

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA**

THIAGO CARDOSO DE OLIVEIRA

**Densidade de plantio e manejo da adubação em cana-planta
proveniente de mudas pré-brotadas**

Piracicaba

2016

THIAGO CARDOSO DE OLIVEIRA

**Densidade de plantio e manejo da adubação em cana-planta
proveniente de mudas pré-brotadas**

Versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

**Dissertação apresentada ao Centro de
Energia Nuclear na Agricultura da
Universidade de São Paulo, para obtenção
do título de Mestre em Ciências**

**Área de Concentração: Energia Nuclear na
Agricultura e no Ambiente**

Orientador: Prof. Dr. Takashi Muraoka

**A versão original encontra-se disponível na
Biblioteca do CENA/USP e na Biblioteca
Digital de Teses e Dissertações da USP**

Piracicaba

2016

AUTORIZO A DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Seção Técnica de Biblioteca - CENA/USP

Oliveira, Thiago Cardoso de

Densidade de plantio e manejo da adubação em cana-planta proveniente de mudas pré-brotadas / Thiago Cardoso de Oliveira; orientador Takashi Muraoka. - - versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2016.

126 p. : il.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo.

1. Cana-de-açúcar 2. Fertilizantes 3. Fisiologia vegetal 4. Práticas culturais (Fitotecnia) I. Título

CDU 633.61 (631.543.8 + 631.816.1)

A minha amada família, meus pais Paulo e Magnólia e meu irmão Rafael, pela dedicação, carinho, amor, incentivo e apoio.

Aos irmãos que a vida me presenteou, Antonio, Adolfo, Amanda, cada um com uma importância ímpar na minha vida.

Aos amigos de longa data, Paulo Felipe e Daniel.

A minha afilhada Lara.

Dedico este trabalho, meu afeto e minha atenção.

Aos produtores rurais e aos profissionais do campo, que trabalham para produzir alimentos para nossas mesas.

Ao nosso país, para contribuir com seu crescimento, promovendo e difundindo ciência e educação.

Ofereço este trabalho e meus conhecimentos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida, pelo caminho que me ajuda a traçar e percorrer, pelas bênçãos sem medidas.

Agradeço a minha família, meu pai Paulo, minha mãe Magnólia e meu irmão Rafael, pelo amor e apoio incondicional para que chegasse até aqui.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Takashi, primeiramente por ter me acolhido como orientado, pela confiança que depositou em mim e pela liberdade que me concedeu. Por ser não somente um orientador, mas um amigo e muitas vezes um pai. Por contribuir de forma grandiosa na minha formação acadêmica, intelectual, profissional e pessoal. Agradeço também por apresentar e me inserir no mundo dos isótopos.

Agradeço ao Prof. Boaretto pela amizade e pelo exemplo de pessoa e profissional. Pelos ensinamentos e contribuições, não somente na área de fertilidade do solo e nutrição de plantas, mas também por ensinar a interpretar o mundo a nossa volta, a reconhecer nosso papel perante esse mesmo mundo, e com humildade reconhecer que somos parte integrante de um todo, do mais elementar dos seres ao mais forte.

Agradeço ao Prof. Raul Sartori pela amizade, pelo incentivo em cursar a pós-graduação no CENA/USP, pela parceria na realização deste e outros trabalhos, pelas valiosas contribuições, pela dedicação comigo e com seus orientados, por me receber em sua casa inúmeras vezes, ajudando nos estudos e tirando as dúvidas.

Agradeço ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura, da Universidade de São Paulo, *Alma Mater*, pela oportunidade de ser aluno de tão conceituada Instituição, enriquecendo minha formação intelectual e pessoal, podendo atuar com renomados profissionais das diversas áreas do conhecimento e participar da produção de ciência e tecnologia de excelência, para nosso país e para o mundo.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, pela concessão de bolsa de estudos.

Agradeço a equipe da Seção de Pós-graduação do CENA/USP pela atenção, disponibilidade e ajuda, em especial aos que tive um maior convívio, Fábio, Neuda, Sonia, Daiane.

Agradeço a equipe da Biblioteca do CENA/USP, na figura da Sra. Marília, pela atenção, cordialidade e disponibilidade que me recebeu e ajudou.

Agradeço ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, IFSULDEMINAS, pelo auxílio financeiro da pesquisa.

Agradeço ao Instituto Agrônomo de Campinas, IAC Centro de Cana, em Ribeirão Preto/SP, em especial ao Dr. Mauro Alexandre Xavier, pesquisador do Programa Cana IAC, pelos conhecimentos e treinamento na área de cana-de-açúcar, experimentação e mudas pré-brotadas.

Agradeço aos professores José Lavres Jr. e Rafael Otto pelos valiosos ensinamentos nas áreas de nutrição mineral de plantas e fertilidade do solo e adubação.

Agradeço aos professores Marcos Bernardes, Edgar Beauclair e Pedro Christofolletti pelos valiosos conhecimentos referentes à cultura da cana-de-açúcar.

Agradeço aos professores Luiz Martineli e Plínio Camargo pelos conhecimentos na área de isótopos, por apresentar-me a um novo e interessante mundo.

Agradeço a professora Sonia Maria de Stefano Piedade pelos valiosos conhecimentos e contribuições em estatística e pelo exemplo profissional.

Agradeço ao professor Felipe Campos Figueiredo por iniciar-me na Ciência do Solo, ainda na graduação, sendo meu professor em várias disciplinas na área de solos e permitindo que eu fosse seu monitor em várias dessas disciplinas.

Agradeço ao Sr. Célio Malvestitti por ceder a área para instalação do experimento, bem como aos seus irmãos, Sr. Aristeu, Sr. João, Sr. Pedro, Sr. Donizete, e ao seu sobrinho Felipe Rodrigues pelo auxílio na implantação e condução do experimento.

Agradeço ao amigo Dodo (Luis Miguel) pelos conhecimentos e contribuições sobre cana-de-açúcar e pela grande ajuda nas avaliações a campo.

Agradeço a Abengoa Bioenergy, Usina São Luiz, pela doação das mudas pré-brotadas para realização do experimento e a Usina Ferrari pela realização das análises dos parâmetros tecnológicos.

Agradeço ao Laboratório de Análise de Solos e Tecidos Vegetais do IFSULDEMINAS Câmpus Muzambinho, e a sua equipe gerenciada pela minha amiga Elaine Nóbrega, pela amizade e pela realização das análises necessárias para atender os objetivos deste experimento.

Agradeço a Equipe do Laboratório de Bromatologia e Água do IFSULDEMINAS Câmpus Muzambinho, em especial as amigas Polyana e Talita, pela amizade e pelo auxílio no preparo das amostras.

Agradeço aos membros da República Manah, Tonhão (Antonio), Flavão (Flávio), Big Jhow (André), Vitamina (Felipe), Tera (Matheus), João Dentão (João Carlos), Montanha (Léo), Dengue (Otávio), Dudu (Eduardo), Balota (Caio), Precoce (Tiago), Lambe (Lucas), a qual participei da fundação, por me acolherem durante o período em que fiquei em Muzambinho realizando as análises.

Agradeço aos amigos Otavio e Ariana, pelo apoio, amizade, parceria e contribuição na minha formação profissional e pessoal.

Agradeço aos amigos e professores Claudiomir e Fabrício, pelas oportunidades que me concederam.

Agradeço ao amigo e professor José Sérgio, pelo apoio, amizade, parceria e lealdade, desde a graduação, sempre me ajudando a resolver problemas e a cumprir uma promessa.

Agradeço aos meus segundos pais, Dênis e Daniela, pelo carinho, atenção, afeto, apoio e amizade ao longo de minha caminhada, participando ativamente da minha formação intelectual e pessoal.

Agradeço aos professores que influenciaram a minha escolha pela carreira acadêmica, Anna Lygia, Alberto, Alessandra, Marcelo Bregagnoli, Marcelo Rosa, Rogerinho, Sonia Bueno, Marcelo Morais e José Mauro, exemplos de profissionais e pessoas.

Agradeço ao meu amigo Marco Antonio, companheiro desde a graduação, sem o qual não teria tido a mesma força e motivação de cursar essa pós-graduação.

Agradeço ao meu amigo e irmão mais novo, em alguns momentos mais velho, Antonio pela amizade e por sua importância em minha vida.

Agradeço aos meus amigos de longa data, Amanda, Chapa (Daniel), Paulo Felipe, Aline, Dudu (Eduardo), Bola (Adolfo), Bahia (Vitor), Jorge, Gugu (Luis Gustavo), Goiaba (Rodrigo), Tera (Matheus), Milla, Paulinha, Vitamina (Felipe), pelas alegrias, risos, diversão e também pelo companheirismo, pelos conselhos, pelo silêncio e pelo consolo nos momentos difíceis. Cada reencontro é sempre uma alegria.

Agradeço a Lara, minha querida afilhada, pela oportunidade de conhecer um amor puro e tornar-me uma pessoa melhor.

Agradeço aos amigos da salinha, do Laboratório de Fertilidade de Solo do CENA/USP, Cristiano, Aijânio, Aline, Fábio, Thaís, pelo agradável convívio.

Agradeço a todos que participaram de alguma de deste trabalho, e deste período de minha vida, o meu muito obrigado!!!

"Tu estás onde teus esforços te trouxeram e estarás, amanhã, lá onde eles te levarem. Realizarás a visão e os sonhos de seu coração, sejam baixos, sejam belos, ou ainda a mistura dos dois... em tuas mãos serão colocados o exato resultado dos teus esforços. Vais receber aquilo que mereces. Seja qual for o teu ambiente atual, cairás, permanecerás ou te erguerás com teu pensamento, com tua visão, com teu ideal e te formarás, então, tão pequeno quanto o desejo que te controla ou te tornarás tão grande quanto à aspiração que te domina! "

Adaptado de James Allen, escritor e filósofo inglês.

RESUMO

OLIVEIRA, T. C. **Densidade de plantio e manejo da adubação em cana-planta proveniente de mudas pré-brotadas**. 2016. 126 p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

Na cultura da cana-de-açúcar, sabe-se que existe uma densidade adequada de plantio para que a variedade alcance uma maior produção. A adubação e o sistema de mudas pré-brotadas poderão contribuir para produção de mudas, com alto padrão de fitossanidade, vigor e uniformidade de plantio. Objetivou-se com esse trabalho avaliar índices biométricos e fisiológicos, o acúmulo de nitrogênio, a produtividade e os atributos tecnológicos da parte aérea da cana-planta em função da densidade de plantio e da adubação nitrogenada em cana-planta proveniente de mudas pré-brotadas. O experimento foi conduzido em Santa Cruz das Palmeiras/SP, num Latossolo Vermelho Distrófico Típico de textura média. A cultivar utilizada foi a IACSP95-5000. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, em fatorial 3x3, com três repetições. O primeiro fator foi a densidade de plantas no sulco, com três níveis, 0,25; 0,50 e 0,75 m entre plantas e o segundo fator foi a dose de nitrogênio, com três níveis, 40, 80 e 120 kg N ha⁻¹, num total de 27 parcelas. O N foi aplicado na forma de ureia. As amostradas de biomassa da parte aérea foram coletadas aos 48, 82, 145, 278, 356 e 497 dias após o plantio, em 2 metros de linha, em duas linhas por parcela. Para o ajuste dos índices biométricos, fisiológicos e de acúmulo de nutrientes estudados e de suas taxas foram utilizadas função logística, gaussiana e exponencial. A colheita ocorreu em 06 de junho de 2015. Contabilizou-se o número de colmos em 10 metros de linha e foram colhidos 10 colmos por parcela, aleatoriamente, medindo-se o diâmetro e a estatura dos colmos. A produtividade foi calculada por biometria e a colheita realizada manualmente, sem despalha a fogo, sendo colhidos 2 metros de linha, em duas linhas por parcela, pesando apenas os colmos. As análises tecnológicas realizadas foram Brix, Pureza, Fibra, Pol da cana, Açúcares redutores e Açúcar total recuperável. O acúmulo de massa seca (MS) da parte aérea apresentou forma sigmoide e a fase de máximo acúmulo ocorreu quando a evapotranspiração real (ETR) da cultura igualou-se a evapotranspiração potencial (ETP), entre os meses de novembro a maio. A taxa de crescimento máxima foi observada durante a fase de maior acúmulo de MS e maior ETR, decrescendo até a colheita. A taxa de crescimento relativo máxima foi observada no início do desenvolvimento da cultura, diminuindo-se exponencialmente a medida em que se aumenta o acúmulo de MS. Não se observou influência dos tratamentos na altura do colmo. Quanto ao diâmetro do colmo e número de colmos por metro, observou-se diferença significativa apenas para as densidades. A produtividade média foi de 200 t colmo ha⁻¹, não sendo observada diferença significativa no efeito dos fatores estudados sob a produtividade e parâmetros tecnológicos. Quanto ao acúmulo de N, não foi observado efeito significativo dos fatores estudados e as taxas máximas de acúmulo foram observadas antes do início da fase de máximo desenvolvimento da cultura. A necessidade nitrogenada média para produção de 01 tonelada de colmo por hectare foi de 1,26 kg de N. A concentração de N na planta acúmulo de biomassa.

Palavras-chave: Arranjo espacial. Dose de nitrogênio. *Saccharum officinarum* L.

ABSTRACT

OLIVEIRA, T. C. **Planting density and fertilization in plant cane from pre-sprouted buds.** 2016. 126 p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

In the sugarcane crop, it is known that there is a suitable planting density for obtaining high variety production. Nitrogen is a nutrient highly demanded by sugarcane. The adequate fertilization and pre-sprouted buds utilization may contribute to the production of seedlings with high standards of plant health, vigor and uniformity of planting. The objective of this study was to evaluate biometric and physiological indices, the nitrogen accumulation, productivity and technological attributes of the above ground part of the plant cane from pre-sprouted buds as affected by the planting density and nitrogen fertilization. The experiment was conducted in Santa Cruz das Palmeiras, state of Sao Paulo, Brazil, in an Oxisoil (medium texture Typical distrofic Red Latosol). The cultivar used was IACSP95-5000. The experimental design was a randomized block in factorial 3x3, with three replications. The first factor is the plant density in the row, with three levels, 0.25; 0.50 and 0.75 m between plants and the second factor was the nitrogen rates (40, 80 and 120 kg N ha⁻¹), a total of 27 plots. The N was applied as urea. The shoot biomass samples were collected at 48, 82, 145, 278, 356 and 497 days after planting, from 2 meters of two rows per plot. For adjustment of biometric indexes, physiological and accumulation of nutrients studied the Gaussian and exponential logistic functions were used. The harvest took place on June 6, 2015. The number of stalks per 10 meters of row were recorded and 10 stalks per plot were randomly harvested for measurement of the diameter and height of the stalks. The productivity was calculated by biometry and the harvesting done manually without straw removal by burning, and harvested from 2 meter of two rows per plot, weighing only culms. Technological analyzes were Brix, Purity, fiber, cane Pol, reducing sugars and total recoverable sugar were done. The dry mass (DM) of the shoot presented sigmoidal shape and the phase of maximum accumulation occurred when the actual evapotranspiration (ETA) equaled to potential evapotranspiration (ETP), between the months of November to May. The maximum growth rate was observed during the period of greatest accumulation of DM and greater ETA decreasing to harvest. The maximum relative growth rate was observed in the beginning of crop development decreasing exponentially with increasing DM accumulation. There was no treatment effect on stalks height. For the stem diameter and number of stems per meter, there was a significant difference only for densities. The average productivity was 200 t cane ha⁻¹ and no significant difference was observed on the effect of factors studied in productivity and technological parameters. Regarding the accumulation of N, there was no significant effect of studied factors and the maximum accumulation rates were observed before the maximum development stage of the crop. The average nitrogen needed for the production of one t per hectare was 1.26 kg N. The N concentration decreased exponentially with increasing biomass production.

Keywords: Spatial arrangement. Nitrogen rates. *Saccharum officinarum* L

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
Referências	23
2. ÍNDICES BIOMÉTRICOS E FISIOLÓGICOS DA CANA-PLANTA PROVENIENTE DE MUDAS PRÉ-BROTADAS RELACIONADOS COM A DENSIDADE DE PLANTIO E A ADUBAÇÃO NITROGENADA.....	26
2.1. Introdução.....	27
2.2. Material e Métodos	29
2.2.1. Caracterização da área experimental, do clima, do solo e da planta.....	29
2.2.2. Delineamento experimental e tratamentos	30
2.2.3. Instalação e condução	30
2.2.4. Acúmulo de massa seca	32
2.2.5. Índices fisiológicos	33
2.2.6. Balanço hídrico climatológico.....	34
2.2.7. Análise Estatística.....	34
2.3. Resultados e Discussão.....	35
2.3.1. Balanço Hídrico Climatológico no ciclo da cana-planta	35
2.3.2. Acúmulo de massa seca pela parte aérea da cana-planta	38
2.3.3. Taxa de Crescimento da Cultura da cana-planta	45
2.3.4. Taxa de Crescimento Relativo da cana-planta.....	50
2.4. Conclusões	53
Referências	54
3. VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS, PRODUTIVIDADE E PARÂMETROS TECNOLÓGICOS DA CANA-PLANTA PROVENIENTE DE MUDAS PRÉ-BROTADAS RELACIONADOS COM A DENSIDADE DE PLANTIO E A ADUBAÇÃO NITROGENADA	59
3.1. Introdução.....	60
3.2. Material e Métodos	62
3.2.1. Caracterização da área experimental, do clima, do solo e da planta.....	62
3.2.2. Delineamento experimental e tratamentos	62
3.2.3. Instalação e condução	62
3.2.4. Variáveis biométricas	64
3.2.5. Colheita e avaliação da produção	65
3.2.6. Análises Tecnológicas	65
3.2.7. Balanço hídrico climatológico.....	65
3.2.8. Análise Estatística.....	66

3.3. Resultados e Discussão.....	66
3.3.1. Balanço Hídrico Climatológico no ciclo da cana-planta	66
3.3.2. Variáveis biométricas	66
3.3.3. Produtividade de colmos	81
3.3.4. Parâmetros tecnológicos.....	85
3.4. Conclusões.....	88
Referências.....	89
4. ACÚMULO DE NITROGÊNIO NA PARTE AÉREA DA CANA-PLANTA PROVENIENTE DE MUDAS PRÉ-BROTADAS RELACIONADO COM A DENSIDADE DE PLANTIO E A ADUBAÇÃO NITROGENADA.....	96
4.1. Introdução.....	97
4.2. Material e Métodos.....	99
4.2.1. Caracterização da área experimental, do clima, do solo e da planta	99
4.2.3. Delineamento experimental e tratamentos	99
4.2.4. Instalação e condução	99
4.2.5. Teor e acúmulo de nitrogênio.....	101
4.2.6. Balanço hídrico climatológico	103
4.2.7. Análise Estatística.....	103
4.3. Resultados e Discussão.....	104
4.3.1. Balanço Hídrico Climatológico no ciclo da cana-planta	104
4.3.2. Acúmulo e teor de nitrogênio na parte aérea da cana-planta	104
4.4. Conclusões	117
Referências.....	118
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	123

1. INTRODUÇÃO

O setor canavieiro encontra-se num complexo cenário, recuperando-se de uma longa e profunda crise e passando por uma fase de transformação, deixando de ser apenas um produtor de açúcar e etanol para se tornar um produtor de bioenergia.

No Brasil, a cana-de-açúcar é segunda maior cultura em valor da produção agrícola, respondendo pela geração de valor estimada em R\$ 40,5 bilhões em 2013, atrás somente da soja, com R\$ 50,5 bilhões. Considerando a transformação da cana-de-açúcar em açúcar, etanol e bioeletricidade, este valor supera R\$ 68 bilhões, o que eleva a cana à mais importante posição do setor agroindustrial brasileiro (NASTARI, 2015).

De acordo com a União da Indústria de Cana-de-açúcar (UNICA, 2016) a produção brasileira de cana-de-açúcar na safra 2014/2015 foi de 623 milhões de toneladas, sendo produzidas 35,5 milhões de toneladas de açúcar e 28 milhões de m³ de etanol, numa área plantada de 10,87 milhões de hectares, com uma produtividade média de 57 toneladas por hectare, valor muito abaixo do potencial de produção da cultura.

Landell et al. (2005) relataram em estudos que o potencial biológico de produção da cana-de-açúcar é de aproximadamente 350 t ha⁻¹ de colmos no período de 360 dias. A média atual de produtividade no estado de São Paulo é de 90 t ha⁻¹, que equivale a apenas 25% do potencial da cultura. Isto ocorre pois existem fatores abióticos e bióticos interagindo como “gargalos” de restrição (LANDELL et al., 2015).

Seguindo-se este mesmo raciocínio, para a produtividade média brasileira da safra 2014/2015, de 57 t ha⁻¹, conclui-se que esta produtividade equivale a 16% do potencial biológico de produção da cana-de-açúcar.

Neste contexto, o setor vem lidando com o grande desafio de aumentar a produtividade e alcançar a tão falada canavicultura de três dígitos, ou seja, com produtividades médias superiores a 100 toneladas por hectare, para tanto busca novas tecnologias e técnicas de manejo, do plantio a colheita, promovendo a sustentabilidade nos canavias.

A produtividade agrícola de uma variedade de cana-de-açúcar é sua expressão fenotípica, a qual é composta pelo genótipo da planta somado ao efeito ambiental mais a interação genótipo x ambiente (GxA). As variedades apresentam

diferentes perfis de resposta em relação aos ambientes de produção, sendo difícil que todas tenham respostas de mesma magnitude na produtividade quando deslocadas de um determinado ambiente para outro distinto (LANDELL et al., 2015).

As plantas podem competir entre si (intraespecífica) e com outras plantas (interespecíficas) pelos recursos do meio (luz, água, nutrientes, CO₂, etc.). O tempo da competição determina prejuízos no crescimento, no desenvolvimento e, conseqüentemente, na produção das culturas. Uma redução considerável no crescimento de espécies, tanto em combinações intra como interespecíficas, é resultante da competição espacial entre grupos de plantas que ocupam o mesmo local em um determinado período de tempo. Essa redução, ocasionada por plantas vizinhas, poderia ser devido à competição por água durante a estação seca e por luz durante a estação úmida (ZANINI; SANTOS, 2004).

A produtividade das culturas está relacionada principalmente com a quantidade de radiação interceptada e absorvida pelo dossel foliar. Entretanto, a relação da produtividade com a fotossíntese é muito complexa e nem sempre direta, afinal outros processos estão envolvidos com a translocação dos fotoassimilados da copa e seu metabolismo nas partes úteis da planta. Dentre todos os parâmetros de densidade de cobertura vegetal, o índice de área foliar (IAF), que é a relação entre a área foliar e a área de terreno ocupada pela vegetação, é o mais usual e importante. A prática de manejo mais relevante para o aumento do IAF e conseqüentemente da interceptação e absorção de radiação é aumentar a densidade populacional, que em culturas cultivadas em fileiras é dada pela combinação do espaçamento entre linhas com o número de plantas por linha (BERNARDES, 1987; BERNARDES; BELARDO, 2015).

Na operação de plantio manual de cana-de-açúcar utiliza-se de 12 a 15 gemas/metro de sulco e quantidade de mudas que varia entre 10 e 15 toneladas por hectare. (COLETTI, 1987), como quantidade ideal para a constituição de um stand uniforme. Porém, na prática, com a intenção de reduzir os riscos de falhas, utiliza-se, de 15 a 21 gemas/metro, aumentando o volume de muda utilizada (LANDELL et al., 2012).

No plantio mecânico, as falhas nos canaviais tornaram-se frequentes e, para que não houvesse prejuízos significativos na produtividade, tomou-se como medida o aumento do volume de mudas, superiores a 20 t ha⁻¹. Considerando que em uma tonelada de cana contém de 8.000 a 20.000 gemas, conclui-se que o número de

gemas por metro está entre 24 e 60 gemas, sendo um gasto excessivo de colmos, que poderiam ser destinados à indústria (LANDELL et al., 2012). Além disso, essa prática aumenta o risco de difusão de pragas e doenças por meio da muda, dificultando o controle fitossanitário.

Analisando uma série de trabalhos, Dillewijn (1952) concluiu que existe um espaçamento ótimo para cada variedade no qual esta atinge o máximo de produção. O autor salienta ainda que folhas eretas respondem melhor em espaçamentos menores, devido ao fato do melhor aproveitamento da radiação solar nos processos fotossintéticos e, também um menor aquecimento da superfície foliar, uma vez que com as folhas eretas, têm-se um aumento do ângulo de incidência da radiação solar e, conseqüentemente um aquecimento menor da folha.

Considerando os fatos acima citados, o sistema de Muda Pré-Brotada (MPB), poderá contribuir para uma rápida produção de mudas, associando um alto padrão de fitossanidade, vigor e uniformidade de plantio, aumentar a eficiência e os ganhos econômicos na implantação de viveiros, replantio de áreas comerciais e possivelmente renovação e expansão de áreas de cana-de-açúcar. Com tecnologia do MPB muda-se a forma de produção de mudas. No lugar dos colmos como material de propagação, entram mudas pré-brotadas, produzidas a partir de minirrebolos, onde localizam-se as gemas. Além de proporcionar melhor forma de distribuição espacial das mudas nas áreas de produção promove melhor aproveitamento dos recursos hídricos e nutricionais, reduzindo a competição intraespecífica estabelecida em canaviais com excesso de mudas, situação comum em áreas comerciais de plantio mecanizado (LANDELL et al., 2012).

Trivelin (2000) cita que as maiores limitações à produtividade na cana-de-açúcar não se relacionam com a radiação solar, a temperatura e a disponibilidade hídrica, mas sim a disponibilidade e a adequada quantidade de nutrientes minerais no solo, principalmente o nitrogênio.

O nitrogênio é um dos nutrientes absorvidos em maior quantidade pela cana-de-açúcar devido sua alta demanda pela plantas, pois possui papel estrutural, sendo base para o metabolismo de aminoácidos e proteínas, clorofilas, e atuando em diversos processos bioquímicos dentro das plantas. A cana é uma *Poaceae*, de rota fotossintética *C4*, altamente eficiente na fixação de carbono e no uso do nitrogênio (MALAVOLTA, 2006; VITTI et al., 2010; HAWKESFORD et al., 2012).

Apesar de altamente requerido pela cana-de-açúcar, a resposta da cana-planta a adubação nitrogenada é baixa e não esclarecida, sendo necessários mais estudos para uma maior compreensão (CARNAÚBA, 1990; ROSSETTO; DIAS, 2005).

Vários fatores têm sido considerados para elucidar a questão de baixa resposta a adubação nitrogenada na cana-planta, entre eles a mineralização da matéria orgânica do solo, o maior vigor do sistema radicular, a melhoria da fertilidade do solo devido as práticas de calagem e adubação no plantio, a fixação biológica do nitrogênio, a menor quantidade demandada inicialmente, as perdas de N por lixiviação e o estoque inicial do colmo-semente (AZEREDO et al., 1986; ROSSETTO; DIAS, 2005; CANTARELLA et al., 2007; FRANCO, 2008).

A produção de cana-de-açúcar foi muito divulgada internacionalmente, no primeiro mandato do presidente Lula, de 2002 a 2006, como um sustentável, sendo uma planta de elevada eficiência fotossintética no ambiente tropical, conferindo assim altas produtividades e vantagens ambientais competitivas frente aos derivados do petróleo (RODRIGUES, 2004). Esses argumentos foram utilizados para abertura de mercados internacionais para o etanol brasileiro, sendo assim, ocorreu um grande aumento da área plantada e da produção, e com isso, aumento na utilização de fertilizantes nitrogenados.

Entretanto, Crutzen et al. (2008) publicaram um impactante artigo intitulado “Liberação de óxido nitroso na produção de agrobiocombustíveis nega a mitigação do aquecimento global pela substituição de combustíveis fósseis”, em que concluíram que a substituição de combustíveis fósseis por biocombustíveis poderia não promover a mitigação do aquecimento global, devido às emissões de óxido nitroso na produção da biomassa. Para a emissões de óxido nitroso em cana-de-açúcar, os autores estimaram um fator de emissão superior a 3%, superiores a 1% estabelecido pelo IPCC (2006).

Com isso, observou-se a necessidade de mais trabalhos quanto a adubação nitrogenada, visto as divergentes respostas encontradas. Doses, épocas, local de aplicação e fontes necessitam de mais estudos, pois fatores ambientais e agronômicos podem alterar a eficiência do aproveitamento do N (KORNDÖRFER et al., 2002; CANTARELLA et al., 2007).

Cantarella e Raij (1985) encontraram menos de 40% de resposta de 81 experimentos realizados com adubação nitrogenada de plantio em cana. Azeredo et al. (1986) encontraram valores menores ainda, onde 26 de 135 experimentos analisados foram responsivos para adubação nitrogenada.

A recomendação de adubação nitrogenada no plantio da cana-de-açúcar, de acordo com o Boletim 100 do Instituto Agrônômico de Campinas (ESPIRONELO et al., 1996) é de 30 kg ha⁻¹ de N no sulco de plantio e de 30 a 60 kg ha⁻¹ de N em cobertura, 30 a 60 dias após o plantio, em função da produtividade esperada.

Entretanto, Franco (2008) questiona qual o motivo de ainda se realizar adubações nitrogenadas no plantio da cana-planta, mesmo sendo observadas pouca resposta ao fornecimento de N. O autor relata que, na prática, observa-se que canaviais que receberam adubação nitrogenada no plantio apresentam soqueiras mais produtivas.

Franco (2008) e Rossetto et al. (2008) relatam que as doses de N recomendadas no plantio da cana-planta estão abaixo das exigências da cultura, e que a imobilização microbiana e as perdas de N no solo reduzem a disponibilidade do nutriente para as culturas, ainda mais no atual sistema de manutenção de palhada, limitando a cana-de-açúcar de expressar seu potencial produtivo.

Atualmente, como nova proposta de propagação de cana-de-açúcar temos as mudas pré-brotadas, onde leva-se a campo para plantio uma muda individualizada proveniente de um mini-relobo, já desenvolvida a parte aérea e o sistema radicular, sendo fotossinteticamente ativa e pronta para começar a absorver os nutrientes presentes no solo. Plantas de cana oriundas de colmo-semente levam em torno de 30 dias para emitir raízes, sendo nutridas nesse período pelas reservas do colmo (CASAGRANDE, 1991), entretando levam até 90 dias para estabilizar a produção de raízes e deixar de depender dessas reservas (LUCCHESI, 2008).

Os fatos apresentados geram questionamentos em relação a adubação nitrogenada. Como está sendo plantada a campo uma muda com sistema radicular já desenvolvido e pronta para absorver os nutrientes do solo, uma maior disponibilidade de nitrogênio no sulco de plantio não permitiria maior e mais vigoroso desenvolvimento das plantas e isso influenciaria na produção?

No atual sistema de plantio de cana-de-açúcar realiza-se a distribuição de colmos-semente no sulco, sendo esta distribuição baseada no número de gemas viáveis por metro. Porém, a grande quantidade de gemas distribuídas no sulco de

plântio visando-se reduzir falhas no canavial resultam em competição entre plantas no momento da brotação e no desenvolvimento, podendo influenciar negativamente na produção.

No plântio com mudas pré-brotadas, pelo fato de serem individualizadas, como seria competição entre plantas no sulco de plântio? Existe uma densidade que promova maior desenvolvimento e crescimento das plantas? Isso resultaria numa maior produção?

A partir desses questionamentos, formulou-se as seguintes hipóteses: (i) a cana-planta plantada no sistema de mudas pré-brotadas é responsiva a adubação nitrogenada; e (ii) existe uma densidade de mudas no sulco de plântio que resulta num maior estande final e produtividade.

Visando estudar as hipóteses levantadas, objetivou-se com essa pesquisa: (i) Avaliar índices biométricos e fisiológicos da parte aérea, (ii) o acúmulo de nitrogênio pela parte aérea (iii) e a produtividade e os atributos tecnológicos dos colmos em função da densidade de plântio e da adubação nitrogenada em cana-planta proveniente de mudas pré-brotadas.

Os objetivos propostos foram avaliados em experimento desenvolvido na região canavieira central do Estado de São Paulo, em Latossolo Vermelho distrófico, sendo apresentado em três capítulos nessa dissertação:

1. Índices biométricos e fisiológicos da cana-planta proveniente de mudas pré-brotadas relacionados com a densidade de plântio e a adubação nitrogenada.
2. Variáveis biométricas, produtividade e parâmetros tecnológicos da cana-planta proveniente de mudas pré-brotadas relacionados com a densidade de plântio e a adubação nitrogenada.
3. Acúmulo de nitrogênio na parte aérea da cana-planta proveniente de mudas pré-brotadas relacionado com a densidade de plântio e a adubação nitrogenada.

Referências

- AZEREDO, D. F.; BOLSANELLO, J.; WEBWE, H.; VIEIRA, J. R. Nitrogênio em cana-planta - doses e fracionamento. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 4, p. 25-29, 1986.
- BERNARDES, M. S.; BELARDO, G. C. Espaçamentos de plantio: Espaçamentos para a cultura da cana-de-açúcar. In: BELARDO, G. C.; CASSIA, M. T.; SILVA, R. P. **Processos agrícolas e mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: Editora SBEA, 2015. p. 243-258.
- BERNARDES, M. S. Fotossíntese no dossel das plantas cultivadas. In: CASTRO, P. R. C. C.; FERREIRA, S. O.; YAMANDA, T. **Ecofisiologia das plantas cultivadas**. Piracicaba: POTAFOS, 1987. p. 13-48.
- CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van. Adubação nitrogenada no Estado de São Paulo. In: SANTANA, M. B. M. (Ed.). **Adubação nitrogenada no Brasil**. Ilhéus: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1985. p.47-49.
- CANTARELLA, H.; TRIVELLIN, 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: International Plant Nutrition Institute, 2007. p. 355-413.
- CARNAÚBA, B.A.A. O nitrogênio e a cana-de-açúcar. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 8, n. 3, p. 24-41, 1990.
- CASAGRANDE, A. A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 157p.
- COLETI, J. T. Técnica cultural de plantio. In: PARANHOS, S. B. (Coord.). **Cana-de-açúcar cultivado e utilização**. Campinas, Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 284-332.
- CRUTZEN, P. J.; MOSIER, A. R.; SMITH, K. A.; WINIWARTER, W. N₂O release from agrobiofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. **Atmospheric Chemistry and Physics**, Munich, v. 8, p. 389-395, 2008.
- DILLEWIJN, V. C. **Botany of sugarcane**. Waltham: The Chronica Botanica, 1952. 371 p.
- ESPIRONELLO, A.; van RAIJ, B.; PENATTI, C. P.; CANTARELLA, H.; MORELLI, J. L.; ORLANDO FILHO, J.; LANDELL, M. G. A.; ROSSETTO, R. Cana-de-açúcar. In: van RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. rev. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. p. 237-239.
- FRANCO, H. C. J. **Eficiência agrônômica da adubação nitrogenada de cana-planta**. 2008. 127 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MOLLER, S. I.; WHITE, P. Functions of macronutrients. In: MARSCHNER, P. (Ed.). **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. NewYork: Elsevier, 2012. cap. 6, p. 135-189.

