

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**DISPONIBILIDADE HÍDRICA E UTILIZAÇÃO DO NITROGÊNIO
EM CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA POR GOTEJAMENTO
SUBSUPERFICIAL**

WILLIAM JOSÉ DELLABIGLIA

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP –
Campus de Botucatu, para obtenção do
título de Mestre em Agronomia
(Irrigação e Drenagem)

BOTUCATU – SP
Abril - 2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**DISPONIBILIDADE HÍDRICA E UTILIZAÇÃO DO NITROGÊNIO
EM CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA POR GOTEJAMENTO
SUBSUPERFICIAL**

WILLIAM JOSÉ DELLABIGLIA

Orientador: Prof. Dr. Glauber José de Castro Gava

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP –
Campus de Botucatu, para obtenção do
título de Mestre em Agronomia
(Irrigação e Drenagem)

BOTUCATU – SP
Abril - 2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Dellabiglia, William José, 1987-
D331d Disponibilidade hídrica e utilização do nitrogênio em
 cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial /
William José Dellabiglia. - Botucatu : [s.n.], 2016
x, 79 f. : fots. color., grafs., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2016
Orientador: Glauber José de Castro Gava
Inclui bibliografia

1. Cana-de-açúcar - Fertirrigação. 2. Cana-de-açúcar - Adubação. 3. Fertilizantes nitrogenados. 4. Nitrogênio - Fixação. I. Gava, Glauber José de Castro. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. III. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE BOTUCATU
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: DISPONIBILIDADE HÍDRICA E UTILIZAÇÃO DO NITROGÊNIO EM CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA POR GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL

AUTOR: WILLIAM JOSÉ DELLABIGLIA

ORIENTADOR: Prof. Dr. GLAUBER JOSÉ DE CASTRO GAVA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA (IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. GLAUBER JOSÉ DE CASTRO GAVA

Departamento de Descentralização do Desenvolvimento/ Apta - Regional Centro Oeste

Prof. Dr. ROBERTO LYRA VILLAS BOAS

Departamento de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu

Prof. Dr. FÁBIO VALE SCARPARE

Departamento de Divisão de Produção de Biomassa/ Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol

Data da realização: 24 de fevereiro de 2016.

Aos meus pais, José David Dellabiglia e Márcia Cristina Dainese Dellabiglia, pelo amor, carinho, compreensão e valores transmitidos, que permitiram essa conquista, me ajudaram a seguir em frente e a me tornar o homem que sou hoje.

DEDICO E OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus e à Nossa Senhora, pelo dom da vida e por serem meus guias;

À minha Família, por ser a base firme da minha vida, pelo apoio em todos os momentos;

Ao amigo e orientador, Prof. Dr. Glauber José de Castro Gava, pela amizade, pela oportunidade e ajuda na realização deste trabalho, pela orientação e ensinamentos para o meu crescimento pessoal e profissional;

À minha namorada Aline Domeneghetti pelo apoio e ajuda na reta final deste projeto;

À UNESP /FCA, pela formação acadêmica, e a oportunidade de realizar o mestrado;

À CAPES, pela concessão da bolsa;

Aos amigos que incentivaram, apoiaram, e participaram do desenvolvimento deste trabalho, em especial ao grupo da APTA: Oriel, Adolfo, Melissa, Carlos, Gisele, Francine, por toda ajuda e pelos momentos de descontração;

Aos funcionários e amigos da APTA, por toda a ajuda na execução deste trabalho: seu Geraldo, Valdir, João, Valmira, Silmara, Fábio, Edílson, Adilson, Fabinho;

Aos pesquisadores da APTA, Dra. Elisangela Marques Jeronimo Torres; Dra. Gabriela Aferri; Dr. Gianmarco Silva David, Mário Pércio Campana; por me receberem tão bem, pela amizade e sempre procurarem ajudar com ideias e palavras de incentivo;

Ao Dr. Fábio Vale Scarpore e a Dra. Simone Toni Ruiz Corrêa, pelo incentivo e colaboração nessa reta final;

Às empresas, que possibilitaram o desenvolvimento deste projeto, à Netafim® pela doação dos tubos gotejadores e demais equipamentos necessários à irrigação; à Raízen Unidade Da Barra, por doar as mudas de cana-de-açúcar e fornecer os trabalhadores para o plantio e à Associcana Jaú, pela realização das análises tecnológicas da cana-de-açúcar;

À todos que eu possa ter esquecido, mas que contribuíram na execução deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

	Página
SUMÁRIO	V
LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABELAS	X
RESUMO	1
SUMMARY	3
1. INTRODUÇÃO	5
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	8
2.1 Cana-de-açúcar e análise de crescimento quantitativo	8
2.2 Deficiência hídrica e irrigação por gotejamento subsuperficial	11
2.3 Nitrogênio	15
2.4 Bactérias diazotróficas e fixação biológica de nitrogênio	17
3. MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1 Caracterização da área experimental, tratamentos e delineamento experimental.....	20
3.2 Controle da irrigação e adubação.....	23
3.3 Inoculante	26
3.4 Outras atividades	26
3.4.1 Aplicação de herbicida.....	26
3.4.2 Broca-da-cana (<i>Diatraea saccharalis</i>).....	27
3.5 Avaliações realizadas durante o experimento	28
3.5.1 Avaliações fisiológicas	28
3.5.1.1 Estimativa do conteúdo de clorofila aparente via clorofilômetro.....	28
3.5.1.2 Condutância estomática via porômetro.....	29
3.5.1.3 Temperatura foliar via porômetro.....	29
3.5.2 Avaliações biométricas	30
3.5.2.1 Número de perfilhos (NP).....	30
3.5.2.1 Altura de plantas (ALT).....	30
3.5.2.3 Diâmetro de colmos (DIAM).....	30
3.5.3 Quantificação de nitrogênio e da produtividade nas amostragens sequenciais e na colheita final	30

	Página
3.6 Análise estatística dos resultados	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1 Avaliações fisiológicas	35
4.1.1 Condutância estomática (gs)	35
4.1.2 Temperatura foliar	38
4.1.3 Estimativa do conteúdo de clorofila aparente (Índice SPAD)	40
4.2 Avaliações biométricas	43
4.1.1 Perfilhos	43
4.1.2 Altura de plantas	46
4.1.3 Diâmetro dos colmos	49
4.3 Acúmulo de matéria seca da parte aérea	52
4.4 Acúmulo de nitrogênio na planta	55
4.5 Produtividade e qualidade da matéria-prima	58
5. CONCLUSÕES	64
6. REFERÊNCIAS	65

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. (A) Casa de abrigo do conjunto motobomba, registros e tanque de água, equipamentos já existentes no local. (B) Registros e injetores do tipo ‘venturi’ para controle e distribuição dos tratamentos fertirrigado.	22
Figura 2. (A) Tubulação de PVC para distribuição dos diferentes tratamentos fertirrigados. (B) ‘Chicote’ para ligação da tubulação de PVC ao tubo gotejador na linha de plantio.	22
Figura 3. (A) Trator com sulcador de linha dupla e instalação simultânea do tubo gotejador. (B) Implemento durante a operação.	22
Figura 4. (A) Plantio de cana-de-açúcar em linha dupla. (B) Operação de cobrimento dos toletes e fechamento dos sulcos de plantio de cana-de-açúcar.	23
Figura 5. Balanço hídrico da cultura nos tratamentos irrigados, no ano agrícola 2013/14.	24
Figura 6. Balanço hídrico da cultura nos tratamentos não irrigados, no ano agrícola 2013/14.	24
Figura 7. Porcentagem de aplicação dos fertilizantes ao longo do período out/2013 à out/2014.	25
Figura 8. (A) Tambores para diluição do fertilizante utilizado na fertirrigação. (B) Adubo sólido para aplicação dos tratamentos não irrigados.	25
Figura 9. (A) Rebolos de cana-de-açúcar em solução com inoculantes diazotróficos. (B) Aplicação foliar de inoculante diazotrófico, aos 64 DAP.	26
Figura 10. (A) Recipiente com parasitoides <i>Cotesia flavipes</i> no momento da liberação na área experimental. (B) Parasitoides na folha de cana-de-açúcar.	27
Figura 11. Vista aérea parcial da área experimental.	28
Figura 12. (A) Clorofilômetro, SPAD-502, leitura em folha +1 de cana-de-açúcar sem deficiência de N. (B) Leitura em folha +1 de cana-de-açúcar com deficiência de N.	29
Figura 13. (A) Porômetro, leitura em folha +1 de cana-de-açúcar, detalhe do sensor preso à folha. (B) Visão do aparelho durante a leitura.	29

