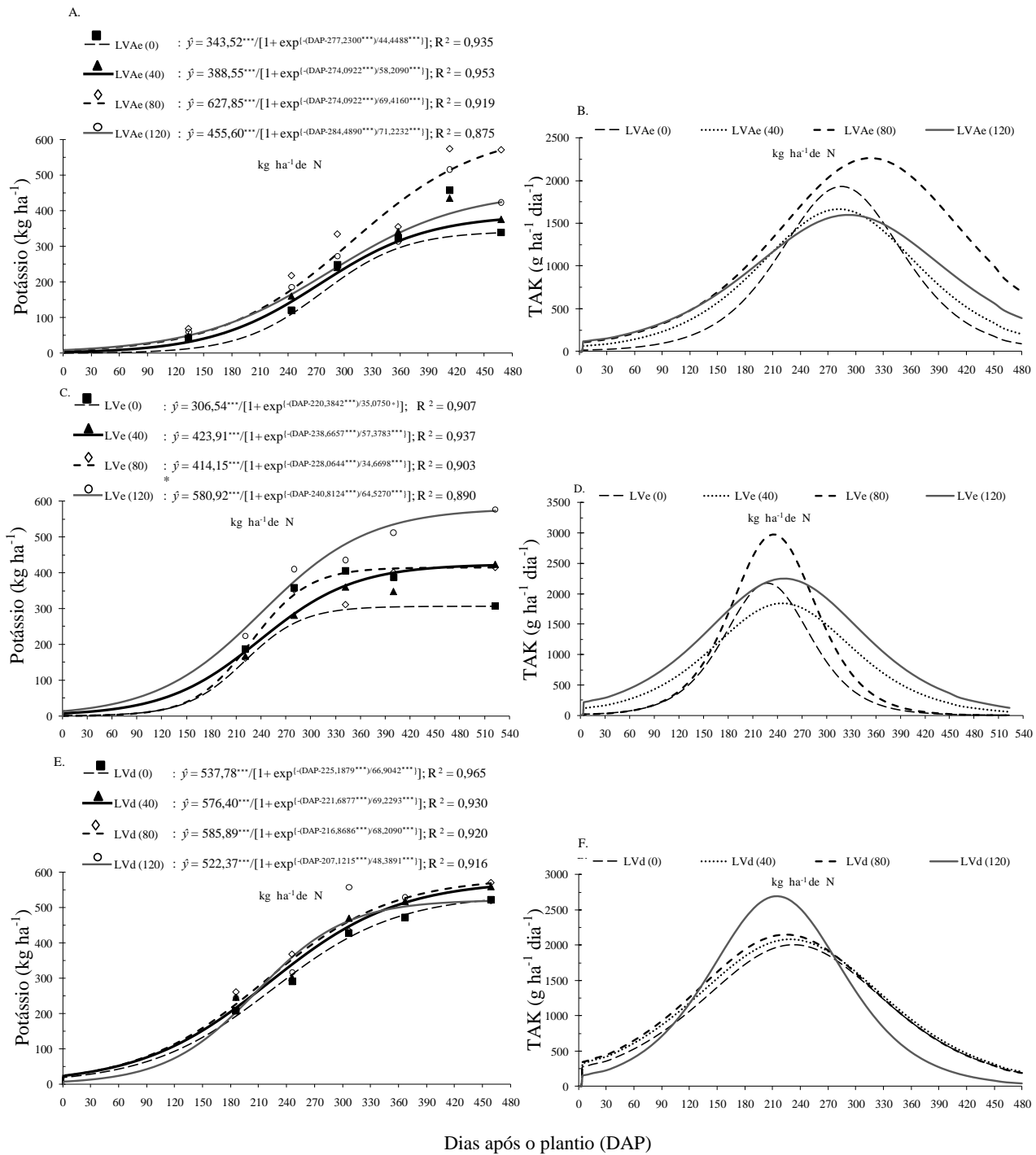


Figura 2.11 - Acúmulo e taxa de acúmulo de potássio (TAK) na parte aérea da cana-de-açúcar, no ciclo de cana planta, em três classes de solos LV Ae (A e B), LVe (C e D) e LVd (E e F), relacionados à adubação nitrogenada. *** significativo a 1% de probabilidade

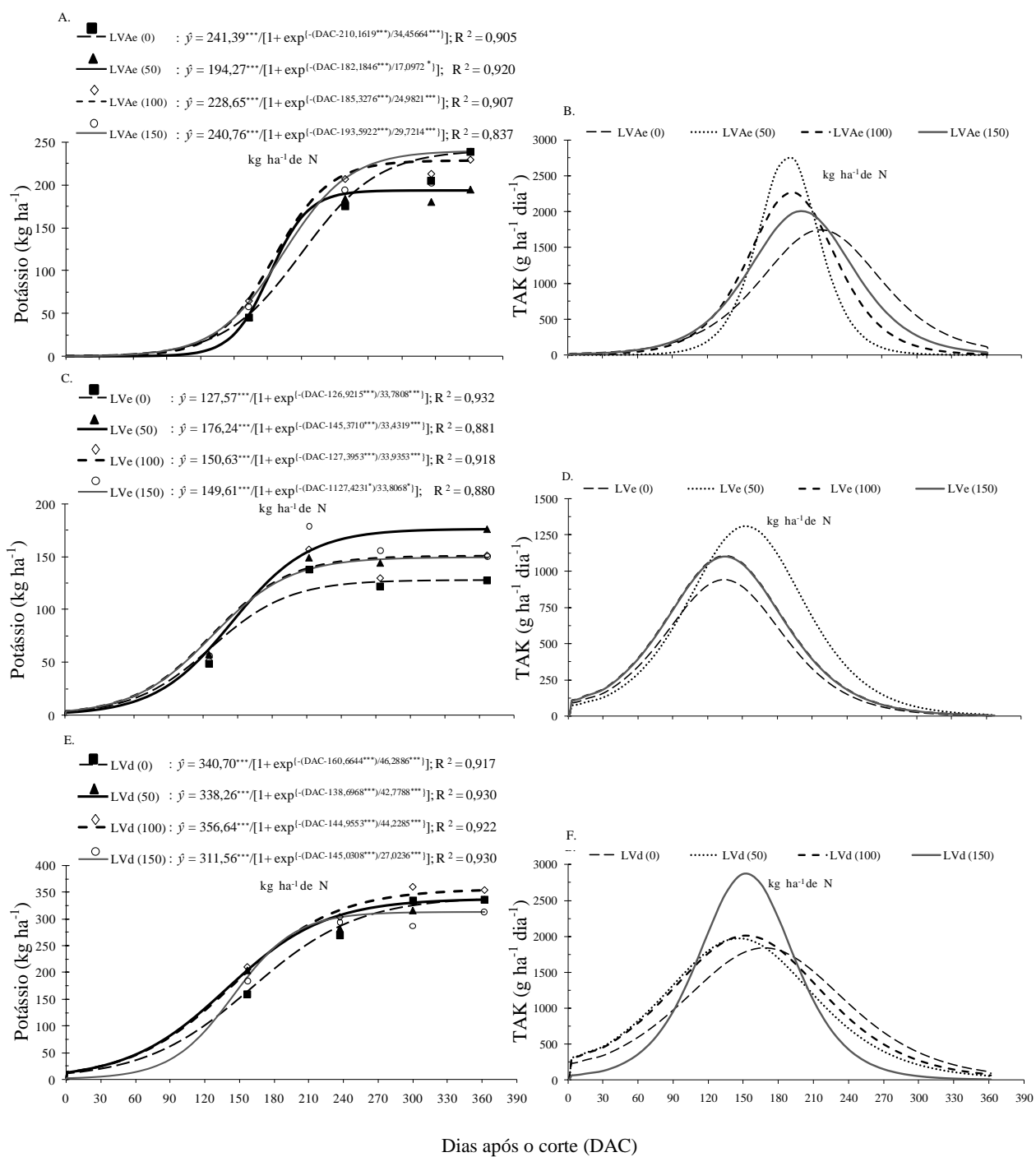


Figura 2.12 - Acúmulo e taxa de acúmulo de potássio (TAK) na parte aérea da cana-de-açúcar, no ciclo de cana soca, em três classes de solos LVaE (A e B), LVe (C e D) e LVd (E e F), relacionados à adubação nitrogenada. *, ***, significativo, respectivamente, a 10 e 1% de probabilidade

As extrações iniciais de K na cana planta e cana soca, corresponderam a 12 % de todo nutriente encontrado na parte aérea da cana-de-açúcar, observando-se para o LVd os maiores acúmulos, com valores médios de 66 e 40 kg ha⁻¹, respectivamente, até os 91 DAP e 67 DAC (junho de 2005 e setembro de 2006). Com o segundo maior acúmulo na fase inicial, o LVAe extraiu inicialmente 54 kg ha⁻¹ na cana planta e 27 kg ha⁻¹ na cana soca, no período de 164 DAP (julho de 2005) e 140 DAC (novembro de 2006), respectivamente. O LVe apresentou os menores acúmulos iniciais com valores de 51 e 18 kg ha⁻¹ de K, nos primeiros 136 dias (julho de 2005) na cana planta e 64 dias (outubro de 2006) na cana soca.

Na cana planta, a duração do período inicial de acúmulo de K apresentou nos solos LVAe e LVe tendência linear decrescente com as doses N, porém com incrementos positivos no acúmulo desse nutriente (Figura 2.11 A e C). No LVd a adubação nitrogenada não influenciou na duração do primeiro período, bem como no total do K acumulado (Figura 2.11 E). Para o ciclo de cana soca os tratamentos não demonstraram efeito no acúmulo de K, porém observou-se nos solos LVAe e LVd períodos iniciais mais curtos com adição de N (Figura 2.12 A, C e E).

A quantidade acumulada de K na segunda fase equivaleu em média a 77 % de todo nutriente extraído na parte aérea da cana-de-açúcar (Figuras 2.11 A, C e E; 2.12 A, C e E). Nesse período, o acúmulo de K em ambos os ciclos de produção para o LVd superou os demais solos, sendo observado valores de 423 e 257 kg ha⁻¹, respectivamente, do final da primeira fase até os 344 DAP e 227 DAC (Anexo D; Figura 2.11 E; Figura 2.12 E). Na cana planta a segunda fase ocorreu entre 164 e 408 DAP no LVAe e no período de 136 aos 328 DAP para o LVe, acumulando em média 345 e 328 kg ha⁻¹ de K, respectivamente (Anexo D; Figuras 2.11 A e C). Na cana soca a fase com maior acúmulo de K foi observada até fevereiro de 2007 em todos os solos, constatando-se no LVAe que esta fase ocorreu entre 140 e 246 DAC, já para o LVe os maiores acúmulos aconteceram dos 64 aos 199 DAC, obtendo extrações médias de 172 e 115 kg ha⁻¹ de K, respectivamente (Anexo D; 2.12 A e C).

Na segunda fase, as doses de nitrogênio de plantio promoveram tendência linear positiva no acúmulo de K no LVe; por outro lado, nos solos LVAe e LVd os incrementos foram observados até a dose de 80 kg ha⁻¹ de N (Figura 2.11 A, C e E), evidenciando que a maior dose de N aplicada promoveu efeito competitivo no acúmulo de K. Na cana soca as doses de N anteciparam a duração da segunda fase nos solos LVAe e LVd, porém sem efeito na quantidade acumulada (Figura 2.12 A e E). Para o LVe a adubação nitrogenada aplicada na primeira soqueira

não influenciou na duração da segunda fase, entretanto promoveu efeito sinérgico no acúmulo de K, com destaque para a dose de 50 kg ha^{-1} , no qual se constatou ganhos médio de 30 kg ha^{-1} em relação aos demais tratamentos (Figura 2.12 C).

Os acúmulos médios de 365 kg ha^{-1} de K na cana planta e 181 kg ha^{-1} de K na cana soca, obtidos na segunda fase, foram superiores aos observados em sete cultivares avaliados em Argissolo no Estado de Alagoas (SILVA et al., 2008), bem como aos resultados encontrados no trabalho realizado com o cultivar CB41-76, em três classes de solos do Estado de São Paulo (ORLANDO FILHO et al., 1980). Esta diferença no acúmulo de K pode ser atribuída às maiores produções de matéria seca encontradas no presente estudo, quando em adição aos teores de K observados nas camadas superficiais dos solos, principalmente do LVd (Tabelas 2.1; 2.2), que induziram ao consumo de luxo com possível armazenamento desse nutriente no vacúolo das células vegetais, aumentando, deste modo, a quantidade acumulada de K na parte aérea da cana-de-açúcar.

Assim como ocorrido para o N e P, a taxa máxima de acúmulo de K (TMAK) foi antecipada em relação à TMPMS e verificada durante o segundo período de acúmulo. Na cana planta as maiores taxas foram observadas nos solos LVe e LVd, com valores médios de 2.317 e $2.234 \text{ g ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ que ocorreram aos 232 e 218 DAP (novembro e outubro de 2005), respectivamente (Anexo D; Figura 2.11 D e F). Para o solo LVAe a taxa máxima foi obtida aos 286 DAP (dezembro de 2005), acumulando em média $1.865 \text{ g ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (Figura 2.11 B). No ciclo de cana soca a TMAK em todos os solos ocorreu em dezembro de 2006, no qual se observou para os solos LVAe e LVd os maiores valores (2.226 e $2.181 \text{ g ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ de K) que ocorreram, respectivamente, aos 147 e 193 DAC (Figura 2.12 B e F). No LVe foram obtidas as menores TMAK ($1.119 \text{ g ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ de K), sendo estas observadas aos 132 DAC.

Com relação aos tratamentos, verificou-se, na cana planta, que as doses de 80 e 120 kg ha^{-1} de N proporcionaram os maiores valores da TMAK nos solos LVe e LVd, enquanto que no LVAe as taxas máximas foram obtidas nas parcelas que receberam 80 kg ha^{-1} de N e no tratamento controle (Figura 2.11 B; D e E). Por outro lado, na primeira soqueira as taxas máximas foram maiores com a adubação nitrogenada em todos os solos, constatando-se nos solos LVe e LVAe os maiores valores na dose de 50 kg ha^{-1} de N e no LVd com a dose 150 kg ha^{-1} de N (Figura 2.12 B, D e E).

A terceira fase de acúmulo correspondeu em média para os ciclos de cana planta e cana soca, a 11 % de todo K extraído pela parte aérea da cana-de-açúcar. Sendo observado na cana planta que os acúmulos obtidos nessa fase para os solos LVd e LVe foram em média de 52 kg ha⁻¹, enquanto que no LVAe os valores médios foram de 28 kg ha⁻¹. Os acúmulos finais de K na cana soca foram maiores no LVd, seguido do LVAe e LVe, com extrações médias de 38, 27 e 18 kg ha⁻¹, respectivamente. O efeito dos tratamentos na terceira fase para a cana planta apresentou tendência de aumento nos acúmulos de K para os solos LVd e LVe, enquanto que no LVAe e em todos os solos na cana soca o acúmulo de K na terceira fase não foi influenciado com adição de N.

Observou-se no ciclo de cana planta, principalmente no LVAe, que os pontos médios das curvas de N, P e K, foram crescentes e acompanharam a produção de matéria seca até 413 DAP (início de abril de 2006), havendo em seguida redução na quantidade acumulada até 468 DAP (junho de 2006). Na cana soca, os acúmulos de N, P e K para os solos LVAe e LVe se mostram crescentes até os 249 e 212 DAC, ou seja, no final de fevereiro e início de março de 2007, respectivamente. Posteriormente, decresceram rapidamente até os 326 e 274 DAC (maio de 2007) e voltaram a aumentar até os 362 e 367 DAC (junho a agosto de 2007). Diante dos resultados, verificou-se que as reduções no acúmulo de N, P e K, em ambos os ciclos de produção, ocorreram com o início do déficit hídrico mais acentuado (Figuras 2.1 A e B; 2.2 B), o que corrobora com a hipótese mencionada por Gava et al. (2001), que relata haver estímulos fisiológicos da cana-de-açúcar no início da estiagem, translocando os fotossimilados e nutrientes da parte aérea em direção as raízes e rizomas, o que estimularia o desenvolvimento do sistema radicular, proporcionando maior área de exploração de volume de solo e aumentando o potencial de absorção de água e nutrientes, explicando deste modo, o terceiro momento no qual se constatou retorno no acúmulo de nutrientes na cana soca. No entanto, os resultados obtidos na cana planta por Otto et al. (2009), na mesma área experimental (LVAe), mostraram que durante o período de déficit hídrico a massa de raízes foi decrescente, não havendo, portanto, maior desenvolvimento do sistema radicular nesse período, o que levaria a remobilização desses nutrientes a concentrar nos rizomas, objetivando constituir reserva nutricional para garantir melhor vigor da rebrota subsequente (FRANCO et al., 2008).

Como esses nutrientes são considerados móveis quanto à redistribuição no sistema vascular dos vegetais, a hipótese de remobilização pode ser verdadeira, uma vez que Trivelin et

al. (1984) ao aplicarem ^{15}N -fertilizante na parte aérea da cana-de-açúcar, demonstraram que 7 % do nutriente marcado foi translocando para a parte subterrânea, sendo essa reserva posteriormente utilizada em partes iguais entre parte aérea e sistema radicular na primeira rebrota da cana-de-açúcar; essa informação permite estender esse resultado para P e K, já que as reduções médias em termos percentuais encontrada no presente estudo se mostraram semelhantes, constatando-se valores médios de 18, 24 e 20 %, respectivamente. De acordo com Marchner, (1995), quando a cultura se aproxima da fase final de cultivo, podem ser remobilizados mais de 90 % do N e P das partes vegetativas em direção as estruturas reprodutivas, no caso da cana-de-açúcar para os colmos e rizomas.

2.3.5 Acúmulo de Cálcio

O acúmulo de Ca na parte aérea da cana-de-açúcar diferenciou entre os solos estudados e diferiu com as doses de N, observando-se efeitos significativos apenas no LVAe na cana planta e nos solos LVAe e LVe na cana soca (Anexo E; Figura 2.13 A, C e E; Figura 2.14 A, C, e E).

Em relação à primeira fase de acúmulo, verificou-se em ambos os ciclos de produção que a adubação nitrogenada não influenciou na quantidade acumulada de Ca, exceto na cana planta, para o solo LVAe quando as maiores de doses N se destacaram dos demais tratamentos (Figura 2.13 A). Na média dos solos e tratamentos, a primeira fase acumulou 9 kg ha^{-1} de Ca na cana planta e 6 kg ha^{-1} de Ca na cana soca, o que representou em média 12 % do total extraído. No ciclo de cana planta a fase inicial de acúmulo de Ca foi semelhante entre os solos LVe e LVd, ocorrendo até julho de 2005, no período que se estendeu do plantio até os 155 e 111 DAP, respectivamente (Figura 2.13 C e E). No LVAe o período inicial de acúmulo durou até os 124 DAP (junho de 2005). Para o ciclo de cana soca o primeiro período foi mais prolongado no solo LVAe sendo necessários 163 dias (novembro de 2006), enquanto que nos solos LVe e LVd os acúmulos iniciais permaneceram em média até os 94 DAC (novembro e outubro de 2006) (Figura 2.14 A; C e E).

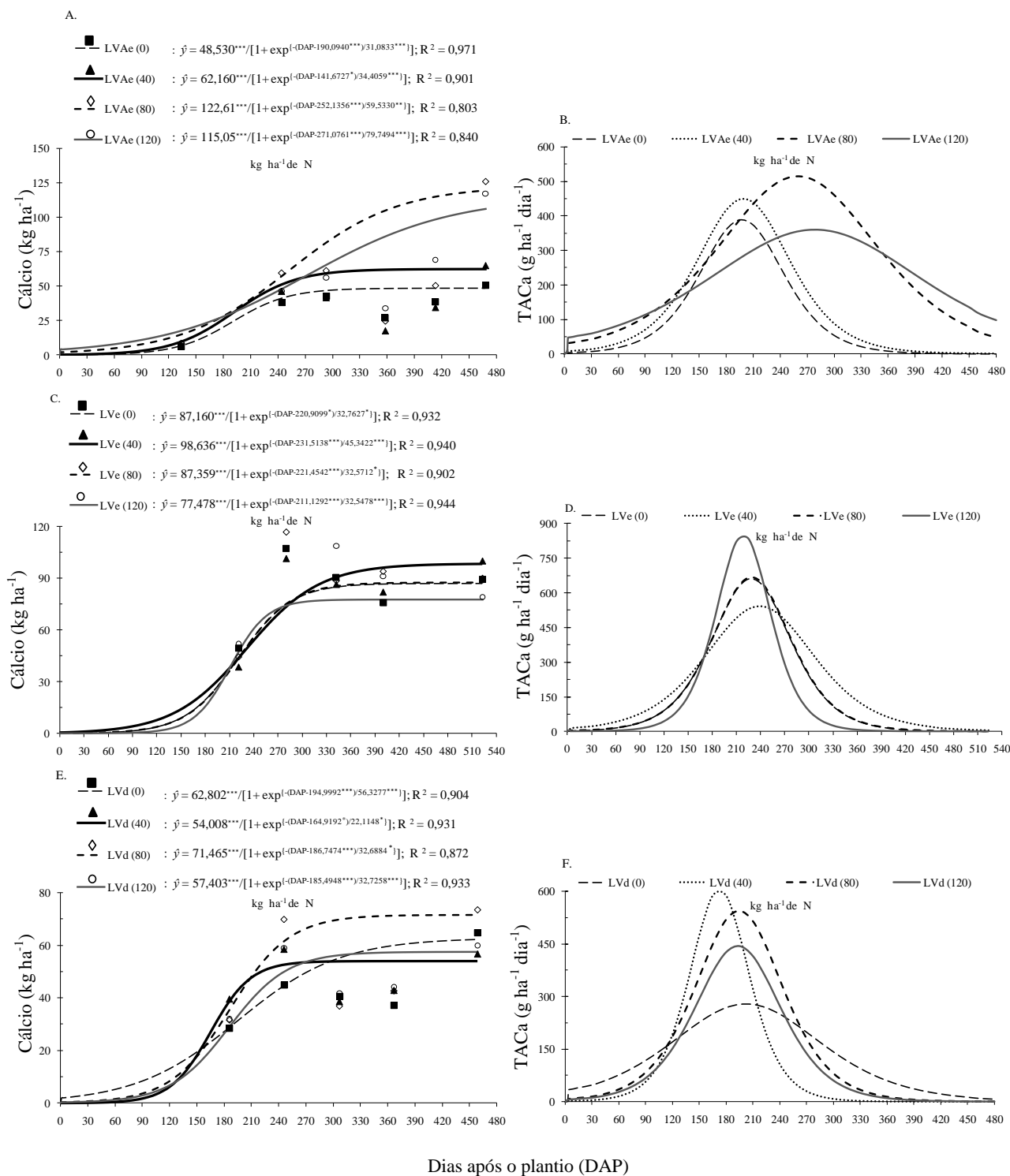


Figura 2.13 - Acúmulo e taxa de acúmulo de cálcio (TACa) na parte aérea da cana-de-açúcar, no ciclo de cana planta, em três classes de solos LV Ae (A e B), LV e (C e D) e LV d (E e F), relacionados à adubação nitrogenada. *, **, *** significativo, respectivamente, a 10, 5 e 1% de probabilidade

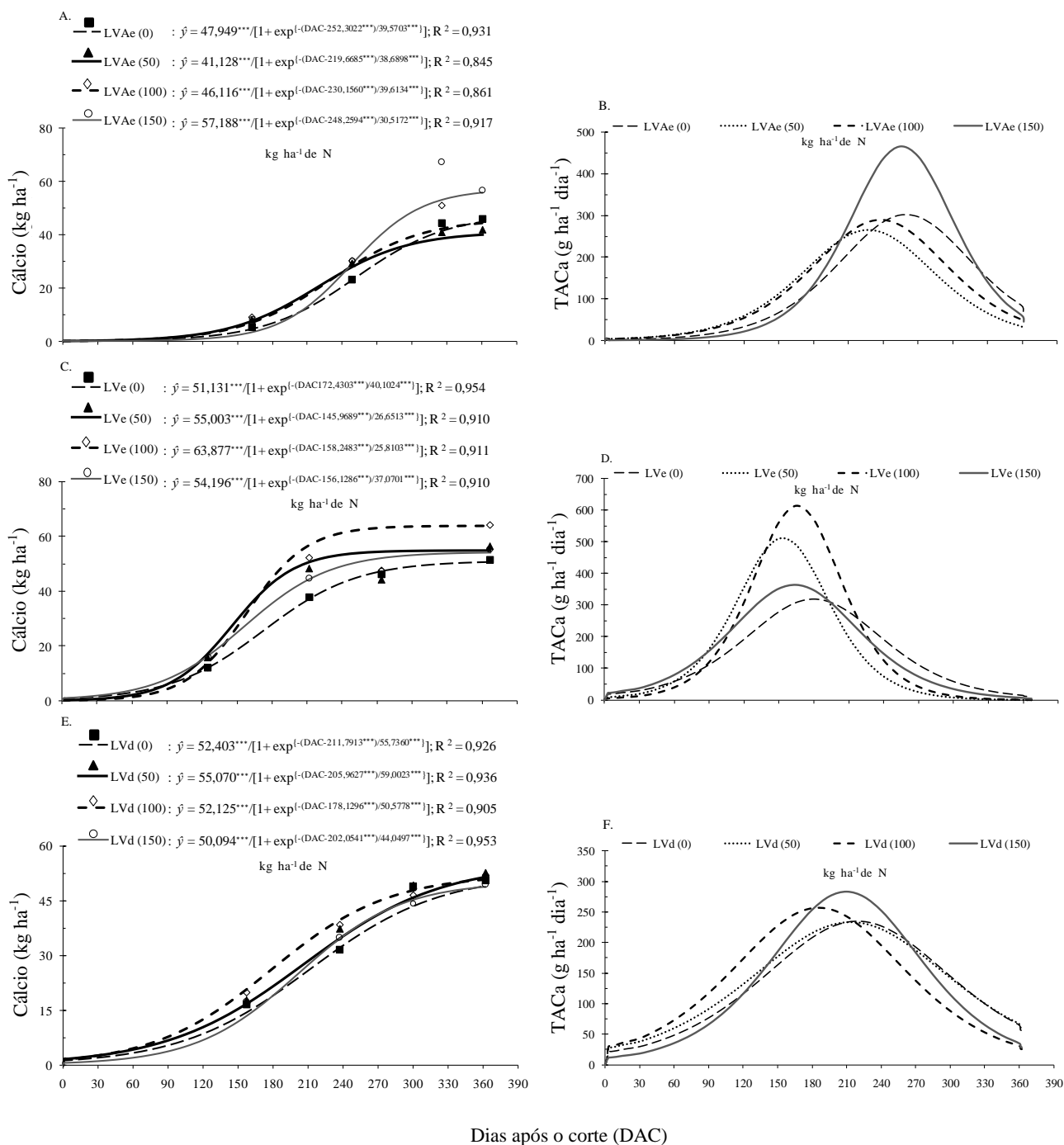


Figura 2.14 - Acúmulo e taxa de acúmulo de cálcio (TACa) na parte aérea da cana-de-açúcar, no ciclo de cana soca, em três classes de solos LV Ae (A e B), LVe (C e D) e LVd (E e F), relacionados à adubação nitrogenada. *** significativo a 1% de probabilidade

De todo Ca extraído na cana planta, 74 % foram acumulados na segunda fase, sendo observado no LVAe que esta fase ocorreu dos 124 aos 329 DAP e para o LVe entre 155 até 288 DAP, acumulando em média 66 kg ha^{-1} de Ca. Com os menores acúmulos (47 kg ha^{-1} de Ca), o LVd apresentou a primeira fase entre 111 até 255 DAP (Anexo E; Figura 2.13 A; C e E). Para a cana soca os acúmulos encontrados na segunda fase correspondeu a 77 % de todo Ca encontrado na parte aérea, verificando-se valores médios de 37, 40 a 43 kg ha^{-1} de Ca, respectivamente, no período de 163 até 312 DAC para o LVAe, entre 95 e 304 DAC no LVd e com as maiores extrações, o LVe, no período de 93 aos 223 DAC (Anexo E; Figura 2.14 A; C e E). A comparação dos resultados deste trabalho com estudos envolvendo diferentes cultivares, em condições edafoclimáticas das regiões Nordeste e Sudeste do país, mostrou que o acúmulo de Ca na presente pesquisa, na segunda fase de cana planta, foi superior em média a 50 %, todavia, os acúmulos obtidos em cana soca foram semelhantes (SILVA, 2007; ORLANDO FILHO et al., 1980).

Os resultados de acúmulo de Ca na segunda fase, mostraram que as doses de N de plantio proporcionaram no LVAe e LVd tendência linear crescente até o tratamento 80 kg ha^{-1} de N, enquanto que no LVe o acúmulo de Ca não foi influenciado com os tratamentos (Figura 2.13 A, C e E). Na primeira soqueira de cana-de-açúcar, a tendência positiva dos tratamentos foi observada até a dose de 100 kg ha^{-1} de N para o LVe e de 150 kg ha^{-1} de N no LVAe (Figura 2.14 A e C).

Com relação à taxa máxima de acúmulo de Ca (TMACa), observou-se nos ciclos de cana planta e cana soca os maiores valores no LVe, que ocorreram aos 221 DAP e 158 DAC (outubro de 2005 e janeiro de 2007), respectivamente, com valor médio de 685 e $455 \text{ g ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (Anexo E; Figura 2.13 D; 2,14 D). Nos solos LVd e LVAe o período até a ocorrência da TMACa na cana planta foi verificada aos 183 e 226 DAP (setembro e outubro de 2005), respectivamente, apresentado valores máximos de 470 e $429 \text{ g ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (Figura 2.13 B e F). Na cana soca as taxas máximas para esses solos foram observadas em fevereiro de 2007, aos 199 e 238 DAC, com acúmulos de 252 e $332 \text{ g ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente (Figura 2.14 B e F).

Para os dois ciclos de produção, a adubação nitrogenada influenciou na TMACa, verificando-se na cana planta para os solos LVAe e LVd, que os tratamentos 80 e 40 kg ha^{-1} de N apresentaram as maiores as taxas máximas, enquanto que no LVe o maior valor foi obtido no tratamento 120 kg ha^{-1} de N (Figura 2.13 B, D e E). Na cana soca a maior dose de N (150 kg ha^{-1})

proporcionou as maiores taxas de acúmulo de Ca nos solos LVAe e LVd, por outro lado no LVe os maiores valores foram observados com adição de 100 kg ha⁻¹ (Figura 2.14 B, D e E).

Na terceira fase de acúmulo, os valores encontrados nos ciclos de cana planta e cana soca representaram, respectivamente, 14 e 11 % de todo Ca extraído pela parte aérea da cana-de-açúcar. Os acúmulos de Ca na terceira fase da cana planta apresentaram tendência linear positiva com as doses de N no LVAe, enquanto que para os demais solos, o Ca acumulado nessa fase não diferiu com a adubação nitrogenada. Para cana soca o efeito positivo das doses de N foram observados em todos os solos estudados. Entre os solos, os acúmulos encontrados no terceiro período se mostraram semelhantes, sendo obtidos para os solos LVAe, LVe e LVd, respectivamente, acúmulos médios de 11 kg ha⁻¹ de Ca no período de 139, 235 e 204 dias na cana planta e de 6 kg ha⁻¹ na cana soca durante 49, 144 e 58 dias.

Os pontos médios das curvas de Ca no ciclo de cana planta mostraram que independente dos tratamentos, os acúmulos foram crescentes e acompanharam a produção de matéria seca até os 293, 280 e 246 DAP (dezembro de 2005), para os solos LVAe e, LVe e LVd respectivamente, ou seja, até aproximadamente o término da segunda fase de acúmulo e após o momento em que ocorreu a TMACa estimada pelas curvas. Posteriormente, decresceram no período de 307 a 367 DAP (janeiro a abril de 2006) no LVd, dos 358 aos 413 DAP no LVAe e entre 342 aos 400 DAP no LVe (fevereiro a abril de 2006), voltando a crescer, respectivamente, até os 459, 468 e 523 DAP (junho a agosto de 2006).

Ao comparar esses resultados com a produção de matéria seca, se constatou que o período de redução nos acúmulo de Ca, se relacionou com a segunda fase de desenvolvimento da parte aérea da cana de açúcar, no qual foram observadas as maiores taxas de produção de matéria seca (Figura 2.6). Assim, como o nutriente Ca apresenta baixa mobilidade no floema dos vegetais e possui importante função biológica na divisão celular, assim como na estabilização estrutural das membranas e paredes celulares nos tecidos maduros e recém formados (MAATHUIS, 2009; MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; MARSCHNER, 1995), possivelmente houve efeito diluição mais elevado durante o período de maior crescimento e produção de colmos. O terceiro momento no qual que se observaram acúmulos crescentes até a colheita, foi caracterizado por concentrações de Ca similares ao período anterior (dados não apresentados), o que levou juntamente com a maior quantidade de matéria seca produzida no final da terceira fase de crescimento, a extrações finais mais elevadas.

2.3.6 Acúmulo de Magnésio

O acúmulo de Mg na parte aérea da cana-de-açúcar acompanhou a produção de matéria seca, apresentando entre os macronutrientes avaliados o maior tempo de duração da segunda fase e demonstrando diferenças com tratamentos utilizados (Anexo F; Figura 2.15 A, C e E; Figura 2.16 A, C e E). Na cana planta o acúmulo de Mg apresentou nos solos LVAe e LVe efeito linear positivo com a adubação nitrogenada, enquanto que na cana soca os solos LVAe e LVD demonstraram influencia significativa da adubação nitrogenada.

Na cana planta, os acúmulos iniciais de Mg nos solos LVAe e LVe, apresentaram ganhos lineares com a adubação nitrogenada, acumulando em média de 4 e 10 kg ha⁻¹, respectivamente, no período dos 159 e 133 DAP (junho de 2005) (Figura 2.15 A e C). No solo LVD as doses de N promoveram antecipação da primeira fase, porém sem demonstrar efeito na quantidade acumulada, que obteve valores médios de 6 kg ha⁻¹ no período correspondente do plantio até os 80 DAP (julho de 2005) (Figura 2.15 E). Para cana soca a adubação nitrogenada não influenciou nos acúmulos iniciais de Mg, bem como no período de duração da primeira fase, sendo verificado valores médios entre os três solos de 4 kg ha⁻¹. Entre os solos, a primeira fase para o LVD ocorreu até os 109 DAC (outubro de 2006), enquanto que nos solos LVAe e LVe os acúmulos iniciais de Mg foram observados até 159 e 88 DAC (novembro de 2006) respectivamente (Figura 2.16 A ; C e E).

Na segunda fase, o acúmulo obtido na cana planta correspondeu a 84 % de todo Mg extraído, demonstrado para os solos LVAe e LVe tendência crescente com aplicação de N, acumulando na média dos tratamentos 28 e 67 kg ha⁻¹ de Mg, respectivamente, no período de 159 a 455 DAP e dos 153 a 501 DAP (Anexo F; Figura 2.15 A e C). O acúmulo obtido nesta fase para o LVD foi observado no período de 80 até 432 DAP, com valores médios 40 kg ha⁻¹ de Mg (Figura 2.15 E). Na cana soca os acúmulos de Mg encontrados na segunda fase não foram influenciados pela adubação nitrogenada, verificando-se que as extrações obtidas nesta fase corresponderam a 81 % de todo Mg encontrado na parte aérea. Nos solos LVe e LVD foram observados maiores acúmulos de Mg, com valores médios de 25 e 32 kg ha⁻¹, respectivamente, que ocorreram no período de 88 até 334 DAC e entre 109 e 353 DAC (Anexo F; Figura 2.16 C e E). Os acúmulos encontrados para o LVAe nesta fase foram de 17 kg ha⁻¹ no período de 159 até 323 DAC (Figura 2.16 A).

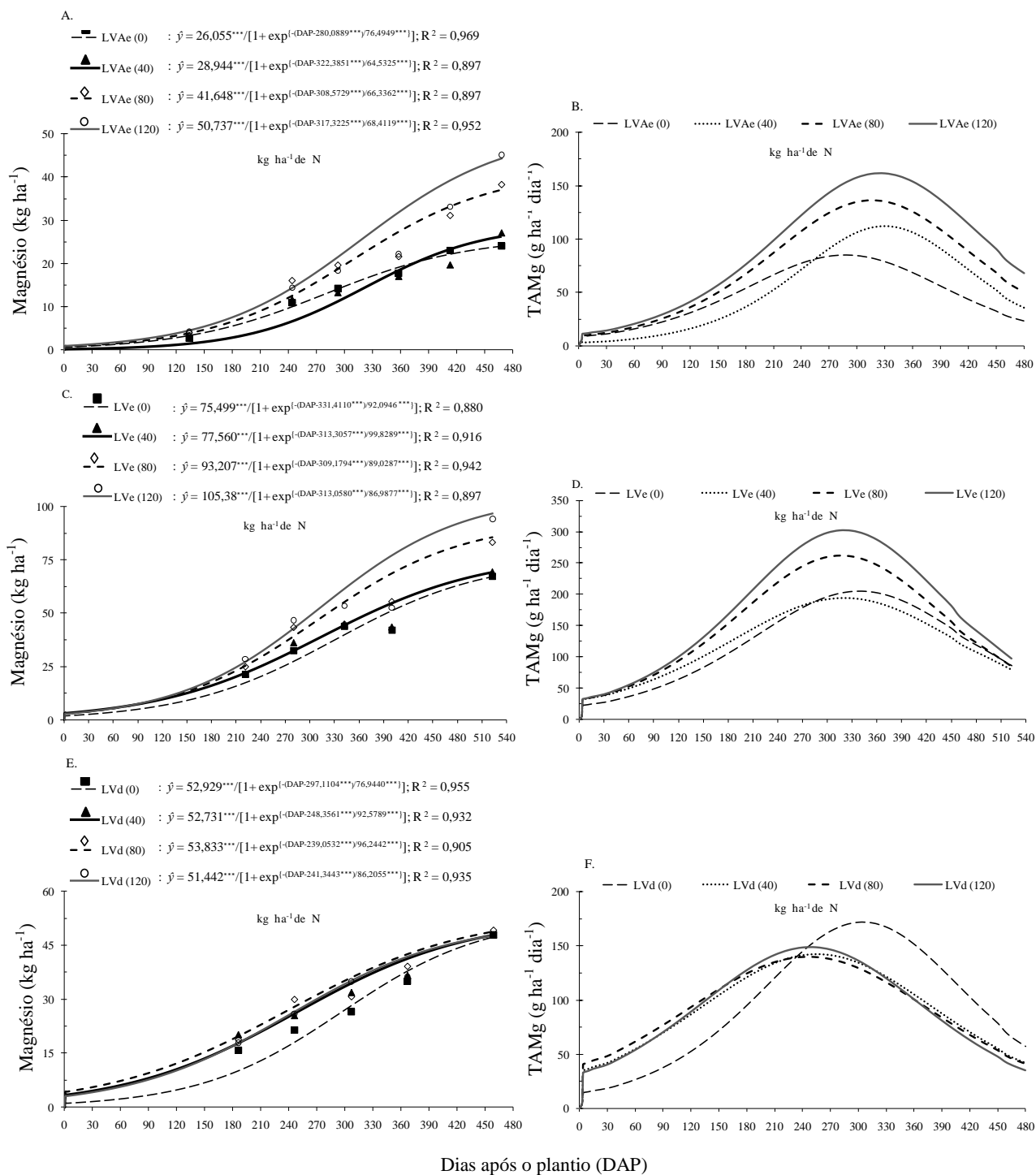


Figura 2.15 - Acúmulo e taxa de acúmulo de magnésio (TAMg) na parte aérea da cana-de-açúcar, no ciclo de cana planta, em três classes de solos LV Ae (A e B), LVe (C e D) e LVd (E e F), relacionados à adubação nitrogenada. *** significativo a 1% de probabilidade

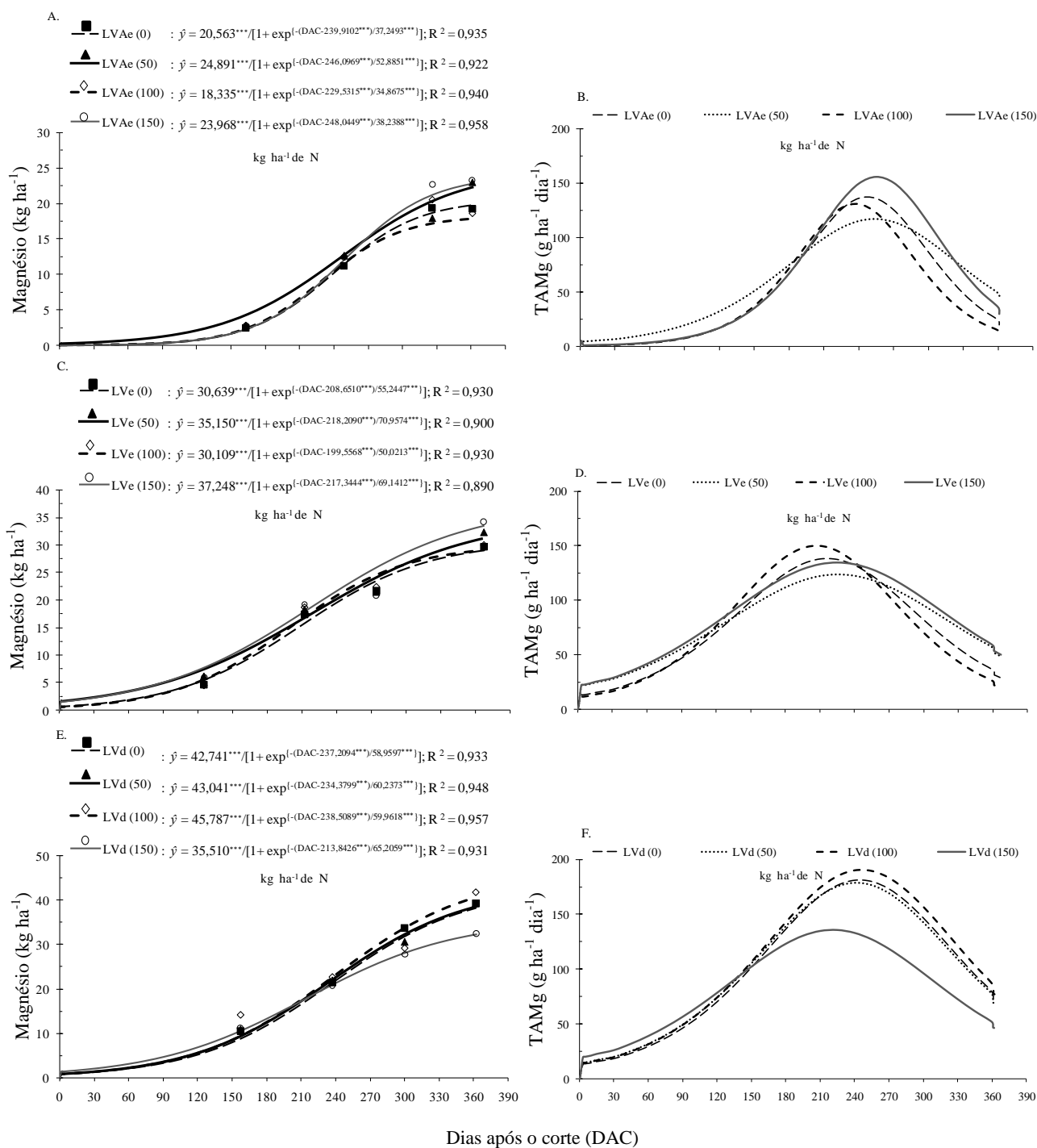


Figura 2.16 – Acúmulo e taxa de acúmulo de magnésio (TAMg) na parte aérea da cana-de-açúcar, no ciclo de cana soca, em três classes de solos LVD (A e B), LVe (C e D) e LV Ae (E e F), relacionados a adubação nitrogenada. *** significativo a 1% de probabilidade

Observou-se para os dois ciclos de produção, que a taxa máxima de acúmulo de Mg (TMAMg) apresentou comportamento diferenciado entre solos e com a adubação nitrogenada (Anexo F; Figuras 2.15 B, D e F; 2.16 B, D e F). Na cana planta as doses de 80 e 120 kg ha⁻¹ de N proporcionaram as maiores taxas nos solos LVAe e LVe, por outro lado os valores da TMAMg no LVD não diferiram com a adubação nitrogenada, verificando-se no tratamento controle a maior TMAMg. Na cana soca a dose 100 kg ha⁻¹ de N apresentou a maior taxa de acúmulo nos solos LVe e LVD, enquanto que no LVAe os maiores valores foram observados na dose 150 kg ha⁻¹ de N.

Os resultados para TMAMg, mostraram nos ciclos de cana planta que os acúmulos máximos de Mg nos solos LVAe e LVD ocorreram aos 307 e 256 DAP (dezembro de 2005) apresentando valores máximos de 124 e 151 g ha⁻¹ dia⁻¹, respectivamente (Anexo F; Figura 2.15 B e F). Para o LVe o período até a ocorrência da TMAMg foi maior, sendo observado aos 317 DAP (janeiro de 2006), com acúmulos máximos de 241 g ha⁻¹ dia⁻¹ (Figura 2.15 D). Na cana soca, os solos LVAe e LVe apresentaram valores da TMAMg semelhantes, em média de 137 g ha⁻¹ dia⁻¹, que ocorreram aos 241 e 211 DAC (fevereiro e março de 2007), respectivamente (Figura 2.16 B e D). Para o LVD o acúmulo máximo foi obtido aos 231 DAC (março de 2007), apresentando o valor médio de 172 g ha⁻¹ dia⁻¹ (Figura 2.16 F).

O período mais amplo da segunda fase de acúmulo de Mg e da ocorrência tardia na TMAMg em ambos os ciclos de produção, acompanhando os valores observados para a PMS (Figuras 2.5 A, C e E; 2.6 A, C e E), pode ser atribuído a demanda constante por esse nutriente na constituição das moléculas de clorofila das folhas recém formadas e pontos de crescimento (MAATHUIS, 2009; EPSTEIN; BLOOM, 2006) na fase de maior desenvolvimento da cana-de-açúcar, bem como a maior exigência na atividade da ATPase durante o período de maiores taxas transpiratórias e fotossintéticas (MARCHNER, 1995), uma vez que o Mg possui papel específico na ativação de enzimas envolvidas na respiração e fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Os acúmulos de Mg na terceira fase foram semelhantes entre as doses de N e nos ciclos de produção, verificando-se extrações médias nesse período de 1,6 kg ha⁻¹, que equivaleram em média a 3 % na cana planta e 6 % na cana soca de todo nutriente encontrado na parte aérea da cana-de-açúcar.

2.3.7 Acúmulo de Enxofre

O acúmulo de S na parte aérea da cana-de-açúcar mostrou-se diferenciado entre os solos e com as doses de N, assim como observado para os demais macronutrientes (Anexo G; Figura 2.17 A, C e E; Figura 2.18 A, C e E), constatando-se no ciclo de cana planta para o solo LVe efeito linear positivo com a adubação nitrogenada, enquanto que no LVAe os ganhos foram crescentes até a dose 80 kg ha⁻¹. No ciclo de cana soca o efeito positivo da adubação nitrogenada foi observado apenas no LVAe, enquanto que no LVd os acúmulos mostraram efeito quadrático, com a dose de 100 kg ha⁻¹ apresentado os maiores valores.

Na primeira fase, os acúmulos obtidos em ambos os ciclos de produção equivaleram a 12 % de todo S encontrado na parte aérea. Na cana planta, os acúmulos iniciais encontrados nos solos LVAe e LVe foram influenciados positivamente até a dose 80 kg ha⁻¹. Para esses solos os acúmulos de S na primeira fase foram observados até os 114 DAP (maio de 2005) e 162 DAP (agosto de 2005), respectivamente, acumulando em média 5 e 7,4 kg ha⁻¹ (Figura 2.17 A e C). No LVd os acúmulos iniciais foram em média de 4 kg ha⁻¹ no período correspondente do plantio até os 83 DAP (junho de 2005), sem que houvesse efeito da adubação nitrogenada (Figura 2.17 E). Na cana soca, a duração da primeira fase no LVd se mostrou antecipada com as doses crescentes de N, sendo observado em média aos 68 DAC (setembro de 2006), acúmulos de 4 kg ha⁻¹ (Figura 2.18 E). Para os solos LVAe e LVe as extrações iniciais também se anteciparam com adubação nitrogenada, ocorrendo, respectivamente, aos 128 e 88 DAC (outubro e novembro de 2006) com acúmulos médios de 3 kg ha⁻¹ (Figura 2.18 A e C).

Na segunda fase de acúmulo, as maiores extrações na cana planta foram observadas para o solo LVe no período de 162 até 311 DAP, com valores médios de 47 kg ha⁻¹ (Anexo G; Figura 2.17 C). Para os demais solos os acúmulos obtidos nesta fase foram em média de 28 kg ha⁻¹ entre 114 e 410 DAP no LVAe e no período de 83 aos 322 DAP para o LVd (Figura 2.17 A e E). Para cana soca o acúmulo de S no segundo período foi maior no LVd, obtendo valores de 25 kg ha⁻¹, no período de 68 e 326 DAC (Anexo G; Figura 2.18 E). Enquanto que nos solos LVAe e LVe os acúmulos de S nesta fase foram em média de 18 kg ha⁻¹, verificados do final da primeira fase até os 290 e 235 DAC, respectivamente. Silva et al. (2009a), verificaram em cana planta de ano acúmulos de S inferiores aos obtidos neste estudo para o ciclo de cana planta de ano e meio, porém semelhantes aos obtidos no ciclo de cana soca, com valores médios de 17 kg ha⁻¹ em sete cultivares manejadas em Argissolo coeso dos tabuleiros costeiros do estado de Alagoas.

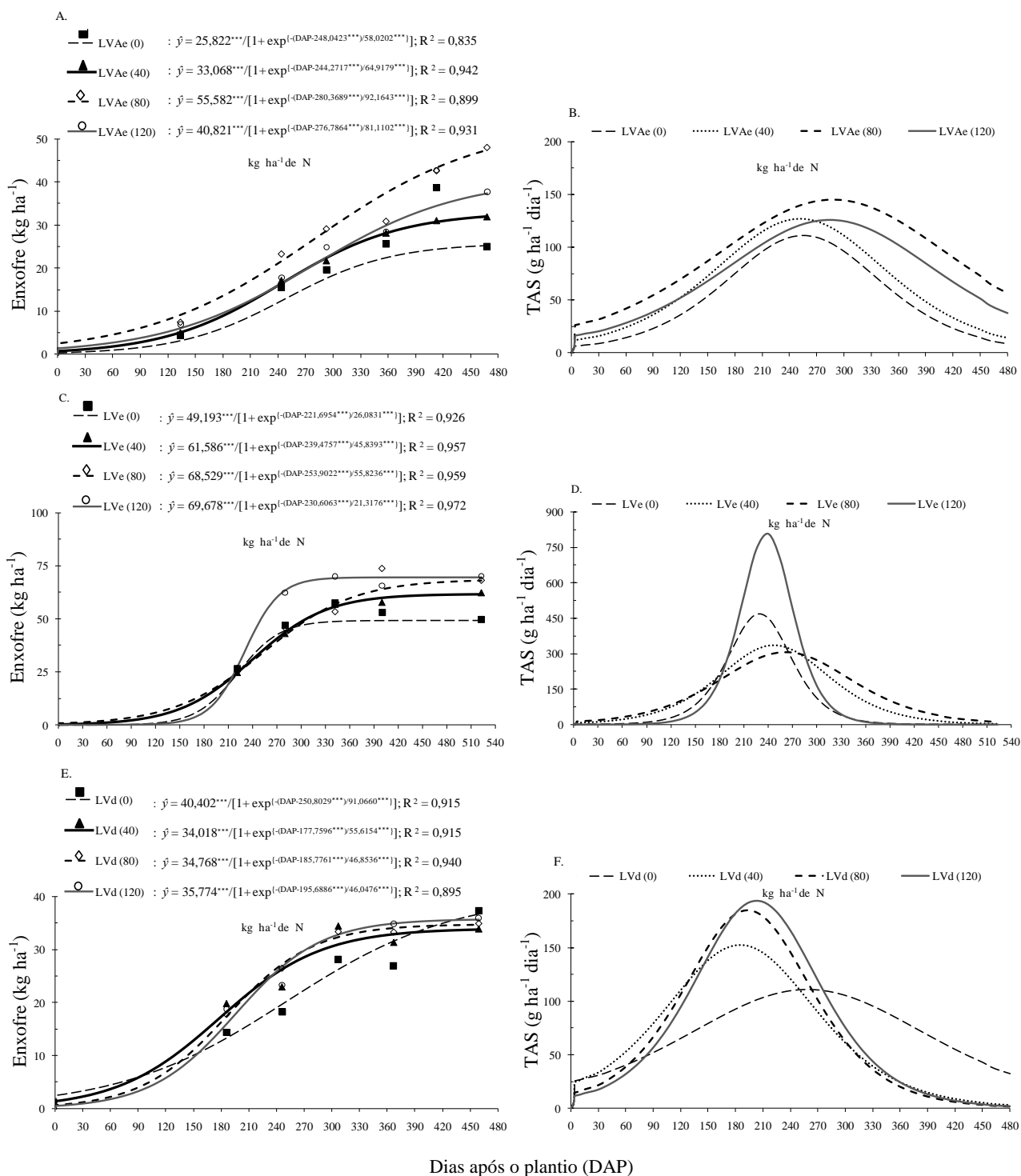


Figura 2.17 - Acúmulo e taxa de acúmulo de enxofre (TAS) na parte aérea da cana-de-açúcar, no ciclo de cana planta, em três classes de solos LVAe (A e B), LVe (C e D) e LVd (E e F), relacionados à adubação nitrogenada. *** significativo a 1% de probabilidade

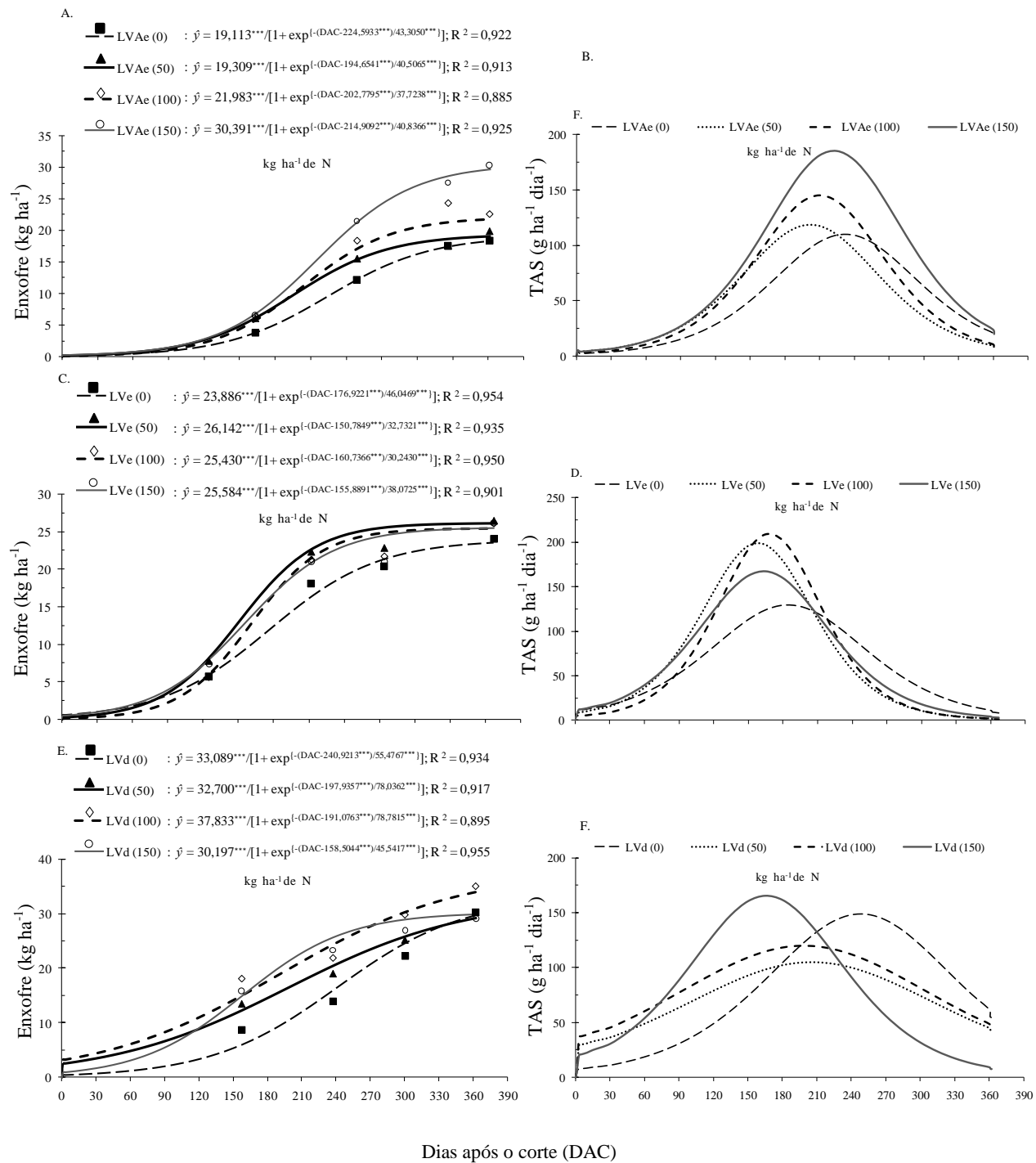


Figura 2.18 - Acúmulo e taxa de acúmulo de enxofre (TAS) na parte aérea da cana-de-açúcar, no ciclo de cana soca, em três classes de solos LVAe (A e B), LVe (C e D) e LVd (E e F), relacionados à adubação nitrogenada. *** significativo a 1% de probabilidade

Os acúmulos de S obtidos na segunda fase com as doses nitrogênio aplicadas no plantio mostraram tendência positiva no LVe e como observado na primeira fase, a dose de 80 kg ha⁻¹, aplicada no LVAe proporcionou na parte aérea o maior acúmulo de S (Figura 2.17 A; C). Para as doses de N aplicadas na primeira soqueira, verificou-se tendência linear no LVAe, enquanto que no LVd os ganhos foram crescentes até a dose de 100 kg ha⁻¹ (Figura 2.18 A; E).