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Guidelines for national greenhouse gas inventories: agriculture, forestry and other land use**. Hayama: National Greenhouse Gas Inventories Programme, 2006. v. 4. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/206gl/vol4.html>> Acesso em: 17 mar. 2016.

KORNDÖRFER, 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 AÇÚCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 8., 2002, Recife. **Anais...** Piracicaba: STAB, 2002. p. 234-238.

LANDELL, M. G. A.; BERRO, C. D.; SILVA, C. D.; XAVIER, M. A. Manejo varietal em cana-de-açúcar: aspectos teóricos e aplicações de conceitos. In: BELARDO, G. C.; CASSIA, M. T.; SILVA, R. P. **Processos agrícolas e mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: Editora SBEA, 2015. p. 273-288.

LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P.; FIGUEIREDO, P.; XAVIER, M. A.; ANJOS, I. A.; DINARDO-MIRANDA, L. L.; SCARPARI, M. S.; GARCIA, J. C.; BIDÓIA, M. A. P.; SILVA, D. N.; MENDONCA, J. R.; KANTHACK, R. A. D.; CAMPOS, M. F.; BRANCALIÃO, S. R.; PETRI, R. H.; MIGUEL, P. E. M. **Sistema de multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas**. Campinas: IAC, 2012. 16 p. (Documentos, 109).

LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P.; FIGUEIREDO, P.; VASCONCELOS, A. C. M.; XAVIER, M. A.; BIDOIA, M. A. P.; PRADO, H.; SILVA, M. A.; DINARDO-MIRANDA, L. L.; SANTOS, A. S.; PERECIN, D.; ROSSETTO, R.; SILVA, D. N.; MARTINS, A. L. M.; GALLO, P. B.; KANTHACK, R. A. D.; CAVICHIOLI, J. C.; VEIGA FILHO, A. A.; ANJOS, I. A.; AZANIA, C. A. M.; PINTO, L. R.; SOUZA, L. C. **Variedades de cana-de-açúcar para o Centro-Sul do Brasil: 15a liberação do Programa Cana IAC (1959-2005)**. Campinas: IAC, 2005. 37 p. (Boletim Técnico, 197).

LUCCHESI, A. A. Cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). In: CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A.; SESTARI, I. **Manual de fisiologia vegetal: fisiologia de cultivos**. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres, 2008. p. 58-76.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

NASTARI, P. Perspectivas para o setor canavieiro: análise e perspectivas do setor para o Brasil. In: BELARDO, G. C.; CASSIA, M. T.; SILVA, R. P. **Processos agrícolas e mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: Editora SBEA, 2015. p. 31-34.

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

ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F.; VITTI, A. C.; CANTARELLA, H.; LANDELL, M. G. A. Manejo conservacionista e reciclagem de nutrientes em cana-de-açúcar tendo em vista a colheita mecânica. **Informações Agronômicas**, n. 124, p. 8-13, 2008.

ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar: indagações e reflexões. **Encarte do Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 110, p. 6-11, 2005.

TRIVELIN, P. C. O. **Utilização do nitrogênio pela cana-de-açúcar**: três casos estudados com o uso do traçador ^{15}N . 2000. 143 p. Tese (Livre Docência) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

UNIÃO DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA DE SÃO PAULO - UNICA. **Estatísticas**. São Paulo, 2016. Disponível em: [http:// www.unica.com.br/unicadata/](http://www.unica.com.br/unicadata/). Acesso em: 17 mar. 2016.

VITTI, A. C.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; ROSSETTO, R. Nitrogênio. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: IAC, 2010. p. 230-270.

ZANINE, A. M.; SANTOS, E. M. Competição entre espécies de plantas: uma revisão. **Revista da FZVA**, Uruguaiana, v. 11, n. 1, p. 10-30, 2004.

2. ÍNDICES BIOMÉTRICOS E FISIOLÓGICOS DA CANA-PLANTA PROVENIENTE DE MUDAS PRÉ-BROTADAS RELACIONADOS COM A DENSIDADE DE PLANTIO E A ADUBAÇÃO NITROGENADA

Resumo

A análise do crescimento da cana-de-açúcar, em termos de produção de biomassa, pode ser de grande importância para o entendimento dos fatores que influenciam o aumento na eficiência produtiva em resposta às condições ambientais e de manejo. O sistema de mudas pré-brotadas poderá contribuir para produção de mudas, com alto padrão de fitossanidade, vigor e uniformidade de plantio, aumentando a eficiência e os ganhos na implantação de viveiros, replantio de áreas comerciais e renovação de áreas. Objetivou-se com este trabalho estudar o crescimento e desenvolvimento da cana-planta por meio de variáveis biométricas e fisiológicas relacionadas à densidade de plantio e a adubação nitrogenada. Para se ajustar o acúmulo de massa seca na parte aérea foi utilizada uma função logística. Os índices fisiológicos utilizados para avaliar os tratamentos foram a Taxa de Crescimento da Cultura, em $\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, e a Taxa de Crescimento Relativo, em $\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$. Os maiores acúmulos foram observados na densidade de 0,25 m entre plantas e na dose de 80 kg N ha^{-1} . O acúmulo de massa seca da parte aérea da cana-planta apresentou forma sigmoideal de crescimento, independente do fator estudado. A fase de máximo acúmulo de massa seca foi ocorreu quando a evapotranspiração real da cultura igualou-se a evapotranspiração potencial, entre os meses de novembro a maio. A taxa de crescimento máxima da cultura foi observada durante o período de maior acúmulo de massa seca e maior evapotranspiração real, decrescendo até a maturação e colheita. As densidades de plantio influenciaram mais positivamente o acúmulo de massa seca e a taxa de crescimento da cultura do que as doses de nitrogênio. A taxa de crescimento relativo máxima foi observada no início do desenvolvimento da cultura, diminuindo-se exponencialmente a medida em que se aumenta o acúmulo de massa seca.

Palavras-chave: Arranjo espacial. Dose de Nitrogênio. Desenvolvimento. *Saccharum officinarum* L

Abstract

The analysis of the sugarcane growth in terms of biomass, can be of great importance for the understanding of the factors influencing the increase in production efficiency in response to environmental and management conditions. The system of pre-sprouted buds may contribute to the production of seedlings with high standards of plant health, vigor and uniformity of planting, increasing efficiency and gains in the implementation of nurseries, replanting and renewal areas. The objective of this work was to study the growth and development of plant cane through biometric and physiological variables as affected by planting density and nitrogen fertilization. To adjust the dry matter accumulation in the area a logistic function was used. The physiological indices used to evaluate the treatments were the Crop Growth Rate in $\text{g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, and the growth rate relative in $\text{g g}^{-1} \text{ day}^{-1}$. The largest accumulations were observed in the density of 0.25 m between plants and at a dose rate of 80 kg N ha^{-1} . The dry mass of above ground of the plant cane presented sigmoideal form of growth, regardless of the factor studied. The phase of maximum dry matter accumulation has

occurred when the crop actual evapotranspiration equaled to potential evapotranspiration, between the months of November to May. The rate of maximum crop growth was observed during the period of greatest biomass accumulation and higher evapotranspiration, decreasing until the maturity and harvest. The planting densities most influenced positively the crop dry matter accumulation and the growth than nitrogen rate. The maximum relative growth rate was observed in the early development of crop, decreasing exponentially increases with increasing dry matter accumulation.

Keywords: Spatial arrangement. Nitrogen rates. Development. *Saccharum officinarum* L.

2.1. Introdução

A análise do crescimento da cana-de-açúcar, em termos de produção e alocação de biomassa pode ser de grande importância para o melhor entendimento dos fatores que influenciam o aumento na eficiência produtiva da cultura em resposta às condições ambientais e de manejo. Através do estudo das interações entre os parâmetros de crescimento, os estádios de desenvolvimento da planta e os fatores ambientais, pode-se conhecer sua eficiência de crescimento e a habilidade de adaptação da planta ao ambiente produtivo (MARAFON, 2012).

As análises de crescimento na cultura são realizadas por meio da estimativa de índices morfofisiológicos do acúmulo de biomassa seca, obtidos em avaliações sequenciais de intervalos regulares. É possível também avaliar o crescimento através de análises de perfilhamento e de desenvolvimento das folhas, responsáveis pela interceptação da irradiação solar fotossinteticamente ativa e, conseqüentemente, quantificar a eficiência de seu uso para o acúmulo de biomassa e o incremento do rendimento industrial (MARAFON, 2012).

A análise de crescimento e o acúmulo de biomassa em plantas são considerados métodos padrão para quantificar a produtividade biológica de uma cultura em seu ambiente de produção (LUCCHESI, 1984; MAGALHÃES, 1985).

A análise de crescimento consiste na medida sequencial do acúmulo de matéria orgânica na planta, considerando a produção de biomassa e a descrição das condições morfológicas da planta em diferentes intervalos de tempo, permitindo avaliar o crescimento final da planta como um todo e a contribuição dos diversos órgãos no crescimento total (MAGALHÃES, 1985).

De acordo com Teruel, Barbieri e Ferraro Junior (1997) o conhecimento da variação dos estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar durante o seu ciclo é fundamental para que se possa modelar e quantificar o crescimento das plantas nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura.

O crescimento de uma planta caracteriza-se pelo aumento irreversível de tamanho e/ou peso e tem caráter quantitativo. O crescimento contrapõe-se ao desenvolvimento, que é um termo mais abrangente e envolve todas as mudanças qualitativas e quantitativas experimentadas pela planta durante o seu ciclo (NOGUEIRA et al., 2006).

Para Benincasa (2003), o crescimento da planta pode ser estudado através de medidas lineares, tais como altura, peso, comprimento, diâmetro de inflorescência, superficiais, de peso, volumétricas e número de unidades estruturais.

Marafon (2012) definiu o desenvolvimento da planta como um processo complexo, envolvendo fatores externos e internos, mecanismos de crescimento e diferenciação celular, sendo quantitativo quando se refere a um aumento em tamanho e massa e qualitativo quando trata de modificações internas e externas na forma e posição relativa de várias partes da planta durante seu ciclo de vida.

O estágio de desenvolvimento fenológico da cana-de-açúcar é dividido em quatro fases, sendo essas a (i) brotação e estabelecimento, com crescimento lento e dependente da umidade do solo, levando de 20 a 30 dias para a ocorrência da brotação; o (ii) perfilhamento, iniciando-se 40 dias após o plantio e durando até 120 dias; o (iii) crescimento dos colmos, que vai dos 120 dias após o plantio (ou corte) até os 270 dias, em cultivos de 12 meses, sendo o estágio mais importante do cultivo, pois é quando se acumulam aproximadamente 75% da matéria seca total e a (iv) maturação dos colmos, com reduções nas taxas de crescimento da planta e aumento no acúmulo de sacarose nos colmos, tendo início de 270 a 360 dias após o plantio e podendo se seguir por até 6 meses (CAMARA, 1993; DIOLA; SANTOS, 2010).

Franco (2008) observou que na maioria dos estudos com nitrogênio em cana-planta as avaliações são realizadas na colheita final, sendo poucos trabalhos encontrados em que se avaliou a produção de biomassa durante o ciclo da cultura.

Dessa forma, uma melhor compreensão da dinâmica de crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar pode contribuir para o aprimoramento de práticas culturais, bem como no melhor aproveitamento das cultivares altamente

produtivas mais adaptadas aos diferentes ambientes de produção e manejo (MARAFON, 2012). Neste sentido, de acordo com Câmara (1993), o processo canavieiro visa três objetivos básicos: a produtividade; a qualidade da matéria prima e a longevidade do canavial.

Objetivou-se com este trabalho estudar o crescimento e desenvolvimento da cana-planta por meio de variáveis biométricas e fisiológicas relacionadas à densidade de plantio e a adubação nitrogenada.

2.2. Material e Métodos

2.2.1. Caracterização da área experimental, do clima, do solo e da planta

O experimento foi implantado e conduzido no município de Santa Cruz das Palmeiras/SP, em área comercial de cultivo, nas Coordenadas Planas UTM 23 k 260761,760 m E. x 7581914,670 m S, numa altitude de 621 m. O clima corresponde ao tipo Cwa (KÖPPEN, 1948), com temperatura média máxima de 32 °C, média mínima 12 °C, sendo sua temperatura média em torno de 19,6 °C. O solo da área era um Latossolo Vermelho Distrófico Típico (LVd) de textura média (EMBRAPA, 2013). A cultivar utilizada foi a IACSP 95-5000, com um perfil de alta produtividade, elevado teor de sacarose, adaptada à colheita mecânica, e com grande estabilidade e responsiva, sendo adaptada praticamente a todas as regiões de cultivo e indicada para ambientes favoráveis (LANDELL et al., 2007).

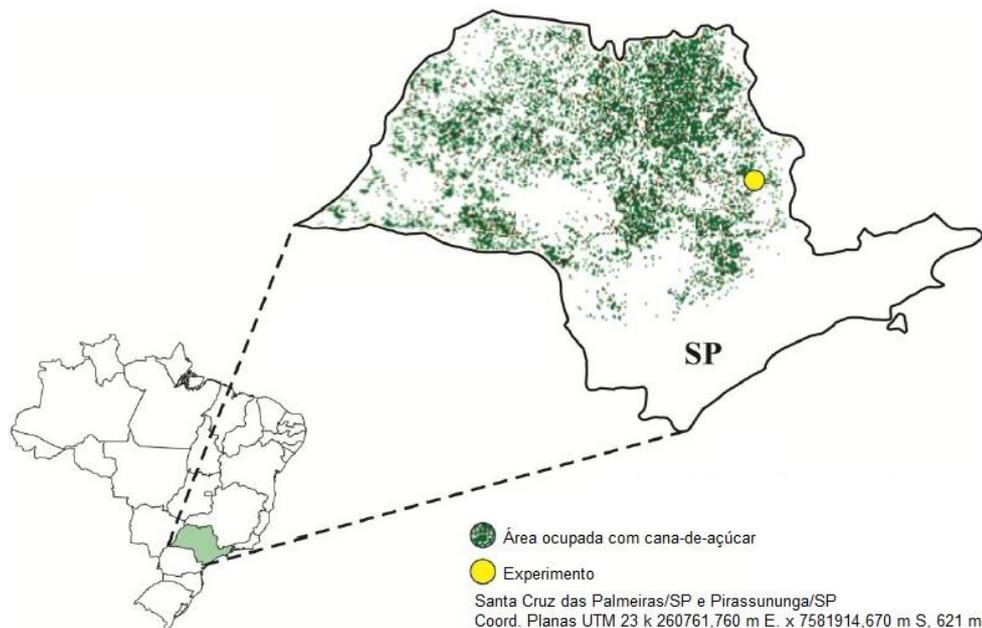


Figura 2.1 - Localização do experimento dentro da área de produção de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, Brasil. Adaptado de Otto (2012)



Figura 2.2 – Imagem de satélite do experimento. Santa Cruz das Palmeiras/SP, Brasil. Google Earth (2014)

2.2.2. Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, num esquema fatorial 3x3, com três repetições. O primeiro fator foi a densidade de plantas no sulco, com três níveis, 0,25; 0,50 e 0,75 m entre plantas, sendo essas densidades na linha de plantio correspondentes a 26.667, 13.333 e 8.889 mudas por hectare, respectivamente. O segundo fator foi a dose de nitrogênio, também com três níveis 40, 80 e 120 kg ha⁻¹, aplicados na forma de N-Ureia. Da combinação entre os fatores obteve-se nove tratamentos, repetidos em três blocos, num total de 27 parcelas experimentais.

2.2.3. Instalação e condução

A área onde o ensaio foi instalado já encontrava-se ocupada com a cultura da cana-de-açúcar, com corte mecanizado. Em setembro de 2013 ocorreu a colheita, de forma manual, sendo este o quarto corte. Quando estabelecida a rebrota realizou-se a dessecação utilizando o herbicida *Glifosato Potássico* (ZAPP QI, Syngenta) na dosagem de 2,0 L ha⁻¹.

Após a dessecação executou-se as operações de preparo do solo, sendo estas uma gradagem pesada (aradora), seguida de subsolagem e finalizou-se o preparo do solo uma gradagem leve (niveladora).

A adubação mineral foi realizada com base na análise química e física do solo (Tabela 2.1) e recomendada de acordo com o Boletim 100 (ESPIRONELO et al., 1996), trabalhando-se com uma produtividade esperada acima de 150 t cana ha⁻¹. As recomendações de fósforo e potássio foram de 140 kg e 160 kg ha⁻¹ do nutriente, respectivamente. A adubação foi toda realizada no plantio, sendo aplicada no fundo do sulco. O fertilizante utilizado foi o formulado 05-25-25, na dosagem de 600 kg ha⁻¹. Para completar as doses de nitrogênio, complementando o que foi fornecido pelo adubo formulado, foi aplicado N-ureia (45% N).

Após adubação realizou-se a aplicação de inseticidas *Tiametoxam* + *Lambda-Cialotrina* (Engeo Pleno, Syngenta) e cobertura do sulco. O plantio foi realizado de maneira manual. As mudas foram produzidas e doadas pela Usina Abengoa Bioenergy, Usina São Luiz, de Pirassununga/SP. O plantio das mudas foi manual, sendo que o sulco foi batido, fechado e abertas covetas com o auxílio de enxadões.

Tabela 2.1 - Caracterização química e física de amostra de solo em duas profundidades anterior a instalação do experimento. Santa Cruz das Palmeiras/SP. Período de janeiro 2014 a julho 2015

Camada cm	pH H ₂ O	P — mg dm ⁻³ —	K	Ca	Mg	Al	H + Al	M.O. dag kg ⁻³	Zn	Fe	Mn	Cu	B
0 – 20	6,0	12,90	50	3,4	1,0	0,0	2,8	2,7	2,8	35,2	69,6	6,5	0,2
20 – 40	6,3	1,20	19	1,9	0,5	0,0	1,7	1,6	0,5	39,5	33,0	7,6	0,2

Camada cm	S.B. — cmolc dm ⁻³ —	t	T	V	M	H + Al/T	Ca/T	Mg/T	K/T	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
0 – 20	4,5	4,6	7,3	61,8	0,7	38,2	46,5	13,5	1,8	3,4	26,2	7,6
20 – 40	2,4	2,4	4,1	58,9	0,0	41,1	46,3	11,3	1,2	4,1	37,6	9,2

Camada cm	Areia	Silte	Argila	Classificação	Classe Textural
0 – 20	290	160	550	Argiloso	3
20 - 40	260	120	620	Muito Argiloso	3

pH em água (CFSEMG, 1999); P, K, Zn, Fe, Mn, Cu, método Mehlich-1 (CFSEMG, 1999); Ca, Mg, Al, método KCl 1 mol/L (CFSEMG, 1999); M.O. método Walkley e Black (CFSEMG, 1999); B método Água quente (CFSEMG, 1999).

2.2.4. Acúmulo de massa seca

Para a determinação do acúmulo de massa seca no ciclo da cultura foram coletadas amostras de biomassa da parte aérea. As avaliações foram realizadas aos 48, 82, 145, 278, 356 e 497 dias após o plantio (DAP). Para determinação do momento da colheita, analisou-se o Índice de Maturação da cana-de-açúcar, quando constata-se uma maior concentração de açúcares nos colmos, seguindo a metodologia de Marafon (2012).

Coletou-se toda a parte aérea da cana-de-açúcar em 2 metros de linha, em duas linhas por parcela. A massa fresca vegetal, composta de folhas secas, ponteiro e colmo, de cada parcela foi obtida através de pesagem a campo. As amostras foram trituradas em picadora de forragem, e posterior retirada uma sub-amostra úmida, sendo esta devidamente acondicionada e enviada ao laboratório para demais análises.

Em laboratório, as sub-amostras foram pesadas em balança analítica, secas em estufa ventilada a 65 °C até terem atingido massa constante, sendo novamente pesadas para determinação da umidade do material. Conhecendo-se a umidade do material, foi calculada a produção de massa seca (kg ha^{-1}) de cada amostragem, considerando 6.666,67 metros lineares de cana-de-açúcar por hectare (1,5 metros de espaçamento entre linhas). As análises foram realizadas no Laboratório de Solos e Tecidos Vegetais do IFSULDEMINAS Campus Muzambinho.

Para se ajustar o acúmulo de massa seca na parte aérea da cana-de-açúcar em relação a densidade e a dose de nitrogênio foi utilizada a função logística:

$$y = \frac{a}{1 + \text{Exp}\left(\frac{x-x_0}{b}\right)}$$

onde y corresponde a biomassa seca da parte aérea da cana-planta (kg ha^{-1}); a ao acúmulo máximo de biomassa seca da parte aérea da cana planta (kg ha^{-1}); x ao dias após o plantio; x_0 ponto de inflexão da curva sigmoide e b um parâmetro de ajuste da curva.

Foram obtidas três equações de acordo com a densidade e três equações de acordo com a dose de N, que descreveram o comportamento de acúmulo de massa seca da parte aérea da cana-planta, no tempo.

2.2.5. Índices fisiológicos

Os índices fisiológicos utilizados para avaliar possíveis diferenças entre os tratamentos foram a Taxa de Crescimento da Cultura e a Taxa de Crescimento Relativo, de acordo com Marafon (2012).

A Taxa de Crescimento da Cultura (TCC) representa a quantidade total de matéria seca acumulada por unidade de área de solo (S), em um determinado tempo. A TCC corresponde à taxa de produção de matéria seca de uma comunidade vegetal, expressa em $\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, e é obtida através da equação

$$\text{TCC (g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}) = \frac{\frac{[MS2-MS1]}{S}}{t2-t1}$$

onde S representa a área amostrada ocupada pela cultura (m^2) no terreno e $MS1$ e $MS2$, as massas de matéria seca nos tempos inicial ($t1$) e final ($t2$) da avaliação.

Para se ajustar a taxa de crescimento da cultura em relação a densidade e a dose de nitrogênio foi utilizada a função gaussiana,

$$y = a * \text{Exp} \left\{ -0,5 * \left[\frac{(x-x0)}{b} \right]^2 \right\}$$

onde y taxa de crescimento da parte aérea da cultura ($\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); a taxa de crescimento máxima da cultura ($\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); x ao dias após o plantio; $x0$ ponto de inflexão da curva de gauss e b um parâmetro de ajuste.

A Taxa de Crescimento Relativo (TCR) é a medida mais apropriada para avaliação do crescimento vegetal, que é dependente da quantidade de material acumulado gradativamente. A TCR ($\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) expressa o incremento na massa de matéria seca por unidade de massa inicial, em um dado intervalo de tempo.

$$\text{TCR (g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}) = \frac{(\ln MS2 - \ln MS1)}{(t2 - t1)}$$

onde, \ln representa o logaritmo neperiano de dada unidade de massa; $MS1$ e $MS2$ representam as massas de matéria seca nos tempos $t1$ e $t2$.

Para se ajustar a taxa de crescimento relativo da cultura em relação a densidade e a dose de nitrogênio foi utilizada a função exponencial em decaimento,

$$y = a * Exp^{(-b*x)}$$

onde y taxa de crescimento relativo da parte aérea da cultura ($g\ g\ dia^{-1}$); a taxa de crescimento relativo máxima da cultura ($g\ g\ dia^{-1}$); x ao dias após o plantio; e b um parâmetro de ajuste.

2.2.6. Balanço hídrico climatológico

Para a elaboração do balanço hídrico e climatológico dos ciclos de 2013/2014 e 2014/2015 foram utilizados parâmetros meteorológicos (precipitação, temperatura e evapotranspiração) coletados em estação meteorológica automática da FZEA/USP em Pirassununga/SP.

O balanço foi obtido por meio de planilha eletrônica (ROLIM; SENTELHAS; BARBIERI, 1998). Para os cálculos de evapotranspiração da cultura foram utilizados os índices de K_c desenvolvidos por Doorenbos e Kassan (1994), estimados para cada estágio de desenvolvimento da cultura. Seguindo citação feita por Otto (2007), substitui-se o K_c de 1,05 por 1,25, na fase de máximo crescimento da cana-de-açúcar, proposto por Allen et al. (1998) e confirmadas por Inman-Bamber e McGlinchey (2003).

2.2.7. Análise Estatística

As equações e os modelos de acúmulo de massa seca foram elaborados com o software SigmaPlot. Como critério de 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 ($p < 0,10$) pelo teste de t , bem como os modelos que melhor representaram o crescimento (OLIVEIRA, 2011).

Os valores encontrados para as demais variáveis estudadas foram submetidos à análise de variância utilizando o teste F , ao nível de 95% de confiança. Posteriormente, para as causas de variação significativas, foi aplicado o teste de comparação de médias de Tukey ($p < 0,05$). As análises estatísticas foram realizadas pelo software Sisvar (FERREIRA, 2000).

2.3. Resultados e Discussão

2.3.1. Balanço Hídrico Climatológico no ciclo da cana-planta

Durante o ciclo de desenvolvimento da cana-planta as precipitações mostraram-se escassas durante no ano de 2014, vindo a estabelecer uma normalidade no segundo decênio do mês de novembro até o primeiro decênio de maio de 2015, período em que ocorreu o máximo desenvolvimento da cultura. Após esta fase, com a diminuição da precipitação, porém ainda com disponibilidade hídrica no solo, iniciou-se a fase de maturação, até o mês de junho, quando se realizou a colheita da cana-planta.

O plantio foi realizado no terceiro decênio de janeiro e a fase de pegamento das mudas e início do perfilhamento seguiu-se até o início do mês de maio de 2014. Durante esse período, a precipitação acumulada foi de 311 mm e o déficit hídrico de 105,5 mm. A evapotranspiração potencial da cultura (ETPc) nesta fase foi de 481 mm, numa média de $3,70 \text{ mm dia}^{-1}$, e a evapotranspiração real da cultura (ETRc) foi de 375 mm, tendo uma média de $2,89 \text{ mm dia}^{-1}$. Nesta fase foi realizada irrigação de salvamento, visando suprir o déficit hídrico e evitar a perda das mudas.

O período de crescimento lento da cultura foi de maio até o início do mês de novembro, quando as precipitações começaram a normalizar, permitindo maiores evapotranspirações, dando início ao estágio de máximo crescimento. Durante o período de crescimento lento, a precipitação acumulada foi de 144 mm e o déficit hídrico de 235,6 mm. A ETPc e a ETRc foram 400,6 e 165 mm, respectivamente, com valores médios de $2,36 \text{ mm dia}^{-1}$ para ETPc e $0,97 \text{ mm dia}^{-1}$ para a ETRc.

Essa fase apresentou condições favoráveis a uma elevada evapotranspiração, podendo ser observada pela ETPc no período (Figura 2.3), porém, o baixo armazenamento de água no solo limitou a ETRc, somente apresentando níveis mais elevados a partir de novembro de 2014. Condição semelhante foi observada por Otto (2007) e Sartori (2010).

O estágio de máximo desenvolvimento da cultura iniciou-se em novembro de 2014 e seguiu até maio de 2015, com uma significativa precipitação acumulada de 1.417,20 mm e um déficit hídrico de 11,03 mm. As condições de temperatura, radiação solar e disponibilidade hídrica foram extremamente favoráveis, permitindo elevados valores de evapotranspiração, favorecendo o crescimento da cultura.

A ETPc foi de 687,9 mm, com uma média de 3,62 mm dia⁻¹, e a ETRc foi de 676,9 mm, e média de 3,56 mm dia⁻¹. Os valores mais altos observados nessa fase para ETPc e ETRc foram de 5,83 e 5,64 mm dia⁻¹, respectivamente, ocorridos no segundo decênio de janeiro de 2015.

A partir do segundo decênio de maio, com a diminuição da precipitação, iniciou-se o estágio de maturação, sendo a cana colhida em junho de 2015. Nessa fase, a precipitação acumulada foi de 35,80 mm e o déficit hídrico de 10,74 mm, tendo o solo uma boa disponibilidade hídrica. A ETPc foi de 82,9 mm, com uma média de 2 mm dia⁻¹ e a ETRc foi de 72,18 mm, com 1,8 mm dia⁻¹.

No geral, durante o ciclo da cana-planta, a precipitação acumulada foi de 1.908,6 mm e o déficit hídrico de 362,9 mm. A ETPc foi de 1.652,8 mm e a ETRc de 1.289,9 mm. Landell et al. (2014) descreveram como regime hídrico anual mínimo para a cultura 1.200 mm, concentrados na primavera e verão, com inverno seco e/ou frio bem característico, deficiência hídrica máxima de 200 mm. Inman-Bamber e Smith (2005) apontaram que a partir de 1.000 mm de pluviosidade anual, bem distribuídos, já é suficiente para a obtenção de altas produtividades.

Ao analisar o balanço hídrico climatológico, vale atentar-se para a conclusão de Otto (2007) de que o conhecimento isolado da ETP e ETR, bem como do déficit hídrico do ciclo da cultura, podem não ser tão úteis quanto à avaliação dessas variáveis em momentos pontuais e periódicos do crescimento da cultura, considerando que a cana-de-açúcar apresenta estágios de desenvolvimento distintos e com peculiaridades.

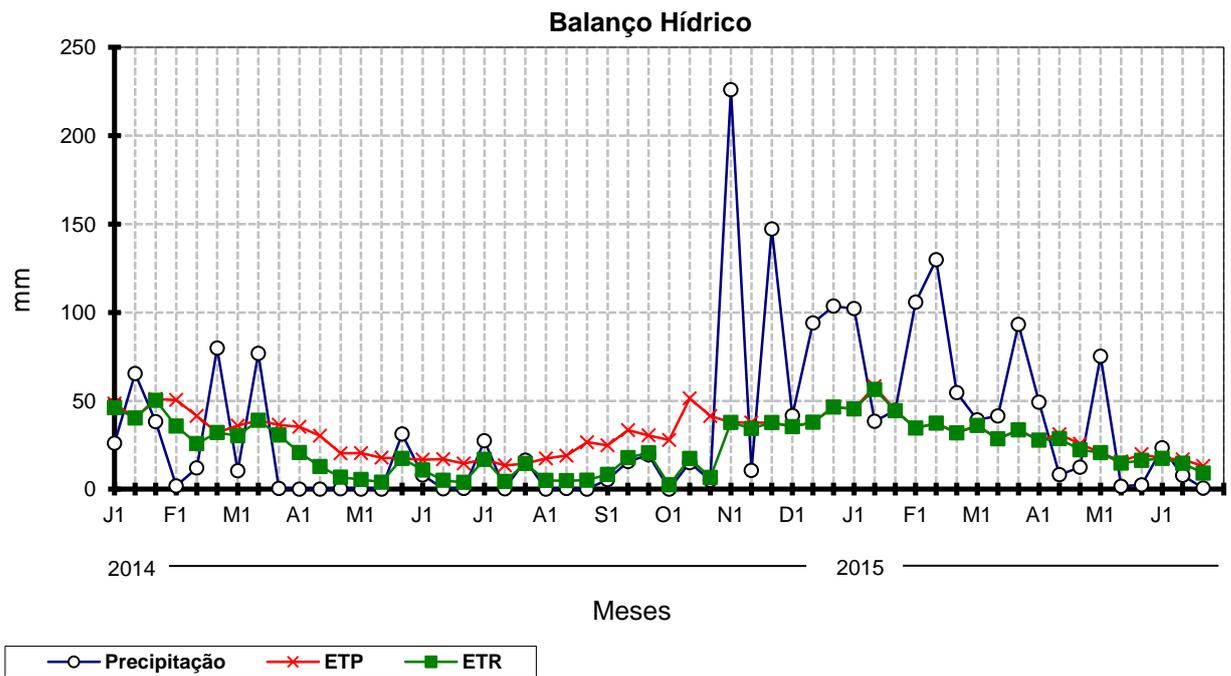


Figura 2.3 - Balço hídrico climatológico no ciclo da cana-planta em Santa Cruz das Palmeiras/SP. Período de janeiro 2014 a julho 2015. ETP: Evapotranspiração potencial; ETR: Evapotranspiração real

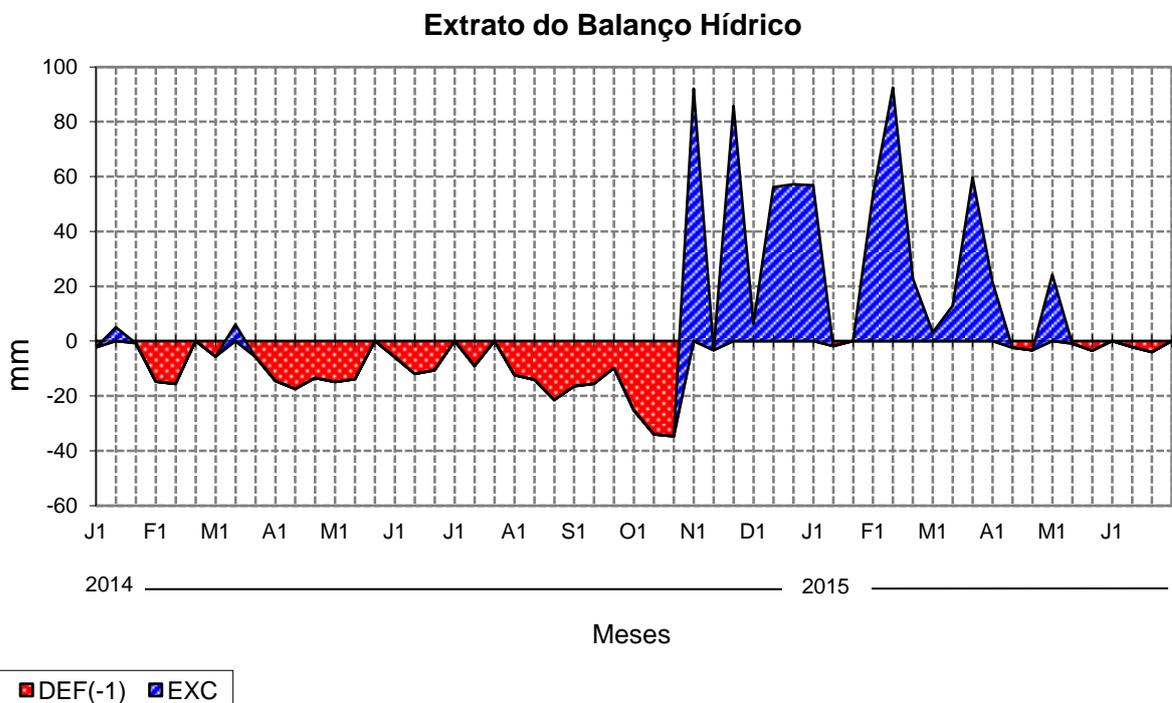


Figura 2.4 - Extrato do balanço hídrico no ciclo da cana-planta em Santa Cruz das Palmeiras/SP. Período de janeiro 2014 a julho 2015

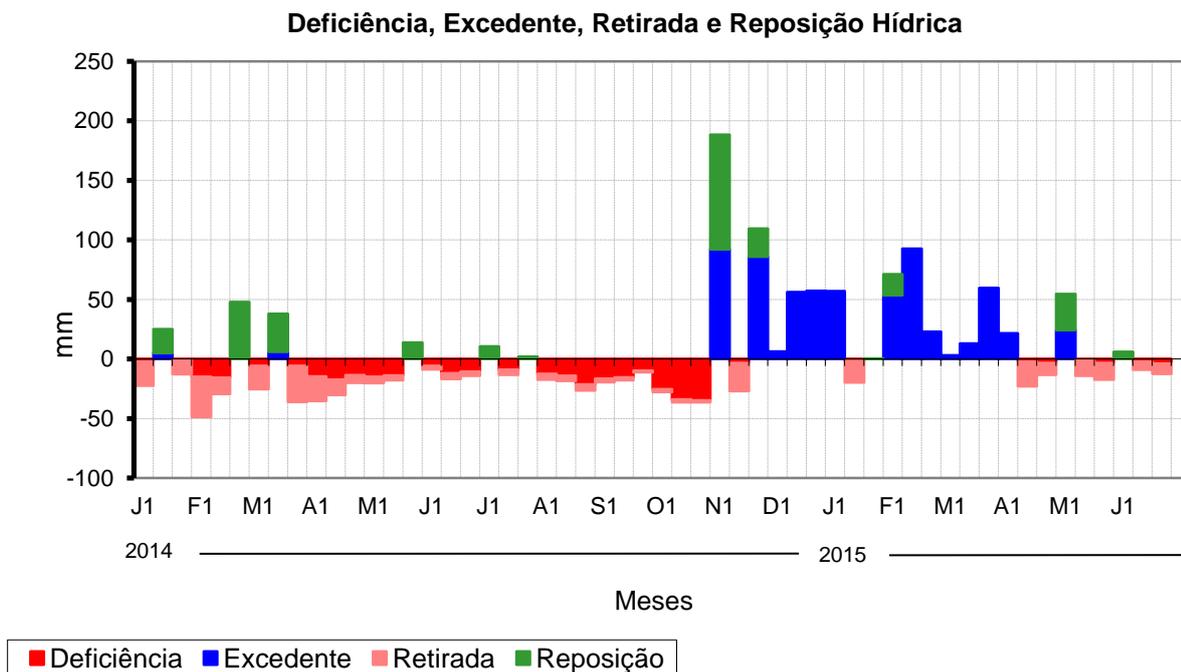


Figura 2.5 - Extrato detalhado do balanço hídrico no ciclo da cana-planta em Santa Cruz das Palmeiras/SP. Período de janeiro 2014 a julho 2015

2.3.2. Acúmulo de massa seca pela parte aérea da cana-planta

O acúmulo de massa seca na parte aérea da cana-planta apresentou-se de forma sigmoide, como descrita por Machado et al. (1982), independente das doses de nitrogênio e das densidades de plantio. O ciclo da cultura foi de 497 dias, divididos em quatro estádios de desenvolvimento, de acordo com Casagrande (1991), sendo esses o (i) plantio e perfilhamento, o (ii) desenvolvimento lento, o (iii) desenvolvimento máximo e a (iv) maturação.