Página

Figura 14. (A) Trabalhador iniciando o corte das amostras de parte aérea de cana-de-açúcar. (B) Pesagem do feixe de dois metros lineares de cana-de-açúcar.	31
Figura 15. (A) Medição do diâmetro do colmo. (B) Medição da altura da planta até o colarinho +1.....	31
Figura 16. (A) Separação das diferentes partes, colmos e ponteiros, das amostras de parte aérea de cana-de-açúcar. (B) Amostra de ponteiro triturada em picadora de forragem. (C) Pesagem da sub-amostra fresca de colmo. (D) Pesagem da sub-amostra de colmo, após secagem em estufa à 65 °C.	32
Figura 17. (A) Folhas+1 de cana-de-açúcar. (B) Retirando a nervura das folhas +1.....	33
Figura 18. (A) Trituradora de forragem com betoneira para coleta das amostras processadas. (B) Amostra do colmo de cana-de-açúcar sendo pesado. (C) Prensa utilizada para extrair o caldo. (D) Caldo de cana-de-açúcar sendo clarificado para posterior leituras de Brix e Pol.	33
Figura 19. (A) Refratômetro para leitura do grau brix. (B) Polarímetro, utilizado para obter a Pol da cana-de-açúcar.	34
Figura 20. Evolução da variável condutância estomática (gs), nos manejos com e sem irrigação; com e sem inoculação com bactérias diazotróficas; aos 123, 207, 305 e 365 DAP; nas quatro diferentes doses de nitrogênio.....	37
Figura 21. Evolução da variável temperatura foliar (°C), nos manejos com e sem irrigação; com e sem inoculação com bactérias diazotróficas; aos 123, 207, 305 e 365 DAP; nas quatro diferentes doses de nitrogênio..	40
Figura 22. Evolução da variável teor relativo de clorofila aparente, nos manejos com e sem irrigação; com e sem inoculação com bactérias diazotróficas; aos 123, 207, 305 e 365 DAP; nas quatro diferentes doses de nitrogênio.....	41
Figura 23. Evolução da variável perfilhos, nos manejos com e sem irrigação; com e sem inoculação com bactérias diazotróficas; aos 123, 207, 305 e 365 DAP; nas quatro diferentes doses de nitrogênio.	44

Figura 24. Evolução da variável altura de plantas, nos manejos com e sem irrigação; com e sem inoculação com bactérias diazotróficas; aos 123, 207, 305 e 365 DAP; nas quatro diferentes doses de nitrogênio.	48
Figura 25. Evolução da variável diâmetro de colmos, nos manejos com e sem irrigação; com e sem inoculação com bactérias diazotróficas; aos 123, 207, 305 e 365 DAP; nas quatro diferentes doses de nitrogênio.	50
Figura 26. Evolução da variável acúmulo de matéria seca da parte aérea, nos manejos com e sem irrigação; com e sem inoculação com bactérias diazotróficas; aos 123, 207, 305 e 365 DAP; nas quatro diferentes doses de nitrogênio.....	53
Figura 27. Evolução da variável acúmulo de nitrogênio na planta, nos manejos com e sem irrigação; com e sem inoculação com bactérias diazotróficas; aos 123, 207, 305 e 365 DAP; nas quatro diferentes doses de nitrogênio.....	56
Figura 28. Evolução das variáveis Fibra, Teor de sólidos solúveis (TSS), teor de sacarose aparente (PCC) e açúcar total recuperável (ATR), nos manejos com e sem irrigação; com e sem inoculação com bactérias diazotróficas; aos 123, 207, 305 e 365 DAP; nas quatro diferentes doses de nitrogênio.	61
Figura 29. Produtividade de colmos (A) manejo irrigado; (B) manejo não irrigado.	62
Figura 30. Produção de açúcar por hectare (A) manejo irrigado; (B) manejo não irrigado.	62

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Sensibilidade dos processos fisiológicos e de desenvolvimento da cana-de-açúcar ao déficit hídrico em diferentes estádios fenológicos. Adaptado de: Lakshmanan e Robinson, (2014)	12
Tabela 2. Manejo de irrigação, manejo de inoculação e doses de nitrogênio utilizadas no experimento.	21
Tabela 3. Resultado das análises químicas e físicas do solo da área experimental, nas profundidades de 0-25 cm e 25-50 cm.	25
Tabela 4. Análise da variável condutância estomática (gs), ao longo do ciclo da cultura ..	36
Tabela 5. Análise da variável temperatura foliar, ao longo do ciclo da cultura	39
Tabela 6. Análise do teor relativo de clorofila aparente, ao longo do ciclo da cultura	42
Tabela 7. Análise da variável perfilhos por metro linear, ao longo do ciclo da cultura	45
Tabela 8. Análise da variável altura de plantas, ao longo do ciclo da cultura.....	47
Tabela 9. Análise da variável diâmetro de colmos, ao longo do ciclo da cultura	51
Tabela 10. Análise da variável acúmulo de matéria seca da parte aérea, ao longo do ciclo	54
Tabela 11. Análise da variável acúmulo de nitrogênio na planta, ao longo do ciclo.	57
Tabela 12. Analise das variáveis de qualidade da matéria-prima, ao longo do ciclo.....	60

RESUMO

A cultura da cana-de-açúcar ocupa posição de destaque entre os cultivos no Brasil. A expansão da cultura está promovendo a ocupação de áreas menos favoráveis, com solos pouco férteis e que apresentam deficiência hídrica, seja pela falta ou má distribuição das chuvas. A disponibilidade hídrica do solo e a adubação nitrogenada caracterizam-se como principais fatores que afetam o rendimento do canavial. Estima-se que parte do nitrogênio utilizado pela cana-de-açúcar, seja proveniente de bactérias diazotróficas (BDs) fixadoras de nitrogênio atmosférico. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi verificar a contribuição das BDs na eficiência de uso do nitrogênio na cultura da cana-de-açúcar, em dois ambientes de produção (irrigado e não irrigado); quantificar o possível efeito de sinergismo entre a adubação nitrogenada e a aplicação de água via irrigação por gotejamento subsuperficial na cultura de cana-de-açúcar. O experimento foi conduzido na Unidade de Pesquisa Hélio de Moraes, da APTA (Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios), no município de Jaú, SP, (22°17' S 48°34' O, em Latossolo Vermelho). A variedade de cana-de-açúcar foi a RB92579. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, composto por fatorial de 2 manejos de irrigação: irrigado (I) e não irrigado (NI), 2 manejos de inoculação: com inoculação (CD) e sem inoculação (SD) com BDs; e com 4 níveis de disponibilidade de nitrogênio (0, 70, 140, 210 kg ha⁻¹ de N), compondo assim 16 tratamentos com 4 repetições. O experimento teve duração de 365 dias e ao longo do ciclo da cultura foram realizadas avaliações para determinação da condutância estomática via porômetro e da estimativa do conteúdo de clorofila aparente por clorofilômetro. Quantificou-se também o acúmulo de nitrogênio na planta; o número de perfilhos, a altura de plantas (folha +1),

e o diâmetro dos colmos. Na colheita final, aos 365 dias após o plantio (DAP), foram realizadas as análises tecnológicas e determinou-se a produtividade de colmos (TCH) e de açúcar (TPH). Constatou-se que não houve diferença de produtividade de colmos e de açúcar entre os tratamentos inoculados e não inoculados com BDs, nos dois ambientes de produção. A cana-de-açúcar elevou sua produtividade com a elevação das doses de nitrogênio. Nos tratamentos irrigados essa elevação foi maior comparando-se com os tratamentos não irrigados.

Palavras-chave: *Saccharum* spp.; fertirrigação; adubação nitrogenada; bactérias diazotróficas; fixação biológica de nitrogênio.

**WATER AVAILABILITY AND USE OF NITROGEN IN SUBSURFACE
DRIP IRRIGATED SUGARCANE.** Botucatu, 2016. 89 p. Dissertação
(Mestrado em Agronomia / Irrigação e Drenagem) – Faculdade de
Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: William José Dellabiglia

Adviser: Glauber José de Castro Gava

SUMMARY

The culture of sugarcane occupies a prominent position among the crops in Brazil. The expansion of culture is promoting the occupation of less favorable areas, with low fertility soils which present water deficiency either lack or poor distribution of rainfall. The soil water availability and nitrogen fertilizer characterizes itself as major factors affecting the yield of the sugarcane fields. It is estimated that part of the nitrogen used by sugarcane, comes from diazotrophic bacteria (BDs) atmospheric nitrogen fixers. In this context, the aim of this study was to verify the contribution of BDs in nitrogen use efficiency in the culture of sugarcane in two production environments (with and without irrigation); quantify the possible synergism effect between nitrogen fertilization and water application via subsurface drip irrigation in the culture of sugarcane. The experiment was conducted at Research Unit Hélio de Moraes, of APTA (Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios) in the municipality of Jaú, SP, (22 ° 17 'S 48 ° 34' O, Rhodic). The variety of sugarcane was RB92579. The experimental design was randomized blocks, compounded by factorial of two irrigation management systems: irrigated (I) and

non-irrigated (NI); and two inoculation management: with inoculation (CD) and without inoculation (SD) with BDs; and 4 availability levels of nitrogen (0, 70, 140, 210 kg ha⁻¹ de N), compound thus 16 treatments with 4 replications. The experiment lasted 365 days and throughout the crop cycle assessments were performed for determination of the stomatal conductance via porometer and the estimate of the content of apparent chlorophyll by chlorophyllometer. It was also quantified the nitrogen accumulation in plant; the number of tillers, plant height (leaf +1), and diameter of the stalks. In the final harvest, at 365 days after planting (DAP), were performed technological analysis and it was determined sugarcane yield (TCH) and sugar (TPH). It was found that, there was no sugarcane yield and sugar difference among the treatments inoculated and non-inoculated with BDs, in the two production environments. The sugarcane raised its productivity with rising nitrogen levels. In the irrigated treatments, was higher this increase compared with non-irrigated treatments.