Os maiores valores da taxa máxima de acúmulo de S (TMAS) na cana planta, foi verificado para os solos LVe e LVd aos 236 e 203 DAP (outubro de 2005) respectivamente, com acúmulos médios de 482 e 161 g ha⁻¹ dia⁻¹ (Anexo G; Figura 2.17 D e F). Para o solo LVAe a taxa máxima foi observada aos 262 DAP (novembro de 2005) acumulando em média 127 g ha⁻¹ dia⁻¹ (Figura 2.17 B). Na cana soca os maiores valores da TMAS foram obtidas nos solos LVe e LVAe ocorrendo, respectivamente, aos 161 e 209 DAC (janeiro de 2007), com acúmulos máximos de 177 e 140 g ha⁻¹ dia⁻¹ de S (Anexo G; Figura 2.18 B e D). No LVd as taxas máximas foram observadas 197 DAC (fevereiro de 2007), com valores médios de 135 g ha⁻¹ dia⁻¹ (Figura 2.18 F). Em ambos os ciclos fenológicos de produção, a adubação nitrogenada proporcionou os incrementos nos valores da TMAS em todos os solos avaliados, exceto para o LVe na cana planta e no LVd na cana soca, no qual se verificou para o tratamento controle a segunda maior TMAS (Figuras 2.17 D e 2.18 F).

Na terceira fase, os acúmulos encontrados para os solos LVe e LVd na cana planta e para os solos LVAe e LVd na cana soca, se mostraram crescentes com as doses de N. Com relação aos resultados obtidos entre os solos, observou-se em ambos os ciclos de produção que os acúmulos encontrados na terceira fase foram maiores no LVe, acumulando em média 7,7 e 3,5 kg ha⁻¹ de S, respectivamente, para cana planta e cana soca no período de 212 e 132 dias após o término da segunda fase. Nos solos LVAe e LVd os acúmulos de S na ultima fase foram em média de 2,5 kg ha⁻¹, sendo observado no primeiro solo que o acúmulo na terceira fase ocorreu no período de 58 dias na cana planta e 71 dias na cana soca, enquanto que no LVd a mesma fase foi observada no período de 137 e 36 dias, respectivamente.

2.3.8 Acúmulo de Macronutrientes: considerações gerais

Com base nos resultados obtidos para o acúmulo dos macronutrientes na parte aérea da cana-de-açúcar, foi possível verificar, de modo geral, que a adubação nitrogenada proporcionou antecipação da primeira fase e efeito positivo no acúmulo de macronutrientes na segunda fase.

Tabela 2.3 - Período (dias), acúmulo relativo (AR) e taxa máxima de acúmulo (TMAC) de matéria seca e nutrientes na parte aérea da cana-de-açúcar, média dos três experimentos

	<i>Cana planta</i>											
	1° fase			2° fase			TMAC*		3° fase			
	Período	AR**	%	Período	AR	%	dias	-	Período	AR	%	
MS	0 - 191	8,0	12	191 - 436	53,0	80	313	276,6	436 - 483	5,0	8	
N	0 - 117	24,7	12	117 - 354	157,7	78	236	943,8	354 - 483	20,0	10	
P	0 - 148	3,1	12	148 - 372	20,0	80	260	125,2	372 - 483	1,9	8	
K	0 - 130	57,2	12	130 - 360	365,8	78	245	2138,9	360 - 483	44,1	10	
Ca	0 - 130	9,4	12	130 - 290	60,0	74	210	528,2	290 - 483	11,5	14	
Mg	0 - 131	7,0	13	131 - 462	45,0	84	293	171,8	462 - 483	1,3	3	
S	0 - 120	5,4	12	120 - 314	34,7	78	234	257,7	314 - 483	9,4	10	
<i>Cana soca</i>												
MS	0 - 151	4,5	13	151 - 348	28,5	83	250	191,3	348 - 363	1,5	4	
N	0 - 72	13,2	12	72 - 262	84,6	78	167	654,8	262 - 363	10,3	10	
P	0 - 78	1,8	12	78 - 273	11,7	76	161	85,5	273 - 363	1,7	12	
K	0 - 90	28,4	12	90 - 224	181,3	76	157	1842,0	224 - 363	27,7	12	
Ca	0 - 117	6,2	12	117 - 280	39,7	77	198	346,4	280 - 363	6,0	11	
Mg	0 - 118	3,8	13	118 - 337	24,6	81	228	148,7	337 - 363	1,8	6	
S	0 - 95	3,2	12	95 - 248	20,6	78	189	150,7	248 - 363	2,6	10	

*TMAC-MS: kg ha⁻¹dia⁻¹; *TMAC-Macronutrientes: g ha⁻¹dia⁻¹; **AR-MS: Mg ha⁻¹; **AR-Macronutrientes: kg ha⁻¹

As maiores doses de N aplicadas na cana planta (120 kg ha⁻¹ de N) promoveram reduções no acúmulo de P, K, Ca e S principalmente nos solos LVAe e LVd, sem afetar nas extrações de Mg. Na cana soca, o efeito do maior nível de N (150 kg ha⁻¹) foi observado especialmente nos acúmulos de P, Ca e S. Adicionalmente, verificou-se nos três solos, que o período de maior acúmulo dos macronutrientes na cana planta e na cana soca (2° fase), se iniciou antecipadamente a fase de maior produção de matéria seca (Tabela 2.3). Isso indicou que a demanda metabólica por macronutrientes ocorreu antes do estágio de máximo crescimento da parte aérea da cana-de-açúcar, que foi observado na estação chuvosa e no período de temperaturas mais elevadas (Figuras 2.1; 2.2; 2.3), o que possivelmente proporcionou aumento na translocação de água e remobilização dos nutrientes acumulados antecipadamente, para expansão celular do colmo e formação de novas folhas, evidenciando que o programa de adubação em

cultivos de sequeiro, deve limitar-se, preferencialmente, a primeira fase de acúmulo dos nutrientes.

Com base nesses resultados é possível sugerir para o ciclo de cana planta, em condições semelhantes aos experimentos deste trabalho, que a adubação com N e K seja parcelada, visando aumentar a eficiência de absorção e minimizar as perdas por lixiviação, sendo realizada antes do término da primeira fase de produção de matéria seca, ou seja, até o início dos maiores acúmulos dos nutrientes na parte aérea, que ocorreu em média aos 117 e 130 DAP, respectivamente para o N e K (Tabela 2.3). Nos plantios realizados entre fevereiro a abril, o porte da cultura e a umidade do solo nesse momento (junho a agosto) permitem a utilização de maquinário sem causar injúrias na parte aérea e no sistema radicular da cana-de-açúcar, sugerindo-se desse modo, que o parcelamento do N e K possa ser realizado na operação de nivelamento do solo para colheita mecanizada, denominada de “quebra lombo”.

Estudos de lixiviação no experimento LVd que utilizaram fertilizantes enriquecidos com isótopo ^{15}N , mostraram para o ciclo de cana planta, que o extenso período correspondente da adubação de plantio até o início dos maiores precipitações, levaram a imobilização do ^{15}N -fertilizante no sistema solo-planta, promovendo perdas inferiores a 2% (GHIBERTO et al., 2009), o que não justificaria o parcelamento. Entretanto, nas regiões produtoras de cana-de-açúcar do Nordeste brasileiro, o plantio é realizado exatamente no período dos maiores índices pluviométricos, o que possibilita maiores riscos de perdas por lixiviação do N e K oriundo do fertilizante, tornando o parcelamento ainda mais recomendado.

Na cana soca, sugere-se que o fornecimento de N e K seja realizado antes dos 72 e 90 DAC respectivamente, evidenciando que a adubação nitrogenada e potássica também necessitam ser realizada antes do início da segunda fase de produção de matéria seca, que foi observado aos 151 DAC (Tabela 2.3). Considerando soqueiras colhidas entre os meses junho e agosto no centro sul do Brasil, o manejo da adubação pode ser recomendado até o final da primavera (novembro) desde que as condições edafoclimáticas permitam a aplicação.

A partir dos resultados desta pesquisa, é possível identificar em ambos os ciclos de produção, que a fase inicial dos maiores acúmulos de P foi semelhante aos observados para o N e K (Tabela 2.3), permitindo, assim, inferir que a fertilização fosfatada quando necessária na cana soca, pode ser realizada juntamente com o N e o K, especificamente em solos de textura arenosa (< 15 % de argila).

Os acúmulos relativos (AR) obtidos pelos ajustes sigmóides possibilitaram quantificar que até o final da segunda fase foram acumulados mais de 90 % de todos macronutrientes extraídos na parte aérea da cana-de-açúcar (Tabela 2.3). O final desta fase para os nutrientes N, P, K e S variou nos solos estudados entre 314 e 372 DAP (janeiro a abril) na cana planta e entre 224 e 273 DAC (fevereiro a junho) na cana soca. Para o Ca o final da segunda fase foi mais antecipado na cana planta ocorrendo até 290 DAP (dezembro a janeiro), sendo mais tardio na cana soca, com final desta fase aos 280 DAC (março a maio). Por outro lado o Mg apresentou o período mais duradouro da segunda fase acúmulo, ocorrendo na cana planta até 462 DAP (maio a julho) e na cana soca até os 337 (maio a julho). Tais resultados mostram-se como uma ferramenta importante em estudos futuros de distribuição e aumento na eficiência de absorção dos nutrientes, principalmente em sistemas de produção fertirrigados por gotejamento.

2.3.9 Acúmulo de Micronutrientes

Com relação aos micronutrientes, constatou-se em ambos os ciclos de produção que os acúmulos de B, Cu e Zn e Mn também se ajustaram ao modelo sigmóide de crescimento vegetal, caracterizando três fases de acúmulo (Figuras 2.20 a 2.27). Entretanto as extrações de Fe no ciclo de cana planta nos solos LVAe e LVe e de Mn para o solo LVe, demonstraram taxas iniciais elevadas e crescentes, com posterior redução na quantidade acumulada, o que levou os dados a se ajustarem ao modelo na forma de sino (Figuras 2.22 A e B; 2.24 A). Por outro lado, os acúmulos de Fe na cana soca se mostraram baixos e contínuos até aproximadamente a metade do ciclo de produção, com posterior incremento até a colheita, ajustando-se, deste modo, ao modelo polinomial cúbico (Figura 2.23 A; B e C).

2.3.10 Acúmulo de Boro

O acúmulo de B mostrou-se diferenciado entre os ciclos de produção, nos três solos e nos tratamentos do estudo (Anexo H; Figuras 2.18 A, C e E; 2.19 A, C, e E), observando-se na cana planta para os solos LVAe e LVe que os acúmulos foram crescentes até a dose 80 kg ha⁻¹ de N, enquanto que no LVd as doses de N influenciaram negativamente nas extrações finais. Por outro lado na cana soca, o efeito dos níveis crescentes de N no acúmulo de B foi significativo apenas para o LVAe sendo constatados os maiores valores na doses de 50 e 100 kg ha⁻¹ de N.

No ciclo de cana planta, o período correspondente a primeira fase de acúmulo não foi influenciado pela adubação nitrogenada, no entanto para os solos LVAe e LVe a quantidade acumulada mostrou tendência linear positiva até a dose de 80 kg ha^{-1} de N (Figura 2.18 A e C). No solo LVd as maiores doses (80 e 120 kg ha^{-1} de N) promoveram reduções no acúmulo de B para este período. Os acúmulos obtidos nessa fase equivaleram a 12 % de todo B contido na parte aérea da cana planta, constatando-se para o LVe os maiores valores, com média de 47 g ha^{-1} acumulados no período de 168 dias (agosto de 2005). Para os solos LVAe e LVd os acúmulos iniciais ocorreram aproximadamente até os 154 e 130 DAP (julho e agosto de 2005) respectivamente, com acúmulos médios de 22 g ha^{-1} .

Na cana soca os acúmulos iniciais de B no LVAe, assim como no LVe para a dose de 50 kg ha^{-1} de N e no tratamento controle, foram observados até 172 e 127 DAC (dezembro de 2006) respectivamente, com valores médio de 25 g ha^{-1} , equivalendo a 12 % de todo nutriente acumulado na parte aérea. Para o solo LVd e nos tratamentos 100 e 150 kg ha^{-1} aplicados no solo LVe, o ajuste cúbico indicou menor duração da primeira fase, ocorrendo em média aos 86 e 124 DAC (novembro de 2006) respectivamente; no entanto, a quantidade acumulada foi maior em 28 %, apresentando médias de 40 e 74 g ha^{-1} na parte aérea da cana-de-açúcar. Nessa fase, as doses N aumentaram os acúmulos de B em todos os solos (Figura 2.19 A, C e E).

Na segunda fase, os acúmulos obtidos corresponderam a 77 % das extrações finais de B e do mesmo modo como observado na fase anterior, os incrementos observados na cana planta para os solos LVAe e LVe foram crescente até a doses de 80 kg ha^{-1} de N (Figura 2.18 A e C). No LVd os níveis mais elevados de N anteciparam o término da segunda fase, proporcionando taxas de acúmulo mais elevadas (Figura 2.18 F), porém com extrações inferiores aos tratamentos 0 e 40 kg ha^{-1} de N (Figura 2.18 E). Para essa fase, os acúmulos encontrados no LVe, superaram os observados nos demais solos, verificando-se extrações médias de 297 g ha^{-1} no período de 168 aos 335 DAP (Anexo H). Para o solo LVAe essa fase perdurou dos 154 aos 283 DAP e no LVd a fase de maior acúmulo ocorreu entre os 130 aos 342 DAP, extraindo em média 137 e 141 g ha^{-1} de B, respectivamente. Em período semelhante de avaliação, Sobral; Weber (1983) observaram acúmulos de B na segunda fase pouco inferiores a média obtida no presente estudo (192 g ha^{-1}), apresentando valores na ordem de 164 g ha^{-1} que correspondeu a 43 % de todo B extraído no ciclo de cana planta.

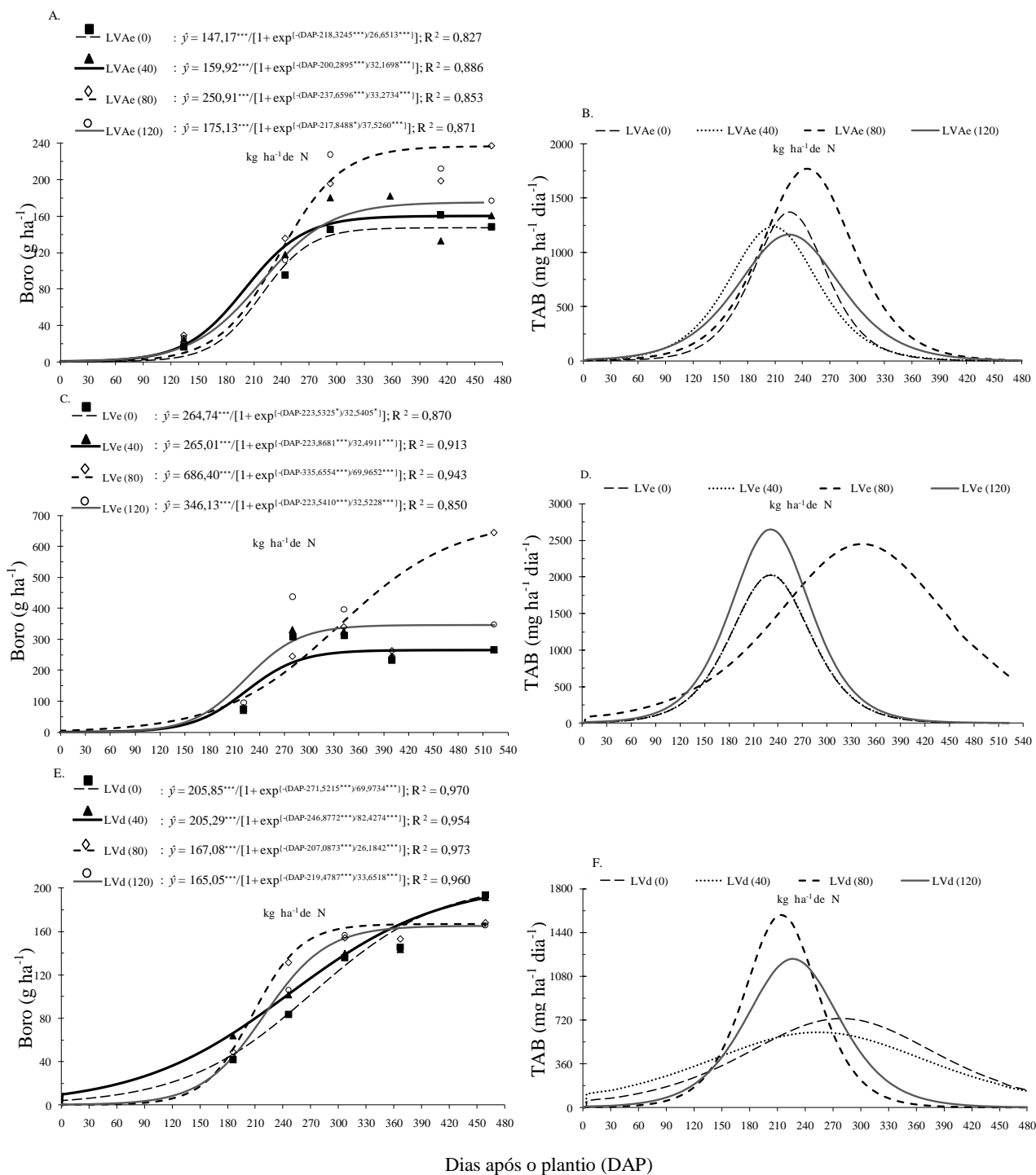


Figura 2.18 - Acúmulo e taxa de acúmulo de boro (TAB) na parte aérea da cana-de-açúcar, no ciclo de cana planta, em três classes de solos LV Ae (A e B), LVe (C e D) e LVd (E e F), relacionados à adubação nitrogenada. *, *** significativo, respectivamente, a 10 e 1% de probabilidade

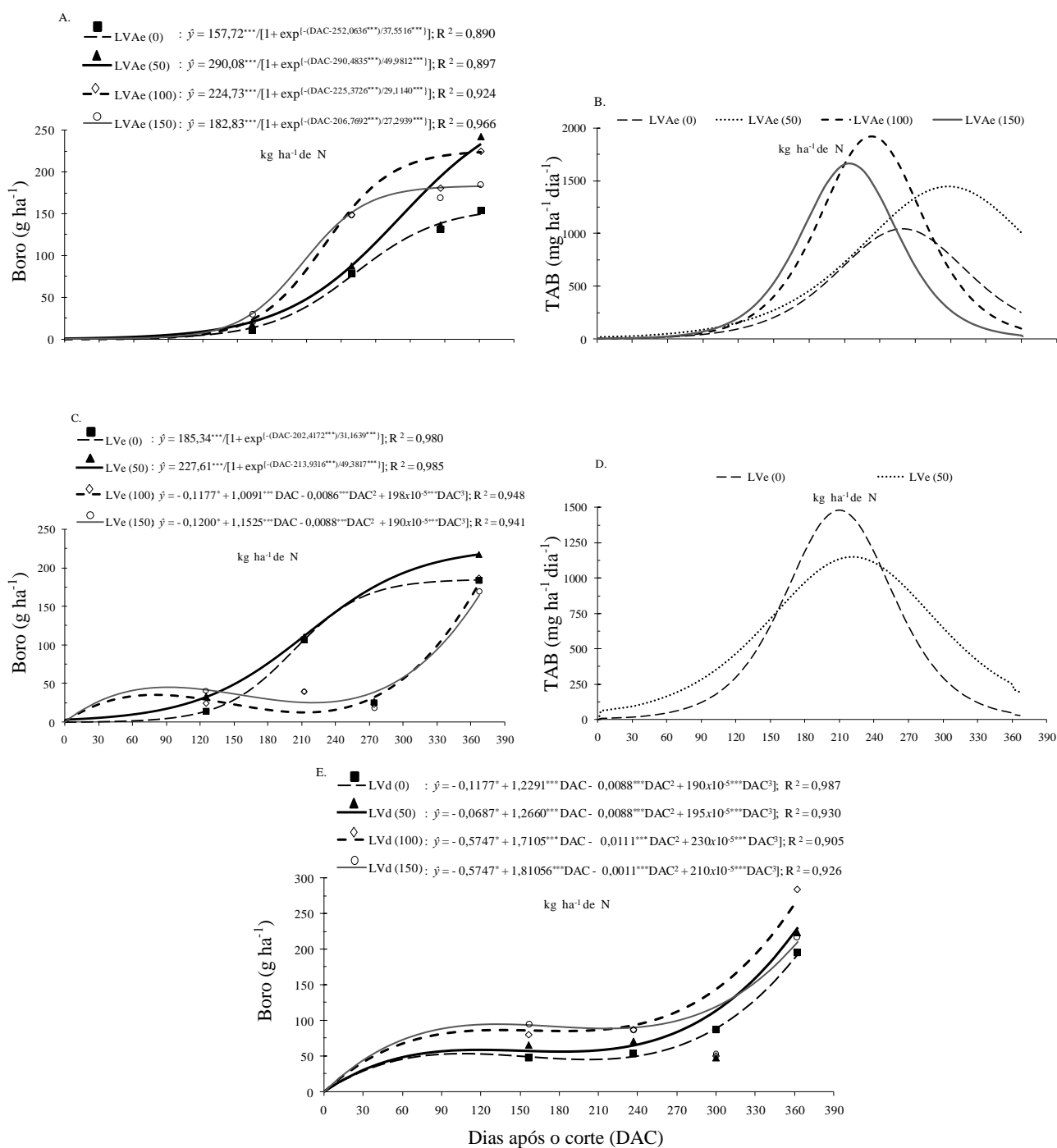


Figura 2.19 - Acúmulo e taxa de acúmulo de boro (TAB) na parte aérea da cana-de-açúcar, no ciclo de cana soca, em três classes de solos LV Ae (A e B), LVe (C e D) e LVd (E), relacionados à adubação nitrogenada. *, *** significativo, respectivamente, a 10 e 1% de probabilidade

Na segunda fase, os acúmulos encontrados na primeira soqueira para o LVAe foram influenciados positivamente pela adução nitrogenada, sendo constatado os maiores valores nas doses de 50 kg ha⁻¹ de N, nesse solo os acúmulos obtidos foram em média de 157 g ha⁻¹ e ocorreram no período de 172 a 308 DAC (Anexo F; Figura 2.19 A). No LVd o segundo momento de acúmulo durou dos 124 aos 201 DAC, sem que houvesse incremento na quantidade acumulada de B (Figura 2.19 E). Para o LVe o acúmulo de B na segunda fase se mostrou crescente até adição de 50 kg ha⁻¹ de N, demonstrando incrementos de 132 g ha⁻¹ (Figura 2.19 C). Nas doses mais elevadas de N, o segundo período de acúmulo ocorreu entre os 80 e 218 DAC para a dose 100 kg ha⁻¹ de N e perdurou dos 92 e 225 DAC na dose 150 kg ha⁻¹ de N, sem que houvesse incrementos no acúmulo de B (Figura 2.19 C).

A taxa máxima de acúmulo de B (TMAB) na cana planta foi mais antecipada no solo LVAe, ocorrendo em setembro de 2005 (219 DAP), com valores médios 1.392 mg ha⁻¹ dia⁻¹ (Anexo H). Para os solos LVe e LVd as taxas máximas ocorreram aos 252 e 236 DAP (novembro de 2005) respectivamente, acumulando em média 2.296 e 1.044 mg ha⁻¹ dia⁻¹. Com relação ao efeito da adubação nitrogenada na TMAB, verificou-se nos solos LVe e LVd que as doses 80 e 120 kg ha⁻¹ proporcionaram os maiores valores, enquanto que LVAe a maior taxa foi obtida com a dose 80 kg ha⁻¹, seguido do tratamento controle (Figura 2.18 B, D e F).

Na primeira soqueira, observou-se no LVd os maiores valores da TMAB, com acúmulos de 2.433 mg ha⁻¹ dia⁻¹, que ocorreram aos 362 DAC (julho de 2007) (Anexo H). No LVAe as taxas máximas foram verificadas aos 244 DAC (fevereiro de 2007), com acúmulos médios de 1.523 mg ha⁻¹ dia⁻¹. Nesses dois solos a adubação nitrogenada promoveu incrementos na TMAB, contudo, os maiores valores foram observados com uso de 100 kg ha⁻¹ de N (Anexo H). Para o LVe as maiores taxas foram observadas aos 367 DAC (agosto de 2007) com adição de 100 e 150 kg ha⁻¹ de N, obtendo valores médios de 2.458 g ha⁻¹ dia⁻¹ (Anexo H).

No período final, os acúmulos de B na cana planta corresponderam a 9 % do nutriente extraído na parte aérea, verificando-se no LVe os maiores valores como 37 g ha⁻¹ no período de 188 dias. Nos LVAe e LVd os acúmulos na terceira fase foram, respectivamente, de 22 g ha⁻¹ em 185 dias e de 16 g ha⁻¹ em 117 dias. Nessa fase, o acúmulo de B apresentou tendência linear positiva com as doses de N no LVe; já para os solos LVAe e LVd os ganhos lineares foram observados até a dose de 80 kg ha⁻¹ de N. Na cana soca, os acúmulos percentuais de B na terceira fase variaram de 11 a 68 % entre os solos, verificando-se no LVAe acúmulos nesse período de 22

g ha⁻¹ de B em 60 dias, por outro lado, no LVd esta fase perdurou por 162 dias acumulando em média 157 g ha⁻¹ (Apêndice H). Para esses solos, o acúmulo de B na terceira fase apresentou tendência a incrementos crescentes até a dose de 100 kg ha⁻¹ de N, enquanto que no LVe a adubação nitrogenada apresentou efeito linear positivo, verificando-se nas parcelas não fertilizadas e nas que receberam a dose mais baixa, acúmulos que corresponderam a 10 % de todo B extraído pela cana-de-açúcar e para os níveis mais elevados de N os acúmulos desta fase equivaleram a 78 %.

De modo geral verificou-se que a maior dose de N influenciou negativamente no acúmulo de B em ambos os ciclos de produção. Como anteriormente relatado para o P, o excesso de N junto à membrana plasmática das células das raízes, pode proporcionar efeito competitivo na absorção de B, principalmente com aumento do déficit hídrico a partir de abril de 2006 na cana planta e março de 2007 na cana soca (Figuras 2.1 A; 2.2 A), sendo agravado pelos baixos teores desse nutriente na análise de terra (Tabela 2.2), o que limitaria a absorção pelas raízes.

2.3.11 Acúmulo de Cobre

O acúmulo de Cu também foi diferente entre solos, ciclos de produção e doses de N, sendo constatado na cana planta que a dose de 40 kg ha⁻¹ de N no LVd e a dose de 80 kg ha⁻¹ de N no LVAe promoveram efeito positivo no total extraído pela planta (Anexo I; Figura 2.20 A, C e E). Na cana soca o efeito da adubação nitrogenada foi observado apenas no LVAe com ganhos crescentes no acúmulo de Cu até a dose 100 kg ha⁻¹ de N (Anexo I; Figura 2.21 A, C e E).

Na primeira fase, os acúmulos obtidos nos dois ciclos de produção corresponderam a 12 % do Cu encontrado na parte aérea da cana-de-açúcar. Verificando-se na cana planta para os solos LVe e LVd que os maiores acúmulos iniciais, que ocorreram até julho de 2005 (156 e 113 DAP), com valores médios de 14 g ha⁻¹ (Figura 2.20 C e E). No LVAe a primeira fase ocorreu até 116 DAP (junho de 2005), com valores de 9 g ha⁻¹ de Cu (Figura 2.20 A). Ainda na primeira fase de extração observou-se no LVd que a adubação nitrogenada não influenciou no período inicial de acúmulo de Cu, contudo promoveu tendência linear decrescente na quantidade acumulada. Para o LVe a primeira fase mostrou-se mais duradoura com os tratamentos aplicados, enquanto que no LVAe os acúmulos iniciais foram antecipados com os aumentos das doses de N, no entanto, para ambos os solos a quantidade acumulada não foi influenciada.

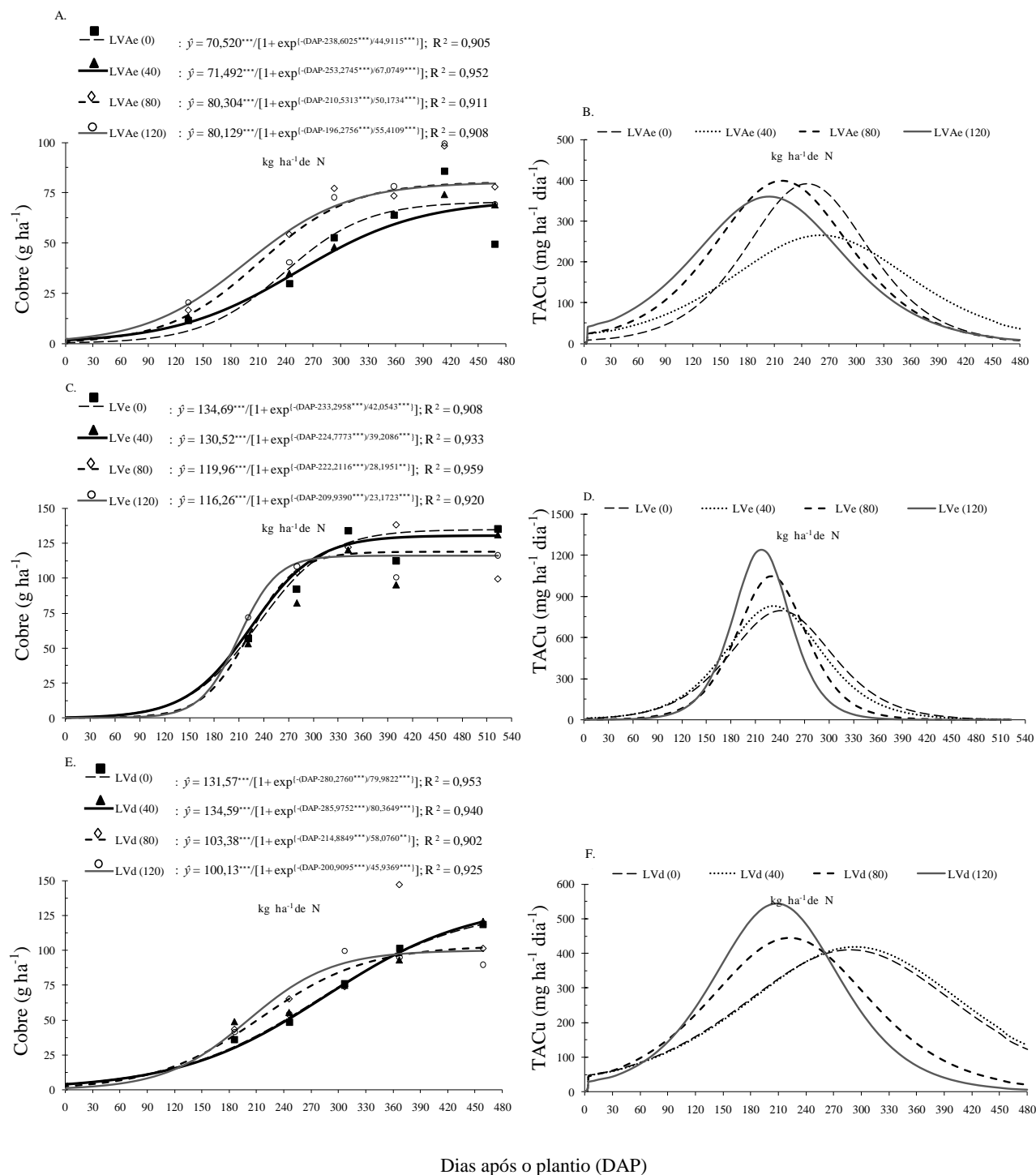


Figura 2.20 - Acúmulo e taxa de acúmulo de cobre (TACu) na parte aérea da cana-de-açúcar, no ciclo de cana planta, em três classes de solos LV Ae (A e B), LVe (C e D) e LVd (E e F), relacionados à adubação nitrogenada. **, *** significativo, respectivamente, a 5 e 1% de probabilidade

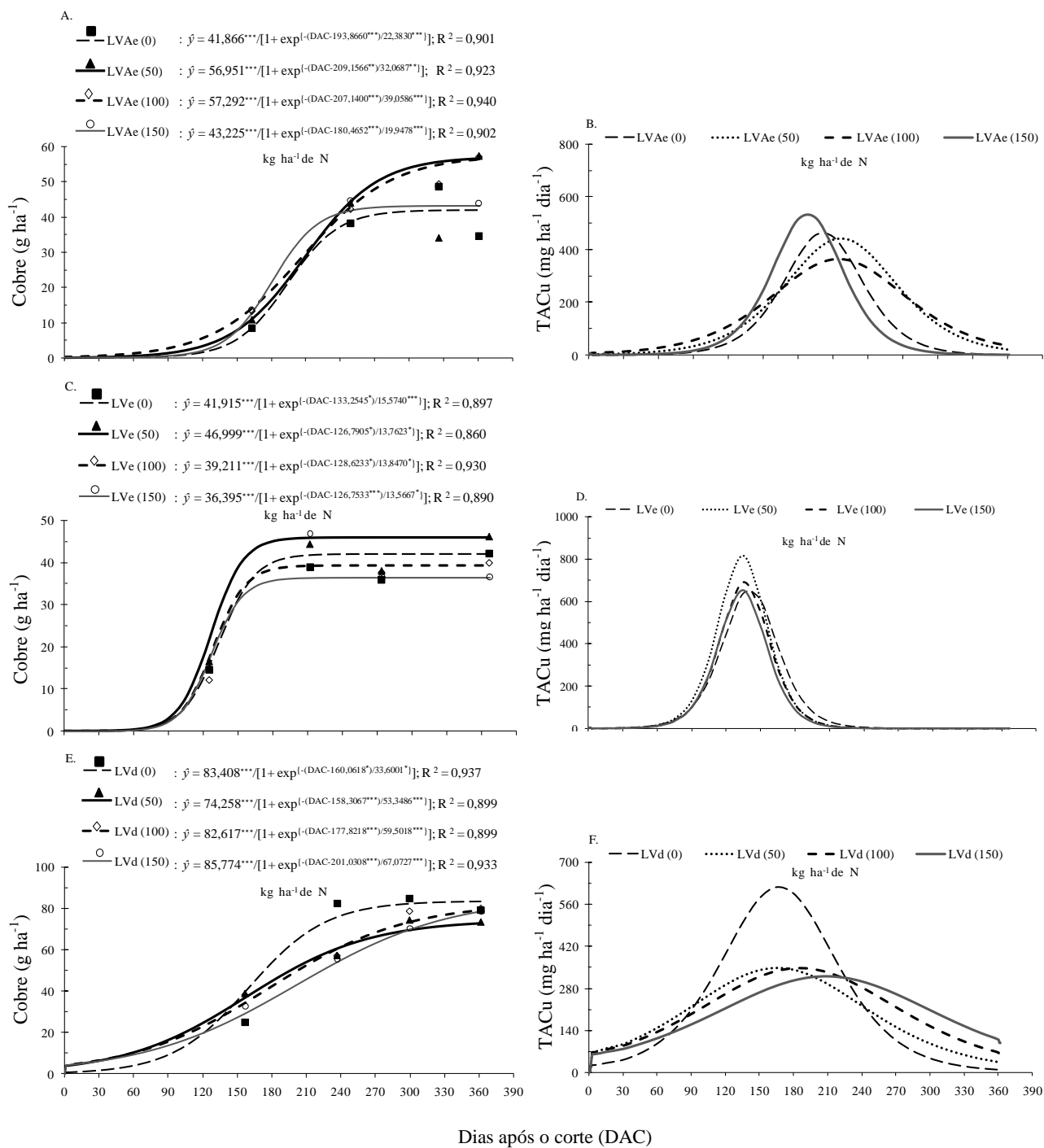


Figura 2.21 - Acúmulo e taxa de acúmulo de cobre (TACu) na parte aérea da cana-de-açúcar, no ciclo de cana soca, em três classes de solos LV Ae (A e B), LVe (C e D) e LVd (E e F), relacionados à adubação nitrogenada. *, ***, significativo, respectivamente, a 10 e 1% de probabilidade

Para o ciclo de cana soca os acúmulos iniciais de Cu não se diferenciaram com a adubação nitrogenada, constatando-se no LVd os maiores acúmulos (10 g ha^{-1}) no período de 68 DAC (outubro de 2006). Nos solos LVAe e LVe a primeira fase ocorreu até os 145 e 100 DAC (novembro de 2006), acumulando em média $5,5 \text{ g ha}^{-1}$.

Na média dos três solos, o acúmulo observado na segunda fase correspondeu a 79 % na cana planta e 77 % na cana soca de todo Cu extraído. Nesse período os valores obtidos na cana planta para o LVe, foram superiores aos demais solos, observando-se acúmulos médios de 95 g ha^{-1} , que ocorreram entre 156 e 389 DAP (Anexo I; Figura 2.20 C). Para os solos LVAe e LVd, os acúmulos de Cu nesta fase foram observados a partir do término da primeira fase até os 333 e 378 DAP respectivamente, extraído em média 58 e 89 g ha^{-1} (Figura 2.20 A e E). Silva et al. (2009b) estudando o acúmulo de Cu em sete cultivares de cana-de-açúcar nas condições dos tabuleiros costeiros de Alagoas, verificaram em cinco cultivares no mesmo período de avaliação, que os acúmulos foram inferiores ao do presente estudo, no entanto em duas cultivares (RB85513 e B867515) as extrações foram superiores em 22 e 10 g ha^{-1} , respectivamente, evidenciando que para o fornecimento correto de Cu, bem como de outros nutrientes, é preciso considerar não só os resultados da análise de solo, mas também identificar a exigência do cultivar utilizado.

Na cana soca o segundo período de acúmulo de Cu foi mais duradouro no LVd, sendo observado que esta fase ocorreu no período de 68 aos 281 DAC, com acúmulos médios de 62 g ha^{-1} (Anexo I; Figura 2.21 E). Nos solos LVAe e LVe a segunda fase de acúmulo ocorreu, respectivamente, entre 145 e 241 DAC e no período de 100 aos 157 DAC, extraído em média 34 g ha^{-1} (Figura 2.21 A e C). No mesmo ciclo de produção, os acúmulos de Cu obtidos na parte aérea do cultivar CB41-76 quando cultivado em três classes de solo do Estado de São Paulo, se mostraram superiores em 270 g ha^{-1} (SOBRAL; WEBER, 1983) aos valores encontrados nesta pesquisa, demonstrando a importância de avaliar o ambiente de produção, a disponibilidade do nutriente e a exigência da variedade.

Com as doses de N aplicadas no plantio e na primeira soqueira de cana-de-açúcar, o acúmulo de Cu na segunda fase apresentou comportamento diferenciado entre os solos (Figuras 2.20 A, C e E; 2.21 A, C e E). Na cana planta o acúmulo de Cu no LVe e LVd decresceu com a adubação nitrogenada, enquanto que no LVAe os acúmulos mostraram efeito positivo com adição de N. Reduções no acúmulo de Cu com a adubação nitrogenada também foram observadas na

cana soca para o solo LVe com as doses de 100 e 150 kg ha⁻¹ de N e no LVAe com a dose de 150 kg ha⁻¹ de N. Para o LVd as doses N não resultaram em diferenças na quantidade acumulada, porém levaram a segunda fase de acúmulo de Cu a se mostrar mais duradoura, proporcionando menores taxas de acúmulo (Figura 2.21 E).

Com relação à taxa máxima de acúmulo de Cu (TMACu) os maiores valores foram obtidos no LVe em ambos os ciclos de produção, verificando-se na cana planta, que os acúmulos máximos ocorreram em média aos 223 DAP (outubro de 2005) e na cana soca aos 129 DAC (dezembro de 2006) com valores de 985 e 721 mg ha⁻¹ dia⁻¹, respectivamente (Anexo I; Figuras 2.20 D; 2.21 D). No LVAe o período até a ocorrência da TMACu foi observado aos 225 DAP (setembro de 2005) na cana planta e aos 198 DAC (dezembro de 2006) na cana soca, acumulando em média 355 e 475 mg ha⁻¹ dia⁻¹ (Figuras 2.20 B; 2.21 B). Para o LVd os acúmulos máximos de Cu foram constatados aos 246 DAP (dezembro de 2005) e aos 174 DAC (janeiro de 2006), nos ciclos de cana planta e cana soca, respectivamente, extraindo em média 455 e 408 mg ha⁻¹ dia⁻¹ (Figuras 2.20 E; 2.21 E).

Para o efeito da adubação nitrogenada na TMACu, observou-se na cana planta que nos solos LVe e LVd as doses crescentes de N proporcionaram tendência linear positiva, enquanto que no LVAe os maiores valores da TMACu foram observados no tratamento 80 kg ha⁻¹ de N (Figura 2.20 B, D e F). Na cana soca, a taxa máxima obtida no LVAe foi maior com adição de 150 kg ha⁻¹ de N, enquanto que no LVe a taxa mais elevada foi constatada com a utilização de 50 kg ha⁻¹ de N (Figura 2.21 A e D), por outro lado, no LVd os acúmulos máximos decresceram com os níveis de N (Figura 2.21 F).

Na terceira fase, o acúmulo de Cu não foi influenciado pela adubação nitrogenada e os valores obtidos nesse período, corresponderam na cana planta e cana soca, respectivamente, a 8 e 11 % de todo nutriente extraído na parte aérea. Os acúmulos encontrados no LVe mostraram-se na cana planta superiores aos demais solos, com valores de 15 g ha⁻¹ no período de 234 dias. Nos solos LVAe e LVd a terceira fase obteve menor duração, ocorrendo, respectivamente, em 135 e 81 dias acumulando em média 7,5 e 4,5 g ha⁻¹ de Cu. Na cana soca a terceira fase acumulou em média 6 g ha⁻¹ de Cu, no período de 210, 120 e 81 dias, respectivamente, para os solos LVd e LVAe.

2.3.12 Acúmulo de Ferro

No acúmulo de Fe foi observado na cana planta ajustes na forma de sino nos solos LVAe e LVe, que demonstraram extrações iniciais menores, seguida de rápido acúmulo com posterior queda na quantidade acumulada (Figura 2.22 A e B). Para o LVd o acúmulo de Fe seguiu a forma sigmóide caracterizando três fases de extração (Figura 2.22 C). Na cana soca os acúmulos se ajustaram ao modelo polinomial cúbico, que caracterizou acúmulos iniciais baixos e duradouros, combinado com uma segunda fase de acúmulos rapidamente crescentes (Figura 2.23 A, B e C). Entre os solos avaliados verificou-se na cana planta que a dose de 120 kg ha⁻¹ de N aplicadas nos solos LVe e as doses crescentes até 80 kg ha⁻¹ utilizadas no LVAe influenciaram positivamente nos acúmulo finais de Fe, enquanto que no LVd os acúmulos decresceram com a adubação nitrogenada (Anexo J). Na cana soca o efeito da adubação nitrogenada, apenas foi observado no LVAe, como os maiores acúmulos sendo verificado na dose de 100 kg ha⁻¹ (Anexo J).

As extrações iniciais de Fe na cana planta e cana soca, corresponderam a 12 % de todo nutriente encontrado na parte aérea da cana-de-açúcar, observando-se para o LVe os maiores acúmulos, com valores médios de 4.942 e 1.498 g ha⁻¹, respectivamente, até os 233 DAP e 155 DAC (outubro de 2005 e janeiro de 2007) (Figuras 2.22 C; 2.23 C). No ciclo de cana planta o segundo maior acúmulo na fase inicial, foi obtido no LVAe que extraio em média 1.618 g ha⁻¹ de Fe, no período de 146 DAP (julho de 2005), enquanto que no LVd a primeira fase ocorreu até 163 DAP (setembro de 2005) acumulando em média 901 g ha⁻¹ (Figuras 2.22 A e E). Para o ciclo de cana soca a primeira fase foi observada nos solos LVAe e LVd, respectivamente, até o 182 e 150 DAC (dezembro de 2006), com valores de 594 e 1.405 g ha⁻¹ de Fe.

Durante o crescimento da cana planta, a duração da primeira fase de acúmulo de Fe no solo LVAe foi menor e apresentou acúmulos crescentes com a adubação nitrogenada (Figura 2.22 A). No solo LVe os níveis mais altos de N (80 e 120 kg ha⁻¹) proporcionaram maior duração da primeira fase, bem como as maiores quantidades acumuladas (Figura 2.22 B). Para os acúmulos encontrados no LVd, verificou-se que a primeira fase não foi influenciada com a adição de N e os acúmulos obtidos nesses primeiro período foram inferiores aos do tratamento controle (Figura 2.22 C). Na primeira soqueira observou-se nos solos LVAe e LVe tendência a períodos iniciais mais curtos com aplicação de N, com destaque para os maiores acúmulos nos tratamentos 50 e 150 kg ha⁻¹ de N respectivamente (Figura 2.23 A e B). No LVd este período de acúmulo de Fe

mostrou-se mais duradouro com a adubação nitrogenada, apresentando nas doses de 50 e 100 kg ha⁻¹ de N as maiores extrações (Figura 2.23 C).

Na segunda fase a quantidade acumulada correspondeu em média na cana planta a 82 % e na cana soca a 79 % do Fe extraído pela cana-de-açúcar. Nesse período, o acúmulo de Fe em ambos os ciclos de produção para o LVe superou os demais solos, sendo observado valores de 31.574 e 4.487 g ha⁻¹, respectivamente, do final da primeira fase até os 321 DAP e 367 DAC (Anexo J). Na cana planta a segunda fase de acúmulo para o LVAe ocorreu entre 146 e 314 DAP e no LVd este período foi observado entre 163 e 230 DAP, acumulando em média 10.340 e 5.760 g ha⁻¹ de Fe, respectivamente (Anexo J). Na cana soca a segunda fase de acúmulo no LVAe foi observado entre os 182 e 361 DAC, enquanto que para o LVd os maiores acúmulos aconteceram entre 150 e 362 DAC, com valores médios de 4.214 g ha⁻¹.

Os acúmulos médios de Fe obtidos na segunda fase foram superiores aos observados em sete cultivares em Argissolo no Estado de Alagoas (SILVA et al., 2009c), todavia pouco inferiores aos resultados de extração de Fe pelo cultivar CB41-76, quando avaliados em Latossolo Vermelho distrófico (SOBRAL; WEBER, 1983), no mesmo período de avaliação. Assim, o alto acúmulo de Fe observado pode ser atribuído a maior quantidade de matéria seca produzida, em adição aos altos teores desse nutriente encontrados nas camadas superficiais dos solos deste estudo (Tabela 2.2).

No segundo período de acúmulo, as doses nitrogênio aplicadas no plantio promoveram efeito semelhante à fase anterior, constatando-se no LVAe que o maior acúmulo com adição de 120 kg ha⁻¹ de N (Apêndice J). No LVe os níveis mais elevados de N apresentaram as maiores extrações nessa fase, enquanto que no LVd os acúmulos de Fe decresceram com a adubação nitrogenada (Apêndice J). Na cana soca o efeito da adubação nitrogenada no acúmulo de Fe diferenciou entre os solos avaliados, verificando-se no LVAe que a dose de 100 kg ha⁻¹ de N promoveu as maiores extrações (Apêndice J). Os acúmulos encontrados no LVd foram maiores com as doses de 50 e 100 kg ha⁻¹ de N, enquanto que no LVe os acúmulos de Fe mostraram tendência a diminuir com a adubação nitrogenada (Apêndice J; Figura 2.23 B e C).

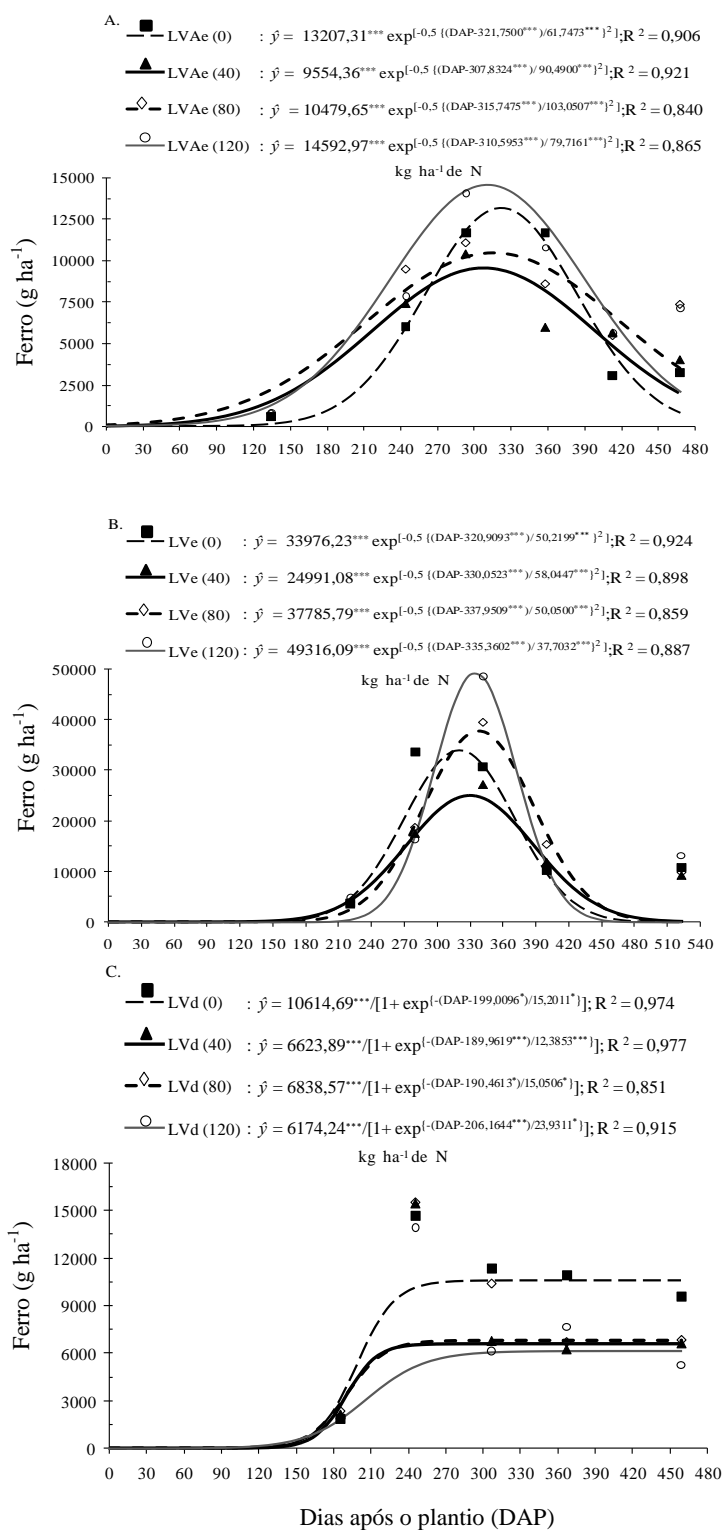


Figura 2.22 - Acúmulo de ferro (TAFE) na parte aérea da cana-de-açúcar, no ciclo de cana planta, em três classes de solos LVAe (A), LVe (B) e LVD (C), relacionados à adubação nitrogenada. *, **, *** significativo, respectivamente, a 10, 5 e 1% de probabilidade

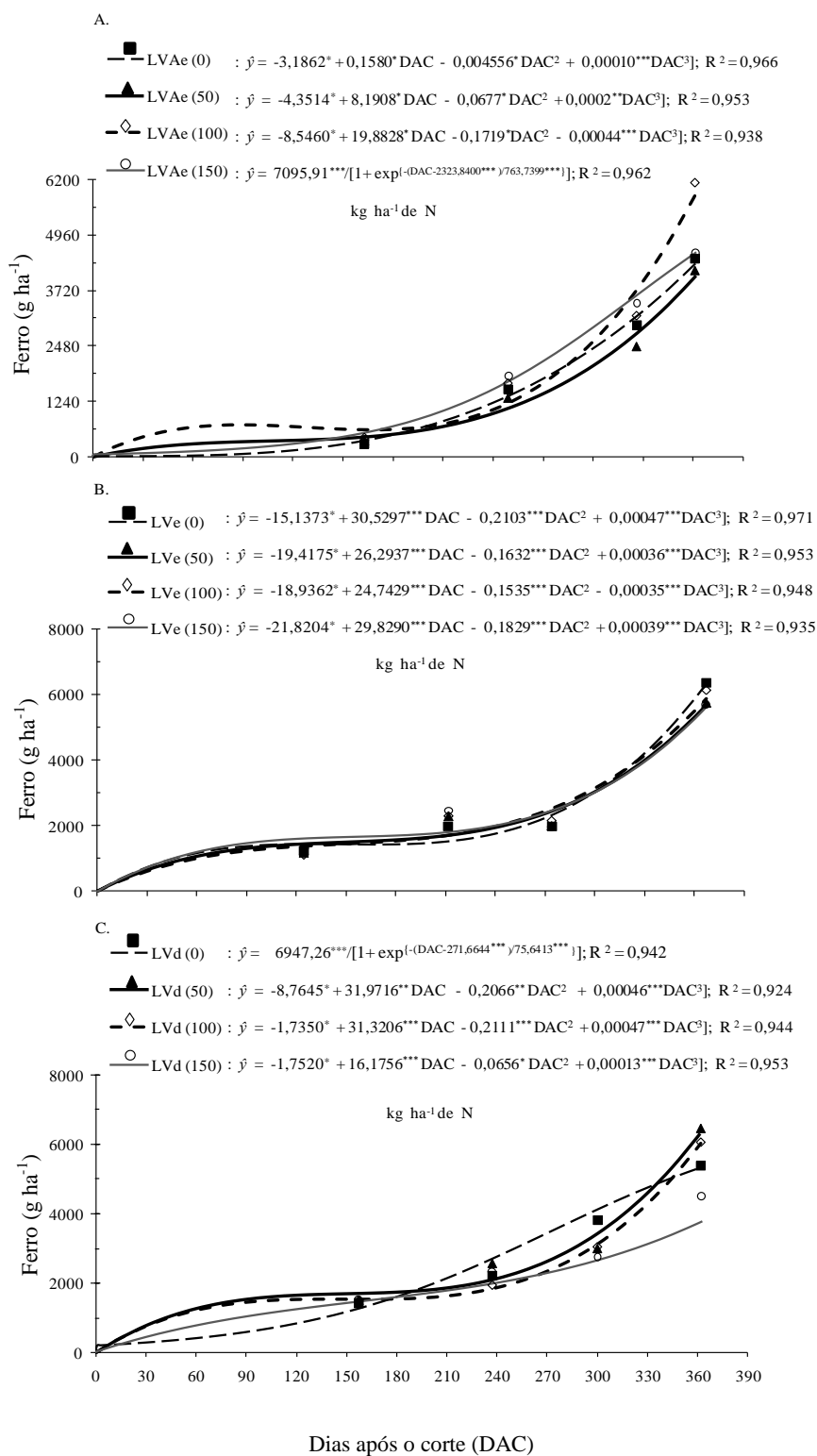


Figura 2.23 - Acúmulo de ferro (TAFE) na parte aérea da cana-de-açúcar, no ciclo de cana soca, em três classes de solos LV Ae (A), LVe (B) e LVd (C), relacionados à adubação nitrogenada. *, **, *** significativo, respectivamente, a 10, 5 e 1% de probabilidade

Os ajustes obtidos para nos ciclos de cana planta e cana soca, mostraram que o momento da taxa máxima de acúmulo de Fe (TMAFe), ocorreu em diferentes períodos de crescimento da cana-de-açúcar. Na cana planta a TMAFe foi observada no início da segunda fase de produção de matéria seca (Anexo A), entre os meses de outubro e dezembro de 2005, no período correspondente a 283, 231 e 196 DAP, respectivamente, para os solos LVe, LVAe e LVd, com valores médios de 480, 92 e 122 g ha⁻¹ dia⁻¹. Nota-se que o ajuste sigmóide obtido para o acúmulo de Fe no LVd, não demonstrou fielmente o comportamento da distribuição dos pontos (Figura 2.22 C), subestimando os acúmulos reais obtidos na segunda fase e reduzindo os valores da TMAFe para esse solo. Para o ciclo de cana soca a TMAFe ocorreu entre os meses de junho a agosto de 2007, ou seja, no final do ciclo de produção, com valores médios de 48 g ha⁻¹ dia⁻¹ aos 363 DAC (Anexo J).

2.3.13 Acúmulo de Manganês

O acúmulo de Mn apresentou na parte aérea acúmulos que diferenciaram com as doses de N para todos os solos avaliados, constatando-se na cana planta e cana soca incrementos lineares apenas no LVAe e ganhos significativos com a dose 40 kg ha⁻¹ de N utilizada no LVe (Anexo K; Figura 2.24 A e B; 2.25 A).