Os maiores acúmulos foram observados na densidade de 0,25 m entre plantas no sulco de plantio e na dose de 80 kg ha⁻¹ de N.

Tabela 2.2 - Produção de massa seca da parte aérea da cana-planta em função da densidade de plantio e da dose de nitrogênio. Santa Cruz das Palmeiras/SP. Período de janeiro 2014 a julho 2015

Massa seca da parte aérea						
Tratamentos	DAP					
Densidade	47	82	145	278	356	497
(m entre plantas)	(Março/2014)	(Abril/2014)	(Junho/2014)	(Outubro/2014)	(Janeiro/2015)	(Junho/2015)
	kg ha ⁻¹					
0,25	678	3.140	16.193	36.712	41.857	82.249
0,50	468	2.745	15.666	32.037	35.175	66.822
0,75	457	2.346	11.898	28.673	37.754	75.373

Dose de N	47	82	145	278	356	497
(kg ha ⁻¹)	(Março/2014)	(Abril/2014)	(Junho/2014)	(Outubro/2014)	(Janeiro/2015)	(Junho/2015)
	kg ha ⁻¹					
40	492	2.813	13.844	28.086	37.137	70.170
80	505	2.679	14.837	34.167	40.086	78.755
120	606	2.740	15.076	35.168	37.563	75.520

A fase do plantio e perfilhamento compreendeu-se do período de plantio e pegamento das mudas pré-brotadas, seguindo-se da emissão e estabelecimento do perfilhamento, indo de janeiro ao início de maio de 2014, com uma duração de 95 dias. O acúmulo de massa seca médio nessa fase foi de cerca de 7.000 kg ha⁻¹, correspondente a 10% do total acumulado pela cultura, no momento da colheita.

Analisando-se separadamente o efeito dos fatores estudados no acúmulo de massa seca, quanto ao fator densidade, para as densidades de plantio de 0,25; 0,50 e 0,75 m entre plantas na linha, o acúmulo de massa seca foi em torno de 8.300 kg ha⁻¹, correspondendo a 10% do total acumulado, 7.600 kg ha⁻¹ (12%) e 6.100 kg ha⁻¹ (8%), respectivamente. Quanto ao fator dose de nitrogênio, para as doses de 40; 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, o acúmulo foi de 7.600 kg ha⁻¹, sendo 11% do total acumulado pela parte aérea, 6.600 kg ha⁻¹ (9%) e 7.900 kg ha⁻¹ (11%), respectivamente.

Oliveira (2011), estudando o balanço nutricional da cana-de-açúcar em função da adubação nitrogenada, observou que a primeira fase de crescimento foi caracterizada por baixas produções de massa seca, equivalendo a 13% do total produzido, sendo que essa fase teve duração até os 194 DAP em Latossolo Vermelho eutrófico e 161 DAP em Latossolo Vermelho distrófico, produzindo

9.400 e 8.000 kg ha⁻¹, respectivamente. Neste período de crescimento o autor observou tendência linear crescente para o acúmulo de massa seca em relação à dose de N aplicada.

Nessa fase inicial, o crescimento de folhas é o principal destino dos fotoassimilados, apresentando o maior acúmulo de massa seca. Machado et al. (1982) observaram que, até os 100 DAP, a massa seca das folhas representa 70% do total acumulado pela cana-de-açúcar.

Como as folhas são o órgão interceptador da luminosidade, elas se desenvolvem visando uma maior atividade fotossintética, para produção de fitomassa, promovendo o crescimento da planta. Um índice fisiológico extremamente importante nessa fase é o de área foliar (IAF). Devido a grande competição dos perfilhos na linha, as folhas crescem em comprimento no sentido da entre-linha, buscando maior luminosidade. Após o estabelecimento de equilíbrio entre os perfilhos, as folhas passam a crescer em largura (MACHADO, 1987).

Castro e Christoffoleti (2005) citam que a maior fase do perfilhamento pode ocorrer até quatro meses após o plantio (10 a 20 perfilhos), sendo que, posteriormente, verifica-se um decréscimo no número de brotações, em virtude da competição natural.

A segunda fase, caracterizada como desenvolvimento lento, teve início no segundo decênio de maio de 2014 e término no início de novembro de 2014, quando as chuvas começaram a se estabilizar, apresentando uma duração de 184 dias. Durante essa fase, apesar de adequadas temperatura e luminosidade, havia pouca disponibilidade hídrica para a cultura, não propiciando condições para elevada evapotranspiração real (Figuras 2.1, 2.2 e 2.3), tornando lento o crescimento da cultura.

No decorrer dessa segunda fase, o acúmulo médio foi de 20.000 kg ha⁻¹, correspondendo a 27% do total acumulado pela cana-planta durante todo o ciclo. Analisando-se o fator densidade, o acúmulo de massa seca na de 0,25 m entre plantas foi em torno de 22.100 kg ha⁻¹, 27% do total acumulado, na de 0,50 m foi de 19.000 kg ha⁻¹ (29%) e na de 0,75 m também de 19.000 kg ha⁻¹ (25%). Quanto às doses, para a dose de 40 kg ha⁻¹ de N o acúmulo foi em torno de 18.700 kg ha⁻¹ (26%), na dose de 80 kg ha⁻¹ de N foi de 21.000 (27%) e na de 120 kg ha⁻¹ de N foi de 20.300 kg ha⁻¹ (27%).

A terceira fase, a de máximo desenvolvimento da cultura, iniciou-se a partir de novembro de 2014, com a normalização das chuvas. Nessa fase, devido às adequadas condições ambientais, a cana-planta teve uma ETRc muito próxima a ETPc calculada para o período. Quanto maior a ETRc, maior o seu crescimento e acúmulo de fitomassa. Esta fase compreendeu um período de 181 dias, encerrando-se em maio de 2015, com diminuição das chuvas e ETRc, dando-se início a fase de maturação.

O acúmulo médio de massa seca dessa fase foi de 38.800 kg ha⁻¹, correspondendo a 52% do total acumulado pela cultura em todo o ciclo. Dentro das densidades, na de 0,25 m entre plantas o acúmulo foi em torno de 42.000 kg ha⁻¹, 52% do total acumulado; na de 0,50 m foi de 33.000 kg ha⁻¹ (50%), e na de 0,75 m foi de 41.200 kg ha⁻¹ (55%). Para as doses de nitrogênio o acúmulo, em kg ha⁻¹ e percentual, respectivamente, foi de 37.000 e 52% para a de 40 kg ha⁻¹; 41.100 e 53% para a de 80 kg ha⁻¹; e de 38.500 e 52% para a de 120 kg ha⁻¹.

Franco (2008) também observou expressivo acúmulo de fitomassa nessa fase, de 35.000 e 41.000 kg ha⁻¹ nos dois experimentos que conduziu. O autor credita esse alto acúmulo ao início do desenvolvimento dos colmos, que ao término do ciclo da cana-planta representou 82% da massa seca total acumulada pela parte área da cana-de-açúcar.

Oliveira (2011) observou diferença para o acúmulo de massa seca em relação ao solo do ambiente de cultivo, onde no Latossolo Vermelho distrófico a fase de crescimento máximo ocorreu entre 161 e 444 DAP (283 dias), com produção média de 50.000 kg ha⁻¹. No Latossolo Vermelho eutrófico essa fase ocorreu entre 194 e 431 DAP (237 dias) e produzindo 60.000 kg ha⁻¹, enquanto que no Latossolo Vermelho Amarelo eutrófico essa fase durou de 218 a 433 DAP, produzindo em média 44.000 kg ha⁻¹.

A fase de maturação teve início em maio de 2015 e término na colheita da cana-planta, em junho de 2015, com duração de 37 dias e acúmulo médio de massa seca em torno de 7.900 kg ha⁻¹, 11% do total acumulado no ciclo todo. A partir de maio observou-se queda no volume de chuvas e diminuição da ETPc, porém devido a água armazenada no solo, ainda observou-se uma significativa ETRc, permitindo ainda o acúmulo de massa seca pelas plantas.

Para o fator densidade de plantio, os valores acumulados foram em torno de 7.500 kg ha⁻¹ (11%) na dose de 40 kg ha⁻¹ de N, 8.400 kg ha⁻¹ (11%) na dose de 80 kg ha⁻¹ de N, e de 7.900 kg ha⁻¹ (11%) na dose de 120 kg ha⁻¹ de N.

Os valores são muito próximos aos encontrados por Franco (2008), estudando a influência dessas mesmas doses de nitrogênio no acúmulo de fitomassa pela parte aérea da cana-planta.

Na fase de maturação, Oliveira (2011) não encontrou influência das doses de N estudadas sobre o acúmulo de massa seca nessa fase, que representou em média de 4 a 8% do total acumulado pela cultura. Na cana-planta plantada no Latossolo Vermelho eutrófico essa fase ocorreu dos 431 aos 523 DAP, produzindo em média 8.000 kg ha⁻¹. Na cana-de-açúcar plantada em Latossolo Vermelho Amarelo eutrófico essa fase ocorreu entre os 433 e 468 DAP, acumulando 4.000 kg ha⁻¹, enquanto que na plantada em Latossolo Vermelho distrófico essa fase ocorreu entre os 444 e 459 DAP, com acúmulo de 2.500 kg ha⁻¹.

Machado (1987) e Franco (2008) afirmaram que o crescimento da cultura nessa fase é pouco intenso devido às restrições climáticas, sendo os fotoassimilados destinados, principalmente, ao armazenamento da sacarose nos colmos, observando-se esse comportamento associado à diminuição da evapotranspiração real da cultura.

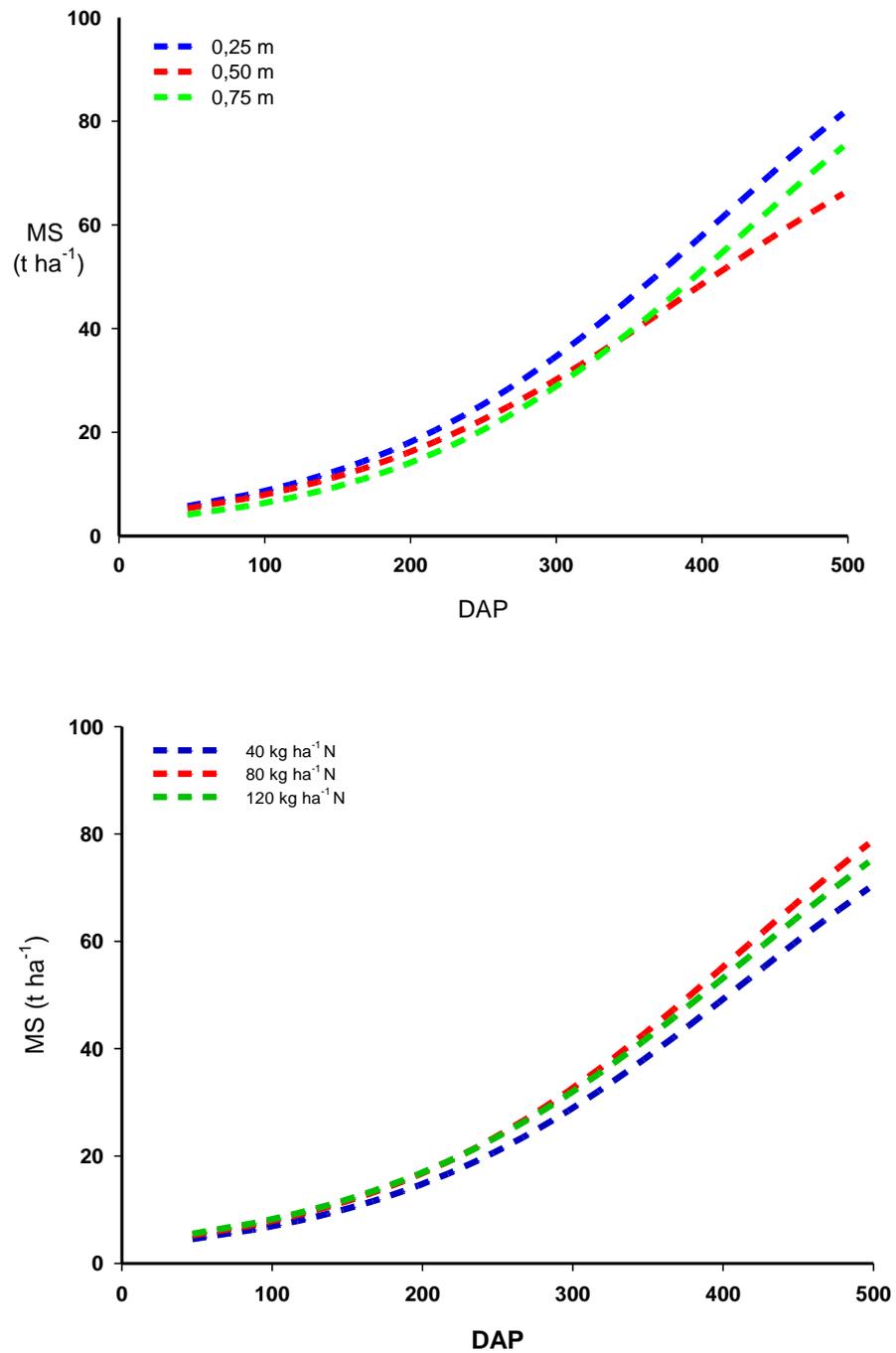


Figura 2.6 - Acúmulo de massa seca (MS) da parte aérea no ciclo da cana-planta em função da densidade de plantio (metros entre plantas) e da dose de nitrogênio. Ajuste da função logística. Santa Cruz das Palmeiras/SP. Período de janeiro 2014 a julho 2015

Os resultados obtidos de acúmulo de massa seca em forma sigmoide foram semelhantes aos encontrados por outros autores que trabalharam com cana-planta (MACHADO et al., 1982; ALLEONI; BEAUCLAIR, 1995; FRANCO, 2008), variando apenas a duração de cada fase de desenvolvimento.

A cana-planta de ano e meio, plantada de janeiro ao início de abril, tem uma taxa de crescimento inicial restrita, nula ou até mesmo negativa, em função das condições climáticas entre os meses de maio a setembro. Havendo boa disponibilidade hídrica, a época de máximo desenvolvimento da cultura se dá entre outubro e abril, com máximo crescimento entre dezembro e abril (CASAGRANDE, 1991).

Analisando-se o acúmulo de massa seca pela parte aérea da cana planta no momento da colheita, observou-se diferença estatística apenas para as densidades de plantio, sendo observado um maior acúmulo na densidade de 0,25 m, com 82.249 kg ha⁻¹, seguida pela densidade de 0,75 m com 75.373 kg ha⁻¹, e com um menor acúmulo na densidade de 0,50 m, com 66.821 kg ha⁻¹. Para as doses de nitrogênio, não foram observadas diferenças estatísticas para o acúmulo total. A combinação de fatores que proporcionou um maior acúmulo foi a de densidade de 0,25 m com a dose de 80 kg ha⁻¹ de N, e a combinação que apresentou o menor acúmulo foi a de densidade 0,50 m com 40 kg ha⁻¹ de N.

Tabela 2.3 - Produção de massa seca da parte aérea da cana-planta em função da densidade de plantio e da dose de nitrogênio no momento da colheita. Santa Cruz das Palmeiras/SP. Período de janeiro 2014 a julho 2015

Doses de N (kg ha ⁻¹)	Massa seca da parte aérea			Média
	Densidade (m entre plantas)			
	0,25	0,50	0,75	
	kg ha ⁻¹			
40	76.527 Aa	53.534 Bb	80.447 Aa	70.169 a
80	91.716 Aa	72.798 ABa	71.749 Aa	78.754 a
120	78.504 Aa	74.133 Aa	73.922 Aa	75.519 a
Média	82.249 A	66.821 B	75.373 AB	

Médias seguidas de uma mesma letra indicam que não houve diferença significativa, ao nível de 5% de significância pelo teste Tukey. Letras maiúsculas nas colunas e letras minúsculas nas linhas.

Otto (2007), em experimento com as mesmas doses de nitrogênio aqui estudadas, encontrou na colheita da cana-planta, valor médio geral de acúmulo de massa seca em torno de 60.000 kg ha⁻¹, não observando diferença estatística em função das doses.

Logo, as maiores massas acumuladas neste trabalho são devido a influência das densidades sobre a produção da cana-planta.

2.3.3. Taxa de Crescimento da Cultura da cana-planta

Considera-se a taxa de crescimento das culturas (TCC) o parâmetro mais importante em fisiologia da produção, pois representa a quantidade total de matéria seca acumulada por unidade de área de solo em um determinado tempo. Conhece-se a TCC também por taxa de produção de matéria seca (TPMS).

A TCC de uma cultura avalia a produtividade primária líquida, constituindo o somatório das taxas de crescimento dos diversos componentes das plantas (PEREIRA; MACHADO, 1987; BREANDELERO, 2001; BRANDELERO et. al., 2002).

Peixoto e Peixoto (2009) relataram que a cobertura fotossintética de uma cultura tem sido expressa por um número adimensional, o índice de área foliar (IAF), que é resultante da área foliar (L) e da área do terreno (S), sendo este conceito básico para análise de crescimento de uma cultura ou na interceptação de luz e, especialmente, para informar sobre o desempenho de folhas individuais. Mesmo sendo o IAF a simples razão L/S, ele apresenta interações com a taxa assimilatória líquida (TAL) e a produtividade, podendo a TCC ser obtida por: $TCC = TAL \times IAF$ (g m⁻² dia⁻¹).

Machado et al. (1982) estudando índices biométricos de duas variedades de cana-de-açúcar, CB 41-14 e NA 56-79, plantadas no sistema convencional, concluíram que a TPMS é representada por uma função em forma de sino, onde inicialmente ela é baixa e rapidamente aumenta até atingir um ponto máximo, iniciando o seu decréscimo até a colheita.

A TCC e o acúmulo de massa seca acompanharam a precipitação e a ETRc, sendo observadas maiores taxas e acúmulos nos períodos de maior evapotranspiração, independente das densidades e das doses de nitrogênio.

As maiores taxas e acúmulos foram encontrados no período de máximo desenvolvimento da cultura devido o fato de elevados valores de ETRc nessa fase, comportamento semelhante encontrado em trabalhos de diversos autores

(OTTO, 2007; FRANCO, 2008; LEITE, 2011; OLIVEIRA, 2011). Os altos valores de TCC médios na fase de maturação se devem a essa condição.

Analisando-se as densidades de plantio, na de 0,25 m entre plantas, observou-se que o ponto máximo de acúmulo ocorreu aos 422 dias após o plantio (DAP), apresentando uma taxa de $25 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, com acúmulo médio durante o ciclo da cultura de $15,57 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Na fase inicial de pegamento das mudas e perfilhamento, com duração de 95 dias, a TCC média foi de $3,54 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e a máxima $5,47 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. A fase de crescimento lento durou 184 dias e apresentou TCC média de $11,68 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e máxima de $18,68 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. No período de desenvolvimento máximo da cana-planta, de novembro de 2014 a maio de 2015, num total de 181 dias, a TCC média foi de $23,22 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e a máxima de $25 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. No final do ciclo da cultura, a fase de maturação, teve duração de 37 dias, com uma TCC média de $23,85 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e máxima de $24,47 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

Para a densidade de 0,50 m entre plantas, o ponto de máximo acúmulo foi aos 398 DAP, com $21,38 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, e a TCC média do ciclo da cana-planta foi de $13,03 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Na fase inicial de desenvolvimento a TCC média e máxima foram $2,87$ e $4,61 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente. No decorrer da fase de desenvolvimento lento, a TCC média foi de $10,33 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e a máxima de $16,71 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Durante a fase de desenvolvimento máximo da cultura a taxa média de crescimento foi de $19,98 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e a máxima de $21,14 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Na fase de maturação, esses valores foram de $18,93 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ na média, e $19,83 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ na máxima.

Na densidade de 0,75 m entre plantas, a TCC média foi de $14,31 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e a máxima de $23,86 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, ocorrendo aos 444 DAP. A fase inicial de desenvolvimento apresentou TCC média de $9,74 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e máxima de $16,25 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Já no período de máximo desenvolvimento da cana-planta, a taxa média foi de $21,38 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e a máxima de $23,86 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. A fase de maturação apresentou TCC média de $23,42 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e máxima de $23,78 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

Em relação às doses de nitrogênio, para a dose de 40 kg ha^{-1} de N, a TCC média no ciclo da cultura foi de $13,42 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e a máxima de $21,86 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, aos 422 DAP. Na fase de desenvolvimento inicial, a taxa média foi de $2,80 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e a máxima de $4,42 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, aumentando para $9,84 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e $16,09 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ na fase de crescimento lento. No período de máximo crescimento, as taxas médias e máximas foram de $20,23$ e $21,86 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente.

Já na fase de maturação a média foi de $20,81 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e a máxima de $21,40 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

A dose de 80 kg ha^{-1} de N foi a que proporcionou a maior taxa de acúmulo, sendo que a TCC média durante o ciclo da cultura foi de $15 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-2}$, e a TCC máxima de $24,29 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, observada aos 422 DAP. Na fase inicial de desenvolvimento da cultura a taxa média e máxima de crescimento foi de $3,24 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e $5,08 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente. Durante a fase de desenvolvimento lento da cultura, a taxa média de crescimento foi de $11,11 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e a máxima de $18,00 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Já na fase de máximo crescimento, observou-se uma TCC média de $22,51 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e máxima de $24,29 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. No período de maturação, as taxas média e máxima foram de $23,14$ e $23,79 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

Na dose de 120 kg ha^{-1} N, no crescimento inicial, a TCC média foi de $3,35 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e a máxima de $5,13 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Na fase de desenvolvimento lento da cultura, as taxas médias e máximas foram de $10,72$ e $17,00 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente, enquanto que na fase de máximo desenvolvimento a taxa média foi de $21,12 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e a máxima de $22,78 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Na maturação, observou-se uma TCC média de $21,86 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e máxima de $22,40 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

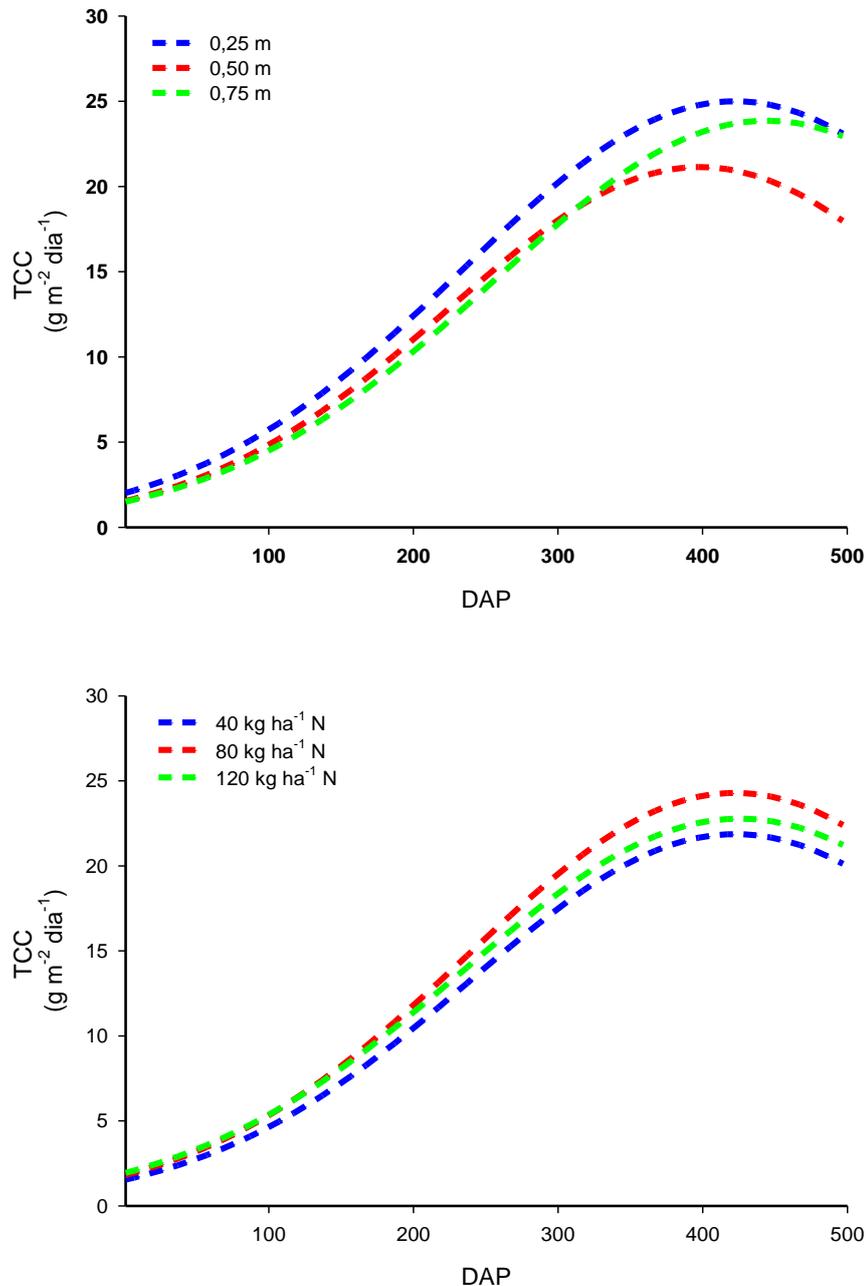


Figura 2.7 - Taxa de Crescimento da Cultura (TCC) da parte aérea no ciclo da cana-planta em função da densidade de plantio (metros entre plantas) e da dose de nitrogênio. Ajuste da função gaussiana. Santa Cruz das Palmeiras/SP. Período de janeiro 2014 a julho 2015

Machado et al. (1982) estudando as cultivares CB 41-14 e NA 56-79, no sistema de plantio colmo-semente, encontraram uma TCC máxima de 25 g m⁻² dia⁻¹, por volta dos 300 DAP, e uma TCC média durante o ciclo de crescimento de 12 g m⁻² dia⁻¹. Os autores ainda observam que no período entre 200 e 360 DAP, ocorridos entre outubro e abril, a TCC média foi de 21 g m⁻² dia⁻¹, não muito alta,

porém raramente encontrada por período tão longo em outros vegetais. Contextualizando esse resultado, os autores citam o trabalho de Monteith (1978), afirmando que, no geral, há uma estreita correlação entre produção e duração da estação de crescimento, e plantas com metabolismo do tipo *C4* apresentam uma TCC média ao redor de 22,00, variando em torno de $3,6 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Nota-se, portanto, que a maior produtividade da cana-de-açúcar se deve, em parte, ao seu longo período de crescimento e, conseqüentemente, maior duração da área foliar (MACHADO et al., 1982).

Franco (2008) analisou o crescimento da cana-planta dividindo-o em três fases. Para a primeira fase de crescimento, encontrou valor médio de TCC de $3 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ nos dois experimentos por ele conduzidos. Na segunda fase, a de máximo desenvolvimento, esses valores foram de 15 e $17 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Já na fase de maturação, a taxa média foi de $7 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, em ambos os experimentos. Para as doses estudadas, o autor encontrou taxas médias de 8,0; 9,6 e $10,0 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, para as doses de 40, 80 e $120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, respectivamente.

Já para as taxas máximas, relacionadas à dose de N, Franco (2008) encontrou a de $20 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, aos 270 DAP, na dose de 120 kg ha^{-1} de N, em experimento realizado em Pirassununga/SP, e de $24 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, aos 270 DAP, na dose de 80 kg ha^{-1} de N em Jaboticabal/SP. O autor relata que a TCC máxima nos dois experimentos ocorreu quando a ETRc começou a igualar-se a ETPc, possibilitando o máximo crescimento da cultura.

Oliveira (2011) observou que as TCC médias no período de máximo desenvolvimento da cultura eram maiores quando a disponibilidade hídrica era maior, sendo que as maiores taxas foram encontradas em plantas cultivadas num Latossolo Vermelho eutrófico, com precipitação e déficit hídrico acumulados de 1.425 mm e 244 mm, respectivamente. Nessas condições, a TCC foi de $25,3 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Já no ambiente com Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico, precipitação e déficit hídrico acumulados de 1.185 e 259 mm a taxa foi de $17,6 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, e no Latossolo Vermelho distrófico com precipitação e déficit hídrico de 1.268 e 476 mm, de e $20,4 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

Quanto as TCC máximas durante a fase de máximo desenvolvimento da cultura, Oliveira (2011) encontrou valores de $33,4 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ aos 313 DAP no Latossolo Vermelho eutrófico; de $26,5 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ aos 325 DAP no Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico; e $23,1 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ aos 303 DAP no Latossolo Vermelho distrófico.

2.3.4. Taxa de Crescimento Relativo da cana-planta

A taxa de crescimento relativo (TCR) expressa a taxa de crescimento em relação a uma base comum, que é a massa da própria planta. Esta medida foi estabelecida por Briggs, em 1920, sendo dependente da quantidade de material acumulado gradativamente (PEIXOTO; PEIXOTO, 2009). A TCR expressa o incremento na massa de matéria seca, por unidade de peso inicial, em um intervalo de tempo (REIS; MULLER, 1979).

Magalhães (1985) considera a taxa de crescimento relativo como a medida mais apropriada para avaliação do crescimento vegetal, que é dependente da quantidade de material que está sendo acumulado. A TCR varia ao longo do ciclo vegetal, pois depende de dois outros fatores do crescimento: a área foliar útil para a fotossíntese ou razão de área foliar (RAF), e da taxa fotossintética bruta, descontando a respiração (mais a fotorrespiração nas plantas C3) ou taxa assimilatória líquida (TAL).

De acordo com Benincasa (2004), todo crescimento resultará da produção de material suficiente para atender às necessidades metabólicas do material já existente e, ainda, para armazenar ou construir novo material estrutural, uma vez que conceitualmente, a análise de crescimento estabelece que a taxa de crescimento de uma planta é função do tamanho inicial (período em que se inicia a observação).

A TCR máxima encontra-se no início do desenvolvimento das plantas, diminui exponencialmente à medida que se aumenta o acúmulo de massa seca por área. Sendo assim, a TCR dilui-se à medida que a planta se devolve, visto que a fase inicial de desenvolvimento é representada por uma função exponencial positiva. Logo, quanto maior a TCR, menor o desenvolvimento.

Para as densidades, a TCR foi maior na de 0,75 m entre plantas, seguida da de 0,25 e 0,50, com pequenas variações. Já para as doses de nitrogênio, a de 40 kg ha⁻¹ apresentou maiores valores de TCR, seguida da de 80 e 120 kg ha⁻¹ de N (Figura 2.6).

As taxas médias para a densidade de 0,25 m entre touceiras foram: 0,092 g g⁻¹ dia⁻¹ na fase inicial; 0,070 g g⁻¹ dia⁻¹ na fase de desenvolvimento lento; 0,048 g g⁻¹ dia⁻¹ na fase de máximo desenvolvimento, e 0,039 g g⁻¹ dia⁻¹ na fase de maturação. Para a densidade de 0,50 m foram observadas as seguintes taxas médias em cada uma das quatro fases de desenvolvimento: 0,089; 0,068; 0,047 e 0,038 g g⁻¹ dia⁻¹. Já na densidade de 0,75 m, obtiveram-se as seguintes taxas: 0,100 g g⁻¹ dia⁻¹ no desenvolvimento inicial, 0,075 g g⁻¹ dia⁻¹ no desenvolvimento lento, 0,051 g g⁻¹ dia⁻¹ no período de máximo desenvolvimento e 0,040 g g⁻¹ dia⁻¹ na maturação.