Keywords: *Saccharum* spp.; fertigation; nitrogen fertilization; diazotrophic bacteria; nitrogen biological fixation.

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma gramínea que pertence à família Poaceae, teve sua provável origem no sudeste Asiático e é cultivada no Brasil desde o século XVI (PROCÓPIO et. al, 2004). Cultivada em mais de 90 países, em regiões tropicais e subtropicais, desde o paralelo 35°N e até o paralelo 30°S (ALFONSI et al., 1987). O cultivo da cana-de-açúcar no Brasil concentra-se nas regiões Sudeste e Nordeste, porém nos últimos anos vêm ocorrendo expansão da cultura para outras regiões, principalmente a Centro-Oeste, sendo utilizadas, em grande parte, áreas que apresentam solos de baixa fertilidade e com pouca capacidade de armazenamento de água, como os solos arenosos e de textura média (VIEIRA JUNIOR et al., 2008).

Entre os principais fatores limitantes do desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar podemos citar a deficiência hídrica, pois ela pode ocorrer em períodos de alta demanda de água pela planta (TAIZ; ZEIGER, 2004). A produtividade da cana-de-açúcar está diretamente ligada à disponibilidade hídrica do solo, uma vez que a água é um fator limitante ao crescimento e é fundamental à fotossíntese (RHEIN, 2013). Na cultura da cana-de-açúcar são conhecidos 4 estádios fenológicos principais: brotação, perfilhamento, grande crescimento e maturação. As fases de perfilhamento e grande crescimento apresentam maior sensibilidade à deficiência hídrica, sendo nessas fases que a falta de água pode causar maiores danos (RAMESH, 2000). A irrigação pode ser um manejo capaz de reduzir ou anular os efeitos negativos da deficiência hídrica (FARIAS et al., 2008).

A cana-de-açúcar tem alta demanda de nutrientes, com destaque para o nitrogênio (SIMÕES-NETO et al., 2009). O nitrogênio contribui positivamente para o crescimento e vigor da cultura, embora represente aproximadamente de 1% da matéria seca total da cana-de-açúcar. Portanto, o manejo inadequado dos fertilizantes nitrogenados pode ocasionar queda da produtividade e da longevidade das soqueiras (GAVA et al., 2011; RHEIN, 2013). Gava et al. (2011), citam que a fertirrigação com nitrogênio é uma ferramenta importante capaz de suprir a necessidade hídrica da cana-de-açúcar, bem como aprimorar o manejo a adubação nitrogenada.

Apesar do nitrogênio atmosférico representar 78 % dos gases da atmosfera, ele é altamente estável e, portanto, indisponível diretamente às plantas, que absorvem o nitrogênio na forma de NH_4^+ ou NO_3^- . Entretanto, quando transformado por processos industriais (fertilizantes) ou processos naturais, torna-se disponível às plantas. Entre os processos naturais, o mais estudado é a fixação biológica de nitrogênio, onde o N_2 atmosférico é reduzido até a forma de amônia NH_3^+ , por meio de microrganismos ditos diazotróficos (TAIZ & ZIEGER, 2004).

O uso de microrganismos é uma alternativa bastante promissora no manejo de diversos sistemas agrícolas. Estudos estão sendo realizados para avaliar a interação e possíveis efeitos promotores de crescimento vegetal, entre esses microrganismos e plantas de diferentes espécies como morango (DIAS et al., 2009), cana-de-açúcar (FERRARA et al., 2011), milho (HUNGRIA et al., 2010), soja (ZHANG et al., 2011). A interação entre bactérias e plantas ocorre em diferentes nichos, no solo perto da superfície das raízes (comunidade rizosférica) ou no interior das plantas (comunidade endofítica) (HARTMANN et al., 2008), nos distintos órgãos (raiz, caule, folha, flores), podendo contribuir benéficamente para o crescimento e desenvolvimento vegetal (ANDREOTE, 2009).

Até o momento, os resultados de experimentos em campo com cana-de-açúcar inoculada com bactérias diazotróficas (MORAIS et al., 2011; CANTARELLA et al., 2012; PEREIRA et al., 2013; SCHULTZ et al., 2012, 2014) apontam a ocorrência de efeitos promotores de crescimento como a produção de precursores de hormônios vegetais, que podem favorecer o desenvolvimento da cultura, porém não comprovam a hipótese de que a fixação biológica do nitrogênio substitua a adubação nitrogenada (JORIS, 2015).

Devido à grande importância da cultura no Brasil, a compreensão das propriedades morfofisiológicas, quantitativas e qualitativas em relação ao fornecimento de água e nitrogênio, associados à inoculação com bactérias diazotróficas contribuirá no aperfeiçoamento do manejo da cultura visando obter maior produtividade, com menores custos e danos ao meio ambiente.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi verificar em dois ambientes de produção, irrigado e não irrigado, a contribuição das bactérias diazotróficas na eficiência de uso do nitrogênio na cultura da cana-de-açúcar e; quantificar o possível efeito de sinergismo entre a adubação nitrogenada e a aplicação de água via irrigação por gotejamento subsuperficial na cultura de cana-de-açúcar.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cana-de-açúcar e análise de crescimento quantitativo

A cana-de-açúcar é uma monocotiledônea, alógama, de ciclo semi perene e elevada rusticidade (DANIELS; ROACH, 1987). Atualmente, as variedades comerciais de cana-de-açúcar são híbridas interespecíficas do gênero *Saccharum*, nativas do Sudeste Asiático (STEDUTO et al., 2012). Adaptada a diversos ecossistemas, desenvolve-se nos trópicos e em regiões temperadas, encontrando-se atualmente dispersa em todos os continentes, sendo o Brasil o principal produtor mundial, seguido da Índia, China, Tailândia, Paquistão e México (MARQUES, 2009; FAO, 2013).

Trata-se de uma planta de metabolismo C₄, que apresenta alta taxa fotossintética; elevada eficiência na utilização e resgate de CO₂ da atmosfera; e são adaptadas à alta intensidade luminosa, temperaturas elevadas e relativa escassez de água, considerando que a cultura requer grande quantidade de água para seu adequado desenvolvimento (SEGATO et al., 2006).

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2015), a área plantada para a safra 2015/16 é de 9,05 milhões de hectares, 0,6% maior que a da safra anterior 2014/15; a produção total de cana-de-açúcar destinada à indústria, estimada para a safra 2015/16 é de 663,11 milhões de toneladas, com acréscimo de 4,5% (28,3 milhões de toneladas) em relação à safra 2014/15. A produtividade média estimada para a safra 2015/16 é de 73,2 t ha⁻¹.

O cultivo da cana-de-açúcar em diferentes regiões do Brasil, que apresentam grande diversidade edafoclimática, promovem variabilidade na adaptação das variedades (QUEIROZ, 2006). Com base nos estudos disponíveis sobre o desenvolvimento da cultura, torna-se possível identificar e compreender a influência dos diversos fatores que afetam a produção, permitindo assim o manejo correto (MARIN, 2007).

O conhecimento da fenologia, que é o estudo do desenvolvimento da planta ao longo do ciclo (germinação, emergência, crescimento e desenvolvimento vegetativo, florescimento, frutificação, formação das sementes e maturação), é de grande importância para o manejo correto da adubação nitrogenada e aplicação de água via irrigação (RIPOLI et. al, 2007; RAE et al., 2014).

Os quatros estádios fenológicos distintos em cana-de-açúcar são: brotação e emergência; perfilhamento; crescimento e desenvolvimento dos colmos e maturação (GASCHO; SHIH, 1983).

O processo de brotação inicia-se com o surgimento do broto, a partir das gemas, e é também caracterizado pelo enraizamento dos toletes. A emergência dos brotos ocorre de 20 a 40 dias após o plantio. Esta fase é dependente de diversos fatores, entre eles: a qualidade da muda, umidade, temperatura, época e manejo do plantio (MARIN, 2007; RIPOLI et. al, 2007).

O estágio de perfilhamento promove o surgimento de novos perfilhos, sendo regulado por hormônios vegetais e é responsável pela formação da touceira (MARIN, 2007). Cada perfilho desenvolve seus próprios órgãos (raízes, colmos e folhas), entretanto pode ocorrer translocação de água e nutrientes entre os perfilhos de uma mesma touceira (RIPOLI et. al, 2007). Em cana-planta, os perfilhos primários, desenvolvidos das gemas dos rebolos plantados, possuem colmos menos desenvolvidos e com entrenós menores, das gemas dos perfilhos primários surgem os perfilhos secundários, e destes os terciários, e assim sucessivamente, que possuem colmos mais longos e mais grossos que os primários (MARIN, 2007; RAE et al., 2014).