Na média dos solos e tratamentos, a primeira fase de acúmulo representou 12 % do total extraído, constatando-se em ambos os ciclos de produção, que os acúmulos de Mn obtido no LVAe foram inferiores aos encontrados nos demais solos, sendo observado extrações médias de 80 e 60 g ha⁻¹, respectivamente, no período de 116 dias (junho de 2005) na cana planta e de 144 dias (novembro de 2006) na cana soca (Figuras 2.24 B; 2.25 A). No ciclo de cana planta a fase inicial de acúmulo para o LVd perdurou até julho de 2005, no período que se estendeu do plantio até os 108 DAP e apresentando extrações de 359 g ha⁻¹ (Figura 2.24 D). No LVe os acúmulos iniciais perduraram até os 188 DAP (setembro de 2005), acumulando em média 535 g ha⁻¹ de Mn (Figura 2.24 A). Neste ciclo de produção, verificou-se para o LVAe que a duração das extrações iniciais não foi influenciada com a adubação nitrogenada, entretanto a quantidade acumulada apresentou na dose de 80 e 120 kg ha⁻¹ de N os maiores valores. Por outro lado, no LVe os maiores acúmulos na primeira fase ocorreram com adição de 120 kg ha⁻¹ de N, bem como se constatou tendência linear decrescente na duração deste período com os tratamentos aplicados (Figura 2.24 A). Em contra partida aos resultados anteriores, as doses de N aplicadas no LVd

aumentaram a duração da primeira fase, como também reduziram a quantidade acumulada de Mn na parte aérea na cana planta (Figura 2.24 D).

Para o ciclo de cana soca o primeiro período de acúmulo nos solos LVd e LVe foi observado aos 109 e 91 DAC (outubro e novembro de 2006) respectivamente, acumulando em média 319 e 216 g ha⁻¹ (Figura 2.25 e E). Nesse ciclo de produção, a adubação nitrogenada aplicadas no LVAe reduziu o tempo de duração da primeira fase e promoveu tendência a ganhos lineares na quantidade acumulada (Figura 2.25 A). Para o LVe os acúmulos de Mn mostraram tendência crescente até a dose de 100 kg ha⁻¹ de N, contudo não se constatou efeito na duração da primeira fase (Figura 2.25 C). No LVd a aplicação de N na primeira soqueira proporcionou reduções no acúmulo de Mn e na duração da primeira fase de acúmulo (Figura 2.25 E).

Na segunda fase de acúmulo, foram extraídos em média na cana planta 80 % de todo Mn encontrado parte aérea da planta, observando-se nos solos LVe e LVd as maiores extrações nesse período, com média de 3.420 e 2.293 g ha⁻¹ respectivamente, no final da primeira fase até os 301 e 257 DAP (Anexo K; Figura 2.24 A e D). Com os menores acúmulos (514 g ha⁻¹ de Mn), o LVAe apresentou a segunda fase entre 116 e 203 DAP (Figura 2.24 B). Para a cana soca a segunda fase correspondeu a 84 % de todo Mn acumulado pela cultura, verificando-se valores médios de 384, 1.381 e 2.039 g ha⁻¹ de Mn, respectivamente, no período de 144 até 350 DAC para o LVAe, entre 91 e 343 DAC no LVe e com as maiores extrações, o LVd, no período de 109 aos 349 DAC (Anexo K; Figura 2.25 A, C e E).

Em cana planta de ano e meio, Sobral; Weber (1983) observaram acúmulos crescentes de Mn até o final do ciclo de produção, promovendo maior tempo de duração da segunda fase, porém os acúmulos verificados pelos autores foram semelhantes aos obtidos nesse estudo. Na cana soca, os mesmos autores obtiveram acúmulos crescentes até o décimos mês após o corte, com posterior diminuição nos valores acumulados, diferenciando desse modo, do comportamento obtido nos três solos avaliados na presente pesquisa que mostraram acúmulos de Mn sempre crescente.

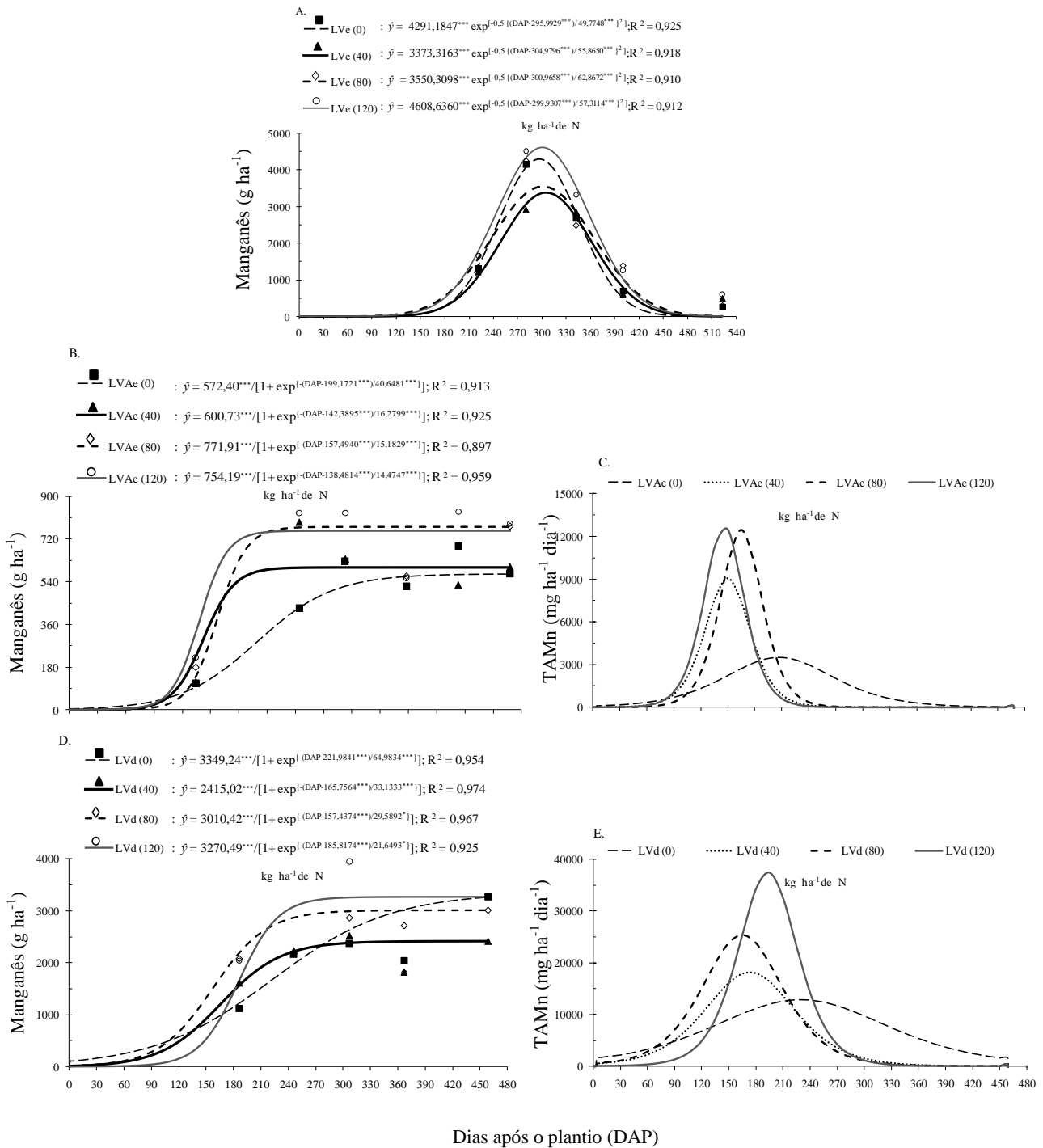


Figura 2.24 - Acúmulo e taxa de acúmulo de manganês (TAMn) na parte aérea da cana-de-açúcar, no ciclo de cana planta, em três classes de solos LVe (A), LVAe (B e C) e LVD (D e E), relacionados à adubação nitrogenada. *, **, *** significativo, respectivamente, a 10, 5 e 1% de probabilidade

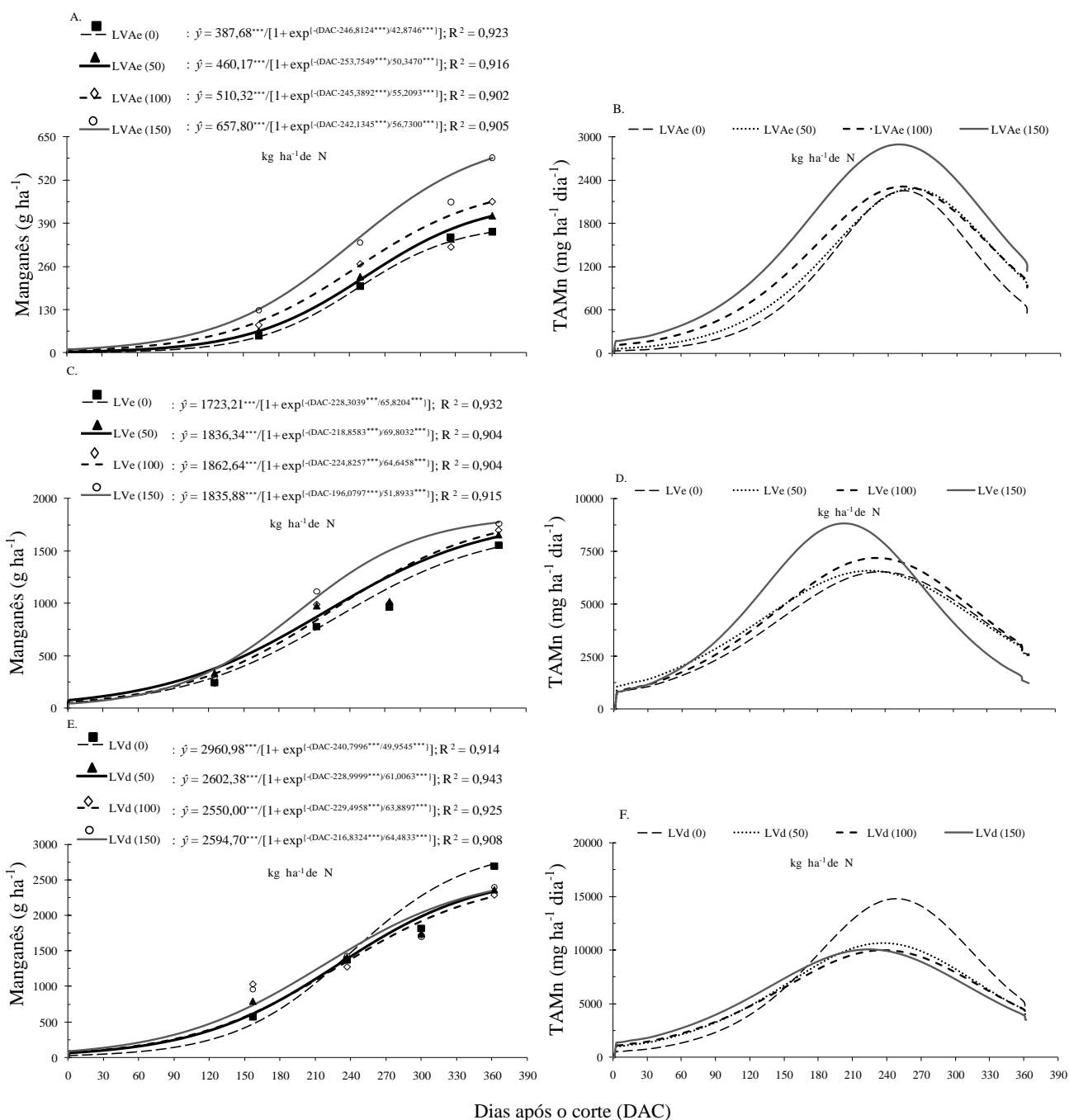


Figura 2.25 - Acúmulo e taxa de acúmulo de manganês (TAMn) na parte aérea da cana-de-açúcar, no ciclo de cana soca, em três classes de solos LVAe (A e B), LVe (C e D) e LVd (E e F), relacionados à adubação nitrogenada. *** significativo a 1% de probabilidade

Os resultados de acúmulo de Mn na segunda fase, mostraram que as doses de N na cana planta proporcionaram no LVAe e LVe incrementos positivos até o tratamento 120 kg ha⁻¹ de N (Figura 2.24 A e B), enquanto que no LVd a adubação nitrogenada restringiu o acúmulo de Mn na segunda fase (Figura 2.24 D). Na primeira soqueira de cana-de-açúcar, a tendência de ganhos positivos com as doses de N no acúmulo de Mn foi observada no LVAe e no LVe, no entanto para o LVd, os acúmulos mostram-se decrescentes com aplicação de N (Figura 2.25 A, C e E).

Para a taxa máxima de acúmulo de Mn (TMAMn), no ciclo de cana planta, os maiores valores nos solos LVe e LVd, respectivamente, aos 245 e 183 DAP (setembro e outubro de 2005) com valor médio de 42.982 e 23.574 mg ha⁻¹ dia⁻¹ (Anexo K). No LVAe a ocorrência da TMAMn foi observada aos 159 DAP (julho de 2005) apresentando valores máximos de 9.617 mg ha⁻¹ dia⁻¹. Na cana soca, a TMAMn obtida no LVAe ocorreu em fevereiro de 2007 (247 DAC) e apresentou valores médios de 2.439 mg ha⁻¹ dia⁻¹, enquanto que no solos LVe e LVd os acúmulos máximos foram observados em março de 2007, aos 217 e 229 DAC, com valores de 7.292 e 11.175 mg ha⁻¹ dia⁻¹, respectivamente (Anexo K).

Para os dois ciclos de produção, a adubação nitrogenada influenciou na TMAMn, verificando-se na cana planta para os solos LVAe e LVd, tendência linear positiva com aumento das doses (Figura 2.24 C e E), por outro lado no LVe as taxas máximas foram menores com adição do N (Anexo K). Na cana soca a TMAMn nos solos LVAe e LVe apresentaram tendência a aumentos lineares positivos com as doses de N (Figura 2.25 B e D), enquanto que no LVd os maiores valores foram obtidos no tratamento não fertilizado (Figura 2.25 F).

Na terceira fase de acúmulo, os valores encontrados nos ciclos de cana planta nos solos LVAe e LVd e cana soca para todos os solos representaram, respectivamente, 12 e 3 % de todo Mn extraído. Na cana planta, os acúmulos de Mn na terceira fase mostraram tendência linear positiva com as doses de N aplicadas no LVAe e LVd, apresentando acúmulos médios de 89 e 340 g ha⁻¹, respectivamente, no período de 265 e 202 dias. No LVe o ajuste na forma de sino indicou não existir a terceira fase de acúmulo de Mn. Para cana soca, efeito linear positivo das doses de N foi observado apenas no LVe, que apresentou acúmulos médios de 69 g ha⁻¹, enquanto nos solos LVAe e LVd os acúmulos de Mn decresceram com as doses de N (Apêndice K), observando-se valores médios de 11 e 76 g ha⁻¹, que ocorreram no período de 24, 11 e 13 dias, respectivamente.

Diante dos resultados obtidos para o acúmulo dos micronutrientes, constatou-se que o comportamento do Fe e Mn durante o desenvolvimento da cana-de-açúcar foram semelhantes, verificando-se no ciclo de cana planta, que independente dos tratamentos aplicados, os acúmulos foram crescentes e acompanharam a produção de matéria seca até os 293, 280 e 246 DAP (dezembro de 2005), respectivamente, para os solos LVAe, LVe e LVd, ou seja, até aproximadamente o término da segunda fase e após o momento em que ocorreram as taxas máximas de acúmulo estimadas pelas curvas (Figuras 2.22; 2.24). Posteriormente, os acúmulos foram decrescentes no período de 358 aos 468 DAP no LVAe, dos 342 aos 523 DAP no LVe e entre os 307 a 459 DAP no LVd (fevereiro a agosto de 2006). Em contra partida, os acúmulos desses micronutrientes na primeira soqueira foram sempre crescentes (Figuras 2.23 A e C; 2.25 A, C e E), exceto pelo Fe no LVe (Figura 2.23 B), que apresentou entre 212 e 274 DAC (março e maio de 2007) reduções no acúmulo com posterior aumento até os 367 DAC (agosto de 2007).

Nota-se que próximo da metade da estação de cultivo da cana planta, a produção de matéria seca foi maior (Figuras 2.5; 26) demandando quantidades elevadas de nutrientes para manter o crescimento, podendo tornar os micronutrientes no solo mais escasso. Adicionalmente, o crescimento populacional dos microrganismos estimulados pela entrada do carbono orgânico das raízes, consome uma porção considerável dos nutrientes mineralizados da matéria orgânica e disponíveis no substrato inorgânico, competindo, assim, com as raízes no processo de absorção (EPSTEIN; BLOOM, 2006), o que esclareceria as reduções observadas no acúmulo de Fe e Mn na cana planta durante a fase de máximo crescimento. À medida que a estação de cultivo se aproxima do final, a baixa temperatura e o déficit hídrico mais acentuado (Figuras 2.1; 2.2; 2.3) pode limitar a disponibilidade e a absorção dos nutrientes pelas raízes da cana-de-açúcar, não suprimindo a demanda da cultura, justificando, deste modo, as reduções contínuas na concentração de Fe e Mn em cana planta até o final do ciclo de produção (Figura 2.22; 2.24).

Na cana soca a produção de matéria seca na segunda fase foi em média 56 % inferior ao ciclo de cana planta (Apêndice A), o que induz a menor demanda por nutrientes nesse período, com conseqüente aumento na oferta dos micronutrientes e menor competição com os microrganismos. Como já relatado, o sistema radicular da cana planta continua absorvendo água e nutrientes após o corte da parte aérea até sua renovação total (SEGATO et al., 2006; CASTRO, 2000), assim, a ação conjugada desses fatores aliado aos teores adequados de Fe e Mn característicos em Latossolos e dos observados nas camadas superficiais da análise de terra

realizada antes da implantação dos experimentos, pode elucidar os acúmulos crescentes de Fe e Mn até o final do ciclo de produção.

2.3.14 Acúmulo de Zinco

O acúmulo de Zn em ambos os ciclos de produção diferiu entre os solos e com os tratamentos utilizados (Anexo L; Figuras 2.26 A, C e E; 2.27 A, C e E), observando-se para cana planta efeito linear crescente com a adubação nitrogenada no LVAe, enquanto que no LVd os acúmulos decresceram com as doses de N. Na cana soca apenas no LVAe foi constatada influência significativa dos tratamentos nos acúmulos de Zn.

Na primeira fase de acúmulo, foram extraídos em média na parte aérea da cana-de-açúcar, 12 % de todo Zn acumulado nos ciclos de cana planta e cana soca. Para os solos LVd e LVAe, os acúmulos iniciais na cana planta, foram em média de 37 g ha⁻¹ que ocorreram até os 156 e 132 DAP (julho e agosto de 2005) (Figura 2.26 A e E). No LVe a primeira fase foi observada até os 186 DAP (agosto de 2005) com acúmulos de 53 g ha⁻¹ (Figura 2.26 C). Nesse ciclo de produção, a adubação nitrogenada aplicada no LVAe antecipou a duração da primeira fase e promoveu efeito positivo na quantidade acumulada (Figura 2.26 A), enquanto que para os solos LVe e LVd, as doses de N não influenciaram na duração e no acúmulo da primeira fase (Figura 2.26 C e E).

A adubação nitrogenada aplicada na primeira soqueira para o LVAe mostrou tendência positiva nos acúmulos iniciais de Zn, bem como reduziu a duração da primeira fase (Figura 2.27 A), sendo verificado valor médio entre os tratamentos de 24 g ha⁻¹, ocorridos no período de 135 DAC (outubro de 2006). Para o solo LVd também se constatou menor duração da primeira fase com as doses de N (Figura 2.27 E), porém sem que houvesse diferença na quantidade acumulada, que apresentou valores médios de 45 g ha⁻¹ no período de 84 DAC (outubro de 2006). Em contrapartida, no LVe, a primeira fase foi verificada até 107 DAC (novembro de 2006) com extrações de 31 g ha⁻¹, que se mostraram decrescentes com a utilização de N (Figura 2.27 C).

Os acúmulos obtidos na segunda fase corresponderam a 79 % de todo Zn extraído na parte aérea da cana-de-açúcar, sendo observado na cana planta que o acúmulo obtido no LVd apresentou tendência decrescente com aplicação de N, acumulando em média 230 g ha⁻¹ no período de 132 até 393 DAP (Anexo L; Figura 2.26 E). Os acúmulos obtidos nesta fase para os solos LVAe e LVe apresentaram tendência a incrementos positivos com a adubação nitrogenada,

sendo observados no período de 156 até 436 DAP e 186 até 315 DAP, respectivamente, com valores médios 246 e 338 g ha⁻¹ de Zn (Anexo L; Figura 2.26 A e C). Na cana soca o acúmulo de Zn na segunda fase para os solos LVe diminuiu com a adubação nitrogenada, entretanto, para o LVAe nas doses de 100 e 150 kg ha⁻¹ de N e no LVd para a dose de 50 kg ha⁻¹ de N, os acúmulos demonstraram ganhos superiores em relação às parcelas não fertilizadas (Figura 2.27 C e E). No segundo período de acúmulo, o LVd se destacou com as maiores extrações (285 g ha⁻¹), que ocorreram entre 84 e 357 DAC (Anexo L). Nesta fase os acúmulos obtidos para o LVAe foram observados entre 135 e 317 DAC, enquanto que no LVe a segunda fase ocorreu dos 107 aos 251 DAC, sendo acumulado em ambos os solos 154 e 199 g ha⁻¹ de Zn, respectivamente.

Resultados de acúmulo de Zn nos ciclos de cana planta e cana soca do cultivar CB41-76, avaliado em solos e condições climáticas semelhantes a presente pesquisa, se mostram superiores em 78 e 110 % respectivamente (SOBRAL; WEBER, 1983). Tamanha diferença pode ser atribuída aos baixos teores desse nutriente observados na análise de terra (Tabela 2.2), o que promoveu menor absorção e conseqüente diminuição na quantidade acumulada na parte aérea da cana-de-açúcar, mesmo sendo constatada produção de matéria seca superior.

Observou-se para os dois ciclos de produção, que a taxa máxima de acúmulo de Zn (TMAZn) apresentou comportamento diferenciado entre solos e com a adubação nitrogenada (Anexo L; Figuras 2.26 B, D e F; 2.27 B, D e F). Entre os solos estudados, verificou-se na cana planta e cana soca que os valores da TMAZn foram maiores no LVe (Figuras 2.27 D; 2.28 D), apresentando acúmulos máximos de 3.515 e 1.955 mg ha⁻¹ dia⁻¹, respectivamente, aos 250 DAP (novembro de 2005) e 179 DAC (fevereiro de 2007), seguido do LVd que apresentou valores máximos da TMAZn aos 263 DAP (dezembro de 2005) na cana planta e aos 221 DAC (fevereiro de 2007) na cana soca, com acúmulos de 1.196 e 1.375 mg ha⁻¹ dia⁻¹, respectivamente. Com os menores valores, o LVAe apresentou em média extração de 1.158 mg ha⁻¹ dia⁻¹ entre os ciclos de produção, sendo observada aos 296 DAP (dezembro de 2005) e 226 DAC (fevereiro de 2007) respectivamente.

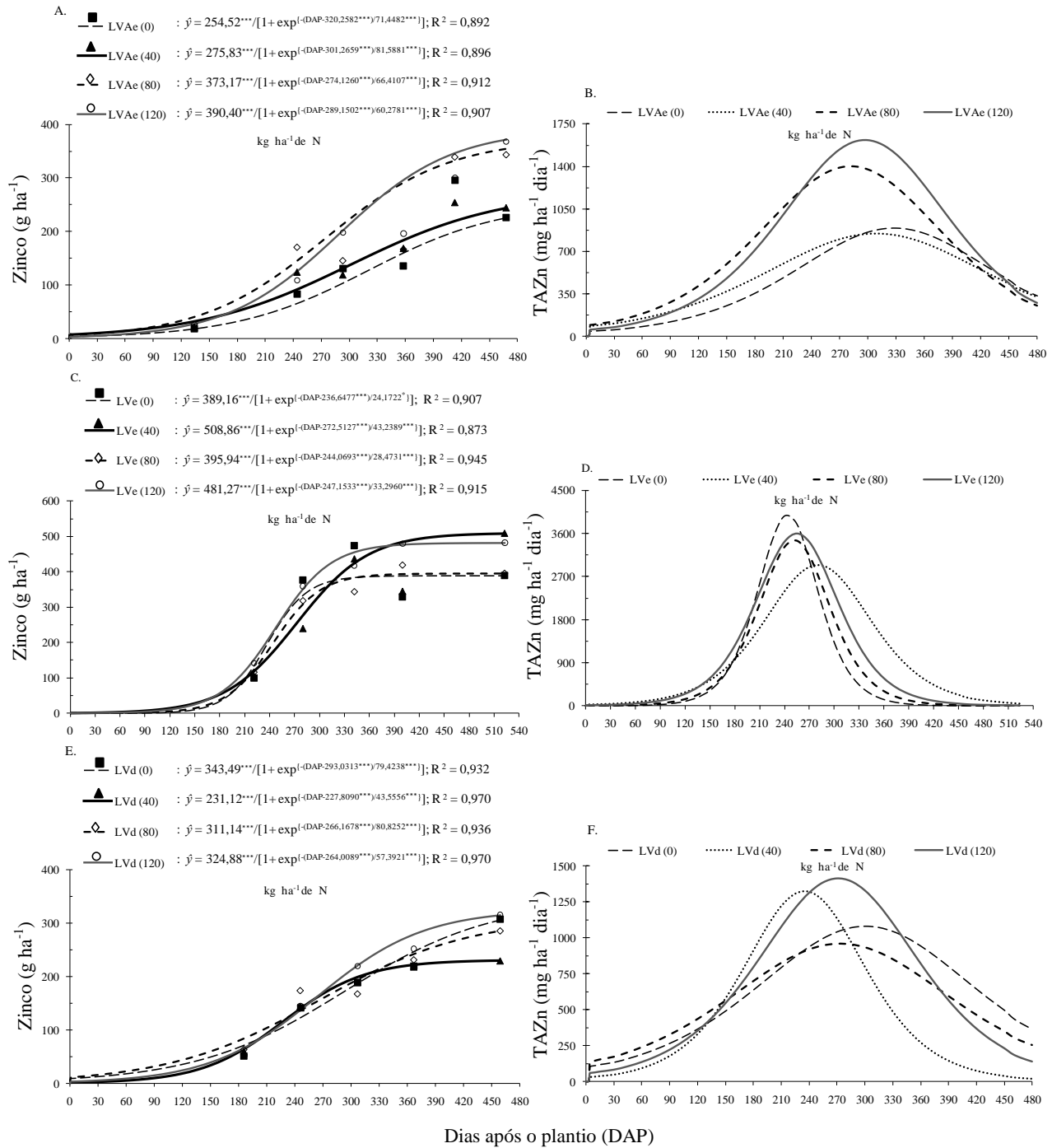


Figura 2.26 - Acúmulo e taxa de acúmulo de zinco (TAZn) na parte aérea da cana-de-açúcar, no ciclo de cana planta, em três classes de solos LVAe (A e B), LVe (C e D) e LVD (E e F), relacionados à adubação nitrogenada. *** significativo a 1% de probabilidade

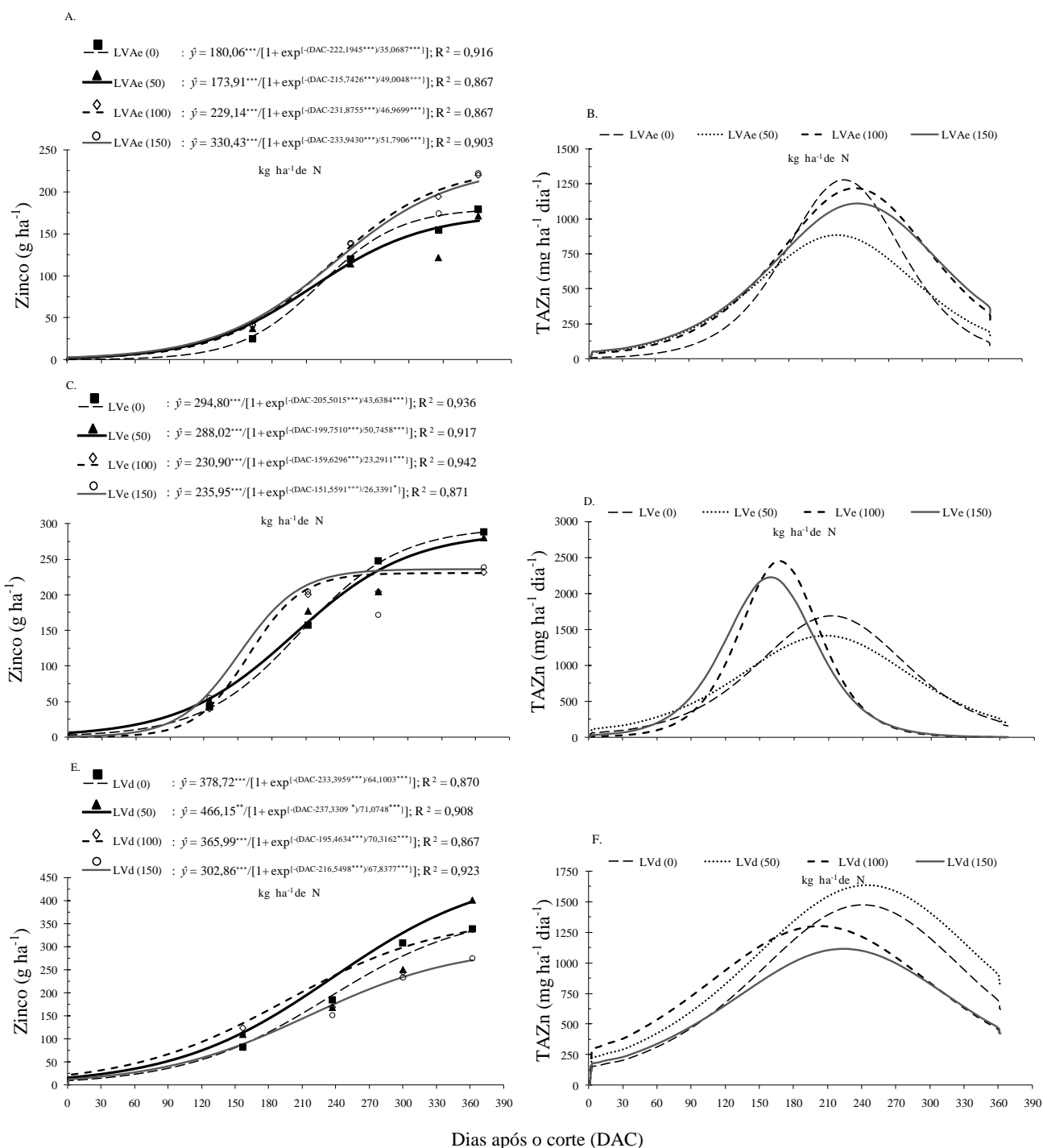


Figura 2.27 - Acúmulo e taxa de acúmulo de zinco (TAZn) na parte aérea da cana-de-açúcar, no ciclo de cana soca, em três classes de solos LV Ae (A e B), LVe (C e D) e LVd (E e F), relacionados à adubação nitrogenada. *, **, *** significativo, respectivamente, a 10, 5 e 1% de probabilidade

O efeito da adubação nitrogenada na TMAZn para o ciclo de cana planta, se destacou no LVd com aplicação de 40 e 120 kg ha⁻¹ de N, no LVAe os maiores valores foram obtidos com os tratamentos 80 e 120 kg ha⁻¹ de N (Figura 2.26 B e F), por outro lado, as taxas máximas obtidas no LVe foram menores com as doses de N (Figura 2.26 D). Na cana soca o efeito da adubação nitrogenada foi constatado no tratamento controle e na dose de 50 kg ha⁻¹ de N para o LVd e nas doses de 100 e 150 kg ha⁻¹ de N no LVe (Figura 2.27 D e F). Para o LVAe as doses de N não proporcionaram incrementos na TMAZn (Figura 2.27 B).

Na terceira fase de acúmulo, as doses de N de plantio proporcionaram tendência a incrementos nas extrações de Zn em todos os solos, observando-se acúmulos finais de 53, 18 e 11 g ha⁻¹, respectivamente, para os solos LVe e LVd e LVAe, o que correspondeu em média a 7 % do nutriente encontrado na parte aérea. Na cana soca a adubação nitrogenada somente influenciou nos acúmulos finais do LVd, que extraiu em média 10 g ha⁻¹, enquanto que os solos LVe e LVAe os acúmulos de 29 e 19 g ha⁻¹ de Zn respectivamente, equivaleram em média a 8 % de todo nutriente extraído.

2.3.15 Acúmulo de Micronutrientes: considerações gerais

Os resultados obtidos para o acúmulo dos micronutrientes na parte aérea da cana-de-açúcar permitiram verificar, que a adubação nitrogenada na cana planta não influenciou na duração do primeiro período de acúmulo, porém proporcionou efeito sinérgico no acúmulo de B, Fe e Zn na segunda fase de extração. Em contra partida, o acúmulo de Cu e Mn nesse período foram decrescente com as doses de N, exceto no LVAe no qual se observou tendência a incrementos com a fertilização nitrogenada. Na cana soca as doses N anteciparam o primeiro período de acúmulo, principalmente do Fe, Mn e Zn, bem como promoveram na segunda fase, efeito sinérgico na quantidade acumulada de B, Fe e Mn, enquanto que para Cu e Zn foram constatadas, com aplicação de N, reduções nos acúmulos obtidos nesse período.

Em ambos os ciclos de produção, o período correspondente a primeira fase de acúmulo dos micronutrientes na parte aérea da cana-de-açúcar, apresentou baixa produção de matéria seca (Tabela 2.3; Figuras 2.5; 2.6), que pode ser decorrente da menor taxa respiratória e de multiplicação celular nos estádio fenológicos de brotação e perfilhamento (CASTRO, 2000), proporcionando menor efeito da adubação nitrogenada e menores acúmulos dos nutrientes. Neste contexto, a ascensão no acúmulo dos micronutrientes, apresentou tendência a iniciar antes da

segunda fase de produção de matéria seca, exceto pelo Fe no ciclo de cana soca (Tabela 2.3; 2.4). Essa observação indica que a demanda metabólica dos micronutrientes ocorreu antes do estágio de máximo crescimento da parte aérea da cana-de-açúcar, assim como verificado para os macronutrientes, evidenciando que seu fornecimento deve ser realizado antes do período das taxas elevadas de produção de matéria seca. Moura Filho et al. (2006), avaliando a extração dos nutrientes em quatro cultivares de cana-de-açúcar irrigadas, também observaram que as maiores taxas de acúmulo dos micronutrientes ocorreram antes das taxas máximas de produção de matéria seca, corroborando assim com os resultados observados nesse trabalho. Epstein; Bloom (2006) relata que a disponibilidade de nutrientes no solo tende a ser maior no início da estação de cultivo, quando fluxo de nutrientes é trazido em direção rizosfera com o aumento da disponibilidade hídrica e novas raízes exploram outras regiões de solo. Assim, a adubação realizada no pré-plantio ou durante as fases iniciais de crescimento na cana planta e quando aplicada logo após o corte do canavial, será mais efetiva, uma vez que os resultados mostraram que a cana-de-açúcar encontra-se fisiologicamente capaz de absorver inicialmente maiores quantidades de nutrientes do solo e estocá-los em seus tecidos, para posterior utilização na fase de exponencial ou de máximo crescimento.

Com base nos resultados obtidos verificou-se que o início do máximo acúmulo dos micronutrientes ($T_{1^{\circ}fase}$) ocorreu pouco depois dos observados para os macronutrientes (Tabelas 2.3; 2.4), permitindo sugerir em condições semelhantes a do presente estudo, bem como para solos arenosos e pobres em matéria orgânica, que a adubação com B na cana planta pode ser parcelada e aplicada na operação de quebra lombo, juntamente com o N e K (± 120 DAP), visando minimizar as perdas por lixiviação e aumentar a eficiência de absorção. Nas condições em que o N e K sejam aplicados de uma única vez no sulco de plantio, sugere-se realizar o suprimento de B juntamente com o controle de ervas daninhas, dissolvido na calda do herbicida pós-emergente, desde que a aplicação seja feita antes dos 150 DAP (Tabela 2.4).

Tabela 2.4 - Período (dias), acúmulo relativo (AR) e taxa máxima de acúmulo (TMAC) de micronutrientes na parte aérea da cana-de-açúcar, média dos três experimentos

<i>Cana planta</i>											
1° fase			2° fase			TMAC*		3° fase			
	Período	AR**	%	Período	AR	%	dias	-	Período	AR	%
B	0 - 151	30,0	12	151 - 320	192,0	77	236	1.577,9	320 - 483	25,0	9
Cu	0 - 128	12,6	12	128 - 366	80,8	79	231	598,6	366 - 483	9,0	4
Fe	0 - 181	2.487,4	14	181 - 288	15.891,1	86	237	231,3	288 - 483	0,0	0
Mn	0 - 137	324,9	12	137 - 254	2.075,9	80	196	25.391,4	254 - 483	143,2	8
Zn	0 - 158	42,5	12	158 - 381	271,5	80	270	1.966,7	381 - 483	27,1	7
<i>Cana soca</i>											
B	0 - 130	24,5	12	130 - 289	157,3	78	208	1.319,5	208 - 363	19,0	10
Cu	0 - 104	6,8	12	104 - 230	43,7	77	167	535,0	230 - 363	6,0	11
Fe	0 - 153	1.165,9	21	153 - 363	4.305,0	79	383	48,16	-	-	-
Mn	0 - 115	198,5	13	115 - 347	1.267,9	84	231	6.968,7	347 - 363	52,1	3
Zn	0 - 110	33,5	12	110 - 308	213,0	79	209	1.485,0	308 - 363	19,4	9

*TMAC-Micronutrientes: mg ha⁻¹dia⁻¹; * TMAC-Fe: g ha⁻¹dia⁻¹; ** AR-Micronutrientes (g ha⁻¹).

Na cana soca os resultados indicaram que o fornecimento do B, pode ser realizado juntamente com N e K, até os 72 e 90 DAC respectivamente. Contudo quando aplicado isoladamente, seu fornecimento não deve ultrapassar os 130 DAC, considerando que o porte da cultura e as condições edafoclimáticas permitam a sua aplicação.

Para os nutrientes Cu e Zn o fornecimento no solo deveria ocorrer, respectivamente, antes dos 128 e 158 DAP na cana planta e na cana soca anteriormente aos 104 e 110 DAC (Tabela 2.4). Porém a alta capacidade de formação de complexos estáveis com os ácidos húmicos e flúvicos da matéria orgânica e a maior afinidade de adsorção específica com colóides do solo (ABREU et al., 2007; RENA; FAVARO, 2000), diminuem a mobilidade e disponibilidade desses nutrientes, dificultando a absorção pelas raízes e tornando inútil o parcelamento ou aplicação sobre a palhada após o corte do canavial, principalmente em solos mais intemperizados, ricos em oxido de Fe e Mn. Devendo desse modo, ser aplicado no sulco de plantio à quantidade necessária para suprir a demanda total da cultura em todos os ciclos de produção. Por outro lado, em cana soca cultivada em solos de textura arenosa que não recebeu Cu e Zn no plantio, sugere-se a aplicação juntamente com o N e K (Tabela 2.3 e 2.4).

Com relação ao Fe e Mn, comumente não é recomendada sua aplicação para a maioria dos solos cultivados com cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil, devido à maior predominância de solos intemperizados e ricos nesses nutrientes, que disponibilizam quantidades suficientes para atender a demanda da cultura. Entretanto, os principais solos cultivados com cana-de-açúcar na região Nordeste do país, necessitam de Mn, uma vez que são originários de rochas deficientes nesse nutriente, o que torna recomendável sua aplicação no sulco de plantio, ou antes, dos 115 DAC na cana soca (Tabela 2.4), em solos arenosos não fertilizados com Mn anteriormente.

Na tentativa de solucionar a barreira na aplicação dos micronutrientes via solo, pesquisadores têm buscado realizar o fornecimento pela via foliar (INQUE et al., 2009), já que a absorção pela folha e a utilização são mais rápidos (RENA; FAVARO, 2000). Com base no período em que se iniciou a ascensão e as taxas máximas de acúmulo de B, Cu, Fe, Mn e Zn na parte aérea, verificou-se que a adubação foliar na cana-de-açúcar deve ser realizada, respectivamente, no ciclo de cana planta anteriormente aos 236, 231, 237, 196, 270 DAP, enquanto que na cana soca as aplicações finais devem ser feitas antes dos 208, 165, 383, 231, 209 DAC. Calculando a média dos períodos, sugere-se uma aplicação até o início da ascensão dos acúmulos, sendo realizada aos 150 DAP e 120 DAC, na cana planta e cana soca respectivamente (Tabela 4).

2.4 Conclusões

1. A fase de maior produção de matéria seca ocorrerá independente da época de plantio ou do corte, quando as condições climáticas tornarem os valores da ETr semelhante aos da ETc, sendo observado com aumento dos índices pluviométricos e da disponibilidade hídrica, bem como com aumento da luminosidade e temperatura.
2. O início das maiores extrações e o momento das taxas máximas de acúmulo dos nutrientes ocorrem antecipadamente aos da produção de matéria seca, evidenciando que a prática da adubação seja realizada antes da fase de maior desenvolvimento vegetativo.
3. A adubação nitrogenada promove efeito sinérgico no acúmulo dos nutrientes, entretanto, doses de N superiores a 100 kg ha⁻¹ resultam em redução nos acúmulos dos nutrientes P, Ca, S e Cu na parte aérea da cana-de-açúcar.

4. A duração das fases e a quantidade acumulada dos nutrientes variam com a adubação nitrogenada, nos ciclos de cultivo e especialmente entre os ambientes edafoclimáticos, indicando que para fornecimento eficiente e recomendação mais abrangente dos nutrientes, torna-se necessário a realização de estudos semelhantes em diferentes classes de solo, bem como em outras regiões produtoras de cana-de-açúcar.

Referências

ABREU, C.A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. C. G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V, V.H.; BARROS, N. F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA SOLO, 2007. 1017 p.

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).

BARBOSA, M.H.P.; OLIVEIRA, M.W.; SILVEIRA, L.C.I. DAMASCENA, C.M.; MENDES, L.C. Acúmulo e alocação de nutrientes pela RB72454 no ciclo da cana planta. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 8., 2002. Recife. **Anais...** 2002. Recife: STAB, p. 264- 267.

CASTRO, P.R.C. Aplicações da fisiologia vegetal no sistema de produção da cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE FISIOLÓGIA DA CANA-DE-AÇÚCAR, 2000, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: STAB, 2000. p. 1-9.

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

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Planta, 2006. 402 p.

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

FRANCO, H.C.J.; BOLOGNA, I.R.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O. Acúmulo de macronutrientes em cana-de-açúcar em função da adubação nitrogenada e dos resíduos culturais incorporados ao solo no plantio. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 521-526, 2007.

- FREIRE, F.J.; OLIVEIRA, E.C.A.; FREIRE, M.B.G.S.; OLIVEIRA, R.I.; OLIVEIRA, A.C. Growth indices of eleven sugarcane varieties grown under full irrigation environments in Brazil. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 19., 2010, Brisbane. **Proceedings...** Brisbane: [s.n.], 2010. p.16-19.
- 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 Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1347-1354, 2001.
- GUIBERTO, P.J.; LIBARDI, P.L.; BRITO, A.S. TRIVELIN, P.C.O. Leaching of nutrients from a sugarcane crop growing on an Ultisol in Brazil. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, p. 1443-1448, 2009.
- GREEF, J.M.; OTT, H.; WULFES, R.; TAUBE, F. Growth analysis of matter accumulation and N uptake of forage maize cultivars affected by N supply. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 132, p. 31-43, 1999.
- HUNT, R. **Plant growth curves: the functional approach to plant growth analysis**. London: Edward Arnold, 1982. 248 p.
- INMAN-BAMBER, N.G.; MCGLINCHEY, M.G. Crop coefficients and water use estimates for sugarcane based on long-term Bowen ratio energy balance measurements. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 83, p. 125-138, 2003.
- INQUE, T.T.; CABRAL, R.G.; SILVA, C.M.; SANTOS, F.V.; SCHOEN NETO, G.A. Resposta da cana-de-açúcar a aplicação foliar de Zn e N. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2009. Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBCS, 2009. 1. CD-ROM.
- LAL, K.N. Physiological rôle of nitrogen in growth and metabolism of sugarcane. **Studies in Crop Physiology**, v.17, n. 1, p. 87-98, 1950.
- LAVIOLA, B.G.; MARTINEZ, H.E.P. SOUZA, R.B.; SALOMÃO, L.C.C.; CRUZ, C.D. Macronutrient accumulation in coffee fruits at Brazilian Zona da Mata conditions. **Journal of Plant Nutrition**, Jefferson, v. 32, p. 980-995, 2009.
- 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.
- MAATHUIS, F.J.M. Physiological functions of mineral macronutrients. **Current Opinion in Plant Biology**, Amsterdam, v. 12, p. 150-158, 2009.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 3. ed. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 319 p.
- MARENCO, R.A.; LOPES, N.F. **Plant physiology: photosynthesis, respiration, water relationships and mineral nutrition**. Viçosa: Editora UFV. 2005. 56 p.

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

McCULLOUGH, D.E.; GIRARDIN, P.; MIHAJLOVIC, M.; AGUILERA, A.; TOLLENAAR, M. Influence of N supply on development and dry matter accumulation of an old and new maize hybrid. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 74, p. 471-477, 1994.

McLACHLAN, K.D. Comparative phosphorus response in plants to a range of available phosphorus situations. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 27, p. 323-341, 1976.

MOURA FILHO, G.; SILVA, L.C.; CARNAÚBA, P.J.P.; FERREIRA, L.C.R. SILVA, V.T. COSTA, J.V.T.; SOUZA, J.L.; MOURA, A.B. Acúmulo de nitrogênio em três cultivares de cana-de-açúcar irrigada por gotejamento. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 8., 2008, Maceió. **Anais...** Maceió: STAB, 2008. p. 222-227.

MOURA FILHO, G.; SILVA, L.C.; SILVA, V.T.; FERREIRA, L.C.R.; CARNAÚBA, P.J.P.; SILVA, J.V.T. Acúmulo e alocação de fósforo pelas variedades RB72454, SP81-3250 e RB83594, no ciclo de cana soca, sob gotejamento superficial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007. Gramado. **Anais...** Gramado: SBCS, 2007. 1. CD-ROM.

MOURA FILHO, G.; ALMEIDA, A.C.S.; SILVA, L.C.; SOUZA, J.L. TEODORO, L.; BARBOSA, G.V.S. Crescimento e absorção de nutrientes em quatro variedades de cana-de-açúcar. In: SEMINÁRIO ALAGOANO SOBRE VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR, 2006, Maceió. Maceió: STAB Leste, 2006. 1 CD- ROM.

MOUSTAKAS, N.K.; NTZANIS, H. Dry matter accumulation and nutrient uptake in flue-cure tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). **Field Crops Research**, Amsterdam, v.94, p.1 - 13, 2005.

OLIVEIRA, E.C.A.; FREIRE, F.J.; OLIVEIRA, R.I.; FREIRE, M.B.G.S.; SIMÕES NETO, D. E.; OLIVEIRA, A.C. Acúmulo e alocação de nutrientes em cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, 2011. No prelo.

OLIVEIRA, E.C.A.; OLIVEIRA, R.I.; ANDRADE, B.M.T.; FREIRE, F.J; LIRA JUNIOR, M. A. MACHADO, P.R. Crescimento e acúmulo de matéria seca em variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n.9, p. 951-960, 2010.

OLIVEIRA, E.C.A. **Dinâmica dos nutrientes na cana-de-açúcar, em sistema irrigado de produção**. 2008. 79 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2008.

ORLANDO FILHO, J.; HAAG, H.P.; ZAMBELLO JUNIOR, E. **Crescimento e absorção de macronutrientes pela cana-de-açúcar, variedade CB41-76, em função da idade, em solos do estado de São Paulo**. Piracicaba: PLANAUUSUCAR. 1980. 128 p.

OTTO, R. **Desenvolvimento de raízes e produtividade de cana-de-açúcar relacionados à adubação nitrogenada.** 118 p. 2007. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

OTTO, R.; FRANCO, H.C.J.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C. TRIVELIN, P.C.O. Fitomassa de raízes e da parte aérea da cana-de-açúcar relacionada à adubação nitrogenada de plantio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 4. p. 398-405, 2009.

PARNAUDEAU, V.; CONDOM, N.; OLIVER, R.; CAZEVIEILLE, P. ; RECOUS, S. Vinasse organic matter quality and mineralization potential, as influenced by raw material, fermentation and concentration processes. **Bioresource technology**, Essex, v.99, p.1553-1562, 2008.

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

RENA, A.B.; FÁVARO, J.R.A. Nutrição do cafeeiro via folha. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Café: Produtividade, qualidade e sustentabilidade.** Viçosa: MG. 2000. p.149-208.

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.

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

SILVA, L.C. **Análise de crescimento e acúmulo nutrientes de sete cultivares de cana-de-açúcar na Região de Cururipe.** 2007. 80 p. 2007. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Alagoas, Maceió, 2007.

SILVA, L.C.; MOURA FILHO, G.; SILVA, V.T.; CARNAÚBA, P.J.P.; ALMEIDA, C.A.B.; COSTA, J.P.V. Acúmulo de fósforo em quatro cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) na região de Cururipe-AL. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007. Gramado. **Anais...** Gramado: SBCS, 2007. 1. CD-ROM.

SILVA, L.C.; MOURA FILHO, G.; SILVA, V.T.; MOURA, A.B.; FERREIRA; L.C.R.; CARNAÚBA, P.J.P.; ALMEIDA, C.A.B.; SOUZA, J. L.; COSTA, J.P.V.; SANTOS, V.R. Acúmulo e eficiência de potássio em sete cultivares de cana-de-açúcar, na região de Cururipe-Al. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 8., 2008. Maceió. **Anais...** Maceió: STAB, 2008. p. 222-227.

SILVA, L.C.; MOURA FILHO, G.; SILVA, V.T.; MOURA, A.B.; RODRIGUES, W.A.R.R.; CERQUEIRA, D.C.O.; FERREIRA; L.C.R.; CARNAÚBA, P.J.P.; ALMEIDA, C.A.B. Remoção de enxofre em sete cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) na região de Cururipe-AL. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2009. Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBCS, 2009a. 1. CD-ROM.

SILVA, V.T.; MOURA FILHO, G.; SILVA, L.C.; COSTA, J.V.T.; CERQUEIRA, D.C.O.; RODRIGUES, W.A.R.R.; SILVA, R.E.A. Extração e eficiência de utilização de cobre em sete cultivares de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2009. Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBCS, 2009b. 1. CD-ROM.

SILVA, V.T.; MOURA FILHO, G.; SILVA, L.C.; COSTA, J.V.T.; CERQUEIRA, D.C.O.; RODRIGUES, W.A.R.R.; SILVA, R.E.A. Extração e eficiência de utilização de ferro em sete cultivares de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2009. Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBCS, 2009c. 1. CD-ROM.

SILVEIRA, J.A.G.; CROCOMO, O.J. Assimilação de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em presença de elevado nível de N e de vinhaça no solo. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 22, n. 2, p. 7-15, 1990.

SOBRAL, A.F.; WEBER, H.; Nutrição mineral da cana-de-açúcar (micronutrientes). In: ORLANDO FILHO, J. (Ed.). **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: PLANALSUCAR, 1983. p. 103-124.

TAIZ, L; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed. 2009. 819 p.

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

TRIVELIN, P.C.O.; COLETI, J.T.; LARA CABEZAS, W.A.R. Efeito residual na soqueira de cana-de-açúcar do nitrogênio da uréia aplicada por via foliar na cana-planta. In: SEMINÁRIO SOBRE TÉCNICAS NUCLEARES NA PRODUÇÃO DE PLANTAS AGRÍCOLAS, 1984, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: CENA, 1984. p. 119-124.

VANEGAS, J.G.; HARRIS, R.S.; SIMON, B.A. A comprehensive equation for the pulmonary pressure-volume curve. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 85, p. 389-395, 1998.

VITTI, G.C. **Avaliação e interpretação do enxofre no solo e na planta**. Jaboticabal: Funep, 1988. 37p

3 CURVA DE DILUIÇÃO E CONCENTRAÇÃO CRÍTICA DE NITROGÊNIO EM CANA-DE-AÇÚCAR: CANA PLANTA E CANA SOCA

Resumo

O conceito da curva de diluição crítica de nitrogênio (CDCN) aplicado ao desenvolvimento de um índice de nutrição de nitrogênio (INN) pode ser utilizado na diagnose da concentração adequada de N na parte aérea da planta no decorrer do ciclo de crescimento. Neste sentido, o objetivo do estudo foi determinar para cana-de-açúcar a CDCN, estabelecendo as concentrações críticas de N e o INN, na parte aérea da cultura durante os ciclos de cana planta e cana soca, assim como, identificar a dose para máxima produção econômica. O estudo foi desenvolvido em três áreas experimentais localizadas no Estado de São Paulo, Brasil, durante os ciclos agrícolas de 2005/2006 (cana planta de ano e meio) e 2006/2007 (primeira soqueira). Os tratamentos no primeiro ciclo de crescimento constaram da adubação de plantio de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N e um tratamento controle sem aplicação de N. Após a colheita da cana planta, nas parcelas sem N e nas que receberam 120 kg ha⁻¹ de N no primeiro ciclo de crescimento, foram utilizadas as doses 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de N e um tratamento controle sem N. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com parcelas subdivididas na cana planta e de parcelas subsubdivididas na cana soca. No decorrer de ambos os ciclos da cana-de-açúcar, realizou-se amostragens da parte aérea da planta, determinando-se a produção de fitomassa seca, a concentração de N para cada tratamento e o nível crítico de N, como também foi mensurada a produção de colmos no final de cada ciclo estudado. A dose e concentração crítica econômica de N foram calculadas com base na produção de colmos e nas concentrações do nutriente na folha diagnóstico e na parte aérea coletada na fase de máximo desenvolvimento da cultura. A CDCN diferenciou entre os ciclos de crescimento, identificando maior concentração de N no estágio inicial para cana soca e menor diluição do N no decorrer do ciclo de cana planta. O INN apresentou relação positiva com a produção de matéria seca e com as concentrações de N na parte aérea da cana-de-açúcar, demonstrando armazenamento de N em excesso nos estádios iniciais e concentrações limitantes no final do ciclo de crescimento. As concentrações críticas econômicas na fase de maior desenvolvimento variaram de 19,7 a 20,2 g kg⁻¹ na folha diagnóstico e de 8,8 a 10,6 g kg⁻¹ na parte aérea da planta, com adição da dose econômica de 45 e 120 kg ha⁻¹ de N em cana planta e cana soca, respectivamente. A CDCN e do INN determinaram a faixa de variação crítica de N e o período em que o nutriente foi mais limitante para produção de fitomassa, o que indicou a possibilidade de utilização da curva de diluição como parâmetro de diagnose nutricional de N para cana-de-açúcar, desde que as equações determinadas no presente estudo $N_{cr} = 19,0MS^{-0,369}$ (cana planta) e $N_{cr} = 20,3MS^{-0,469}$ (cana soca) sejam validadas com resultados de experimentos em outras condições de cultivo e utilizando diferentes cultivares.

Palavras-chave: Adubação; Equação potencial; Matéria seca; Nível crítico; *Saccharum spp*

Abstract

The concept of nitrogen critical dilution curve (NCDC) can be used to develop a nitrogen nutrition index (NNI) that allows the diagnosis of N concentration in the sugarcane above ground during the growth cycle. The objective of this study was to determine sugarcane NCDC, N critical concentration and an NNI in the cane plant and ratoon crop cycle, as well as identifying the N dose for maximum economic production. The study was performed in three experimental sites in São Paulo State, Brazil, during the plant cane (2005/2006 agricultural cycle) and first ratoon crop cycle (2006/2007). Treatments in the plant cane cycle were the N doses 40, 80 and 120 kg N ha⁻¹ and a control without N. After plant cane harvesting, the experimental plots of treatments control and 120 kg N ha⁻¹ were subdivided and applied the ratoon treatments: 50, 100 and 150 kg N ha⁻¹ and a control without N. The experimental design was randomized blocks in plant cane and split plot design in the ratoon. During both sugarcane cycles above ground samples were collected to determine the dry biomass production and N concentration; at harvest the stalk yield was also determined. The N economic dose and N economical critical concentration was obtained based in the stalk yield and N concentration in the leaves and above ground samples collected during the maximum growth stage. The NCDC differentiated between growth cycles, with highest value in the initial stage of the ratoon cycle and lower values during the plant cane cycle. The NNI was correlated positively with dry mass production and N concentration in above ground, showing N excess storage in the initial stages and limiting concentrations at the end of the growth cycle. The N economic critical concentration in the maximum growth stage ranged from 19,7 to 20,2 g kg⁻¹ in the diagnostic leaf and from 8,8 to 10,6 g kg⁻¹ in the above ground. The N economic dose was 45 and 120 kg N ha⁻¹ in the plant cane and first ratoon cycle, respectively. Using the NCDC and NNI allows identifying the N critical range variation and the period when the nutrient is more limiting for biomass production, suggesting the possibility to use the critical dilution curve as a sugarcane N nutritional diagnosis parameter. The equations determined in this study were $N_{cr} = 19,0 MS^{-0,369}$ (plant cane) and $N_{cr} = 20,3 MS^{-0,469}$ (ratoon cycle) and should be validated with experimental results in other conditions and cultivars.