No decorrer do desenvolvimento da cana-de-açúcar, em relação às doses de nitrogênio, foi constatada uma variação um pouco maior nas duas primeiras fases de desenvolvimento para a dose de 120 kg ha⁻¹ de N, porém igualando-se as demais na terceira e quarta fases. A dose de 40 kg ha⁻¹ apresentou as seguintes taxas médias de crescimento no decorrer as quatro fases de desenvolvimento: 0,096; 0,073; 0,050 e 0,040 g g⁻¹ dia⁻¹. Na dose de 80 kg ha⁻¹ de N, as TCR médias foram de 0,095; 0,072; 0,050 e 0,040 g g⁻¹ dia⁻¹, para cada fase de desenvolvimento da cultura, e na dose de 120 kg ha⁻¹ de N as taxas médias foram de 0,090 g g⁻¹ dia⁻¹ na fase inicial; 0,068 g g⁻¹ dia⁻¹ na fase de desenvolvimento lento; 0,047 g g⁻¹ dia⁻¹ durante a fase de máximo desenvolvimento e 0,038 g g⁻¹ dia⁻¹ no período de maturação.

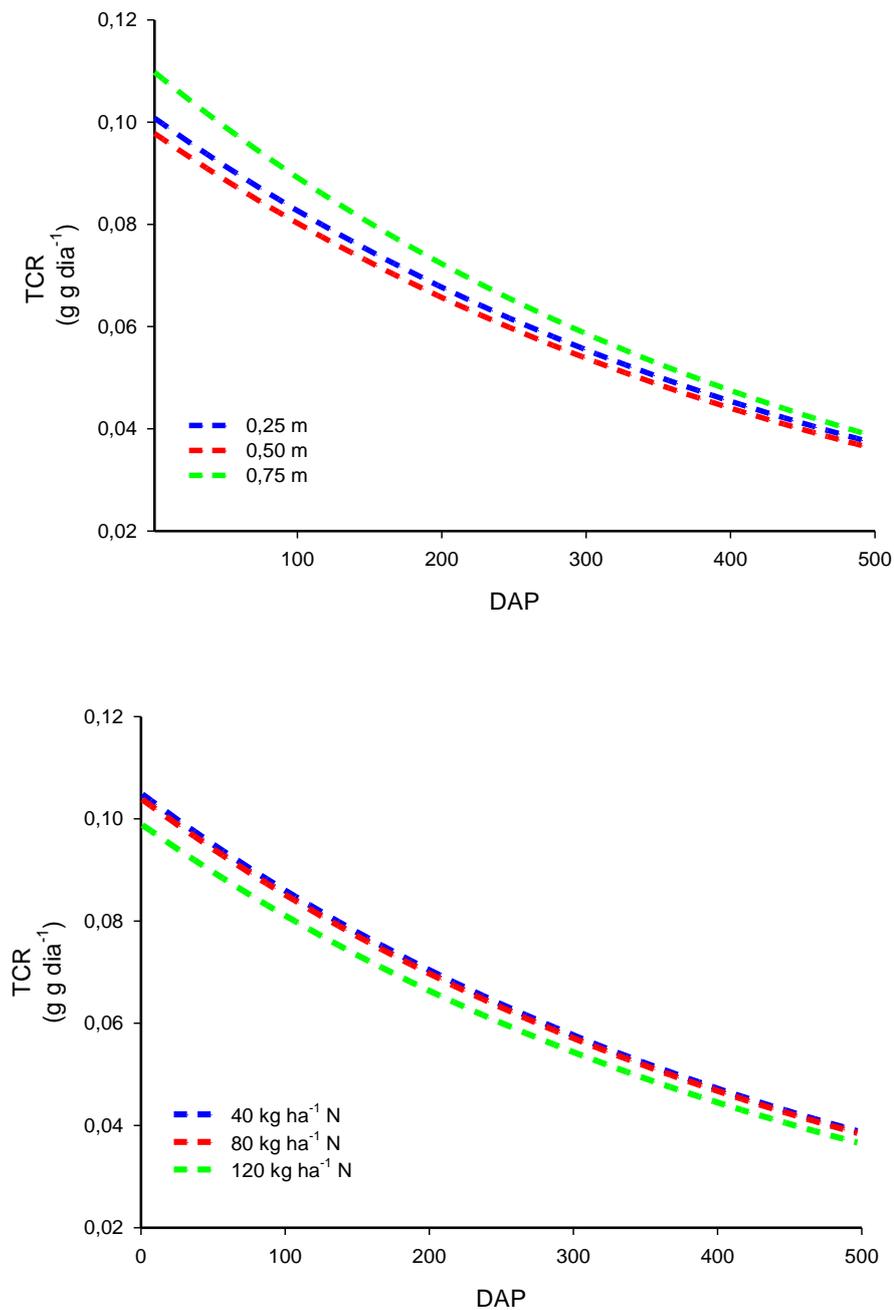


Figura 2.8 - Taxa de Crescimento Relativo (TCR) da parte aérea no ciclo da cana-planta em função da densidade de plantio (metros entre plantas) e da dose de nitrogênio. Ajuste da função exponencial. Santa Cruz das Palmeiras/SP. Período de janeiro 2014 a julho 2015

Franco (2008) encontrou valores máximos de TCR aos 30 DAP, início de suas amostragens, para todos os tratamentos, nos dois ambientes estudados, sendo que as doses de 80 e 120 kg ha⁻¹ de N apresentaram maiores valores, em torno de 0,19 g g⁻¹ dia⁻¹. Ramesh (2000) avaliando estresse hídrico na cana-de-açúcar observou TCR máximas de 0,016 a 0,022 g g⁻¹ por dia.

Aquino e Medina (2014), estudando índices biométricos da cana-de-açúcar em diferentes quantidades de palhada, encontraram valores máximos para taxa de crescimento relativo no início de suas avaliações, aos 180 DAP, em todos os tratamentos, tendo variado entre 0,026 e 0,031 g g⁻¹ dia⁻¹. As autoras também observaram que, à medida que as plantas cresceram, a TCR diminui com tendência à estagnação aos 350 DAP, durante a fase de maturação.

Atribui-se este fato ao aumento da competição intraespecífica pelos principais fatores ambientais responsáveis pelo crescimento vegetal, entre eles: luz, nutrientes e difusão de CO₂ dentro do estande (GAVA et al., 2001; SANTOS et al., 2009).

Oliveira et al. (2005) analisando as cultivares RB 72 454, RB 85 5113 e RB 85 5536, no ciclo da cana-planta no Paraná, encontrando TCR máxima em torno de 0,018 g g⁻¹ dia⁻¹, próximo dos 140 dias após o plantio, com posterior decréscimo até a colheita. Santos et al. (2009) obtiveram TCR média de 0,027 e 0,043 g g⁻¹ dia⁻¹, aos 150 DAP, na fase de maior crescimento, avaliando níveis e fontes de fósforo em cana-de-açúcar.

2.4. Conclusões

1. O acúmulo de massa seca da parte aérea da cana-planta apresentou forma sigmoideal de crescimento, independente das densidades e das doses de nitrogênio utilizadas no plantio;
2. A fase de máximo acúmulo de massa seca foi observada quando a evapotranspiração real da cultura assemelhou-se a evapotranspiração potencial, ocorrendo neste estudo entre os meses de novembro a maio;

3. A taxa de crescimento da cultura (TCC) foi representada por uma função gaussiana, sendo crescente até o ponto de máximo acúmulo e decrescente deste ponto até a colheita;

4. A taxa de crescimento máxima da cultura (TCC) foi observada durante o período de maior acúmulo de massa seca e maior evapotranspiração real da cultura, decrescendo na entrada da fase de maturação até a colheita;

5. As densidades de plantio influenciaram mais positivamente o acúmulo de massa seca e a taxa de crescimento da cultura (TCC) do que as doses de nitrogênio;

6. A taxa de crescimento relativo (TCR) máxima foi observada no início do desenvolvimento da cultura, diminuindo-se exponencialmente ao longo de seu ciclo, diluindo-se a medida em que se aumenta o acúmulo de massa seca.

Referências

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

ALLEONI, L. R. F.; BEAUCLAIR, E. G. F. Cana-de-açúcar cultivada após milho e amendoim, com diferentes doses de adubo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 52, n. 3, p. 409-415, 1995.

AQUINO, G. S.; MEDINA, C. C. Produtividade e índices biométricos e fisiológicos de cana-de-açúcar cultivada sob diferentes quantidades de palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 49, n. 3, p. 173-180, 2014.

BENICASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: FUNEP, 2004. 42 p.

BRANDELERO, E.; PEIXOTO, C. P.; SANTOS, J. M. B.; MORAES, J. C. C.; PEIXOTO, M. F. S. P.; SILVA, V. Índices fisiológicos e rendimento de cultivares de soja no Recôncavo Baiano. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 14, p. 77-88, 2002.

BRANDELERO, E. M. **Índices fisiológicos e rendimento de cultivares de soja no município de Cruz das Almas – BA**. 2001. 63 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola de Agronomia, Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas, 2001.

CÂMARA, G. M. S. Ecofisiologia da cultura da cana-de-açúcar. In: _____. **Produção da cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1993. p. 31-64.

CASAGRANDE, A. A. **Tópicos de morfologia e fisiologia de cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 157 p.

CASTRO, P. R. C.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Fisiologia da cana-de-açúcar. In: MENDONÇA, A. C. **Cigarrinhas da cana-de-açúcar: controle biológico**. Maceió: Insecta, 2005. p. 3-48.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFMSG. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação**. Viçosa, MG, 1999. 359 p.

DIOLA, V.; SANTOS, F. Fisiologia. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. **Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e álcool: tecnologias e perspectivas**. Viçosa: Editora UFV, 2010. p. 25-49.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p. (FAO Estudos de Irrigação e Drenagem, 33).

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. ampl. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353 p.

ESPIRONELLO, A.; van RAIJ, B.; PENATTI, C. P.; CANTARELLA, H.; MORELLI, J. L.; ORLANDO FILHO, J.; LANDELL, M. G. A.; ROSSETTO, R. Cana-de-açúcar. In: van RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. rev. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. p. 237-239.

FERREIRA, D. F. **Manual do sistema SISVAR para análises estatísticas**. Lavras: UFLA, 2000. 69 p.

FRANCO, H. C. J. **Eficiência agrônômica da adubação nitrogenada de cana-planta**. 2008. 127 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 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, DF, v. 36, n. 11, p. 1347-1354, 2001.

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 Crop Research**, Amsterdam, v. 83, p. 125-138, 2003.

INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, p. 185-202, 2005.

KÖPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la Tierra**. México, DF: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478 p.

LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P.; FIGUEIREDO, P.; VASCONCELOS, A. C. M.; XAVIER, M. A.; BIDOIA, M. A. P.; PRADO, H.; SILVA, M. A.; DINARDO-MIRANDA, L. L.; SANTOS, A. S.; PERECIN, D.; ROSSETTO, R.; SILVA, D. N.; MARTINS, A. L. M.; GALLO, P. B.; KANTHACK, R. A. D.; CAVICHIOLI, J. C.; VEIGA FILHO, A. A.; ANJOS, I. A.; AZANIA, C. A. M.; PINTO, L. R.; SOUZA, L. C. **Variedades de cana-de-açúcar para o Centro-Sul do Brasil: 15^a. liberação do Programa Cana IAC (1959-2005)**. Campinas: IAC, 2005. 37 p. (Boletim Técnico, 197).

LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P.; FIGUEIREDO, P.; XAVIER, M. A.; VASCONCELOS, A. C. M.; BIDOIA, M. A.; SILVA, D. N.; ANJOS, I. A.; PRADO, H.; PINTO, L. R.; SOUZA, S. A. C. D.; SCARPARI, M. S.; ROSA JÚNIOR, V. E.; IRANDA, L. L. D.; AZANIA, C. A. M.; PERECIN, D.; ROSSETTO, R.; SILVA, M. A.; MARTINS, A. L. M.; GALLO, P.; KANTHACK, R. A. D.; CAVICHIOLI, J. C.; VEIGA FILHO, A. A.; MENDONÇA, J. R.; DIAS, F. L. F.; GARCIA, J. C. **Variedades de cana-de-açúcar para o Centro-Sul do Brasil: 16^a. liberação do Programa Cana IAC (1959-2007)**. Campinas: IAC, 2007. 37 p. (Boletim Técnico, 201).

LANDELL, M. G. A.; XAVIER, M. A.; GARCIA, J. C.; PRADO, H.; AZANIA, C. A. M.; SCARPARI, M. S.; ANJOS, I. A.; SILVA, D. N.; BIDOIA, M. A. P.; BRANCALIÃO, S. R.; ROSSETTO, R.; VITTI, A. C. Cana-de-açúcar. In: AGUIAR, A. T. E.; GONÇALVES, C.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; TUCCI, M. L. S.; CASTRO, C. E. F. **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. 7. ed. Campinas: IAC, 2014. p. 106-113. (Boletim, 200).

LEITE, J. M. **Acúmulo de fitomassa e de macronutrientes da cana-de-açúcar relacionadas ao uso de fontes de nitrogênio**. 2011. 90 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

LUCCHESI, A. A. Utilização prática da análise de crescimento vegetal. **Anais da ESALQ**, Piracicaba, v. 41, n. 1, p. 181-202, 1984.

MACHADO, E. C. Fisiologia de produção de cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. (Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 56-87.

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

MAGALHÃES, A. C. N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M. G. **Fisiologia vegetal**. 2. ed. São Paulo: Editoras EPU; EDUSP, 1985. v. 1, p. 331-350.

MARAFON, A. C. **Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar: uma introdução ao procedimento prático**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2012. 29 p. (Documentos, 168).

MONTEITH, J. L. Reassessment of maximum growth rates for C3 and C4 crops. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 14, p. 1-5, 1978.

NOGUEIRA, R. C.; PAIVA, R.; OLIVEIRA, L. M.; GAVILANES, M. L. Bases do crescimento e desenvolvimento vegetal. In: PAIVA, R.; OLIVEIRA, L. M. **Fisiologia e produção vegetal**. Lavras: Editora UFLA, 2006. p. 17-29.

OLIVEIRA, E. C. A. **Balço nutricional da cana-de-açúcar relacionado à adubação nitrogenada**. 2011. 213 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

OLIVEIRA, R. A. de; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. T.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; KOEHLER, H. S.; SILVA, D. K. T. da. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana-planta, no Estado do Paraná: taxas de crescimento. **Scientia Agraria**, Piracicaba, v.6, p. 85-89, 2005.

OTTO, R. **Desenvolvimento de raízes e produtividade de cana-de-açúcar relacionados à adubação nitrogenada**. 2007. 119 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

OTTO, R. **Desenvolvimento radicular e produtividade da cana-de-açúcar relacionados à mineralização do N do solo e à adubação nitrogenada**. 2012. 118 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

PEIXOTO, C. P.; PEIXOTO, M. F. S. P. Dinâmica do crescimento vegetal. In: CARVALHO, C. A. L et al. **Tópicos em ciências agrárias**. Cruz das Almas: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2009. p. 39-53.

PEREIRA, A. R.; MACHADO, E. C. **Análise quantitativa do crescimento de vegetais**. Campinas: IAC, 1987. 33 p. (Boletim Técnico, 114).

RAMESH, P. Effect of different levels of drought during the formative phase on growth parameters and its relationship with dry matter accumulation in sugarcane. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlin, v. 185, p. 83-89, 2000.

REIS, G. G.; MULLER, M. W. **Análise de crescimento de plantas: mensuração do crescimento**. Belém: EMBRAPA, CPATU, 1978. 35 p.

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, p. 133-137, 1998.

SANTOS, V. R.; MOURA FILHO, G.; ALBUQUERQUE, A. W.; COSTA, J. P. V.; SANTOS, C. G.; SANTOS, A. C. I. Crescimento e produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, p. 389-396, 2009.

SARTORI, R. H. **Eficiência do uso de nitrogênio e enxofre pela cana-de-açúcar (primeira e segunda rebrota) em sistema conservacionista (sem queima)**. 2010. 110 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

TERUEL, D. A.; BARBIERI, V.; FERRARO JUNIOR, L. A. Sugarcane leaf area index modeling under different soil water conditions. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 54, p. 39-44, 1997.

3. VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS, PRODUTIVIDADE E PARÂMETROS TECNOLÓGICOS DA CANA-PLANTA PROVENIENTE DE MUDAS PRÉ-BROTADAS RELACIONADOS COM A DENSIDADE DE PLANTIO E A ADUBAÇÃO NITROGENADA

Resumo

As plantas competem intra e interespecificamente pelos recursos do meio, podendo gerar prejuízos no crescimento, desenvolvimento e produção das culturas. Sabe-se que existe um espaçamento e densidade adequados para que a variedade atinja uma maior produção. O sistema de mudas pré-brotadas contribui para produção de mudas com alto padrão de fitossanidade, vigor e uniformidade de plantio. As variáveis biométricas determinantes na produtividade da cana-de-açúcar são o número, o diâmetro, a estatura e a densidade dos colmos. As maiores limitações à produtividade em cana-de-açúcar não se relacionam com a radiação solar, a temperatura e a disponibilidade hídrica, mas sim a adequada nutrição da planta, com destaque para o nitrogênio. Objetivou-se estudar as variáveis biométricas relacionadas à produção, a produtividade de colmos, os atributos tecnológicos e o rendimento de açúcar da cana-planta em relação à densidade de plantio e a adubação nitrogenada. Para se ajustar o altura e diâmetro do colmo de acordo com os fatores estudados foi utilizada uma função logística e para se ajustar a taxas de crescimento utilizou-se uma função gaussiana. A densidade de 0,75 m foi a que apresentou o maior número de colmos, 19 colmos por touceira. Não foi observada influência dos tratamentos na altura dos colmos. O diâmetro do colmo apresentou diferença significativa apenas para as densidades. Não foi observada diferença significativa dos tratamentos sob a produtividade, sendo média de 200 toneladas de colmo por hectare. Conclui-se que apenas a densidade de plantio influi no comportamento do diâmetro do colmo e no número de colmos por metro. A produtividade e os atributos tecnológicos não foram influenciados pela densidade de plantio e nem pela dose de nitrogênio.

Palavras-chave: Produção. Arranjo espacial. Dose de nitrogênio. *Saccharum officinarum* L.

Abstract

Plants compete intra and interspecifically by resources from the environment and can lead to losses in growth, development and crop production. It is known that there is an adequate spacing and density for the variety achieve greater production. The system of pre-sprouted buds contributes to the production of seedlings with high standard plant health, vigor and uniformity of planting. The determinant biometric variables for sugarcane productivity are the number, diameter, height and density of stalks. The major limitation to sugarcane productivity is not related to solar radiation, temperature and water availability, but the proper plant nutrition, especially nitrogen. The objective was to study the biometric variables related to production, the productivity of stalks, technological attributes and the sugar productivity of cane plant as affected by the planting density and nitrogen fertilization. To adjust the height and diameter of the stalk in accordance with the factors studied a logistic function was used to fit and growth rates used a Gaussian function. The density of

0.75 m was the one with the highest number of stalks, 19 stalks per plant. There was no influence of treatments on stalk height. The stem diameter showed a significant difference only for densities. There was no significant difference between treatments in productivity, with an average of 200 tons of stalk per hectare. Only the planting density influenced the behavior of stalk diameter and number of stalks per meter. The sugarcane yield and also the technological parameters were not influenced by planting density and nor by nitrogen rate.

Keywords: Yield. Spatial arrangement. Nitrogen rates. *Saccharum officinarum* L.

3.1. Introdução

As plantas podem competir entre si (intraespecífica) e com outras plantas (interespecíficas) pelos recursos do meio (luz, água, nutrientes, CO₂, etc.). O tempo da competição determina prejuízos no crescimento, no desenvolvimento e, conseqüentemente, na produção das culturas (ZANINI; SANTOS, 2004).

Analisando uma série de trabalhos, Dillewijn (1952) conclui que existe um espaçamento ótimo para cada variedade no qual esta atinge o máximo de produção.

A produtividade das culturas está relacionada principalmente com a quantidade de radiação interceptada e absorvida pelo dossel foliar. Dentre todos os parâmetros de densidade de cobertura vegetal, o índice de área foliar (IAF) é o mais usual e importante. A prática de manejo mais relevante para o aumento do IAF, e conseqüentemente da interceptação e absorção de radiação é aumentar a densidade populacional, que em culturas cultivadas em fileiras é dada pela combinação do espaçamento entre linhas com o número de plantas por linha (BERNARDES, 1987; BERNARDES; BELARDO, 2015).

Na operação de plantio manual de cana-de-açúcar utiliza-se uma quantidade de mudas que varia entre 10 e 15 toneladas por hectare. No plantio é comum utilizar de 12 a 15 gemas m⁻¹ de sulco (COLETTI, 1987), como quantidade ideal para a constituição de um stand uniforme. Porém, na prática, com a intenção de reduzir os riscos de falhas, utiliza-se, de 15 a 21 gemas m⁻¹, aumentando o volume de muda utilizada (LANDELL et al., 2012).

O sistema de Mudas Pré-Brotadas (MPB) poderá contribuir para uma rápida produção de mudas, associando um alto padrão de fitossanidade, vigor e uniformidade de plantio, aumentando a eficiência e os ganhos econômicos na implantação de viveiros, replantio de áreas comerciais e possivelmente renovação e expansão de áreas de cana-de-açúcar. Com tecnologia do MPB muda-se a forma de

produção de mudas. No lugar dos colmos como sementes, entram mudas pré-brotadas, produzidas a partir de minirrebolos, onde localizam-se as gemas (LANDELL et al., 2012).

As variáveis biométricas determinantes na produtividade na cana-de-açúcar são o diâmetro e a estatura dos colmos, o número de colmos por área e a densidade do colmo (LANDELL; SILVA, 2005; MARAFON, 2012).

Trivelin (2000) relatou que as maiores limitações à produtividade na cana-de-açúcar não se relacionam com a radiação solar, a temperatura e a disponibilidade hídrica, mas sim a disponibilidade e a adequada quantidade de nutrientes minerais no solo, com destaque para o nitrogênio.

O nitrogênio é um dos nutrientes absorvidos em maior quantidade pela cana-de-açúcar devido sua alta demanda pela plantas, pois possui papel estrutural, sendo base para o metabolismo de aminoácidos e proteínas, clorofilas, e atuando em diversos processos bioquímicos dentro das plantas. A cana é uma *Poaceae*, de rota fotossintética *C4*, altamente eficiente na fixação de carbono e no uso do nitrogênio (MALAVOLTA, 2006; VITTI et al., 2010; HAWKESFORD et al., 2012).

Apesar de altamente requerido pela cana-de-açúcar, a resposta da cana-planta a adubação nitrogenada é baixa e não esclarecida, sendo necessários mais estudos para uma maior compreensão (CARNAÚBA, 1990; ROSSETTO; DIAS, 2005).

Cantarella e Raij (1985) encontraram menos de 40% de resposta de 81 experimentos realizados com adubação nitrogenada de plantio em cana. Azeredo et al. (1986) encontraram valores menores ainda, onde 26 de 135 experimentos analisados foram responsivos para adubação nitrogenada.

Franco (2008) questiona qual o motivo de ainda se realizar adubações nitrogenadas no plantio da cana-planta, mesmo sendo observadas pouca resposta ao fornecimento de N. O autor relata que, na prática, observa-se que canaviais que receberam adubação nitrogenada no plantio apresentam soqueiras mais produtivas.

Franco (2008) ainda relata que as doses de N recomendadas no plantio da cana-planta estão abaixo das exigências da cultura, e que a imobilização microbiana e as perdas de N no solo reduzem a disponibilidade do nutriente para as culturas, ainda mais no atual sistema de manutenção de palhada (ROSSETTO et al., 2008), limitando a cana-de-açúcar de expressar seu potencial produtivo.

Sendo assim, objetivou-se com este trabalho estudar as variáveis biométricas relacionadas à produção, a produtividade de colmos, os atributos tecnológicos e o rendimento de açúcar da cana-planta em relação à densidade de plantio e a adubação nitrogenada.

3.2. Material e Métodos

3.2.1. Caracterização da área experimental, do clima, do solo e da planta

O experimento foi implantado e conduzido no município de Santa Cruz das Palmeiras/SP, em área comercial de cultivo, nas Coordenadas Planas UTM 23 k 260761,760 m E. x 7581914,670 m S, numa altitude de 621 m. O clima corresponde ao tipo Cwa (KÖPPEN, 1948). O solo da área era um Latossolo Vermelho Distrófico Típico (LVd) de textura média (EMBRAPA, 2013). A cultivar utilizada foi a IACSP 95-5000 (LANDELL et al., 2007).

3.2.2. Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, num esquema fatorial 3x3, com três repetições. O primeiro fator foi a densidade de plantas no sulco, com três níveis, 0,25; 0,50 e 0,75 m entre plantas, sendo essas densidades na linha de plantio correspondentes a 26.667, 13.333 e 8.889 mudas por hectare, respectivamente. O segundo fator foi a dose de nitrogênio, também com três níveis 40, 80 e 120 kg ha⁻¹, aplicados na forma de N-Ureia. Da combinação entre os fatores obteve-se nove tratamentos, repetidos em três blocos, num total de 27 parcelas experimentais.

3.2.3. Instalação e condução

A área onde o ensaio foi instalado já encontrava-se ocupada com a cultura da cana-de-açúcar, com corte mecanizado. Em setembro de 2013 ocorreu a colheita, de forma manual, sendo este o quarto corte. Quando estabelecida a rebrota realizou-se a dessecação utilizando o herbicida *Glifosato Potássico* (ZAPP QI, Syngenta) na dosagem de 2,0 L ha⁻¹.

Após a dessecação executou-se as operações de preparo do solo, sendo estas uma gradagem pesada (aradora), seguida de subsolagem e finalizou-se o preparo do solo uma gradagem leve (niveladora).

A adubação mineral foi realizada com base na análise química e física do solo (Tabela 3.1) e recomendada de acordo com o Boletim 100 (ESPIRONELO et al., 1996), trabalhando-se com uma produtividade esperada acima de 150 t cana ha⁻¹. As recomendações de fósforo e potássio foram de 140 kg e 160 kg ha⁻¹ do nutriente, respectivamente. A adubação foi toda realizada no plantio, sendo aplicada no fundo do sulco. O fertilizante utilizado foi o formulado 05-25-25, na dosagem de 600 kg ha⁻¹. Para completar as doses de nitrogênio, complementando o que foi fornecido pelo adubo formulado, foi aplicado N-ureia (45% N).

Após adubação realizou-se a aplicação de inseticidas *Tiametoxam* + *Lambda-Cialotrina* (Engeo Pleno, Syngenta) e cobertura do sulco. O plantio foi realizado de maneira manual. As mudas foram produzidas e doadas pela Usina Abengoa Bioenergy, Usina São Luiz, de Pirassununga/SP. O plantio das mudas foi manual, sendo que o sulco foi batido, fechado e abertas covetas com o auxílio de enxadões.

Tabela 3.1 - Caracterização química e física de amostra de solo em duas profundidades anterior a instalação do experimento. Santa Cruz das Palmeiras/SP. Período de janeiro 2014 a julho 2015.

Camada cm	pH H ₂ O	P — mg dm ⁻³ —	K	Ca	Mg	Al	H + Al	M.O. dag kg ⁻³	Zn	Fe	Mn	Cu	B
						cmolc dm ⁻³					mg dm ⁻³		
0 – 20	6,0	12,90	50	3,4	1,0	0,0	2,8	2,7	2,8	35,2	69,6	6,5	0,2
20 – 40	6,3	1,20	19	1,9	0,5	0,0	1,7	1,6	0,5	39,5	33,0	7,6	0,2

Camada cm	S.B. cmolc dm ⁻³	t	T	V	m	H + Al/T	Ca/T	Mg/T	K/T	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
						%						
0 – 20	4,5	4,6	7,3	61,8	0,7	38,2	46,5	13,5	1,8	3,4	26,2	7,6
20 – 40	2,4	2,4	4,1	58,9	0,0	41,1	46,3	11,3	1,2	4,1	37,6	9,2

Camada cm	Areia	Silte	Argila	Classificação	Classe Textural
	g kg ⁻¹				
0 – 20	290	160	550	Argiloso	3
20 - 40	260	120	620	Muito Argiloso	3

pH em água (CFSEMG, 1999); P, K, Zn, Fe, Mn, Cu, método Mehlich-1 (CFSEMG, 1999); Ca, Mg, Al, método KCl 1 mol/L (CFSEMG, 1999); M.O. método Walkley e Black (CFSEMG, 1999); B método Água quente (CFSEMG, 1999).

3.2.4. Variáveis biométricas

As avaliações foram realizadas aos 48, 82, 145, 278, 356 e 497 dias após o plantio (DAP). Para análise dos padrões de crescimento da cana-de-açúcar foram realizadas medições de variáveis biométricas, de biomassa e de rendimento da cana-de-açúcar, de acordo Marafon (2012) e Martins e Landell (1995). Foi contabilizado o número de colmos em 10 metros de linha e foram colhidos 10 colmos por parcela, aleatoriamente, medindo-se o diâmetro e a estatura dos colmos.

Para se estimar o acúmulo de o comportamento das variáveis altura e diâmetro do colmo da cana-de-açúcar de em relação a densidade e a dose de nitrogênio foi utilizada a função logística,

$$y = \frac{a}{1 + \text{Exp}\left(\frac{x-x_0}{b}\right)}$$

onde y corresponde ao crescimento (cm); a ao crescimento máximo da variável (cm); x ao dias após o plantio; x_0 ao valor de x no ponto médio da curva sigmoide e b a fator de ajuste da curva.

Para se ajustar a taxa de crescimento dos colmos e do diâmetro em relação a densidade e a dose de nitrogênio utilizou-se a função gaussiana,

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

onde y taxa de crescimento da variável (cm dia⁻¹); a taxa de crescimento máxima da variável (cm dia⁻¹); x ao dias após o plantio; x_0 ponto de inflexão da curva de gauss e b um parâmetro de ajuste.

Foram obtidas três equações de acordo com a densidade e três equações de acordo com a dose de N, que descreveram o comportamento do crescimento e do diâmetro dos colmos da cana-planta, no tempo.

3.2.5. Colheita e avaliação da produção

A produtividade da cana-planta foi calculada a campo, por biometria, sendo a colheita realizada com corte manual, sem despalha a fogo, nos dias 06 e 07 de junho de 2015. As demais linhas foram colhidas mecanicamente, sem pesagem.

Para determinação do momento da colheita, analisou-se o Índice de Maturação da cana-de-açúcar, quando constata-se uma maior concentração de açúcares nos colmos, seguindo a metodologia de Marafon (2012).

Aleatoriamente, colheu-se 2 metros de linha, sendo duas linhas por parcela, separando-se o palmito e material morto e pesando apenas os colmos. Com massa dos colmos nos quatro metros de linha foi calculada a produção, em toneladas de colmo por hectare (TCH), considerando 6.666,67 metros lineares de cana-de-açúcar por hectare (1,5 metros de espaçamento entre linhas).

3.2.6. Análises Tecnológicas

As análises tecnológicas foram realizadas na colheita, sendo colhidos e enviados para o laboratório 10 colmos por parcela, para determinação e cálculo dos atributos tecnológicos, sendo esses Brix, Pureza, Fibra, Pol da cana (Pc), Açúcares redutores (AR) e Açúcar total recuperável (ATR), de acordo com Fernandes (2003).

3.2.7. Balanço hídrico climatológico

Para a elaboração do balanço hídrico e climatológico dos ciclos de 2013/2014 e 2014/2015 foram utilizados parâmetros meteorológicos (precipitação, temperatura e evapotranspiração) coletados em estação meteorológica automática da FZEA/USP em Pirassununga/SP.

O balanço foi obtido por meio de planilha eletrônica (ROLIM; SENTELHAS; BARBIERI, 1998). Para os cálculos de evapotranspiração da cultura foram utilizados os índices de Kc desenvolvidos por Doorenbos e Kassan (1994), estimados para cada estágio de desenvolvimento da cultura. Seguindo citação feita por Otto (2007), substitui-se o Kc de 1,05 por 1,25, na fase de máximo crescimento da cana-de-açúcar, proposto por Allen et al. (1998) e confirmadas por Inman-Bamber e McGlinchey (2003).

3.2.8. Análise Estatística

As equações e os modelos de acúmulo de massa seca foram elaborados com o software SigmaPlot. Como critério de 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 ($p < 0,10$) pelo teste de t, bem como os modelos que melhor representaram o crescimento (OLIVEIRA, 2011).

Os valores quantificados para as variáveis estudadas foram submetidos à análise de variância utilizando o teste F, ao nível de 95% de confiança. Posteriormente, para as causas de variação significativas, foi aplicado o teste de comparação de médias de Tukey ($p < 0,05$). As análises estatísticas foram realizadas pelo software Sisvar (FERREIRA, 2000).

3.3. Resultados e Discussão

3.3.1. Balanço Hídrico Climatológico no ciclo da cana-planta

O balanço hídrico climatológico foi discutido anteriormente, no capítulo 2.

3.3.2. Variáveis biométricas

Segundo Landell e Silva (1995), a produtividade da cana-de-açúcar pode ser estimada utilizando-se parâmetros biométricos, considerando-se como componentes da produtividade o diâmetro e o comprimento dos colmos, o número de colmos por área, associado à capacidade de perfilhamento, e a densidade do colmo. Todos esses componentes são caracteres genéticos, porém, sujeitos à influência ambiental (SKINNER, 1967).

A análise biométrica consiste em um método de avaliar o desenvolvimento vegetativo da cultura, destacando-se como importante ferramenta na comparação de variedades, em processos de seleção e no manejo varietal.

O número de colmos colhidos por unidade de área é um dos componentes que mais afeta a produtividade de cana (MATHERNE; IRVINE, 1978¹ apud MACHADO, 1987).

¹ MATHERNE, R.J.; IRVINE, J.E. The influence of row spacing on sugarcane stalk population, content and cane yield. **Proceedings of the American Society of Sugar Cane Technologist**, v.7, p.96-100, 1978.

Analisando-se o número de colmos por touceira no momento da colheita, observou-se resposta significativa tanto para as densidades de plantio, quanto para as doses de nitrogênio estudadas (Tabela 3.2). A densidade de 0,75 m entre touceiras foi a que apresentou o maior número de colmos, 19 colmos por touceira, seguida pela de 0,50 m, com 10 colmos, e da de 0,25 m, com 07 colmos. Para o N, observou-se 13 colmos por touceira na dose de 80 kg ha⁻¹, seguida da dose de 120 kg ha⁻¹ de N com 12 colmos e da dose de 40 kg ha⁻¹ de N com 11 colmos.

Quando analisado o número de colmos por metro, somente a densidade de plantio passou a ser significativa, com 27, 25 e 21 colmos m⁻¹, para os respectivos espaçamentos na linha de 0,25, 0,50 e 0,75 m.