Durante a fase de crescimento e desenvolvimento dos colmos, estimulados por luz, umidade e calor, estes vão ganhando altura e acumulando açúcar na base. O sistema radicular também acompanha o crescimento da parte aérea, se expandindo lateralmente e em profundidade. A principal região para a absorção de nutrientes e água pela cultura, encontra-se até 50 cm de profundidade, visto que a maior parte das raízes está concentrada nessa região (MARIN, 2007; RAE et al., 2014).

O processo de maturação inicia-se ainda durante o crescimento intenso dos colmos. Conforme as plantas crescem em altura, o açúcar também vai sendo acumulado em regiões mais altas do colmo. Durante o período de outono e inverno, onde as chuvas tornam-se mais escassas e as temperaturas mais baixas, a planta cessa o crescimento e ocorre o acúmulo de sacarose nos colmos (MARIN, 2007; RAE et al., 2014).

O desenvolvimento de estudos com o objetivo de aperfeiçoar o conhecimento da fenologia das cultivares de cana-de-açúcar, envolve o monitoramento de alguns parâmetros morfológicos, entre eles o perfilhamento, altura de plantas e diâmetro do colmo, diretamente relacionado com a longevidade do canavial (MARASCA, 2014); e com a produtividade agrícola (LEME, 1984; OLIVEIRA et al. 2007).

Considerada como método padrão para determinação da produtividade biológica de uma cultura, a análise de crescimento de um vegetal fundamenta-se na medida sequencial do acúmulo da fitomassa e é determinada, considerando-se a matéria seca da planta (MAGALHÃES, 1979), e permite avaliar os efeitos de diferentes manejos na produtividade da cultura, em diferentes condições edafoclimáticas (GAVA et al., 2001).

A análise de crescimento baseia-se na estimativa das variações da produção vegetal, em amostragens sequenciais durante o ciclo da cultura, tais como: matéria seca da planta e em partes dela (folhas, colmos e raízes) e a área foliar, dados que podem ser obtidos sem a necessidade de equipamentos sofisticados (SILVA et al., 2000).

Diversos estudos demonstram que a análise de crescimento tem possibilitado avaliar os efeitos de diferentes manejos, tais como: adubação, tratos culturais, sistemas de produção (GAVA et al., 2001), utilização de espaçamento e/ou arranjo espacial eficientes (CARDOSO et al., 2006; CIVIERO, 2014), identificação da capacidade produtiva de diferentes cultivares (ALMEIDA et al., 2008).

Gava (1999), trabalhando com cana-de-açúcar em campo, encontrou diferença entre os tratamentos com e sem palhada, onde a máxima TPMS ocorreu aos 137 dias após o corte (DAC), no tratamento sem palhada a TPMS máxima foi de $22,4 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e a média de $11 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$; no tratamento com palhada a TPMS máxima foi de $18,5 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e a média de $7 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

2.2 Deficiência hídrica e irrigação por gotejamento subsuperficial

Segundo Taiz; Zeiger (2009), a deficiência hídrica pode ser definida como teor de água de um tecido ou célula que se encontra abaixo do teor de água exibido no estado de maior hidratação. É um dos fatores de estresse que mais afeta negativamente os processos fisiológicos e metabólicos das plantas, ocasionando reduções de produtividade (PIMENTEL, 2004; TAIZ; ZEIGER, 2009), principalmente em culturas economicamente importantes como arroz, soja e cana-de-açúcar (GARG et al., 2002). A cana-de-açúcar necessita de grandes quantidades de água durante o seu desenvolvimento para obtenção de rendimento adequado, sendo necessários em geral de 130 a 150 litros de água para a produção de 1 kg de matéria seca (CASTRO, 2000).

O termo estresse geralmente é definido como um fator externo, que influencia negativamente o desenvolvimento da planta (TAIZ; ZEIGER, 2009), provocando alterações, que podem tornar-se irreversíveis dependendo da espécie, do genótipo, do estágio de desenvolvimento da planta, da duração e intensidade do estresse (KRAMER; BOYER, 1995; SANTOS; CARLESSO, 1998). Algumas das alterações nas plantas, em função da deficiência hídrica, podem ser observados na Tabela 1.

A expansão foliar e o crescimento de raízes são as partes mais sensíveis à falta de água por serem dependentes da turgidez. A redução da área foliar é uma resposta ao estresse hídrico, considerando que reduzindo a área foliar, a planta reduz a transpiração, conservando assim, suprimento adequado de água no solo por maior tempo (TAIZ; ZEIGER, 2009).

O estresse hídrico severo promove a morte de raízes mais superficiais, ao mesmo tempo que promove o crescimento radicular em maior profundidade do solo à procura de água, ocasionando a translocação de fotoassimilados para os tecidos novos (SCARPARI, 2007).

O grau de tolerância à deficiência hídrica é variável entre as diferentes espécies e mesmo dentro da espécie, entre as variedades ou cultivares. O estágio de desenvolvimento da planta é um fator importante, visto que pode afetar diretamente a produtividade agrícola (PIMENTEL, 2004; INMAM-BAMBER; SMITH, 2005).

Tabela 1. Sensibilidade dos processos fisiológicos e de desenvolvimento da cana-de-açúcar ao déficit hídrico em diferentes estádios fenológicos. Adaptado de: Lakshmanan e Robinson, (2014).

Processos na planta	Déficit hídrico no tecido/solo	Comentários	Referências
Brotação das gemas e estabelecimento das plantas	ψ_s entre -0,5 e -2,0 MPa	Sensibilidade moderada; sem germinação de gemas à -2,0 MPa ψ_s	Inman-Bamber; Smith (2005)
Crescimento de raízes	ψ_s 0 à -0,5 MPa	Inibição substancial	Singh; Srivastava (1974)
Condutância hidráulica da raiz	ψ_s -0,07 MPa	Redução de até 80%	Saliendra; Meinzer (1992)
Elongação colmos	ψ_{su} -0,2 MPa	Redução severa da elongação dos colmos	Scardua, (1985)
Taxas de elongação dos colmos	ψ_{su} -0,06 MPa	Reduções severas de todas cultivares: RB92579, RB855453, RB867515 e RB928064	Batista et. al. (2015)
Crescimento da folha	ψ_f -0,2 MPa	Mínimo crescimento de folha à ψ_f -1,3 MPa	Inman-Bamber; De Jager, (1986)
Senescência da folha	ψ_f -1,0 à -2,2 MPa	ψ_f ao meio dia; ~50% redução do número de folhas verdes	Inman-Bamber; De Jager, (1986)
Elongação dos colmos	ψ_f < -0,5 à -1,4 MPa	Altamente sensível ao estresse hídrico. Sem alongamento dos entrenós à -1,4 MPa	Inman-Bamber; Smith, (2005)
Condutância hidráulica da folha	ψ_f -0,1 à -1,8 MPa	A condutância hidráulica é interrompida à -1,8 MPa em <i>S. officinarum</i> , mas não em <i>S. spontaneum</i>	Neufeld et al. (1992)
Fechamento estomático	ψ_f -0,9 à -1,8 MPa	Dependente do genótipo	Inman-Bamber; Smith, (2005)
Osmorregulação/mudança no potencial osmótico (π)	π -1,0 à -1,55 MPa	Ácidos orgânicos são os maiores contribuidores	Koehler et al. (1982)
Fotossíntese	ψ_f < -1,2 MPa	Inibição da fotossíntese ocorre à ψ_f -0,9 MPa mas devido à baixa condutância estomática	Du et al. (1996)
Aumento no C_i ($[CO_2]$ interno)	ψ_f < -1,5 MPa	C_i aumenta sob estresse severo (< -1,5 Mpa)	Endres et al. (2010)
Síntese de sacarose	ψ_f < -1,2 MPa	Atividade de enzimas reduzida à -1,2 MPa	Du et al. (1996)
Síntese de amido	ψ_f < -0,9 MPa	Insensibilidade enzimática até -0,9 MPa	Du et al. (1996)
Acúmulo de K e de açúcares redutores	ψ_f -0,68 à -1,55 MPa	Quantidade dobrada de açúcares redutores e aumento de ~20% no teor de K	Koehler et al. (1982)
Enrolamento de folha	ψ_f -0,6 à -2,2 MPa	Enrolamento iniciado à ψ_f -0,6 MPa; enrolamento completo à ψ_f -2,2 MPa	Inman-Bamber; De Jager (1986)
Perda de clorofila	ψ_f -0,3 à -1,7 MPa	50% de redução	Du et al. (1996)

Nota: ψ_s , potencial de água no solo; ψ_f , potencial de água na folha.

Obs: 1 MPa equivale: 10 Bar; 750 cm Hg; 10 kg/cm²; 10 atm.

A cana-de-açúcar é uma cultura que apresenta certa tolerância ao estresse hídrico, porém, responde altamente a irrigação (SINGH et al., 2007). Segundo Gava et al. (2011), o crescimento e o desenvolvimento das plantas são afetados tanto pela falta quanto pelo excesso de água.

A tolerância ao estresse hídrico manifesta-se de diversas maneiras, como: limitações no crescimento, adaptações morfofisiológicas; alterações metabólicas, alterações no número de folhas verdes, seja pela redução no surgimento de novas folhas ou pelo aumento da abscisão foliar; na redução da área foliar; na densidade e condutância estomáticas; e alterações no acúmulo de matéria seca da parte aérea e das raízes (PINCELLI, 2010; TAIZ; ZEIGER, 2004).