Keywords: Critical level; Dry matter; Equation potential; Fertilization; *Saccharum* spp

3.1 Introdução

O crescimento dos vegetais superiores é diretamente influenciado pela disponibilidade de nitrogênio (N) no sistema solo-planta. A absorção e a concentração desse nutriente é altamente variável entre os anos de produção, com as condições de cultivo e durante o ciclo desenvolvimento, sendo normalmente observado nos estágios iniciais de crescimento concentrações de N mais elevadas nas folhas, caules e raízes, com posterior declínio na fase de maturação e com o aumento de produção de fitomassa da parte aérea (BARKER; BRYSON, 2006).

A diluição do N nos tecidos da parte aérea com o aumento de fitomassa tem sido explicada pelo N não encontrar-se envolvido apenas com processos metabólicos associados ao

crescimento e fotossíntese, mais também por fazer parte dos tecidos de armazenagem e estruturais que contém baixa concentração de N e aumentam a sua proporção com decorrer do desenvolvimento da cultura (GREENWOOD et al., 1991). Nos estádios iniciais de crescimento o desenvolvimento da área foliar e a taxa elevada de fotossíntese aumentam as exigências por N e quando associado à maior disponibilidade do nutriente no solo, eleva sua concentração nos tecidos. Posteriormente, no decorrer do ciclo, a relação entre as folhas e caule (colmo) decresce, sendo acompanhado pelo incremento de celulose e lignina nas células dos tecidos mais velhos do caule, como também por redução simultânea na concentração de proteínas, o que proporciona diminuição da concentração de N (MARINO et al., 2002; LAMAIRE et al., 1992). Adicionalmente, o processo de senescência e queda das folhas velhas promovem a remobilização do N para outras partes de crescimento da planta, reduzindo assim, a necessidade de N para produção de matéria seca da parte aérea nos estádios mais avançados de crescimento (JUSTES et al., 1994). Outro fator relevante é o sombreamento das folhas mais velhas por aquelas localizadas na seção superior do dossel durante o crescimento; geralmente menores concentrações de N serão observadas nessas folhas quando comparadas às mais novas, que se mostram mais ricas em proteínas (LEMAIRE et al., 1991).

A concentração de N nos tecidos dos vegetais é resultado da interação entre diversos fatores, entre eles, a disponibilidade natural do solo e a fertilização nitrogenada, que podem levar a faixas de concentrações que se estendem de deficientes a excessivo, ou até mesmo tóxicos. Isto sugere para condições de adequado suprimento de N, que a quantidade absorvida é determinada pela produção de fitomassa, contudo, a relação entre o aumento na concentração de N nos tecidos da parte aérea com a fitomassa produzida, é considerada não linear, ou seja, a absorção excessiva de N proporciona aumento de sua concentração nos tecidos, porém sem incrementos significativos, ou mesmo, com queda na produção (GASTAL; LEMAIRE, 2002).

Esta relação não linear entre o N nos tecidos e a produção de fitomassa leva a necessidade de identificar a concentração do nutriente no tecido vegetal que não seja limitante a produção. Mais especificamente, determinar o nível crítico de N (N_{cr}), que consiste em definir a concentração mínima na matéria seca que proporcione o máximo crescimento ou produção de fitomassa (ULRICH, 1952). A introdução deste conceito tem como objetivo obter uma referência estatisticamente fundamentada (JUSTES et al., 1994), da concentração crítica de N em qualquer fase de crescimento e nos diferentes ambientes de produção, o que permite a capacidade de

identificar o estado nutricional da cultura em condições supra ótima (excesso) ou sub ótima (deficiência) quando comparadas com a concentração crítica requerida para o máximo desenvolvimento vegetativo.

Numerosos modelos matemáticos têm sido estudado para demonstrar o declínio da concentração crítica de N nos tecidos das plantas com o incremento de fitomassa. Dentre os modelos, o método de diagnóstico denominado de curva de diluição crítica de nitrogênio (CDCN), explica fisiologicamente o fenômeno, levando em consideração a dinâmica do crescimento metabólico e estrutural da planta (CALOIN; YU, 1984). A CDCN é obtida a partir do conceito do Ncr em diferentes amostragens de toda parte aérea durante o desenvolvimento da cultura (LAMAIRE; SALETTE, 1984), sendo rerepresentada pela função alométrica potencial: $Ncr = aMS^{-b}$.

A CDCN foi inicialmente utilizada de maneira generalizada para dois grupos de espécies dos ciclos C_3 e C_4 (GREENWOOD et al., 1990). Posteriormente foi separadamente implementada e validada em condições edafoclimáticas distintas e em diferentes culturas, como o trigo de inverno e o milho (ZAIDI et al., 2010, 2008) no Canadá, para o algodão (XIAOPING et al., 2008) na China, na cultura do melão (FOGAÇA et al., 2008) e na batata (ADRIOLO et al., 2006) no Brasil; para o Azevém (MARINO et al., 2004) na Argentina, no tomateiro (TEI et al., 2002) na Itália e em diferentes espécies forrageiras (LAMAIRE; SALETTE, 1984) na França.

O Ncr nos tecidos diagnósticos determinado pela equação da CDCN vem sendo empregado como referencial de interpretação do estado nutricional de N. Variações na taxa de crescimento das culturas tem se mostrado proporcional a relação entre a concentração de N em determinado fase de crescimento e o Ncr (ZAIDI et al., 2010; 2008; MARINO et al., 2004; LAMAIRE; GASTAL 1997), demonstrando que os valores dessa relação podem ser utilizados como índice de nutrição de nitrogênio (INN), no qual os excessos e deficiência traduzem-se, respectivamente, por valores acima e abaixo desse índice e indicam a ação de adubação ou correção que deve ser tomada. Neste sentido, a diagnose efetiva do estado nutricional de N durante o crescimento da cultura pode ser utilizada no ajuste de doses para a produção economicamente rentável a partir das concentrações críticas estabelecidas (XIAOPING et al., 2008).

Estudos mais detalhados com a identificação da CDCN e a relação entre a concentração de N nos tecidos vegetais com o crescimento da parte aérea, ainda não foram determinados para

cultura da cana-de-açúcar. Wood et al. (1996) relataram que as taxas fotossintéticas na cana-de-açúcar apresentam correlação positiva com a quantidade de N por unidade de área foliar, evidenciando que a elevação da concentração de N no ponteiro proporcionou aumentos na produção de colmos. Como esta cultura é identificada por dois ciclos fenológicos de produção, denominados de cana planta e cana soca (SEGATO et al., 2006), que se desenvolvem em diferentes condições climáticas e com alterações no suprimento de N pelo solo, bem como apresentam períodos de crescimento e maturação fisiológica distintas, variações nas concentrações de N nos tecidos e na produção de fitomassa certamente serão observados (GASTAL; LEMAIRE, 2002).

Diante do contexto, este estudo teve como objetivo: (i) determinar nos ciclos de cana planta e cana soca a CDCN, (ii) identificar o INN durante o crescimento da cultura para diferentes doses de N; (iii) estabelecer a concentração crítica de N na folha diagnóstico e na matéria seca da parte aérea a partir da aplicação de uma dose de N que promovesse maior retorno econômico.

3.2 Material e Métodos

O presente estudo foi realizado utilizando os dados de concentração de N e produção de matéria seca coletados durante os ciclos agrícolas de 2005/2006 (cana planta de ano e meio) e 2006/2007 (primeira soqueira), nas três áreas experimentais anteriormente referidas e empregadas na determinação da curva de produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes descritos no capítulo 1.

No ciclo de cana planta (2005/2006), os tratamentos constituíram-se em três doses crescentes de N (40, 80 e 120 kg ha⁻¹) e um tratamento adicional sem aplicação do nutriente. O N-fertilizante foi aplicado na forma de uréia e distribuído no fundo do sulco de plantio. O delineamento experimental no primeiro ciclo da cana-de-açúcar foi de blocos ao acaso com parcelas subdivididas no tempo, com quatro repetições por tratamento, perfazendo o total de 16 parcelas experimentais, que constaram de 48 sulcos com 15 m de comprimento, espaçadas 1,5 m entre si.

No ciclo agrícola de cana soca (2006 /2007), a adubação constou na aplicação de 100 kg ha⁻¹ de K₂O em todos os solos. Para as parcelas que não receberam N e nas que foram aplicados 120 kg ha⁻¹ de N no plantio, foram utilizados os tratamentos 0, 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ N em

parcelas subdivididas e compostas por 12 sulcos de 15 m de comprimento. Como fonte de K utilizou-se o KCl e para o N se fez uso do sulfato de amônio nos experimentos LVAe e LVd, no LVe empregou-se o sulfato de amônio na dose de 50 kg ha⁻¹ N e mistura de sulfato de amônio (50 kg ha⁻¹ N) complementado com nitrato de amônio (50 e 100 kg ha⁻¹ N), respectivamente, nas doses 100 e 150 kg ha⁻¹ N. Os adubos nitrogenados foram aplicados sobre a palha ao lado da linha de cana e sem incorporação. O delineamento experimental empregado no ciclo de cana soca foi de blocos ao acaso com parcelas subdivididas no tempo, com quatro repetições por tratamento, perfazendo o total de 32 parcelas experimentais por local.

3.2.1 Determinação da curva de diluição crítica de nitrogênio

Para determinação da curva de diluição crítica de nitrogênio (CDCN) da cana-de-açúcar, foi obtida a fitomassa da parte aérea da planta em diferentes épocas do desenvolvimento da cana planta e cana soca (Tabela 3.1). As amostragens foram realizadas aleatoriamente nas parcelas experimentais, em locais previamente sorteados, coletando-se toda a parte aérea (folhas secas + ponteiro + colmo) da planta em 2 metros de linha de cana-de-açúcar, obtendo-se ainda no campo a fitomassa fresca. Toda planta colhida, foi triturada em picadora e coletou-se subamostras úmidas para determinação da matéria seca e análises laboratoriais. Adicionalmente, contabilizou-se o número de perfilhos em 10 metros de comprimento nas três linhas previamente separadas e destinadas a mensuração da produtividade.

No laboratório, as subamostras foram pesadas e secas em estufa de circulação forçada de ar na temperatura de 65 °C até atingirem massa constante. A partir do número de perfilhos em 30 metros, da fitomassa fresca em 2 metros e da umidade determinada em laboratório, calculou-se a produção de matéria seca por hectare em cada época de amostragem. As subamostras secas em estufa foram posteriormente moídas em moinho tipo Wiley e quantificado a concentração de N, sendo extraído por digestão sulfúrica e determinado por destilação e titulometria (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

Tabela 3.1 - Amostragens da parte aérea da cana-de-açúcar no ciclo de cana planta e cana soca, nos experimentos conduzidos no LVAe, LVe e no LVd

Solos	<i>Cana planta</i>						
	Plantio/2005	1º/2005	2º/2005	3º/2006	4º/2006	5º/2006	6º/2006
	----- Meses/Dias após o plantio (DAP) -----						
LVAe	Fevereiro (21 a 24)	Julho (134 DAP)	Outubro (244 DAP)	Dezembro (293 DAP)	Fevereiro (358 DAP)	Abril (413 DAP)	Junho (468 DAP)
LVe	Março (1 a 4)	-	Outubro (221 DAP)	Dezembro (280 DAP)	Fevereiro (342 DAP)	Abril (400 DAP)	Agosto (523 DAP)
LVd	Abril (4 a 8)	-	Outubro (186 DAP)	Dezembro (246 DAP)	Fevereiro (307 DAP)	Abril (363 DAP)	Julho (459 DAP)
	<i>Cana soca</i>						
	Colheita/2006	1º/2006	2º/2006	3º/2007	4º/2007		
	----- Meses/Dias após a colheita (DAC) -----						
LVAe	Junho (23 a 24)	Dezembro (163 DAC)	Março (249 DAC)	Maio (326 DAC)	Junho (361 DAC)		
LVe	Agosto (13 a 14)	Dezembro (125 DAC)	Março (212 DAC)	Maio (274 DAC)	Agosto (367 DAC)		
LVd	Julho (25 a 26)	Dezembro (157 DAC)	Março (237 DAC)	Maio (300 DAC)	Julho (362 DAC)		

Na determinação da curva de diluição crítica foi necessária a identificação das concentrações de N que não limitaram a produção de fitomassa da parte aérea, ou seja, que não estavam em excesso ou deficiente. Assim, os dados de matéria seca e concentração de N em cada tratamento, amostragem, experimento e ciclo de crescimento foram submetidos separadamente à análise da variância (ANOVA) a 10 % de probabilidade, e as médias foram distinguidas utilizando-se o teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Em cada ciclo de crescimento e amostragem realizada, as maiores produções significativas de matéria seca e sua concentração correspondente, para qualquer dose de N aplicada, foi identificada e separada das demais. Quando a maior produção era obtida para duas

ou mais doses de N, a menor dose era selecionada (ZAIDI et al., 2010; GREENWOOD et al., 1990). Esses dados foram utilizados para determinar a relação entre a concentração crítica de N e a produção de matéria seca na parte aérea da cana-de-açúcar, utilizando a função alométrica potencial:

$$N_{cr} = aMS^{-b} \quad (1)$$

Onde: N_{cr} - expresso em $g\ kg^{-1}$, representa a concentração crítica de N na parte aérea da planta para uma determinada produção de matéria seca; MS - é massa de matéria seca da parte aérea expressa em $Mg\ ha^{-1}$; a - corresponde à concentração de N na parte aérea para produção de $1\ Mg\ ha^{-1}$ e b - representa o coeficiente de diluição que descreve a relação entre a concentração de N e fitomassa da parte aérea.

Os dados que mostraram diferença significativa ($p \leq 0,10$) pela ANOVA e não foram utilizados na determinação da CDCN, foram aproveitados para validação da curva crítica de diluição, sendo identificados como limitantes e não-limitantes a produção (GREENWOOD et al., 1990). Os dados que não diferiram significativamente pela ANOVA ($p > 0,10$) foram excluídos do teste de validação da curva. Assim, consideraram-se como limitantes as concentrações correspondentes as menores produções significativas de matéria seca da parte aérea pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), enquanto que as concentrações encontradas nas maiores produções significativas de matéria seca da parte aérea foram estabelecidas como não-limitantes (ZAIDI et al., 2010). Os dados de produção de matéria seca quando se encontravam nos dois grupos, também não foram utilizados na validação da curva de diluição.

Para identificar o status do N na parte aérea da cana-de-açúcar durante o crescimento da cultura, foi estabelecido o índice de nutrição de N (INN) para os ciclos de cana planta e cana soca, assim como para cada tratamento e época de amostragem. Os valores foram obtidos dividindo a concentração de N na matéria seca da parte aérea pelo N_{cr} determinado na CDCN em cada época de amostragem. Para os valores de INN iguais a 1, a concentração de N no tecido foi considerada ótima, enquanto que para os valores do índice maiores e menores que 1, as concentrações indicavam, respectivamente, excesso e deficiência do nutriente no tecido (LEMAIRE; GASTAL; SALETTE, 1989).

3.2.2 Determinação da dose e nível crítico econômico

Para calcular a dose de N que promoveu a máxima produção econômica nos ciclos de cana planta e cana soca, utilizou-se a equação matemática descrita por Pimentel Gomes (1961) apud Malavolta et al. (1963) e validada por Malavolta et al. (1972), expressa como:

$$D_{ec} = \left(\frac{1}{2}\right) * x_u + \left(\frac{1}{c}\right) * \log\left(\frac{w * u}{t * x_u}\right) \quad (2)$$

Onde: D_{ec} - expresso em kg ha^{-1} , representa a dose de N que promove a máxima produção econômica em relação à testemunha; x_u - é a dose do nutriente que proporcionou ganhos significativos na produção; u - corresponde ao ganho de produção obtida com a dose x_u em relação à testemunha; c - é o coeficiente de eficácia; w - corresponde ao valor pago (R\$) pela tonelada de colmo no campo; t - representa o custo unitário (R\$) do N.

O cálculo do valor do coeficiente de eficácia (c) para as doses de N aplicadas na cana planta (0, 40, 80, 120 kg ha^{-1} de N) e cana soca (0, 50, 100 e 150 kg ha^{-1} de N) seguiu a metodologia descrita por Malavolta et al. (1963), utilizando a equação matemática:

$$c = \left(\frac{1}{q}\right) * \log\left(\frac{\hat{y}_1 - \hat{y}_0}{\hat{y}_2 - \hat{y}_1}\right) \quad (3)$$

Onde: q - é diferença consecutiva entre as doses de N utilizada como tratamento; \hat{y}_0 , \hat{y}_1 e \hat{y}_2 se referem às produções médias obtidas, respectivamente, com a dose 0 e nos demais tratamentos aplicados.

A produção de colmos por hectare (TCH) foi estimada mediante a colheita mecanizada e pesagem dos colmos picados em caminhão instrumentado do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), para cana planta em 16 linhas de cana-de-açúcar (4 eitos de 4 linhas seguidas -240 metros de linha de cana) de cada repetição, e em 4 linhas úteis (60 m de linhas de cana) em cada subparcela na cana soca.

Como parâmetro de comparação do nível crítico de N estimado pela CDCN no estádio de máximo desenvolvimento da cultura, procurou-se determinar a concentração de N na folha diagnóstico e na parte aérea da planta, acima do qual a adubação é economicamente desaconselhável. A coleta da folha diagnóstico (F +1) foi realizada em janeiro de 2006 e 2007 e seguiu a metodologia descrita por Raij; Cantarella (1997). Em cada folha a nervura central foi excluída e o terço médio com aproximadamente 20 cm, foi separado do restante do limbo foliar.

As amostras coletadas foram secas em estufa de circulação forçada de ar a temperatura de 65 °C. Após secagem as amostras foram moídas em moinho tipo Wiley e determinada a concentração de N (MALAVOLTA et al.,1997).

Em ambos os ciclos de crescimento, os dados de produção de colmo, concentração de N na F+1 e na matéria seca da parte aérea, para os três experimentos, foram submetidos à análise conjunta de variância a 5 % de probabilidade. Nas variáveis significativas foram ajustas regressões polinomiais com objetivo de avaliar o efeito das doses de N. Como critério para escolha dos modelos selecionou-se aqueles que apresentaram o maior coeficiente de determinação (R^2) e significância dos parâmetros da regressão até 10 % de probabilidade, bem como os que melhor representaram o fenômeno.

Para estabelecer o nível crítico econômico nos ciclos de cana planta e cana soca utilizou-se o valor de D_{ec} na equação ajustada que definiu a relação entre as doses de N e a concentração do nutriente na folha diagnose (MALAVOLTA et al., 1972) e na parte aérea da cana-de-açúcar.

3.3 Resultados e Discussão

3.3.1 Concentração de nitrogênio

A concentração de N na parte aérea da cana-de-açúcar decresceu durante o crescimento da cultura e variou entre os solos, sem que houvesse, de modo geral, diferença nos valores entre os tratamentos empregados (Figura 3.1). As maiores concentrações na fase inicial de crescimento da cana planta e cana soca foram obtidas no solo LVAe com valor de 13,2 e 13,9 g kg⁻¹ para produção de matéria seca de 2,24 e 2,52 Mg ha⁻¹, respectivamente. No final do ciclo, as menores concentrações foram constatadas nos solos LVe na cana planta e LVAe na cana soca, com valores de 2,7 e 3,0 g kg⁻¹, respectivamente, na massa de matéria seca de 63,9 e 29,4 Mg ha⁻¹.

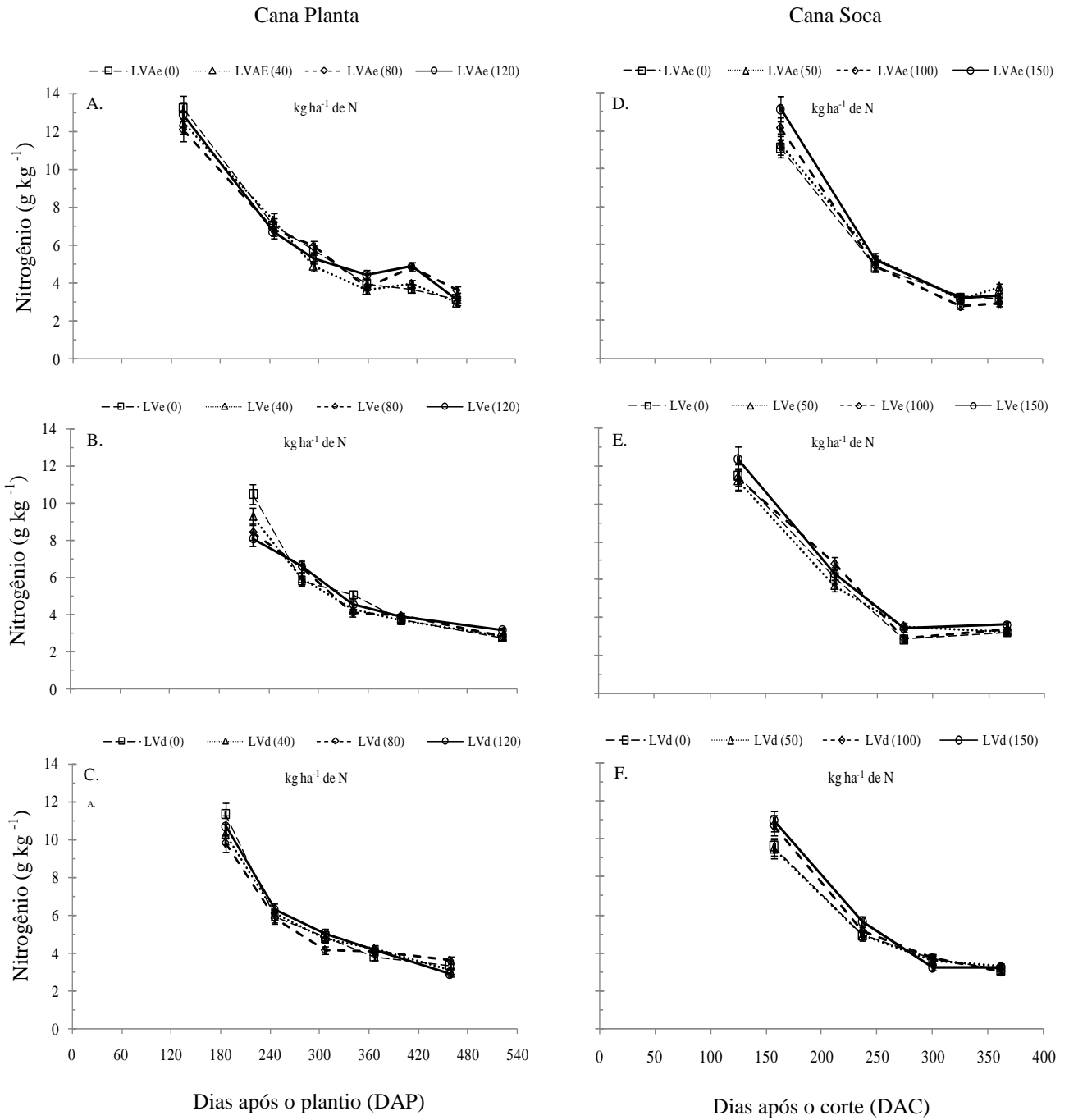


Figura 3.1 - Concentração de N na parte aérea relacionada à adubação nitrogenada, durante os ciclos de cana planta e cana soca, em três classes de solos LVAe (A e D), LVe (B e E) e LVd (C e F). Barras na vertical representam a diferença mínima significativa ($p \leq 0,05$) em cada amostragem

O declínio na concentração de N na parte aérea durante o desenvolvimento ou com aumento de produção de matéria seca observada cana planta e cana soca (Figura 3.1), pode ser atribuído ao incremento na proporção da fração do N estrutural e de armazenamento nos tecidos do colmo em relação ao N associado à fotossíntese contido no ponteiro da planta, bem como a maior participação das folhas senescentes na massa da parte aérea. As folhas em senescência possuem reduzida atividade fotossintética e encontram-se fisiologicamente em processo de degradação das proteínas dos cloroplastos (FELLER; FISCHER, 1994), liberando o N que é remobilizado para os órgãos mais novos em desenvolvimento, reduzindo deste modo, a concentração nesses tecidos.

Resultados de produção de matéria seca de colmo, folha senescentes e ponteiro, obtidos em 11 cultivares de cana-de-açúcar manejadas sob irrigação plena no Estado de Pernambuco, Brasil, demonstraram que a partir dos 120 dias após o plantio, a matéria seca do colmo passa a superar a do ponteiro, representando no final do ciclo, 80 % do total acumulado pela planta (OLIVEIRA et al., 2010). Segundo Castro (2000) a distribuição do N na planta coincide com centros de crescimentos ativos e de assimilação de carbono, sendo consideravelmente menor o conteúdo desse nutriente em folhas senescentes quando comparado ao encontrado em folhas verdes, o que caracteriza a remobilização de N dos tecidos maduros para mais jovens (DILLEWIJN, 1952).

A redução na concentração do N na matéria seca da parte aérea com o aumento da fitomassa e com o envelhecimento dos tecidos, também foi observada para o milho (ZIADI et al., 2008; PLÉNET; LEMAIRE, 2000), na batata (ANDRIOLO et al., 2006; BÉLANGER et al., 2001), no melão (FOGAÇA et al., 2008) e no trigo (JUSTES et al., 1994). Na cana-de-açúcar poucos trabalhos foram desenvolvidos objetivando essa avaliação. Gava et al. (2009); Oliveira (2008); Orlando Filho; Haag; Zambello Junior, (1980), verificaram na cana planta e cana soca reduções nas concentrações de N na matéria seca da parte aérea em diferentes cultivares e condições edafoclimáticas de cultivo.

3.3.2 Determinação da curva crítica de diluição de N

Entre os experimentos avaliados, os dados de fitomassa seca que se enquadraram nos critérios estatísticos para determinação da curva de diluição crítica de N (CDCN), variaram de 3,1 a 88,8 Mg ha⁻¹ na cana planta e entre 2,8 a 35,5 Mg ha⁻¹ na cana soca (Anexo M). A partir

desses dados e de sua concentração de N correspondente, foi possível determinar a CDCN para ambos os ciclos de crescimento (Figura 3.2 A e B).

Na cana planta o intervalo de confiança a 95 % mostrou nos estádios iniciais de crescimento variação na concentração crítica de N entre 10,4 a 13,6 g kg⁻¹ para produção de 3,1 Mg ha⁻¹, enquanto que para produzir 88,8 Mg ha⁻¹ no final dos ciclos, a concentração de N na parte aérea variou de 3,0 a 4,2 g kg⁻¹. Na cana soca a quantidade reduzida de dados que se enquadraram nos critérios estatísticos, promoveu aumento na faixa de do intervalo de confiança, verificando-se que as estimativas das concentrações iniciais de N variaram de 9,8 a 14,8 g kg⁻¹ para produzir 2,8 Mg ha⁻¹ e as encontradas na ultima amostragem variaram entre 2,0 e 5,5 g kg⁻¹ para produção de 35,5 Mg ha⁻¹. Intervalos de confiança semelhante ao do presente estudo, também foram constatados na cultura do trigo por Ziad et al. (2010), ao observarem diferenças de 4,3 e 3,2 g kg⁻¹ na concentração crítica de N, respectivamente, para produção de 1,1 e 6,3 Mg ha⁻¹ em curvas de diluição determinadas com 16 pontos de amostragem. A importância da quantidade de dados para determinação da curva de diluição, pode ser observada nos resultados obtidos por Justes et al. (1994), quando constataram diferenças na concentração crítica de N de 0,7 e 1,4 g kg⁻¹, com a utilização de 21 dados na determinação da curva de diluição crítica para a cultura do trigo.

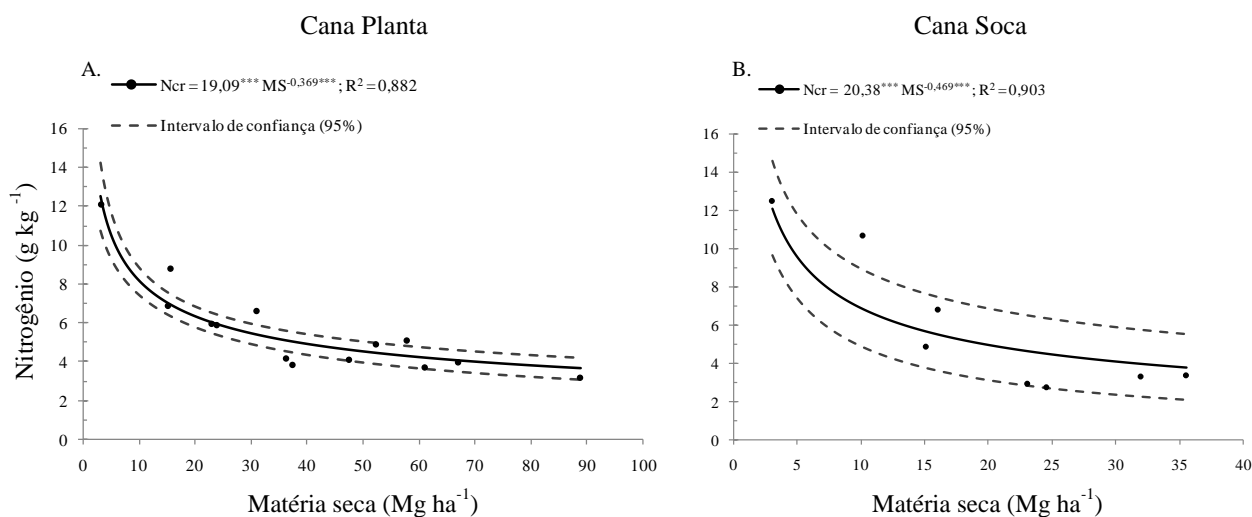


Figura 3.2 - Pontos críticos e curva de diluição crítica de nitrogênio (N) durante os ciclos de cana planta (A) e cana soca (B). *** significativo a 1 % de probabilidade

As concentrações de N estimadas pela CDCN, não podem ser aplicadas para produções de matéria seca inferiores a 1 Mg ha^{-1} , isto se deve ao pouco declínio que o *Ncr* sofre nos estádios iniciais de crescimento com o aumento da fitomassa da parte aérea (LEMAIRE; GASTAL, 1997). Como em ambos os ciclos de produção não foram observadas produções inferiores a $2,0 \text{ Mg ha}^{-1}$, as concentrações críticas de N nos estádios iniciais de crescimento da cana planta e cana soca podem ser estimadas pelo coeficiente “a” das curvas de diluição, que indica a concentração crítica de N nas fases jovens de desenvolvimento (ADRIOLO et al., 2006). No presente estudo os valores do coeficiente “a” para cana planta foi de $19,0 \text{ g kg}^{-1}$, sendo este ligeiramente inferior ao valor de $20,3 \text{ g kg}^{-1}$ estimados pela equação para o ciclo de cana soca (Figura 3.2 A e B).

Resultados obtidos por Gava et al. (2009) ao avaliarem a concentração de N na parte aérea de dois genótipos de cana-de-açúcar durante o crescimento, obtiveram concentrações de $23,7$ e $33,8 \text{ g kg}^{-1}$ de N para estádios iniciais de crescimento estimado pela curva de diluição. Cabe salientar que nesse estudo os autores apenas avaliaram a diferença das concentrações entre os genótipos sem que houvesse tratamentos com doses de N, o que leva os resultados encontrados a não estarem relacionados às concentrações críticas de N, mas apenas a estimativa de valores do nutriente para baixas produções de matéria seca, o que evidencia a variabilidade nas concentrações do nutriente entre locais de plantio e variedades.

O coeficiente “b” da equação indica a intensidade de diluição do *Ncr* durante o crescimento da cultura, e quanto mais elevado o coeficiente (menos negativo) menor será a diluição (ADRIOLO et al., 2006). Esse coeficiente tem relação direta com a partição entre a matéria seca do ponteiro (fonte) e a do colmo (dreno), que passa a ocorrer após o estabelecimento da cultura (GAVA et al., 2009). Como já relatado anteriormente, os colmos exercem efeito de diluição do N na parte aérea, em virtude da elevada fração ponderal na matéria seca total, que varia em torno de $0,55$ a $0,85$ nas fases finais de crescimento (OLIVEIRA et al., 2010; GAVA et al., 2009; FRANCO, 2008), tornando-se, desse modo, determinante na concentração da planta inteira. Assim, o valor do coeficiente “b”, de $-0,369$ observados na cana planta em comparação ao valor de $-0,469$ constatado na cana soca, indica a maior eficiência fisiológica no uso do N para o primeiro ciclo de crescimento, visto a menor concentração nos estádio iniciais (a), reduzida diluição com aumento da fitomassa (Figura 3.2 A e B) e maior produção de matéria seca (Figuras 2.5; 2.6), auxiliando assim, a elucidar a baixa resposta deste ciclo em produção a adubação nitrogenada, eventualmente verificada na literatura.

3.3.3 Validação da curva crítica de diluição de N

Os dados que não se adequaram aos critérios estatísticos para determinação dos parâmetros da função alométrica potencial de diluição de N, foram utilizados para validar a CDCN (Figura 3.3 A e B). Os resultados para as doses de N foram classificados em limitantes (32 na cana planta e 7 na cana soca) e não limitantes (6 na cana planta e 3 na cana soca). Esta caracterização foi baseada na diferença mínima significativa ($p \leq 0,05$) do total produzido de matéria seca na parte aérea em cada amostragem, ciclos de produção e solo avaliado. Para validar a curva de diluição, os dados considerados limitantes deveriam localizar-se abaixo da CDCN, enquanto que os dados não-limitantes estariam posicionados na parte superior da curva (ZIAD et al., 2010; COLNENNE et al., 1998; JUSTES et al., 1994).

No ciclo de cana planta todos os tratamentos identificados como limitantes se localizaram abaixo da CDCN, exceto para o tratamento 0 kg ha^{-1} amostrados em outubro de 2005 e fevereiro de 2006 e nas doses 40 e 80 kg ha^{-1} amostrados em outubro de 2005 no LVe, bem como na dose de 80 kg ha^{-1} de N amostrado em abril de 2006 no solo LVAe. Para cana soca apenas o tratamento 0 kg ha^{-1} de N amostrado em dezembro de 2006 no LVD não se posicionou abaixo da curva.

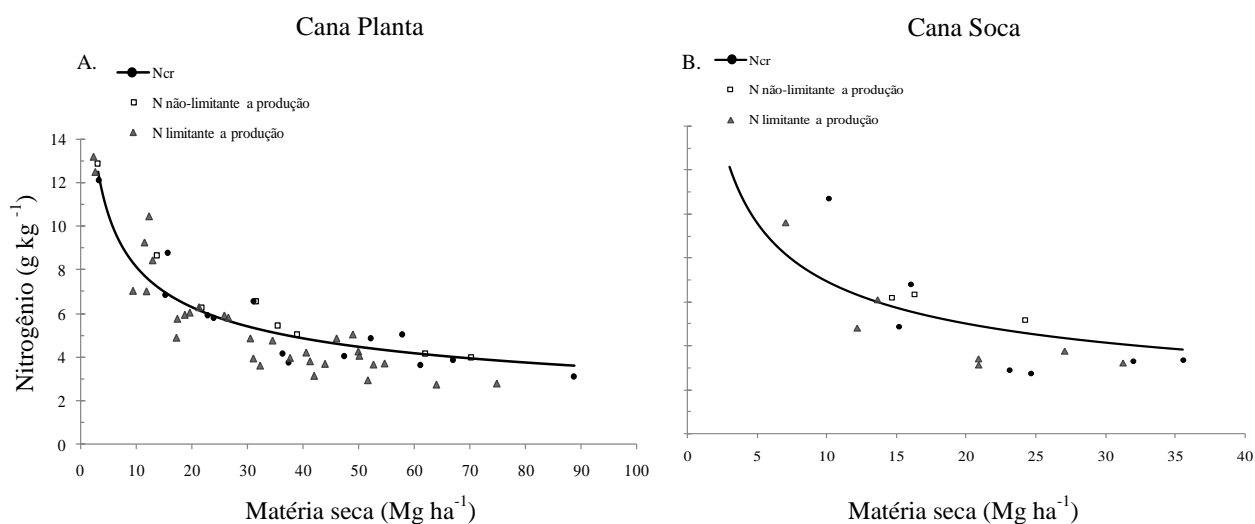


Figura 3.3 - Validação parcial da curva de crítica de diluição de N para cana-de-açúcar utilizando os dados que se mostraram limitantes e não limitantes a produção de matéria seca da parte aérea durante os ciclos de cana planta (A) e cana soca (B)

O posicionamento desses pontos na parte superior da curva, pode ser atribuído a baixa variação na concentração de N entre os tratamentos durante o desenvolvimento da cana-de-açúcar (Figura 3.1), em adição a alta variação na produção de matéria seca obtida entre os solos estudados, principalmente no LVe para o ciclo de cana planta (Figura 2.5 A; C e E). A baixa variação entre as concentrações do N limitante e não-limitante, não permitiu a determinação das curvas de diluição de N máxima ($N_{m\acute{a}x}$) e mínima ($N_{m\acute{i}n}$), que delimitariam, respectivamente, os pontos de deficiência e excesso de N na matéria seca da parte aérea durante o crescimento da cultura, tornando evidente que para as condições deste estudo, a produção de matéria seca foi influenciada significativamente por uma mínima variação da faixa crítica de N nos tecidos da parte aérea da cana-de-açúcar.

Para as maiores produções de matéria seca, observou-se que foram poucos os dados que se enquadraram como não limitantes e utilizados para determinação da curva de diluição $N_{m\acute{a}x}$ (Figura 3.3 A e B). Segundo Justes et al. (1994) os valores contidos na $N_{m\acute{a}x}$, estão relacionados com a máxima capacidade da cultura em estocar N na parte aérea, sendo este mecanismo diretamente associado com o crescimento e disponibilidade de N no solo ou indiretamente com o metabolismo da planta. Na cana planta o fator crescimento pode ser descartado, em vista das elevadas produções de matéria seca (Anexo A), tornando a disponibilidade de N pelo solo como o fator limitante ao acúmulo de N na matéria seca da parte aérea, ou seja, as doses de N utilizadas não foram suficientes para promover o consumo de luxo ou demonstrar efeito fitotóxico, principalmente nos estádios finais de desenvolvimento, no qual existem limitações na disponibilidade de N com o estresse hídrico. Na cana soca, além do fator disponibilidade de N pelo solo, a produção de matéria seca principalmente no LVAe e LVe foram baixas, o que proporcionou pouca resposta às doses aplicadas e reduzida diferenciação nas concentrações de N, diminuindo, deste modo, os dados que se classificaram como não limitantes a produção e empregados na determinação da $N_{m\acute{a}x}$.

As doses de N proporcionaram a identificação do maior número de dados que se classificaram como limitantes a produção (Figura 3.3 A e B). Os dados enquadrados nessa categoria, de modo geral, demonstraram concentrações pouco inferiores às utilizadas para determinação da CDCN, sendo considerada como a concentração limite para a adequada funcionalidade metabólica da planta (PENNING de VRIES, 1982). Especialmente nos estádios iniciais de crescimento, as concentrações de N consideradas como limitante podem estar

superestimada, devido à elevada demanda pela planta e maior disponibilidade de N pelo solo com as condições hídricas e de temperatura favoráveis, o que levaria a descartar os pontos encontrados acima da curva de diluição, aumentando, desta forma, a validade da CDCN determinada no presente estudo.

Embora a CDCN determinada neste trabalho tenha estimado eficientemente as concentrações críticas de N para maior produção de matéria durante os ciclos de cana planta e cana soca, verificou-se que para maior confiabilidade de ambas as equações determinadas é preciso uma validação mais detalhada utilizando dados de plantas que se desenvolverem em outras condições edafoclimáticas, sob diferentes manejos, assim como de outros cultivares, uma vez que a concentração de N pode variar em função desses fatores (GRASSI FILHO, 2008).

3.3.4 Índice nutricional de nitrogênio

Utilizando as equações de diluição de N (Figura 3.2 A e B), estimou-se o nível crítico em cada época de amostragem, o que tornou possível identificar o índice de N durante o ciclo de cana planta e cana soca. A baixa variação na concentração de N entre os tratamentos, não proporcionou diferença no INN em cada amostragem, entretanto, foi possível determinar o status do nutriente durante o crescimento da cultura (Figura 3.4).

Na cana planta os valores calculados para LVA e nas duas primeiras amostragens foram próximos de 1, indicando que o N não limitava o crescimento (Figura 3.4 A), entretanto na cana soca e para os demais solos em ambos os ciclos de crescimento, os resultados da primeira amostragem mostraram valores de INN acima de 1, o que revelou consumo de N em excesso. Posteriormente, observou-se nas duas últimas coletas, redução do índice para valores inferiores a 1, evidenciando concentrações limitante ao crescimento e a produção de fitomassa (Figura 3.4 B; C; D; E e F). Isto demonstra a capacidade da cana-de-açúcar em armazenar N nos estádios iniciais de crescimento, no qual se constata de maior disponibilidade do nutriente no solo, para posterior utilização no período de menor oferta e sob condições adversas de clima e temperatura. Silveira e Crocomo (1990) verificaram a alta capacidade das folhas e colmos da cana-de-açúcar em armazenar N, principalmente na forma de proteínas até aproximadamente os 150 DAP, com eventual redução dos valores no decorrer do ciclo, corroborando com a hipótese de um período inicial de armazenamento em condições de alto suprimento do nutriente pelo solo, como posterior redistribuição.

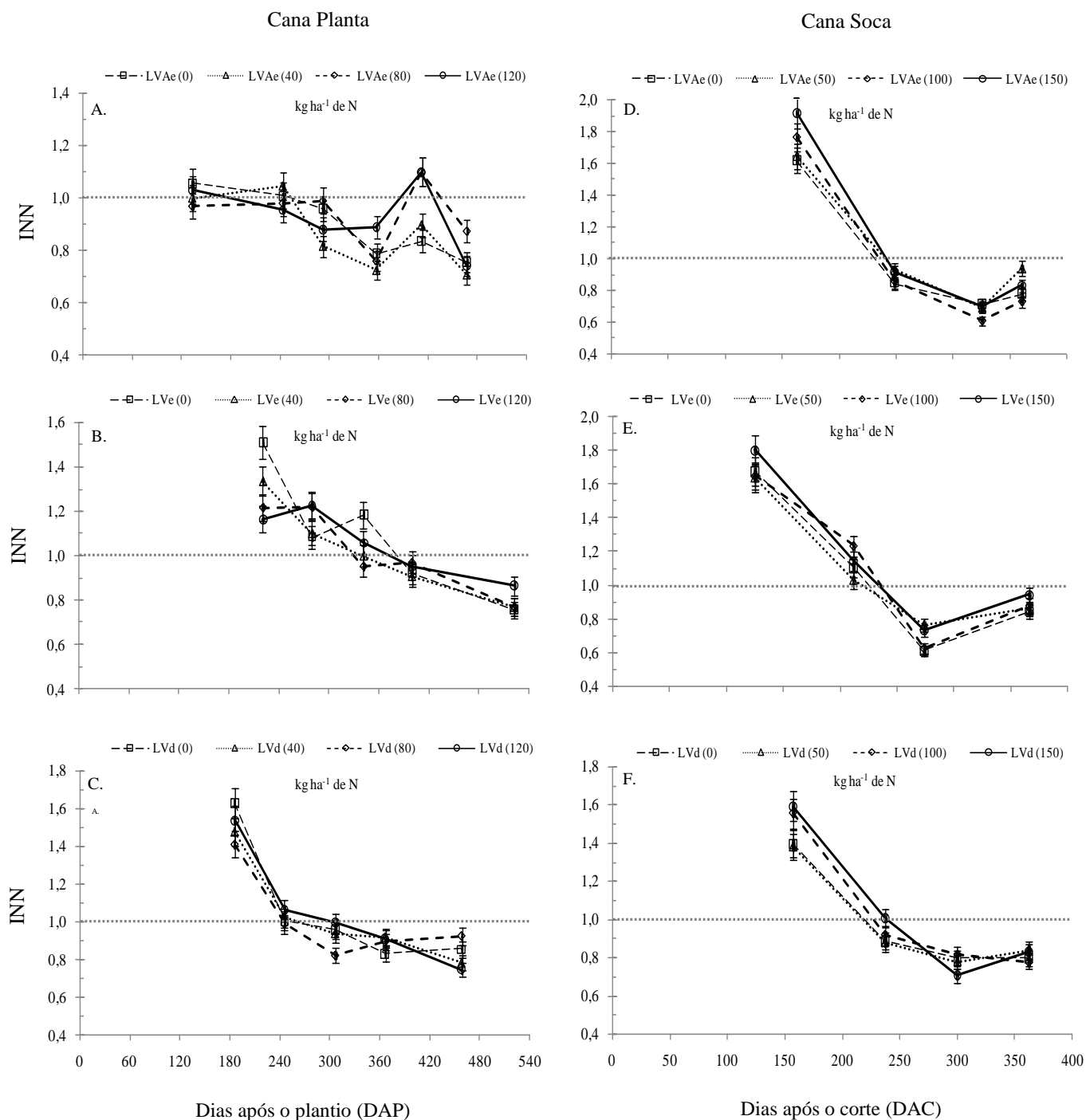


Figura 3.4 - Índice nutricional de nitrogênio (INN) relacionada à adubação nitrogenada, durante os ciclos de cana planta e cana soca, em três classes de solos LVAe (A e D), LVe (B e E) e LVd (C e F). Barras na vertical representam a diferença mínima significativa ($p < 0,05$) em cada amostragem

Exceto para o LVA e na cana planta, os valores INN observados entre a primeira e as duas últimas amostragens (dezembro de 2005; fevereiro de 2006 na cana planta e março de 2007 na cana soca), foram próximos do índice classificado como ótimo (1) ao crescimento, o que corrobora com os resultados obtidos para produção de matéria seca encontrados na presente pesquisa (Anexo A; Figuras 2.5 D e F; 2.6 B; D e F), no qual verificou-se para o mês de janeiro de 2006 na cana planta e no mês de março de 2007 para cana soca as taxas máximas de produção de matéria seca (TMPMS).

Os valores de INN variaram de 1,63 a 0,72 na cana planta e de 1,92 a 0,61 na cana soca (Fig. 6). Em outras culturas, Ziad et al. (2008) obtiveram variações entre 1,35 e 0,3 para o milho, enquanto que variações entre 1,5 a 0,25 foram observadas no trigo em estudos realizados por Ziad et al. (2010); Debaeke et al. (2006). Plénet e Lemaires (2000) na cultura do milho e Justes et al. (1994) para o trigo, obtiveram valores semelhantes ao do presente estudo, com resultado superiores a 1,75. Neste sentido, os altos valores do INN obtidos revelaram a capacidade da cana-de-açúcar em acumular nos estádios iniciais mais N do que o requerido para o máximo crescimento, bem como demonstrou que a concentração de N na parte aérea limitante à produção, possui pouca variação do *Ncr* no decorrer do ciclo.

3.3.5 Dose e concentração econômica de N

A análise conjunta de variância para produção de colmos, em ambos os ciclos de crescimento, mostrou que não houve interação entre os experimentos (solos) e as doses de N, sendo possível verificar efeito linear significativo para o ciclo de cana planta e ajuste quadrático para cana soca (Tabela 3.2).

Como discutido anteriormente, a resposta à adubação nitrogenada na cana soca é comumente observada nos resultados experimentais, no entanto, o uso de N na cana planta ainda é bastante discutido entre pesquisadores e técnicos relacionados ao sistema produtivo. Recentemente trabalhos realizados com cultivares mais modernos conduzidos no sistema sem queima no Estado de São Paulo demonstram incrementos lineares na produção de colmos com adição do N (BOLONGA-CAMPBELL, 2007; TRIVELIN et al., 2002). Por outro lado estudos desenvolvidos em outras regiões produtoras ou utilizando cultivares mais antigos colhidos com queima constataram a baixa ou mesmo a falta de reposição a adubação nitrogenada no ciclo de cana planta (ROSSIELO, 1987; AZEREDO et al., 1994; BITTENCOURT; FAGANELLO; SALATA,

1986; CANTARELLA; RAIJ, 1986). Segundo Cantarella et al. (2007) quando um grupo de experimentos é analisado individualmente, as condições edafoclimáticas locais e o erro experimental podem levar a variações nas respostas em produção, porém quando os dados são analisados em conjunto, os resultados demonstram fielmente à tendência a resposta à adubação nitrogenada. Esta hipótese foi constatada por Marinho e Barbosa (1996) ao analisarem individualmente 141 experimentos conduzidos no Nordeste do Brasil, verificando que em apenas 47 % houve resposta a adubação nitrogenada; contudo, quando avaliados em conjunto, a resposta em produção de colmo foi altamente significativa ao incremento das doses de N.

Apenas o resultado da existência da resposta à adubação nitrogenada, não permite recomendar a quantidade do nutriente que promova a maior produção econômica. Nesse sentido, utilizou-se os cálculos (Equações 2; 3) descritos em Malavolta et al. (1963) e validado por Malavolta et al. (1972), por levar em consideração a variação entre as doses, a diferença de produção em relação à quantidade de N aplicada, o custo do nutriente, o valor atualizado do produto produzido, aliado a facilidade de execução e a comprovação científica. Estes cálculos podem ser realizados tanto por produtores (fornecedores de cana), como por técnicos do setor sucroalcooleiro que desenvolvem experimentos com adubação em suas áreas comerciais de cana-de-açúcar e necessitam identificar doses mais econômicas para diferentes condições de cultivo.

Com base nos cálculos, estimou-se que a dose de N responsável pelo máximo retorno econômico foi de 45 kg ha⁻¹ na cana planta e de 120 kg ha⁻¹ na cana soca (Tabela 3.3). Estas doses estimadas foram semelhantes às encontradas por Franco (2008) no primeiro ciclo de produção e pouco superior às obtidas por Faroni (2008) na primeira soqueira, quando utilizaram para os mesmos dados do presente estudo, o critério de margem de contribuição agrícola (MCA) e industrial (MCI) na identificação da dose econômica. Doses econômicas semelhantes, que variam entre 30 a 60 kg ha⁻¹ na cana planta e de 60 a 120 kg ha⁻¹ para cana soca também são recomendadas por outros autores com base em outras condições de cultivo e utilizando diferentes cultivares de cana-de-açúcar (MORELLI et al., 1997; PENATTI; DONZELLI; FORTI, 1997; RAIJ et al., 1997; BITTENCOURT; FAGANELLO; SALATA, 1986).

Tabela 3.2 - Produção de colmos e concentração de N na folha diagnóstico e na parte aérea da cana-de-açúcar, análise conjunta dos três experimentos

Dose	<i>Cana Planta</i>			
	TCH	Concentração de N		
		Folha +1	Parte Aérea	
	Mg ha ⁻¹	----- g kg ⁻¹ -----		
0	140 ± 7,4	19,9 ± 1,17	9,6 ± 2,11	
40	146 ± 6,6	19,3 ± 0,92	8,9 ± 1,51	
80	147 ± 9,3	20,2 ± 0,78	8,3 ± 1,44	
120	148 ± 9,7	20,1 ± 1,30	8,7 ± 1,71	
F _{local x dose}	1,62 ^{NS}	4,67 ^{***}	0,97 ^{NS}	
F _{dose}	4,60 ^{***}	6,13 ^{***}	3,62 ^{**}	
R ²	0,864	0,801	0,958	
Equação	$\hat{y} = 141,3965^{***} + 0,068331x^{***}$	$\hat{y} = 19,7991^{***} - 0,00632^*x + 0,000087^*x^2$	$\hat{y} = 9,6666^{***} - 0,0275^*x + 0,000161^*x^2$	
<i>Cana Soca</i>				
0	88 ± 18,8	20,5 ± 0,92	10,7 ± 1,55	
50	93 ± 20,0	20,1 ± 1,75	10,6 ± 1,68	
100	97 ± 18,4	21,5 ± 1,22	11,4 ± 1,58	
150	96 ± 20,6	21,0 ± 0,24	12,2 ± 1,40	
F _{local x dose}	0,25 ^{NS}	1,61 ^{NS}	0,54 ^{NS}	
F _{dose}	5,37 ^{***}	5,37 ^{***}	6,58 ^{***}	
R ²	0,982	0,822	0,977	
Equação	$\hat{y} = 89,2150^{***} + 0,001905^{**}x - 0,000011^*x^2$	$\hat{y} = 20,2133^{***} + 0,00024^{**}x - 0,000001^{**}x^2$	$\hat{y} = 10,6607^{***} + 0,000071^{***}x$	

TCH - tonelada de colmo por hectare; ± desvio padrão da média; ^{NS} não significativo; ^{*,**,***} significativo, respectivamente, a 10, 5 e 1 % de probabilidade;

Tabela 3.3 - Dose e concentração de N na folha diagnóstico para produção econômica da cana-de-açúcar

Ciclos de produção	Coeficiente de Eficácia*	Dose econômica*	Nível crítico	
			Folha +1	Parte Aérea
	(c)	kg ha ⁻¹	----- g kg ⁻¹ -----	
Cana Planta	0,01898 ± 0,00127	45	19,7	8,8
Cana soca	0,020164 ± 0,00941	120	20,2	10,6

*Os cálculos do coeficiente de eficácia e da dose econômica seguiram a equação descrita por Malavolta et al. (1963); No cálculo da dose econômica, tomou-se como base o valor de R\$ 35,00 pago por tonelada de cana no campo e o preço da tonelada dos fertilizantes uréia (cana planta) e sulfato de amônio (cana soca) no valor de R\$ 850,0 e 520,0, respectivamente.

Na tentativa de explicar o motivo pelo qual a cana planta necessita de quantidades inferiores de N em comparação a cana soca, tornando-se mais eficiente na utilização do nutriente, vários fatores tem sido listados, entre os quais se destacam a mineralização da matéria orgânica do solo e dos restos culturas favorecida pelo revolvimento do solo durante a reforma do canavial (CANTARELA, 2007), bem como a fixação biológica de N (FBN) atmosférico por organismos diazotróficos capazes de formar associações, por meio de colonização radicular e dos tecidos internos da planta, estabelecendo associações endofíticas (CANTARELLA et al., 2007).

Estudos realizados por Zambello Junior e Orlando Filho (1981), destacaram que a operação de revolvimento do solo aumenta a aeração do mesmo e quando associados às maiores temperaturas e umidade característico dos plantios realizados entre fevereiro e abril, levam ao aumento da atividade microbiana, que decompõe mais rapidamente os restos culturais e reduzem a relação C:N, no qual disponibiliza maior quantidade de N para cana planta. Por outro lado, as doses de N mais elevadas, atualmente definidas por expectativa de produção, frequentemente empregadas para cana soca, pode ser atribuída à queda na taxa de mineralização do N orgânico no decorrer desse ciclo, em adição a redução do teor do N mineral no perfil do solo, no final do ciclo de cana planta (SALCEDO; SAMPAIO, 1984). Franco (2008) relatou que as condições de umidade e temperatura favoráveis a decomposição da matéria orgânica residual de alta relação C:N, oriunda do ciclo anterior, ocorre no período de maior crescimento da cana soca (dezembro a março) fazendo com que o N adicional da adubação nitrogenada promova resposta positivas em crescimento e produção de colmos.

Após o cálculo da dose econômica (D_{ec}) procurou-se determinar no período de máximo desenvolvimento, a concentração de N na folha diagnóstico e na parte aérea da planta, acima do qual a adubação é economicamente desaconselhável. A escolha do tecido a ser amostrado mostra-

se como importante fator na diagnose nutricional, sendo as folhas geralmente mais utilizadas por refletirem melhor o estado nutricional da planta (GRASSI FILHO, 2008). Algumas pesquisas têm mostrado variações significativas na concentração, principalmente do N-NO_3^- , neste tecido durante o período diurno, o que pode levar ao diagnóstico nutricional equivocado (MAYNARD et al., 1976). A análise de toda parte aérea da planta pode ser utilizada como índice alternativo e comparativo do status nutricional, ainda que haja variação na concentração de N em cada componente da planta (BARKER; BRYSON, 2006). Assim, ajustaram-se regressões polinomiais entre a relação da concentração do nutriente no tecido diagnóstico com as doses de N empregadas como tratamento nos dois ciclos de crescimento avaliados (Tabela 3.2).

A análise conjunta de variância para concentração de N na folha (F+1) em janeiro de 2006 e 2007 e na parte aérea da cultura em outubro de 2005 e março de 2007, apresentou efeito significativo das doses de N, sendo possível verificar ajuste quadrático para F+1 nos dois ciclos de crescimento, por outro lado, na parte aérea da planta, observou-se que as concentrações de N se ajustaram ao modelo quadrático na cana planta e linear para a cana soca. Utilizando as doses econômicas anteriormente calculadas em cada equação ajustada, verificou-se na cana planta que a concentração crítica econômica de N foi de 19,7 e 8,8 g kg^{-1} , respectivamente, na F+1 e na parte aérea da cultura, enquanto que na cana soca os valores foram respectivamente de 20,2 e 10,6 g kg^{-1} (Tabela 3.3).

As concentrações críticas econômicas encontradas na F+1 para cana planta e cana soca, foram semelhantes aos valores mínimos da faixa de suficiência sugerida para cana-de-açúcar por Malavolta et al. (1997) e dentro da faixa adequada de concentrações estipulados por Raij e Cantarella, (1997). A concentração crítica econômica determinada neste estudo para cana planta, foi similar a encontrada por Malavolta et al. (1972) em estudo com 14 experimentos fatoriais de adubação NPK conduzidos no Estado de São Paulo.

Como parâmetro de avaliação das concentrações econômicas encontrados na parte aérea, foram comparados os resultados com os estimados pela curva de diluição crítica de nitrogênio (CDCN) determinada nesse estudo, no qual se observou concentrações de 7,6 e 8,9 g kg^{-1} para cana planta e cana soca respectivamente. A diferença verificada para as concentrações econômicas encontram-se na faixa de variação do intervalo de confiança (95 %) estimado pela curva de diluição, para produção máxima de 12 e 10 Mg ha^{-1} de matéria seca da parte aérea, nos respectivos momentos de amostragem na cana planta e cana soca (Figura 3.2 A e B).