Tabela 3.2 – Número de colmos por touceira e por metro na colheita da cana-planta em função da densidade de plantio e da dose de nitrogênio. Santa Cruz das Palmeiras/SP. Período de janeiro 2014 a julho 2015

Colmo por touceira				
Doses de N (kg ha⁻¹)	Densidade (m entre plantas)			Média
	0,25	0,50	0,75	
	Cm			
40	06 Ac	09 Ab	18 Ba	11 b
80	08 Ac	11 Ab	21 Aa	13 a
120	06 Ac	11 Ab	19 ABa	12 ab
Média	07 C	10 B	19 A	
Colmo por metro				
	Cm			
40	25 Aa	19 Aa	24 Aa	21 a
80	31 Aa	22 Ab	23 Ab	24 a
120	26 Aa	22 Aa	27 Aa	23 a
Média	27 A	21 B	25 AB	

Médias seguidas de uma mesma letra indicam que não houve diferença significativa, ao nível de 5% de significância pelo teste Tukey. Letras maiúsculas nas colunas e letras minúsculas nas linhas.

Com relação ao número de colmos por touceira, observou-se que quanto maior a densidade de plantio, menor o número de colmos por touceira, devido uma maior competição por recursos do meio para estabelecimento e desenvolvimento dos perfilhos. Sendo assim, quanto menor a densidade de plantio, menor será a competição entre perfilhos, sendo observado um maior perfilhamento por touceira, promovendo uma melhor ocupação da área e aproveitamento dos recursos disponíveis para o crescimento dos perfilhos.

Na densidade de 0,25 m entre plantas o número de colmos por metro no momento da colheita foi equivalente a 180.000 colmos por hectare ou 18 colmos m^{-2} , na densidade de 0,50 m a 140.000 colmos por hectare ou 14 colmos m^{-2} e na densidade de 0,75 m a 166.000 colmos por hectare ou 16,6 colmos m^{-2} . Para as doses de nitrogênio no plantio, a dose de 40 $kg\ ha^{-1}$ de N apresentou um total de 140.000 colmos por hectare ou 14 colmos m^{-2} ; na dose de 80 $kg\ ha^{-1}$ de N foram 160.000 colmos por hectare ou 16 colmos m^{-2} ; e na dose de 120 $kg\ ha^{-1}$ de N foram 153.000 colmos por hectare ou 15,3 colmos m^{-2} .

Machado et al. (1982), estudando duas variedades de cana-de-açúcar plantadas em sistema convencional, observaram grande produção de colmos nos estádios iniciais da cultura, com um máximo por volta de 125 DAP. Posteriormente, houve uma redução natural de, aproximadamente, 50% no número de colmos m^{-2} . A densidade final de colmos foi de 08 e 09 colmos m^{-2} , respectivamente, para as variedades CB 41-14 e NA 56-79. Os autores creditaram ao sombreamento e a competição entre as plantas as prováveis causas da mortalidade de perfilhos.

Machado (1987) cita que o número máximo de perfilhos e o número máximo de colmos que atingem a maturidade são influenciados pela variedade, radiação solar, temperatura, umidade, nutrientes e densidade de plantio. O padrão de perfilhamento pode ser dividido em três fases: uma primeira fase inicial, em que o perfilhamento é intenso e atinge um número máximo ao redor de três a cinco meses após o plantio; uma segunda fase intermediária onde há morte acentuada dos perfilhos, principalmente aqueles menos desenvolvidos; e uma terceira fase final onde o número de perfilhos permanece estável sobrevivendo até a colheita.

Esse padrão de perfilhamento parece ser característico para diversas variedades e independente das condições hídricas (GOSNELL, 1978; PLANALSUCAR, 1980² apud MACHADO, 1987). A mortalidade dos colmos coincide com o período em que o IAF aumenta rapidamente sugerindo que, além da competição por água e nutrientes, o sombreamento é um dos fatores mais importantes na determinação deste comportamento (DILLEWJIN, 1952; MACHADO et al, 1982).

² IAA/PLANALSUCAR. **Relatório Anual, 1980**. Piracicaba: MIC/Instituto do Açúcar e do Álcool. 1981, 116 p.

Durante a fase inicial de desenvolvimento, característica por um maior perfilhamento, a precipitação acumulada foi de 311 mm e déficit de 105,5 mm. Nas avaliações realizadas aos 145 e 278 DAP, fase de desenvolvimento lento da cultura, observou-se queda no perfilhamento e logo após esse período observou-se aumento do número de perfilhos aos 356 DAP até a colheita aos 496 DAP (Figura 3.1).

Esse novo perfilhamento foi identificado na fase de máximo desenvolvimento da cultura, de novembro a maio, período em que ocorreu aumento significativo da disponibilidade hídrica, da temperatura, da luminosidade e da evapotranspiração real da cultura. Com o desenvolvimento dos perfilhos e o aumento do IAF observou-se a diminuição do número de colmos, sendo o perfilhamento inibido pelo aumento do IAF, resultando numa queda no número de colmos no momento da colheita.

Bonnet et al. (2006) observaram que quando a temperatura do ar se eleva até em torno de 30 °C há aumento considerável de perfilhamento e crescimento em altura, favorecendo maior brotação e perfilhamento na cana-de-açúcar.

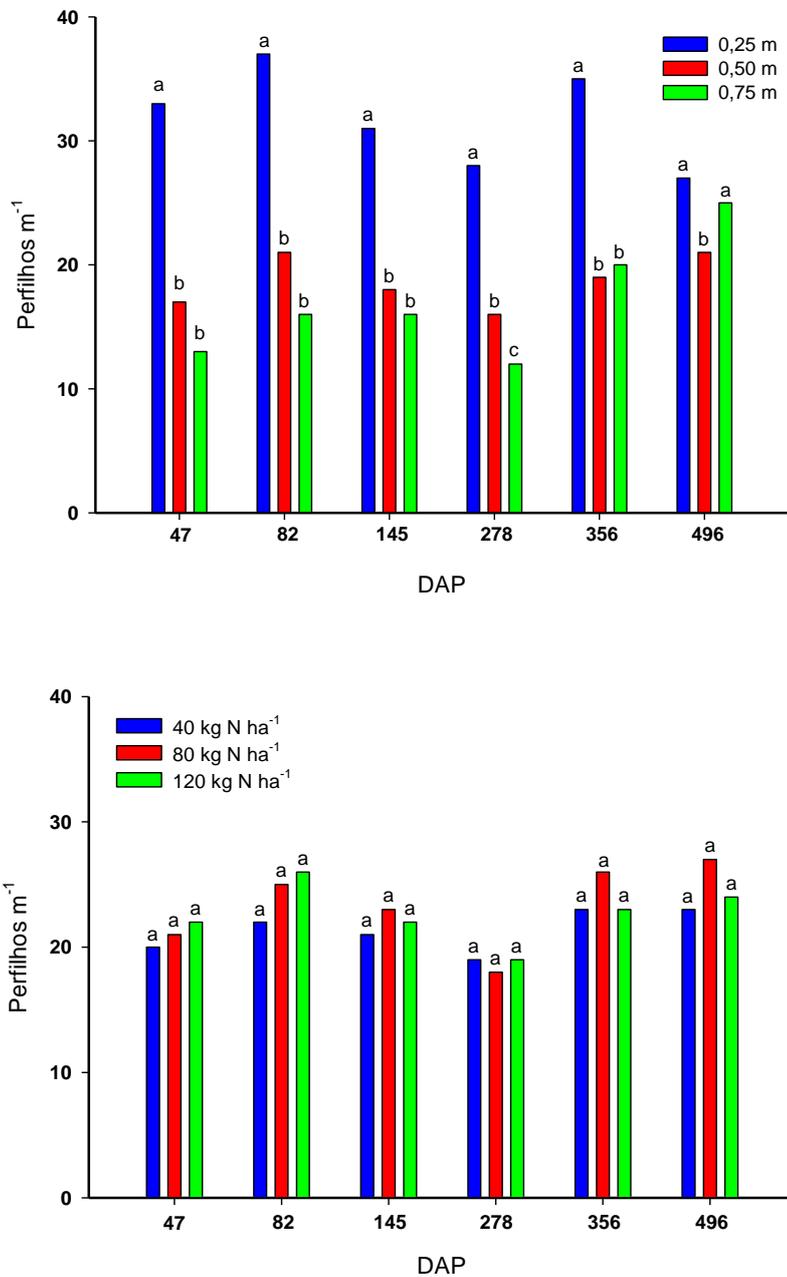


Figura 3.1 – Número de perfílos por metro em função da densidade de plantio (metros entre plantas) e da dose de nitrogênio. Médias seguidas de uma mesma letra indicam que não houve diferença significativa, ao nível de 5% de significância pelo teste Tukey. Santa Cruz das Palmeiras/SP. Período de janeiro 2014 a julho 2015

Oliveira et al. (2010) estudando o crescimento de cultivares sob irrigação plena, observaram que nas variedades de maturação precoce o perfilhamento máximo ocorreu aos 90 DAP e nas variedades de maturação média a tardia o

perfilhamento máximo ocorreu aos 60 DAP. Independente da diferença observada entre as variedades com relação ao perfilhamento máximo, que ocorreu entre 60 e 90 DAP constatou-se, em média, redução de 50% nos perfilhos até o momento da colheita. Os autores ainda observaram que os altos perfilhamentos de 30 e 29 plantas por metro linear, aos 60 DAP, nas variedades RB92579 e SP81-3250, respectivamente, não influenciaram na diminuição dos perfilhos.

O perfilhamento na cana-de-açúcar é crescente até o sexto mês após o plantio, onde a partir dessa fase observa-se uma redução no número de perfilhos, devido a competição por luz, por área, por água e por nutrientes refletindo numa diminuição e até paralisação do perfilhamento, além da morte dos perfilhos mais jovens (CASTRO, 2000).

Menezes (1979) e Roque (1979) observaram que, à medida que se reduziu o espaçamento, diminuiu o peso médio dos colmos, mas numa proporção menor que o aumento do número de colmos por área. Porém, na densidade de 15 gemas por metro de sulco observou-se menor redução e, conseqüentemente, esta proporcionou a maior produtividade.

Paranhos (1972) analisando espaçamentos e densidades de plantio concluiu que o aumento das densidades reflete em aumento do número de colmos por metro, e que este efeito foi linear e crescente até o terceiro corte, sendo quadrático do quarto ao quinto corte, onde a densidade de 09 gemas por metro passou a produzir menos, quando comparada a de 06 e 12 gemas por metro. Na cana-planta, as densidades de 06, 09 e 12 gemas por metro no sulco de plantio produziram 7,4; 7,9; e 8,5 colmos por metro no momento da colheita, respectivamente.

Dillewijn (1952) e Bernardes e Belardo (2015) indicaram que o número final de colmos industrializáveis que a cultura pode produzir, em certas condições, é fixado dentro de espaçamentos menores. Um espaçamento menor, entre linhas e/ou entre plantas, garante um maior número de plantas por hectare, resultando em maiores populações finais e maiores números de colmos. Essa prática compensa também a baixa incidência de luminosidade em um canavial mais adensado. Porém, vale ressaltar que o esforço para ultrapassar esses limites plantando quantidades excessivas de gemas é abortivo, e constitui desperdício.

Estudando a produção de gemas com relação à densidade de plantio em MPB, Xavier et al. (2014) analisaram variedades com diferentes perfilhamentos (IACSP 91-1099, RB86-7515 e IACSP 95-500), diferentes sistemas de plantio

(Rebolos e MPB) e densidades (15 e 30 gemas m^{-1} e 0,25; 0,50 e 0,75 m entre MPB), discutindo o conceito de densidade de plantio, em que, atualmente, utilizam-se um número maior de gemas para minimizar os efeitos da falta de qualidade do material de propagação. Observou-se não haver indicativos de que o aumento da densidade de gemas resultem num maior número de gemas viáveis por área, exceto para a cultivar IACSP 95-5000. Apresentam como espaçamento adequado, como uma maior produção de gemas por área e uma maior economia de recursos o de 0,75 m entre plantas.

A altura dos colmos durante o desenvolvimento da cana-planta apresentou-se em forma sigmoide, semelhante ao acúmulo de massa seca. Não foi observada influência das densidades, nem das doses de nitrogênio no plantio, no comportamento dessa variável biométrica durante o crescimento da cana-planta, nem no momento da colheita (Tabela 3.3).

Tabela 3.3 – Altura do colmo na colheita da cana-planta em função da densidade de plantio e da dose de nitrogênio. Santa Cruz das Palmeiras/SP. Período de janeiro 2014 a julho 2015

Doses de N (kg ha^{-1})	Altura do colmo			
	Densidade (m entre plantas)			Média
	0,25	0,50	0,75	
	Cm			
40	216 Aa	230 Aa	221 Aa	222 a
80	216 Aa	225 Aa	211 Aa	217 a
120	230 Aa	213 Aa	229 Aa	223 a
Média	221 A	223 A	220 A	

Médias seguidas de uma mesma letra indicam que não houve diferença significativa, ao nível de 5% de significância pelo teste Tukey. Letras maiúsculas nas colunas e letras minúsculas nas linhas.

Em relação às densidades, com o espaçamento de 0,25 m entre plantas no sulco de plantio, foi observado crescimento de 43,1 cm durante a fase primeira fase de desenvolvimento da cultura, com média de 0,46 $cm\ dia^{-1}$ e máximo de 0,26 $cm\ dia^{-1}$. Durante a fase de desenvolvimento lento da cultura foi observado crescimento de 71,34 cm, com média de 0,39 $cm\ dia^{-1}$ e máximo de 0,50 $cm\ dia^{-1}$, enquanto que na fase de desenvolvimento máximo o crescimento foi observado 90,77 cm, com crescimento médio e máximo de 0,50 $cm\ dia^{-1}$. No decorrer da fase de maturação foi encontrado crescimento de 15,47 cm, com média de 0,42 $cm\ dia^{-1}$ e máximo de 0,44 $cm\ dia^{-1}$.

Na densidade de 0,50 m, o crescimento do colmo acumulado e o médio, no decorrer de cada uma das quatro fases, foram de 45,42 cm e 0,48 cm dia⁻¹; 71,32 cm e 0,39 cm dia⁻¹; 91,60 cm e 0,51 cm dia⁻¹; e 16 cm e 0,43 cm dia⁻¹, respectivamente. Os crescimentos máximos observados em cada fase foram de 0,27; 0,50; 0,52; e 0,45 cm dia⁻¹.

Avaliando a densidade de 0,75 m, o crescimento do colmo na primeira fase foi de 39,16 cm com média de 0,41 cm dia⁻¹; na fase de desenvolvimento lento da cultura foi de 81,41 cm e 0,44 cm dia⁻¹; na fase de máximo desenvolvimento da cultura foi de 90,29 cm e 0,50 cm dia⁻¹ e na maturação de 12,25 cm e 0,33 cm dia⁻¹. Os crescimentos máximos observados em cada fase foram de 0,28; 0,56; 0,56 e 0,36 cm dia⁻¹.

Relativo às doses de nitrogênio aplicadas no plantio, para a dose de 40 kg ha⁻¹ de N foi observado na primeira fase crescimento de 41,40 cm, com média de 0,44 cm dia⁻¹ e máximo de 0,26 cm dia⁻¹ no decorrer da fase. No período de desenvolvimento lento, observou-se crescimento acumulado de 72,46 cm, com crescimento médio de 0,39 cm dia⁻¹ e máximo de 0,51 cm dia⁻¹. Na fase de máximo desenvolvimento da cultura o crescimento acumulado foi de 94,56 cm, com média de 0,52 cm dia⁻¹ e máximo de 0,54 cm dia⁻¹ e na fase de maturação da cultura, observou-se crescimento de 16,07 cm, médio de 0,43 cm dia⁻¹ e máximo de 0,46 cm dia⁻¹.

O crescimento acumulado e o médio na dose de 80 kg ha⁻¹ de N, para as quatro fases de desenvolvimento da cana-planta foi de 42,33 cm e 0,45 cm dia⁻¹; 79,22 cm e 0,43 cm dia⁻¹; 85,68 cm e 0,47 cm dia⁻¹; e 11,90 cm e 0,32 cm dia⁻¹. Os crescimentos máximos de cada fase foram 0,29; 0,53; 0,53; e 0,35 cm dia⁻¹.

Para a dose de 120 kg ha⁻¹ de N, foi observado o crescimento acumulado, o médio e o máximo de 44,61 cm; 0,47 e 0,27 cm dia⁻¹, respectivamente, para a primeira fase de desenvolvimento da cultura. Já na segunda fase da cultura foi de 72,40 cm, com média de 0,39 cm dia⁻¹ e máximo de 0,50 cm dia⁻¹. Na fase de máximo desenvolvimento o crescimento acumulado foi de 92,10 cm, com uma média de 0,51 cm dia⁻¹ e um máximo de 0,53 cm dia⁻¹, e na fase de maturação da cultura, observou-se um crescimento de 15,75 cm, médio de 0,43 cm dia⁻¹ e máximo de 0,45 cm dia⁻¹. Esses dados são observados nas Figuras 3.2 e 3.3.

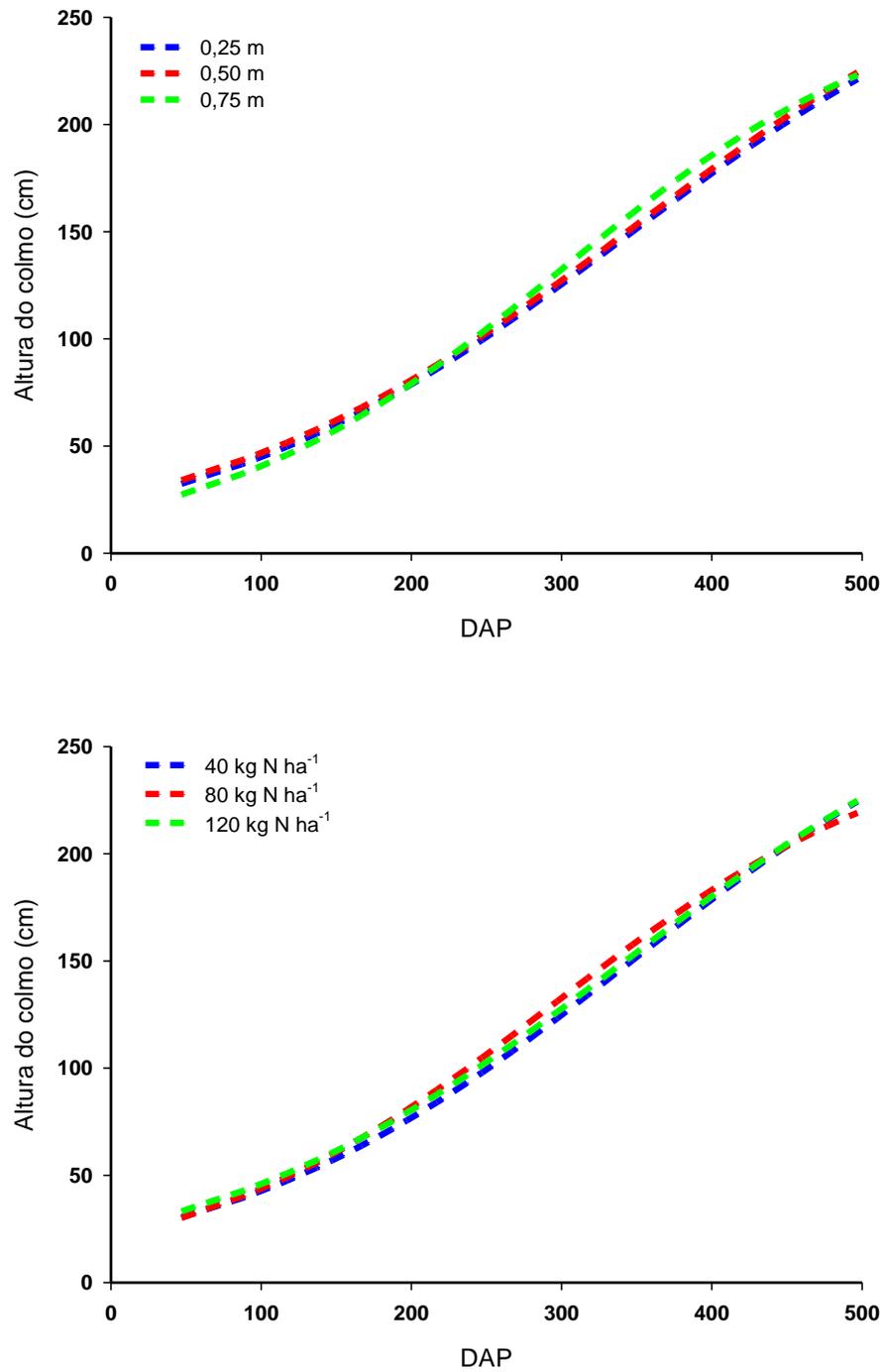


Figura 3.2 – Altura do colmo no ciclo da cana-planta em função da densidade de plantio (metros entre plantas) e da dose de nitrogênio. Ajuste da função logística. Santa Cruz das Palmeiras/SP. Período de janeiro 2014 a julho 2015

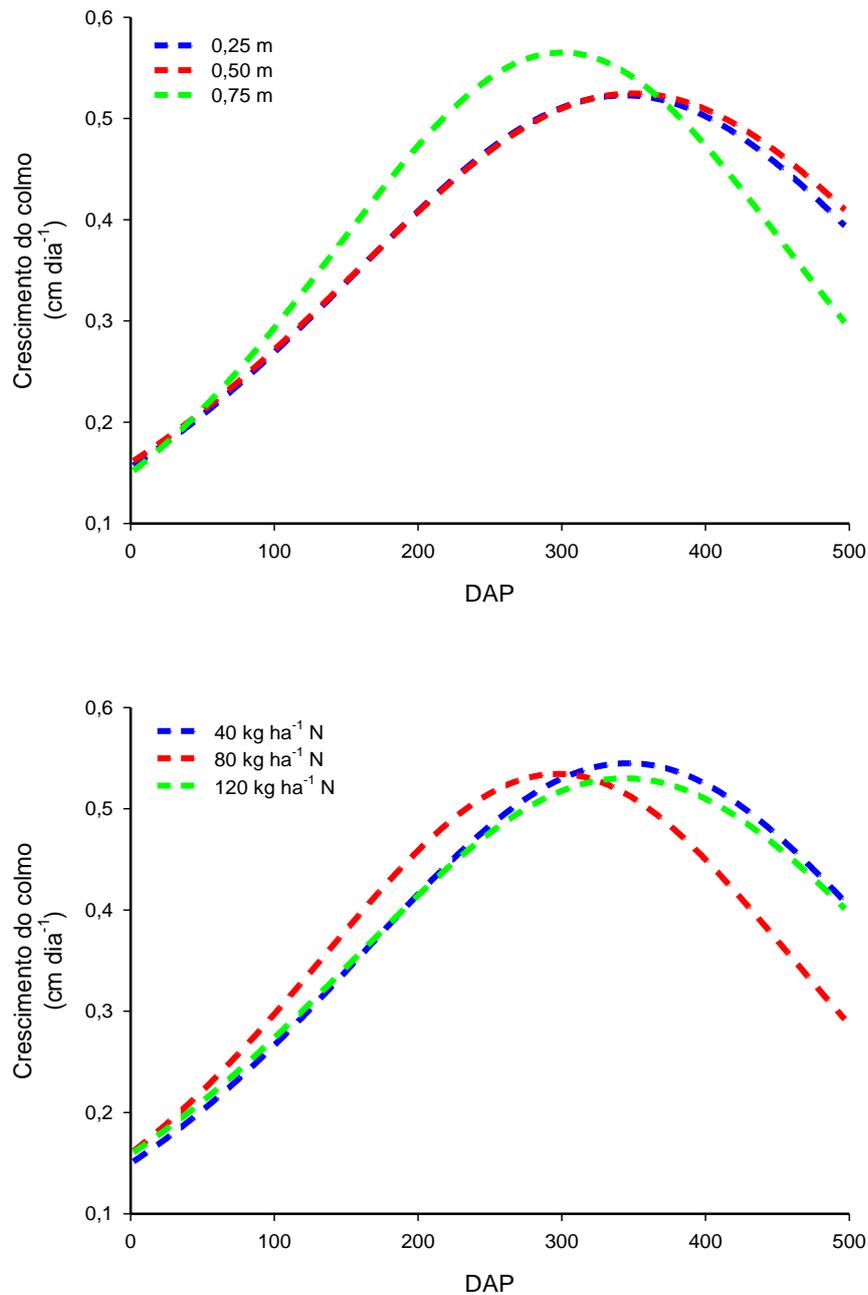


Figura 3.3 - Taxa de crescimento do colmo no ciclo da cana-planta em função da densidade de plantio (metros entre plantas) e da dose de nitrogênio. Ajuste da função gaussiana. Santa Cruz das Palmeiras/SP. Período de janeiro 2014 a julho 2015

Oliveira et al. (2010) também obtiveram ajuste sigmoidal para o crescimento dos colmos em cana-de-açúcar irrigada, observando três fases de desenvolvimento, sendo a primeira fase de crescimento ocorrida até os 60 DAP, com valores médios de 18 cm; a segunda fase de crescimento ocorrendo entre os 60 e 240 DAP, verificando-se diferenças entre as variedades e as maiores taxas de crescimento em

altura do colmo que ocorrendo entre 120 e 150 DAP, com valores médios de 2,2 cm dia⁻¹. No final da segunda fase de crescimento, correspondente às fases de desenvolvimento lento e de desenvolvimento máximo neste estudo, as variedades de maturação precoce obtiveram, respectivamente, as maiores alturas, com valores de 310 e 291 cm. Já as variedades de maturação média tardia apresentaram os maiores crescimentos em altura do colmo, com valores de 311, 307, 306 e 304 cm, respectivamente. Na terceira fase de crescimento, referente à maturação, os autores encontraram ganhos médios de 49 cm, o que representou 15% da altura total do colmo.

Carvalho et al. (2009) avaliando diferentes níveis de irrigação na Paraíba, observaram valores médios de 221 cm e ganhos de 30 cm em relação ao manejo não irrigado. Farias et al. (2008) encontraram valores finais ainda menores 153 cm e acréscimo de apenas 04 cm na altura do colmo em comparação com o cultivo de sequeiro.

Oliveira et al. (2010) concluíram em relação ao cultivo na região nordeste que as primeira e segunda fases de crescimento foram responsáveis por 85% da altura acumulada dos colmos entre variedades estudadas. Essas duas primeiras fases de crescimento ocorreram entre os meses de outubro a junho, período caracterizado por baixa precipitação, maior intensidade luminosa e temperaturas mais elevadas que, associadas à disponibilidade hídrica promovida pela irrigação plena, permitiram ganhos médios de 280 cm em altura do colmo.

Oliveira et al. (2004) em trabalho realizado na região centro sul do Brasil notaram, em variedades cultivadas em sequeiro, que os maiores ganhos em altura do colmo entre os meses de dezembro a março, com taxas médias de crescimento de 1,7 cm dia⁻¹, proporcionaram estaturas finais de colmo de 326 cm, valores superiores aos encontrados para as condições deste estudo.

O diâmetro dos colmos também ajustou-se a função logística (Figura 3.4), em forma sigmoide, sendo observado rápido crescimento durante a primeira fase de desenvolvimento da cultura, onde todos os tratamentos apresentaram taxa crescimento máximo por volta dos 60 DAP, seguido de um menor crescimento no decorrer da fase de desenvolvimento lento e crescimento quase inexpressivo durante as fases de máximo desenvolvimento e maturação da cana-de-açúcar.

No momento da colheita, observou-se diferença significativa apenas para as densidades, sendo que a menor densidade, 0,25 m entre plantas, apresentou um menor diâmetro de colmo (Tabela 3.4).

Tabela 3.4 – Diâmetro do colmo na colheita da cana-planta em função da densidade de plantio e da dose de nitrogênio. Santa Cruz das Palmeiras/SP. Período de janeiro 2014 a julho 2015

Doses de N (kg ha ⁻¹)	Diâmetro do colmo			
	Densidade (m entre plantas)			Média
	0,25	0,50	0,75	
	Cm			
40	2,72 Aa	3,09 Aa	3,09 Aa	2,97 a
80	2,95 Aa	3,07 Aa	3,12 Aa	3,05 a
120	2,74 Aa	3,08 Aa	2,81 Aa	2,88 a
Média	2,80 A	3,08 B	3,00 AB	

Médias seguidas de uma mesma letra indicam que não houve diferença significativa, ao nível de 5% de significância pelo teste Tukey. Letras maiúsculas nas colunas e letras minúsculas nas linhas.

Quanto às densidades de plantio, para a densidade de 0,25 m entre plantas, observou-se a taxa máxima de crescimento do diâmetro dos colmos aos 64 DAP, com 0,022 cm dia⁻¹. A primeira fase de desenvolvimento da cultura teve crescimento acumulado do diâmetro dos colmos em 2,087 cm, com um crescimento médio de 0,022 cm dia⁻¹. Durante a segunda fase de desenvolvimento o crescimento acumulado foi de 0,78 cm, com crescimento médio de 0,004 cm dia⁻¹. Na primeira fase de crescimento da cultura, com duração de 95 dias, o crescimento do diâmetro representou 72,7 % do crescimento total do diâmetro.

Na densidade de 0,50 m entre plantas a taxa máxima de crescimento do diâmetro dos colmos foi de 0,036 cm dia⁻¹, aos 61 DAP. No decorrer da primeira fase o crescimento acumulado foi de 2,514 cm e o médio de 0,026 cm dia⁻¹, correspondendo a 84% do crescimento total. Na segunda fase de desenvolvimento o crescimento acumulado foi de 0,49 cm e o médio de 0,002 cm dia⁻¹.

A taxa de crescimento máxima na densidade de 0,75 m foi observada aos 61 DAP, correspondente a 0,025 cm dia⁻¹. Durante a fase inicial de desenvolvimento, o crescimento acumulado do diâmetro foi de 2,290 cm e a taxa média foi de 0,024 cm dia⁻¹, representando 76% do crescimento total acumulado. Na segunda fase, o crescimento acumulado foi de 0,723 cm e o médio de 0,004 cm dia⁻¹.

Para as doses de nitrogênio, na dose de 40 kg ha⁻¹ de N, foi observada taxa máxima de crescimento do diâmetro de 0,018 cm dia⁻¹, aos 61 DAP. Na primeira fase de desenvolvimento da cultura, o crescimento absoluto foi de 2,072 cm e o médio foi de 0,022 cm dia⁻¹. Durante a segunda fase de desenvolvimento o crescimento acumulado foi de 0,890 cm e o médio de 0,005 cm dia⁻¹.

Na dose de 80 kg ha⁻¹ de N, observou-se a taxa máxima de crescimento do diâmetro dos colmos as 63 DAP, sendo esta de 0,032 cm dia⁻¹. O crescimento acumulado da primeira fase de desenvolvimento foi de 2,38 cm, correspondendo a 80% do total acumulado, e o médio foi de 0,025 cm dia⁻¹. Já na segunda fase de desenvolvimento, o crescimento acumulado foi de 0,574 cm e o médio de 0,003 cm dia⁻¹.

Em relação à dose de 120 kg ha⁻¹ de N, a taxa máxima de crescimento do diâmetro foi observada aos 60 DAP, correspondendo a 0,031 cm dia⁻¹. Na primeira fase de desenvolvimento da cultura, o crescimento acumulado do diâmetro foi de 2,430 cm, 82% do total acumulado durante o desenvolvimento da cultura, e o crescimento médio foi de 0,025 cm dia⁻¹. Na segunda fase de desenvolvimento, o crescimento acumulado foi de 0,544 cm e o médio de 0,003 cm dia⁻¹.

O crescimento acumulado do diâmetro durante o ciclo da cana-planta e as taxas de crescimento do diâmetro são observados nas Figuras 3.4 e 3.5.