Alguns mecanismos de tolerância ao estresse hídrico envolvem processos complexos, não conhecidos completamente. Uma das principais variáveis metabólicas que apresentam maior sensibilidade à seca é a taxa fotossintética. Sabe-se que as plantas podem continuar realizando fotossíntese por tempo superior àquele destinado ao crescimento em expansão, pois a resposta do estômato, em relação ao turgor celular, é mais lenta no início do estresse hídrico (INMAN-BAMBER; SMITH, 2005).

Em resposta ao estresse, Larcher (2004) afirma que um organismo vegetal atravessa uma sucessão de fases caracterizadas como: a *fase de alarme*, em que ocorre alterações nos processos bioquímicos e metabólicos, podendo a planta nessa fase reagir ao estresse imposto e se restabelecer; a *fase de resistência*, que ocorre sob estresse contínuo, iniciando um processo de rusticidade, onde a planta pode apresentar adaptação através de ajustamento osmótico; e a *fase de exaustão*, que ocorre quando o estresse é muito prolongado ou sua intensidade aumenta rapidamente, deixando a planta susceptível e levando ao colapso prematuro. Nesse contexto, Bray (1997) e Smit; Singels (2006) afirmam que o conhecimento adequado das respostas das plantas ao estresse hídrico é fundamental na escolha, tanto das melhores variedades como das melhores práticas de manejo, com o objetivo de aperfeiçoar a exploração dos recursos naturais e obter melhores rendimentos agrícolas.

Para a cana-de-açúcar, os períodos em que o déficit hídrico pode resultar em maiores prejuízos à produtividade da cultura são nos estádios de perfilhamento e de grande crescimento (RAMESH, 2000).

Na fase de desenvolvimento inicial, a deficiência hídrica afeta diretamente o rendimento do canavial, reduzindo algumas variáveis como o número de

perfilhos, área foliar; altura, diâmetro e peso dos colmos industrializáveis (GONÇALVES, 2008). Silva et al. (2008) classificam a variação de altura na planta como indicativo de tolerância ou susceptibilidade à deficiência hídrica. A limitação do aumento da área foliar também está relacionada ao déficit hídrico, limitando a expansão das folhas e também a emissão de novas folhas (SCARPARI, 2007).

Em condições de estresse hídrico as variáveis de trocas gasosas podem apresentar alterações de formas distintas, de acordo com a espécie, seja restringindo a disponibilidade CO_2 para assimilação, ou pelo aumento do efeito fotoinibitório (GONÇALVES et al., 2010). Holanda (2012) estudando diferentes variedades de cana-de-açúcar sob deficiência hídrica, encontrou diferenças significativas para a variável condutância estomática.

Nesse cenário, a irrigação tem por objetivo suprir a necessidade hídrica das plantas, tornando-se uma ferramenta importante para anular os efeitos negativos da escassez de água, porém ainda pouco utilizado no Brasil em relação aos outros países produtores (RHEIN, 2013). Por se tratar de um alto investimento, a irrigação quando utilizada sem o conhecimento dos processos morfofisiológicos da cultura e da adaptabilidade da mesma às características edafoclimáticas locais, pode não apresentar o retorno econômico esperado. (GAVA et al., 2011; RHEIN, 2013). A irrigação não deve ser uma medida isolada, mas sim combinada com outras práticas de manejo agrícola (DALRI; CRUZ, 2008; GAVA et al., 2011).

A irrigação por gotejamento subsuperficial (IGS), caracterizada pela aplicação de água diretamente à zona radicular da cultura, apresenta alta uniformidade de aplicação de água, e o uso mais eficiente do recurso hídrico (BARBOSA et al., 2012). Promovendo também vantagens como: menor escoamento superficial; redução da evaporação de água diretamente da superfície do solo; permite o uso de máquinas agrícolas; melhora a disponibilidade de nutrientes, já que a água é disponibilizada mais próxima da raiz, e menor germinação de sementes de plantas daninhas (DALRI; CRUZ, 2008).

Pesquisas indicam aumento de produção com o uso da IGS, Gava et al. (2011) estudando três cultivares de cana-de-açúcar, RB867515, RB855536 e SP80-3280, verificaram aumento médio de 24% na produção de colmos e de 23% na produção de açúcar. Dalri (2004), trabalhando com irrigação por gotejo em cana-de-açúcar na região

de Botucatu-SP, obteve incrementos de até 58% na produtividade agrícola comparado com o cultivo em sequeiro.

2.3 Nitrogênio

O nitrogênio apresenta alta demanda pelas plantas, sendo o quarto elemento em maior abundância nos vegetais, atrás apenas do carbono, hidrogênio e oxigênio, e é o nutriente mineral mais intensivamente manejado na agricultura, visto que apresenta grande variabilidade no solo (MALAVOLTA, 2006). Nas plantas está presente na molécula da clorofila, nos aminoácidos e ácidos nucléicos precursores das proteínas, participando de processos bioquímicos e enzimáticos, sendo assim fator determinante ao pleno desenvolvimento e produção das plantas (MALAVOLTA, 2006; CANTARELLA, 2007; TAIZ; ZEIGER, 2009).

Em cana-de-açúcar a adubação nitrogenada está relacionada à brotação e perfilhamento do canavial, possuindo papel fundamental no desenvolvimento e potencial produtivo da cultura (CASAGRANDE, 1991; KORNDÖRFER; MARTINS, 1992). A deficiência de nitrogênio afeta o processo fotossintético e de assimilação de CO₂, resultando na redução do potencial produtivo e da longevidade do canavial (MALAVOLTA et al., 1997). Quando em excesso, o nitrogênio acumula-se no colmo, reduzindo a qualidade do caldo e atrasando a maturação (CARNAÚBA, 1990).

O uso adequado de insumos é fator de grande importância na eficiência do setor produtivo, sendo o nitrogênio o nutriente que demanda maior atenção, uma vez que possui dinâmica altamente complexa, custo elevado e potencial de impacto negativo no ambiente, devido ao fato que as perdas podem chegar a 50% do N-fertilizante aplicado em cana-de-açúcar (TRIVELIN et al., 2002).

Para melhorar a eficiência de uso dos fertilizantes pelas plantas, é importante conhecer as épocas e as formas mais absorvidas pelas plantas. Estudos relatam que o momento de maior absorção de N do fertilizante pela cultura ocorre em fases iniciais de desenvolvimento, normalmente até 120 dias para cana-planta e 90 dias para soqueiras de cana-de-açúcar (FRANCO et al., 2011; GAVA et al., 2001). O ciclo do nitrogênio e suas relações com o sistema solo-planta é muito complexo, sendo que a maior parte do nitrogênio no solo encontra-se na forma orgânica, apresentando grande variabilidade, que tornam complexo o manejo da adubação nitrogenada (CANTARELLA, 2007).

Embora o aproveitamento do nitrogênio na cana-de-açúcar seja bastante variável, existe um consenso de que esse aproveitamento é baixo, entre 10 e 35% do teor total de nitrogênio nas plantas (FRANCO et al., 2011).

A adubação nitrogenada pode promover aumento da produtividade em ciclo de cana-planta, embora a resposta desta ao nitrogênio seja pequena e normalmente ocorra em doses baixas (FRANCO et al., 2010; FORTES et al., 2013; PENATTI, 2013). Trabalhos mais recentes em cana-soca sem queima prévia têm apresentado tendências de aumento nas doses de nitrogênio para a cana-soca (VITTI et al., 2007; ROSSETTO et al., 2010; FORTES et al., 2013; PENATTI, 2013); devido à imobilização de nitrogênio no solo causada pela presença de resíduos, e também ao desenvolvimento de variedades mais produtivas e responsivas, que demandam maior quantidade de fertilizantes nitrogenados, entre outros insumos (PENATTI, 2013).

Em contrapartida, a aplicação em excesso de nitrogênio pode promover crescimento vegetativo exagerado (maior risco de tombamento), excesso de nitrogênio no colmo, resultando em queda da qualidade do caldo, devido à redução da concentração do açúcar produzido, e atraso na maturação (CARNAÚBA, 1990; VITTI et al., 2010; OLIVEIRA, 2011).

O nitrogênio possui inúmeras interações com o ambiente, sendo assim o nutriente com maior potencial de melhoria na eficiência do uso, pela adoção das “boas práticas no uso de fertilizantes” (CANTARELLA; MONTEZANO, 2010).

Muchow et al. (1996), relatam que a adubação nitrogenada é um dos fatores abióticos determinantes à produtividade das culturas em geral, e que o suprimento inadequado, tanto por excesso, quanto por deficiência podem resultar em queda da produtividade e também causar danos ao meio ambiente.

O uso de fertilizantes em irrigação por gotejamento subsuperficial é uma técnica que proporciona maior movimentação do nutriente no solo, fato importante para culturas perenes e semi perenes, pois evita possíveis danos ao sistema radicular, uma vez que tratores e implementos agrícolas são dispensados na operação (RHEIN, 2013). A fertirrigação permite a aplicação fracionada de fertilizantes, acompanhando a marcha de absorção de nutrientes, ao longo do ciclo da cultura, reduzindo as perdas, principalmente do nitrogênio que apresenta alto potencial de perda por lixiviação do nitrato, sem aumentar o custo de produção (DALRI; CRUZ, 2008; RHEIN, 2013).