3.4 Conclusões

1. A fase de maior produção de matéria seca na cana-de-açúcar ocorrerá com aumento dos índices pluviométricos e da disponibilidade hídrica, bem como com aumento da luminosidade e temperatura, independente da época de plantio ou de corte.
2. A concentração do N reduz com o incremento da fitomassa da parte aérea, evidenciando que o influxo desse nutriente pela cana-de-açúcar é regulado, não apenas pela disponibilidade dos solos, mas também pela taxa de crescimento da cultura.
3. O modelo alométrico da CDCN e o INN estabelecem níveis críticos de N durante todo crescimento da cana planta e cana soca, o que possibilita seu uso na diagnose do status de N na parte aérea da planta e na regulação da quantidade aplicada.
4. Os valores de INN mostram a alta capacidade da cana-de-açúcar em acumular N nos tecidos da parte aérea durante os estádios iniciais de crescimento, com posterior utilização na produção de colmos e remobilização para os tecidos novos ou órgãos de maior atividade fotossintética.
5. A dose econômica de N nas condições semelhantes a do presente estudo é de 45 kg ha⁻¹ para cana planta e de 120 kg ha⁻¹ para cana soca.
6. A concentração crítica econômica na folha diagnóstico é de 19,7 na cana planta e 20,2 g kg⁻¹ em cana soca, enquanto que na parte aérea esses valores reduzem para 8,8 e 10,6 g kg⁻¹ respectivamente.

Referências

ADRIOLO, J.L.; BISOGNIN, D.A.; PAULA, A.L.; PAULA, F.L.M.; GODOI, R.S.; BARROS, G.T. Curva crítica de diluição de nitrogênio do cultivar Asterx de batata. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.7, p.1179-1184, 2006.

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).

AZEREDO, D.F.; BOLSANELLO, J.; LIMA, E.; FERNANDES, M.S.; VIEIRA, J.R. Parcelamento da adubação nitrogenada em cana-planta no norte do estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 18, n. 3, p. 441-447, 1994.

BARKER, A.V.; BRYSON, G.M. Nitrogen. In: BARKER, A.V.; PILBEAN, D.J. (Ed.). **Handbook of plant nutrition**. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2006. chap. 2, p. 21-50.

BITTENCOURT, V.C.; FAGANELLO, B.F.; SALATA, J.C. Eficiência da adubação nitrogenada em cana-de-açúcar (planta). **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 5, n. 1, p. 26-33, 1986.

BOLOGNA-CAMPBELL, I. **Balanco de nitrogênio e enxofre no sistema solo-cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta**. 2007. 112 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

BELANGER, G.; WALSH, J. R.; RICHARDS, J. E.; MILBURN, P. H.; ZIADI, N. Critical nitrogen curve and nitrogen nutrition index for potato in eastern Canada. **American Journal of Potato Research**, Orono, v. 78, p. 355-364, 2001.

CALOIN, M.; YU, O. Analysis of the time course of change in nitrogen content in *Dactylis glomerata* L. using a model of plant growth. **Annals of Botany**, Oxford, v. 54, p. 64-76, 1984.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van. Adubação nitrogenada no Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO SOBRE ADUBAÇÃO NITROGENADA NO BRASIL; REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 16., 1984, Ilhéus. Ilhéus: CEPLAC; SBCS, 1986. p. 47-79.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C. Nitrogênio e enxofre na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S.; VITTI, G.C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. cap. 11, p. 355-412.

CASTRO, P.R.C. Aplicações da fisiologia vegetal no sistema de produção da cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE FISILOGIA DA CANA-DE-AÇÚCAR, 2000, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: STAB, 2000. p. 1-9.

COLNENNE, C.; MEYNARD, J.M.; REAU, R.; JUSTES, E.; MERRIEN, A. Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter oilseed rape. **Annals of Botany**, Oxford, v. 81, p. 311-317, 1998.

DEBAEKE, P.; ROUET, P.; JUSTES, E. Relationship between the normalized SPAD index and the nitrogen nutrition index: Application to durum wheat. **Journal of Plant Nutrition**, Jefferson, v. 29, p.75-92, 2006.

DILLEWIJN, C. van. **Botany of sugarcane**. Waltham: Chronica Botanica, 1952. 371 p.

FELLER, U.; FISCHER, A. Nitrogen metabolism in senescencing leaves. **Critical Reviews in Plant Science**, London, v. 13, n. 13, p. 241-273, 1994.

FOGAÇA, M.A.F.J.C. Curva de diluição do nitrogênio para cultura do melão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 345-350, 2008.

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 Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1347-1354, 2001.

GAVA, G.J.C.; M.A.; DIAS, F.L.F.; TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, E.C.A. OLIVEIRA, M. W.; TEXEIRA, G.M. Interação entre fitomassa e nitrogênio em dois genótipos de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2009, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: STAB, 2009. 1. CD-ROM.

GRASSI FILHO, H. Diagnose foliar-princípios e aplicações. In: PRADO, R.M.; ROZANE, D.E.; VALE, D.E.; CRREIA, E.A.R.; SOUZA, H.A. (Ed.). **Nutrição de plantas: diagnose foliar em grandes culturas**. Jaboticabal: UNESP, 2008. cap. 3, p. 35-60.

GREENWOOD, D.J.; LEMAIRE, G.; GOSSE, G.; CRUZ, P. DRAYCOTT, A.; NEETESON, J. J. Decline in percentage N of C₃ and C₄ crops with increasing plant mass. **Annals of Botany**, Oxford, v. 66, p. 425-436, 1990.

GREENWOOD, D.J.; GASTAL, F.; LEMAIRE, G.; DRAYCOTT A.; MILLARD, P.; NEETESON, J.J. Growth rate and % N of field grown crops: theory and experiments. **Annals of Botany**, Oxford, v. 67, p. 181-190, 1991.

GASTAL, F.; LAMAIRE, G. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. **Journal of Experimental Botany**. Oxford, v. 57, n. 370. p. 789-799, 2002.

HUNT, R. **Plant growth curves: the functional approach to plant growth analysis**. London: Edward Arnold, 1982. 248 p.

INMAN-BAMBER, N.G.; MCGLINCHEY, M.G. Crop coefficients and water use estimates for sugarcane based on long-term Bowen ratio energy balance measurements. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 83, p. 125-138, 2003.

JUSTES, E.; MARY, B.J.; MEYNARD, M.J.; MACHET, M.; THELIER-HUCHE, L. Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter wheat crops. **Annals of Botany**, Oxford, v. 74, p.397-340, 1994.

LEMAIRE, G.; GASTAL, F. N uptake and distribution in plant canopies. In: LEMAIRE, G. (Ed.). **Diagnosis of the nitrogen status in crops**. Berlin: Springer-Verlag, 1997. p. 3-43.

LEMAIRE, G.; SALETTE, J. Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélèvement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères: I Etude de l'effet du milieu. **Agronomie**, New Jersey, v.4, n.5, p.423 - 430, 1984.

- LEMAIRE, G.; GASTAL, F.; SALETTE, J. Analysis of the effect of N nutrition on dry matter yield of a sward by reference to potential yield and optimum N content. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 16., 1989. Nice. **Proceedings...** Nice, 1989. p.179-180.
- LEMAIRE, G.; KHAITY, M.; ONILLON, B.; ALLIRAND, J. M.; CHARTIER, M.; GOSSE, G. Dynamics of accumulation and partitioning of N in leaves, stems and roots of lucerne (*Medicago sativa* L.) in a dense canopy. **Annals of Botany**, Oxford, v. 70, p.429-435, 1992.
- LEMAIRE, G.; ONILLON, B.; GOSSE, G.; CHARTEIERM, M ALLIRAND, J. M. Nitrogen distribution within a Lucerne canopy during regrowth: Relation with light distribution. **Annals of Botany**. Oxford, v. 68, p.483-488, 1991.
- 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.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 3. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.
- MALAVOLTA, E.; CRUZ, V.F.; SILVA, L.G. Foliar diagnosis in sugarcane: I. Extension of the physiological economical concept of critical level. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Piracicaba, v. 44, n. 2, p. 349-353, 1972.
- MALAVOLTA, E.; GOMES, P.; COURY, T.; ABREU, C.P.; VALSECCHI, O.; HAAG, H.P.; MELLO, F.A.F.; ARZOLLA, J.D.P.; ARZOLLA, S.; RANZANI, G.; KIEHL, E.J.; CROCOMO, O. J.; MENARD, N.; NOVAIS, R. F.; FREIRE, O. OLIVEIRA, E. R. **A diagnose foliar na cana-de-açúcar**: I. Resultados de 40 ensaios fatoriais NPK 3x3x3, primeiro corte no estado de São Paulo. Piracicaba: ESALQ. 1963. 47 p.
- MARINO, M.A.; MAZZANTI, A.; ASSUERO, S.G.; GASTAL, F.; ECHEVERRÍA, H.E.; ANDRADE, F. Nitrogen dilution curves and nitrogen use efficiency during winter-spring growth of annual ryegrass. **Agronomy Journal**, Madison, v. 96, p. 601-607, 2004.
- MARINHO, M.L.; BARBOSA, G.V.S. Adubação nitrogenada da cana planta na região nordeste do Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 6., 1996, Maceió. **Resumos ...** Piracicaba: STAB, 1996. p. 455-460.
- MAYNARD, D.N.; BARKER, A.V.; MINOTTI, P.L.; PECK, N.H. Nitrate accumulation in vegetables. **Advances in Agronomy**. Maryland Heights, v. 28, p. 71- 118, 1976.
- MORELLI, J.: DEMATTÊ, J.L.I.; DALBEN, A.E.; NELLI, E. Parcelamento da adubação nitrogenada em cana-planta: aplicação no solo. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 15, n. 6, p. 26-30, 1997.
- OLIVEIRA, E.C.A. **Dinâmica dos nutrientes na cana-de-açúcar, em sistema irrigado de produção**. 2008. 79 p. Dissertação - (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2008.

OLIVEIRA, E.C.A.; OLIVEIRA, R.I.; ANDRADE, B.M.T.; FREIRE, F.J.; LIRA JUNIOR, M. A. MACHADO, P.R. Crescimento e acúmulo de matéria seca em variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 9, p. 951-960, 2010.

ORLANDO FILHO, J.; HAAG, H.P.; ZAMBELLO JUNIOR, E. **Crescimento e absorção de macronutrientes pela cana-de-açúcar, variedade CB41-76, em função da idade, em solos do estado de São Paulo**. Piracicaba: PLANAULSUCAR. 1980. 128 p.

OTTO, R. **Desenvolvimento de raízes e produtividade de cana-de-açúcar relacionados à adubação nitrogenada**. 2007. 118 p. 2007. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

OTTO, R.; FRANCO, H.C.J.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C. TRIVELIN, P.C.O. Fitomassa de raízes e da parte aérea da cana-de-açúcar relacionada à adubação nitrogenada de plantio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 4. p. 398-405, 2009.

PENATTI, C.P.; DONZELLI, J.L.; FORTI, J.A. Doses de nitrogênio em cana-planta. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 7., Piracicaba, 1997. **Anais...** Piracicaba: Centro de Tecnologia da COPERSUCAR, 1997. p. 340-349.

PENNING DE VRIES, F.W.T. Crop production in relation to availability of nitrogen. In: PENNING DE VRIES, F.W.T.; LAAR, H.H. van (Ed.). **Simulation of plant growth and crop production**. Wageningen: PUDOC, 1982. p. 213-221.

PLENET, D.; LEMAIRE, G. Relationships between dynamics of nitrogen uptake and dry matter accumulation in maize crops: Determination of critical N concentration. **Plant and Soil**. Heidelberg, v. 216, p. 65-82, 2000.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. Outras culturas industriais. 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. 233-243. (IAC. Boletim, 100).

ROLIM, G.S.; SENTELHAS, P.C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCELTM 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.

ROSSIELLO, R.O.P. **Bases fisiológicas da acumulação de nitrogênio e potássio em cana-de-açúcar (*Saccharum spp.* cv. NA 56-79) em resposta à adubação nitrogenada em cambissolo**. 1987. 172 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1987.

SALCEDO, I.H.; SAMPAIO, E.V.S.B. Dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar. II. Deslocamento vertical e horizontal de $\text{NO}_3^- - \text{N}$ e $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, p. 1103-1108, 1984.

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

SILVEIRA, J.A.G.; CROCOMO, O.J. Assimilação de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em presença de elevado nível de N e de vinhaça no solo. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**. Campinas, v. 22, n. 2, p. 7-15, 1990.

TEI, F.; BENINCASA, P.; GUIDUCCI, M. Critical nitrogen concentration in processing tomato. **European Journal of Agronomy**, Bologna, v. 18, p. 45-55, 2002.

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

TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; OLIVEIRA, M.W.; GAVA, G.J.C.; G. A. SARRIÉS. Utilização de nitrogênio e produtividade da cana-de-açúcar (cana planta) em solo arenoso com incorporação de resíduos da cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 637-646, 2002.

ULRICH, A. Physiological bases for assessing the nutritional requirements of plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 3, p. 207-228, 1952.

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

XIOPING, X.; YIZHUO, S.; WENQI, G.; ZHIGUO, Z. Accumulation characteristics of biomass and nitrogen and critical nitrogen concentration dilution curve of cotton reproductive organ. **Acta Ecologica Sinica**, Dong Cheng, v.28, n.12, p.6204 - 6211, 2008.

ZAMBELLO JÚNIOR, E.; ORLANFO FILHO, J.A. Adubação da cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil. **Boletim Técnico PLANALSUCAR**, Piracicaba, v. 3, n. 3, p. 5-26, 1981.

ZIADI, N.; BRASSARD, M.; BELANGER, G.; CAMBOURIS, A. N.; TREMBLAY, N.; NOLIN, M. C.; CLAESSENS, A.; PARENT, L. E. Critical nitrogen curve and nitrogen nutrition index for corn in eastern Canada. **Agronomy Journal**, Madison, v. 100, p. 271-276, 2008.

ZIADI, N.; BELANGER, G.; CLAESSENS, A.; LEFEBVRE, L.; CAMBOURIS, A.N.; TREMBLAY, N.; NOLIN, M.C.; PARENT, L- E. Determination of a critical nitrogen dilution curve for spring wheat. **Agronomy Journal**, Madison, v. 102, n. 1, p. 241-249, 2010.

4 COMPARTIMENTAÇÃO E EXIGÊNCIA NUTRICIONAL DA CANA-DE-AÇÚCAR RELACIONADOS À FERTILIZAÇÃO COM DOSES DE NITROGÊNIO

Resumo

A recomendação de nutrientes para cana-de-açúcar deve considerar além da relação direta dose-produtividade, a quantidade de nutrientes extraídos, exportados e os que permanecem no sistema solo-planta no momento da colheita. Nesse contexto, objetivou-se identificar nos ciclos de cana planta e três socas subsequentes o efeito da adubação nitrogenada na compartimentação dos nutrientes na parte aérea e subterrânea, como também a exigência nutricional para produção de uma tonelada de colmo por hectare (TCH). A pesquisa foi realizada em três campos experimentais e as avaliações foram efetuadas no final dos ciclos agrícolas de cana planta (2005/2006) e nas três socas subsequentes (2006/2007; 2007/2008 e 2008/2009). No primeiro ciclo utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro repetições por tratamento (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N). Na primeira e segunda soca os tratamentos constaram de 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ N e um controle sem N, nos tratamentos 0 e 120 kg ha⁻¹ de N do plantio utilizando o delineamento experimental de blocos ao acaso com parcelas subdivididas. Na terceira soca avaliou-se o efeito residual das doses de N aplicadas nas soqueiras anteriores, utilizando dose única de 100 kg ha⁻¹ em todos os tratamentos. As doses de N não influenciaram na distribuição percentual dos nutrientes entre os compartimentos da cana-de-açúcar. As concentrações de N, P, K e S foram maiores no ponteiro, enquanto que para o Ca e Mg os maiores valores foram verificadas na folha seca. Para o B, Cu, Fe e Mn as maiores concentrações foram verificadas na raiz, enquanto que para o Zn o maior valor foi constatado no ponteiro para o ciclo de cana planta e primeira soqueira e na raiz para segunda e terceira soca. A ordem de extração dos nutrientes na cana planta foi de K > N > Ca > S > Mg > Fe > P > Mn > Zn > B > Cu e para cana soca a ordem foi de K > N > Ca > Mg > S > P = Fe > Mn > Zn > B > Cu. A adubação nitrogenada aumentou na exigência em K e S na cana planta e K na cana soca. O efeito das doses de N no aumento do requerimento dos micronutrientes foi apenas observado para o Mn e Zn na cana planta. Para produzir 1 TCH foi exigido extrações médias de N, P, K, Ca, Mg e S de 1,24, 0,15, 2,69, 0,55, 0,29 e 0,29 kg Mg⁻¹ na cana planta e média de 1,55, 0,21, 3,07, 0,75, 0,36 e 0,38 kg Mg⁻¹ na cana soca, respectivamente. Para B, Cu, Fe, Mn e Zn as exigências na cana planta foram, respectivamente, de 1,91, 0,83, 260,65, 18,12, 2,81 g Mg⁻¹ e na cana soca verificou-se média de 2,29, 1,02, 169,17, 20,47 e 3,90 g Mg⁻¹.

Palavras-chave: Adubação; Cana-de-açúcar; Exigência nutricional; Macronutrientes; Micronutrientes; Nitrogênio; *Saccharum spp*

Abstract

The recommendation of nutrients for sugarcane should consider, beyond the direct relationship between dose-yield, the amount of nutrients extracted, exported and remained in the soil-plant system at harvest. This experiment aimed to identify in the plant cane and three subsequent ratoons cycles the effect of nitrogen (N) on nutrients partitioning in above and underground components, and the nutritional requirement for producing one ton of stalk per hectare (TCH). The study was carried out in three field trials and evaluations were made at the end of the plant cane crop cycle (2005/2006) and in three subsequent ratoons (2006/2007,

2007/2008 and 2008/2009). In the first cycle the experimental design consisted of complete randomized blocks with four replicates per treatment (doses 0, 40, 80 and 120 kg N ha⁻¹). In the first and second ratoon the treatments were doses 0, 50, 100 and 150 kg N ha⁻¹ applied in the 0 and 120 kg N ha⁻¹ plots from the cane plant cycle, as split plot experimental design. In the third ratoon was applied the single dose of 100 kg N ha⁻¹ in all treatments to evaluate the residual effect of previous treatments. N doses did not influence the partitioning of nutrients in the sugarcane compartments. The concentrations of N, P and K were higher in the green tops, while for Ca and Mg the highest values were found in the dry leaves. For B, Cu, Fe and Mn the highest concentrations were found in the root, while for Zn the highest value was found on the green tops to the plant cane and first ratoon cycles and the root for the second and third ratoon. The order of nutrient build up in plant cane was K > N > Ca > S > Mg > Fe > P > Mn > Zn > B > Cu; for the ratoon the average order was K > N > Ca > Mg > S > P = Fe > Mn > Zn > B > Cu. Build up of N, Ca, B, Cu, Fe, Mn and Zn were higher in the root, rhizome, dry leaves and green tops compartments, corresponding to 57, 71, 58, 65, 90, 68 and 64% , respectively, of all nutrient extracted by sugarcane. For P, K, Mg and S the highest accumulation occurred in the stalk, representing respectively 50, 56, 52 and 58% of the total accumulated by the plant. N fertilization increased the requirement on K and S in plant cane and K in ratoon cycle; for micronutrients this effect was observed only in the plant cane for Mn and Zn. To produce 1 TCH, the requirement of N, P, K, Ca, Mg and S was 1.24, 0.15, 2.69, 0.55, 0.29 and 0.29 kg Mg⁻¹ in the cane plant and average of 1.55, 0.21, 3.07, 0.75, 0.36 and 0.38 kg Mg⁻¹ in the ratoon cycle, respectively. The requirement of B, Cu, Fe, Mn and Zn in the plant cane was respectively 1.91, 0.83, 260.65, 18.12, 2.81 g Mg⁻¹ and average of 2.29, 1.02, 169.17, 20.47 and 3.90 g Mg⁻¹ in the ratoon crop cycle.

Keywords: Fertilization; Macronutrients; Micronutrients; Nutritional requirement; Nitrogen, *Saccharum* spp; Sugarcane

4.1 Introdução

O manejo da adubação de plantas cultivadas parte inicialmente do conhecimento das exigências minerais das espécies, em adição a identificação dos nutrientes acumulados em cada compartimento da planta. No caso da cana-de-açúcar, a habilidade da planta em absorver de forma eficiente os nutrientes do solo e utilizá-los adequadamente, está condicionada a processos fisiológicos e de adaptabilidade dos cultivares atualmente utilizados às diferentes condições edafoclimáticas, métodos de cultivo e disponibilidade dos nutrientes no solo (FAUCONENNIER; BASSEREAU, 1975).

O conhecimento das exigências nutricionais da cana-de-açúcar nos ciclos agrícolas de cana planta e das socarias consecutivas até a renovação do canavial, faz-se necessário como importante ferramenta no manejo e na recomendação da adubação. Resultados de pesquisa com diferentes cultivares e classes de solo revelaram que a exigência mineral para produção de uma tonelada de colmo por hectare (TCH) varia de 0,92 a 1,80 kg de N, 0,09 a

0,17 de P, 0,63 a 3,2 de K, 0,11 a 0,56 de Ca, 0,13 a 0,48 de Mg e 0,15 a 0,28 de S (ORLANDO FILHO; HAAG; ZAMBELLO JUNIOR, 1980a; COLETI et al., 2006; TASSO JUNIOR et al., 2007). Estudo realizado por Franco et al. (2007) em LATOSSOLO VERMELHO mostrou que o acúmulo de nutrientes na parte aérea do cultivar SP81-3250 na colheita de cana planta apresentou a seguinte ordem decrescente: $K > N > Ca > S > Mg > P$. Por outro lado Coleti et al. (2006), estudando os cultivares RB835486 e SP81-3250, em dois ARGISSOLOS VERMELHOS, constataram, para cana planta, a seguinte ordem de extração de nutrientes: $K > N > S > P > Mg > Ca$, e na cana soca: $K > N > P > Mg > S > Ca$. Todavia, as principais pesquisas brasileiras apresentaram dados de ciclos independentes de cultivo sem considerar a cana-de-açúcar como cultura semiperene, assim como, são raros os estudos que trataram das exigências em micronutrientes.

Com uso intensivo dos solos e plantio de cultivares de maior potencial produtivo, as reservas nutricionais tornam-se insuficientes para manter produtividades elevadas por ciclos consecutivos de produção, sendo assim, determinar a quantidade de nutrientes removidos do solo na colheita da cana-de-açúcar tem sido mais frequentemente pesquisado para auxiliar na recomendação de nutrientes, visando restituir para o ciclo de produção subsequente os nutrientes acumulados em compartimentos da planta que não retornarão ao solo, como o colmo da cana-de-açúcar (COALE et al., 1993). Exportações de nutrientes pelo colmo obtidas em pesquisas realizadas em diversas regiões do Brasil mostram variações entre cultivares e sistemas de produção empregados. Como pode ser observado no acúmulo médio de N, P, K, Ca e Mg em onze cultivares de cana-de-açúcar conduzidas sob irrigação plena no Estado de Pernambuco, que apresentou valores médios, respectivamente, de: 92, 15, 188, 187 e 66 kg ha⁻¹ (OLIVEIRA et al., 2010a), enquanto que cultivares conduzidas em condições de sequeiro nos Estados de Alagoas e São Paulo, os acúmulos médios foram, respectivamente, de: 82, 8, 73, 20, 12 kg ha⁻¹ (SILVA, 2007; PRADO; FERNANDES; NATALE, 2002), correspondendo na média dos estudos a 55, 64, 52, 61 e 58 %, respectivamente, do total extraído pela parte aérea da planta.

Consideráveis variações são notadas na absorção e acúmulo de nutrientes entre os compartimentos da cana-de-açúcar (RAKKIYAPPAN et al., 2005), entretanto são esporádicos os resultados de pesquisa que diferenciam o acúmulo de nutrientes na parte aérea (colmo, folha seca e ponteiro) e subterrânea (raiz e rizoma), especialmente nos

cultivares mais modernos que sofreram significativa interferência genética por meio do melhoramento vegetal (PRADO; FERNANDES; NATALE, 2002). Pesquisas que atuam na identificação do potencial de extração e exportação de nutrientes pela cana-de-açúcar limitam-se a avaliações da parte aérea, comparando o nutriente acumulado nas folhas em relação ao colmo (OLIVEIRA et. al., 2010a; SCHULTZ et al., 2010; ORLANDO FILHO; HAAG; ZAMBELLO JUNIOR, 1980a) ou em poucos casos, quando as extrações nas folhas são separados em folha seca e folhas verdes (RAKKIYAPPAN et al., 2007, 2005; THANGAELU; CHIRANJIVI RAO, 2004), desconsiderando remoções significativas de nutrientes contidos nas raízes e rizomas que podem ser disponibilizados nos ciclos subsequentes. A importância de contabilizar os nutrientes acumulados na parte subterrânea foi constatada por Vitti et al. (2007), quando verificaram que o aumento no acúmulo de N e S nas raízes e rizomas, em virtude da adubação nitrogenada, proporcionou incrementos de produtividade da soqueira subsequente.

O aumento na produtividade da cana-de-açúcar com a adubação nitrogenada pode relacionar-se, entre outros fatores, ao efeito positivo na absorção de outros nutrientes não somente na parte subterrânea, mas também, nos demais compartimentos da parte aérea (FRANCO et al., 2007). Segundo Lal (1950), o incremento da absorção de N é acompanhado pelo aumento na concentração de P e K nos tecidos da cana-de-açúcar. Nesse contexto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito de doses de N aplicadas no ciclo de cana planta e em três socas consecutivas na concentração e extração de nutrientes nos compartimentos da cana-de-açúcar (raízes, rizoma, colmo, folha seca e ponteiro), bem como na exigência nutricional para produção de uma tonelada de colmo por hectare.

4.2 Material e Métodos

O estudo foi realizado ao término dos ciclos agrícolas de cana planta de ano e meio (2005/2006) e em três socas consecutivas (2006/2007; 2007/2008 e 2008/2009), nas três áreas experimentais referidas nos capítulos anteriores, cuja caracterização química e física do solo, assim como o regime hídrico e temperatura média do ar encontram-se na tabela 4.1. Os tratamentos no ciclo de cana planta constituíram-se em três doses de N (40, 80 e 120 kg ha⁻¹) e um tratamento adicional sem aplicação do nutriente. O N-fertilizante foi aplicado na forma de

uréia e distribuído no sulco de plantio. A adubação de plantio consistiu na adição de 120 kg ha^{-1} de K_2O , na forma de cloreto de potássio (KCl) e 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 , na forma de superfosfato triplo (SFT). O delineamento experimental no primeiro ciclo da cana-de-açúcar foi de blocos ao acaso, com quatro repetições por tratamento, perfazendo o total de 16 parcelas experimentais, que constaram de 48 sulcos com 15 m de comprimento, espaçadas 1,5 m entre si.

No primeiro e segundo ciclos de cana soca (2006/2007 e 2007/2008) a adubação constou da aplicação de 100 e 150 kg ha^{-1} de K_2O , respectivamente e as parcelas que continham os tratamentos 0 e 120 kg ha^{-1} de N do plantio, foram subdivididas em 12 sulcos de 15 m e receberam os tratamentos 0, 50, 100 e 150 kg ha^{-1} N, com quatro repetições, perfazendo o total de 32 parcelas experimentais. Como fonte de K utilizou-se o KCl e para o N se fez uso do sulfato de amônio nos experimentos LVAe e LVd, no LVe empregou-se o sulfato de amônio na dose de 50 kg ha^{-1} N e mistura de sulfato de amônio (50 kg ha^{-1} N) complementado com nitrato de amônio (50 e 100 kg ha^{-1} N), respectivamente, nas doses 100 e 150 kg ha^{-1} N. Os adubos nitrogenados foram aplicados sobre a palha ao lado da linha de cana e sem incorporação. O delineamento experimental empregado nas duas primeiras soqueiras foi de blocos ao acaso com parcelas subdivididas. Após a colheita da segunda soca, nas três áreas experimentais, foi utilizada dose única de 100 kg ha^{-1} de N, respectivamente na terceira soqueira (2008/2009), visando verificar o efeito residual dos tratamentos aplicados nos ciclos anteriores.

Para avaliar o efeito das doses de N na concentração e extração de nutrientes pela cana-de-açúcar realizaram-se no interior das parcelas experimentais, amostragens da parte aérea e da parte subterrânea. A coleta da parte aérea foi realizada em 1 metro da linha central e nas adjacentes de cana-de-açúcar, totalizando $4,5 \text{ m}^2$, no qual separou-se o material coletado em colmo, folha seca e ponteiro. Como ponteiro, considerou-se as folhas verdes e todo material vegetal (folhas + bainha) que continuava preso à planta e que não se encontravam em senescência; para o compartimento folha seca, considerou-se o material vegetal seco que se encontrava solto da planta (localizado na área de $4,5 \text{ m}^2$), como também as folhas presas às plantas em grau elevado de senescência. Após a retirada do ponteiro e das folhas secas, o restante foi considerado colmo.

Tabela 4.1 - Atributos químicos e físicos da camada superficial (0-0,25 m) dos solos, regime hídrico e temperatura média nos experimentos LVAe, LVe e LVd para cana planta e três socas consecutivas

Atributos	<i>Cana Planta (2005/2006)</i>			<i>1° Soca (2006/2007)</i>			<i>2° Soca (2007/2008)</i>			<i>3° Soca (2008/2009)</i>		
	LVAe	LVe	LVd	LVAe	LVe	LVd	LVAe	LVe	LVd	LVAe*	LVe	LVd
MO, g kg ⁻¹	20,0	31,0	16,0	21,1	34,3	20,3	20,1	33,9	17,1	-	33,2	18,0
pH, CaCl ₂	5,5	5,2	5,1	5,8	5,2	5,2	5,3	4,9	5,0	-	4,9	4,9
P, mg dm ⁻³	9,0	42,0	15,0	5,6	46,8	11,3	12,2	56,0	10,1	-	60,8	10,6
S, mg dm ⁻³	6,0	6,0	4,0	2,2	7,6	7,6	8,1	15,4	6,5	-	14,5	3,6
K, mmol _c dm ⁻³	2,4	3,1	3,9	1,9	4,4	2,8	2,0	4,7	2,8	-	6,0	3,5
Ca, mmol _c dm ⁻³	29,0	31,0	11,0	35,3	38,3	17,5	23,6	32,7	18,2	-	35,9	14,4
Mg, mmol _c dm ⁻³	8,0	9,0	5,0	8,7	10,7	9,6	5,4	8,7	8,6	-	8,2	6,5
Al, mmol _c dm ⁻³	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0	0,5	0,5	1,0	1,1	-	1,5	1,5
H+Al, mmol _c dm ⁻³	20,0	34,0	28,0	15,1	40,6	25,8	18,4	44,9	22,7	-	50,0	24,1
CTC, mmol _c dm ⁻³	59,6	77,4	47,7	61,2	94,3	56,1	49,8	91,3	52,7	-	100,4	48,7
V, %	66	56	42	75	56	53	61	50	56	-	50	50
Argila, g kg ⁻¹	338	638	288	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ρ ^{**} , Mg m ⁻³	1,6	1,2	1,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Precipitação, mm	1.618,0	1.752,1	1.522,3	1.511,1	1.718,9	1.445,6	1.018,6	1.371,5	1.375,7	-	1.476,7	1.198,2
Déficit (-1), mm	485,4	618,9	602,2	276,4	279,9	385,5	294,5	256,4	310,9	-	582,2	455,8
Temperatura ^{***} , °C	21,1	25,2	21,7	21,5	25,7	22,1	22,1	23,2	21,7	-	22,2	21,9

* Amostragem não realizada em virtude de incêndio acidental na 2° soca (2007/2008); ** Densidade do solo; *** Temperatura média; pH - CaCl₂ 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 - NH₄ OAc 0,5N em HOAc 0,25N (Vitti, 1988); K - Extração por resina trocadora de íons e determinação por fotometria de chama (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); Al - KCl 1N.

A massa fresca vegetal de cada compartimento da parte aérea da cana-de-açúcar, para cada repetição, foi obtida diretamente em campo, por meio de pesagem em balança eletrônica com precisão de 0,02 kg. Ainda no campo e após a pesagem, as amostras de material vegetal fresco foram trituradas e em seguida, coletou-se subamostras úmidas que foram acondicionadas em sacos plásticos hermeticamente fechados. Adicionalmente, contabilizou-se o número de perfilhos em 10 metros de comprimento, em três linhas destinadas a mensuração da produtividade.

Após a coleta da parte aérea realizou-se amostragens da parte subterrânea, coletando-se as raízes e rizomas no mesmo local destinado a avaliação da parte aérea. Na amostragem de raízes, utilizou-se de uma sonda amostradora (SONDATERRA®), com diâmetro interno de 55 mm, nas profundidades de 0 a 0,2, 0,2 a 0,4 e 0,4 a 0,6 m (OTTO et al. 2009). As amostras de solo e as raízes obtidas por sondagem foram peneiradas ainda no campo em malha de 2 mm, e em seguida lavadas em água corrente sobre peneiras com malha de 1 mm. Nas três linhas de cana utilizadas para amostragem da parte aérea, foram coletados os rizomas por meio de abertura de trincheiras e retirando todo material vegetal contido em 1 (um) metro, posteriormente os rizomas foram limpos, cortados e lavados em água corrente.

As subamostras da parte aérea e amostras da parte subterrânea foram pesadas em balança analítica (precisão de 0,01 g), secas em estufa ventilada a 65 °C até atingirem massa constante e novamente pesadas para determinação da umidade do material. Com o número de perfilhos em 30 metros, da massa do material vegetal e da umidade determinada em laboratório, calculou-se a produção de matéria seca colmo, folha seca e ponteiro, considerando 6.666,67 metros lineares de cana-de-açúcar em um hectare, quando adotado o espaçamento de 1,5 metros entre as linhas da cultura. A determinação da massa de matéria seca de raízes e rizoma seguiu a metodologia proposta por Otto et al. (2009).

Todo material vegetal após seco em estufa foi moído em moinho tipo Wiley e determinada às concentrações de nitrogênio (N), obtida por digestão sulfúrica e determinado por destilação e titulometria; fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) que foram obtidos por digestão nitroperclórica (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997) e determinados em aparelho de espectrometria de emissão óptica de plasma (ICP/POES). Multiplicando a concentração (g kg^{-1}) dos nutrientes nas amostras moídas pela matéria seca (Mg ha^{-1}) produzida de cada

compartimento, obteve-se a extração de nutrientes. A exigência nutricional foi estimada dividindo-se a extração total de nutrientes na planta toda pela produção de colmos (TCH) em cada tratamento e ciclo de produção. A metodologia empregada na avaliação da produtividade de colmos está detalhadamente descrita no capítulo anterior.

Os dados obtidos na cana planta foram submetidos à análise conjunta de variância (ANOVA) em delineamento de blocos casualizados. Na cana soca eliminou-se o efeito dos tratamentos 0 e 120 kg ha⁻¹ na cana planta e analisou-se os dados para as três áreas experimentais em conjunto utilizando o delineamento experimental como blocos casualizados. Em ambos os ciclos de produção utilizou-se o teste F a 5 % de probabilidade. Para avaliar o efeito residual das doses de N aplicadas na primeira e segunda soqueira (2006/2007 e 2007/2008) na concentração e extração de nutrientes entre os compartimentos e na exigência nutricional na colheita da terceira soqueira, utilizou-se o teste de Scott-Knott, a 5 % de probabilidade. Em virtude de incêndio acidental na área experimental LVAe na safra 2007/2008, as variáveis respostas da segunda soqueira levam em consideração apenas os experimentos LVe e LVd.

4.3 Resultados

4.3.1 Concentração dos nutrientes nos compartimentos da cana-de-açúcar

A concentração dos macronutrientes nos compartimentos da cana-de-açúcar para todos os ciclos avaliados, de modo geral, não diferiu com as doses de N, exceto para o efeito particular observado na raiz para a primeira e segunda soca, no qual se verificou incrementos na concentração de N com as doses de N (Tabela 4.2). O efeito positivo da adubação nitrogenada também foi constatado na primeira soca, com aumento da concentração de N no ponteiro, de Ca na folha seca e Mg no colmo (Tabela 4.2; 4.3). Com relação ao efeito residual das doses de N na terceira soca, verificou-se que apenas os nutrientes K no ponteiro e S no rizoma foram influenciados positivamente com adição dos tratamentos aplicados nas socas anteriores (Tabelas 4.2; 4.3).

No final dos ciclos agrícolas, o baixo efeito da adubação nitrogenada observado na concentração dos macronutrientes entre os compartimentos da cana-de-açúcar, pode ser explicado devido à diluição dos mesmos nos tecidos da parte aérea com o aumento da fitomassa, em adição a baixa disponibilidade desses nutrientes pelo solo e reduzida atividade metabólica da planta, em

consequência, respectivamente, do déficit hídrico acentuado e das baixas temperaturas no período da colheita (Figuras 2.1 a 2.3). O efeito diluição durante o crescimento da cultura foi observado no estudo realizado por Franco et al. (2008a) nos experimentos LVAe e LVd desta pesquisa, no qual os autores constataram reduções da concentração de N, P e K na parte aérea na ordem de 72, 61 e 55 % entre a fase de máximo crescimento vegetativo e a colheita. Corroborando com esses resultados, Oliveira et al. (2011) também observou reduções significativas de N, P, K, Ca e Mg no colmo de onze cultivares de cana-de-açúcar no período entre 120 e 360 DAP em cana planta de ano. Diante do contexto, o efeito positivo da adubação nitrogenada na absorção dos macronutrientes relatado por Franco et al. (2007) e Lal (1950) possivelmente deve ser constatado no período de maior exigência da cultura, sendo estes momentos descritos nas tabelas 2.3 e 2.4 do primeiro capítulo.

No que se refere à concentração dos macronutrientes nos compartimentos da cana-de-açúcar, constatou-se, para todos os ciclos de produção, diferenças significativas entre os nutrientes (Tabelas 4.2; 4.3). Para N, P, K e S a maior concentração foi observada no ponteiro, com valores de 7,5, 0,89, 16,0 e 0,89 g kg⁻¹ na cana planta e médias de 7,6, 1,0, 19,3 e 1,0 g kg⁻¹ na cana soca, respectivamente, seguido da parte subterrânea (raiz ou rizoma), exceto para o K que apresentou no colmo a segunda maior concentração, com valores de 4,1, 0,56, 6,8, 0,81 g kg⁻¹ e 5,0, 0,71, 6,0 e 0,9 g kg⁻¹, respectivamente, para cana planta e cana soca. Para o Ca e Mg a maior concentração foi constatada na folha seca, verificando-se valores de 3,1 e 1,1 g kg⁻¹ na cana planta e médias de 4,0 e 1,1 g kg⁻¹ na cana soca, respectivamente. Os maiores valores dos macronutrientes nos tecidos do ponteiro, folha seca, raiz e rizoma indicam a alta capacidade de ciclagem de nutrientes pela cana-de-açúcar no sistema de colheita sem queima, entretanto a segunda maior concentração de K no colmo evidencia perdas desse nutriente no sistema solo-planta e a necessidade contínua de reposição por meio de adubações.

Tabela 4.2 - Concentração de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) nos componentes da cana-de-açúcar em quatro ciclos agrícolas, relacionado à adubação nitrogenada

<i>Cana Planta (2005/2006)</i>															
Dose	N					P					K				
	RA	RI	CO	FS	PO	RA	RI	CO	FS	PO	RA	RI	CO	FS	PO
kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹					g kg ⁻¹					g kg ⁻¹				
0	4,0	4,0	2,2	2,4	7,3	0,47	0,58	0,30	0,18	0,93	2,7	2,1	6,5	5,4	16,4
40	3,9	3,8	2,3	3,0	7,5	0,44	0,60	0,28	0,17	0,87	2,6	2,1	6,5	4,3	15,4
80	4,3	3,9	2,4	3,1	8,0	0,43	0,51	0,33	0,17	0,87	2,7	2,2	7,6	4,9	16,5
120	4,3	4,2	2,3	3,1	7,3	0,46	0,56	0,30	0,17	0,88	2,1	1,9	6,5	4,5	15,7
Média	4,1B	4,0 B	2,3 D	2,9 C	7,5 A	0,45C	0,56B	0,30D	0,17E	0,89A	2,5 C	2,1C	6,8 B	4,8B	16,0A
F _{dose}	0,52 ^{NS}	0,61 ^{NS}	0,15 ^{NS}	1,89 ^{NS}	2,04 ^{NS}	1,55 ^{NS}	1,49 ^{NS}	0,50 ^{NS}	0,21 ^{NS}	0,94 ^{NS}	0,52 ^{NS}	0,05 ^{NS}	1,83 ^{NS}	1,31 ^{NS}	1,75 ^{NS}
<i>1° Soca (2006/2007)</i>															
0	4,0	4,2	2,1	3,1	8,0	0,38	0,69	0,39	0,23	1,0	1,7	3,9	6,1	3,3	18,7
50	4,2	4,3	2,5	3,5	7,9	0,39	0,69	0,41	0,26	1,0	1,6	4,3	6,2	2,9	19,0
100	4,3	4,3	2,1	3,4	7,6	0,37	0,71	0,39	0,25	1,0	1,7	4,1	6,1	3,0	17,6
150	4,6	4,5	2,3	3,5	8,4	0,42	0,70	0,36	0,25	1,0	1,9	3,9	5,8	3,5	18,7
Média	4,3 B	4,3 B	2,2 D	3,4 C	8,0 A	0,39C	0,70B	0,39C	0,25D	1,0 A	1,7 E	4,0 C	6,0 B	3,2 D	18,5A
F _{dose}	2,21*	0,45 ^{NS}	1,07 ^{NS}	1,18 ^{NS}	3,10**	0,76 ^{NS}	0,11 ^{NS}	0,69 ^{NS}	0,16 ^{NS}	1,28 ^{NS}	0,05 ^{NS}	0,27 ^{NS}	0,21 ^{NS}	0,39 ^{NS}	2,76 ^{NS}
<i>2° Soca (2007/2008)</i>															
0	4,6	3,6	1,6	2,8	6,3	1,3	0,81	0,43	0,33	1,0	2,8	3,9	4,5	3,7	19,7
50	4,6	3,8	1,7	2,8	5,9	1,4	0,78	0,38	0,32	1,0	2,5	3,5	5,4	3,9	20,2
100	5,4	3,9	1,7	2,7	6,2	1,3	0,62	0,38	0,33	1,0	2,7	3,4	5,9	3,8	20,3
150	5,1	4,1	1,7	3,0	6,1	1,2	0,65	0,32	0,31	1,0	2,5	3,9	5,4	4,2	20,6
Média	4,9 B	3,8 C	1,7 E	2,8 D	6,1 A	1,3 A	0,72C	0,38D	0,32D	1,0 B	2,6 E	3,7 C	5,3 B	3,9 C	20,2A
F _{dose}	3,31**	0,88 ^{NS}	0,09 ^{NS}	0,40 ^{NS}	0,74 ^{NS}	0,86 ^{NS}	0,96 ^{NS}	0,20 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,12 ^{NS}	0,30 ^{NS}	1,45 ^{NS}	0,15 ^{NS}	0,78 ^{NS}
<i>3° Soca (2008/2009)</i>															
100	5,8	5,6	3,0	4,0	8,7	0,43	0,73	0,41	0,26	1,06	1,4	3,6	6,6	3,0	18,7 b
100	6,3	5,3	3,1	3,8	8,9	0,42	0,67	0,38	0,23	1,18	1,4	3,3	6,8	2,6	19,7 a
100	5,8	5,8	3,0	3,8	9,0	0,45	0,73	0,37	0,21	1,19	1,7	3,5	6,9	2,6	19,6 a
100	6,0	5,9	3,2	3,9	9,2	0,42	0,69	0,37	0,21	1,13	1,4	3,7	6,4	2,4	19,0 b
Média	6,0 B	5,7 C	3,1 D	3,9 D	8,9 A	0,43C	0,71B	0,38D	0,23E	1,1 A	1,5 E	3,5 C	6,7 B	2,6 D	19,2A
F _{dose}	1,05 ^{NS}	1,60 ^{NS}	0,19 ^{NS}	0,16 ^{NS}	0,67 ^{NS}	0,34 ^{NS}	1,91 ^{NS}	0,66 ^{NS}	1,25 ^{NS}	7,06 ^{NS}	0,30 ^{NS}	0,52 ^{NS}	0,74 ^{NS}	1,25 ^{NS}	3,41**

RA: raiz; RI: rizoma; CO: colmo; FS: folha seca; PO: ponteiro; Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Scott Knott a 5 % de probabilidade; ^{NS} não significativo, **,*** significativo, respectivamente, a 10, 5 e 1 % de probabilidade

Tabela 4.3 - Concentração de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) nos componentes da cana-de-açúcar em quatro ciclos agrícolas, relacionado à adubação nitrogenada

Cana Planta (2005/2006)																
Dose	Ca					Mg					S					
	RA	RI	CO	FS	PO	RA	RI	CO	FS	PO	RA	RI	CO	FS	PO	
kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹					g kg ⁻¹					g kg ⁻¹					
0	1,9	1,0	0,73	3,4	2,2	0,57	0,53	0,57	1,0	1,0	0,82	0,85	0,60	0,72	0,85	
40	2,0	1,1	0,75	3,5	2,4	0,58	0,51	0,57	1,1	1,0	0,77	0,86	0,67	0,79	0,90	
80	2,0	0,8	0,70	3,4	2,5	0,56	0,51	0,55	1,1	1,0	0,82	0,87	0,64	0,78	0,90	
120	2,1	1,0	0,69	3,8	2,3	0,60	0,59	0,58	1,2	1,0	0,82	0,89	0,65	0,75	0,92	
Média	2,0 B	1,1 C	0,61D	3,1 A	2,1 B	0,58C	0,54C	0,57C	1,1 A	1,0 B	0,81B	0,87A	0,64D	0,76C	0,89A	
F _{dose}	0,30 ^{NS}	0,11 ^{NS}	0,84 ^{NS}	2,60 ^{NS}	5,32 ^{NS}	0,12 ^{NS}	1,04 ^{NS}	0,15 ^{NS}	1,97 ^{NS}	0,21 ^{NS}	0,22 ^{NS}	0,32 ^{NS}	0,40 ^{NS}	0,58 ^{NS}	0,53 ^{NS}	
1° Soca (2006/2007)																
0	2,5	1,0	0,58	3,7	2,3	0,51	0,62	0,71	1,1	1,1	0,62	0,90	1,6	0,71	1,1	
50	2,6	1,1	0,70	3,8	1,9	0,50	0,62	0,78	1,2	1,0	0,67	1,04	1,5	0,69	1,1	
100	2,6	1,0	0,65	3,9	2,0	0,47	0,60	0,84	1,2	0,9	0,65	0,99	1,8	0,75	1,2	
150	2,6	1,1	0,50	4,1	2,3	0,50	0,66	0,68	1,1	1,1	0,69	1,06	1,8	0,83	1,3	
Média	2,4 B	1,0 D	0,61E	3,9 A	2,1 C	0,49D	0,62C	0,75C	1,1 A	1,0 B	0,66C	1,0 C	1,7 A	0,75C	1,2 B	
F _{dose}	2,61 ^{NS}	0,56 ^{NS}	0,82 ^{NS}	2,53*	5,18 ^{NS}	0,23 ^{NS}	0,43 ^{NS}	3,08**	1,06 ^{NS}	3,87 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,11 ^{NS}	0,37 ^{NS}	0,08 ^{NS}	0,16 ^{NS}	
2° Soca (2007/2008)																
0	2,1	1,1	0,68	3,9	2,7	0,70	0,70	0,73	1,2	1,1	0,76	0,95	0,57	0,70	1,10	
50	2,0	1,0	0,71	4,2	2,6	0,67	0,64	0,75	1,2	1,1	0,81	0,93	0,55	0,76	1,08	
100	2,0	1,1	0,95	4,1	2,6	0,69	0,58	0,81	1,2	1,0	0,90	0,88	0,59	0,74	1,07	
150	2,1	1,2	0,87	3,9	2,8	0,61	0,61	0,75	1,2	1,0	0,84	0,93	0,56	0,75	1,13	
Média	2,1 C	1,1 D	0,80E	4,0 A	2,7 B	0,67D	0,63D	0,76C	1,2 A	1,0 B	0,92B	0,83C	0,57E	0,74D	1,0 A	
F _{dose}	0,05 ^{NS}	0,12 ^{NS}	0,22 ^{NS}	0,28 ^{NS}	0,07 ^{NS}	0,70 ^{NS}	1,07 ^{NS}	0,55 ^{NS}	0,15 ^{NS}	0,41 ^{NS}	1,85 ^{NS}	0,55 ^{NS}	0,17 ^{NS}	0,49 ^{NS}	0,36 ^{NS}	
3° Soca (2008/2009)																
100	4,3	0,93	0,93	4,4	3,3	0,62	0,62	0,72	1,3	1,1	0,69	0,70 d	0,43	0,64	1,0	
100	4,3	1,05	0,95	4,2	3,4	0,61	0,67	0,68	1,2	1,1	0,75	0,77 c	0,44	0,64	1,1	
100	3,9	0,98	0,96	4,2	3,4	0,58	0,66	0,66	1,2	1,1	0,73	0,82 b	0,47	0,67	1,1	
100	4,0	1,11	1,08	4,2	3,2	0,59	0,68	0,65	1,2	1,1	0,71	0,88 a	0,48	0,62	1,0	
Média	4,1 A	1,0 C	0,98C	4,2 A	3,4 B	0,60D	0,66C	0,68C	1,2 A	1,1 B	0,72C	0,80B	0,45E	0,64D	1,0 A	
F _{dose}	0,45 ^{NS}	0,60 ^{NS}	1,02 ^{NS}	3,72 ^{NS}	0,57 ^{NS}	0,33 ^{NS}	0,94 ^{NS}	1,14 ^{NS}	5,13 ^{NS}	0,98 ^{NS}	1,09 ^{NS}	11,57***	1,06 ^{NS}	0,64 ^{NS}	1,87 ^{NS}	

RA: raiz; RI: rizoma; CO: colmo; FS: folha seca; PO: ponteiro; médias seguida de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Scott Knott a 5 % de probabilidade; ^{NS} não significativo, *, **, *** significativo, respectivamente, a 10, 5 e 1 % de probabilidade

As concentrações de N, P, K e S no ponteiro foram maiores que as médias observadas por Orlando Filho; Haag; Zambello Junior, (1980a) no cultivar CB41-79 plantado em três classes de solo predominantes do Estado de São Paulo, assim como, a concentração de K encontrado no cultivar Co 997 cultivado em Argissolo (SAMPAIO; SALCEDO, 1991), por outro lado os valores se mostraram inferiores a concentração média desses nutrientes em cultivares manejadas em diferentes graus de estresse salino (GOMATHI; THANDAPANI, 2005) e a concentração de N nas folhas verdes de quatro cultivares submetidos a adubação nitrogenada (ISHIKAWA et al., 2009). Com relação à concentração de K no colmo, os valores do presente estudo foram semelhantes as concentração média de $5,0 \text{ g kg}^{-1}$ obtidos por Oliveira et al. (2011); Marques et al. (2007) e superiores a média de $1,42 \text{ g kg}^{-1}$ verificada por Nogueira et al. (2007) com uso de vinhaça e lodo esgoto como fonte do nutriente.

A concentração elevada de N, P, K, Mg e S no ponteiro, possivelmente, deve-se a maior atividade metabólica e transpiratória deste compartimento (LAL, 1950), mantendo o fluxo contínuo e remobilizando nutrientes móveis no floema para as folhas novas, com consequente aumento na concentração nos tecidos deste compartimento. Essa mesma característica fisiológica, provavelmente é responsável pelo segundo maior valor de Ca ter sido observado no ponteiro, em virtude da formação contínua de novos tecidos que utiliza esse nutriente na formação e estabilização da parede celular (MAATHUIS, 2009).

Os valores de concentração de N, P e S na raiz e rizoma, inferior apenas ao do ponteiro, pode esta associado à hipótese mencionada por Trivelin et al. (1984) que relataram haver remobilização de 7 % do ^{15}N aplicado na parte aérea para a parte subterrânea no final do ciclo, sendo essa reserva posteriormente utilizada em partes iguais entre parte aérea e sistema radicular na rebrota seguinte da cana-de-açúcar. Como o N, assim como P e S são considerados nutrientes móveis no floema (MAATHUIS, 2009) a remobilização para parte subterrânea explicaria o aumento nas concentrações observadas no momento da colheita.

Para os valores elevados de K encontrados no colmo, Shukla et al. (2009) descreve a importância do K na manutenção do balanço hídrico, por se apresentar como íon livre em altas concentrações no citosol e vacúolos da células, o que interfere na absorção, transporte e utilização de água e nutrientes, por meio da regulação da abertura e fechamento do estômatos, bem como sua interferência na atividade metabólica, convertendo açúcares intermediários em sacarose (RODRIGUES, 1995), influenciando, deste modo, direta e indiretamente no transporte

de sacarose da fonte (folha) em direção ao dreno (colmo). Assim, o aumento na concentração de sacarose no colmo após a maturação fisiológica da cana-de-açúcar e sua relação com o K, pode explicar a concentração elevada desse nutriente no colmo da cana-de-açúcar observados no final do ciclo de produção.

No que se refere à concentração dos micronutrientes nos compartimentos da cana-de-açúcar, constatou-se, de modo geral, que as doses de N também não proporcionaram efeito significativo, a exceção das concentrações na raiz para B, Fe e Zn em todos os ciclos, Cu na cana planta e segunda soca, de Mn na primeira e segunda soqueira e na concentração de Zn nos tecidos do ponteiro da primeira soca (Tabelas 4.4; 4.5). Na cana planta as concentrações de B, Cu, Fe e Zn na raiz reduziram com as doses de N, entretanto, na primeira soqueira os tratamentos proporcionaram incrementos nas concentrações de B, Fe, Mn e Zn no mesmo compartimento, com maior expressão na dose de 150 kg ha⁻¹. Na segunda soca apenas a concentração de B na raiz foi influenciada positivamente com os tratamentos, no entanto, para o Cu, Fe, Mn e Zn verificou-se reduções nos valores de concentração com as doses de N. Com relação ao efeito residual do N na terceira soca, não constatou-se influencia das doses de N na concentração dos micronutrientes em todos os compartimentos da cana-de-açúcar (Tabelas 4.4; 4.5).

Entre os compartimentos da cana-de-açúcar observou-se, assim como para os macronutrientes, diferenças nas concentrações dos micronutrientes (Tabelas 4.4; 4.5). Para o B, Cu, Fe e Mn as maiores concentrações foram observadas na raiz, com valores de 22,0, 12,9, 7.008 e 127,6 mg kg⁻¹ na cana planta e médias de 25,8, 16,9, 7.012 e 140,7 mg kg⁻¹ na cana soca, respectivamente, enquanto que para o Zn a maior concentração foi constatada no ponteiro para o ciclo de cana planta (20,2 mg kg⁻¹) e primeira soqueira (23,8 mg kg⁻¹). Na segunda e terceira soca a raiz mostrou a maior concentração com valor médio de 23,8 mg kg⁻¹. Com a segunda maior concentração de B, Cu e Fe na cana planta, o rizoma apresentou, respectivamente, valores de 11,4, 4,6 e 2.795 mg kg⁻¹, enquanto que na cana soca a concentração de B no rizoma não diferiu da FS, verificando-se médias de 7,0, 2,9 e 1.312 mg kg⁻¹. Para o Mn a segunda maior concentração foi observada na folha seca com valores de 100,6 e 106,9 mg kg⁻¹ na cana planta e cana soca, respectivamente. Com relação ao Zn a segunda concentração foi constatada na raiz para cana planta (17,9 mg kg⁻¹) e primeira soqueira (19,4 mg kg⁻¹) e no ponteiro na segunda e terceira soqueira com valor médio de 20,4 mg kg⁻¹.