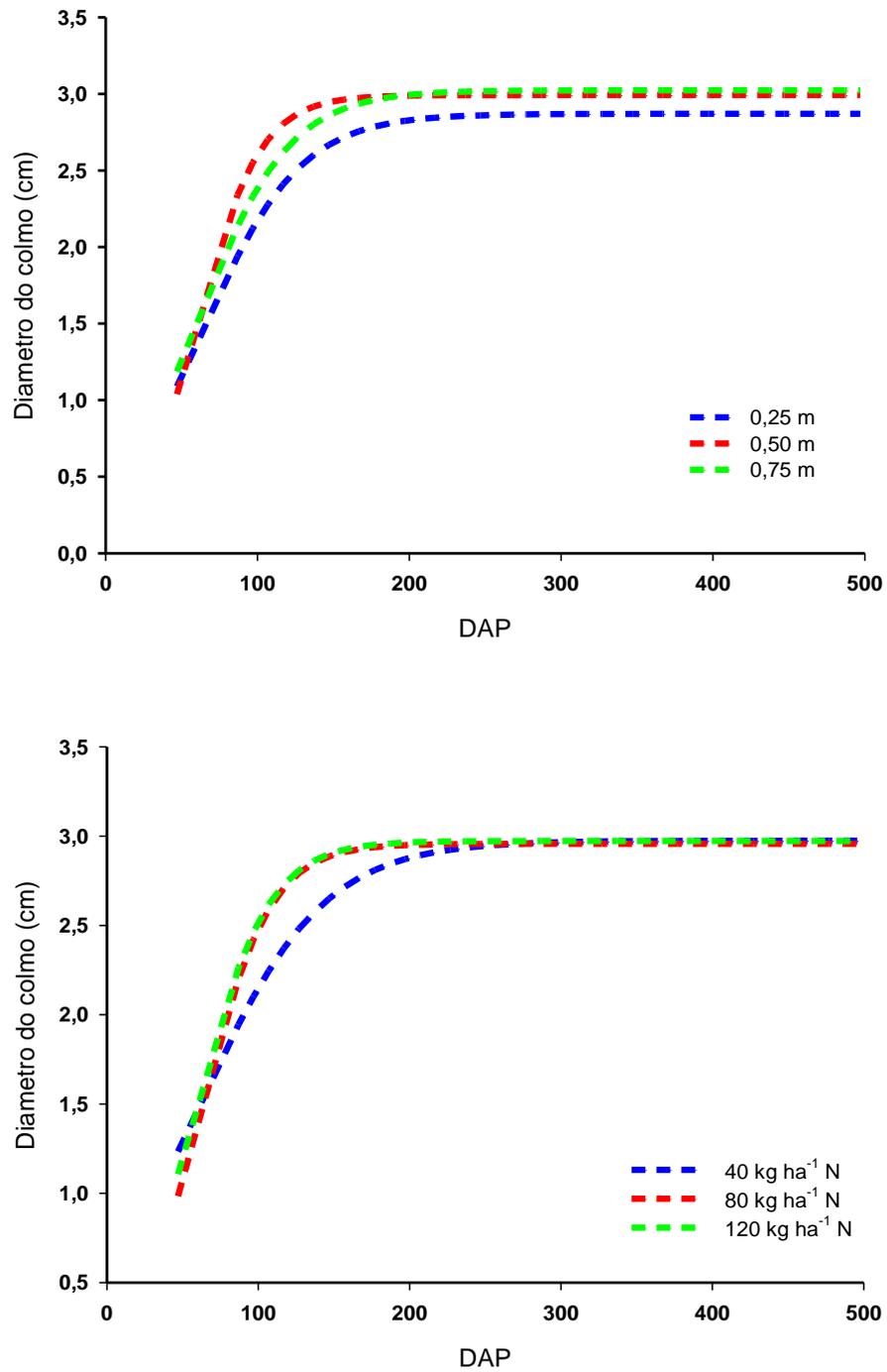


Figura 3.4 – Diâmetro do colmo no ciclo da cana-planta em função da densidade de plantio (metros entre plantas) e da dose de nitrogênio. Ajuste da função logística. Santa Cruz das Palmeiras/SP. Período de janeiro 2014 a julho 2015

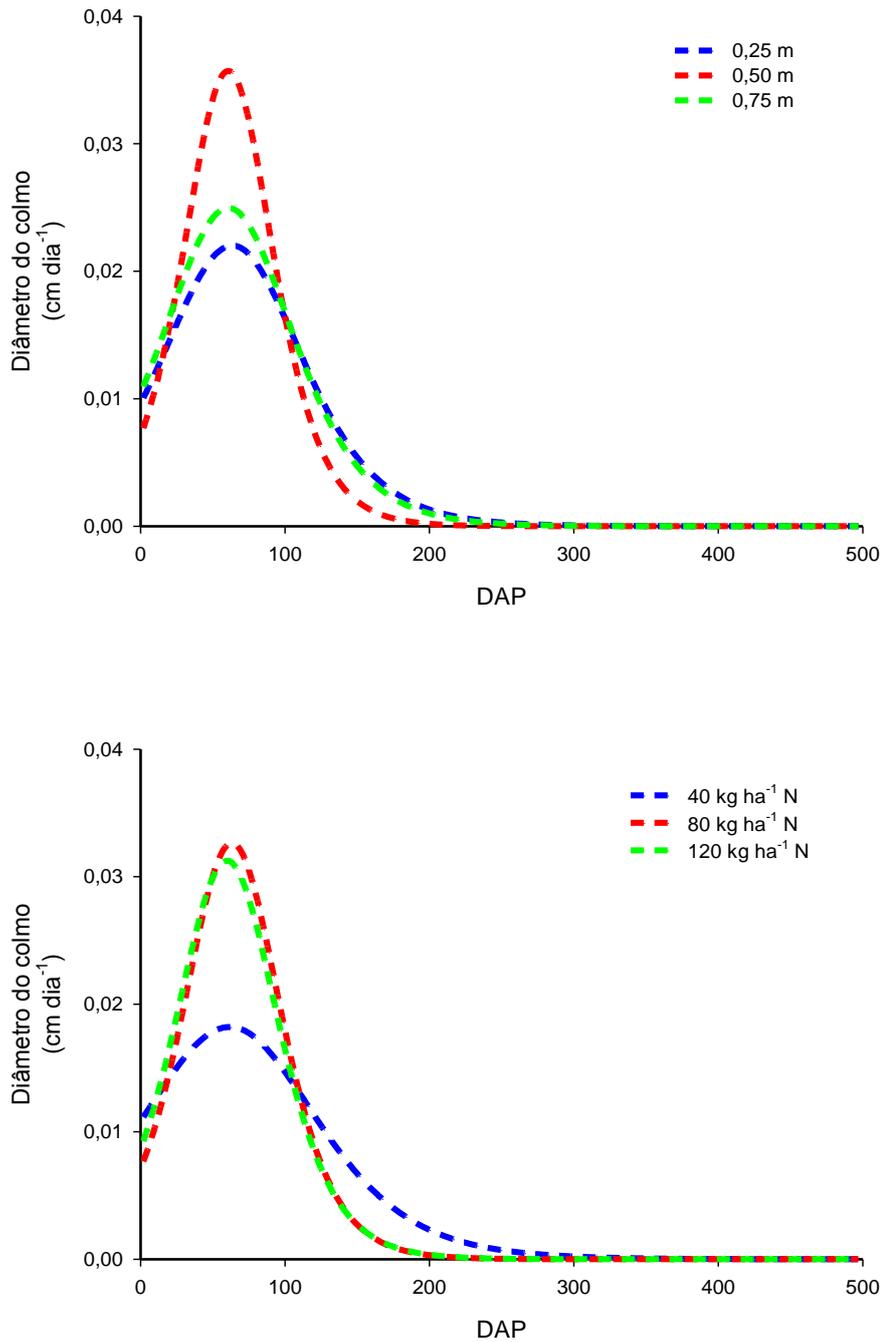


Figura 3.5 - Taxa de crescimento do diâmetro do colmo no ciclo da cana-planta em função da densidade de plantio (metros entre plantas) e da dose de nitrogênio. Ajuste da função gaussiana. Santa Cruz das Palmeiras/SP. Período de janeiro 2014 a julho 2015

Oliveira et al. (2010) também encontraram ajuste no modelo sigmoide para o diâmetro do colmo, caracterizando-se em duas fases de desenvolvimento, onde na primeira fase, o aumento no diâmetro do colmo foi rápido e constante até os primeiros 90 dias, apresentando taxas médias de crescimento em diâmetro do colmo de $0,022 \text{ cm dia}^{-1}$ e média final entre as variedades estudadas de 1,9 cm. O crescimento inicial do diâmetro do colmo diferiu entre as variedades sendo observado que a primeira fase permaneceu entre os 60 DAP e 90 DAP e na segunda fase o diâmetro dos colmos da cana-de-açúcar apresentaram pequeno aumento em espessura, obtendo-se valores médios finais de 2,5 cm.

Os autores ainda observaram os maiores diâmetros nas variedades de maturação média a tardia aos 360 DAP, com valor médio de 2,7 cm. Silva (2007), avaliando o diâmetro do colmo em diferentes variedades, constatou nas variedades RB867515 e RB72454, aos 360 DAP, os maiores diâmetros dentre as variedades estudadas, com valores de 2,7 e 2,6 cm, respectivamente.

De acordo com Galvani et al. (1997) devido ao aumento populacional há uma diminuição no diâmetro do colmo, implicando-se em colmos mais leves, sem, contudo, haver variação significativa em seu comprimento.

3.3.3. Produtividade de colmos

Com relação à produtividade de colmos (TCH), não foi observada diferença significativa nem para as densidades de plantio, nem para as doses de nitrogênio, com produtividades em torno de 200 TCH. Para as densidades, na de 0,25 m entre plantas no sulco de plantio apresentou 222 TCH, seguida da densidade 0,75 m com 200 TCH e da densidade 0,50 m com 196 TCH. Já para as doses de nitrogênio, a de 80 kg ha^{-1} de N apresentou 217 TCH, seguida da dose de 120 kg ha^{-1} de N com 211 TCH e da dose de 40 kg ha^{-1} de N com 190 TCH (Tabela 3.5).

Tabela 3.5 – Produtividade da cana-planta em função da densidade de plantio e da dose de nitrogênio em Toneladas de Cana por Hectare (TCH). Santa Cruz das Palmeiras/SP. Período de janeiro 2014 a julho 2015

Doses de N (kg ha ⁻¹)	Toneladas de Colmo por Hectare			Média
	Densidade (m entre plantas)			
	0,25	0,50	0,75	
	TCH			
40	194 Aa	174 Aa	203 Aa	190 a
80	252 Aa	213 Aa	186 Aa	217 a
120	220 Aa	201 Aa	212 Aa	211 a
Média	222 A	196 A	200 A	

Médias seguidas de uma mesma letra indicam que não houve diferença significativa, ao nível de 5% de significância pelo teste Tukey. Letras maiúsculas nas colunas e letras minúsculas nas linhas.

Avaliando-se as densidades de plantio, ressalta-se que menores densidades de plantio obtiveram a mesma produtividade que as maiores densidades, para a variedade IAC95-5000, nas condições edafoclimáticas deste estudo. Observa-se também que a densidade de 0,50 e 0,75 m entre plantas seriam consideradas canaviais com altos índices de falhas, de acordo com Stolf (1986), que considera como falha uma distância de 0,50 m entre plantas.

Tse e Chu (1967) em trabalho realizado em Taiwan, concluíram que os espaçamentos entre os toletes são mais importante que o espaçamento entre as fileiras, recomendando para a variedade estudada (F.146), o espaçamento de 1,25 m e a distância de 0,30 m entre toletes.

Souza-Vieira e Milligan (1999) avaliando-se o desenvolvimento de *seedlings* em diferentes espaçamentos entre plantas na linha, em Louisiana (EUA), observaram que a resposta de seleção para as variáveis altura de plantas, número e peso de colmos e peso da planta aumentou consideravelmente quando o espaçamento saiu de 41 para 82 cm. A seleção de famílias, considerando-se os espaçamentos entre plantas de 82 cm, foi 31% mais eficiente quando comparada com a mesma seleção no espaçamento de 41 cm entre plantas na linha.

Porém, observam-se dados contrastantes a estes quando diminui-se a densidade de plantio. Daros et al. (1999) estudando o comportamento de duas variedades de cana-de-açúcar, RB835089 e RB835486, plantadas nas densidades de 12; 18; 24 e 30 gemas m⁻¹, observaram redução do número de colmos industrializáveis por metro e rendimento de colmos, quando utilizou-se

12 gemas m^{-1} . No entanto, não observaram diferenças significativas para as densidades de 18 a 30 gemas m^{-1} .

Paranhos (1972), em estudo de espaçamentos e densidades de plantio, observou que a densidade de plantio produziu efeitos no peso unitário dos colmos e também na população final de cana em toneladas por hectare sofreu interferência de ambos fatores. Assim para o primeiro corte enquanto o peso médio decresceu com o aumento das densidades, a população de colmos por hectare aumentou na mesma direção e a tonelage de cana por hectare também aumentou significativamente. No caso do primeiro corte predominaram os efeitos da maior população. Ao contrário do que o autor esperava obter, à semelhança de outras regiões estudadas, os resultados por ele encontrados não indicaram nenhuma interação entre espaçamentos, densidades e variedades, para a TCH. Esse fato reforça a suposição de os espaçamentos e as densidades por ele utilizadas tenham sido abaixo do limite de competição requerida para realçar as características varietais e afetar as produções. Paranhos (1972) estudando as densidades de 6; 9 e 12 gemas m^{-1} encontrou produções na cana-planta de 119; 122 e 127 TCH, respectivamente.

Barbieri et al. (1981) afirmaram não haver diferenças significativas em produtividade final em relação a densidades de plantio, recomendando-se que 6 gemas m^{-1} , porém observaram tendência de maiores produtividades com 12 gemas m^{-1} . Coleti (1987) recomenda para um plantio com maior segurança em relação à germinação um total de 12 a 15 gemas m^{-1} .

Garside e Bell (2009) estudaram diferentes espaçamentos e variedades de cana-de-açúcar na Austrália, em função da necessidade de se aumentar os espaçamentos entrelinhas para um melhor controle de tráfego e menor impacto nos canaviais. Ao concluir a análise dos resultados, observou-se que mesmo modificando o arranjo espacial da cultura, permaneceu-se o seu potencial produtivo, demonstrando a capacidade compensatória existente na cana-de-açúcar de adequar o número e o peso dos colmos como um meio de manter sua produtividade em diferentes configurações de espaçamento e densidades de plantio.

As diferentes respostas de produtividade em diferentes configurações de espaçamentos e densidades são ligadas ao genótipo e ao ambiente de produção. Landell et al. (2015) afirmaram que a produtividade agrícola de uma variedade de

cana-de-açúcar é a expressão fenotípica de um caractere em questão e é composta pelo genótipo da planta somado ao efeito ambiental mais a interação desses dois fatores.

A falta de resposta à adubação nitrogenada em cana-planta vai de encontro a outros trabalhos com os mesmos resultados (CANTARELLA; RAIJ, 1985; AZEREDO et al., 1986), porém, a adubação nitrogenada em cana-planta ainda é uma questão a ser estudada ao longo do ciclo da cultura.

A baixa resposta da cana planta à adubação nitrogenada é uma questão ainda não esclarecida. Encontram-se vários trabalhos que avaliaram o efeito de doses, fontes e formas de aplicação de nitrogênio na cana-de-açúcar, principalmente os seus efeitos na produtividade de colmos e nas características químicas e tecnológicas do caldo, sendo encontradas respostas bem heterogêneas para cana-planta e relativamente homogênea para cana-soca (CARNAÚBA, 1990).

Alguns resultados contrapõem a falta de resposta à adubação nitrogenada. Bologna-Campbell (2007) constatou resposta linear a adubação nitrogenada de plantio na cultivar SP80-3280, com um aumento médio de 55% em relação ao tratamento controle, para uma dose de 120 kg N ha⁻¹. Korndörfer et al. (2002) obtiveram resposta de sete cultivares, com um incremento médio de 10 TCH, para uma adição de 60 kg N ha⁻¹. Korndörfer et al. (1997) constaram um aumento linear para a produtividade com o aumento da dose de N (30, 60, 120 kg ha⁻¹), e observaram também um acréscimo de 3,5 TCH para cada 10 kg N ha⁻¹.

Franco (2008) encontrou aumento da TCH nos tratamentos que receberam N no plantio, onde a massa seca de colmos, da parte aérea e a total da planta apresentaram resposta quadrática altamente significativa, com destaque para a dose de 80 kg ha⁻¹ de N. Franco (2008) e Bologna-Campbell (2007) também encontrou resposta significativa para as doses de nitrogênio e aumento da massa seca do sistema radicular das plantas.

Trivelin et al. (2002) em experimentos desenvolvidos em vaso com solo arenoso, verificaram que a cana-planta respondeu à adubação nitrogenada (doses equivalentes a 0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹ de N-ureia) em produção de colmos e rendimento em açúcar, com resposta linear na produção de matéria seca e acúmulo de N-total na parte subterrânea, parte aérea e planta toda.

Essas respostas de aumento da massa seca do sistema radicular podem promover uma maior produtividade na soqueira, devido ao maior vigor do sistema radicular proporcionar maior e mais vigorosa rebrota. Penatti, Donzeli e Forti (1997) comprovaram o efeito residual da adubação nitrogenada de plantio na produtividade da primeira soqueira.

A ausência de resposta na produtividade de colmos à adubação nitrogenada pode ser justificada por algumas situações. O revolvimento do solo durante o preparo para o plantio acelera o processo de mineralização da matéria orgânica do solo (MOS), promovendo a transformação do N-orgânico em N-mineral, disponível para absorção pela cultura. O aporte de resíduos do último ciclo da cultura proporciona um incremento nos teores de MOS. O processo de mineralização da MOS libera N-mineral garantindo uma adequada nutrição as plantas e ao seu sistema radicular, sendo suficiente e independente da adição de N-mineral. Essa discussão foi melhor elucidada por Franco (2008), estudando o estoque de nutrientes em resíduos culturais incorporados ao solo, na reforma de canaviais.

De acordo com Franco (2008), as doses de N atualmente recomendadas para cana-planta estão abaixo das reais exigências da cultura, e considerando-se, em adição, que a imobilização microbiana e as perdas de N do solo reduzem a concentração do nutriente disponível à cultura, em especial no sistema com manutenção da palhada e em solos de baixa ou média fertilidade, é notório que a cana-de-açúcar, no ciclo de cana-planta, nessa condição de carência de N não teria como expressar toda a sua potencialidade produtiva.

3.3.4. Parâmetros tecnológicos

Os atributos tecnológicos estudados foram o teor de Brix (%), o teor de Fibra (%), a Pureza (%), os Açúcares Redutores (AR %), o teor de Pol (%) e o Açúcar Total Recuperável (ATR), sendo observada influência das densidades de plantio apenas sobre o teor de fibra e não sendo observada influência das doses de nitrogênio em nenhuma das variáveis estudadas (Tabela 3.6).

Tabela 3.6 – Atributos tecnológicos da cana-planta em função da densidade de plantio e da dose de nitrogênio. Santa Cruz das Palmeiras/SP. Período de janeiro 2014 a julho 2015

Brix				
Doses de N (kg ha⁻¹)	Densidade (m entre plantas)			Média
	0,25	0,50	0,75	
	%			
40	19,44 Aa	19,82 Aa	18,95 Aa	19,40 a
80	19,15 Aa	19,11 ABa	19,07 Aa	19,11 a
120	19,43 Aa	18,31 Bb	19,30 Aa	19,01 a
Média	19,34 A	19,08 A	19,10 A	
Fibra				
	%			
40	11,26 Aa	10,53 Aa	10,94 Aa	10,91 a
80	11,15 Aa	10,84 Aa	11,31 Aa	11,10 a
120	11,08 Aa	10,55 Aa	10,59 Aa	10,74 a
Média	11,16 A	10,64 B	10,95 AB	
Pureza				
	%			
40	90,52 Aa	90,58 Aa	90,13 Aa	90,41 a
80	90,92 Aa	90,41 Aa	91,24 Aa	90,85 a
120	91,38 Aa	89,67 Aa	91,55 Aa	90,86 a
Média	90,94 A	90,22 A	90,97 A	
Açúcares Redutores (AR)				
	%			
40	0,54 Aa	0,53 Aa	0,55 Aa	0,54 a
80	0,52 Aa	0,54 Aa	0,51 Aa	0,52 a
120	0,50 Aa	0,56 Aa	0,48 Aa	0,51 a
Média	0,52 A	0,54 A	0,51 A	
Pol				
	%			
40	15,09 Aa	15,59 Aa	14,73 Aa	15,14 a
80	14,98 Aa	14,93 ABa	14,92 Aa	14,94 a
120	15,27 Aa	14,26 Bb	15,33 Aa	14,95 a
Média	15,11 A	14,93 A	14,99 A	
Açúcar Total Recuperável (ATR)				
	kg t ⁻¹			
40	149 Aa	154 Aa	146 Aa	150 a
80	148 Aa	148 ABa	148 Aa	148 a
120	151 Aa	142 Bb	152 Aa	148 a
Média	150 A	148 A	148 A	

Médias seguidas de uma mesma letra indicam que não houve diferença significativa, ao nível de 5% de significância pelo teste Tukey. Letras maiúsculas nas colunas e letras minúsculas nas linhas.

A ausência de resposta para os parâmetros tecnológicos em relação à adubação nitrogenada também foi observada por Azeredo et al. (1986), Orlando Filho et al. (1999), Trivelin et al. (2002), Korndörfer et al. (2002), Franco (2008).

Vários são os autores que observaram efeitos negativos do aumento de doses de nitrogênio sobre o acúmulo de sacarose pelas plantas, onde doses acima de 120 kg ha⁻¹ de N apresentaram menores teores de Pol, Brix e ATR (ORLANDO FILHO; ZAMBELLO JÚNIOR, 1980; ESPIRONELO et al., 1987; FRANCO, 2008).

Faroni (2008) em um dos experimentos por ele conduzido observou aumento quadrático do teor de açúcares redutores conforme aumentaram-se as doses de adubação nitrogenada. Os AR são a quantidade de glicose e de frutose presentes na cana, que afetam diretamente a sua pureza, já que refletem em uma menor eficiência na recuperação da sacarose durante o processamento (RIPOLI; RIPOLI, 2004), e possuem a propriedade de reduzir o óxido de cobre presente no caldo, reação esta que aumenta a cor do caldo, interferindo na qualidade do açúcar produzido (FERNANDES, 2003).

Observou-se resposta significativa para o teor de fibra em relação às densidades, onde as menores densidades apresentaram maiores teores de fibra, porém sem uma explicação coerente para essa observação. De acordo com Fernandes (2003) ocorre uma relação antagônica entre os teores de fibra e Brix, pois os colmos são constituídos de caldo e sólidos insolúveis em água, as fibras, de modo que quanto maior a quantidade de caldo, menor a quantidade de fibras.

A porcentagem da fibra da cana reflete na eficiência da extração do caldo, ou seja, quanto mais alto o teor de fibra, menor será a eficiência de extração. Por outro lado, deve-se considerar que variedades de cana com baixos teores de fibra são mais susceptíveis a danos mecânicos que possam ocorrer no corte e transporte, favorecendo a contaminação e as perdas na indústria. Quando a cana possui baixo teor de fibra ela torna-se mais susceptível ao acamamento e a quebra por ação do vento, o que a faz perder mais açúcar na água de lavagem.

Com bases nos valores de produção em TCH e do teor de ATR da cana-planta neste estudo, calculou-se a produtividade de açúcar por hectare (Tabela 3.7). Não foi observada influência das densidades ou das doses de nitrogênio no rendimento de açúcar por área.

Tabela 3.7 – Rendimento de açúcar da cana-planta em função da densidade de plantio e da dose de nitrogênio. Santa Cruz das Palmeiras/SP. Período de janeiro 2014 a julho 2015

Doses de N (kg ha ⁻¹)	Produção de Açúcar por Hectare			Média
	Densidade (m entre plantas)			
	0,25	0,50	0,75	
	t ha ⁻¹			
40	29 Aa	27 Aa	29 Aa	28 a
80	37 Aa	31 Aa	28 Aa	32 a
120	33 Aa	28 Aa	32 Aa	31 a
Média	33 A	29 A	30 A	

Médias seguidas de uma mesma letra indicam que não houve diferença significativa, ao nível de 5% de significância pelo teste Tukey. Letras maiúsculas nas colunas e letras minúsculas nas linhas.

Franco (2008) conclui que a adubação nitrogenada realizada na cana-planta em seu estudo resultou em maior produção de açúcar por hectare de maneiras distintas. Num experimento observou-se uma maior TCH, obtendo-se uma maior produção de açúcar por área, enquanto num segundo experimento o aumento do Pol da cana que foi responsável pela maior rendimento em açúcar. Faroni (2008) observou resultados econômicos negativos em seu trabalho, analisando-se as margens de contribuição agrícola e industrial.

Consultado a literatura, nota-se um consenso quanto aos efeitos da adição de N na produção de açúcar por área, ou seja, o teor de açúcar no colmo diminui com a adubação nitrogenada, porém o rendimento total de açúcar é maior devido a maiores TCH (ESPIRONELO et al., 1987; KORNDÖRFER et al., 2002; TRIVELIN et al., 2002; BOLOGNA-CAMPBELL, 2007; FRANCO, 2008).

3.4. Conclusões

1. A densidade de plantio influi no comportamento das variáveis biométricas diâmetro do colmo e número de colmos por metro. Não foi observada influência da densidade de plantio sob a variável altura do colmo;
2. As doses de nitrogênio no plantio não influenciaram a resposta das variáveis biométricas ligadas a produtividade;

3. Não observou-se resposta significativa da produtividade em função da densidade de plantio e da dose de nitrogênio;
4. As densidades de plantio e as doses de nitrogênio não influenciaram os atributos tecnológicos da cana-planta.

Referências

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).
- AZEREDO, D.F.; BOLSANELLO, J.; WEBWE, H.; VIEIRA, J.R. Nitrogênio em cana-planta - doses e fracionamento. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 4, p. 25-29, 1986.
- BARBIERI, V.; BACHI, O. O. S.; VILLA NOVA, N. A. Espaçamento em cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 2., 1981, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: STAB, 1981. v. 3/4, p. 512-522.
- BERNARDES, M. S. ; BELARDO, G. C. Espaçamentos de plantio: Espaçamentos para a cultura da cana-de-açúcar. In: BELARDO, G. C.; CASSIA, M. T.; SILVA, R. P. **Processos agrícolas e mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: Editora SBEA, 2015. p. 243-258.
- BOLOGNA-CAMPBELL, I. **Balanço de nitrogênio e enxofre no sistema solo-cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta**. 2007. 112 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- BONNETT, G. D.; HEWITT, M. L.; GLASSOP, D. Effects of high temperature on the growth and composition of sugarcane internodes. **Australian Journal of Agricultural Research**, East Melbourne, v. 57, p. 1087-1095, 2006.
- CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van. Adubação nitrogenada no Estado de São Paulo. In: SANTANA, M.B.M. (Ed.). **Adubação nitrogenada no Brasil**. Ilhéus: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1985. p. 47-49.
- CARNAÚBA, B.A.A. O nitrogênio e a cana-de-açúcar. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 8, n. 3, p. 24-41, 1990.
- CARVALHO, C. M.; AZEVEDO, H. M. de; DANTAS NETO, J.; SILVA, C. T. S.; GOMES FILHO, R. R.; VALNIR JÚNIOR, M. Influência de diferentes níveis de irrigação sobre os parâmetros organográficos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 4, n. 2, p. 173-178, 2009.

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

COLETI, J. T. Técnica cultural de plantio. In: PARANHOS, S. B. (Coord.). **Cana-de-açúcar cultivado e utilização**. Campinas, Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 284-332.

DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. T.; GRACIANO, P. A. Efeito da densidade de plantio em duas variedades de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 7., 1999, Londrina. **Anais...** Londrina: STAB, 1999. p. 137-140.

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

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p. (FAO Estudos de Irrigação e Drenagem, 33).

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. ampl. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353 p.

ESPIRONELLO, A.; van RAIJ, B.; PENATTI, C. P.; CANTARELLA, H.; MORELLI, J. L.; ORLANDO FILHO, J.; LANDELL, M. G. A.; ROSSETTO, R. Cana-de-açúcar. In: van RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. rev. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. p. 237-239.

ESPIRONELLO, A.; COSTA, A. A.; LANDELL, M. G. A.; PEREIRA, J. C. V. N. A.; IGUE, T.; CAMARGO, A. P.; RAMOS, M. T. B. Adubação NK em três variedades de cana-de-açúcar em função de dois espaçamentos. **Bragantia**, Campinas, v. 46, n. 2, p. 247-268, 1987.

FARIAS, C. H. A. de; FERNANDES, P. D.; AZEVEDO, H. M. de; DANTAS NETO, J. Índice de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 4, p. 356-362, 2008.

FARONI, C. E. **Eficiência agrônômica das adubações nitrogenadas de plantio após o primeiro corte avaliada na primeira soca da cana-de-açúcar**. 2008. 190 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

FERNANDES, A. C. **Calculos na agroindústria de cana-de-açúcar**. 2. ed. Piracicaba: STAB, 2003. 240 p.

FERREIRA, D. F. **Manual do sistema SISVAR para análises estatísticas**. Lavras: UFLA, 2000. 69 p.

FRANCO, H. C. J. **Eficiência agrônômica da adubação nitrogenada de cana-planta**. 2008. 127 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

GALVANI, E.; BARBIERI, V.; PEREIRA, A. B. Efeitos de diferentes espaçamentos entre sulcos na produtividade agrícola da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 54, n. 1/2, p. 62-68, 1997.

GARSDALE, A. L.; BELL, M. J. Row spacing and planting density effect on the growth and yield of sugarcane: 3. Responses with different cultivars. **Crop and Pasture Science**, Collingwood, v. 60, p. 555-565, 2009.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MOLLER, S. I.; WHITE, P. Functions of macronutrients. In: MARSCHNER, P. (Ed.). **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. New York: Elsevier, 2012. cap. 6, p. 135-189.

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 Crop Research**, Amsterdam, v. 83, p. 125-138, 2003.

INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, p. 185-202, 2005.

KÖPPEN, W. **Climatologia**: con um estudio de los climas de la Tierra. México, DF: Fondo de Cultura Economica, 1948. 478 p.

KORNDÖRFER, G. H.; VALLE, M. R.; MARTINS, M.; TRIVELIN, P. C. O. Aproveitamento do nitrogênio da ureia pela cana-planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 1, p. 23-26, 1997.

KORNDÖRFER, G. H.; COLOMBO, C.; CHIMELLO, M. A.; LEONE, P. L. C. Desempenho de variedades de Cana-de-Açúcar cultivadas com e sem Nitrogênio. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 20, p. 28-31, 2002.

LANDELL, M. G. A.; SILVA, M. A. Manual do experimentador: melhoramento da cana-de-açúcar. In: INSTITUTO AGRONÔMICO. **Metodologia de Experimentação: ensaios de competição em cana-de-açúcar**. Pindorama: Instituto Agrônomo, 1995. p. 3-9. (Apostila de Treinamento Interno).

LANDELL, M. G. A.; BERRO, C. D.; SILVA, C. D.; XAVIER, M. A. Manejo varietal em cana-de-açúcar: aspectos teóricos e aplicações de conceitos. In: BELARDO, G. C.; CASSIA, M. T.; SILVA, R. P. **Processos agrícolas e mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: Editora SBEA, 2015. p. 273-288.

LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P.; FIGUEIREDO, P.; XAVIER, M. A.; VASCONCELOS, A. C. M.; BIDOIA, M. A.; SILVA, D. N.; ANJOS, I. A.; PRADO, H.; PINTO, L. R.; SOUZA, S. A. C. D.; SCARPARI, M. S.; ROSA JÚNIOR, V. E.; IRANDA, L. L. D.; AZANIA, C. A. M.; PERECIN, D.; ROSSETTO, R.; SILVA, M. A.; MARTINS, A. L. M.; GALLO, P.; KANTHACK, R. A. D.; CAVICHIOLI, J. C.; VEIGA FILHO, A. A.; MENDONÇA, J. R.; DIAS, F. L. F.; GARCIA, J. C. **Variedades de cana-de-açúcar para o Centro-Sul do Brasil: 16ª. liberação do Programa Cana IAC (1959-2007)**. Campinas: IAC, 2007. 37 p. (Boletim Técnico, 201).

LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P.; FIGUEIREDO, P.; XAVIER, M. A.; ANJOS, I. A.; DINARDO-MIRANDA, L. L.; SCARPARI, M. S.; GARCIA, J. C.; BIDÓIA, M. A. P.; SILVA, D. N.; MENDONÇA, J. R.; KANTHACK, R. A. D.; CAMPOS, M. F.; BRANCALIÃO, S. R.; PETRI, R. H.; MIGUEL, P. E. M. **Sistema de multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas**. Campinas: IAC, 2012. 16 p. (Documentos, 109).

LANDELL, M. G. A.; XAVIER, M. A.; GARCIA, J. C.; PRADO, H.; AZANIA, C. A. M.; SCARPARI, M. S.; ANJOS, I. A.; SILVA, D. N.; BIDÓIA, M. A. P.; BRANCALIÃO, S. R.; ROSSETTO, R.; VITTI, A. C. Cana-de-açúcar. In: AGUIAR, A. T. E.; GONÇALVES, C.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; TUCCI, M. L. S.; CASTRO, C. E. F. **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. 7. ed. Campinas: IAC, 2014. p. 106-113. (Boletim, 200).

MACHADO, E. C. Fisiologia de produção de cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. (Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 56-87.

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

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda., 2006. 638 p.

MARAFON, A. C. **Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar: uma introdução ao procedimento prático**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2012. 29 p. (Documentos, 168).

MARTINS, A. L. M.; LANDELL, M. G. A. **Conceitos e critérios para avaliação experimental em cana-de-açúcar utilizados no Programa Cana IAC**. Pindorama: Instituto Agronômico, 1995. p. 2-14.

MENEZES, P. R. **Efeito de dose de adubo e da densidade de plantio no comportamento de duas variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) de primeiro corte**. 1979. 26 p. (Trabalho de Graduação) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 1979.

OLIVEIRA, E. C. A. **Balço nutricional da cana-de-açúcar relacionado à adubação nitrogenada.** 2011. 213 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

OLIVEIRA, E. C. A.; OLIVEIRA, R. I.; ANDREADE, B. M. T.; FREIRE, F. J.; LIRA JÚNIOR, 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, R. A.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. I.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; KOERLER, H. S.; SILVA, D. K. T. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, cana planta, no Estado do Paraná. **Scientia Agrária**, Curitiba, v. 5, n. 1-2, p. 87-94, 2004.

ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO JUNIOR, E. Influência da adubação NPK nas qualidades tecnológicas da cana-planta, variedade CB41-76. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 96, p. 37-44, 1980.

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

OTTO, R. **Desenvolvimento de raízes e produtividade de cana-de-açúcar relacionados à adubação nitrogenada.** 2007. 119 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

OTTO, R. **Desenvolvimento radicular e produtividade da cana-de-açúcar relacionados à mineralização do N do solo e à adubação nitrogenada.** 2012. 118 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

PARANHOS, S. B. **Espaçamentos e densidade de plantio em cana-de-açúcar.** 1972. 109 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1972.

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

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente.** Piracicaba: Barros e Marques Ed. Eletrônica, 2004. 302 p.

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, p. 133-137, 1998.

ROQUE, J. A. P. **Efeito de dose de adubo e da densidade de plantio no comportamento de duas variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) de segundo corte.** 1979. 37 p. (Trabalho de Graduação) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 1979.

ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F.; VITTI, A. C.; CANTARELLA, H.; LANDELL, M. G. A. Manejo conservacionista e reciclagem de nutrientes em cana-de-açúcar tendo em vista a colheita mecânica. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 124, p. 8-13, 2008.

ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar: indagações e reflexões. **Encarte do Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 110, p. 6-11, 2005.

SARTORI, R. H. **Eficiência do uso de nitrogênio e enxofre pela cana-de-açúcar (primeira e segunda rebrota) em sistema conservacionista (sem queima).** 2010. 110 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

SILVA, L. C. **Análise de crescimento e acúmulo nutrientes de sete cultivares de cana-de-açúcar na Região de Coruripe.** 2007. 127 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Alagoas, Maceio, 2007.

SKINNER, J. C. Grading varieties for selection. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONGRESS, 12., 1965, San Juan. **Proceedings...** Amsterdam: International Society of Sugar Cane Technologists, 1967. p. 938-949.

SOUZA-VIEIRA, O.; MILLIGAN, S. B. Intrarow plant spacing and family x environment interaction effects on sugarcane family evaluation. **Crop Science**, Madison, v. 39, p. 358-364, 1999.

STOLF, R. Metodologia de avaliação de falhas nas linhas de cana-de-açúcar. **STAB. Açúcar, Alcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 4, n. 6, p. 22-36, 1986.

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

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

TSE, C. C.; CHU, J. M. Study of the planting spacing of sugar cane new variety F.146. **Taiwan Sugar Experiment Station**, Tainan, n. 3, p. 71-81, 1967.

VITTI, A. C.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; ROSSETTO, R. Nitrogênio. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: IAC, 2010. p. 230-270.

XAVIER, M. A.; LANDELL, M. G. A.; SILVA, D. N.; BIDÓIA, M. A. P.; CAMPOS, M. F.; PETRI, R. H.; CARREGARI, H. R.; MIGUEL, P. E. M.; TEIXEIRA, L. G.; PERECIN, D. Produtividade de gemas de cana-de-açúcar para fins de abastecimento de núcleos de produção de mudas pré-brotadas – MPB. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 33, n. 2, p. 34-36, 2014.

ZANINE, A. M.; SANTOS, E. M. Competição entre espécies de plantas: uma revisão. **Revista da FZVA**, Uruguaiana, v. 11, n. 1, p. 10-30, 2004.