Em relação à interação entre adubação nitrogenada e irrigação para cana-de-açúcar, Thorburn et al. (2003) verificaram respostas positivas à adubação nitrogenada via irrigação, na produtividade de colmos e açúcar em quatro ciclos de produção da cultura.

2.4 Bactérias diazotróficas e fixação biológica de nitrogênio

A cana-de-açúcar é responsável pelo consumo de 14% do fertilizante utilizado no Brasil. Os fertilizantes são responsáveis por 22% da energia fóssil consumida (MJ tc^{-1}) e por 11% da emissão de gases de efeito estufa na produção de cana-de-açúcar (MACEDO et al., 2008).

A quantidade de fertilizantes nitrogenados utilizada pela cana-de-açúcar no Brasil é menor do que em outros países produtores. Alguns estudos mostram que o nitrogênio exportado pelos colmos na colheita foi superior ao nitrogênio aplicado via fertilizante, sem apresentar sinais de degradação do solo, fato este que tem sido atribuído à fixação biológica do nitrogênio (URQUIAGA et al., 2012). Entretanto se a quantidade de nitrogênio aplicada não for suficiente para repor o nitrogênio extraído, mesmo considerando a contribuição da fixação biológica do nitrogênio, pode acarretar a degradação do solo e perdas de produtividade.

Diversos microrganismos interagem com os tecidos e células das plantas, com diferentes graus de dependência, podendo desenvolver interações benéficas (simbióticas ou não) (SMITH, 1992; WELLER, 1988) ou patogênicas (SMITH; READ, 1996). Boddey et al. (1995) relatam que algumas gramíneas, entre elas a cana-de-açúcar, podem ser beneficiadas, obtendo parte do nitrogênio exigido à partir da fixação biológica do nitrogênio, promovida por bactérias diazotróficas encontradas em tecidos vegetais. Em experimento realizado na Embrapa Agrobiologia, plantas de cana-de-açúcar foram inoculadas, antes do plantio, com uma mistura de bactérias diazotróficas, os autores observaram incremento de até 35% na produção de matéria seca e que 29% do nitrogênio acumulado foi proveniente da fixação biológica (REIS JUNIOR et al., 2008)

Fatores ambientais, como temperatura e umidade, influenciam na sobrevivência das bactérias endofíticas e rizosféricas. Essas bactérias podem apresentar interações benéficas, onde as plantas hospedeiras se beneficiam de alguma forma da presença da bactéria, seja pela fixação biológica de nitrogênio; produção de precursores de

hormônios vegetais, como o ácido indol acético (AIA); solubilização de fosfato inorgânico; entre outras, sendo potências promotoras do crescimento das plantas (KINKEL et al., 2000; STURZ et al., 2000; PEDRAZA, 2008; TAULÉ et al., 2012; FERRARA et al., 2011).

A fixação biológica de nitrogênio é um processo realizado por microrganismos ditos diazotróficos, que apresentam elevada diversidade, habitam o solo, e possuem um complexo enzimático chamado de nitrogenase que é capaz de reduzir o N_2 atmosférico à amônia (NH_3^+) (HUNGRIA, 1997; FRANCHE et al, 2009).

Algumas bactérias fixadoras de nitrogênio vivem em simbiose com fungos, diatomáceas e/ou com espécies vegetais, enquanto outros estabelecem relações menos especializadas com plantas denominadas, de modo geral, de associações. A elevada variabilidade genética dessas bactérias diazotróficas permite que a fixação biológica de nitrogênio ocorra nos mais diferentes ecossistemas (FRANCHE et al., 2009; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Além disso, a fixação biológica de nitrogênio pode ser estimulada quando existe a associação entre duas ou mais bactérias diazotróficas (DOBBELAERE et al., 2003).

Estudos são necessários para ampliar o conhecimento sobre o uso de microrganismos e as interações bactéria-solo-planta, afim de fornecer informações para o uso na agricultura e desenvolvimento de novas técnicas de manejo, que possibilitem obter benefícios econômicos e ambientais, como redução dos custos com fertilizantes, redução das perdas por lixiviação de nitrogênio (KENNEDY et al., 2004, ROESCH et al., 2010) e promover aumento de produtividade (DIAS et al., 2009; HUNGRIA et al., 2010; ZHANG et al., 2011).

A fixação biológica de nitrogênio em cana-de-açúcar também é influenciada por diversos fatores, entre eles: a disponibilidade de água no solo (BODDEY; DÖBEREINER, 1984); nutrição da planta, principalmente o molibdênio, essencial para a síntese da enzima nitrogenase (POLIDORO, 2001); inoculações realizadas em laboratório ou em campo, (SEVILLA et al., 2001) idade da planta (FUENTES-RAMIREZ et al., 1993) e a quantidade de fertilizante nitrogenado aplicado (REIS JUNIOR et al., 2000).

As respostas positivas obtidas em estudos, não são atribuídas ao aumento da fixação biológica de nitrogênio, mas ao efeito promotor de crescimento, que comprovadamente ocorre pela ação de bactérias diazotróficas (URQUIAGA et al., 1992;

DOBBELAERE et al., 2003; SARAVANAN et al., 2007; YADAV et al., 2009 TAULE et al., 2012; VIDEIRA et al., 2011).

Alguns experimentos a campo com inoculação de bactérias diazotróficas indicam a ocorrência de efeito promotor de crescimento (produção do AIA), que pode beneficiar a produção de cana-de-açúcar, porém não comprovam a hipótese de que a fixação possa substituir a adubação nitrogenada (MORAIS et al., 2011; CANTARELLA et al., 2012; PEREIRA et al., 2013; SCHULTZ et al., 2012, 2014). A melhoria no desenvolvimento da cultura com a aplicação de inoculantes precisa ainda ser melhor estudada sob condições de campo, em diferentes variedades. Possíveis efeitos benéficos podem também promover aumento na eficiência de uso de insumos pela cultura, porém a interação entre a inoculação e uso de fertilizantes nitrogenados precisa ser também melhor investigada (JORIS, 2015).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área, tratamentos e delineamento experimental

O experimento foi desenvolvido na Unidade de Pesquisa Hélio de Moraes, da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), no município de Jaú - SP, que apresenta as seguintes coordenadas geográficas: latitude 22° 17' S, longitude 48° 34' O e altitude média de 580 m, em relação ao oceano.

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho (Embrapa, 2006) de textura média. O clima predominante na região, de acordo com a classificação de Köppen é o Aw, com clima seco definido e média pluviométrica de 1.300 mm, com distribuição irregular.

O delineamento experimental foi composto por fatorial de 2 manejos de irrigação: irrigado (I) e não irrigado (NI); 2 manejos de inoculação: com (CD) e sem (SD) inoculação com bactérias diazotróficas, e com 4 níveis de disponibilidade de nitrogênio (0, 70, 140, 210 kg ha⁻¹ de N), compondo assim 16 tratamentos com 4 repetições, totalizando 64 parcelas. Os tratamentos estão dispostos na Tabela 2.

As parcelas, formadas por quatro sulcos de 8 metros de comprimento, com plantio em linha dupla (ou em "W"), espaçamento de 1,80 m entre as linhas duplas e 0,4 m entre linhas de cana, e sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial, para os tratamentos irrigados.

Tabela 2. Manejo de irrigação, manejo de inoculação e doses de nitrogênio utilizadas no experimento.

Manejo irrigação	Manejo bactérias	Doses de N kg ha ⁻¹
I	CD	0
I	CD	70
I	CD	140
I	CD	210
I	SD	0
I	SD	70
I	SD	140
I	SD	210
NI	CD	0
NI	CD	70
NI	CD	140
NI	CD	210
NI	SD	0
NI	SD	70
NI	SD	140
NI	SD	210

O sistema de irrigação já existia na área, aproveitou-se o sistema de motobomba (Figura 1), filtros e linhas primárias de distribuição de água (Figura 2), sendo necessário reinstalar apenas os tubos gotejadores, que foram perdidos com a reforma da área (Figura 3) para o plantio desse experimento. O tubo gotejador instalado foi o modelo DripNet PC TM, com vazão de 0,6 l h⁻¹, com gotejadores espaçados à 0,5 m; fornecido pela empresa Netafim®. Os tubos gotejadores foram instalados no campo à 0,2 m de profundidade, no meio da linha dupla, junto com a operação de sulcação da área.

A variedade de cana-de-açúcar utilizada foi a RB92579, fornecida pela Usina da Barra do grupo Raízen. As principais características da variedade são alta produtividade; maturação média à tardia; boa brotação e perfilhamento, em cana-planta e soqueira; recomendada para ambientes de produção A, B e C; e responsiva à irrigação.