Tabela 4.4 - Concentração de boro (B),cobre (Cu) e ferro (Fe) nos componentes da cana-de-açúcar em quatro ciclos agrícolas, relacionado à adubação nitrogenada

Cana Planta (2005/2006)															
Dose	B					Cu					Fe				
	RA	RI	CO	FS	PO	RA	RI	CO	FS	PO	RA	RI	CO	FS	PO
kg ha ⁻¹	mg kg ⁻¹					mg kg ⁻¹					mg kg ⁻¹				
0	28,8	12,9	3,3	7,3	5,2	15,0	5,2	1,2	1,4	3,3	7.630,1	2.547,5	79,9	535,6	397,0
40	18,0	11,9	2,1	6,0	3,1	12,3	4,9	1,1	1,8	3,2	6.627,2	3.445,6	83,5	494,3	471,6
80	22,0	7,6	1,7	3,0	1,1	13,1	4,0	1,1	2,2	3,2	7.211,7	2.776,0	96,6	415,5	338,9
120	19,0	13,5	1,5	3,0	1,6	11,3	4,3	1,0	2,2	3,1	6.309,4	2.410,9	81,4	470,7	377,4
Média	22,0A	11,4B	2,1 D	4,8 C	2,7 D	12,9A	4,6 B	1,1 E	1,9 D	3,2 C	7.008A	2.795B	86 D	479 C	396 C
F _{dose}	6,06 ^{***}	1,81 ^{NS}	0,16 ^{NS}	1,18 ^{NS}	0,87 ^{NS}	8,70 ^{***}	1,06 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,46 ^{NS}	0,04 ^{NS}	4,83 ^{**}	2,16 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,03 ^{NS}
1° Soca (2006/2007)															
0	29,3	11,4	5,6	6,3	5,0	14,1	3,4	1,3	1,6	3,4	5.968,0	1.929,4	87,6	391,9	231,6
50	33,9	11,0	6,4	8,1	6,0	14,5	3,6	1,7	2,2	2,9	6.801,9	1.800,7	62,3	430,4	202,1
100	33,0	10,1	6,3	7,2	6,5	13,7	3,2	2,0	2,1	2,9	6.711,5	1.636,6	90,5	422,8	218,8
150	38,4	10,3	5,6	5,3	5,3	14,8	3,2	1,2	1,8	2,8	7.795,1	1.592,1	58,4	357,5	284,2
Média	33,7A	10,7B	6,0 B	6,8 B	5,7 B	14,3A	3,4 B	1,5 C	1,9 C	3,0 B	6.819A	1.739B	74 D	400 C	234 C
F _{dose}	9,24 ^{***}	0,23 ^{NS}	0,13 ^{NS}	0,94 ^{NS}	0,28 ^{NS}	1,26 ^{NS}	0,19 ^{NS}	0,74 ^{NS}	0,43 ^{NS}	0,47 ^{NS}	11,92 ^{***}	0,60 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,02 ^{NS}
2° Soca (2007/2008)															
0	11,4	7,3	2,9	5,8	6,1	18,5	3,0	1,2	1,8	2,6	8.628,6	1.096,6	58,1	562,2	315,5
50	10,9	6,6	3,4	4,8	4,2	14,5	2,6	1,2	1,7	2,6	5.680,4	1.174,9	53,0	469,0	290,5
100	11,9	7,5	4,4	5,1	5,3	15,1	2,3	1,3	1,7	2,7	7.070,7	1.281,1	48,6	607,7	368,0
150	14,4	8,1	4,0	3,6	6,0	18,9	2,6	1,2	1,7	2,5	7.485,5	1.230,8	41,8	595,6	331,6
Média	12,1A	7,4 B	3,7 C	4,8 B	5,4 B	16,7A	2,7 B	1,2 B	1,7 B	2,6 B	7.216A	1.195B	50 D	558 C	326 C
F _{dose}	0,55 [*]	1,32 ^{NS}	1,20 ^{NS}	3,80 ^{NS}	0,65 ^{NS}	3,63 ^{**}	0,06 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,01 ^{NS}	10,06 ^{***}	0,04 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,27 ^{NS}	0,07 ^{NS}
3° Soca (2008/2009)															
100	31,0 a	3,4	1,5	5,2	3,7	21,1 a	2,5	1,4	2,3	2,8	7.063,8a	898,2	106,9	930,1	360,3
100	25,4 b	3,2	1,0	5,5	3,4	19,2 b	2,4	1,3	1,9	2,9	6.161,7b	885,1	121,4	933,0	281,6
100	34,2 a	2,6	1,6	4,8	3,5	20,3 a	2,5	1,2	1,9	3,0	7.216,3a	725,3	213,7	831,8	350,1
100	35,9 a	3,4	0,9	4,6	3,5	18,5 b	3,2	1,0	1,7	2,6	7.564,5a	967,4	92,8	822,0	306,6
Média	31,6A	3,1 B	1,3 C	5,0 B	3,5 B	19,8A	2,6 B	1,2 C	1,9 C	2,8 B	7.001 A	869 B	133 C	879 B	324 C
F _{dose}	6,92 ^{***}	0,05 ^{NS}	0,04 ^{NS}	0,05 ^{NS}	0,01 ^{NS}	2,90 ^{**}	0,25 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,15 ^{NS}	0,05 ^{NS}	4,00 ^{***}	0,01 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,04 ^{NS}	0,01 ^{NS}

RA: raiz; RI: rizoma; CO: colmo; FS: folha seca; PO: ponteiro; médias seguida de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Scott Knott a 5 % de probabilidade; ^{NS} não significativo, ^{*}, ^{**}, ^{***} significativo, respectivamente, a 10, 5 e 1 % de probabilidade

Tabela 4.5 - Concentração de manganês (Mn) e zinco (Zn) nos componentes da cana-de-açúcar em quatro ciclos agrícolas, relacionado à adubação nitrogenada

Cana Planta (2005/2006)										
Dose	Mn					Zn				
	RA	RI	CO	FS	PO	RA	RI	CO	FS	PO
kg ha ⁻¹	----- mg kg ⁻¹ -----					----- mg kg ⁻¹ -----				
0	137,9	54,6	21,4	86,5	61,6	19,8	8,1	5,45	7,4	22,7
40	106,4	46,1	23,0	99,7	67,0	18,3	7,0	5,54	7,9	20,0
80	136,9	51,5	21,3	102,4	57,1	17,9	5,5	4,10	6,8	19,0
120	129,3	65,5	23,9	114,0	65,8	15,8	7,4	4,92	8,4	19,2
Média	127,6 A	54,5 C	22,4 D	100,6 B	62,9 C	17,9 B	7,0 C	5,0D	7,6 C	20,2 A
F _{dose}	2,11 ^{NS}	0,65 ^{NS}	0,01 ^{NS}	1,25 ^{NS}	1,19 ^{NS}	2,40*	1,13 ^{NS}	0,38 ^{NS}	0,40 ^{NS}	2,61 ^{NS}
1° Soca (2006/2007)										
0	103,2	42,0	24,6	92,3	61,6	18,0	12,9	5,7	8,7	21,6
50	124,3	41,8	20,3	92,0	56,7	19,0	16,8	4,4	12,9	32,4
100	122,7	37,7	18,8	93,4	55,7	18,5	11,2	5,3	10,5	22,4
150	150,9	38,5	22,2	99,8	61,4	22,0	16,0	4,5	8,1	19,0
Média	125,3 A	40,0 C	21,5 D	94,3 B	58,8 C	19,4 B	14,2 C	5,0 E	10,1 D	23,8 A
F _{dose}	4,60 ^{***}	0,06 ^{NS}	0,07 ^{NS}	0,16 ^{NS}	0,11 ^{NS}	2,68*	1,47 ^{NS}	0,08 ^{NS}	0,95 ^{NS}	7,22 ^{***}
2° Soca (2007/2008)										
0	208,2	39,5	27,0	122,1	65,1	28,9	7,3	4,8	10,5	22,6
50	129,5	40,0	24,6	117,3	70,1	20,9	7,2	4,0	13,0	22,0
100	157,8	44,0	24,5	118,9	68,4	25,6	6,4	4,5	7,6	20,2
150	158,5	48,7	28,5	129,0	69,5	24,4	10,0	4,8	11,3	18,4
Média	163,5 A	43,1 D	26,1 D	121,8 B	68,3 C	24,9 A	7,7 D	4,5 E	10,5 C	20,8 B
F _{dose}	7,35 ^{***}	0,12 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,18 ^{NS}	0,03 ^{NS}	2,96 ^{**}	0,63 ^{NS}	0,03 ^{NS}	1,41 ^{NS}	0,98 ^{NS}
3° Soca (2008/2009)										
100	124,9	34,3	24,4	100,6	46,8	23,3 a	13,5	5,3	10,8	19,4
100	130,3	35,8	22,8	106,7	50,3	20,0 a	10,7	5,2	8,1	20,5
100	137,9	33,7	22,3	105,7	49,6	22,5 a	9,7	5,1	9,0	21,5
100	140,1	37,7	22,0	105,8	48,1	25,1 a	10,8	4,0	10,5	18,7
Média	133,3 A	35,4 D	22,9 D	104,7 B	48,7 C	22,7 A	11,2 C	4,9 D	9,6 C	20,0 B
F _{dose}	0,62 ^{NS}	0,04 ^{NS}	0,14 ^{NS}	0,10 ^{NS}	0,03 ^{NS}	2,63 ^{**}	1,57 ^{NS}	0,22 ^{NS}	0,96 ^{NS}	0,94 ^{NS}

RA: raiz; RI: rizoma; CO: colmo; FS: folha seca; PO: ponteiro; médias seguida de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Scott Knott a 5 % de probabilidade; ^{NS} não significativo, ^{*,**,***} significativo, respectivamente, a 10, 5 e 1 % de probabilidade

As menores concentrações foram verificadas no colmo para todos os micronutrientes, constatando-se valores na cana planta de 2,1, 1,1, 86, 22,4 e 5,0 mg kg⁻¹ e de 3,5, 1,3, 85, 23,5 e 4,8 na cana soca, respectivamente, para B, Cu, Fe, Mn e Zn. Assim, as maiores concentrações dos micronutrientes nos tecidos da raiz, ponteiro e rizoma e menores no colmo, confirmam capacidade de ciclagem dos nutrientes pela cana-de-açúcar no sistema solo-planta, disponibilizando, para os ciclos subsequentes, nutrientes de difícil reposição como os micronutrientes, mantendo a capacidade produtiva dos solos cultivados com cana-de-açúcar.

A concentração de Cu, Mn e Zn no colmo em ambos os ciclos de produção e B na cana planta foi inferior a obtida por Orlando Filho; Zambello Junior; Haag (1980b, 1980c, 1980d, 1980e) no cultivar CB41-79. Para o B na cana soca e o Fe na cana planta e cana soca, as concentrações mostraram-se semelhantes. Nogueira et al. (2007) verificaram para o mesmo cultivar deste estudo, plantado em Latossolo Vermelho destroférico, concentrações médias para Fe e Zn na ordem de 172,9 e 8,22 mg kg⁻¹, respectivamente, sendo esses valores superiores a da presente pesquisa, por outro lado, a concentração média de Mn (17,1 mg kg⁻¹) se mostrou inferior.

A principal função biológica do B promovendo a integridade estrutural da membrana plasmática e a participação do Cu, Fe, Mn e Zn como constituintes integrais de enzimas e outras entidades essenciais do metabolismo (HANSCH; MENDEL, 2009; EPSTEIN; BLOOM, 2006), confere menor remobilização desses nutrientes no floema dos vegetais, traduzindo em pouca translocação dos micronutrientes da fonte (folhas ativas) para o dreno (colmo). Essa particularidade pode explicar a menor concentração desses nutrientes no colmo. Por outro lado, a maior concentração de B, Cu, Fe e Mn na raiz, pode ser explicado devido à redução do crescimento e da taxa transpiratória a partir do mês abril até a colheita (Figuras 2.1 a 2.3), reduzindo o fluxo dos micronutrientes para compartimentos em formação, como o ponteiro, o que proporcionou maiores concentrações na parte subterrânea. Para os resultados de Zn, verificou-se que a concentração do ponteiro permaneceu constante em todos os ciclos de produção, no entanto, os valores encontrados para no componente raiz aumentou na segunda e terceira soca proporcionando valores significativamente maiores quando comparado aos resultados do ponteiro. O aumento encontrado na concentração de Zn nas últimas soqueiras, possivelmente é devido a maior disponibilidade desse micronutriente em virtude da mineralização do material vegetal que

foi incorporado na renovação do canavial e soca subsequente, uma vez que não houve outra forma entrada de Zn nos três experimentos estudados.

Entre os nutrientes avaliados, a sequência de grandeza na cana planta apresentou diferença entre os compartimentos da cana-de-açúcar, constatando-se para raiz a seguinte ordem: $Fe > N > K > Ca > S > Mg > P > Mn > B > Zn > Cu$, enquanto que no rizoma a ordem foi de: $N > K > Fe > Ca > S > P > Mg > Mn > B > Zn > Cu$. Na parte aérea verificou-se no colmo ordem de: $K > N > S > Ca > Mg > P > Fe > Mn > Zn > B > Cu$, para as folhas secas a ordem de concentração dos nutrientes foi de: $K > Ca > N > Mg > S > Fe > P > Mn > Zn > B > Cu$, enquanto que no ponteiro de $K > N > Ca > Mg > S=P > Fe > Mn > Zn > Cu > B$ (Tabelas 4.2; 4.3; 4.4; 4.5). No ciclo de cana soca a concentração média dos nutrientes na raiz foi de: $Fe > N > Ca > K > S > Mg > P > Mn > B > Zn > Cu$ e de: $N > K > Fe > Ca > S > P > Mg > Mn > Zn > B > Cu$ no rizoma. Na parte aérea verificou-se na folha seca a ordem de: $K > N > S > Ca > Mg > P > Fe > Mn > Zn > B > Cu$ e nos ponteiros de $K > N > Ca > Mg > S=P > Fe > Mn > Zn > B > Cu$, enquanto que no colmo a sequência de grandeza não diferenciou a observada na cana planta.

4.3.2 Produção de matéria seca entre os compartimentos da cana-de-açúcar

A matéria seca produzida entre os compartimentos apresentou diferentes respostas com as doses de N nos ciclos de produção (Tabela 4.6). Na cana planta apenas a matéria seca do colmo foi influenciada positivamente com os tratamentos, enquanto que matéria seca da parte subterrânea (raiz+rizoma) e da folhas (folha seca + ponteiro) não diferenciou o que proporcionou efeito positivo na matéria seca produzida por toda planta (PT). No ciclo de cana soca verificaram-se diferentes respostas com níveis de N na produção de matéria seca entre os compartimentos (Tabela 4.6). Na primeira e segunda soca a adubação nitrogenada não proporcionou ganhos significativos na matéria seca entre os compartimentos avaliados, contudo constatou-se que a produção total na segunda soqueira apresentou efeito positivo. Na terceira soqueira, observou-se efeito residual na produção de matéria seca do colmo e da planta toda com as doses de 100 e 150 kg ha⁻¹ de N aplicadas na primeira (2006/2007) e segunda (2007/2008) soca, mesmo que não tenha sido constatada variações significativas nas concentrações dos nutrientes para este compartimento (Tabelas 4.2 a 4.5).

Tabela 4.6 - Massa de matéria seca dos componentes da cana-de-açúcar em quatro ciclos agrícolas, relacionado à adubação nitrogenada

Cana Planta (2005/2006)				
Dose kg ha ⁻¹	Matéria Seca			
	RA+RI	CO	FS+PO	PT
	Mg ha ⁻¹			
0	6,7	33,8	12,0	53,6
40	6,9	40,8	13,5	61,2
80	7,8	41,5	13,2	62,3
120	7,3	41,1	14,1	62,6
Média	7,2 D	39,2 B	13,5 C	60,0 A
F _{dose}	0,06 ^{NS}	4,00 ^{***}	0,06 ^{NS}	5,54 ^{***}
1° Soca (2006/2007)				
0	5,4	21,7	12,3	38,4
50	5,4	21,7	12,3	38,0
100	6,2	22,5	12,1	39,1
150	5,5	22,7	12,3	39,2
Média	5,6 D	22,2 B	12,3 C	38,7 A
F _{dose}	0,21 ^{NS}	0,41 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,51 ^{NS}
2° Soca (2007/2008)				
0	3,6	20,1	10,6	34,4
50	3,8	20,2	10,0	34,2
100	3,6	22,2	10,0	35,9
150	3,8	24,0	11,5	39,4
Média	3,7 D	21,6 B	10,5 C	36,0 A
F _{dose}	0,01 ^{NS}	1,89 ^{NS}	0,20 ^{NS}	2,54 ^{**}
3° Soca (2008/2009)				
100	3,3	27,5 b	13,3	44,2 b
100	3,0	27,1 b	13,5	43,7 b
100	3,1	30,0 a	13,9	47,4 a
100	3,0	29,1 a	14,1	46,2 a
Média	3,1 D	28,4 B	13,7 C	45,3 A
F _{dose}	0,02 ^{NS}	2,70 ^{**}	0,19 ^{NS}	4,31 ^{***}

RA+ RI: raiz + rizoma; CO: colmo; FS + PO: folha seca + ponteiro; PT: planta toda; Médias seguida de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Scott Knott a 5 % de probabilidade; ^{NS} não significativo, ^{*}, ^{**}, ^{***} significativo, respectivamente, a 10, 5 e 1 % de probabilidade.

A matéria seca produzida em cada compartimento apresentou diferença e apresentou o mesmo comportamento entre os ciclos de produção (Tabela 4.6), verificando-se no colmo as maiores produções, com valores de 39,2 Mg ha⁻¹ na cana planta e média de 24,0 Mg ha⁻¹ na cana soca, equivalendo a 65 e 60 %, respectivamente, da matéria seca produzida por toda planta. A matéria seca produzida pela folha seca + ponteiro superou as obtidas pela raiz + rizoma, constatando-se na cana planta e cana soca produções superiores em 6,3 e 4,1 Mg ha⁻¹, respectivamente. A superioridade da matéria seca do colmo no final do ciclo de crescimento também foi observada em onze cultivares conduzidos sob irrigação plena no Estado de Pernambuco (OLIVEIRA et al., 2010b) e no cultivar RB92579 em sequeiro no Estado de Alagoas (ALMEIDA et al., 2008), entretanto as produções obtidas no presente estudo foram menores quando comparadas as obtidas pelos autores. Por outro lado, Ishikawa et al. (2009) estudando o efeito de doses de N em quatro cultivares da cana-de-açúcar cultivadas no Japão e Shukla et al. (2009) avaliando na Índia o efeito de doses de potássio na cana soca, constataram produções de matéria seca do colmo inferiores as obtidas nesta pesquisa com valores médios de 12 Mg ha⁻¹.

Com ralação a matéria seca produzida pela folha seca e ponteiro, os resultados observados, corroboram com os encontrados em outras pesquisas, sendo observado valores médios que variaram de 7,5 a 12 Mg ha⁻¹ em diferentes cultivares e solos avaliados (OLIVEIRA et al., 2010b; SILVA, 2007; ORLANDO FILHO; HAAG; ZAMBELLO JUNIOR, 1980a).

4.3.3 Extração e compartimentação de nutrientes na cana-de-açúcar

A compartimentação dos nutrientes na cana-de-açúcar apresentou diferença entre os ciclos de crescimento e com as doses de N (Tabelas 4.7 a 4.10). Na cana planta verificou-se aumento na extração total (PT) de N, P, K e S até a dose de 80 kg ha⁻¹, enquanto que para Ca e Mg os ganhos foram lineares com os tratamentos (Tabela 4.7; 4.8). Incrementos nas extrações de N com a adubação nitrogenada em cana planta também foi observada por Trivelin et al. (2002); Korndorfer et al. (1997) em cultivares mais recentes e utilizadas no centro sul do Brasil. Franco et al. (2007), em experimento desenvolvido em vaso, utilizando o cultivar SP80-1842, constataram que apenas o N e S obtiveram aumentos significativos nas extrações da parte aérea com a adubação nitrogenada, o que difere dos resultados obtidos no presente estudo para P, K, Ca

e Mg, porém corroborando com os resultados encontrados no cultivar RB867515 em estudo realizado em campo para o mesmo ciclo de produção (SCHULTZ et al., 2010).

Na primeira soqueira o efeito positivo da adubação nitrogenada nas extrações totais ocorreu exclusivamente para o N e P, por outro lado na segunda soqueira, apenas o P não apresentou ganhos no total acumulado. Em condições de campo Schultz et al. 2010 verificaram que as extrações dos macronutrientes na parte aérea da na cana soca, não foi influenciado positivamente com aumento da disponibilidade de N, com exceção do K que apresentou ganhos lineares com as maiores doses de N.

Entre os compartimentos da cana-de-açúcar, não se constatou efeito das doses de N no acúmulo dos macronutrientes, com exceção do colmo para P e S na cana planta, P na primeira soca e N, K, Ca, Mg e S na segunda soca, no qual foram observados incrementos significativos com a adubação nitrogenada. Adicionalmente, também se observou ganhos lineares para o acúmulo de Ca na folha seca somada ao ponteiro na segunda soqueira (Tabela 4.8). A baixa influencia da adubação nitrogenada na quantidade acumulada de N no colmo para cana planta e cana soca colhida sem queima, também foi verificada por Schultz et al., 2010 em áreas com histórico de aplicação de vinhaça, por outro lado, aumentos lineares no acúmulo de N para o colmo na cana soca, em função de doses de N foi verificado por Ishikawa et al. (2009) nas condições edafoclimáticas do Japão, com utilização de cultivares de cana-de-açúcar destinadas a produção de forragem.

As doses de N aplicadas na primeira e segunda soqueira demonstraram efeito residual na terceira soqueira apenas para o S alocado no colmo, com aumento da quantidade acumulada (Tabela 4.8). Nas extrações totais, o N e S extraído em toda planta, apresentaram efeito residual positivo com a aplicação de 100 e 150 kg ha⁻¹ nas socarias anteriores (Tabela 4.7; 4.8). A interação positiva entre N e S foi constatada por Batista (1977) no cultivar NA56-79, ao observarem aumento no acúmulo de S com as doses de N. Segundo Canterella (2007) a deficiência de S no sistema solo-planta normalmente proporciona redução no aproveitamento do adubo nitrogenado. As assimilações de S e N são bem coordenadas, com a deficiência de um elemento reprimindo a via assimilativa do outro (KOPRIVOVA et al., 2000), uma vez que o S é constituinte dos aminoácidos cisteína e metionina e das proteínas que os contém. Assim, plantas insuficientemente supridas com S não assimilam o N em proteínas, se acumulando na forma de aminas, amidas e aminoácidos solúveis (EPISTEIN; BOOLM, 2006).

Tabela 4.7 - Compartimentação de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) nos componentes da cana-de-açúcar em quatro ciclos agrícolas, relacionado à adubação nitrogenada

Cana Planta (2005/2006)													
Dose	N				P				K				
	RA+RI	CO	FS+PO	PT	RA+RI	CO	FS+PO	PT	RA+RI	CO	FS+PO	PT	
	kg ha ⁻¹				kg ha ⁻¹				kg ha ⁻¹				
0	32,1	78,5	53,6	164,2	4,4	10,7	5,3	20,5	20,4	206,8	116,2	343,4	
40	31,6	89,5	59,7	180,9	4,9	11,9	5,5	22,4	22,0	259,2	106,6	387,9	
80	37,2	94,3	60,4	192,0	4,6	14,0	5,1	23,9	24,7	312,4	114,2	451,5	
120	35,7	94,3	56,3	186,4	4,3	13,3	5,5	23,2	16,1	250,1	113,5	379,8	
Média	34,1 D	89,1 B	57,5 C	180,9 A	4,6 C	12,5 B	5,4 C	22,5 A	20,8 D	257,1 B	112,6 C	390,0 A	
F _{dose}	0,20 ^{NS}	1,51 ^{NS}	0,28 ^{NS}	4,03 ^{***}	0,09 ^{NS}	2,52 [*]	0,03 ^{NS}	2,47 [*]	0,04 ^{NS}	6,31 ^{***}	0,05 ^{NS}	6,77 ^{***}	
1° Soca (2006/2007)													
0	22,0	46,6	61,9	130,6	3,1	8,7	6,6	18,6	17,9	134,6	113,4	266,0	
50	23,3	53,1	62,9	139,4	3,1	9,1	6,8	19,1	18,2	132,4	107,3	258,0	
100	26,7	48,2	60,3	135,3	3,6	9,3	6,2	19,2	20,7	137,7	97,6	256,1	
150	24,6	52,8	65,9	143,4	3,2	8,2	6,6	18,2	17,3	133,0	112,8	263,2	
Média	24,1 D	50,2 C	62,7 B	137,2 A	3,3 D	8,8 B	6,5 C	18,8 A	18,5 D	134,4 B	107,8 C	260,8 A	
F _{dose}	0,18 ^{NS}	0,80 ^{NS}	0,26 ^{NS}	0,73 ^{**}	0,09 ^{NS}	2,52 [*]	0,03 ^{NS}	2,47 [*]	0,02 ^{NS}	0,06 ^{NS}	0,61 ^{NS}	0,24 ^{NS}	
2° Soca (2007/2008)													
0	14,3	29,4	42,9	86,6	3,3	7,9	6,0	17,3	12,7	99,2 b	98,4	210,4	
50	15,5	34,6	37,8	88,0	3,2	7,4	5,3	16,1	12,2	121,7 b	88,0	222,0	
100	14,6	38,5	38,2	91,4	2,3	8,4	5,5	16,2	11,5	157,4 a	90,7	259,8	
150	16,9	41,4	46,3	104,8	2,7	7,6	6,2	16,6	13,3	147,0 a	107,6	268,1	
Média	15,3 D	36,0 C	41,3 B	92,7 A	2,9 D	7,8 B	5,7 C	16,5 A	12,4 D	131,9 B	96,2 C	240,1 A	
F _{dose}	0,12 ^{NS}	2,34 [*]	1,42 ^{NS}	5,97 ^{***}	0,54 ^{NS}	0,43 ^{NS}	0,43 ^{NS}	0,73 ^{NS}	0,02 ^{NS}	2,94 ^{**}	0,33 ^{NS}	3,14 ^{***}	
3° Soca (2008/2009)													
100	18,5	83,3	91,5	193,5 b	1,9	11,6	10,0	23,6	9,0	184,1	167,9	361,1 a	
100	16,7	86,3	93,9	197,0 b	1,6	10,6	11,1	23,4	7,3	189,9	176,3	373,6 a	
100	19,2	91,6	101,9	212,7 a	2,0	11,5	11,8	25,4	8,6	189,7	182,3	404,4 a	
100	18,1	93,9	98,1	210,1 a	1,7	10,8	11,2	23,8	8,6	207,5	188,2	380,7 a	
Média	18,1 D	88,8 C	96,4 B	203,3 A	1,85 C	11,0 B	11,1 B	24,1 A	8,4 C	192,8 B	178,7 B	379,9 A	
F _{dose}	0,05 ^{NS}	1,19 ^{NS}	0,36 ^{NS}	4,62 ^{***}	0,53 ^{NS}	0,53 ^{NS}	1,14 ^{NS}	1,53 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,78 ^{NS}	0,57 ^{NS}	2,52 ^{**}	

RA+ RI: raiz + rizoma; CO: colmo; FS + PO: folha seca + ponteiro; PT: planta toda; Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Scott Knott a 5 % de probabilidade; ^{NS} não significativo, ^{*}, ^{**}, ^{***} significativo, respectivamente, a 10, 5 e 1 % de probabilidade.

Tabela 4.8 - Compartimentação de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) nos componentes da cana-de-açúcar em quatro ciclos agrícolas, relacionado à adubação nitrogenada

Cana Planta (2005/2006)													
Dose	Ca				Mg				S				
	RA+RI	CO	FS+PO	PT	RA+RI	CO	FS+PO	PT	RA+RI	CO	FS+PO	PT	
	kg ha ⁻¹				kg ha ⁻¹				kg ha ⁻¹				
0	10,0	22,8	39,6	72,5	4,3	19,9	14,0	38,3	6,1	20,2	10,0	36,3	
40	10,7	30,0	42,0	82,7	4,5	24,0	14,7	43,2	6,5	27,8	11,1	45,4	
80	10,4	28,2	40,8	79,1	4,9	23,3	14,9	43,2	7,7	26,7	10,8	45,4	
120	11,8	25,5	48,1	85,4	4,6	24,4	16,6	45,6	6,5	25,9	10,3	42,8	
Média	10,6 D	26,6 C	42,6 B	79,9 A	4,6 D	22,9 B	15,0 C	42,6 A	6,7 D	25,1 B	10,5 C	45,5 A	
F _{dose}	0,07 ^{NS}	1,04 ^{NS}	1,53 ^{NS}	3,36 ^{**}	0,02 ^{NS}	1,18 ^{NS}	0,32 ^{NS}	2,71 ^{**}	0,18 ^{NS}	4,26 ^{***}	0,09 ^{NS}	6,76 ^{***}	
1° Soca (2006/2007)													
0	7,7	12,3	39,4	59,6	3,0	15,8	14,1	33,0	4,1	44,7	10,8	59,6	
50	8,7	15,0	38,7	62,5	3,1	17,9	14,6	35,1	4,7	37,4	10,6	52,8	
100	9,9	14,5	39,3	63,8	3,3	19,4	13,7	36,5	5,3	45,7	11,0	62,1	
150	8,9	11,1	42,4	62,5	3,2	15,6	14,3	33,2	4,9	45,4	12,5	62,9	
Média	8,8 D	13,2 C	40,0 B	62,1 A	3,2 D	17,0 B	14,2 C	34,4 A	4,7 D	43,3 B	11,2 C	59,4 A	
F _{dose}	0,34 ^{NS}	1,43 ^{NS}	1,19 ^{NS}	1,38 ^{NS}	0,01 ^{NS}	1,88 ^{NS}	0,10 ^{NS}	1,65 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,20 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,27 ^{NS}	
2° Soca (2007/2008)													
0	5,8	10,7	34,1	50,6	2,5	13,0	13,1	28,8	3,1	9,2	8,3	20,7	
50	5,1	12,3	35,5	53,0	2,3	14,1	12,4	28,9	3,1	9,8	8,2	21,3	
100	5,1	16,8	34,3	56,3	2,1	16,5	12,0	30,7	3,1	11,9	8,3	23,3	
150	6,5	16,4	39,6	62,6	2,4	16,4	14,0	32,9	3,4	11,8	9,8	25,1	
Média	5,6 D	14,1 C	35,9 B	55,6 A	2,3 D	15,0 B	12,9 C	30,3 A	3,2 D	10,6 B	8,6 C	22,6 A	
F _{dose}	0,14 ^{NS}	3,09 ^{**}	2,12 [*]	8,87 ^{***}	0,02 ^{NS}	2,50 ^{**}	0,68 ^{NS}	3,11 ^{**}	0,06 ^{NS}	4,19 ^{***}	1,26 ^{NS}	8,89 ^{***}	
3° Soca (2008/2009)													
100	7,9	29,6	49,7	87,2	2,0	19,9	16,3	38,4	2,2	11,8 b	12,1	26,1 b	
100	7,3	25,6	49,9	82,9	1,9	18,5	16,0	36,5	2,2	11,9 b	12,6	26,8 b	
100	6,7	28,3	50,0	86,1	2,0	19,8	16,3	38,2	2,5	14,2 a	13,6	30,2 a	
100	7,4	26,4	49,9	83,8	1,9	19,0	16,0	36,9	2,4	13,7 a	12,8	29,1 a	
Média	7,3 D	27,5 C	50,1 B	85,0 A	1,98 D	19,3 B	16,2 C	37,5 A	2,36 C	12,9 B	12,8 B	18,1 A	
F _{dose}	0,98 ^{NS}	0,62 ^{NS}	0,06 ^{NS}	0,74 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,66 ^{NS}	0,05 ^{NS}	1,20 ^{NS}	0,05 ^{NS}	2,87 ^{**}	0,77 ^{NS}	7,44 ^{***}	

RA+ RI: raiz + rizoma; CO: colmo; FS + PO: folha seca + ponteiro; PT: planta toda; Médias seguida de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Scott Knott a 5 % de probabilidade; ^{NS} não significativo, ^{*, **, ***} significativo, respectivamente, a 10, 5 e 1 % de probabilidade.

Sem considerar o efeito da adubação nitrogenada, a extração pela cana-de-açúcar dos macronutrientes também diferenciou entre os compartimentos da planta nos ciclos de produção (Tabelas 4.7; 4.8). Na parte subterrânea (raiz + rizoma) ocorreu os menores acúmulos de N, P, K, Ca, Mg e S, representando 18, 20, 5, 13, 10 e 14 % na cana planta e média de 13, 13, 4, 10, 7 e 10 % na cana soca, do total extraído pela planta, respectivamente. Na parte aérea, observaram-se no colmo os maiores valores de N no ciclo de cana planta, enquanto que as maiores remoções na cana soca foram encontradas na soma das folhas com os ponteiros, o que contabilizou percentuais de 49 e média de 46 %, respectivamente. O acúmulo de P, K, Mg e S para todos os ciclos avaliados, foi maior no colmo, equivalendo, respectivamente, a 55, 66, 54 e 55 % na cana planta e a 46, 52, 50, 67 % na cana soca. Para o Ca os maiores acúmulos ocorreram nas folhas e ponteiros correspondendo a 53 % na cana planta e 62 % na cana soca de todo nutriente extraído pela planta. Esses valores percentuais demonstram a alta exportação de P, K, Mg e S pelo colmo da cana-de-açúcar, em contra partida evidenciam menores perdas de N e Ca e sua reintrodução após o corte do canavial colhido sem queima.

Os resultados de compartimentação com a soma da parte subterrânea (raiz+ rizoma) e FS + PO, indicam a capacidade da cana planta em conservar no sistema solo-planta para os ciclos subsequentes aproximadamente 91, 10, 133, 53, 19, 17 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente, mantendo, até renovação do canavial durante os ciclos de cana soca ciclagem média de 85, 10, 140, 49, 16 e 14 kg ha⁻¹, respectivamente (Tabelas 4.7; 4.8). Por outro lado, torna-se importante levar em consideração as perdas por exportação com a colheita do colmo, que obteve, respectivamente, valores de 89, 12, 257, 26, 22, 25 kg ha⁻¹ na cana planta e médias de 58, 9, 153, 18, 17, 22 kg ha⁻¹ na cana soca para N, P, K, Ca, Mg e S.

A partir da identificação das entradas e saídas dos macronutrientes em solos cultivados com a cana-de-açúcar colhidos sem queima, verificou-se que 57 % do N (350 kg ha⁻¹) e 71 % do Ca (200 kg ha⁻¹) do total extraído em quatro ciclos permaneceram no solo, por outro lado, o balanço de P, K, Mg e S indicou que as exportações foram mais elevadas equivalendo, respectivamente, a 50 (40 kg ha⁻¹), 56 (715 kg ha⁻¹), 52 (74 kg ha⁻¹) e 58 % (83 kg ha⁻¹) do total removido pela planta, o que evidencia a importância do preparo do solo na implantação do canavial com calcário e gesso como fonte de Ca, Mg e S, bem como o uso de novas técnicas da adubação fosfatada, como exemplo da realização da fosfatagem ao aplicar em área total fosfato de menor solubilidade em água a dose recomendada de P₂O₅ com fosfato solúvel no sulco,

aumentando a eficiência da adubação. Isto porque o fosfato natural ou o reativo ou o termofosfato, ambos de solubilidade mais lenta, teriam maior efeito residual e poderiam fornecer P para as soqueiras subsequentes (SANTOS et al., 2008; CANTARELLA et al., 2002). No caso da adubação potássica, os resultados demonstraram a necessidade de doses acima de 130 kg ha⁻¹ de K especialmente na primeira soqueira, para que o K no solo permaneça em níveis adequados.

Apesar das exportações de N representarem 43 % de todo nutrientes acumulado pela planta, a fertilização nitrogenada torna-se imprescindível, uma vez que a relação C:N da palha da cana-de-açúcar que retorna ao solo, detém valores em torno de 100:1 (OLIVEIRA et al., 1999), o que promove maior imobilização do N-inorgânico disponível no solo e lentas taxas de liberação para os ciclos de produção subsequente, como observado por Fortes (2010), ao verificar taxas negativas após o primeiro corte e liberação de aproximadamente 37 % (15 kg ha⁻¹) após o segundo ciclo de produção. Entretanto, novos estudos em áreas de cana-de-açúcar com logo período de colheita sem despalha a fogo, vem demonstrando equilíbrio na taxa de imobilização e mineralização, o que pode tornar a adubação nitrogenada indispensável para a cultura da cana-de-açúcar, todavia estudos mais detalhados necessitam ser desenvolvidos para confirmar essa hipótese.

No que se refere à extração dos micronutrientes entre os compartimentos, verificou-se que as doses de N não influenciaram na distribuição percentual, entretanto proporcionaram diferentes respostas na quantidade acumulada entre os ciclos de produção (Tabelas 4.9; 4.10). Na cana planta não houve efeito da adubação nitrogenada nas extrações de Cu, Fe e Mn, no entanto verificaram-se no colmo e nas extrações totais reduções na quantidade acumulada de B, todavia, para o Zn observou-se incrementos principalmente com a dose de 40 kg ha⁻¹. Na primeira soca verificou-se que as extrações totais (PT) de B, Cu, Fe e Zn foram crescentes até a dose de 100 kg ha⁻¹, enquanto que para o Mn não houve efeito das doses de N. Adicionalmente as extrações totais constatou-se que apenas o acúmulo de Cu no colmo, Fe na parte subterrânea (raiz+rizoma) e Zn na FS+PO obtiveram aumentos significativos até a doses de 100 kg ha⁻¹. Para segunda soca o B extraído por toda planta e acumulado no colmo aumentaram linearmente com as doses de N, enquanto que para o Mn e Zn o efeito dos tratamentos foram apenas observados nas extrações totais, no qual a dose de 150 kg ha⁻¹ proporcionou os maiores acúmulos. Com relação às extrações de Cu e Fe, a adubação nitrogenada influenciou negativamente nas extrações totais e na quantidade acumulada na parte subterrânea, para os demais compartimentos não houve efeito dos

tratamentos. As doses de N utilizadas na primeira e segunda soqueira de modo geral não apresentou efeito residual nas extrações dos micronutrientes entre os compartimentos da terceira socaria.

Com relação à extração dos micronutrientes nos compartimentos da cana-de-açúcar, verificou-se para o B, Cu e Zn comportamento diferenciado entre os ciclos de produção, por outro lado para o Fe e Mn a distribuição das extrações entre os compartimentos na cana planta e cana soca foram semelhantes (Tabelas 4.9; 4.10). O acúmulo de B na cana planta e nas duas primeiras socarias subsequentes foi maior no colmo, todavia, na terceira soca os maiores valores foram observados na FS+PO. As menores extrações de B no colmo para ultima soca possivelmente está relacionado à forte redução nas concentrações desse nutriente nos tecidos do colmo e dos rizomas (Tabela 4.4), o que promoveu reduções nas extrações finais, tornando-se inferior as encontradas na FS+PO. A partir dos resultados observou-se que as exportações de B pelo colmo corresponderam a 48 % na cana planta, 44 % nas duas soqueiras iniciais e 26 % na terceira soca.

As extrações de Cu mostraram na cana planta e na primeira soca os maiores acúmulos na parte subterrânea (raiz+rizoma) e no colmo. Na segunda soca as maiores remoções foram observados no colmo, enquanto que na terceira soqueira não se constatou diferença nas extrações obtidas entre os compartimentos, o que proporcionou distribuição percentual de Cu na cana planta na ordem de: RA+RI (40 %), CO (33 %) e FS+PO (27 %) e na cana soca com percentuais médios de: CO (35 %), RA+RI (34 %) e FS+PO (31 %).

A compartimentação do Fe apresentou na RA+RI os maiores acúmulos para todos os ciclos de produção, correspondendo a 74 % na cana planta e 62 % na cana soca do total extraído pela planta (Tabela 4.9). Com os menores valores os acúmulos no colmo representaram, respectivamente, 9,4 e 10 % das extrações totais. Para o Mn a distribuição percentual foi semelhante entre os ciclos de produção, sendo observado os maiores acúmulos na FS + PO, seguido do CO e da RA+RI, apresentando deste modo a seguinte ordem percentual de grandeza: 47, 34, 19 % na cana planta e média de 54, 32, 14 % na cana soca, respectivamente (Tabela 4.10).

Tabela 4.9 - Compartimentação de boro (B), cobre (Cu) e ferro (Fe) nos componentes da cana-de-açúcar em quatro ciclos agrícolas, relacionado à adubação nitrogenada

Cana Planta (2005/2006)												
Dose	B				Cu				Fe			
	RA+RI	CO	FS+PO	PT	RA+RI	CO	FS+PO	PT	RA+RI	CO	FS+PO	PT
	g ha ⁻¹				g ha ⁻¹				g ha ⁻¹			
0	92,6	212,1	84,4	389,1	47,7	38,4	25,5	111,7	24.945,6	2.835,1	6.460,4	34.241,1
40	82,9	166,3	66,9	316,2	45,9	43,0	30,1	119,0	29.144,4	3.509,2	6.678,0	39.332,3
80	73,4	78,6	31,6	183,6	48,5	43,4	33,0	125,0	29.129,2	4.248,3	5.220,6	38.598,2
120	108,9	72,5	37,7	215,2	50,1	34,5	34,6	119,4	28.292,6	3.510,3	6.198,8	38.001,8
Média	88,4 C	132,4 B	55,2 C	276,0 A	48,0 B	39,8 B	30,8 C	118,7 A	27.878B	3.525D	6.139C	37.543A
F _{dose}	0,86 ^{NS}	6,39 ^{***}	0,84 ^{NS}	12,1 ^{***}	0,06 ^{NS}	0,37 ^{NS}	0,34 ^{NS}	0,63 ^{NS}	0,40 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,04 ^{NS}	0,52 ^{NS}
1° Soca (2006/2007)												
0	93,8	115,1	77,2	286,2	37,9	30,3	29,8	98,4	16.488,6	1.821,2	4.060,7	22.370,6
50	102,4	134,1	90,6	327,1	40,8	37,5	30,8	109,2	18.971,1	1.346,3	4.342,0	24.659,4
100	113,0	140,9	85,8	339,8	42,8	48,2	29,7	120,7	20.695,0	2.138,2	4.289,6	27.122,9
150	112,1	123,2	68,9	304,3	42,6	28,0	28,0	98,7	19.683,3	1.278,5	4.019,5	24.981,4
Média	105,3 C	128,3 B	80,6 D	314,9 A	41,0 B	36,1 B	29,6 C	106,8 A	18.959B	1.646D	4.178C	24.783A
F _{dose}	0,56 ^{NS}	0,90 ^{NS}	0,62 ^{NS}	3,89 ^{***}	0,20 ^{NS}	3,26 ^{**}	0,05 ^{NS}	4,47 ^{***}	2,27 [*]	0,11 ^{NS}	0,01 ^{NS}	2,67 ^{**}
2° Soca (2007/2008)												
0	30,7	58,1	60,9	149,8	30,5	25,8	23,1	79,5	12.729,7	982,0	4.815,2	18.527,0
50	29,5	70,4	48,6	148,6	21,7	26,4	20,6	68,8	8.371,2	944,0	4.209,5	13.524,8
100	30,6	91,6	55,3	177,5	17,3	30,6	21,5	69,6	8.384,3	1.075,8	5.561,3	15.021,6
150	38,5	93,9	54,7	187,2	24,1	31,6	24,2	80,0	9.506,2	893,3	5.650,1	16.049,0
Média	32,3 C	78,5 B	54,9 C	165,8 A	23,4 C	28,6 B	22,4 C	74,5 A	9.747B	973D	5.059C	15.780A
F _{dose}	0,17 ^{NS}	2,93 ^{**}	0,25 ^{NS}	3,80 ^{***}	2,74 ^{**}	0,77 ^{NS}	0,23 ^{NS}	3,39 ^{**}	3,33 ^{**}	0,01 ^{NS}	0,36 ^{NS}	3,48 ^{**}
3° Soca (2008/2009)												
100	47,6	40,3 a	61,1	149,1 a	37,7	38,6	35,2	111,6 a	11.101,6	2.844,5a	8.1335,5	22.081,7a
100	32,5	27,3 b	56,8	115,8 b	31,4	36,0	34,9	102,3 b	8.672,2	3.095,1a	7.254,3	19.021,7a
100	41,2	50,3 a	57,4	149,0 a	31,0	37,3	36,8	105,2 a	9.449,9	6.558,8a	7.749,5	23.758,2a
100	52,3	27,5 b	57,3	137,2 a	32,0	31,2	33,0	96,4 b	10.989,0	2.600,6a	7.559,0	21.148,8a
Média	43,4 C	36,8 C	58,2 B	138,0 A	33,0 B	35,8 B	35,0 B	103,9 A	10.053B	3.774D	7.674C	21.502A
F _{dose}	1,87 ^{NS}	3,18 ^{**}	0,96 ^{NS}	5,94 ^{***}	0,84 ^{NS}	0,44 ^{NS}	0,20 ^{NS}	3,41 ^{**}	0,86 ^{NS}	2,12 [*]	0,08 ^{NS}	2,37 [*]

RA+ RI: raiz + rizoma; CO: colmo; FS + PO: folha seca + ponteiro; PT: planta toda; Médias seguida de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Scott Knott a 5 % de probabilidade; ^{NS} não significativo, ^{*,**,*} significativo, respectivamente, a 10, 5 e 1 % de probabilidade.

Tabela 4.10 - Compartimentação de manganês (Mn) e zinco (Zn) nos componentes da cana-de-açúcar em quatro ciclos agrícolas, relacionado à adubação nitrogenada

Cana Planta (2005/2006)									
Dose	Mn				Zn				
	RA+RI	CO	FS+PO	PT	RA+RI	CO	FS+PO	PT	
	----- g ha ⁻¹ -----				----- g ha ⁻¹ -----				
0	457,9	745,9	1.065,5	2.269,4	68,6	172,5	151,6	392,7	
40	489,8	976,5	1.252,0	2.718,4	72,1	225,5	156,4	454,4	
80	490,1	897,4	1.247,5	2.635,1	62,4	170,2	135,4	368,1	
120	593,9	1.003,0	1.406,2	3.003,3	72,3	184,2	164,1	420,7	
Média	507,9 D	905,7 C	1.242,8 B	2.656,5 A	68,8 D	188,1 B	152,0 C	409,0 A	
F _{dose}	0,12 ^{NS}	0,462 ^{NS}	0,67 ^{NS}	3,15 ^{NS}	0,08 ^{NS}	2,50 [*]	0,56 ^{NS}	5,24 ^{***}	
1° Soca (2006/2007)									
0	268,7	579,0	1.058,2	1.906,0	76,9	124,4	166,4	367,8	
50	361,1	476,1	1.024,2	1.861,4	98,3	93,3	249,2	441,0	
100	403,3	456,1	1.015,2	1.874,7	83,2	113,5	178,5	375,3	
150	366,8	533,9	1.081,7	1.982,4	95,3	103,7	149,5	348,6	
Média	350,0 D	511,2 C	1.044,8 B	1.906,1 A	88,5 D	108,7 C	185,9 B	383,2 A	
F _{dose}	0,38 ^{NS}	0,36 ^{NS}	0,11 ^{NS}	0,34 ^{NS}	0,25 ^{NS}	0,43 ^{NS}	4,71 ^{***}	3,95 ^{***}	
2° Soca (2007/2008)									
0	339,9	535,1	1.164,7	2.039,8	50,0	84,9	152,8	287,9	
50	226,6	502,0	1.095,6	1.824,3	35,2	75,5	163,0	273,7	
100	239,0	556,0	1.088,9	1.884,1	32,5	97,3	114,8	244,8	
150	263,0	689,4	1.314,0	2.266,6	52,5	109,6	159,5	321,6	
Média	267,1 D	570,6 C	1.165,8 B	2.003,7 A	42,5 D	91,8 C	147,5 B	284,0 A	
F _{dose}	0,24 ^{NS}	0,65 ^{NS}	1,05 ^{NS}	3,73 ^{**}	0,35 ^{NS}	0,75 ^{NS}	1,69 ^{NS}	3,50 ^{**}	
3° Soca (2008/2009)									
100	200,9	685,5	833,7	1.668,9	54,2	146,3	214,7	415,4	
100	176,2	701,8	865,7	1.720,1	40,3	143,5	209,5	393,5	
100	216,0	626,9	913,1	1.831,0	43,8	154,5	231,7	430,2	
100	216,3	946,9	901,3	1.764,7	50,4	114,7	235,5	400,7	
Média	202,3 D	665,3 C	878,5 B	1.746,2 A	47,2 D	139,8 C	222,9 B	410,0 A	
F _{dose}	0,07 ^{NS}	0,23 ^{NS}	0,26 ^{NS}	0,95 ^{NS}	0,20 ^{NS}	1,59 ^{NS}	0,85 ^{NS}	1,40 ^{NS}	

RA+ RI: raiz + rizoma; CO: colmo; FS + PO: folha seca + ponteiro; PT: planta toda; Médias seguida de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Scott Knott a 5 % de probabilidade; ^{NS} não significativo, ^{*}, ^{**}, ^{***} significativo, respectivamente, a 10, 5 e 1 % de probabilidade.

O acúmulo de Zn entre os compartimentos da cana-de-açúcar diferenciou entre os ciclos de produção, verificando-se na cana planta os maiores valores no colmo, enquanto que na cana soca as maiores remoções foram encontradas na soma das folhas com os ponteiros, o que contabilizou percentuais de 46 e 52 %, respectivamente. Os menores acúmulos foram obtidos pela RA+RI, com valores médios de 17 % em ambos os ciclos de produção.

Os poucos estudos que avaliam a extração e compartimentação dos micronutrientes pela cana-de-açúcar, principalmente em novos cultivares, dificultam a comparação e avaliação dos resultados encontrados. De todo modo, os acúmulos dos micronutrientes na parte aérea do cultivar CB41-76 encontrados por Orlando Filho; Zambello Junior; Haag (1980b, 1980c, 1980d, 1980e) e Orlando Filho; Zambello Junior; Haag (1979) mostraram que a alocação de B, Cu e Zn foram maiores no colmo, enquanto que os acúmulos de Fe e Mn foram maiores nas folhas, o que correspondeu a percentuais de 61, 66, 73, 57 e 61 % na cana planta e de 63, 72, 78, 59 e 64 % na cana soca, respectivamente. O maior acúmulo de B, Cu e Zn no colmo na cana planta se assemelha dos obtidos na presente pesquisa, no entanto, difere dos resultados encontrados para o Zn na cana soca. A distribuição percentual Fe a Mn nas folhas mostrou-se semelhante, o que indica a alta capacidade dos novos cultivares em ciclar esses micronutrientes extraídos, uma vez que as perdas por exportação foram inferiores a 50 %.

A compartimentação dos micronutrientes com a soma da parte subterrânea (raiz+ rizoma) e FS + PO, mostraram a capacidade da cana planta em conservar no sistema solo-planta para os ciclos subsequentes aproximadamente 143, 78, 34.017, 1.750 e 220 g ha⁻¹ de B, Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente, e manter com as soqueiras ciclagem média de 124, 61, 18.556, 1.302 e 244 g ha⁻¹, respectivamente, até a renovação do canavial (Tabelas 4.9; 4.10). Além quantificar os nutrientes que retornaram ao solo, a quantidade exportada pelo colmo, parte como ferramenta inicial no manejo da adubação, sendo assim, verificou-se perdas de B, Cu, Fe, Mn e Zn na ordem de 132, 39, 3.525, 905 e 188 g ha⁻¹ na cana planta e médias de 81, 33, 2.132, 582 e 112 g ha⁻¹ na cana soca, respectivamente.

Na soma dos quatro ciclos de produção avaliados os componentes RA+RI e FS+PO obtiveram os maiores acúmulos de B, Cu, Fe, Mn e Zn, apresentando valores percentuais, respectivamente, de 58 (518 g ha⁻¹), 65 (263 g ha⁻¹), 90 (89.687 g ha⁻¹), 68 (5.658 g ha⁻¹), 64 % (955 g ha⁻¹) (Tabelas 4.9; 4.10). Apesar da menor participação do colmo, observaram-se exportações acima de 30 % em todo ciclo, exceto para o Fe com apenas de 10 % do total extraído

pela cana-de-açúcar. Estes resultados indicam que a quantidade de micronutrientes atualmente recomendadas na adubação de plantio (CAVALCANTI et al., 2008; RAIJ et al., 1997) supri adequadamente a exigência e as exportações constatadas para mais de um ciclo de crescimento.

Com base nas extrações obtidas no presente estudo, verificou-se acúmulos totais de N, P, K, Ca, Mg e S pela cana-de-açúcar, respectivamente, na ordem de 180, 22, 390, 79, 42, 45 kg ha⁻¹ na cana planta e na média das socas de 144, 19, 293, 67, 34 e 33 kg ha⁻¹. Para o B, Cu, Fe, Mn e Zn as extrações na cana planta foram, respectivamente, na ordem de 276, 118, 37.543, 2.656, 409 g ha⁻¹ e médias na cana soca de 206, 95, 20.688, 1.885, 359 g ha⁻¹, o que proporcionou para no primeiro ciclo de produção a ordem decrescente de extração: K > N > Ca > S > Mg > Fe > P > Mn > Zn > B > Cu, e no segundo ciclo de: K > N > Ca > Mg > S > P = Fe > Mn > Zn > B > Cu (Tabelas 4.7 a 4.10).

4.3.4 Exigência nutricional da cana-de-açúcar

A adubação nitrogenada aumentou a produção de colmos na cana planta e na primeira soca, com incrementos de 8 Mg ha⁻¹ para ambos os ciclos de produção com a doses de 120 e 100 kg ha⁻¹ respectivamente (Tabela 4.11). Na segunda soca a produção de colmos não diferenciou com os tratamentos, assim como não se constatou efeito residual da adubação nitrogenada na produtividade da terceira soqueira.

A baixa resposta das duas ultimas soqueiras à adubação nitrogenada possivelmente está relacionada com a maior disponibilidade de N oriundo da mineralização do material vegetal remanescente no sistema solo-planta antes da reforma do canavial, em adição aos resíduos culturais (palhada) tanto da cana planta como da primeira soqueira. Esta hipótese corrobora com os resultados obtidos Fortes (2010), que contabilizou no experimento LVe do presente estudo, mineralização de N na ordem de 47 e 13 kg ha⁻¹, respectivamente, das fontes acima citadas até a colheita da segunda soca (2007/2008). Cabe salientar que neste solo não houve incorporação do material vegetal remanescente na renovação do canavial (preparo do solo foi a subsolagem e sulcação), o que proporcionaria, caso fosse incorporado (com arações e gradações), maiores taxas de mineralização em virtude da aeração do solo. Neste contexto, os resíduos culturais remanescentes nos experimentos LVAe e LVd contabilizaram mais de 150 kg ha⁻¹ de N (FRANCO et al., 2008b), se considerado a taxa de liberação de N de 93 % em quatro ciclos agrícolas (FORTES, 2010), seria disponibilizado aproximadamente 140 kg ha⁻¹ de N até o final

da segunda soqueira, o que explicaria a baixa resposta da adubação nitrogenada na produção de colmos, pela análise conjunta de todos os experimentos.

O efeito positivo das doses de N na produção de colmos observado na cana planta e primeira soca pode ser explicado devido à palhada de cana-de-açúcar apresentar uma relação C:N da ordem de 100:1 (VITTI et al., 2008; OLIVEIRA et al., 1999), o que proporcionaria maior imobilização do N do solo, elevando o potencial de resposta a adubação nitrogenada. Segundo Oliveira et al. (1999) os resíduos de cana-de-açúcar apresentaram pequena mineralização de N no período de um ano agrícola, disponibilizando no solo apenas 18 % da quantidade de N da palha. Para o mesmo período Fortes (2010) verificou incrementos de $3,6 \text{ kg ha}^{-1}$ na quantidade de N nos remanescentes vegetais do ciclo anterior. Vitti (2003) indicou que dos 62 kg ha^{-1} de N da palha, após adubação da cana-de-açúcar com 140 kg ha^{-1} de N na forma de nitrato de amônio, somente $2,4 \text{ kg ha}^{-1}$ de N foram acumulados na cultura (parte aérea e sistema radicular) na colheita final após um ciclo agrícola, o que representou $4 \pm 0,3 \%$ do N contido da matéria seca.

A mineralização dos nutrientes presentes na palhada é dependente de fatores ambientais, como temperatura, umidade e aeração, e químicos que dependem, principalmente da relação com C, teores de lignina, celulose, hemicelulose e polifenóis (SIQUEIRA; FRANCO, 1988; NG KEE KWONG et al., 1987). Nesse contexto, a aplicação de doses de N em cada ciclo agrícola influenciará auxiliando na mineralização dos nutrientes, o que permite inferir considerações sobre a exigência nutricional da cana-de-açúcar e recomendar doses relacionadas à expectativa de produção e com base na produtividade obtida no ciclo anterior. Assim, relação entre extração total dos macronutrientes e a produção de colmos, mostrou que adubação nitrogenada aumentou a exigência K e S na cana planta e de K na segunda soca (Tabela 4.11). Em contra partida a exigência de P na segunda soca reduziu com as doses de N. Para os demais macronutrientes os tratamentos não influenciaram na demanda nutricional entre os ciclos de produção.

Desconsiderando o efeito das doses de N, verificou-se que para produzir cada TCH foram necessários na cana planta e nas três soqueiras subsequentes 1,24, 1,48, 1,74 e 1,71 kg Mg^{-1} de N, respectivamente. São raros os estudos que consideram a extração total (parte subterrânea + parte aérea) na determinação da exigência nutricional da cana-de-açúcar. Bolonga-Campbell (2007) no o cultivar SP80-3280 e Trivelin et al. (2002) com o cultivar SP80-1842 em experimento realizado em vaso, verificaram com base na extração total de N se necessário 0,9 e $1,4 \text{ kg Mg}^{-1}$ de N, respectivamente no ciclo de cana planta. Para o mesmo cultivar do presente

estudo (SP81-3250) avaliado em dois Argissolos na região de São José do Rio Preto, São Paulo, Coleti et al. (2006) observaram para cada tonelada de colmo produzida exigência de 1,42 e 1,20 kg Mg⁻¹ de N na cana planta e cana soca, respectivamente, a partir do N extraído da parte aérea. Em experimento realizado em Argissolo nas condições climáticas da região Nordeste, o cultivar SP81-3250 quando irrigado, mostrou na cana planta maior eficiência de utilização do N absorvido, exigindo 1,04 kg para produzir 1TCH (OLVEIRA et al., 2010a). Para cultivares mais antigos como o Co419 verificou-se na cana planta demandas de 1,32 kg ha⁻¹ de N (CATANI et al., 1959), por outro lado o cultivar CB41-76 apresentou exigência de 0,87 e 0,72 kg Mg⁻¹ na cana planta e cana soca respectivamente (ORLANDO FILHO; HAAG; ZAMBELLO JUNIOR, 1980a). Em outros países produtores da cana-de-açúcar como os EUA e a Índia, a exigência em N para produção de 1TCH foi semelhante as observadas observadas no Brasil, porém em diferentes cultivares, constatou-se necessidades de N que variaram de 1,11 a 1,37 kg Mg⁻¹ para cana planta e entre 0,99 a 2,52 kg Mg⁻¹ na cana soca (SHUKLA et al., 2009; RAKKIYAPPAN et al., 2005, 2007; CHIRANJIVI; THANGAVELU, 2004; COALE et al., 1993).