4. ACÚMULO DE NITROGÊNIO NA PARTE AÉREA DA CANA-PLANTA PROVENIENTE DE MUDAS PRÉ-BROTADAS RELACIONADO COM A DENSIDADE DE PLANTIO E A ADUBAÇÃO NITROGENADA

Resumo

O nitrogênio é um dos nutrientes altamente demandados pela cana-de-açúcar, possuindo papel estrutural, sendo base no metabolismo de aminoácidos e proteínas, clorofilas e em diversos processos bioquímicos. A necessidade do nutriente durante o crescimento é estimada pela quantidade do nutriente acumulado em relação à biomassa, sendo observados poucos estudos nesse sentido. O sistema de mudas pré-brotadas contribui para produção de mudas com alto padrão de fitossanidade, vigor e uniformidade de plantio. Objetivou-se com este trabalho estudar o acúmulo de nitrogênio na parte aérea da cana-planta relacionado com densidade de plantio e a adubação nitrogenada. Para se ajustar o acúmulo de nitrogênio na parte aérea, em $\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, em relação a densidade e a dose de nitrogênio, foi utilizada uma função logística. Para se ajustar taxa de acúmulo de N, expressa em $\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, em foi utilizada uma função gaussiana. Para se ajustar a curva de concentração de N, em g kg^{-1} , foi utilizada a função exponencial. Os maiores acúmulos de N na colheita foram observados na densidade de 0,75 m entre plantas e na dose de 80 kg ha^{-1} de N. A necessidade de nitrogênio para produção de 01 tonelada de colmo por hectare e a concentração de N na planta não apresentaram diferença estatística em relação aos fatores estudados. Conclui-se que o maior acúmulo de massa seca foi observado quando a evapotranspiração real assemelhou-se a evapotranspiração potencial. Não foi observada influência dos tratamentos no acúmulo de N. As taxas máximas de acúmulo foram observadas antes do início da fase de máximo desenvolvimento da cultura, tanto para as densidades quanto para todas as doses de N. A necessidade de nitrogênio média para produção de 01 tonelada de colmo por hectare foi de 1,26 kg de N , independente do tratamento. A concentração de N decresceu exponencialmente a medida em que se aumentou o acúmulo de biomassa.

Palavras-chave: Extração de nitrogênio. Arranjo espacial. Dose de nitrogênio. *Saccharum officinarum* L.

Abstract

Nitrogen is an nutrients highly required by the sugarcane crop, having structural role, being base of the amino acid and protein metabolism, chlorophyll and various biochemical processes. The requirement of this nutrient during the growth is estimated by its amount accumulated in the biomass, but there are few studies on this question. The system of pre-sprouted buds contributes to the production of seedlings with high standard plant health, vigor and uniformity of planting. The objective of this work was to study the accumulation of nitrogen in the above ground part of the plant cane as affected by planting density and nitrogen fertilization. To adjust the nitrogen accumulation in the area in $\text{g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, for the density and amount of nitrogen, a logistic function is used. To adjust N accumulation rate in $\text{g g}^{-1} \text{ day}^{-1}$, we used a Gaussian function. To fit the curve N concentration in g kg^{-1} , the exponential function was used. The highest accumulation of N in the crop was observed in the density of 0.75 m between plants and at a dose rate of 80 kg N ha^{-1} . The requirement of nitrogen to produce 01 ton of stalk per hectare and the concentration of N in the plant showed no statistical difference in relation to the

studied factors. The increased dry matter accumulation was observed when the actual evapotranspiration equaled to potential evapotranspiration. There was no effect of treatment on the accumulation of N. The maximum accumulation rates were observed before the maximum development stage of the crop, both the densities and for all N rates. The average nitrogen requirement for the production of 01 ton of stem per hectare was 1.26 kg of N, regardless the treatment. The N content decreased exponentially with increasing biomass accumulation.

Keywords: Extraction of nitrogen. Spatial arrangement. Nitrogen rates. *Saccharum officinarum* L.

4.1. Introdução

O nitrogênio é um dos nutrientes absorvidos em maior quantidade pela cana-de-açúcar devido sua alta demanda pela plantas, pois possui papel estrutural, sendo base para o metabolismo de aminoácidos e proteínas, clorofilas, e atuando em diversos processos bioquímicos dentro das plantas. A cana é uma *Poaceae*, de rota fotossintética *C4*, altamente eficiente na fixação de carbono e no uso do nitrogênio (MALAVOLTA, 2006; VITTI et al., 2010; HAWKESFORD et al., 2012).

O N é um nutriente extraído em grandes quantidades pela cultura, ficando atrás apenas do potássio. A planta de cana exporta cerca de 0,7 a 1,4 kg de N por tonelada de colmos produzidos (ORLANDO FILHO et al., 1980; KORNDÖRFER et al., 1997; COLETI et al., 2002; FRANCO, 2008).

Esses dados indicam que a planta de cana extrai mais de 200 kg ha⁻¹ de N para uma produção de 100 t ha⁻¹ de colmos, dos quais 90 a 100 kg ha⁻¹ são exportados com os colmos colhidos (CANTARELLA et al., 2007).

A eficiência de uso de N-fertilizante em cana-de-açúcar, em porcentagem de N contido no fertilizante aplicado que é pela cultura é relativamente baixo, variando de 7 a 28% (TRIVELIN et al., 2002; GAVA et al., 2003; VITTI, 2003; FRANCO, 2008).

Vários são os fatores que auxiliam a explicar a baixa resposta a N em cana-planta, entre os quais a mineralização da matéria orgânica do solo e dos restos culturais da própria cana, a fixação biológica de N, o vigor do sistema radicular das plantas, a melhoria da fertilidade do solo pela ação do plantio, perdas de N no solo, estoque de N nos colmos-semente (CANTARELLA et al., 2007).

A adubação nitrogenada destaca-se como uma das práticas culturais mais estudadas. A busca pelo suprimento de N a ser aplicado, está embasado no histórico da área e na expectativa de produtividade, sendo que é importante a identificação da exigência nutricional nos diferentes estádios fenológicos de

crescimento, o que possibilita realizar adubações na época mais próxima da necessidade da cultura, coincidindo com o crescimento (LEITE, 2011).

A demanda de nutrientes durante o crescimento da cana é estimada pela quantificação dos nutrientes acumulados em relação à produção de biomassa (COALE et al., 1993). O crescimento e a produção de biomassa da cana-de-açúcar seguem uma função logística sigmoide, apresentando três fases distintas (MACHADO et al., 1982; COALE et al., 1993; GAVA et al., 2001; OLIVEIRA, 2011).

São poucos os estudos de acúmulo de N durante os estádios de crescimento da cana-de-açúcar, sendo importante o estudo do acúmulo de nutrientes associado ao acúmulo de biomassa durante o ciclo da cultura, para uma maior eficiência da adubação nitrogenada, já que esta exigência em N pela cana, no decorrer do seu ciclo não está bem esclarecida pela literatura, gerando inconsistência nas quantidades e fontes de N-fertilizante a serem aplicados (COALE et al., 1993; FRANCO, 2008; LEITE, 2011).

A recomendação de adubação nitrogenada no plantio da cana-de-açúcar, de acordo com o Boletim 100 do Instituto Agrônomo de Campinas (ESPIRONELO et al., 1996) é de 30 kg ha⁻¹ de N no sulco de plantio e de 30 a 60 kg ha⁻¹ de N em cobertura, 30 a 60 dias após o plantio, em função da produtividade esperada.

Franco (2008) ainda relata que as doses de N recomendadas no plantio da cana-planta estão abaixo das exigências da cultura, e que a imobilização microbiana e as perdas de N no solo reduzem a disponibilidade do nutriente para as culturas, ainda mais no atual sistema de manutenção de palhada (ROSSETO et al., 2008), limitando a cana-de-açúcar de expressar seu potencial produtivo.

As plantas podem competir entre si e com outras plantas pelos recursos do meio. O tempo da competição determina prejuízos no crescimento, no desenvolvimento e, conseqüentemente, na produção das culturas (ZANINI; SANTOS, 2004). A produtividade das culturas está relacionada principalmente com a quantidade de radiação interceptada e absorvida pelo dossel foliar. Dentre todos os parâmetros de densidade de cobertura vegetal, o índice de área foliar (IAF) é o mais usual e importante. A prática de manejo mais relevante para o aumento do IAF, visando aumentar a eficiência de interceptação luminosa, é aumentar a densidade populacional, pela combinação do espaçamento entre linhas com o número de plantas por linha (BERNARDES, 1987; BERNARDES; BELARDO, 2015).

Com tecnologia do MPB muda-se a forma de produção de mudas e o plantio. No lugar dos colmos como sementes, entram mudas pré-brotadas, produzidas a partir de minirrebolos, onde localizam-se as gemas (LANDELL et al., 2012).

Objetivou-se com este trabalho estudar o acúmulo de nitrogênio na parte aérea da cana-planta relacionado com densidade de plantio e a adubação nitrogenada.

4.2. Material e Métodos

4.2.1. Caracterização da área experimental, do clima, do solo e da planta

O experimento foi implantado e conduzido no município de Santa Cruz das Palmeiras/SP, em área comercial de cultivo, nas Coordenadas Planas UTM 23 k 260761,760 m E. x 7581914,670 m S, numa altitude de 621 m. O clima corresponde ao tipo Cwa (KÖPPEN, 1948). O solo da área era um Latossolo Vermelho Distrófico Típico (LVd) de textura média (EMBRAPA, 2013). A cultivar utilizada foi a IACSP 95-5000 (LANDELL et al., 2007).

4.2.3. Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, num esquema fatorial 3x3, com três repetições. O primeiro fator foi a densidade de plantas no sulco, com três níveis, 0,25; 0,50 e 0,75 m entre plantas, sendo essas densidades na linha de plantio correspondentes a 26.667, 13.333 e 8.889 mudas por hectare, respectivamente. O segundo fator foi a dose de nitrogênio, também com três níveis 40, 80 e 120 kg ha⁻¹, aplicados na forma de N-Ureia. Da combinação entre os fatores obteve-se nove tratamentos, repetidos em três blocos, num total de 27 parcelas experimentais.

4.2.4. Instalação e condução

A área onde o ensaio foi instalado já encontrava-se ocupada com a cultura da cana-de-açúcar, com corte mecanizado. Em setembro de 2013 ocorreu a colheita, de forma manual, sendo este o quarto corte. Quando estabelecida a rebrota realizou-se a dessecação utilizando o herbicida *Glifosato Potássico* (ZAPP QI, Syngenta) na dosagem de 2,0 L ha⁻¹.

Após a dessecação executou-se as operações de preparo do solo, sendo estas uma gradagem pesada (aradora), seguida de subsolagem e finalizou-se o preparo do solo uma gradagem leve (niveladora).

A adubação mineral foi realizada com base na análise química e física do solo (Tabela 4.1) e recomendada de acordo com o Boletim 100 (ESPIRONELO et al., 1996), trabalhando-se com uma produtividade esperada acima de 150 t cana ha⁻¹. As recomendações de fósforo e potássio foram de 140 kg e 160 kg ha⁻¹ do nutriente, respectivamente. A adubação foi toda realizada no plantio, sendo aplicada no fundo do sulco. O fertilizante utilizado foi o formulado 05-25-25, na dosagem de 600 kg ha⁻¹. Para completar as doses de nitrogênio, complementando o que foi fornecido pelo adubo formulado, foi aplicado N-ureia (45% N).

Após adubação realizou-se a aplicação de inseticidas *Tiametoxam* + *Lambda-Cialotrina* (Engeo Pleno, Syngenta) e cobertura do sulco. O plantio foi realizado de maneira manual. As mudas foram produzidas e doadas pela Usina Abengoa Bioenergy, Usina São Luiz, de Pirassununga/SP. O plantio das mudas foi manual, sendo que o sulco foi batido, fechado e abertas covetas com o auxílio de enxadões.

Tabela 4.1 - Caracterização química e física de amostra de solo em duas profundidades anterior a instalação do experimento. Santa Cruz das Palmeiras/SP. Período de janeiro 2014 a julho 2015

Camada cm	pH H ₂ O	P — mg dm ⁻³ —	K —	Ca —	Mg —	Al —	H + Al —	M.O. dag kg ⁻³	Zn —	Fe —	Mn —	Cu —	B —
0 – 20	6,0	12,90	50	3,4	1,0	0,0	2,8	2,7	2,8	35,2	69,6	6,5	0,2
20 – 40	6,3	1,20	19	1,9	0,5	0,0	1,7	1,6	0,5	39,5	33,0	7,6	0,2

Camada cm	S.B. —	t —	T —	V —	m —	H + Al/T —	Ca/T —	Mg/T —	K/T —	Ca/Mg —	Ca/K —	Mg/K —
0 – 20	4,5	4,6	7,3	61,8	0,7	38,2	46,5	13,5	1,8	3,4	26,2	7,6
20 – 40	2,4	2,4	4,1	58,9	0,0	41,1	46,3	11,3	1,2	4,1	37,6	9,2

Camada cm	Areia —	Silte —	Argila —	Classificação	Classe Textural
0 – 20	290	160	550	Argiloso	3
20 - 40	260	120	620	Muito Argiloso	3

pH em água (CFSEMG, 1999); P, K, Zn, Fe, Mn, Cu, método Mehlich-1 (CFSEMG, 1999); Ca, Mg, Al, método KCl 1 mol/L (CFSEMG, 1999); M.O. método Walkley e Black (CFSEMG, 1999); B método Água quente (CFSEMG, 1999).

4.2.5. Teor e acúmulo de nitrogênio

Para a determinação do acúmulo de nitrogênio no ciclo da cultura foram coletadas amostradas de biomassa da parte aérea. As avaliações foram realizadas aos 48, 82, 145, 278, 356 e 497 dias após o plantio (DAP). Para determinação do momento da colheita, analisou-se o Índice de Maturação da cana-de-açúcar, quando constata-se uma maior concentração de açúcares nos colmos, seguindo a metodologia de Marafon (2012).

Coletou-se toda a parte aérea da cana-de-açúcar em 2 metros de linha, em duas linhas por parcela. A massa fresca vegetal, composta de folhas secas, ponteiro e colmo, de cada parcela foi obtida através de pesagem a campo. As amostras foram trituradas em picadora de forragem, e posterior retirada uma sub-amostra úmida, sendo esta devidamente acondicionada e enviada ao laboratório para demais análises.

Em laboratório, as sub-amostras foram pesadas em balança analítica, secas em estufa ventilada a 65 °C até atingirem massa constante, sendo novamente pesadas para determinação da umidade do material. Conhecendo-se a umidade do material, foi calculada a produção de massa seca (kg ha^{-1}) de cada amostragem, considerando 6.666,67 metros lineares de cana-de-açúcar por hectare (1,5 metros de espaçamento entre linhas).

Seguindo metodologia elaborada por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), as sub-amostras secas em estufa foram moídas em moinho tipo Willey e posterior analisadas quimicamente, determinando a concentração de nitrogênio. As análises foram realizadas no Laboratório de Solos e Tecidos Vegetais do IFSULDEMINAS Campus Muzambinho.

Multiplicando-se a concentração de nitrogênio em cada sub-amostra pela massa seca produzida, foi obtido o acúmulo de nitrogênio na parte aérea durante o desenvolvimento da cana-planta.

Para se estimar o acúmulo de nitrogênio na parte aérea da cana-de-açúcar de em relação a densidade e a dose de nitrogênio foi utilizada a função logística,

$$y = \frac{a}{1 + \text{Exp}\left(\frac{x-x_0}{b}\right)}$$

onde y corresponde ao acúmulo de nitrogênio na parte aérea da cana-planta (kg ha^{-1}); a ao acúmulo máximo de nitrogênio da parte aérea da cana planta (kg ha^{-1}); x ao dias após o plantio; x_0 ao valor de x no ponto médio da curva sigmoide e b um ajuste da curva.

Foram obtidas três equações de acordo com a densidade e três equações de acordo com a dose de N, que descreveram o comportamento de acúmulo de nitrogênio na parte aérea da cana-planta, no tempo.

Para se calcular a taxa de acúmulo de nitrogênio (TACN) da cana-planta, expressa em $\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, utilizo-se a seguinte equação

$$\text{TACN (g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}) = \frac{\left[\frac{N_2-N_1}{S}\right]}{t_2-t_1}$$

onde S representa a área amostrada ocupada pela cultura (m^2) no terreno, N_1 e N_2 as massas de nitrogênio nos tempos inicial (t_1) e final (t_2) da avaliação.

Para se ajustar a taxa da acúmulo de nitrogênio em relação a densidade e a dose de nitrogênio utilizou-se a função gaussiana,

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

onde y taxa de crescimento da parte aérea da cultura ($\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); a taxa de acúmulo de nitrogênio máxima da cultura ($\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); x ao dias após o plantio; x_0 ponto de inflexão da curva de gauss e b um parâmetro de ajuste.

Para se ajustar a curva de concentração de N em relação a densidade e a dose de nitrogênio foi utilizada a função exponencial,

$$y = a * \text{Exp}(-b*x)$$

onde y é a concentração de N na parte aérea da cana-planta (g kg^{-1}); a concentração máxima de N (g kg^{-1}); x ao dias após o plantio; e b um parâmetro de ajuste.

4.2.6. Balanço hídrico climatológico

Para a elaboração do balanço hídrico e climatológico dos ciclos de 2013/2014 e 2014/2015 foram utilizados parâmetros meteorológicos (precipitação, temperatura e evapotranspiração) coletados em estação meteorológica automática da FZEA/USP em Pirassununga/SP.

O balanço foi obtido por meio de planilha eletrônica (ROLIM; SENTELHAS; BARBIERI, 1998). Para os cálculos de evapotranspiração da cultura foram utilizados os índices de K_c desenvolvidos por Doorenbos e Kassan (1994), estimados para cada estágio de desenvolvimento da cultura. Seguindo citação feita por Otto (2007), substitui-se o K_c de 1,05 por 1,25, na fase de máximo crescimento da cana-de-açúcar, proposto por Allen et al. (1998) e confirmadas por Inman-Bamber e McGlinchey (2003).

4.2.7. Análise Estatística

As equações e os modelos de acúmulo de massa seca foram elaborados com o software SigmaPlot. Como critério de 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 ($p < 0,10$) pelo teste de t, bem como os modelos que melhor representaram o crescimento (OLIVEIRA, 2011).

Os valores encontrados para as demais variáveis estudadas foram submetidos à análise de variância utilizando o teste F, ao nível de 95% de confiança. Posteriormente, para as causas de variação significativas, foi aplicado o teste de comparação de médias de Tukey ($p < 0,05$). As análises estatísticas foram realizadas pelo software Sisvar (FERREIRA, 2000).

4.3. Resultados e Discussão

4.3.1. Balanço Hídrico Climatológico no ciclo da cana-planta

O balanço hídrico climatológico foi discutido anteriormente, no capítulo 2.

4.3.2. Acúmulo e teor de nitrogênio na parte aérea da cana-planta

O acúmulo de nitrogênio na parte aérea da cana-planta também ajustou-se a uma função logística, sigmoideal, assim como o encontrado por Oliveira (2011), independente das doses de nitrogênio e das densidades de plantio. O ciclo da cultura foi de 497 dias, dividindo-se os estádios de desenvolvimento em quatro fases, de acordo com Casagrande (1991), sendo essas o (i) plantio e perfilhamento, aqui caracterizado ainda com a fase de pegamento das mudas, o (ii) desenvolvimento lento, o (iii) desenvolvimento máximo e a (iv) maturação.

Os maiores acúmulos de N na colheita (Tabela 4.2) foram observados na densidade de 0,75 m entre plantas e na dose de 80 kg ha⁻¹ de N. O período de máximo acúmulo apresentou comportamento heterogêneo para as densidades e homogêneo para as doses de nitrogênio, sendo que nas densidades 0,25; 0,50 e 0,75 m entre plantas, o acúmulo máximo foi observado aos 130; 123 e 238 DAP, respectivamente, enquanto para as doses de nitrogênio, os acúmulos máximos foram observados aos 125, 139 e 130 DAP, para as doses de 40; 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente.

As taxas máximas de acúmulo de nitrogênio observadas para as densidades foram de 0,197; 0,195 e 0,075 g m⁻² dia⁻¹, nas densidades de 0,25; 0,50 e 0,75 m, e para as doses de N foram de 0,169; 0,163 e 0,201 g m⁻² dia⁻¹, nas doses de 40; 80 e 120 kg ha⁻¹ de N.

Tabela 4.2 - Produção de massa seca e acúmulo de nitrogênio parte aérea da cana-planta em função da densidade de plantio e da dose de nitrogênio. Santa Cruz das Palmeiras/SP. Período de janeiro 2014 a julho 2015

Massa seca da parte aérea						
Tratamentos	DAP					
Densidade (m entre plantas)	47 (Março/2014)	82 (Abril/2014)	145 (Junho/2014)	278 (Outubro/2014)	356 (Janeiro/2015)	497 (Junho/2015)
kg ha ⁻¹						
0,25	678	3.140	16.193	36.712	41.857	82.249
0,50	468	2.745	15.666	32.037	35.175	66.822
0,75	457	2.346	11.898	28.673	37.754	75.373

Acúmulo de Nitrogênio						
Tratamentos	DAP					
Dose de N (kg ha ⁻¹)	47 (Março/2014)	82 (Abril/2014)	145 (Junho/2014)	278 (Outubro/2014)	356 (Janeiro/2015)	497 (Junho/2015)
kg ha ⁻¹						
40	492	2.813	13.844	28.086	37.137	70.170
80	505	2.679	14.837	34.167	40.086	78.755
120	606	2.740	15.076	35.168	37.563	75.520

Acúmulo de Nitrogênio						
Tratamentos	DAP					
Densidade (m entre plantas)	47 (Março/2014)	82 (Abril/2014)	145 (Junho/2014)	278 (Outubro/2014)	356 (Janeiro/2015)	496 (Junho/2015)
kg ha ⁻¹						
0,25	13	40	153	226	238	265
0,50	09	35	147	181	199	239
0,75	09	31	122	158	228	275

Acúmulo de Nitrogênio						
Tratamentos	DAP					
Dose de N (kg ha ⁻¹)	47 (Março/2014)	82 (Abril/2014)	145 (Junho/2014)	278 (Outubro/2014)	356 (Janeiro/2015)	496 (Junho/2015)
kg ha ⁻¹						
40	10	37	138	162	205	241
80	10	35	132	203	217	270
120	12	35	152	200	243	268

O comportamento do acúmulo de nitrogênio, nas diferentes **densidades** de plantio, apresentou-se um tanto distinto para cada tratamento. A grande parte do acúmulo foi durante a primeira e a segunda fase de desenvolvimento da cana-planta.

Na densidade de 0,25 m, na primeira fase de desenvolvimento da cultura, foram acumulados 58,16 kg ha⁻¹ de N, com uma taxa de acúmulo médio de 0,061 g m⁻² dia⁻¹ e taxa máxima de 0,146 g m⁻² dia⁻¹. Na segunda fase, de desenvolvimento lento, observou-se um acúmulo de 183,95 kg ha⁻¹ de N,

com acúmulo médio de $0,10 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e taxa máxima de $0,203 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. O acúmulo nessas duas fases correspondeu a praticamente 99% do total acumulado no ciclo da cana de ano-e-meio.

Para a densidade de 0,50 m, o acúmulo total na primeira fase foi de 53 kg ha^{-1} de N, com uma taxa média de $0,056 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e máxima de $0,151 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, enquanto que na segunda fase o acúmulo total foi de $153,23 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, e as taxas média e máxima foram de $0,083$ e $0,209 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente.

Já na densidade de 0,75 m, o acúmulo de N ocorreu de forma diferenciada, sendo observado o acúmulo máximo por volta dos 238 DAP. Nesta densidade houve acúmulo de N na fase de máximo desenvolvimento da cultura, comportamento não apresentado pelas outras duas densidades. Na primeira fase, o acúmulo foi de $53,01 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, com taxa média de $0,056 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e máxima de $0,045 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Na segunda fase de o acúmulo foi de $123,22 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}^{-1}$, com taxa média de $0,067 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e máxima de $0,076 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. O acúmulo nessas duas fases correspondeu a 64% do total acumulado. Já no decorrer da terceira fase, a de máximo desenvolvimento da cultura, foi observado um acúmulo de $88,72 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, com taxa média de $0,049 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e máxima de $0,073 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, sendo o nitrogênio acumulado nesta fase correspondente a 32% do total acumulado pela cultura. Observou-se acúmulo até durante a fase de maturação, com um total de $7,77 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, correspondente a 2,81% do total acumulado.

Esse comportamento pode ser elucidado relacionando o acúmulo do nutriente, que é função do acúmulo de massa seca e do teor do nutriente na planta, com a exigência do nutriente para o crescimento e desenvolvimento da planta.

Na Tabela 4.2, nota-se que a densidade 0,75 m apresentou um maior crescimento nas fases de máximo desenvolvimento e de maturação, em relação às outras duas densidades. Na fase de máximo desenvolvimento da cana-planta, na densidade de 0,25 m o acúmulo foi em torno de $42.000 \text{ kg ha}^{-1}$; na de 0,50 m foi de $33.000 \text{ kg ha}^{-1}$ e na de 0,75 m foi de $41.200 \text{ kg ha}^{-1}$, enquanto que na fase de maturação, o acúmulo de massa seca foi de 8.600 kg ha^{-1} na densidade de 0,25 m; 6.200 kg ha^{-1} na densidade de 0,50 m, e de 8.800 kg ha^{-1} na densidade de 0,75 m. Esses acúmulos corresponderam a 63; 60 e 67% do acúmulo total de massa seca para as densidades de 0,25; 0,50 e 0,75 m entre plantas, respectivamente.

Esse maior acúmulo de massa seca evidencia uma maior exigência e acúmulo de nitrogênio, pois o N é parte constituinte de aminoácidos, proteínas e também atua fortemente no processo de fixação de carbono nas plantas (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

Nas duas primeiras fases de desenvolvimento, a densidade 0,75 m apresentou um acúmulo de massa seca 11% e 19,5% inferior, em relação às densidades 0,25 e 0,50 m, respectivamente. Porém, ao entrar na fase de máximo desenvolvimento da cultura, como a competição intrapopulacional era menor na densidade 0,75 m, as plantas puderam se desenvolver com maior vigor, em relação aos demais tratamentos.

Garside e Bell (2009) concluíram que mesmo modificando o arranjo espacial da cultura, permaneceu-se o seu potencial produtivo, demonstrando a capacidade compensatória existente na cana-de-açúcar de adequar o número e o peso dos colmos como um meio de manter sua produtividade em diferentes configurações de espaçamento e densidades de plantio.

Ao analisar o acúmulo de nitrogênio em função das doses de N estudadas, observou-se um comportamento mais homogêneo, com a taxa máxima ocorrendo por volta dos 130 DAP e 99% do acúmulo, em relação ao acúmulo máximo durante o ciclo da cana-planta, ocorrendo entre a primeira e a segunda fase desenvolvimento, independente da dose testada.

Na dose de 40 kg ha⁻¹ de N, na primeira fase de desenvolvimento, o acúmulo de N foi de 53,56 kg ha⁻¹ de N, com uma taxa média de 0,056 g m⁻² dia⁻¹ e máxima de 0,134 g m⁻² dia⁻¹. Na segunda fase de desenvolvimento, o acúmulo foi de 148,86 kg ha⁻¹ de N, com taxa média de 0,81 g m⁻² dia⁻¹ e média de 0,174 g m⁻² dia⁻¹.

Para a dose de 80 kg ha⁻¹ de N, o acúmulo de N na primeira fase foi de 51,39 kg ha⁻¹ de N, com taxa média de 0,054 g m⁻² dia⁻¹ e máxima de 0,115 g m⁻² dia⁻¹. No decorrer da segunda fase foi constatado um acúmulo de 176,76 kg ha⁻¹ de N, com uma taxa média de 0,096 g m⁻² dia⁻¹ e máxima de 0,168 g m⁻² dia⁻¹.

O acúmulo máximo de N observado na primeira fase de desenvolvimento da cultura, na dose de 120 kg ha⁻¹ de N, foi de 54,43 kg ha⁻¹ de N, com uma taxa média de 0,057 g m⁻² dia⁻¹ e uma máxima de 0,145 g m⁻² dia⁻¹, enquanto que na segunda fase, de crescimento lento, foi observado um acúmulo de 182,53 kg ha⁻¹ de N, com taxa média de 0,099 g m⁻² dia⁻¹ e máxima de 0,208 g m⁻² dia⁻¹.

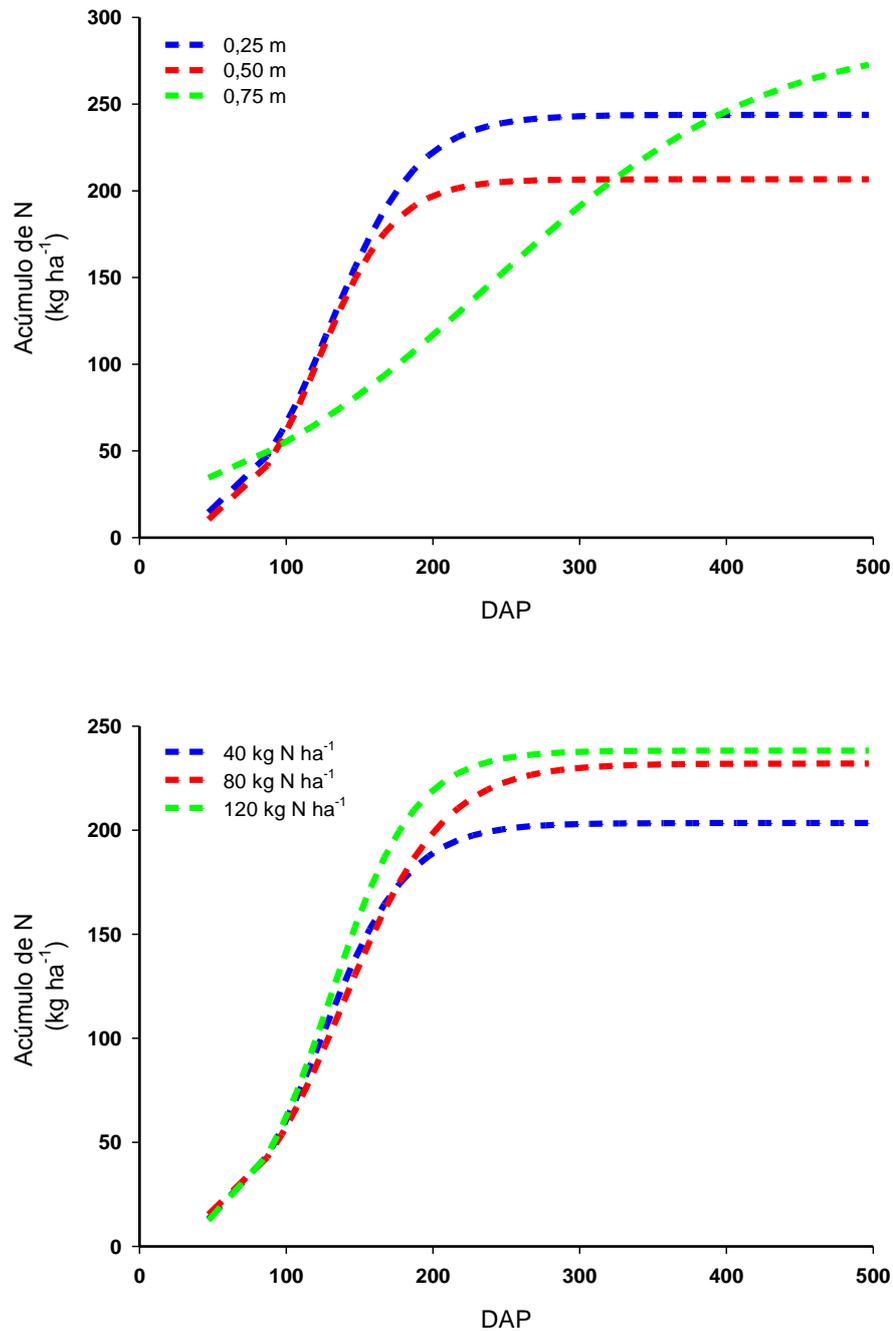


Figura 4.1 - Acúmulo de nitrogênio (N) da parte aérea no ciclo da cana-planta em função da densidade de plantio (metros entre plantas) e da dose de nitrogênio. Ajuste da função logística. Santa Cruz das Palmeiras/SP. Período de janeiro 2014 a julho 2015

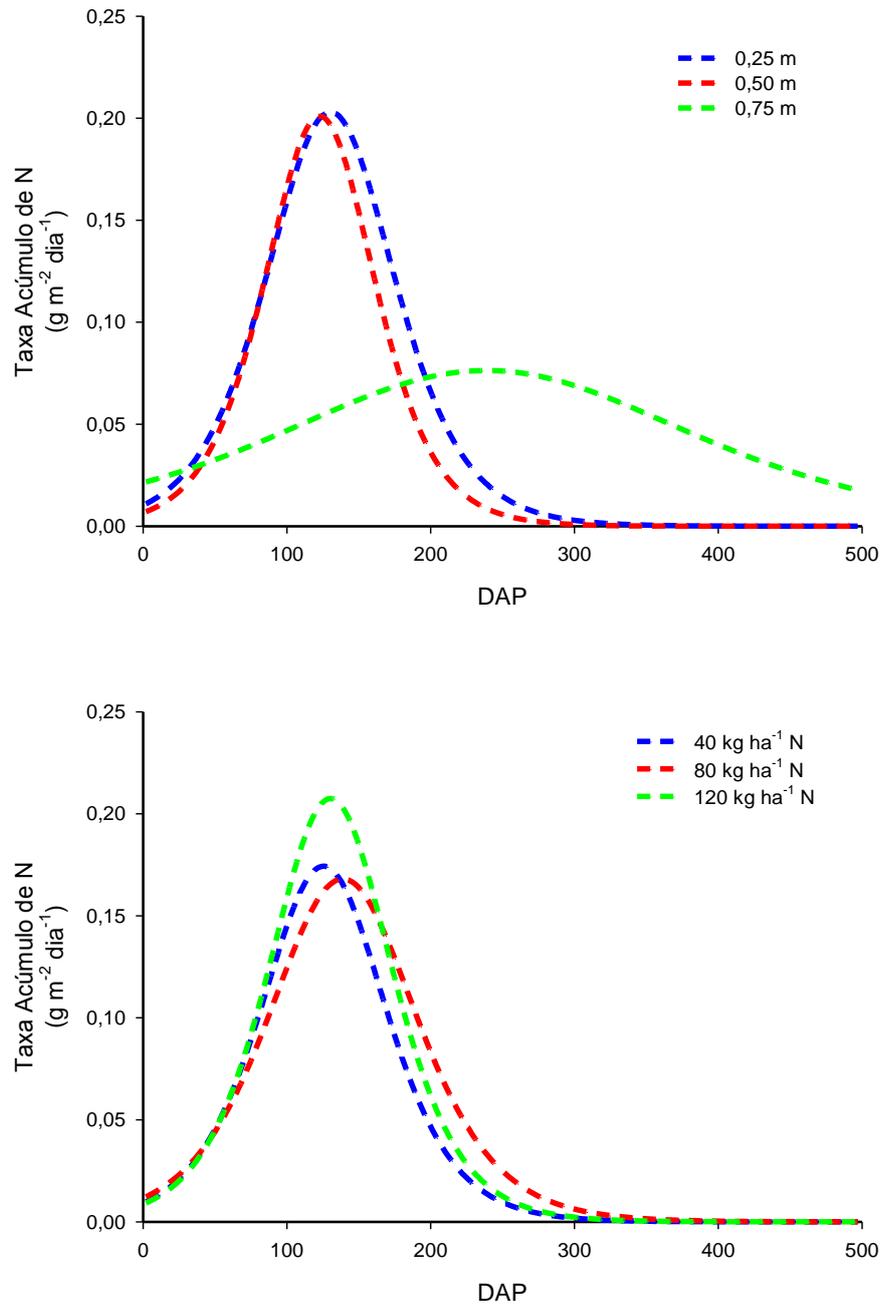


Figura 4.2 - Taxa de Acúmulo de Nitrogênio (TAN) da parte aérea no ciclo da cana-planta em função da densidade de plantio (metros entre plantas) e da dose de nitrogênio. Ajuste da função gaussiana. Santa Cruz das Palmeiras/SP. Período de janeiro 2014 a julho 2015

Na colheita da cana-planta não foram observadas diferenças estatísticas para as densidades de plantio utilizadas, nem para as doses de N, para o acúmulo de N na parte aérea das plantas.