O plantio ocorreu entre os dias 07 e 10 de outubro de 2013. Após os sulcos estarem abertos e os tubos gotejadores devidamente instalados e conectados à linha de distribuição de água, através dos ‘chicotes’, iniciou-se o plantio, com a seleção dos rebolos (toletes de 3 gemas), descartando aqueles cujas gemas apresentavam problema

(Figura 4). Os rebolos dos tratamentos com inoculantes diazotróficos, permaneceram imersos em solução com bactérias por duas horas antes do plantio.



Figura 1. (A) Casa de abrigo do conjunto motobomba, registros e tanque de água, equipamentos já existentes no local. (B) Registros e injetores do tipo ‘venturi’ para controle e distribuição dos tratamentos fertirrigado.

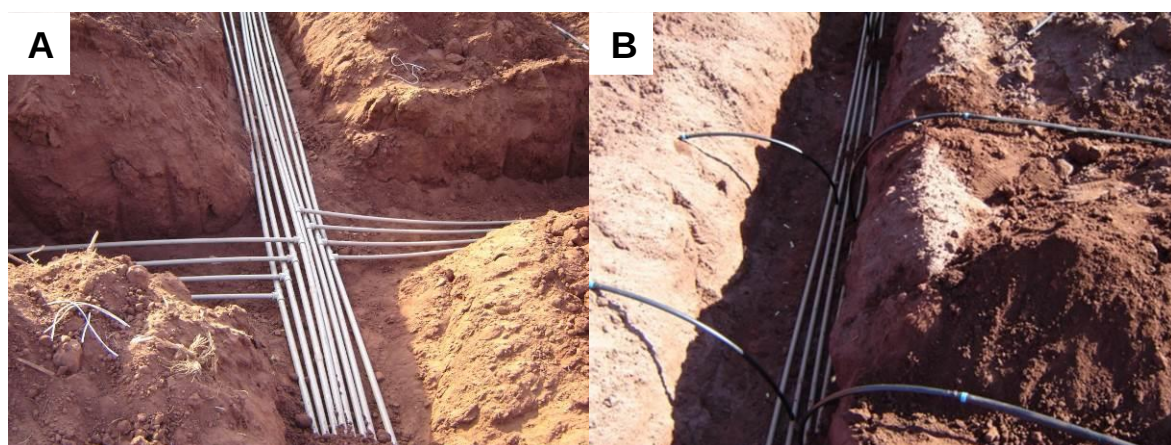


Figura 2. (A) Tubulação de PVC para distribuição dos diferentes tratamentos fertirrigados. (B) ‘Chicote’ para ligação da tubulação de PVC ao tubo gotejador na linha de plantio.



Figura 3. (A) Trator com sulcador de linha dupla e instalação simultânea do tubo gotejador. (B) Implemento durante a operação.

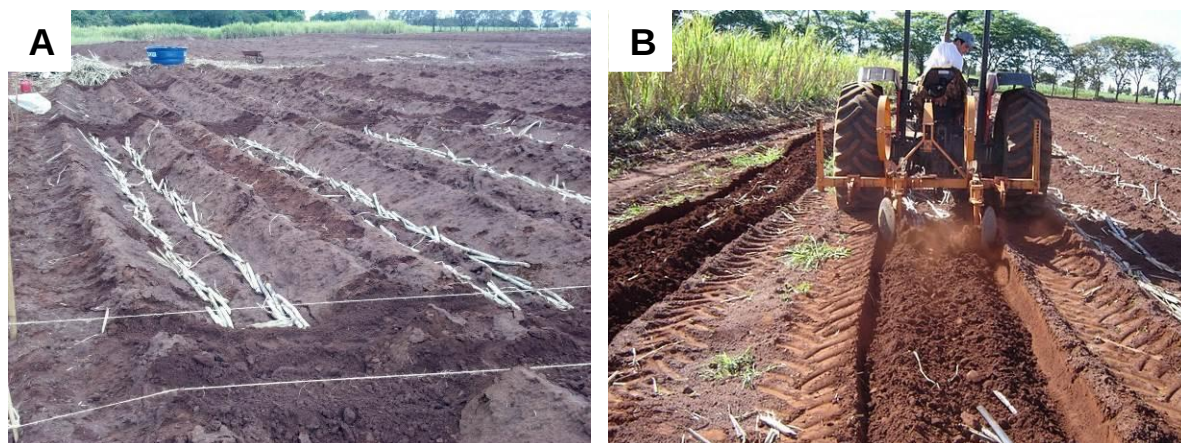


Figura 4. (A) Plantio de cana-de-açúcar em linha dupla. (B) Operação de cobrimento dos toletes e fechamento dos sulcos de plantio de cana-de-açúcar.

3.2 Controle da irrigação e adubação

A precipitação total ocorrida durante o ciclo de desenvolvimento da cultura (outubro/2013 à outubro/2014) foi de 980,2 mm, e a lâmina de água aplicada ao longo do ciclo, por meio da irrigação foi de 563,4 mm, repondo 100% da evapotranspiração da cultura (ETC), segundo o método de Penman-Monteith (HOWELL; EVETT, 2004). A frequência de irrigação foi realizada, contabilizando-se o suprimento de água no solo, pela precipitação (P), e a demanda atmosférica pela evapotranspiração da cana-de-açúcar (ETC), considerando uma capacidade de água disponível do solo (CAD) de 70 mm. Desse modo foi estimado o balanço hídrico a cada decêndio e calculada a deficiência hídrica (DEF), tanto para os tratamentos irrigados (Figura 5), quanto para os tratamentos não irrigados (Figura 6). A deficiência hídrica calculada para o período foi de 352,5 mm.

Baseado nos resultados das análises químicas e físicas do solo da área, apresentados na Tabela 3, realizou-se a adubação de fósforo e de enxofre, no fundo do sulco, aplicando-se uma dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de Super Simples correspondendo a 88 kg de P e 24 kg de S. Uma única dose de potássio foi atribuída à todos os tratamentos, 150 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio (KCl). Nos tratamentos irrigados, os fertilizantes (ureia + KCl) foram distribuídos ao longo do desenvolvimento da cultura por meio de fertirrigação (Figura 8A). Para os tratamentos não irrigados, os fertilizantes nitrogenados, (ureia e nitrato de amônio) e o cloreto de potássio foram aplicados fracionadamente, sendo uma aplicação de 50% (ureia + KCl) da dose no

plântio junto com o fósforo no sulco de plântio e mais uma aplicação de 50% (nitrato amônio + KCl) da dose, aos 30 dias após o plântio (DAP) para os manejos irrigado e não irrigado (Figura 8B). As duas aplicações de N e K₂O foram realizadas abrindo-se pequenos sulcos laterais à linha de plântio com enxada, após este procedimento os sulcos laterais foram rapidamente fechados evitando-se assim possíveis perdas de N por volatilização.

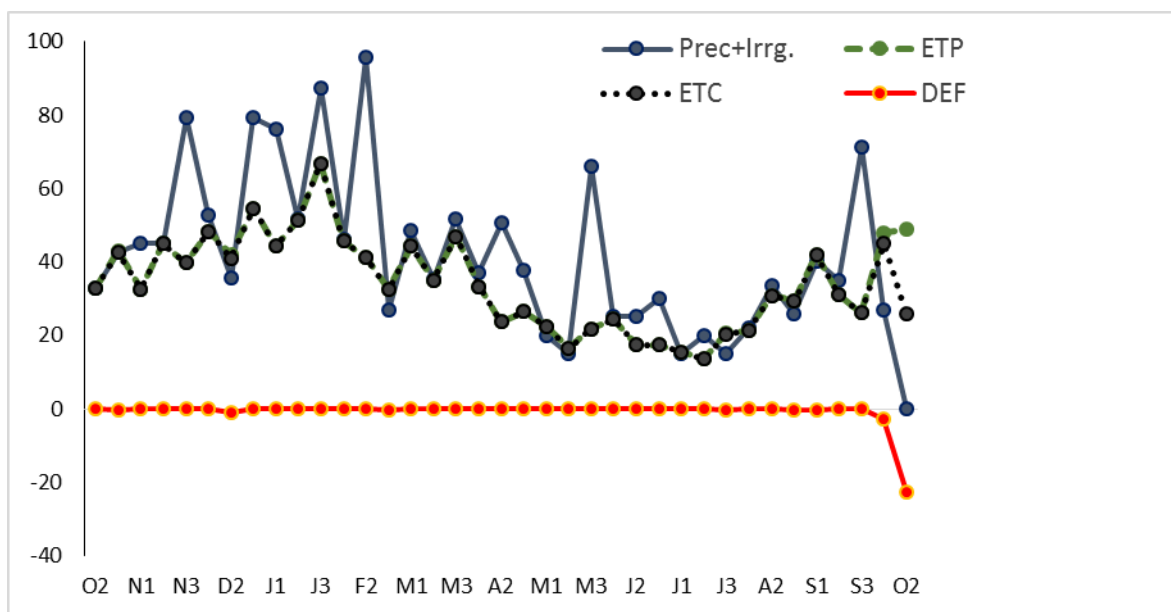


Figura 5. Balanço hídrico da cultura nos tratamentos irrigados, no ano agrícola 2013/14.