A exigência de P apresentou pouca variação entre os ciclos de produção, demandando 0,15; 0,20; 0,19 e 0,25 kg Mg⁻¹, respectivamente, na cana planta e nas três soqueiras subsequentes. Exigências semelhantes (0,12 e 0,16 kg Mg⁻¹) para cana planta foram encontradas por Oliveira et al. (2010a) e Moura Filho et al. (2007) com o mesmo cultivar manejado sob irrigação, assim como, Orlando Filho; Haag; Zambello Junior (1980a) em condições de sequeiro, com o cultivar CB41-78 avaliado em Argissolo, verificaram ser necessário 0,15 kg Mg⁻¹ de P. Por outro lado, em condições edafoclimáticas do Brasil, Tasso Junior et al. (2007) em cinco diferentes cultivares e Coleti et al. (2006) para o cultivar SP81-3250, verificaram requerimentos menores com valores que variaram de 0,06 a 0,10 kg Mg⁻¹ de P. Ainda na cana planta o cultivar CL61-620 (COALE et al., 1993) e a média de doze cultivares de maturação média tardia (RAKKIYAPPAN et al., 2007) demandaram, em média por 0,36 e 0,48 kg Mg⁻¹ de P respectivamente. Para cana soca a exigência encontrada por Coleti et al. (2006) para o mesmo cultivar foi menor (0,12 kg Mg⁻¹ de P). Em experimentos conduzidos na Índia com o cultivar COSe92423 (SHUKLA et al., 2009) e com outros dez cultivares de maturação média a tardia (RAKKIYAPPAN et al., 2005), a exigência em P foi superior as observadas no presente estudo, verificando-se valores que variam de 0,29 a 0,44 kg Mg⁻¹.

Tabela 4.11 - Exigência nutricional da cana-de-açúcar para produção de uma tonelada de colmos por hectare (TCH) em quatro ciclos agrícolas, relacionado à adubação nitrogenada

Cana Planta (2005/2006)												
Dose de N	TCH	Macronutrientes						Micronutrientes				
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
kg ha ⁻¹	Mg ha ⁻¹	kg t ⁻¹						g t ⁻¹				
0	140	1,17	0,14	2,44	0,51	0,27	0,25	2,82	0,80	244,17	15,96	2,82
40	146	1,24	0,15	2,67	0,56	0,29	0,31	2,17	0,82	270,65	18,59	3,11
80	147	1,31	0,16	3,09	0,54	0,29	0,30	1,23	0,87	266,55	17,74	2,50
120	148	1,25	0,15	2,58	0,58	0,30	0,28	1,24	0,84	261,24	20,18	2,82
Média	145	1,24	0,15	2,69	0,55	0,29	0,29	1,91	0,83	260,65	18,12	2,81
F _{dose}	4,60 ^{***}	1,29 ^{NS}	1,52 ^{NS}	3,77 ^{**}	1,01 ^{NS}	1,03 ^{NS}	2,85 [*]	11,05 ^{***}	0,30 ^{NS}	0,16 ^{NS}	2,96 ^{**}	3,16 ^{**}
1° Soca (2006/2007)												
0	88	1,49	0,21	2,93	0,69	0,37	0,57	3,31	1,10	260,24	20,61	4,19
50	93	1,51	0,20	2,73	0,69	0,37	0,51	3,65	1,17	269,84	19,44	4,60
100	97	1,40	0,19	2,58	0,67	0,37	0,58	3,60	1,23	294,16	19,00	3,91
150	96	1,52	0,19	2,72	0,68	0,35	0,60	3,31	1,05	281,61	20,24	3,71
Média	93	1,48	0,20	2,74	0,68	0,36	0,57	3,47	1,14	276,46	19,82	4,10
F _{dose}	5,37 ^{***}	0,76 ^{NS}	0,86 ^{NS}	1,43 ^{NS}	0,09 ^{NS}	0,27 ^{NS}	0,18 ^{NS}	1,03 ^{NS}	1,03 ^{NS}	0,59 ^{NS}	0,50 ^{NS}	1,72 ^{NS}
2° Soca (2007/2008)												
0	80	1,09	0,22	2,44	0,67	0,35	0,27	1,90	0,98	262,65	25,30	3,66
50	85	1,04	0,19	2,48	0,66	0,34	0,26	1,75	0,80	168,49	21,24	3,21
100	83	1,09	0,19	2,90	0,72	0,36	0,28	2,15	0,81	196,59	22,48	2,99
150	87	1,20	0,19	2,84	0,77	0,37	0,30	2,17	0,89	205,05	26,08	3,82
Média	84	1,10	0,19	2,66	0,70	0,36	0,28	1,99	0,87	208,19	23,77	3,42
F _{dose}	1,49 ^{NS}	1,74 ^{NS}	2,19 [*]	2,86 ^{**}	1,79 ^{NS}	0,81 ^{NS}	1,44 ^{NS}	1,12 ^{NS}	3,37 ^{NS}	2,45 [*]	2,14 [*]	1,88 ^{NS}
3° Soca (2008/2009)												
100	96	2,05	0,25	3,78	0,94	0,41	0,28	1,59 a	1,15 a	233,89	18,42	4,38
100	102	1,94	0,23	3,65	0,82	0,36	0,26	1,16 b	1,00 b	188,85	16,35	3,88
100	99	2,17	0,26	4,09	0,89	0,39	0,31	1,57 a	1,06 b	251,17	18,78	4,44
100	100	2,12	0,24	3,81	0,86	0,37	0,29	1,42 a	0,97 b	217,52	17,72	4,09
Média	99	2,07	0,24	3,83	0,87	0,38	0,29	1,43	1,05	222,86	17,82	4,20
F _{dose}	1,58 ^{NS}	1,71 ^{NS}	1,50 ^{NS}	1,67 ^{NS}	1,70 ^{NS}	2,10 ^{NS}	4,05 ^{NS}	5,17 ^{***}	3,71 ^{**}	1,98 ^{NS}	1,03 ^{NS}	1,45 ^{NS}

TCH: Tonelada de colmo por hectare; Médias seguida de mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Scott Knott a 5 % de probabilidade; ^{NS} não significativo, ^{*}, ^{**}, ^{***} significativo, respectivamente, a 10, 5 e 1 % de probabilidade.

Os requerimentos de K na terceira soqueira mostrou-se superior aos demais ciclos agrícolas, apresentando valor de $3,83 \text{ kg Mg}^{-1}$, para os demais ciclos de produção a necessidade foi de $2,69 \text{ kg Mg}^{-1}$ na cana planta, $2,74 \text{ kg Mg}^{-1}$ na primeira soca e de $2,66 \text{ kg Mg}^{-1}$ na terceira soca. Esses resultados mostraram-se superiores as exigências constatadas em outras pesquisas, que obtiveram exigência em K variando de $1,18$ a $2,40 \text{ kg t}^{-1}$ na cana planta e de $0,95$ a $1,65 \text{ kg Mg}^{-1}$ na cana soca (RAKKIYAPPAN et al., 2007; TASSO JUNIOR et al., 2007; COLETI et al., 2006). Por esses resultados, observa-se que o cultivar SP81-3250 possui elevada exigência em K, corroborando com os resultados encontrados por Oliveira et al. (2010a) no ciclo de cana planta, ao verificarem a segunda maior demanda para esse cultivar. Exigências em K maiores que as observadas nesse estudo foram obtidas por Coale et al. (1993) na cana planta, com valores $5,37 \text{ kg Mg}^{-1}$. Shukla et al. (2009); Rakkiyappan et al. (2005) verificaram para cana soca necessidade semelhante para produção de 1TCH, demandando valores de $3,07$ e $2,57 \text{ kg Mg}^{-1}$, respectivamente.

Para o Ca, o ciclo de cana planta apresentou as menores exigências ($0,55 \text{ kg Mg}^{-1}$) seguido da primeira e segunda soqueiras que demandaram em média $0,69 \text{ kg Mg}^{-1}$ de Ca (Tabela 4.10). Com a maior exigência em Ca a terceira soca apresentou valores de $0,87 \text{ kg Mg}^{-1}$. Com relação exigência de Mg, as três soqueiras se mostraram semelhantes, apresentando valor médio de $0,37 \text{ kg Mg}^{-1}$; por outro lado, a exigência da cana planta foi menor, necessitando de $0,29 \text{ kg Mg}^{-1}$ (Tabela 4.10). A exigência de Ca e Mg observada no presente estudo foi superior a verificada por Thangavelu e Chiranjivi Rao (2004) em cana planta e por Coleti et al., 2006 em cana planta e soca, quando constataram-se requerimentos entre $0,11$ e $0,65 \text{ kg Mg}^{-1}$ de Ca e entre $0,13$ e $0,37 \text{ kg Mg}^{-1}$ de Mg. Coale et al. (1993) avaliando a extração de nutrientes pelo cultivar CL61-620 em Histosols, observaram exigências de Ca e Mg semelhante entre a cana planta e cana soca, porém superiores as verificadas nesta pesquisa, necessitando na médias dos ciclos agrícolas de $1,37$ e $0,66 \text{ kg Mg}^{-1}$ de Ca e Mg respectivamente. Oliveira et al. (2010a) também verificaram maiores demandas por Ca e Mg entre onze cultivares de cana-de-açúcar manejadas sob irrigação. De acordo com os autores, foram necessários para produção 1TCH extrações entre $0,92$ e $1,52 \text{ kg Mg}^{-1}$ para o Ca e de $0,35$ a $0,50 \text{ kg Mg}^{-1}$ para o Mg, salientado que nesta pesquisa em cultivo irrigado a demanda de Ca se mostrou superior as observadas para o N.

A necessidade de S para produção de 1TCH foi semelhante na cana planta, segunda e terceira soca ($0,28 \text{ kg Mg}^{-1}$), em contra partida, a primeira soqueira obteve maior demanda,

necessitando de $0,57 \text{ kg Mg}^{-1}$ de S (Tabela 4.11). Em experimento realizado em Latossolo e Argissolo, Orlando Filho; Haag; Zambello Junior (1980a) verificaram no cultivar CB41-76 exigências inferiores as encontradas na primeira soca, porém semelhante aos demais ciclos de produção, apresentando requerimento médio de $0,28 \text{ kg Mg}^{-1}$ de S. Thangavelu et al. (2006) estudando a extração enxofre em clones promissores de cana-de-açúcar, sendo treze de maturação precoce e dezesseis da maturação média a tardia, observaram valores médios de $0,22$ e $0,27 \text{ kg Mg}^{-1}$ nas condições edafoclimáticas da Índia. Exigência semelhante à encontrada na primeira soqueira foi obtida por Tasso Junior et al. (2007) em cana planta de três cultivares (SP89-1115, RB855453, RB855156) avaliadas em Latossolo Vermelho Amarelo, constatando requerimentos de $0,23$, $0,49$ e $0,43 \text{ kg Mg}^{-1}$ respectivamente.

Com relação ao efeito das doses de N na exigência em micronutrientes pela cana-de-açúcar, apenas os tratamentos de cana planta: 120 kg ha^{-1} de N para o Mn e 40 kg ha^{-1} de N para o Zn, proporcionaram aumentos significativos na demanda, enquanto que para o B a exigência reduziu com a adubação nitrogenada. Na primeira soca as doses de N não influenciaram na necessidade de micronutrientes, todavia a exigência em Fe e Mn na segunda soca diminuiu com os tratamentos. Na terceira soqueira apenas a necessidade Cu diferenciou com as doses de N aplicadas nas soqueiras anteriores, sendo observada redução nos valores requeridos (Tabela 4.11).

A demanda de micronutrientes, ao desconsiderar os tratamentos com N, mostrou para o nutriente B maior exigência na primeira soca ($3,47 \text{ g Mg}^{-1}$) seguido da segunda soqueira e da cana planta que demandaram $1,99$ e $1,91 \text{ g Mg}^{-1}$ de B respectivamente. Com os menores valores ($1,43 \text{ g Mg}^{-1}$) a terceira soqueira se mostrou menos exigente. Exigência de B superior à observada nesta pesquisa foi verificada por Franco et al. (2009) ao avaliarem a recuperação do ^{10}B -fertilizante no ciclo de cana planta para o cultivar SP81-3250, e constataram a necessidade $4,36 \text{ g}$ de B para produção de 1TCH, a partir da extração por toda planta; todavia, quando foi considerada apenas a extração da parte aérea a exigência reduziu para $2,85 \text{ g Mg}^{-1}$. Orlando Filho; Zambello Junior; Haag (1980b) verificaram que o requerimento de B pelo cultivar CB41-76 variou em função do solo e do ciclo de produção, sendo observado exigência semelhante ($1,87$ a $2,03 \text{ g Mg}^{-1}$) para cana planta e inferior na cana soca ($0,97$ a $1,11 \text{ g Mg}^{-1}$), às obtidas no presente estudo.

Para o Cu verificou-se na segunda soca os maiores valores ($1,14 \text{ g Mg}^{-1}$) enquanto que a cana planta, primeira e terceira soqueiras se mostraram menos exigente, necessitando, respectivamente, de $0,83$, $0,87$ e $1,05 \text{ g Mg}^{-1}$. São poucos os trabalhos que avaliaram mais de um ciclo de produção a exigência da cana-de-açúcar em Cu o que dificulta a comparação e validação dos resultados; entretanto, um estudo realizado em Argissolo mostrou para o ciclo de cana planta de sete cultivares mais plantadas nas condições climáticas da região canavieira do Estado de Alagoas, requerimentos entre $0,92$ a $1,39 \text{ g}$ de Cu para produzir 1TCH (SILVA et al., 2009a), sendo esses valores semelhantes às exigências observadas nesta pesquisa. Em cultivar mais antigo (CB41-76), Orlando Filho; Zambello Junior; Haag (1980c) constataram maior exigência em Cu, necessitando em média $1,93$ e $2,76 \text{ g Mg}^{-1}$ para cana planta e cana soca, respectivamente. Nesse contexto, é possível evidenciar menor requerimento dos novos cultivares edafoclimaticamente adaptados aos principais solos cultivados com cana-de-açúcar, que de modo geral apresentam baixa disponibilidade em Cu, uma vez que comumente são poucas as unidades sucroalcooleiras que adicionam micronutrientes nas formulações de adubos, como o Cu.

Com as maiores exigências entre os micronutrientes, o Fe e Mn apresentaram na cana planta, respectivamente, demanda de $260,65$ e $18,12 \text{ g Mg}^{-1}$. Para cana soca a exigência variou entre $208,10$ a $276,46 \text{ g Mg}^{-1}$ para o Fe e de $17,82$ a $19,82 \text{ g Mg}^{-1}$ para o Mn (Tabela 4.11). Os requerimentos de Fe para ambos os ciclos de produção mostraram-se muito superiores aos obtidos por sete cultivares no ciclo de cana planta (SILVA et al., 2009b), bem como os requerimentos em ambos os ciclos de produção descritos no estudo de Orlando Filho; Zambello Junior; Haag (1979), no qual constatou-se valores que variaram entre $17,87$ a $87,96 \text{ g Mg}^{-1}$ na cana planta e entre $10,97$ e $13,66 \text{ g Mg}^{-1}$ na cana soca. Cabe ressaltar que os valores obtidos pelos demais pesquisadores apenas consideram a extração da parte aérea, para quantificar a exigência de Fe, o que difere da presente pesquisa que também contabilizou o acúmulo nas raízes e rizomas, que apresentaram concentração desse nutriente significativamente maior em todos os ciclos de produção. Do mesmo modo como observado para o Fe, o requerimento em Mn foi maior quando comparado aos valores obtidos por Silva et al. (2008a) em sete cultivares de cana-de-açúcar avaliadas em Argissolo no ciclo de cana planta e por Orlando Filho; Zambello Junior; Haag (1980d) em dois Latossolos e um Argissolo, no qual se verificou a necessidade entre de $4,64$ a $13,23 \text{ g Mg}^{-1}$ para a cana planta e de $7,11$ a $11,92 \text{ g Mg}^{-1}$ na cana soca.

A exigência de Zn foi maior nos ciclos de cana soca (4,10, 3,42 e 4,20 g Mg⁻¹) necessitando em média 1,10 g Mg⁻¹ de Zn a mais em relação cana planta (2,81 g Mg⁻¹) (Tabela 4.11). O requerimento de Zn na cana planta foi menor que os encontrados por cultivares utilizados por Silva et al. (2008b) no Nordeste do Brasil, no qual verificaram necessidade média de 4,28 g para produzir 1TCH, corroborando com as exigências encontradas por Orlando Filho; Zambello Junior; Haag (1980e) no cultivar CB41-76, no qual constatou-se valores de 4,4 g Mg⁻¹ de Zn. Na cana soca a demanda por Zn se mostrou superior às obtidas por Orlando Filho; Zambello Junior; Haag (1980e) que obtiveram a demanda média de 2,98 g Mg⁻¹ do nutriente.

Ao fixar uma mesma estimativa de produção de colmos (1 Mg ha⁻¹) foram observadas variações na exigência nutricional entre os ciclos de cana planta e de cana soca (Tabela 4.11). Em geral, a cana soca demonstrou maior exigência em relação à cana planta, exceto pelo micronutriente Fe que apresentou maior demanda no primeiro ciclo de produção. Entre os macronutrientes as maiores diferenças entre os ciclos foram observadas para N, K e Ca com variações de 0,31 (25 %), 0,38 (14 %), 0,20 kg t⁻¹ (36 %), respectivamente, enquanto que para os micronutrientes as maiores diferenças ocorreram para Fe, Mn e Zn com variações de 24,8 (10 %), 3,35 (13 %) e 1,09 g Mg⁻¹ (39 %), respectivamente. Com as menores variações entre os ciclos de cana planta e cana soca o P, Mg e S apresentou, em média, diferença de 0,07 kg Mg⁻¹ e o B e Cu apresentou variação de 0,38 e 0,19 g t⁻¹, respectivamente.

Com base nos resultados observou-se que a exigência dos macronutrientes e micronutrientes obtida no presente estudo, com exceção ao Fe e Mn, foram semelhantes às encontradas em outras pesquisas, evidenciando que as variações na demanda pela cana-de-açúcar ocorrem em função do cultivar, tipo de solo, manejo do hídrico, época de plantio e tratos culturais, o que torna possível utilizar os valores da tabela 4.11 como base para recomendação de doses para produtividades acima de 100 Mg ha⁻¹ em cana planta e entre 80 a 90 Mg ha⁻¹ em socas. Para os valores de Fe e Mn, os resultados da presente pesquisa indicam importância de contabilizar os acúmulos em raízes e rizomas (parte subterrânea) para determinar a exigência e recomendar doses de adubos, o que não é realizado nos poucos trabalhos encontrados na literatura.

4.4 Conclusões

1. A adubação nitrogenada não alterou a concentração dos nutrientes nos compartimentos da cana-de-açúcar, promovendo, entretanto, incrementos nas extrações totais dos macronutrientes, efeito positivo para as extrações de Zn, redução no B e pouca influencia nos demais micronutrientes.

2. A compartimentação dos nutrientes permitiu contabilizar que 57, 71, 58, 65, 90, 68 e 64 %, respectivamente, do N, Ca, B, Cu, Fe, Mn e Zn permaneceram no solo por meio dos compartimentos raiz, rizoma, folha seca e ponteiro; por outro lado, 50, 56, 52 e 58 % do P, K, Mg, S são exportados pelo colmo.

3. A exigência nutricional para produzir 1 TCH mostrou na cana soca maior requerimento dos nutrientes, exceto para o Fe, em comparação a cana planta, sendo observado para N, P, K, Ca, Mg e S exigência média de 1,55, 0,21, 3,07, 0,75, 0,36 e 0,38 kg Mg⁻¹ na cana soca e de 1,24, 0,15, 2,69, 0,55, 0,29 e 0,29 kg Mg⁻¹ na cana planta, respectivamente, para B, Cu, Fe, Mn e Zn a cana soca demandou em média 2,29, 1,02, 169,17, 20,47, 3,90 g Mg⁻¹ e a cana planta 1,91, 0,83, 260,65, 18,12, 2,81 g Mg⁻¹, respectivamente.

Referências

ALMEIDA, A.C.S.; SOUZA, J.L.; TEODORO, I; BARBOSA, G.V.S; MOURA FILHO, G.; FERREIRA JUNIOR, R.A. Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e unidades térmicas. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1441-1448, 2008.

BATISTA, L.F. **Aplicação de N, P e 35S em dois solos de São Paulo e seus efeitos sobre a cana-de-açúcar**. 1977. 90 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1977.

BOLONGA-CAMPELL. **Balanco do nitrogênio e enxofre no sistema solo-cana-de-açúcar no ciclo de cana planta**. 2007. 112 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.V.; BARROS, N.F. de; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 7, p. 375-470.

CANTARELLA, H.; ROSSETTO, R.; LANDELL, M.G.A.; BIDÓIA, M.A.P.; VASCONCELOS, A.C.M. Misturas em diferentes proporções de fosfato natural reativo e fosfato solúvel em água para a cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 8., 2002. Recife. **Anais...** Recife: STAB, 2002. p. 218-224.

CATANI, R.A.; ARRUDA, H.C.; PELEGRINO, D.; BERGAMIN FILHO, H. A. Absorção de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre pela cana-de-açúcar Co-419 e o seu crescimento em função da idade. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, Piracicaba, v. 16, p. 167-190, 1959.

CAVALCANTI, F.J.A. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação**. 3. ed. Recife: IPA, 2008. 212 p.

CHIRANJIVI RAO, K.; THANGAVELU, S. Uptake of nitrogen, phosphorus and potassium in above ground parts by intergeneric hybrids. **Sugar Technology**. Heidelberg, n. 6, p. 15-23, 2004.

COALE, F.J.; SANCHEZ, C.A.; IZUNO, F.T.; BOTTCHEER, 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.; CASAGRANDE, J.C.; STUPIELLO, J.J.; RIBEIRO, L.D.; OLIVEIRA, G.R. Remoção de macronutrientes pela cana-planta e cana-soca, em Argissolos, variedades RB83486 e SP81-3250. **STAB. Açúcar, Alcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 24, p. 32-36, 2006.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Planta, 2006. 402 p.

FAUCONNIER, R.; BASSEREAU, D. **La caña de azúcar**. Barcelona: Blume, 1975. 433 p.

FORTES, C. **Produtividade de cana-de-açúcar em função da adubação nitrogenada e a decomposição da palhada em ciclos consecutivos**. 2010. 153 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

FRANCO, H.C.J.; BOLOGNA, I.R.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O. Acúmulo de macronutrientes em cana-de-açúcar em função da adubação nitrogenada e dos resíduos culturais incorporados ao solo no plantio. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 521-526, 2007.

FRANCO, H.C.J.; TRIVELIN, P.C.O.; OTTO, R.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C.; SARTORI, R. H.; CANTARELLA, H. Acúmulo de nitrogênio, fósforo, potássio, durante o ciclo de cana planta, relacionados a adubação nitrogenada de plantio. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 8., 2008, Maceió. **Anais...** Maceió: STAB, 2008a. p. 228-234.

- FRANCO, H.C.J.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; OTTO, R.; FARONI, C.E.; SARTORI, R. H.; TRIVELIN, M.O. Acúmulo de nutrientes pela cana planta. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 26, p. 47-51, 2008b.
- FRANCO; H.C.J.; TRIVELIN; P.C.O.; VITTI, A.C.; OTTO, R.; FARONI; C. E.; TOVAJAR, J.G. Utilization of boron (^{10}B) derived from fertilizer by sugarcane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 6. p. 1667-1674, 2009.
- GOMATHY, R.; THANDAPANI, T.V. Salt stress in relation to nutrient accumulation and quality of sugarcane genotypes. **Sugar Technology**. Heidelberg, v. 7, n. 1, p.39-47, 2005.
- HANSCH, R.; MENDEL, R.R. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). **Current Opinion in Plant Biology**, Amsterdam, v. 12, p. 259-266, 2009.
- ISHIKAWA, S.; ANDO, S.; SAKAIGAICHI, T.; TERAJIMA, Y.; MATSOUKA, M. Effects of high nitrogen application on the dry matter yield, nitrogen content and nitrate-N concentration of sugarcane. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 55, p. 485-495, 2009.
- KOPRIVOVA, A.; SUTER, M.; OP DEN CAMP R.; BRUNOLD, C.; KOPRIVA, S. Regulation of sulfate assimilation by nitrogen in *Arabidopsis*. **Plant Physiology**, Waterbury, v. 122, p. 737-746, 2000.
- KORNDORFER, G.H.; VALLE, M.R.; MAETINS, M.; TRIVELIN, P.C.O. Aproveitamento do nitrogênio da uréia pela cana planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 23-26, 1997.
- LAL, K.N. Physiological rôle of nitrogen in growth and metabolism of sugarcane. **Studies in Crop Physiology**, v.17, n. 1, p. 87-98, 1950.
- MAATHUIS, F.J.M. Physiological functions of mineral macronutrients. **Current Opinion in Plant Biology**, Amsterdam, v. 12, p. 150-158, 2009.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 3. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.
- MARQUES, M.O.; BELLINGIERI, P.A.; MARUQUES, T. A.; NOUGUEIRA, T. A. R. Qualidade e produtividade da cana-de-açúcar cultivada em solo com doses crescentes de lodo de esgoto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 2, p. 111-122, 2007.
- MOURA FILHO, G. SILVA, L. C. da; SILVA, V.T.; FERREIRA, L.C.R.; CARNAÚBA, P.J.P.; SILVA, J.V.T da. Acúmulo e alocação de fósforo pelas variedades RB72454, SP81-3250, RB83594, no ciclo de cama soca, sob gotejamento subsuperficial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Anais...** Gramado: SBCS, 2007. 1. CD-ROM.

NG KEE KWONG, K.F.; DEVILLE, J. Residual fertilizer nitrogen as influenced by timing and nitrogen forms in a silty clay soil under sugarcane in Mauritius. **Fertilizer Research**, v. 14, p. 219-226, 1987.

NOGUEIRA, T.A.R. MARQUES, M.O.; FONSECA I.M.; MENDONÇA, L.Q.H. de. Nutrientes em cana-de-açúcar de 5º corte cultivada em solo tratado com lodo esgoto e vinhaça por quatro anos consecutivos. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, João Pessoa, v. 7, n. 2, p.7-19, 2007.

OLIVEIRA, E.C.A.; FREIRE, F.J.; OLIVEIRA, R.I.; FREIRE, M.B.G.S.; SIMÕES NETO, D. E.; OLIVEIRA, A.C. Acúmulo e alocação de nutrientes em cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, 2011. No prelo.

OLIVEIRA, E.C.A.; FREIRE, F.J.F.; OLIVEIRA, R.I.; FREIRE, M.B.G.S.; SIMÕES NETO, D. E.; SILVA, S.A.M. Extração e exportação de nutrientes em variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa. v. 34, n. 4, p. 1343-1342, 2010a.

OLIVEIRA, E.C.A.; OLIVEIRA, R.I.; ANDRADE, B.M.T.; FREIRE, F.J. LIRA JUNIOR, M. A. MACHADO, P.R. Crescimento e acúmulo de matéria seca em variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 14, n.9, p. 951-960, 2010b.

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.

ORLANDO FILHO. J.; HAAG, H.P.; ZAMBELLO JUNIOR, E. **Crescimento e absorção de macronutrientes pela cana-de-açúcar, variedade CB41-76, em função da idade, em solos do estado de São Paulo**. Piracicaba: PLANAULSUCAR. 1980a. 128 p.

ORLANDO FILHO. J.; ZAMBELLO JUNIOR, E.; HAAG, H.P. Efeito do solo e da idade da planta na absorção de boro pela cana-de-açúcar, variedade CO41-76. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 1, p. 31-41, 1980b.

ORLANDO FILHO. J.; ZAMBELLO JUNIOR, E.; HAAG, H.P. Efeito do solo na absorção de cobre pela cana-de-açúcar, variedade CO41-76 em função da idade In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 1., 1980. Maceió. **Anais...** Maceió: STAB, 1980c. v. 1, p. 304-314.

ORLANDO FILHO. J.; ZAMBELLO JUNIOR, E.; HAAG, H.P. Acumulação de manganês pela parte aérea da cana-de-açúcar em função da idade. **Boletim PLANAULSUCAR**, Piracicaba, v. 2, n. 2, p. 3-39, 1980d.

ORLANDO FILHO. J.; ZAMBELLO JUNIOR, E.; HAAG, H.P. Absorção e remoção de zinco pela cana-de-açúcar, variedade CB41-76, em três solos dos Estado de São Paulo. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 2, p. 21-30, 1980e.

ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO JUNIOR, E.; HAAG, H.P. Marcha de absorção de ferro pela cana-de-açúcar em solos do Estado de São Paulo. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, Piracicaba, v. 36, p. 387-402, 1979.

OTTO, R.; FRANCO, H.C.J.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C. TRIVELIN, P.C.O. Fitomassa de raízes e da parte aérea da cana-de-açúcar relacionada à adubação nitrogenada de plantio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 4. p. 398-405, 2009.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M.; NATALE, W. Calcário e escória de siderurgia avaliados por análise foliar, acúmulo e exportação de macronutrientes em cana-de-açúcar. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 59, p. 129-135, 2002.

RAKKIYAPPAN, P.; THANGAVELU, S.; BHAGYALAKSHMI, K.V.; RADHAMANI, R. Uptake of nitrogen, phosphorus and potassium by some promising mid late maturing sugarcane clones. **Sugar Technology**, Heidelberg, v. 9, p. 27-27, 2007.

RAKKIYAPPAN, P.; THANGAVELU, S.; SHANTHI, R.M.; ALARMELU, S.; RADHAMANI, R. Uptake of major nutrients in above ground parts of promising mid late maturing sugarcane clones. **Sugar Technology**, Heidelberg, v. 7, p. 67-70, 2005.

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

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. Outras culturas industriais. 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. 233-243. (IAC. Boletim, 100).

RODRIGUES, J.D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu. Instituto de Biociências. 1995. 69 p.

SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H. Dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar. V. Balanço de K em quatro ciclos de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 9, p. 1323-1335, 1991.

SANTOS, J.Z.L. FURTINI NETO, A.E.; RESENDE, A.V de.; CURIN.; CARNEIRO, L.F.; COSTA, S.E.V.G.A. Frações de fósforo em solos adubados com fosfato em diferentes modos de aplicação e cultivados com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 705-714, 2008.

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 de Ciência do Solo**, Viçosa. v. 34, n. 3, p. 811-820, 2010.

SHUKLA, S.K.; YADAV, R.L.; SINGH, P.N.; SINGH, I. Potassium nutrition for improving stubble bud sprouting, dry matter partitioning, nutrient uptake and winter initiated sugarcane (*Saccharum spp.* Hybrid complex) ratoon yield. **European Journal of Agronomy**, Bologna, v. 37, p. 27-33, 2009.

SILVA, L.C. **Análise de crescimento e acúmulo nutrientes de sete cultivares de cana-de-açúcar na Região de Cururipe**. 2007. 80 p. Dissertação - (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Alagoas, Maceió, 2007.

SILVA, V.T.; MOURA FILHO, G.; SILVA, L.C.; COSTA, J.V.T.; CERQUEIRA, D.C.O.; RODRIGUES, W.A.R.R.; SILVA, R.E.A. Extração e eficiência de utilização de cobre em sete cultivares de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. 32., 2009. Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBCS, 2009a. 1. CD-ROM.

SILVA, V.T. MOURA FILHO, G.; SILVA, L.C.; COSTA, J.V.T.; CERQUEIRA, D.C.O.; RODRIGUES, W.A.R.R.; SILVA, R.E.A. Extração e eficiência de utilização de ferro em sete cultivares de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. 32., 2009, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBCS, 2009b. 1. CD-ROM.

SILVA, V.T. SILVA, L.C.; MOURA FILHO, G.; FERREIRA, L.C.R.; CARNAÚBA, P.J.P.; ALMEIDA, C.A.B.; COSTA, J.P.V.; CERQUEIRA, I.A.; LYRA NETO, I.A. MOURA, A.B. Acúmulo e eficiência de manganês em sete cultivares de cana-de-açúcar, na região de Cururipe-Al. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 8., 2008. Maceió. **Anais...** Maceió: [s.n.], 2008A. p. 239 -243.

SILVA, V.T. SILVA, L.C.; MOURA FILHO, G.; FERREIRA, L.C.R.; CARNAÚBA, P.J.P.; ALMEIDA, C.A.B.; COSTA, J.P.V.; CERQUEIRA, I.A.; LYRA NETO, I.A. MOURA, A.B. Acúmulo e eficiência de zinco em sete cultivares de cana-de-açúcar, na região de Cururipe-Al. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL – STAB. 8., 2008. Maceió. **Anais...** Maceió: STAB, 2008b. p. 249-252.

SIQUEIRA, J.O.; FRANCO, A.A. **Biotechnologia do solo: fundamentos e perspectivas**. Brasília: MEC; ABEAS; ESAL; FAEPE, 1988. 236 p.

TASSO JUNIOR, L.C. MARQUES, M.O.; CAMILOTTI, F.; SILVA, T. Extração e exportação de macronutrientes em cinco variedades de cana-de-açúcar cultivadas na região centro-norte do Estado de São Paulo. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 25, p. 38-42, 2007.

THANGAVELU, S.; CHIRANJIVI RAO, K. Calcium, magnesium and sulphur uptake by above ground parts in intergeneric hybrids. **Sugar Technology**. Heidelberg, v. 6, p. 25-33, 2004.

THANGAVELU, S.; CHIRANJIVI RAO, K. Sulphur uptake by sugarcane genetic stocks and its relationship with the uptake of others nutrients, and sugar productivity. **Sugar Technology**. Heidelberg, v. 8, n. 1 p. 143-147, 2006.

TRIVELIN, P.C.O.; COLETI, J.T.; LARA CABEZAS, W.A.R. Efeito residual na soqueira de cana-de-açúcar do nitrogênio da uréia aplicada por via foliar na cana-planta. In: SEMINÁRIO SOBRE TÉCNICAS NUCLEARES NA PRODUÇÃO DE PLANTAS AGRÍCOLAS, Piracicaba, 1984. **Anais...** Piracicaba: CENA, 1984. p. 119-124.

TRIVELIN; P.C.O. VITTI, A.C.; OLIVEIRA, M. W.; GAVA, G.J de C.; SARRIÉS, G. A.; Utilização de nitrogênio e produtividade da cana-de-açúcar (cana planta) em solo arenoso com incorporação de resíduos da cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 3. p. 636-646, 2002.

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

VITTI, A.C. TRIVELIN; P.C.O.; CANTARELLA, H.; FRANCO; H.C.J; FARONI; C. E.; OTTO, R.; TRIVELIN, M.O.; TOJAVAR, J.G. Mineralização da palhada e crescimento de raízes de cana-de-açúcar relacionados com adubação nitrogenada de plantio . **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2757-2762, 2008.

VITTI, A.C. TRIVELIN; P.C.O.; GAVA, G.J de C.; PENATTI, C.; BOLONGA, I. R.; FARONI; C. E.; FRANCO; H.C.J. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada ao nitrogênio residual da adubação e do sistema radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 2. p. 249-256, 2007.

VITTI, G.C. **Avaliação e interpretação do enxofre no solo e na planta.** Jaboticabal: Funep, 1988. 37p

5 CONSIDERAÇÕES FINIAIS

Os resultados desta tese além de atualizar os dados sobre a exigência nutricional da cana-de-açúcar, também proporcionaram a identificação dos períodos de acúmulos de nutrientes, ainda não determinados na literatura, assim como quantificou os nutrientes alocados em cada compartimento da planta. Esses dados tornam possível aumentar a eficiência da adubação, com aplicação do nutriente no momento correto e na quantidade adequada, ao considerar os nutrientes que permanecem no sistema solo-planta e os exportados pelo colmo no momento da colheita. Adicionalmente, foi possível validar uma nova metodologia de avaliação do estado nutricional de nitrogênio a partir da concentração de N na parte aérea da planta em todos os estádios de crescimento da cultura. A relevância, confiabilidade e reprodutibilidade desta pesquisa devem-se aos resultados serem oriundos de avaliações que consideraram quatro ciclos de crescimento do segundo cultivar mais plantado no Brasil, estudado em três regiões edafoclimaticamente distintas entre si, o que tornou possível chegar às seguintes considerações:

1. O período de maior extração dos nutrientes ocorre antecipadamente à produção de matéria seca, sendo assim, nutrientes como o N, K e B que possuem maior mobilidade no solo e são utilizados em cobertura, devem ser aplicados até os 120 DAP na cana planta e 70 DAC na cana soca.
2. A CDCN mostrou que para produzir $3,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ de matéria seca nos estádios iniciais de crescimento da cana planta a concentração crítica de N na parte aérea da cana planta deve encontrar-se entre $10,4$ e $13,6 \text{ g kg}^{-1}$, enquanto que para produção inicial de $2,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ na cana soca a concentração deve estar entre $9,8$ e $14,8 \text{ g kg}^{-1}$. No final do ciclo de crescimento, para produções superiores a 80 Mg ha^{-1} na cana planta e 35 Mg ha^{-1} na cana soca a concentração na parte aérea deve encontrar-se, respectivamente, entre $3,0$ e $4,2 \text{ g kg}^{-1}$ e $2,0$ e $5,5 \text{ g kg}^{-1}$.
3. A dose de N responsável pelo máximo retorno econômico foi de 45 kg ha^{-1} na cana planta e de 120 kg ha^{-1} na cana soca.
4. A adubação nitrogenada não influenciou na distribuição percentual dos nutrientes entre os compartimentos da cana-de-açúcar no final do ciclo de crescimento, sendo verificados maiores

concentrações de N, P, K e S no ponteiro, de Ca e Mg na folha seca e de B, Cu, Fe e Mn na raiz, enquanto que para o Zn o maior valor foi constatado no ponteiro para o ciclo de cana planta e primeira soqueira e na raiz para segunda e terceira soca.

5. A quantidade exportada de N, P, K, Ca, Mg e S na soma de quatro ciclos corresponderam a 43, 50, 56, 29, 52 e 58 % respectivamente, do total acumulado pela planta, o que evidencia a importância da adubação, visando repor ao sistema solo-planta no mínimo 89, 12, 260, 27, 23, 25 kg ha⁻¹ após corte da cana planta e média de 60, 9, 152, 18, 17 e 19 kg ha⁻¹ após o corte de cada soqueira, respectivamente. Para o B, Cu, Fe, Mn e Zn as perdas pelo colmo representaram 42, 35, 10, 32 e 36 % respectivamente, mostrando ser necessário repor ao solo por meio de adubação 376, 140, 9.960, 2.652 e 530 g ha⁻¹, considerando que são exportados 132, 40, 3.520, 900, 188 g ha⁻¹ após corte da cana planta e média de 81, 34, 2.145, 590, 115 g ha⁻¹ após o corte de cada soqueira.

6. A adubação nitrogenada não promoveu efeito sinérgico na concentração dos nutrientes, sendo observado efeito particular apenas para alguns compartimentos sem que houvesse reprodutibilidade entre os ciclos de produção. Por outro lado, na extração total dos nutrientes verificou-se na cana planta aumento nos valores acumulados de N, P, K Ca, Mg, S e Zn com as doses de N. Entre as soqueiras o efeito positivo da adubação nitrogenada nas extrações totais ocorreu para o N, P, B, Cu, Fe e Zn na primeira soqueira, para N, K, Ca, Mg, S, B, Mn e Zn na segunda soqueira e para N e S na terceira soqueira. Em contra partida, o B na cana planta e Cu e Fe na segunda soca reduziram as extrações totais com as doses de N.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Período e acúmulo relativo de matéria seca na parte aérea da cana-de-açúcar relacionado à adução nitrogenada

Solo	Dose	<i>Cana planta</i>								
		----- 1° fase -----			----- 2° fase -----			----- 3° fase -----		
	kg ha ⁻¹ de N	dias	Mg ha ⁻¹	%	dias	Mg ha ⁻¹	%	dias	Mg ha ⁻¹	%
LVAe	0	218	5,1	12,2	195	32,7	78,0	55	4,1	9,8
	40	220	6,4	12,5	201	41,1	79,6	47	4,1	7,9
	80	220	8,0	13,1	241	51,2	83,7	7	1,9	3,1
	120	214	7,8	12,6	223	49,7	80,3	31	4,4	7,1
	Média	218	6,8	12,6	215	43,7	80,4	35	3,6	7,0
LVe	0	195	7,6	11,8	195	48,3	75,6	133	8,0	12,6
	40	191	9,1	12,2	262	58,1	77,6	71	7,6	10,2
	80	197	10,3	12,2	250	65,5	78,1	75	8,1	9,7
	120	194	10,8	12,2	242	69,0	77,9	87	8,8	9,9
	Média	194	9,4	12,1	237	60,2	77,3	92	8,1	10,6
LVd	0	171	7,9	13,2	278	50,8	84,5	9	1,3	2,2
	40	171	7,7	12,9	283	49,3	82,5	5	2,8	4,6
	80	148	8,0	13,1	295	51,0	83,9	16	1,8	3,0
	120	153	7,6	12,7	277	48,5	81,2	29	3,7	6,1
	Média	161	7,8	13,0	283	49,9	83,0	15	2,4	4,0
<i>Cana soca</i>										
LVAe	0	188	3,8	13,1	164	24,3	84,0	9	0,8	2,8
	50	175	3,5	13,1	172	22,7	83,8	14	0,8	3,1
	100	165	3,9	13,2	184	24,9	84,4	11	0,7	2,4
	150	180	4,0	12,5	161	25,6	80,2	20	2,3	7,3
	Média	177	3,8	13,0	170	24,4	83,1	13	1,2	3,9
LVe	0	132	4,0	12,9	211	25,7	82,3	23	1,5	4,8
	50	119	4,5	13,1	243	28,5	83,7	6	1,1	3,3
	100	126	4,6	13,1	219	29,7	83,4	23	1,3	3,5
	150	114	4,3	13,0	234	27,7	83,0	20	1,4	4,1
	Média	123	4,4	13,0	227	27,9	83,1	18	1,3	3,9
LVd	0	161	5,1	12,8	186	32,7	81,7	15	2,2	5,6
	50	146	5,0	12,7	203	32,1	81,2	14	2,4	6,1
	100	140	5,5	13,0	201	35,0	83,1	20	1,7	3,9
	150	160	5,3	13,1	194	33,6	83,6	8	1,3	3,3
	Média	152	5,2	12,9	196	33,4	82,4	14	1,9	4,7

APÊNDICE B - Período e acúmulo relativo de N na parte aérea da cana-de-açúcar relacionado a adução nitrogenada

Solo	Dose	<i>Cana planta</i>								
		----- 1° fase -----			----- 2° fase -----			----- 3° fase -----		
	kg ha ⁻¹ de N	dias	kg ha ⁻¹	%	dias	kg ha ⁻¹	%	dias	kg ha ⁻¹	%
LVAe	0	118	16,1	12,2	266	102,9	78,1	83	12,7	9,7
	40	100	19,8	12,6	341	126,2	80,4	27	11,1	7,0
	80	101	24,8	12,8	323	158,2	81,6	44	11,0	5,7
	120	128	24,8	12,9	307	158,6	82,6	33	8,7	4,5
	Média		112	21,4	12,6	309	136,5	80,7	47	10,9
LVe	0	149	23,9	11,9	149	152,7	76,2	226	23,8	11,9
	40	134	27,1	11,8	188	173,2	75,6	200	28,7	12,5
	80	143	30,8	11,7	183	196,6	75,0	198	34,9	13,3
	120	126	33,2	11,9	196	212,0	76,1	201	33,5	12,0
	Média		138	28,7	11,9	179	183,6	75,7	206	30,2
LVd	0	108	24,2	11,9	259	154,4	76,3	92	23,9	11,8
	40	102	21,9	11,9	201	140,1	76,1	156	22,0	12,0
	80	97	26,6	12,0	244	169,7	76,6	119	25,2	11,4
	120	99	23,2	13,2	193	148,2	84,6	167	3,8	2,2
	Média		101	24,0	12,3	224	153,1	78,4	134	18,7
<i>Cana soca</i>										
LVAe	0	91	10,9	12,9	248	69,5	82,2	21	4,2	5,0
	50	85	9,9	12,0	160	63,4	76,4	116	9,7	11,7
	100	85	9,0	11,9	155	57,4	75,9	120	9,2	12,2
	150	102	12,7	11,9	167	81,0	76,2	91	12,6	11,8
	Média		91	10,6	12,2	183	67,8	77,7	87	8,9
LVe	0	68	13,2	13,0	273	84,5	82,9	26	4,3	4,2
	50	68	15,1	12,7	273	96,5	81,4	26	7,0	5,9
	100	51	15,5	12,8	259	99,3	82,0	57	6,3	5,2
	150	53	12,8	12,1	178	81,8	77,3	135	11,3	10,6
	Média		60	14,2	12,7	246	90,5	80,9	61	7,2
LVd	0	57	15,2	12,1	209	97,2	77,5	96	13,0	10,3
	50	51	14,8	11,9	154	94,7	76,3	157	14,5	11,7
	100	79	15,3	11,9	94	97,6	76,1	188	15,3	11,9
	150	72	14,5	11,9	112	92,5	76,2	178	14,5	11,9
	Média		65	14,9	12,0	142	95,5	76,5	155	14,3

APÊNDICE C - Período e acúmulo relativo de P na parte aérea da cana-de-açúcar relacionado a adução nitrogenada

		<i>Cana planta</i>								
Solo	Dose	----- 1º fase -----			----- 2º fase -----			----- 3º fase -----		
	kg ha ⁻¹ de N	dias	kg ha ⁻¹	%	dias	kg ha ⁻¹	%	dias	kg ha ⁻¹	%
LVAe	0	157	1,2	12,2	213	7,6	77,8	98	1,0	10,0
	40	160	2,1	12,7	216	13,5	81,3	93	1,0	6,0
	80	168	3,7	12,9	262	23,3	82,7	38	1,2	4,4
	120	156	2,6	13,3	299	16,5	84,8	13	0,4	1,9
	Média	160	2,4	12,8	247	15,3	81,6	60	0,9	5,6
LVe	0	151	3,1	12,3	158	20,1	78,5	214	2,4	9,3
	40	167	4,8	12,1	268	30,5	77,1	88	4,3	10,8
	80	170	3,3	12,2	126	20,9	77,7	227	2,7	10,1
	120	153	3,4	11,9	152	21,7	75,8	218	3,5	12,3
	Média	160	3,6	12,1	176	23,3	77,3	187	3,2	10,6
LVd	0	112	3,5	13,1	324	22,6	83,8	24	0,8	3,1
	40	107	3,2	12,7	262	20,7	81,4	90	1,5	5,9
	80	123	3,3	12,8	244	21,3	81,8	92	1,4	5,4
	120	151	2,9	12,2	160	18,6	77,9	148	2,4	9,9
	Média	123	3,3	12,7	248	20,8	81,2	88	1,5	6,1
<i>Cana soca</i>										
LVAe	0	134	1,3	11,9	164	8,1	76,1	63	1,3	12,0
	50	114	1,3	11,5	179	8,1	73,6	67	1,6	14,9
	100	108	1,4	11,5	193	9,2	73,7	60	1,8	14,7
	150	100	1,6	11,7	244	10,2	74,7	16	1,9	13,6
	Média	114	1,4	11,7	195	8,9	74,5	52	1,7	13,8
LVe	0	75	1,7	11,9	165	10,9	75,8	127	1,8	12,3
	50	54	2,0	12,1	223	12,5	77,3	90	1,7	10,5
	100	91	1,9	12,2	134	12,0	78,1	141	1,5	9,7
	150	79	1,5	11,8	94	9,9	75,7	193	1,6	12,5
	Média	75	1,8	12,0	154	11,3	76,7	138	1,6	11,2
LVd	0	85	2,3	12,1	183	14,8	77,3	94	2,0	10,5
	50	52	2,4	12,0	235	15,5	76,9	75	2,2	11,0
	100	17	2,7	12,8	330	17,5	81,9	15	1,1	5,3
	150	70	2,0	11,7	155	12,5	74,6	137	2,3	13,7
	Média	56	2,4	12,2	226	15,1	77,7	80	1,9	10,1

APÊNDICE D - Período e acúmulo relativo de K na parte aérea da cana-de-açúcar relacionado a adução nitrogenada

Solo	Dose kg ha ⁻¹ de N	<i>Cana planta</i>								
		----- 1° fase -----			----- 2° fase -----			----- 3° fase -----		
		dias	kg ha ⁻¹	%	dias	kg ha ⁻¹	%	dias	kg ha ⁻¹	%
LV Ae	0	188	40,9	12,1	178	261,6	77,1	102	36,6	10,8
	40	158	46,3	12,3	233	295,9	78,7	77	33,9	9,0
	80	170	74,8	13,1	278	478,2	83,8	21	17,8	3,1
	120	142	54,3	12,8	285	347,0	81,9	41	22,1	5,2
	Média	164	54,1	12,6	243	345,7	80,4	60	27,6	7,0
LV e	0	150	36,5	11,9	140	233,5	76,0	232	37,3	12,2
	40	124	50,5	11,9	230	322,9	76,2	170	50,2	11,9
	80	159	49,4	11,9	139	315,4	75,9	226	50,6	12,2
	120	112	69,2	12,0	258	442,4	76,7	153	65,4	11,3
	Média	136	51,4	11,9	192	328,5	76,2	195	50,9	11,9
LV d	0	91	64,1	12,3	268	409,6	78,3	100	49,6	9,5
	40	83	68,7	12,3	277	439,0	78,4	99	52,3	9,3
	80	80	69,8	12,2	273	446,2	78,2	106	54,2	9,5
	120	110	62,3	12,0	194	397,8	76,5	155	59,7	11,5
	Média	91	66,2	12,2	253	423,2	77,9	115	53,9	10,0
<i>Cana soca</i>										
LV Ae	0	141	28,8	12,0	138	183,8	76,9	81	26,4	11,1
	50	148	23,2	11,8	68	148,0	75,7	144	24,3	12,5
	100	135	27,3	11,9	100	174,1	75,8	12	28,2	12,3
	150	134	28,7	12,0	119	183,4	76,4	108	28,1	11,7
	Média	140	27,0	11,9	106	172,3	76,2	115	26,8	11,9
LV e	0	59	15,2	12,0	135	97,2	76,5	172	14,7	11,6
	50	78	21,0	11,9	134	134,2	76,1	154	21,1	12,0
	100	60	18,0	11,9	136	114,7	76,0	171	18,3	12,1
	150	60	17,8	11,9	135	113,9	76,0	172	18,2	12,2
	Média	64	18,0	11,9	135	115,0	76,1	168	18,1	12,0
LV d	0	68	40,6	12,1	185	259,5	77,2	108	36,0	10,7
	50	53	40,3	12,0	171	257,6	76,6	137	38,2	11,4
	100	56	42,5	12,0	177	271,6	76,7	128	40,2	11,3
	150	91	37,3	11,9	108	238,1	75,9	162	38,3	12,2
	Média	67	40,2	12,0	160	256,7	76,6	135	38,2	11,4

APÊNDICE E - Período e acúmulo relativo de Ca na parte aérea da cana-de-açúcar relacionado a adução nitrogenada

Solo	Dose	<i>Cana planta</i>								
		----- 1º fase -----			----- 2º fase -----			----- 3º fase -----		
	kg ha ⁻¹ de N	dias	kg ha ⁻¹	%	dias	kg ha ⁻¹	%	dias	kg ha ⁻¹	%
LVAe	0	128	5,8	11,4	124	37,0	72,9	216	8,0	15,7
	40	123	7,4	11,4	138	47,3	73,0	208	10,1	15,5
	80	133	14,6	11,6	238	93,4	74,2	97	17,9	14,2
	120	112	13,7	11,7	319	87,6	74,8	37	15,9	13,5
	Média		124	10,4	11,5	205	66,3	73,7	139	12,9
LVe	0	155	10,4	11,9	131	66,4	76,2	237	10,4	11,9
	40	141	11,8	11,7	181	75,1	75,0	201	13,3	13,3
	80	156	10,4	11,6	130	66,5	74,0	236	13,0	14,4
	120	166	9,2	11,7	90	59,0	74,5	267	11,0	13,9
	Média		155	10,4	11,7	133	66,8	74,9	235	11,9
LVd	0	82	7,5	11,6	225	47,8	73,9	151	9,4	14,5
	40	121	6,4	11,3	88	41,1	72,5	250	9,2	16,2
	80	121	8,5	11,6	131	54,4	74,1	207	10,5	14,2
	120	121	6,8	11,4	129	43,7	72,9	209	9,4	15,7
	Média		111	7,3	11,5	143	46,8	73,4	204	9,6
<i>Cana soca</i>										
LVAe	0	173	5,7	12,4	158	36,5	79,3	29	3,8	8,3
	50	142	4,9	11,7	155	31,3	74,9	64	5,6	13,3
	100	151	5,5	12,0	158	35,1	76,7	51	5,2	11,3
	150	187	6,8	12,0	122	43,6	76,5	51	6,6	11,5
	Média		163	5,7	12,0	148	36,6	76,8	49	5,3
LVe	0	92	6,1	11,9	160	38,9	75,7	114	6,4	12,4
	50	93	6,6	11,6	107	41,9	74,4	167	7,9	14,0
	100	107	7,6	11,9	103	48,6	75,8	157	7,9	12,3
	150	82	6,5	11,6	148	41,3	74,4	136	7,7	13,9
	Média		93	6,7	11,8	130	42,7	75,1	144	7,5
LVd	0	100	6,2	12,4	223	39,9	79,0	38	4,4	8,7
	50	88	6,6	12,5	236	41,9	79,8	38	4,0	7,7
	100	77	6,2	12,0	202	39,7	76,5	82	6,0	11,5
	150	114	6,0	12,0	176	38,2	76,9	71	5,5	11,1
	Média		95	6,2	12,2	209	39,9	78,1	58	5,0

APÊNDICE F - Período e acúmulo relativo de Mg na parte aérea da cana-de-açúcar relacionado a adução nitrogenada

Solo	Dose	<i>Cana planta</i>								
		----- 1° fase -----			----- 2° fase -----			----- 3° fase -----		
	kg ha ⁻¹ de N	dias	kg ha ⁻¹	%	dias	kg ha ⁻¹	%	dias	kg ha ⁻¹	%
LV Ae	0	127	3,1	12,9	306	19,8	82,7	35	1,0	4,3
	40	193	3,5	12,7	258	22,0	81,2	17	1,6	6,0
	80	156	5,0	13,0	305	31,7	82,9	7	1,6	4,1
	120	161	6,0	13,4	314	38,6	85,6	6	0,5	1,0
	Média		159	4,4	13,0	296	28,1	83,1	16	1,2
LV e	0	147	9,0	13,4	368	57,5	85,6	7	0,7	1,0
	40	114	9,2	13,4	399	59,1	85,3	10	0,9	1,3
	80	131	11,1	13,4	356	71,0	85,4	36	1,0	1,2
	120	139	12,6	13,3	348	80,3	85,2	36	1,4	1,4
	Média		133	10,5	13,4	368	67,0	85,4	22	1,0
LV d	0	143	6,3	13,2	308	40,3	84,2	8	1,3	2,6
	40	63	6,3	13,1	370	40,2	83,9	26	1,4	3,0
	80	47	6,4	13,0	385	41,0	83,3	27	1,8	3,6
	120	69	6,1	12,8	345	39,2	82,0	45	2,5	5,2
	Média		80	6,3	13,0	352	40,2	83,3	27	1,7
<i>Cana soca</i>										
LV Ae	0	165	2,5	12,7	149	15,7	81,3	47	1,2	6,0
	50	140	3,0	12,9	212	19,0	82,5	9	1,1	4,6
	100	160	2,2	11,7	139	14,0	74,7	62	2,5	13,6
	150	172	2,9	12,2	153	18,3	78,1	36	2,3	9,6
	Média		159	2,6	12,4	163	16,7	79,2	38	1,8
LV e	0	98	3,7	12,3	221	23,3	78,7	48	2,7	9,0
	50	76	4,3	13,3	284	27,5	85,1	7	0,5	1,6
	100	100	3,6	12,0	200	22,9	76,4	67	3,5	11,7
	150	79	4,4	13,0	277	28,4	82,8	11	1,5	4,2
	Média		88	4,0	12,5	245	25,4	80,2	33	2,3
LV d	0	119	5,1	13,0	236	32,6	83,1	7	1,5	3,9
	50	114	5,1	13,1	241	32,8	83,6	7	1,3	3,3
	100	119	5,5	13,1	240	34,9	83,4	4	1,5	3,5
	150	83	4,2	13,0	261	27,0	83,3	18	1,2	3,6
	Média		109	5,0	13,0	244	31,8	83,3	9	1,4

APÊNDICE G - Período e acúmulo relativo de S na parte aérea da cana-de-açúcar relacionado a adução nitrogenada