Tabela 4.3 - Acúmulo de nitrogênio na parte aérea na colheita da cana-planta em função da densidade de plantio e da dose de nitrogênio. Santa Cruz das Palmeiras/SP. Período de janeiro 2014 a julho 2015

Doses de N (kg ha ⁻¹)	Acúmulo de Nitrogênio			
	Densidade (m entre plantas)			
	0,25	0,50	0,75	Média
	kg ha ⁻¹			
40	255 Aa	182 Aa	286 Aa	241 a
80	297 Aa	242 Aa	270 Aa	270 a
120	242 Aa	294 Aa	269 Aa	268 a
Média	265 A	239 A	275 A	

Médias seguidas de uma mesma letra indicam que não houve diferença significativa, ao nível de 5% de significância pelo teste Tukey. Letras maiúsculas nas colunas e letras minúsculas nas linhas.

Otto (2007), Franco (2008) e Oliveira (2011) observaram aumento do acúmulo de N em relação à adubação nitrogenada, onde maiores doses de N resultaram em maiores acúmulos, assim como o constatado neste estudo. Franco (2008) obteve maior acúmulo na dose de 80 kg ha⁻¹ de N. Korndörfer et al. (1997) encontraram relação direta entre o acúmulo de N na parte aérea da cana-planta com a dose de N utilizada.

Oliveira (2011), em diferentes tipos de solo, verificou-se que as extrações iniciais na cana-planta ocorreram entre os 138; 112 e 101 DAP, com acúmulo médio de 25 kg ha⁻¹, para o Latossolo Vermelho eutrófico (LVe), Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico (LVAe) e Latossolo Vermelho distrófico (LVd), observando-se também que o acúmulo de N antecipou-se com a adubação nitrogenada.

Oliveira (2011) relata ainda uma maior extração de N no decorrer da segunda fase de desenvolvimento da cultura (considerada neste estudo como a fase de desenvolvimento lento junto a fase de máximo desenvolvimento), sendo observada na cana-planta acúmulos de 184 kg ha⁻¹ de N, ocorrendo entre 138 e 317 DAP, no LVe; acúmulo de 136 kg ha⁻¹, entre 112 e 421 DAP, no LVAe; e acúmulo de 153 kg ha⁻¹ de N, entre os 101 e 325 DAP, no LVd. Na segunda fase de desenvolvimento, o autor observou que a adubação nitrogenada influi positivamente no acúmulo de N, sendo que na dose de 120 kg ha⁻¹ de N, nos LVAe e LVe, ocorreu incremento no acúmulo de N da ordem de 58 kg ha⁻¹ em relação as parcelas não fertilizadas, e no LVd a dose de 80 kg ha⁻¹ de N foi a que proporcionou um maior incremento, com um aumento de 16 kg ha⁻¹ no acúmulo de N em relação as parcelas não fertilizadas.

Com relação às taxas de acúmulo de N, Oliveira (2011), no decorrer da segunda fase de desenvolvimento, observou no ciclo da cana-planta que a taxa máxima de acúmulo de N ocorre antes da taxa máxima de acúmulo de MS. A maior taxa máxima de acúmulo de N foi encontrada no LVe, aos 227 DAP, com valor médio de $0,134 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, enquanto que para os solos LVAe e LVd os acúmulos máximos ocorreram aos 267 e 213 DAP, com valores médios de 0,0578 e $0,0905 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente, valores esse inferiores aos encontrados neste estudo.

Leite (2011) estudando o acúmulo de N em relação a diferentes fontes deste elemento, na cana soca, encontrou diferença para o acúmulo na parte aérea, em um LVe, na primeira amostragem realizada aos 25 dias após a adubação, para o nitrato de amônio, observando acúmulo de $62,1 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, enquanto que para o cloreto de amônio o acúmulo constatado foi de $31,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de N. Na segunda amostragem, os valores de N acumulados passaram em média de 45 kg ha^{-1} para 112 kg ha^{-1} , ou seja, em um mês a cana-de-açúcar acumulou mais de 60 kg ha^{-1} de N, evidenciando-se com este fato que a cultura antecipou o acúmulo de N em relação a fase de máximo desenvolvimento da parte aérea (TRIVELIN, 2000; GAVA et al., 2001; OLVEIRA, 2011).

Oliveira (2011) relata que no final da fase de máximo desenvolvimento e na fase de maturação o acúmulo de N correspondeu a 10% do total extraído pela cultura. Observou-se que, nos solos LVe e LVd, o acúmulo foi de 30 kg ha^{-1} , durante 206 dias, e 19 kg ha^{-1} , durante 134 dias, respectivamente. No LVAe, o acúmulo foi de 11 kg ha^{-1} , ocorrido durante um período de 47 dias.

Assim como o observado por Franco (2008), constatou-se neste estudo que as quantidades de N extraídas pela cana-planta, em todos os tratamentos, foram expressivamente superiores as doses de N aplicadas. Com isto, pode-se deduzir que a maior parte do N absorvido pela planta foi proveniente de outras fontes, podendo-se destacar a mineralização da matéria orgânica do solo e dos resíduos culturais (SAMPAIO et al., 1995; FRANCO, 2008).

Franco (2008) quantificou a distribuição do N na planta em experimento realizado em Pirassununga, sendo que 46% do N extraído foi alocado nos colmos; 24% nos ponteiros; 13% nas folhas secas; 9% nos rizomas; e 6% nas raízes. A parte aérea da cana-planta extraiu 84% do N total, sendo que 55% do N foi alocado nos colmos, 29% nos ponteiros e 16% nas folhas secas. Como neste experimento a

colheita foi realizada sem despalha a fogo, conservou-se 40% do N total extraído pela cultura (70 kg ha^{-1} de N, na média dos tratamentos), que seriam perdidos, em grande maioria, para a atmosfera na forma de NO_x , mediante a altas temperaturas da despalha realizado com fogo.

A necessidade de nitrogênio para produção de 01 TCH (Tabela 4.4) não apresentou diferença estatística nem para densidade de plantio, nem para dose de nitrogênio. Para a densidade de 0,25 m entre plantas, foram necessários 1,19 kg de N para produzir 01 TCH; na densidade de 0,50 m essa necessidade foi de 1,22 kg de N para 01 TCH; e na densidade de 0,75 m foi de 1,38 kg N para 01 TCH. Para as doses de nitrogênio, na dose de 40 kg ha^{-1} de N foram necessários 1,27 kg de N; na dose de 80 kg ha^{-1} foram necessários 1,24 kg de N; e na dose de 120 kg ha^{-1} , 1,27 kg de N para produzir 01 TCH.

Tabela 4.4 – Relação nitrogênio e produtividade (kg N/ 1 TCH) em função da densidade de plantio e da dose de nitrogênio. Santa Cruz das Palmeiras/SP. Período de janeiro 2014 a julho 2015

Relação nitrogênio e produtividade (kg N/ 1 TCH)				
Doses de N (kg ha^{-1})	Densidade (m entre plantas)			Média
	0,25	0,50	0,75	
	kg ha^{-1}			
40	1,31 Aa	1,05 Aa	1,41 Aa	1,27 a
80	1,18 Aa	1,14 Aa	1,45 Aa	1,24 a
120	1,10 Aa	1,46 Aa	1,27 Aa	1,27 a
Média	1,19 A	1,22 A	1,38 A	

Médias seguidas de uma mesma letra indicam que não houve diferença significativa, ao nível de 5% de significância pelo teste Tukey. Letras maiúsculas nas colunas e letras minúsculas nas linhas.

Korndörfer et al. (1997) para o N acumulado na parte aérea da cana-planta, constataram média de 1,4 kg de N para produção de 01 TCH, para as cultivares RB72 454, SP70 1143, SP71 1406 e SP71 6163. Coleti et al. (2006) relataram a necessidade de 1,4 kg de N para produção de 01 TCH da variedade SP81 3250 e 1,2 kg de N para produção de 01 TCH da variedade RB83 5486. Bologna-Campbell (2007) estudando adubação nitrogenada com a variedade SP80 3280, na cana-planta, em experimento realizado em vasos, encontrou uma necessidade de 0,8 kg de N para produção de 01 TCH, na parte aérea, e de 0,9 kg de N para produção de 01 TCH, na planta toda. Franco (2008) encontrou em dois experimentos as necessidades de 1,05 e 1,10 kg de N para produção de 01 TCH.

A concentração de N na cana-planta (Tabela 4.5) apresentou-se numa função exponencial decrescente, sendo de 19,64 g kg⁻¹, em uma produção de 678 kg ha⁻¹ de MS, na densidade de 0,25 m; de 19,33 g N kg⁻¹, em 468 kg ha⁻¹ de MS, na densidade de 0,50 m; e de 19,88 g kg⁻¹, em 457 kg ha⁻¹ de MS, na densidade de 0,75 m. Para as doses de N, inicialmente, esses teores foram de 19,92 g kg⁻¹, em 492 kg ha⁻¹ de MS na dose de 40 kg ha⁻¹ de N; de 19,58 g kg⁻¹ para 505 kg ha⁻¹ de MS, na dose de 80 kg ha⁻¹, e de 19,36 g kg⁻¹ para 606 kg ha⁻¹ de MS, na dose de 120 kg ha⁻¹.

Tabela 4.5 – Teores de nitrogênio na parte aérea da cana-planta em função da densidade de plantio e da dose de nitrogênio. Santa Cruz das Palmeiras/SP. Período de janeiro 2014 a julho 2015

Teor de Nitrogênio						
Tratamentos	DAP					
Densidade	47	82	145	278	356	496
(m entre plantas)	(Março/2014)	(Abril/2014)	(Junho/2014)	(Outubro/2014)	(Janeiro/2015)	(Junho/2015)
	g kg ⁻¹					
0,25	19,64	12,80	09,42	06,19	05,68	03,22
0,50	19,33	12,90	09,38	05,64	05,62	03,57
0,75	19,88	13,46	10,23	05,50	06,01	03,59
Dose de N	47	82	145	278	356	496
(kg ha ⁻¹)	(Março/2014)	(Abril/2014)	(Junho/2014)	(Outubro/2014)	(Janeiro/2015)	(Junho/2015)
	g kg ⁻¹					
40	19,92	13,28	10,00	05,79	05,43	03,39
80	19,58	13,08	08,96	05,92	05,39	03,42
120	19,36	12,80	10,08	05,62	06,49	03,57

As concentrações de N no final do ciclo da cana-planta de ano e meio não diferiram estatisticamente, nem para as densidades de plantio, nem para as doses de N (Tabela 4.6).

Tabela 4.6 – Teor de nitrogênio na parte aérea na colheita da cana-planta em função da densidade de plantio e da dose de nitrogênio. Santa Cruz das Palmeiras/SP. Período de janeiro 2014 a julho 2015

Teor de Nitrogênio				
Doses de N (kg ha⁻¹)	Densidade (m entre plantas)			Média
	0,25	0,5	0,75	
	g kg⁻¹			
40	3,33 Aa	3,36 Aa	3,46 Aa	3,38 a
80	3,23 Aa	3,33 Aa	3,70 Aa	3,42 a
120	3,10 Aa	4,00 Aa	3,60 Aa	3,56 a
Média	3,22 A	3,56 A	3,58 A	

Médias seguidas de uma mesma letra indicam que não houve diferença significativa, ao nível de 5% de significância pelo teste Tukey. Letras maiúsculas nas colunas e letras minúsculas nas linhas.

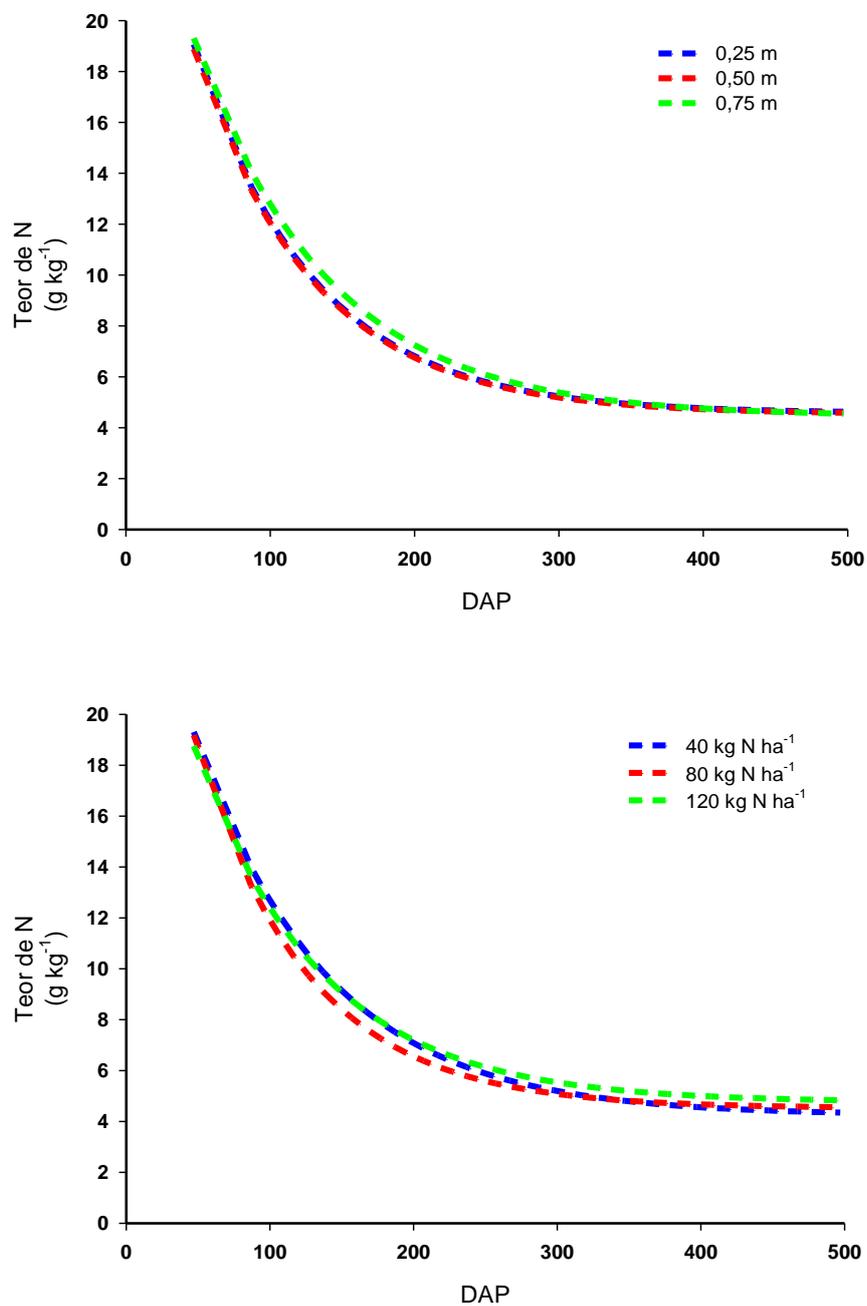


Figura 4.3 – Concentração de nitrogênio na parte aérea no ciclo da cana-planta em função da densidade de plantio e da dose de nitrogênio. Ajuste da função exponencial. Santa Cruz das Palmeiras/SP. Período de janeiro 2014 a julho 2015

Oliveira (2011) observou decréscimo da concentração de N na parte aérea da cana-de-açúcar durante o crescimento da cultura, sem que houvesse, de modo geral, diferença nos valores entre os tratamentos empregados. As maiores concentrações na fase inicial de crescimento da cana-planta foram encontrados no solo LVAe, com valor de $13,2 \text{ g kg}^{-1}$ para produção de MS de $2,24 \text{ t ha}^{-1}$. No final do ciclo, as menores concentrações foram constatadas nos solos LVe, com valor de $2,7 \text{ g kg}^{-1}$, na massa de MS de $63,9 \text{ t ha}^{-1}$.

Segundo Greenwood et al. (1991) explicasse a diluição do N nos tecidos da parte aérea com o aumento da fitomossa pelo fato do N não estar envolvido apenas em processos metabólicos associados ao crescimento e fotossíntese, mas também por fazer parte dos tecidos de armazenagem e estruturais, que contém baixa concentração de N e aumentam a sua proporção com o decorrer do desenvolvimento da cultura.

Nos estádios iniciais de crescimento das plantas, o desenvolvimento foliar e a taxa elevada de fotossíntese requerem maiores quantidade de N, que com uma maior disponibilidade do nutriente no solo, eleva sua concentração nos tecidos. Posteriormente, durante o ciclo da planta, a relação existente entre as folhas e colmo decresce, sendo concomitante o incremento de celulose e lignina nas células dos tecidos mais velhos do caule, como também a redução simultânea da concentração de proteínas, o que resulta na diminuição da concentração de N (MARINO et al., 2004; LAMEIRE et al., 1992).

Justes et al. (1994) relatam que os processos de senescência e queda das folhas velhas ocorrem ao longo do desenvolvimento da planta e promovem a remobilização do N para outros pontos de crescimento da planta, reduzindo assim, a necessidade de N para a produção de massa seca da parte aérea nos estádios mais avançados de crescimento.

Lemaire et al. (1991) citam o sombreamento das folhas mais velhas por aquelas localizadas na seção superior do dossel durante o crescimento como outro fator relevante, onde geralmente concentrações menores de N serão observadas nas folhas mais velhas, quando comparadas às mais novas, que se mostram mais ricas em proteínas.

De acordo com Gastal e Lemaire (2002), o teor de N nos tecidos vegetais resulta da interação de diversos fatores, entre eles, a disponibilidade natural do nutriente no solo e a adubação nitrogenada, que podem levar a faixas de concentrações que se estendem de deficientes a excessivo, ou até mesmos tóxicos. Sugere-se com isso que, para condições de adequado suprimento de N, a produção de biomassa é fator determinante da quantidade de N absorvida, contudo, a relação entre o aumento na concentração de N nos tecidos da parte aérea com a biomassa produzida, é considerada não linear, ou seja, a absorção excessiva de N promove aumento de sua concentração nos tecidos, porém sem incrementos significativos, ou mesmo, com queda de produção.

4.4. Conclusões

1. O maior acúmulo de massa seca pela cana-planta foi observado quando a evapotranspiração real da cultura assemelhou-se a evapotranspiração potencial, ocorrendo neste estudo entre os meses de novembro a maio;
2. O acúmulo de N apresentou-se de forma sigmóide, não sendo observadas influência das densidades de plantio e das doses de nitrogênio no acúmulo pela cana-planta;
3. As taxas máximas de acúmulo de N foram observadas antes do início da fase de máximo desenvolvimento da cultura, para as densidades 0,25 e 0,50 m, e para todas as doses de N no plantio;
4. A necessidade nitrogênio média para produção de 01 TCH foi de 1,26 kg de N, independente das densidades e das doses de N no plantio;
5. A concentração de N na cana-planta apresentou-se de forma exponencial, decrescendo a medida em que ocorria o desenvolvimento da cultura e aumentava-se o acúmulo de biomassa.

Referências

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

BERNARDES, M. S.; BELARDO, G. C. Espaços de plantio: Espaços para a cultura da cana-de-açúcar. In: BELARDO, G. C.; CASSIA, M. T.; SILVA, R. P. **Processos agrícolas e mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: Editora SBEA, 2015. p. 243-258.

BERNARDES, M. S. Fotossíntese no dossel das plantas cultivadas. In: CASTRO, P. R. C. C.; FERREIRA, S. O.; YAMANDA, T. **Ecofisiologia das plantas cultivadas**. Piracicaba: POTAFOS, 1987. p. 13-48.

BOLOGNA-CAMPBELL, I. **Balanço de nitrogênio e enxofre no sistema solo-cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta**. 2007. 112 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

CANTARELLA, H.; TRIVELLIN, 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: International Plant Nutrition Institute, 2007. p. 355-413.

CASAGRANDE, A. A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 157p.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFMSG. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação**. Viçosa, MG, 1999. 359 p.

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.

COLETE, J. T.; CASAGRANDE, J. C.; STUPIELLO, J. J.; RIBEIRO, L. D.; OLIVEIRA, G. R. Remoção de macronutrientes pela cana-planta e cana-soca em Argissolo, variedades RB83 5486 e SP81 3250. **STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 24, n. 5, p. 32-36, 2006.

COLETI, J. T.; CASAGRANDE, J. C.; STUPIELLO, J. J.; RIBEIRO, L. O.; OLIVERIA, G. R. Remoção de macronutrientes pela cana-planta e cana-soca em Argissolos, variedade RB83 5486 e SP81 3250. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 8., 2002, Recife. **Anais...** Recife: STAB, 2002. p. 316-321.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p. (FAO Estudos de Irrigação e Drenagem, 33).

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. ampl. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353 p.

ESPIRONELLO, A.; van RAIJ, B.; PENATTI, C. P.; CANTARELLA, H.; MORELLI, J. L.; ORLANDO FILHO, J.; LANDELL, M. G. A.; ROSSETTO, R. Cana-de-açúcar. In: van RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. rev. Campinas: Instituto Agronômico, 1997. p. 237-239.

FERREIRA, D. F. **Manual do sistema SISVAR para análises estatísticas**. Lavras: UFLA, 2000. 69 p.

FRANCO, H. C. J. **Eficiência agronômica da adubação nitrogenada de cana-planta**. 2008. 127 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

GARSDALE, A. L.; BELL, M. J. Row spacing and planting density effect on the growth and yield of sugarcane: 3. Responses with different cultivars. **Crop and Pasture Science**, Collingwood, v. 60, p. 555-565, 2009.

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

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, DF, v. 36, p. 1347-1354, 2001.

GAVA, G. J. C.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; OLIVEIRA, M. W. Recuperação do nitrogênio (^{15}N) da uréia e da palhada por soqueira de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 621-630, 2003.

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

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MOLLER, S. I.; WHITE, P. Functions of macronutrients. In: MARSCHNER, P. (Ed.). **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. NewYork: Elsevier, 2012. cap. 6, p. 135-189.

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 Crop Research**, Amsterdam, v. 83, p. 125-138, 2003.

INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, p. 185-202, 2005.

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

KÖPPEN, W. **Climatologia**: con um estúdio de los climas de la Tierra. México, DF: Fondo de Cultura Economica, 1948. 478 p.

KORNDÖRFER, G. H.; VALLE, M. R.; MARTINS, M.; TRIVELIN, P. C. O. Aproveitamento do nitrogênio da ureia pela cana-planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 1, p. 23-26, 1997.

LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P.; FIGUEIREDO, P.; XAVIER, M. A.; ANJOS, I. A.; DINARDO-MIRANDA, L. L.; SCARPARI, M. S.; GARCIA, J. C.; BIDÓIA, M. A. P.; SILVA, D. N.; MENDONÇA, J. R.; KANTHACK, R. A. D.; CAMPOS, M. F.; BRANCALIÃO, S. R.; PETRI, R. H.; MIGUEL, P. E. M. **Sistema de multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas**. Campinas: IAC, 2012. 16 p. (Documentos, 109).

LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P.; FIGUEIREDO, P.; XAVIER, M. A.; VASCONCELOS, A. C. M.; BIDOIA, M. A.; SILVA, D. N.; ANJOS, I. A.; PRADO, H.; PINTO, L. R.; SOUZA, S. A. C. D.; SCARPARI, M. S.; ROSA JÚNIOR, V. E.; IRANDA, L. L. D.; AZANIA, C. A. M.; PERECIN, D.; ROSSETTO, R.; SILVA, M. A.; MARTINS, A. L. M.; GALLO, P.; KANTHACK, R. A. D.; CAVICHIOLI, J. C.; VEIGA FILHO, A. A.; MENDONÇA, J. R.; DIAS, F. L. F.; GARCIA, J. C. **Variedades de cana-de-açúcar para o Centro-Sul do Brasil: 16ª. liberação do Programa Cana IAC (1959-2007)**. Campinas: IAC, 2007. 37 p. (Boletim Técnico, 201).

LANDELL, M. G. A.; XAVIER, M. A.; GARCIA, J. C.; PRADO, H.; AZANIA, C. A. M.; SCARPARI, M. S.; ANJOS, I. A.; SILVA, D. N.; BIDÓIA, M. A. P.; BRANCALIÃO, S. R.; ROSSETTO, R.; VITTI, A. C. Cana-de-açúcar. In: AGUIAR, A. T. E.; GONÇALVES, C.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; TUCCI, M. L. S.; CASTRO, C. E. F. **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. 7. ed. Campinas: IAC, 2014. p. 106-113. (Boletim, 200).

LEITE, J. M. **Acúmulo de fitomassa e de macronutrientes da cana-de-açúcar relacionadas ao uso de fontes de nitrogênio**. 2011. 90 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

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.

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

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

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

MARINO, M. A.; MAZZANTI, A.; ASSUERO, S. G.; GASTAL, F.; ECHEVERRIA, 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.

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

ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO JUNIOR, E. Influência da adubação NPK nas qualidades tecnológicas da cana-planta, variedade CB41-76. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 96, p. 37-44, 1980.

OTTO, R. **Desenvolvimento de raízes e produtividade de cana-de-açúcar relacionados à adubação nitrogenada**. 2007. 119 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

OTTO, R. **Desenvolvimento radicular e produtividade da cana-de-açúcar relacionados à mineralização do N do solo e à adubação nitrogenada**. 2012. 118 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

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, p. 133-137, 1998.

ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F.; VITTI, A. C.; CANTARELLA, H.; LANDELL, M. G. A. Manejo conservacionista e reciclagem de nutrientes em cana-de-açúcar tendo em vista a colheita mecânica. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 124, p. 8-13, 2008.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H.; SILVA, V. M.; ALVES, G. D. Capacidade de suprimento de nitrogênio e resposta à fertilização de vinte solos de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 19, p. 269-279, 1995.

SARTORI, R. H. **Eficiência do uso de nitrogênio e enxofre pela cana-de-açúcar (primeira e segunda rebrota) em sistema conservacionista (sem queima).** 2010. 110 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

TRIVELIN, P. C. O. **Utilização do nitrogênio pela cana-de-açúcar: três casos estudados com o uso do traçador ^{15}N .** 2000. 143 p. Tese (Livre Docência) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

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

VITTI, A. C.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; ROSSETTO, R. Nitrogênio. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar.** Campinas: IAC, 2010. p. 230-270.

ZANINE, A. M.; SANTOS, E. M. Competição entre espécies de plantas: uma revisão. **Revista da FZVA**, Uruguaiana, v. 11, n. 1, p. 10-30, 2004.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na maioria dos estudos de adubação nitrogenada na cultura de cana-de-açúcar tem se observado baixa resposta na cana-planta, enquanto que para cana-soca, ao contrario, tem sido frequente a ocorrência de resposta na produção de colmo.

Franco (2008) elucidou a questão da MOS como principal aporte de N à cana-planta, onde a menor resposta à adubação nitrogenada é devido à maior reserva de N no solo disponível para a cultura. Com a reforma do canavial, as operações de preparo do solo aumentariam a aeração do mesmo, facilitando a mineralização da matéria orgânica incorporada, tal como raízes e outros restos de cultura, propiciando, assim, a entrada de N adicional ao solo.

Cantarella et al. (2007) relatam que o nitrogênio apresenta uma dinâmica muito intensa no sistema solo-planta-atmosfera, fazendo com que as respostas da cana-de-açúcar a esse nutriente apresentem grande variabilidade, aliado ao fato da inexistência de qualquer tipo de análise de solo que auxilie os técnicos na definição da dose de nitrogênio a aplicar no plantio da cana-de-açúcar. Aliado a isso, o grande número de cultivares existentes, tipos de solo, épocas de plantio, regimes hídricos, modalidades de aplicação do fertilizante e outras estratégias relacionadas sucroalcooleiro dificultam a decisão sobre a fertilização nitrogenada dos canaviais.

De acordo com os autores, o elevado erro experimental, por vezes associado a ensaios de adubação feitos a campo, tem feito com que estudos com pequenas respostas em produção, em razão da adubação nitrogenada, não atinjam significância estatística, conduzindo muitos técnicos a considerar que a cana-planta pode dispensar a aplicação deste nutriente. Porém, quando dados de grupos de ensaios são avaliados em conjunto, emerge um cenário diferente.

Penatti e Cantarella (*apud* CANTARELLA et al., 2007) analisaram os dados reunidos de 74 experimentos e observaram que a maioria desses ensaios não apresentava resposta significativa à adubação nitrogenada, quando analisados individualmente, mas, quando analisados em conjunto, mostraram uma clara tendência de resposta, com dose mais econômica a de 75 kg ha⁻¹ de N.

Este comportamento também foi encontrado por Marinho e Barbosa (1996), ao analisarem os dados de 141 experimentos conduzidos na região Nordeste brasileira, os quais, no conjunto, apresentaram resposta significativa a N, embora isso nem sempre fosse verdadeiro para ensaios avaliados isoladamente. A mesma tendência ocorreu com Zambello e Azeredo (1983) ao analisarem 38 ensaios de campos, dos quais 31 tiveram aumento de produção de colmos em função da aplicação de 60 kg ha^{-1} de N, embora nem todas as respostas fossem estatisticamente significativas. Esses resultados indicam que não é recomendável suprimir a adubação nitrogenada em cana-planta, principalmente em solos arenosos.

Quando se fala de resposta a nitrogênio, vale observar o comportamento de outras *poaceae*, principalmente as forrageiras, tais como as braquiárias e os *Panicum*. Corsi et al. (2000) observaram resposta alta e linear de até 600 kg ha^{-1} N, para braquiária. Malavolta et al. (1974) afirmam que o potencial e respostas das pastagens tropicais é da ordem de 1.600 kg ha^{-1} de N, embora a eficiência de utilização seja reduzida a partir de 300 kg ha^{-1} N. Atualmente, em sistemas mais intensivos de produção, as adubações nitrogenadas situam-se entre 150 a 250 kg ha^{-1} de N.

Quanto às fontes de N, assunto não abordado neste trabalho, mas que deve ser levado em consideração em novos estudos, pesquisas recentes revelam a preferência da cana-de-açúcar pela absorção de amônio, em detrimento as demais formas de N mineral presentes no solo (ROBINSON et al., 2011).

Bernardes e Belardo (2015) concluíram que espaçamentos reduzidos tem uma tendência de ter uma produtividade maior quando não considerados fatores externos de manejo e influência de mecanização, esses resultados foram obtidos em áreas experimentais e ou modelagens matemáticas. Os autores ressaltam que ocorre uma produtividade ótima de equilíbrio no espaçamento simples de $1,20 \text{ m}$ (diferenças pequenas para espaçamentos menores e significativas para maiores). Esse espaçamento deveria ser melhor avaliado nos sistemas de produção atuais considerando-se o manejo e aplicação de mecanização do plantio a colheita. Os espaçamentos reduzidos apresentam vantagem de maior produtividade em cana-planta, pois há melhor tolerância a restrições do ambiente, menor incidência de competição com plantas daninhas, mas apresentam restrições à colheita mecanizada.

Observou-se, no presente trabalho, que a resposta da cana-planta a adubação nitrogenada ainda não está esclarecida, embora tenha havido uma tendência de maior produtividade quando se analisa o comportamento da planta numa visão macro, nos trabalhos realizados a campo.

Neste estudo, não se observou também resposta significativa da influência das densidades, nem das doses de N, em relação às variáveis analisadas, entretanto, as maiores densidades populacionais promoveram os maiores acúmulos de MS e de N. Com isso, conclui-se que, nem as densidades e nem as doses de N estudadas foram capazes de alterar o comportamento da cana-de-açúcar. Levanta-se, portanto, o questionamento: (i) Seriam as atuais densidades populacionais da cana-de-açúcar o fator responsável pela não observação de resposta à adubação nitrogenada de plantio? (ii) um aumento populacional promoveria uma resposta à adubação nitrogenada pela cana-planta? (iii) As fontes de N atuais, utilizadas nas adubações, favorecem a nutrição da cana-de-açúcar?

Referências

BERNARDES, M. S.; BELARDO, G. C. Espaçamentos de plantio: Espaçamentos para a cultura da cana-de-açúcar. In: BELARDO, G. C.; CASSIA, M. T.; SILVA, R. P. **Processos agrícolas e mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: Editora SBEA, 2015. p. 243-258.

CANTARELLA, H.; TRIVELLIN, 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: International Plant Nutrition Institute, 2007. p. 355-413.

CORSI, M.; MENEZES, M. J. T.; GOULART, R. C. D. Manejo do pastejo para altas taxas de lotação. In: SIMPÓSIO GOIANO SOBRE MANEJO E NUTRIÇÃO DE BOVINOS DE CORTE E LEITE, 6., 2004, Goiânia. **Anais...** Goiânia: CBNA, 2004. p. 299-321.

FRANCO, H. C. J. **Eficiência agrônômica da adubação nitrogenada de cana-planta**. 2008. 127 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

MALAVOLTA, E.; HAAG, H. P.; MELLO, F. F.; BRASIL SOBRINHO, M. C. **Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas**. São Paulo: Livraria Pioneira. 1974. 727 p.

MARINHO, M. L.; BARBOSA, G. V. S. Adubação nitrogenada da cana-planta na região Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, Maceió, 1996. **Anais...** Maceió: STAB, 1996. p. 455-460.

ROBINSON, N.; BRACKIN, R.; VINALL, K.; SOPER, F.; HOLST, J.; GAMAGE, H.; PAUNGFUO-LONHIENNE, C.; RENNENBERG, H.; LAKSHMANAN, P.; SCHMIDT, S. Nitrate paradigm does not hold up for sugarcane. **PLoS One**, San Francisco, v. 6, 2011. doi: 10.1371/journal.pone.0019045.

ZAMBELLO, J. R.; AZEREDO, D. F. Adubação na região Centro-sul. In: ORLANDO FILHO, J. (Coord). **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR, 1983. p. 351-368.