		<i>Cana planta</i>								
Solo	Dose	----- 1º fase -----			----- 2º fase -----			----- 3º fase -----		
	kg ha ⁻¹ de N	dias	kg ha ⁻¹	%	dias	kg ha ⁻¹	%	dias	kg ha ⁻¹	%
LVAe	0	132	3,1	12,2	232	19,7	77,9	104	2,5	9,9
	40	114	3,9	12,3	260	25,2	78,8	94	2,8	8,9
	80	96	6,4	13,3	369	40,8	85,0	3	0,8	1,7
	120	115	4,9	13,0	324	31,1	83,4	29	1,3	3,6
	Média	114	4,6	12,7	296	29,2	81,3	58	1,9	6,0
LVe	0	170	5,9	11,8	104	37,5	75,6	249	6,2	12,6
	40	148	7,3	11,8	183	46,9	75,2	192	8,1	13,0
	80	142	8,2	12,0	223	52,2	76,6	157	7,8	11,4
	120	188	8,3	11,8	85	53,1	75,6	250	8,8	12,5
	Média	162	7,4	11,9	149	47,4	75,7	212	7,7	12,4
LVd	0	69	4,8	13,1	364	30,8	83,9	26	1,1	3,0
	40	67	4,1	12,0	222	25,9	76,4	170	3,9	11,6
	80	92	4,1	11,9	187	26,5	75,9	180	4,3	12,3
	120	104	4,3	11,9	184	27,2	75,8	171	4,5	12,4
	Média	83	4,3	12,2	240	27,6	78,0	137	3,4	9,8
<i>Cana soca</i>										
LVAe	0	138	2,3	12,5	173	14,6	79,6	50	1,4	7,9
	50	114	2,3	11,6	162	14,7	74,0	85	2,9	14,4
	100	127	2,6	11,6	151	16,7	74,4	83	3,2	14,0
	150	133	3,6	11,9	163	23,1	76,3	64	3,6	11,8
	Média	128	2,7	11,9	162	17,3	76,1	71	2,8	12,0
LVe	0	85	2,8	11,9	184	18,2	75,7	98	3,0	12,4
	50	85	3,1	11,8	131	19,9	75,3	151	3,4	12,9
	100	100	3,0	11,6	121	19,4	74,3	146	3,7	14,1
	150	80	3,0	11,6	152	19,5	74,4	135	3,7	13,9
	Média	88	3,0	11,7	147	19,2	74,9	132	3,4	13,3
LVd	0	130	3,9	13,0	222	25,2	83,4	10	1,1	3,6
	50	42	3,9	12,9	312	24,9	82,3	8	1,5	4,8
	100	34	4,5	12,9	315	28,8	82,4	13	1,7	4,7
	150	67	3,6	12,4	182	23,0	79,1	112	2,5	8,6
	Média	68	4,0	12,8	258	25,5	81,8	36	1,7	5,4

APÊNDICE H - Período e acúmulo relativo de B na parte aérea da cana-de-açúcar relacionado a adução nitrogenada

Solo	Dose kg ha ⁻¹ de N	<i>Cana planta</i>								
		1° fase			2° fase			3° fase		
		dias	g ha ⁻¹	%	dias	g ha ⁻¹	%	dias	g ha ⁻¹	%
LVAe	0	165	17,5	11,8	107	112,1	75,7	196	18,4	12,4
	40	136	19,1	11,9	129	121,8	75,8	203	19,8	12,3
	80	171	28,2	11,9	133	180,4	76,1	164	28,4	12,0
	120	143	20,9	11,8	150	133,4	75,4	175	22,6	12,8
	Média		154	21,4	11,9	130	136,9	75,8	185	22,3
LVe	0	158	31,6	11,9	130	201,6	76,2	234	31,5	11,9
	40	159	31,6	11,8	130	201,8	75,6	234	33,4	12,5
	80	196	81,8	12,7	280	522,8	81,2	47	39,1	6,1
	120	158	41,3	11,9	130	263,6	75,8	234	42,7	12,3
	Média		168	46,6	12,1	168	297,5	77,2	188	36,7
LVd	0	132	24,5	12,7	280	156,8	80,9	48	12,5	6,5
	40	82	24,5	12,8	330	156,3	81,7	47	10,5	5,5
	80	155	19,9	11,8	105	127,3	75,6	200	21,0	12,5
	120	152	19,7	11,9	135	125,7	75,9	172	20,1	12,2
	Média		130	22,2	12,3	212	141,5	78,6	117	16,0
<i>Cana soca</i>										
LVAe	0	177	18,8	12,2	150	120,1	78,0	33	15,1	9,8
	50	191	34,6	13,5	170	198,6	77,8	29	22,0	8,6
	100	167	26,8	12,0	116	171,2	76,5	77	25,7	11,5
	150	152	21,8	11,8	109	139,2	75,4	99	23,6	12,8
	Média		172	25,5	12,4	137	157,3	76,9	60	21,6
LVe	0	140	22,1	12,0	125	141,2	76,5	102	21,2	11,5
	50	115	27,1	12,5	198	173,4	79,6	54	17,4	8,0
	100	80	45,5	24,3	138	0,0	0,0	149	141,7	75,7
	150	92	34,7	20,4	133	0,0	0,0	142	135,2	79,6
	Média		107	32,3	17,3	148	157,3	78,1	112	78,9
LVd	0	108	53,9	27,6	99	0,0	0,0	155	141,7	72,4
	50	119	58,8	26,2	64	0,0	0,0	179	165,3	73,8
	100	135	86,5	30,5	56	0,0	0,0	171	197,5	69,5
	150	133	95,1	43,8	88	0,0	0,0	141	122,0	56,2
	Média		124	73,6	32,0	77	0,0	0,0	162	156,6

APÊNDICE I - Período e acúmulo relativo de Cu na parte aérea da cana-de-açúcar relacionado a adução nitrogenada

		<i>Cana planta</i>								
Solo	Dose	----- 1° fase -----			----- 2° fase -----			----- 3° fase -----		
	kg ha ⁻¹ de N	dias	g ha ⁻¹	%	dias	g ha ⁻¹	%	dias	g ha ⁻¹	%
LVAe	0	149	8,4	12,0	180	53,7	76,6	140	8,0	11,4
	40	119	8,5	12,4	268	54,4	79,0	81	5,9	8,6
	80	110	9,6	12,3	201	61,2	78,4	157	7,3	9,3
	120	85	9,6	12,0	222	61,0	76,7	161	9,0	11,3
	Média	116	9,0	12,2	218	57,6	77,7	135	7,5	10,1
LVe	0	149	16,1	11,9	168	102,6	75,9	206	16,5	12,2
	40	146	15,6	11,9	157	99,4	75,8	220	16,2	12,3
	80	166	14,2	11,9	113	90,6	76,2	244	14,2	11,9
	120	164	13,9	11,9	93	88,5	76,1	267	13,9	12,0
	Média	156	14,9	11,9	133	95,3	76,0	234	15,2	12,1
LVd	0	120	15,7	13,2	320	100,2	84,3	19	3,0	2,5
	40	125	16,0	13,3	321	102,5	84,7	12	2,5	2,1
	80	99	12,3	12,1	232	78,7	77,5	128	10,5	10,4
	120	109	11,9	13,3	184	76,3	84,9	166	1,6	1,8
	Média	113	14,0	13,0	264	89,4	82,9	81	4,4	4,2
<i>Cana soca</i>										
LVAe	0	149	5,0	11,9	90	31,9	76,2	122	5,0	11,9
	50	145	6,8	11,8	128	43,4	75,7	88	7,1	12,5
	100	145	6,8	12,0	128	43,6	76,5	88	6,6	11,5
	150	141	5,2	11,8	80	32,9	75,2	141	5,7	13,1
	Média	145	5,9	11,9	106	38,0	75,9	110	6,1	12,2
LVe	0	102	5,0	11,8	62	31,9	75,7	203	5,3	12,5
	50	99	5,5	11,9	55	35,0	75,9	213	5,6	12,2
	100	101	4,7	11,7	55	29,9	74,9	211	5,3	13,4
	150	100	4,3	11,8	54	27,6	75,6	213	4,6	12,6
	Média	100	4,9	11,8	57	31,1	75,5	210	5,2	12,6
LVd	0	93	9,9	12,5	134	63,5	80,1	135	5,8	7,4
	50	52	8,9	12,1	213	56,6	77,1	97	8,0	10,9
	100	59	9,8	12,3	238	62,9	78,7	65	7,2	9,0
	150	67	10,2	13,0	268	65,3	83,0	27	3,1	4,0
	Média	68	9,7	12,5	214	62,1	79,7	81	6,0	7,8

APÊNDICE J - Período e acúmulo relativo de Fe na parte aérea da cana-de-açúcar relacionado a adubação nitrogenada

Solo	Dose	<i>Cana planta</i>								
		----- 1° fase -----			----- 2° fase -----			----- 3° fase -----		
	kg ha ⁻¹ de N	dias	g ha ⁻¹	%	dias	g ha ⁻¹	%	dias	g ha ⁻¹	%
LVAe	0	198	1787,4	13,5	124	11419,8	86,5	146	0,0	0,0
	40	127	1293,0	13,5	181	8261,3	86,5	160	0,0	0,0
	80	110	1418,3	13,5	206	9061,4	86,5	152	0,0	0,0
	120	151	1974,9	13,5	160	12617,8	86,5	157	0,0	0,0
	Média		146	1618,4	13,5	168	10340,1	86,5	154	0,0
LVe	0	220	4598,2	13,5	101	29378,0	86,5	202	0,0	0,0
	40	214	3382,2	13,5	116	21608,9	86,5	193	0,0	0,0
	80	238	5113,8	13,5	100	32672,0	86,5	185	0,0	0,0
	120	260	6674,2	13,5	75	42639,6	86,5	188	0,0	0,0
	Média		233	4942,1	13,5	98	31574,6	86,5	192	0,0
LVd	0	169	1265,3	11,9	61	8084,1	76,2	230	1265,3	11,9
	40	165	789,9	11,9	50	5047,0	76,1	244	790,8	11,9
	80	160	815,2	11,9	60	5208,2	76,1	238	816,1	11,9
	120	158	736,0	11,9	96	4702,3	76,2	205	735,8	11,9
	Média		163	901,6	11,9	67	5760,4	76,2	229	902,0
<i>Cana soca</i>										
LVAe	0	188	552,1	12,5	173	3877,7	87,5	0,0	0,0	0,0
	50	203	626,9	15,0	158	3543,0	85,0	0,0	0,0	0,0
	100	167	604,3	9,9	194	5526,7	90,1	0,0	0,0	0,0
	150	171	591,3	13,0	190	3963,5	87,0	0,0	0,0	0,0
	Média		182	593,6	12,6	179	4227,7	87,4	0	0,0
LVe	0	167	1426,8	22,4	200	4934,6	77,6	0,0	0,0	0,0
	50	150	1482,4	25,8	217	4264,2	74,2	0,0	0,0	0,0
	100	145	1420,4	23,2	222	4712,1	76,8	0,0	0,0	0,0
	150	157	1665,2	29,2	210	4038,1	70,8	0,0	0,0	0,0
	Média		155	1498,7	25,1	212	4487,2	74,9	0	0,0
LVd	0	128	904,5	16,8	234	4482,9	83,2	0,0	0,0	0,0
	50	150	1692,1	26,2	212	4764,4	73,8	0,0	0,0	0,0
	100	159	1536,2	25,3	203	4524,5	74,7	0,0	0,0	0,0
	150	163	1488,7	33,0	199	3028,9	67,0	0,0	0,0	0,0
	Média		150	1405,4	25,3	212	4200,2	74,7	0	0,0

APÊNDICE K - Período e acúmulo relativo de Mn na parte aérea da cana-de-açúcar relacionado a adução nitrogenada

Solo	Dose	<i>Cana planta</i>								
		----- 1º fase -----			----- 2º fase -----			----- 3º fase -----		
	kg ha ⁻¹ de N	dias	g ha ⁻¹	%	dias	g ha ⁻¹	%	dias	g ha ⁻¹	%
LVAe	0	118	68,2	11,9	163	435,9	76,1	188	68,4	11,9
	40	110	71,6	11,9	65	457,5	75,9	293	73,4	12,2
	80	127	92,0	11,9	61	587,9	76,0	280	93,3	12,1
	120	110	89,9	11,4	58	574,4	73,1	301	121,7	15,5
	Média		116	80,4	11,8	87	513,9	75,3	265	89,2
LVe	0	196	580,7	13,5	100	3710,4	86,5	227	0,0	0,0
	40	193	456,5	13,5	112	2916,8	86,5	218	0,0	0,0
	80	175	480,5	13,5	126	3069,8	86,5	222	0,0	0,0
	120	185	623,7	13,5	115	3984,9	86,5	223	0,0	0,0
	Média		188	535,4	13,5	113	3420,5	86,5	223	0,0
LVd	0	92	399,2	12,2	260	2550,8	78,1	107	315,7	9,7
	40	99	287,9	11,9	133	1839,3	76,1	227	290,5	12,0
	80	98	358,9	11,9	118	2292,7	76,0	242	363,3	12,0
	120	143	389,9	11,9	87	2490,8	76,1	230	392,6	12,0
	Média		108	359,0	12,0	149	2293,4	76,6	202	340,5
<i>Cana soca</i>										
LVAe	0	161	46,2	12,7	171	295,3	81,0	28	23,2	6,3
	50	153	54,9	13,3	201	350,5	85,0	7	7,0	1,7
	100	135	60,8	13,4	221	388,7	85,3	5	6,1	1,3
	150	129	78,4	13,4	227	501,0	85,4	5	7,6	1,3
	Média		144	60,1	13,2	205	383,8	84,2	11	11,0
LVe	0	97	205,4	13,2	263	1312,4	84,3	7	39,7	2,5
	50	79	218,9	13,2	279	1398,5	84,4	9	39,3	2,4
	100	96	222,0	13,1	259	1418,6	83,6	13	56,3	3,3
	150	92	218,8	12,4	208	1398,2	79,5	67	142,8	8,1
	Média		91	216,3	13,0	252	1381,9	82,9	24	69,5
LVd	0	141	353,0	13,1	200	2255,1	83,8	21	84,6	3,1
	50	107	310,2	13,1	244	1982,0	84,0	11	66,9	2,8
	100	102	304,0	13,3	256	1942,1	84,9	5	42,5	1,9
	150	88	309,3	12,9	258	1976,1	82,5	16	109,2	4,6
	Média		109	319,1	13,1	239	2038,8	83,8	13	75,8

APÊNDICE L - Período e acúmulo relativo de Zn na parte aérea da cana-de-açúcar relacionado a adução nitrogenada

Solo	Dose kg ha ⁻¹ de N	<i>Cana planta</i>								
		----- 1° fase -----			----- 2° fase -----			----- 3° fase -----		
		dias	g ha ⁻¹	%	dias	g ha ⁻¹	%	dias	g ha ⁻¹	%
LV Ae	0	177	30,3	13,4	286	193,8	85,6	5	2,3	1,0
	40	138	32,9	13,5	326	210,1	86,0	4	1,3	0,5
	80	141	44,5	13,0	266	284,2	82,8	61	14,4	4,2
	120	169	46,5	12,6	241	297,3	80,8	58	24,3	6,6
	Média	156	38,6	13,1	280	246,4	83,8	32	10,6	3,1
LV e	0	188	46,4	11,9	97	296,4	76,0	238	47,1	12,1
	40	186	60,7	11,9	173	387,6	76,2	164	60,4	11,9
	80	187	47,2	11,9	114	301,6	76,1	222	47,3	11,9
	120	181	57,4	11,9	133	366,5	76,0	209	58,1	12,1
	Média	186	52,9	11,9	129	338,0	76,1	208	53,2	12,0
LV d	0	134	40,9	13,3	318	261,6	85,2	7	4,6	1,5
	40	141	27,6	12,0	174	176,0	76,8	144	25,7	11,2
	80	105	37,1	13,0	323	237,0	83,1	31	11,2	3,9
	120	149	38,7	12,3	230	247,4	78,6	80	28,7	9,1
	Média	132	36,1	12,7	261	230,5	80,9	66	17,6	6,4
<i>Cana soca</i>										
LV Ae	0	152	21,5	12,0	140	137,1	76,7	68	20,1	11,3
	50	118	20,7	12,1	196	132,5	77,2	47	18,4	10,7
	100	138	27,3	12,4	188	174,5	79,3	35	18,2	8,3
	150	130	27,5	12,4	207	175,5	79,0	23	19,3	8,7
	Média	135	24,2	12,2	183	154,9	78,1	44	19,0	9,7
LV e	0	118	35,1	12,2	175	224,5	77,8	74	29,1	10,1
	50	98	34,3	12,3	203	219,4	78,3	65	26,5	9,5
	100	113	27,5	11,9	93	175,4	75,9	160	28,4	12,3
	150	99	28,1	11,8	105	179,7	75,2	162	31,1	13,0
	Média	107	31,3	12,0	144	199,7	76,8	116	28,8	11,2
LV d	0	105	45,1	13,3	256	288,4	85,2	0,4	4,9	1,5
	50	95	55,6	13,5	284	341,8	83,3	17	12,9	3,1
	100	55	43,6	12,9	281	278,7	82,5	25	15,5	4,6
	150	81	36,1	13,1	271	230,7	84,0	9	8,0	2,9
	Média	84	45,1	13,2	273	284,9	83,7	13	10,3	3,0

ANEXOS

ANEXO A - Índices de produção de matéria seca (PMS) da parte aérea da cana-de-açúcar relacionado à adubação nitrogenada

<i>Cana planta</i>								
Solo	Dose	PMS	T _{1ºfase}	T _{2ºfase}	TMPMS ⁺	DMA	PMA	
	kg ha ⁻¹ de N	Mg ha ⁻¹	----- DAP -----		kg ha ⁻¹ dia ⁻¹	dias	DAP	
LVAe	0	41,9	218	413	219,7	10	315	F _{dose.} 10,34 ^{***}
	40	51,5	220	421	268,8	10	320	F _{linear.} 28,28 ^{***}
	80	61,1	220	461	279,3	7	340	F _{quadrat.} 2,30 ^{NS}
	120	61,9	214	437	292,8	11	325	CV (%): 10,81
	Média	54,1 B	218	433	265,1	10	325	
LVe	0	63,9	195	390	325,4	6	293	F _{dose.} 4,47 ^{**}
	40	74,7	191	452	291,5	10	321	F _{linear.} 13,03 ^{***}
	80	83,9	197	448	343,6	10	323	F _{quadrat.} 0,37 ^{NS}
	120	88,5	194	436	374,5	8	315	CV (%): 13,22
	Média	77,8 A	194	431	333,7	9	313	
LVd	0	60,0	171	450	239,4	12	311	F _{dose.} 0,05 ^{NS}
	40	59,7	171	454	228,6	14	312	F _{linear.} 0,01 ^{NS}
	80	60,8	148	443	227,3	9	296	F _{quadrat.} 0,03 ^{NS}
	120	59,7	153	430	229,5	12	291	CV (%): 7,51
	Média	60,1 B	161	444	231,2	12	303	
<i>Cana soca</i>								
LVAe	0	28,9	188	352	194,8	9	270	F _{dose.} 1,38 ^{NS}
	50	27,1	175	347	173,0	2	261	F _{linear.} 2,42 ^{NS}
	100	29,5	165	350	177,3	7	258	F _{quadrat.} 1,59 ^{NS}
	150	32,0	180	341	209,0	2	261	CV (%): 16,55
	Média	29,3 C	177	348	188,5	5	262	
LVe	0	31,3	132	344	159,7	13	238	F _{dose.} 2,15 ^{NS}
	50	34,1	119	361	154,3	13	240	F _{linear.} 2,00 ^{NS}
	100	35,6	126	344	177,9	15	235	F _{quadrat.} 4,27 ^{NS}
	150	33,3	114	347	155,5	13	230	CV (%): 10,28
	Média	33,5 B	123	349	161,8	13	236	
LVd	0	40,1	161	347	231,1	2	254	F _{dose.} 0,51 ^{NS}
	50	39,6	146	348	207,9	13	247	F _{linear.} 0,17 ^{NS}
	100	42,1	140	342	228,3	7	241	F _{quadrat.} 1,20 ^{NS}
	150	40,2	160	354	227,9	10	257	CV (%): 10,97
	Média	40,5 A	152	347	223,8	8	250	
		Cana planta			Cana Soca			
F _{solos.}		30,18 ^{***}			57,19 ^{***}			
D.M.S.		6,75			2,20			
CV (%)		13,99			12,22			

⁺TMAMS - taxa máxima de produção de matéria seca; ^{**}, ^{***} significativo, respectivamente a 5 e 1 % de probabilidade; ^{NS}: não significativo; Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade

ANEXO B - Índices do acúmulo de nitrogênio (AN) na parte aérea da cana-de-açúcar relacionado à adubação nitrogenada

<i>Cana planta</i>								
Solo	Dose	AN	T ₁ ^o fase	T ₂ ^o fase	TMAN ⁺	DMA	PMA	
	kg ha ⁻¹ de N	kg ha ⁻¹	----- DAP -----		g ha ⁻¹ dia ⁻¹	dias	DAP	
LV Ae	0	131,6	118	441	506,9	10	252	F _{dose.} 6,38**
	40	157,0	100	424	485,8	14	271	F _{linear.} 16,93***
	80	193,9	101	435	643,3	9	262	F _{quadrat.} 1,32 ^{NS}
	120	192,0	128	385	677,8	4	282	CV (%): 14,04
	Média	168,7 B	112	421	578,4	9	267	
LV e	0	200,3	149	297	1348,4	2	223	F _{dose.} 12,16***
	40	228,9	134	323	1206,5	4	229	F _{linear.} 40,97***
	80	262,2	143	325	1414,3	2	234	F _{quadrat.} 4,30 ^{NS}
	120	278,7	126	322	1421,8	4	224	CV (%): 12,50
	Média	230,6 A	138	317	1347,7	3	227	
LV d	0	202,4	108	367	782,7	7	237	F _{dose.} 1,85 ^{NS}
	40	184,0	102	303	916,9	6	203	F _{linear.} 0,43 ^{NS}
	80	221,4	97	340	914,3	4	218	F _{quadrat.} 0,85 ^{NS}
	120	175,2	99	292	1007,7	3	195	CV (%): 15,40
	Média	195,8 B	101	325	905,4	5	213	
<i>Cana soca</i>								
LV Ae	0	84,6	91	339	368,1	5	215	F _{dose.} 8,45***
	50	83,0	85	245	521,3	3	165	F _{linear.} 8,03***
	100	75,6	85	241	484,7	3	163	F _{quadrat.} 12,6***
	150	106,3	102	270	635,5	6	186	CV (%): 14,72
	Média	87,4 C	91	274	502,4	4	182	
LV e	0	102,0	68	341	407,0	1	204	F _{dose.} 6,42***
	50	118,6	68	341	464,6	9	204	F _{linear.} 0,73 ^{NS}
	100	121,2	51	310	503,3	6	180	F _{quadrat.} 18,4***
	150	105,9	53	231	603,5	4	142	CV (%): 9,38
	Média	111,9 B	60	306	494,6	5	183	
LV d	0	125,4	57	266	610,7	6	161	F _{dose.} 0,38 ^{NS}
	50	124,1	51	205	807,4	3	128	F _{linear.} 0,13 ^{NS}
	100	128,2	79	173	1365,9	1	126	F _{quadrat.} 0,36 ^{NS}
	150	121,5	72	183	1087,7	2	127	CV (%): 10,22
	Média	124,8 A	65	207	967,9	3	136	
		Cana planta			Cana Soca			
F _{solos.}		8,90***			49,63***			
D.M.S.		31,37			7,97			
CV (%)		20,96			14,12			

⁺TMAN - taxa máxima de acúmulo de; **, *** significativo, respectivamente a 5 e 1 % de probabilidade; ^{NS}: não significativo; Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade

ANEXO C - Índices do acúmulo de fósforo (AP) na parte aérea da cana-de-açúcar relacionado à adubação nitrogenada

<i>Cana planta</i>								
Solo	Dose	AP	T ₁ °fase	T ₂ °fase	TMAP [†]	DMA	PMA	
	kg ha ⁻¹ de N	kg ha ⁻¹	----- DAP -----		g ha ⁻¹ dia ⁻¹	dias	DAP	
LVAe	0	8,1	157	370	47,1	13	264	F _{dose.} 62,61 ^{***}
	40	16,6	160	375	82,1	9	268	F _{linear.} 85,16 ^{**}
	80	28,2	168	430	116,8	21	299	F _{quadrat.} 75,6 ^{***}
	120	18,6	156	455	72,6	2	305	CV (%): 11,70
	Média	17,9 C	160	408	79,7	12	284	
LVe	0	25,6	151	309	167,1	3	230	F _{dose.} 8,43 ^{***}
	40	39,6	167	435	149,4	13	301	F _{linear.} 0,13 ^{NS}
	80	26,9	170	296	217,9	7	233	F _{quadrat.} 7,71 [*]
	120	28,6	153	305	187,8	9	229	CV (%): 14,60
	Média	30,2 A	160	336	180,5	8	248	
LVd	0	25,7	112	435	91,6	26	273	F _{dose.} 0,19 ^{NS}
	40	25,4	107	369	103,6	18	238	F _{linear.} 0,25 ^{NS}
	80	26,0	123	367	114,4	14	245	F _{quadrat.} 0,18 ^{NS}
	120	23,9	151	311	152,5	9	231	CV (%): 16,81
	Média	25,2 B	123	371	115,5	17	247	
<i>Cana soca</i>								
LVAe	0	10,6	134	298	64,8	18	216	F _{dose.} 2,24 ^{NS}
	50	11,0	114	294	59,2	10	204	F _{linear.} 6,42 [*]
	100	12,5	108	301	62,9	23	204	F _{quadrat.} 0,17 ^{NS}
	150	13,7	100	345	54,9	30	222	CV (%): 22,22
	Média	11,9 C	104	309	60,4	20	212	
LVe	0	14,3	75	240	86,5	12	157	F _{dose.} 2,35 [*]
	50	16,1	54	277	73,4	23	165	F _{linear.} 1,32 ^{NS}
	100	15,4	91	226	117,7	10	159	F _{quadrat.} 5,68 ^{**}
	150	13,0	79	174	137,2	3	127	CV (%): 16,82
	Média	14,7 B	75	229	103,7	12	152	
LVd	0	19,2	85	268	106,2	9	176	F _{dose.} 3,27 ^{**}
	50	20,2	52	287	86,8	23	170	F _{linear.} 1,51 ^{NS}
	100	21,4	17	347	69,7	33	182	F _{quadrat.} 6,80 ^{**}
	150	16,8	70	225	106,5	10	148	CV (%): 15,64
	Média	19,4 A	56	282	92,3	19	119	
		Cana planta			Cana Soca			
F _{solos.}	14,54 ^{***}			61,76 ^{***}				
D.M.S.	4,89			1,41				
CV (%)	26,56			17,62				

[†]TMAP - taxa máxima de acúmulo de P; *, **, *** significativo, respectivamente, a 10, 5 e 1 % de probabilidade; ^{NS}: não significativo; Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade

ANEXO D - Índices do acúmulo de potássio (AK) na parte aérea da cana-de-açúcar relacionado à adubação nitrogenada

<i>Cana planta</i>								
Solo	Dose	AK	T ₁ ^{fase}	T ₂ ^{fase}	TMAK ⁺	DMA	PMA	
	kg ha ⁻¹ de N	kg ha ⁻¹	----- DAP -----	-----	g ha ⁻¹ dia ⁻¹	dias	DAP	
LV Ae	0	339,1	188	366	1932,0	1	277	F _{dose.} 8,12 ^{***}
	40	376,1	158	391	1668,8	5	274	F _{linear.} 7,86 [*]
	80	570,8	170	447	2261,2	2	308	F _{quadrat.} 6,67 [*]
	120	423,4	142	427	1599,2	3	284	CV (%): 16,69
	Média	427,3 B	164	408	1865,3	3	286	
LV e	0	307,3	150	291	2184,7	2	220	F _{dose.} 8,19 ^{***}
	40	423,6	124	353	1847,0	1	239	F _{linear.} 21,34 ^{***}
	80	415,4	159	297	2986,1	1	228	F _{quadrat.} 0,34 ^{NS}
	120	577,1	112	370	2250,7	4	241	CV (%): 18,00
	Média	430,8 B	136	328	2317,1	2	232	
LV d	0	523,2	91	359	2009,5	3	225	F _{dose.} 0,66 ^{NS}
	40	559,9	83	360	2081,5	4	222	F _{linear.} 0,01 ^{NS}
	80	570,2	80	353	2147,4	3	217	F _{quadrat.} 1,96 ^{NS}
	120	519,7	110	304	2698,7	3	207	CV (%): 11,43
	Média	543,3 A	91	344	2234,3	3	218	
<i>Cana soca</i>								
LV Ae	0	239,0	141	279	1751,3	1	210	F _{dose.} 1,95 ^{NS}
	50	195,5	148	216	2839,9	1	182	F _{linear.} 0,42 ^{NS}
	100	229,6	135	235	2287,9	1	185	F _{quadrat.} 3,37 ^{NS}
	150	240,2	134	253	2025,0	1	194	CV (%): 19,22
	Média	226,1 B	140	246	2226,0	1	193	
LV e	0	127,0	59	194	944,0	3	127	F _{dose.} 5,17 ^{***}
	50	176,4	78	212	1317,8	2	145	F _{linear.} 1,20 ^{NS}
	100	151,0	60	195	1109,6	2	127	F _{quadrat.} 8,04 ^{***}
	150	150,0	60	195	1106,4	2	127	CV (%): 16,58
	Média	151,1 C	64	199	1119,5	2	132	
LV d	0	336,1	68	253	1840,0	1	161	F _{dose.} 1,13 ^{NS}
	50	336,2	53	224	1976,7	2	139	F _{linear.} 0,50 ^{NS}
	100	354,3	56	233	2015,8	3	145	F _{quadrat.} 1,70 ^{NS}
	150	313,6	91	199	2882,1	1	145	CV (%): 13,18
	Média	335,0 A	67	227	2181,0	2	147	
		<i>Cana planta</i>			<i>Cana Soca</i>			
F _{solos.}		7,84 ^{***}			137,07 ^{***}			
D.M.S.		71,07			23,36			
CV (%)		20,16			18,80			

⁺TMAK - taxa máxima de acúmulo de K; * ** ** significativo, respectivamente, a 10 e 1 % de probabilidade; ^{NS}: não significativo; Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade

ANEXO E - Índices do acúmulo de cálcio (ACa) na parte aérea da cana-de-açúcar relacionado à adubação nitrogenada

<i>Cana planta</i>								
Solo	Dose	ACa	T ₁ °fase	T ₂ °fase	TMACa ⁺	DMA	PMA	
	kg ha ⁻¹ de N	kg ha ⁻¹	----- DAP -----		g ha ⁻¹ dia ⁻¹	dias	DAP	
LV Ae	0	50,7	128	252	390,3	3	190	F _{dose.} 9,52 ^{***}
	40	64,8	123	260	451,6	4	192	F _{linear.} 7,86 [*]
	80	125,9	133	371	514,9	9	252	F _{quadrat.} 6,67 [*]
	120	117,2	112	431	360,7	13	271	CV (%): 16,69
	Média	89,6 A	124	329	429,4	7	226	
LV e	0	89,4	155	286	665,0	1	221	F _{dose.} 0,64 ^{NS}
	40	100,2	141	322	543,8	6	232	F _{linear.} 21,34 ^{***}
	80	89,9	156	287	670,5	2	221	F _{quadrat.} 0,34 ^{NS}
	120	79,2	166	256	858	1	211	CV (%): 18,00
	Média	89,7 A	155	288	684,6	3	221	
LV d	0	64,7	82	308	278,8	11	195	F _{dose.} 0,98 ^{NS}
	40	56,7	121	209	610,4	1	165	F _{linear.} 0,01 ^{NS}
	80	73,4	121	252	546,5	3	187	F _{quadrat.} 1,96 ^{NS}
	120	59,9	121	250	446,7	4	185	CV (%): 11,43
	Média	63,7 B	111	255	470,6	5	183	
<i>Cana soca</i>								
LV Ae	0	46,1	173	331	302,9	8	252	F _{dose.} 4,28 ^{***}
	50	41,8	142	297	265,7	8	220	F _{linear.} 0,42 ^{NS}
	100	45,8	151	309	291,0	2	230	F _{quadrat.} 3,37 ^{NS}
	150	56,9	187	309	468,5	3	248	CV (%): 19,22
	Média	47,7 C	163	312	332,0	5	238	
LV e	0	51,4	92	253	318,7	7	172	F _{dose.} 4,70 ^{***}
	50	56,3	93	199	515,9	3	146	F _{linear.} 1,20 ^{NS}
	100	64,1	107	210	618,6	1	158	F _{quadrat.} 8,04 ^{***}
	150	55,5	82	230	365,5	5	156	CV (%): 16,58
	Média	56,8 A	93	223	454,7	4	158	
LV d	0	50,5	100	323	235,0	4	212	F _{dose.} 0,18 ^{NS}
	50	52,5	88	324	233,3	9	206	F _{linear.} 0,50 ^{NS}
	100	51,9	77	279	257,6	9	178	F _{quadrat.} 1,70 ^{NS}
	150	49,6	114	290	284,3	4	202	CV (%): 13,18
	Média	51,1 B	95	304	252,6	7	199	
		Cana planta				Cana Soca		
F _{solos.}	7,84 ^{***}				137,07 ^{***}			
D.M.S.	71,07				23,36			
CV (%)	20,16				18,80			

⁺TMACa - taxa máxima de acúmulo de Ca; *, ***, significativo, respectivamente, a 10 e 1 % de probabilidade; ^{NS}: não significativo; Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade

ANEXO F - Índices do acúmulo de magnésio (AMg) na parte aérea da cana-de-açúcar relacionado à adubação nitrogenada

<i>Cana planta</i>								
Solo	Dose	AMg	T ₁ ^o fase	T ₂ ^o fase	TMAMg ⁺	DMA	PMA	
	kg ha ⁻¹ de N	kg ha ⁻¹	----- DAP -----		g ha ⁻¹ dia ⁻¹	dias	DAP	
LV Ae	0	23,9	127	433	85,2	13	280	F _{dose.} 16,31 ^{***}
	40	27,1	193	451	112,1	10	322	F _{linear.} 47,10 ^{***}
	80	38,2	156	461	136,4	15	309	F _{quadrat.} 0,59 ^{NS}
	120	45,1	161	474	161,8	21	317	CV (%): 14,45
	Média	33,6 C	159	455	123,9	14,8	307	
LV e	0	67,1	147	516	204,9	24	331	F _{dose.} 3,95 ^{**}
	40	69,2	114	513	194,2	14	313	F _{linear.} 11,11 ^{***}
	80	83,1	131	487	261,7	19	309	F _{quadrat.} 0,50 ^{NS}
	120	94,1	139	487	302,9	19	313	CV (%): 16,24
	Média	78,4 A	133	501	240,9	19	317	
LV d	0	47,8	143	451	172,0	3	297	F _{dose.} 0,04 ^{NS}
	40	47,8	63	433	142,4	17	248	F _{linear.} 0,06 ^{NS}
	80	49,2	47	432	139,8	29	239	F _{quadrat.} 0,50 ^{NS}
	120	47,7	69	414	149,2	11	241	CV (%): 12,94
	Média	48,1 B	80	432	150,8	15	256	
<i>Cana soca</i>								
LV Ae	0	19,3	165	314	138,0	2	240	F _{dose.} 5,23 ^{***}
	50	23,0	140	352	117,7	15	246	F _{linear.} 3,01 [*]
	100	18,7	160	299	131,5	8	230	F _{quadrat.} 0,14 ^{NS}
	150	23,4	172	325	156,7	9	248	CV (%): 14,14
	Média	21,1 C	159	323	136,0	9	241	
LV e	0	29,7	98	319	138,7	13	209	F _{dose.} 1,79 ^{NS}
	50	32,3	76	360	127,4	15	218	F _{linear.} 2,55 ^{NS}
	100	30,0	100	300	150,5	11	200	F _{quadrat.} 0,23 ^{NS}
	150	34,3	79	356	134,7	20	217	CV (%): 14,39
	Média	31,6 B	88	334	137,8	15	211	
LV d	0	39,2	119	355	181,2	8	237	F _{dose.} 4,63 ^{***}
	50	39,2	114	355	178,6	14	234	F _{linear.} 4,49 ^{**}
	100	41,8	119	358	190,9	15	239	F _{quadrat.} 6,37 ^{**}
	150	32,5	83	344	136,1	9	214	CV (%): 13,77
	Média	38,2 A	109	353	171,7	12	231	
		Cana planta			Cana Soca			
F _{solos.}		90,43 ^{***}			91,16 ^{***}			
D.M.S.		7,25			2,66			
CV (%)		17,99			16,85			

⁺TMAMg - taxa máxima de acúmulo de Mg; *, **, *** significativo, respectivamente, a 10, 5 e 1 % de probabilidade; NS: não significativo; Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade

ANEXO G - Índices do acúmulo de enxofre (AS) na parte aérea da cana-de-açúcar relacionado à adubação nitrogenada

<i>Cana planta</i>								
Solo	Dose	AS	T ₁ °fase	T ₂ °fase	TMAS ⁺	DMA	PMA	
	kg ha ⁻¹ de N	kg ha ⁻¹	----- DAP -----		g ha ⁻¹ dia ⁻¹	dias	DAP	
LV Ae	0	25,0	132	364	111,3	11	248	F _{dose.} 8,48***
	40	32,0	114	374	127,3	14	244	F _{linear.} 13,09***
	80	48,0	96	465	145,3	14	280	F _{quadrat.} 6,69**
	120	37,7	115	439	125,8	26	277	CV (%): 18,72
	Média	35,7 B	114	410	127,4	16	262	
LV e	0	49,6	170	274	471,5	3	222	F _{dose.} 15,67***
	40	62,4	148	331	335,9	8	239	F _{linear.} 43,61***
	80	68,1	142	366	306,9	11	254	F _{quadrat.} 5,29**
	120	70,2	188	273	817,0	1	231	CV (%): 7,48
	Média	62,6 A	162	311	482,8	6	236	
LV d	0	37,4	69	433	110,9	33	251	F _{dose.} 1,51 ^{NS}
	40	33,9	67	289	152,9	17	178	F _{linear.} 0,37 ^{NS}
	80	34,9	92	279	185,5	9	186	F _{quadrat.} 3,51*
	120	36,0	104	288	194,2	6	196	CV (%): 6,86
	Média	35,5 B	83	322	160,9	16	203	
<i>Cana soca</i>								
LV Ae	0	18,3	138	311	110,3	10	225	F _{dose.} 13,30***
	50	19,9	114	276	119,2	6	195	F _{linear.} 35,55**
	100	22,5	127	278	145,7	9	203	F _{quadrat.} 4,07*
	150	30,3	133	297	186,0	3	215	CV (%): 18,13
	Média	22,8 C	128	290	140,3	7	209	
LV e	0	24,0	85	269	129,7	13	177	F _{dose.} 1,03 ^{NS}
	50	26,4	85	216	199,7	7	151	F _{linear.} 0,05 ^{NS}
	100	26,1	100	221	210,2	3	161	F _{quadrat.} 5,75**
	150	26,2	80	232	168,0	2	156	CV (%): 12,06
	Média	25,7 B	88	235	176,9	6	161	
LV d	0	30,2	130	352	149,1	5	241	F _{dose.} 4,50*
	50	30,3	42	354	104,8	27	198	F _{linear.} 4,49**
	100	35,0	34	349	120,1	9	191	F _{quadrat.} 6,37**
	150	29,1	67	250	165,8	12	159	CV (%): 13,77
	Média	31,1 A	68	326	134,9	13	197	
		Cana planta				Cana Soca		
F _{solos.}		83,95***				29,94***		
D.M.S.		5,12				2,28		
CV (%)		15,24				16,43		

⁺TMAS - taxa máxima de acúmulo de S; ***,**,* significativos, respectivamente, a 10, 5 e 1 % de probabilidade; ^{NS}: não significativo; Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade

ANEXO H - Índices do acúmulo de boro (AB) na parte aérea da cana-de-açúcar relacionado à adubação nitrogenada

<i>Cana planta</i>								
Solo	Dose	AB	T ₁ ^o fase	T ₂ ^o fase	TMAB [†]	DM	PMA	
	kg ha ⁻¹ de N	g ha ⁻¹	----- DAP -----		mg ha ⁻¹ dia ⁻¹	dias	DAP	
LV Ae	0	148,1	165	272	1380,4	1	218	F _{dose.} 11,30 ^{***}
	40	160,7	136	265	1242,7	2	200	F _{linear.} 9,64 ^{**}
	80	237,0	171	304	1779,9	1	238	F _{quadrat.} 9,65 ^{**}
	120	176,8	143	293	1166,7	3	218	CV (%): 12,97
	Média	180,7 B	154	283	1392,4	2	219	
LV e	0	265,3	158	289	2033,8	1	224	F _{dose.} 51,39 ^{***}
	40	266,9	159	289	2039,0	1	224	F _{linear.} 31,05 ^{***}
	80	643,7	196	476	2452,6	4	336	F _{quadrat.} 35,3 ^{***}
	120	347,6	158	289	2660,5	2	224	CV (%): 13,14
	Média	380,9 A	168	335	2296,5	2	252	
LV d	0	193,9	132	411	735,5	6	272	F _{dose.} 5,66 ^{**}
	40	191,3	82	412	622,6	10	247	F _{linear.} 14,87 ^{***}
	80	168,2	155	259	1595,1	1	207	F _{quadrat.} 0,01 ^{NS}
	120	165,5	152	287	1226,1	1	219	CV (%): 6,97
	Média	179,7 B	130	342	1044,8	5	236	
<i>Cana soca</i>								
LV Ae	0	154,0	177	327	1050,0	1	252	F _{dose.} 19,29 ^{***}
	50	242,1	191	361	1450,9	4	290	F _{linear.} 3,52 [*]
	100	223,7	167	284	1792,2	1	225	F _{quadrat.} 49,3 ^{***}
	150	184,6	152	261	1637,9	1	207	CV (%): 12,78
	Média	201,1 B	172	308	1523,3	2	244	
LV e	0	184,4	140	265	1486,7	2	202	F _{dose.} 0,99 ^{NS}
	50	217,9	115	313	1152,3	3	214	F _{linear.} 0,92 ^{NS}
	100	187,1	80	218	2625,4	1	367	F _{quadrat.} 2,74 ^{NS}
	150	169,9	92	225	2292,5	1	367	CV (%): 30,22
	Média	189,8 B	107	255	1889,2	2	288	
LV d	0	195,7	108	207	2315,6	1	362	F _{dose.} 1,72 ^{NS}
	50	224,1	119	183	2544,6	1	362	F _{linear.} 4,49 ^{**}
	100	284,0	135	191	2778,5	1	362	F _{quadrat.} 6,37 ^{**}
	150	217,0	133	221	2094,4	1	362	CV (%): 13,77
	Média	230,2 A	124	201	2433,3	1	362	
		Cana planta			Cana Soca			
F _{solos.}		25,59 ^{***}			4,39 ^{**}			
D.M.S.		62,12			29,53			
CV (%)		37,07			27,30			

[†]TMAB - taxa máxima de acúmulo de B; *,**,*** significativo, respectivamente, a 10, 5 e 1 % de probabilidade; ^{NS}: não significativo; Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade

ANEXO I - Índices do acúmulo de cobres (ACu) na parte aérea da cana-de-açúcar relacionado à adubação nitrogenada

<i>Cana planta</i>								
Solo	Dose	ACu	T ₁ °fase	T ₂ °fase	TMACu ⁺	DMA	PMA	
	kg ha ⁻¹ de N	g ha ⁻¹	----- DAP -----		mg ha ⁻¹ dia ⁻¹	dias	DAP	
LV Ae	0	49,4	149	328	392,5	6	239	F _{dose.} 4,93**
	40	68,9	119	387	266,5	11	253	F _{linear.} 7,94**
	80	78,0	110	311	400,1	4	211	F _{quadrat.} 6,75**
	120	69,2	85	307	361,5	8	196	CV (%): 16,38
	Média	66,4 B	116	333	355,2	7	225	
LV e	0	135,1	149	317	800,7	4	233	F _{dose.} 2,08 ^{NS}
	40	131,1	146	303	832,2	2	225	F _{linear.} 3,00 ^{NS}
	80	99,4	166	279	1055,0	1	222	F _{quadrat.} 0,84 ^{NS}
	120	116,3	164	256	1254,1	1	210	CV (%): 18,86
	Média	120,5 A	156	389	985,5	2	223	
LV d	0	118,9	120	440	411,2	7	280	F _{dose.} 7,05***
	40	121,0	125	447	418,7	7	286	F _{linear.} 18,24***
	80	101,6	99	331	445,1	1	215	F _{quadrat.} 1,55 ^{NS}
	120	89,8	109	293	545,1	1	201	CV (%): 10,36
	Média	107,8 A	113	378	455,0	4	246	
<i>Cana soca</i>								
LV Ae	0	34,6	149	239	467,5	3	194	F _{dose.} 7,47***
	50	57,3	145	273	441,1	2	209	F _{linear.} 2,91*
	100	57,0	145	273	446,7	2	209	F _{quadrat.} 19,1***
	150	43,8	141	220	541,6	2	180	CV (%): 22,65
	Média	48,2 B	145	251	475,0	2	198	
LV e	0	42,2	102	164	672,6	1	133	F _{dose.} 2,22 ^{NS}
	50	46,2	99	154	835,2	1	127	F _{linear.} 3,65*
	100	39,9	101	156	707,6	1	129	F _{quadrat.} 1,81 ^{NS}
	150	36,6	100	154	668,5	1	127	CV (%): 18,56
	Média	41,2 C	100	157	721	1	129	
LV d	0	79,3	93	227	620,6	3	160	F _{dose.} 0,42 ^{NS}
	50	73,4	52	265	348,0	1	158	F _{linear.} 0,05 ^{NS}
	100	79,9	59	297	347,1	4	178	F _{quadrat.} 0,25 ^{NS}
	150	78,7	67	335	319,7	12	201	CV (%): 16,73
	Média	77,8 A	68	281	408,8	5	174	
		Cana planta			Cana Soca			
F _{solos.}	34,56***			80,38***				
D.M.S.	14,53			6,39				
CV (%)	19,60			21,87				

⁺TMACu - taxa máxima de acúmulo de Cu; *,**,*** significativo, respectivamente, a 10, 5 e 1 % de probabilidade; ^{NS}: não significativo; Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade

ANEXO J - Índices do acúmulo de ferro (AFe) na parte aérea da cana-de-açúcar relacionado à adubação nitrogenada

<i>Cana planta</i>								
Solo	Dose	AFe	T ₁ ^{fase}	T ₂ ^{fase}	TMAFe ⁺	DMA	PMA	
	kg ha ⁻¹ de N	g ha ⁻¹	----- DAP -----	-----	g ha ⁻¹ dia ⁻¹	dias	DAP	
LV Ae	0	3232,8	198	322	129,7	6	261	F _{dose.} 3,16 ^{***}
	40	4038,6	127	308	64,0	6	218	F _{linear.} 33,36 ^{***}
	80	7358,0	110	316	61,7	8	213	F _{quadrat.} 0,76 ^{NS}
	120	7145,7	151	311	111,0	3	231	CV (%): 21,42
	Média	5443,7 C	146	314	91,6	6	231	
LV e	0	10849,2	220	321	410,3	2	271	F _{dose.} 7,85 ^{***}
	40	9256,6	214	330	261,1	3	273	F _{linear.} 7,38 [*]
	80	9818,7	238	338	457,9	3	288	F _{quadrat.} 16,1 ^{***}
	120	13137,4	260	335	793,3	1	298	CV (%): 11,36
	Média	10765,6 A	233	321	480,7	2	283	
LV d	0	9546,9	169	229	174,5	1	199	F _{dose.} 33,79 ^{***}
	40	6627,7	165	215	133,7	1	190	F _{linear.} 84,14 ^{***}
	80	6839,5	160	221	113,6	1	190	F _{quadrat.} 4,53 ^{**}
	120	5239,5	158	254	64,5	7	206	CV (%): 8,77
	Média	7063,4 B	163	230	121,6	3	196	
<i>Cana soca</i>								
LV Ae	0	4429,8	188	361	37,1	1	361	F _{dose.} 2,68 [*]
	50	4169,9	203	361	41,3	1	361	F _{linear.} 0,93 ^{NS}
	100	6131,0	167	361	70,6	1	361	F _{quadrat.} 1,47 ^{NS}
	150	4554,8	171	361	27,8	1	324	CV (%): 31,77
	Média	4821,4 B	182	361	44,2	1	352	
LV e	0	6361,4	167	367	67,4	1	367	F _{dose.} 0,39 ^{NS}
	50	5746,6	150	367	53,5	1	367	F _{linear.} 0,49 ^{NS}
	100	6132,4	145	367	54,9	1	367	F _{quadrat.} 0,03 ^{NS}
	150	5703,4	157	367	53,2	1	367	CV (%): 23,76
	Média	5985,9 A	155	367	57,3	1	367	
LV d	0	5387,4	128	362	22,9	1	272	F _{dose.} 1,89 ^{NS}
	50	6456,5	150	362	63,0	1	362	F _{linear.} 1,18 ^{NS}
	100	6060,8	159	362	63,5	1	362	F _{quadrat.} 4,49 ^{**}
	150	4517,5	163	362	22,4	1	362	CV (%): 31,11
	Média	5605,5 AB	150	362	43,0	1	339	
		Cana planta			Cana Soca			
F _{solos.}	26,69 ^{***}			4,63 ^{***}				
D.M.S.	1593,80			815,81				
CV (%)	27,23			28,51				

⁺TMAFe - taxa máxima de acúmulo de Fe; *, **, *** significativo, respectivamente, a 10, 5 e 1 % de probabilidade; ^{NS}: não significativo; Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade

ANEXO K - Índices do acúmulo de manganês (AMn) na parte aérea da cana-de-açúcar relacionado à adubação nitrogenada

<i>Cana planta</i>								
Solo	Dose	AMn	T _{1ºfase}	T _{2ºfase}	TMAMn ⁺	DMA	PMA	
	kg ha ⁻¹ de N	g ha ⁻¹	----- DAP -----		mg ha ⁻¹ dia ⁻¹	dias	DAP	
LVaE	0	572,6	118	280	3520,3	1	199	F _{dose.} 4,27**
	40	602,5	110	175	9222,2	1	142	F _{linear.} 11,26***
	80	773,2	127	188	12705,6	1	157	F _{quadrat.} 0,02 ^{NS}
	120	786,0	110	167	13020,9	1	138	CV (%): 15,81
	Média	683,58 B	116	203	9617,3	1	159	
LVe	0	249,4	196	296	52286,7	1	247	F _{dose.} 11,53***
	40	495,5	193	305	36621,6	1	250	F _{linear.} 15,38***
	80	301,8	175	301	34250,6	1	239	F _{quadrat.} 0,20 ^{NS}
	120	590,2	185	300	48772,1	1	243	CV (%): 23,09
	Média	409,21 C	188	301	42982,8	1	245	
LVd	0	3265,7	92	352	12884,7	1	222	F _{dose.} 33,90***
	40	2417,7	99	232	18220,7	1	166	F _{linear.} 4,03*
	80	3014,8	98	217	25432,7	1	157	F _{quadrat.} 64,2***
	120	3273,3	143	229	37760,0	1	186	CV (%): 4,61
	Média	2992,8 A	108	257	23574,5	1	183	
<i>Cana soca</i>								
LVaE	0	364,6	161	333	2260,5	2	247	F _{dose.} 5,37***
	50	412,4	153	354	2285,0	1	254	F _{linear.} 14,62***
	100	455,6	135	356	2310,8	4	245	F _{quadrat.} 1,26 ^{NS}
	150	587,0	129	356	2898,8	3	242	CV (%): 24,95
	Média	454,9 C	144	350	2438,8	3	247	
LVe	0	1557,5	97	360	6545,0	1	228	F _{dose.} 0,76 ^{NS}
	50	1656,8	79	358	6576,7	2	219	F _{linear.} 2,28 ^{NS}
	100	1696,9	96	354	7203,1	1	225	F _{quadrat.} 0,03 ^{NS}
	150	1759,8	92	300	8844,2	1	196	CV (%): 16,43
	Média	1667,7 B	91	343	7292,3	1	217	
LVd	0	2692,6	141	341	14817,9	1	241	F _{dose.} 0,83 ^{NS}
	50	2359,0	107	351	9844,6	1	229	F _{linear.} 1,21 ^{NS}
	100	2288,5	102	357	9978,0	1	229	F _{quadrat.} 1,26 ^{NS}
	150	2394,6	88	346	10059,4	1	217	CV (%): 22,73
	Média	2433,7 A	109	349	11175,0	1	229	
		Cana planta				Cana Soca		
F _{solos.}		488,44***				285,74***		
D.M.S.		193,82				174,44		
CV (%)		18,86				21,96		

⁺TMAMn - taxa máxima de acúmulo de Mn; ***, **, * significativos, respectivamente, a 10, 5 e 1 % de probabilidade; ^{NS}: não significativo; Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade

ANEXO L - Índices do acúmulo de zinco (AZn) na parte aérea da cana-de-açúcar relacionado à adubação nitrogenada

<i>Cana planta</i>								
Solo	Dose	AZn	T _{1ºfase}	T _{2ºfase}	TMAZn ⁺	DMA	PMA	
	kg ha ⁻¹ de N	g ha ⁻¹	----- DAP -----	----- DAP -----	mg ha ⁻¹ dia ⁻¹	dias	DAP	
LV Ae	0	226,5	177	463	890,6	7	320	F _{dose.} 7,99 ^{***}
	40	244,3	138	464	845,2	5	301	F _{linear.} 22,04 ^{***}
	80	343,1	141	407	1404,8	5	274	F _{quadrat.} 0,02 ^{NS}
	120	368,1	169	410	1619,1	2	289	CV (%): 16,88
	Média	295,4 B	156	436	1189,9	5	296	
LV e	0	389,9	188	285	4024,4	1	237	F _{dose.} 2,13 ^{NS}
	40	508,7	186	359	2942,1	1	273	F _{linear.} 0,79 ^{NS}
	80	396,0	187	301	3476,1	1	244	F _{quadrat.} 0,15 ^{NS}
	120	482,0	181	314	3613,3	1	247	CV (%): 18,52
	Média	444,1 A	186	315	3514,0	1	250	
LV d	0	307,2	134	452	1081,2	3	293	F _{dose.} 6,22 ^{**}
	40	229,3	141	315	1326,6	3	228	F _{linear.} 1,30 ^{NS}
	80	285,3	105	428	962,4	6	266	F _{quadrat.} 12,0 ^{***}
	120	314,8	149	379	1415,1	1	264	CV (%): 10,91
	Média	284,1 B	132	393	1196,3	3	263	
<i>Cana soca</i>								
LV Ae	0	178,7	152	292	1283,5	2	222	F _{dose.} 3,08 ^{**}
	50	171,6	118	314	887,2	2	216	F _{linear.} 6,97 ^{**}
	100	220,1	138	326	1219,6	3	232	F _{quadrat.} 0,27 ^{NS}
	150	222,2	130	338	1112,3	2	234	CV (%): 18,98
	Média	198,1 C	135	317	1125,7	2	226	
LV e	0	288,7	118	293	1688,8	4	206	F _{dose.} 4,15 ^{NS}
	50	280,2	98	301	1418,9	1	200	F _{linear.} 9,78 ^{***}
	100	231,2	113	206	2471,7	1	160	F _{quadrat.} 0,03 ^{NS}
	150	238,9	99	204	2239,4	1	132	CV (%): 15,46
	Média	259,8 B	107	251	1954,7	2	179	
LV d	0	338,5	105	362	1477,0	1	233	F _{dose.} 0,94 ^{NS}
	50	400,7	95	279	1604,5	4	237	F _{linear.} 1,43 ^{NS}
	100	337,9	55	336	1301,2	4	195	F _{quadrat.} 1,35 ^{NS}
	150	274,8	81	352	1116,1	2	217	CV (%): 36,23
	Média	337,9 A	84	357	1374,7	3	221	
		<i>Cana planta</i>			<i>Cana Soca</i>			
F _{solos.}		24,59 ^{***}			27,32 ^{***}			
D.M.S.		54,33			37,41			
CV (%)		21,10			27,15			

⁺TMAZn - taxa máxima de acúmulo de Zn; **,*** significativo, respectivamente, a 5 e 1 % de probabilidade; ^{NS}: não significativo; Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade

ANEXO M - Dados estatisticamente selecionados para determinação das curvas de diluição crítica de N, nos ciclos de cana planta e cana soca

<i>Cana Planta</i>				
Solo	Amostragem	Tratamento	Fitomassa da parte aérea	
			Concentração de N	Matéria seca
	Dia/mês/ano	kg ha ⁻¹ de N	g kg ⁻¹	Mg ha ⁻¹
LVAe	07/julho/2005	80	12,1	3,1
	25/outubro/2005	80	6,8	15,2
	13/dezembro/2005	80	5,9	22,8
	20/fevereiro/2006	80	3,8	37,4
	12/abril/2006	120	4,8	52,3
	06/junho/2006	80	3,6	61,1
LVe	10/outubro/2005	120	8,8	15,1
	09/dezembro/2005	80	6,5	30,9
	07/fevereiro/2006	120	5,0	57,7
	04/abril/2006	80	3,9	67,1
	07/agosto/2006	120	3,1	88,3
LVd	09/dezembro/2005	80	5,8	23,7
	08/fevereiro/2006	80	4,1	36,1
	05/abril/2006	80	4,1	47,5
<i>Cana soca</i>				
LVAe	01/março/2007	100	4,8	15,1
	17/maio/2007	100	2,7	24,2
	07/junho/2007	150	3,3	31,9
LVe	09/março/2007	100	6,8	16,0
	11/maio/2007	100	2,9	23,7
	14/agosto/2007	100	3,3	35,5
LVd	18/dezembro/2006	100	10,7	10,1