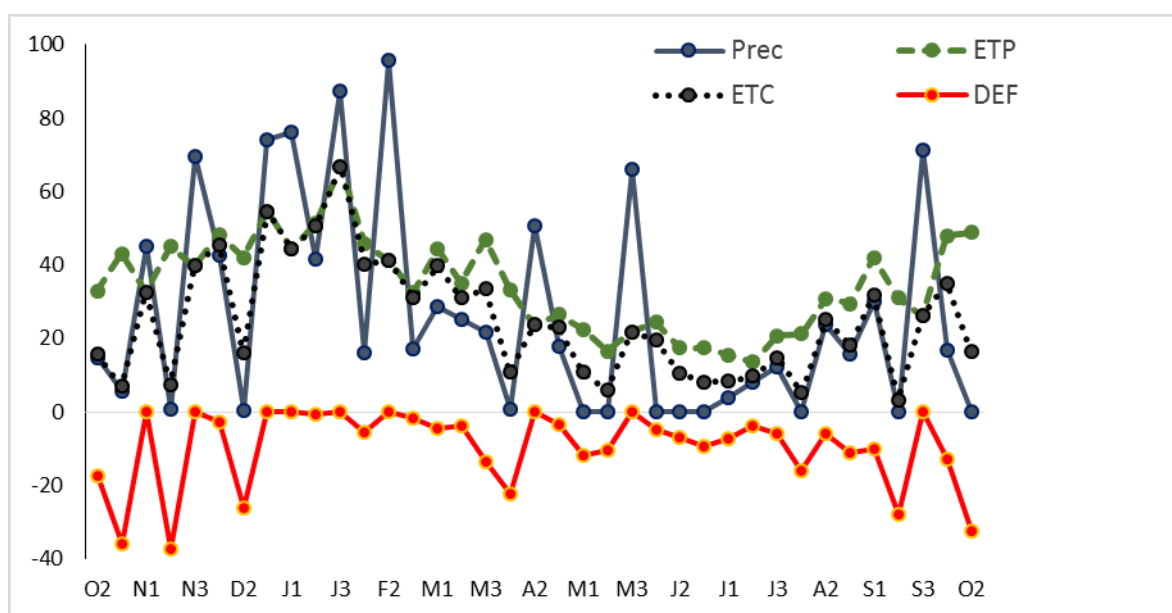
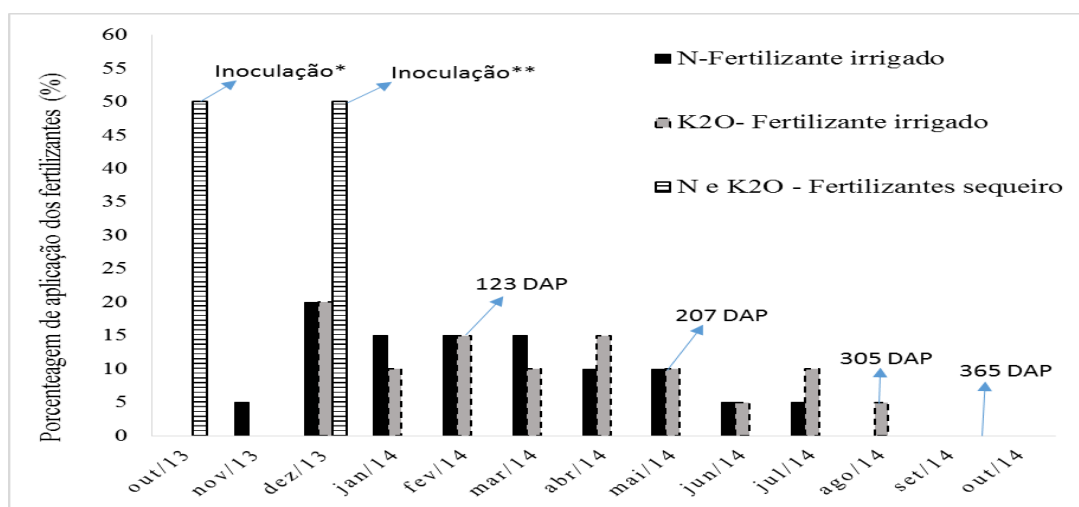


Figura 6. Balanço hídrico da cultura nos tratamentos não irrigados, no ano agrícola 2013/14.

Tabela 3. Resultado das análises químicas e físicas do solo da área experimental, nas profundidades de 0-25 cm e 25-50 cm.

Prof.	pH	COT ¹	P	K	Ca	Mg	CTC	V	Areia	Silte	Argila
cm		g dm ⁻³	mg dm ⁻³					%			
0-25	5,2*	8,7	30	1,7	15	7,5	70	56	660**	70	270
25- 50	4,8	7,5	20	1,2	9	4,0	32	44	560	100	320

*Análise realizada segundo metodologia de RAIJ (2001), **análise realizada segundo metodologia da EMBRAPA, (1997), ¹COT= Carbono orgânico total.



*inoculação dos toletes. **nova inoculação das parcelas, via foliar

Figura 7. Porcentagem de aplicação dos fertilizantes ao longo do período out/2013 à out/2014.

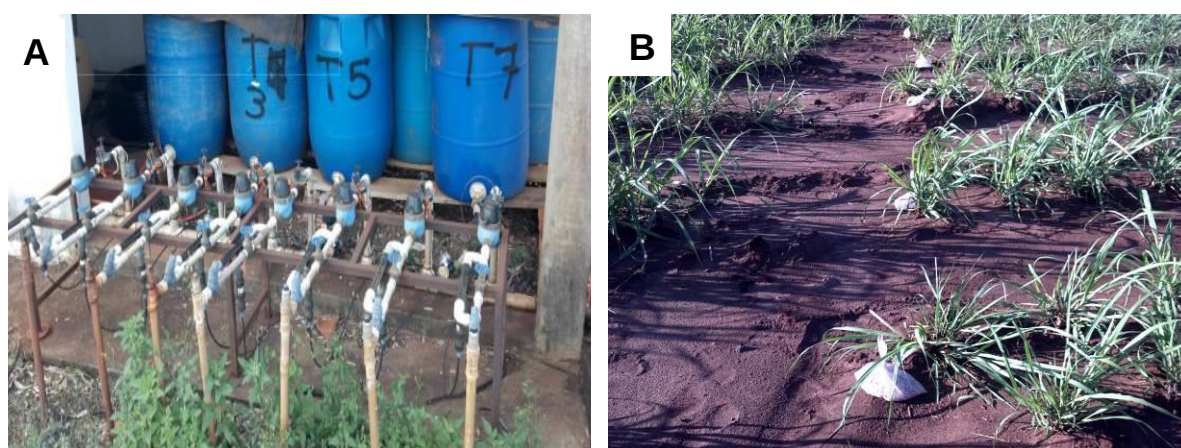


Figura 8. (A) Tambores para diluição do fertilizante utilizado na fertirrigação. (B) Adubo sólido para aplicação dos tratamentos não irrigados.

3.3 Inoculante

As bactérias utilizadas no experimento foram selecionadas pela Embrapa Agrobiologia, isoladas da própria cana, são: *Herbaspirillum seropedicae* (BR 11335), *Herbaspirillum rubrisubalbicans* (BR 11504), *Gluconacetobacter diazotrophicus* (BR 11281), *Burkholderia tropica* (BR 11366) e *Azospirillum amazonense* (BR 11145). Seguindo a metodologia de Reis et al. (2009), as estirpes cresceram individualmente, em meio de cultura, em seguida, foram misturadas com turfa estéril, sendo então distribuídas, cada uma, em sacos plásticos de 250 gramas. O produto final contendo as 5 estirpes de bactérias totalizou 1250 gramas, que foram então, misturados em 1000 L de água. Os toletes de cana-de-açúcar a serem plantados, ficaram em suspensão por 2 horas nessa solução. No dia do plantio a temperatura média era de 20 °C e a umidade relativa média era de 70%. Os tratamentos inoculados com bactérias diazotróficas receberam nova inoculação via foliar 64 dias após o plantio (DAP).



Figura 9. (A) Rebolos de cana-de-açúcar em solução com inoculantes diazotróficos. (B) Aplicação foliar de inoculante diazotrófico, aos 64 DAP.

3.4 Outras atividades

3.4.1 Aplicação de herbicida

Foi realizada aplicação do herbicida SENCOR 480[®], cujo princípio ativo é metribuzim 480 g l⁻¹, para controle das plantas invasoras. Foi realizada uma única aplicação, aos 5 DAP, em pré-emergência da cultura e das plantas invasoras, devido ao efeito residual do herbicida. A dose utilizada foi de 4 l ha⁻¹ de produto comercial, com volume de calda de aplicação de 300 l ha⁻¹.

3.4.2 Broca-da-cana (*Diatraea saccharalis*).

A broca-da-cana é uma praga responsável por grandes perdas na cultura da cana-de-açúcar, devido ao fato que as larvas do inseto atacam as gemas da cana-de-açúcar e abrem galerias nos colmos, reduzindo assim o peso e permitindo a entrada de outros patógenos, como fungos. Para controle da praga da broca-da-cana, foram liberados na área experimental parasitoides, o microhimenóptero *Cotesia flavipes* (Figura 10), cujas larvas se alimentam do tecido de reserva da lagarta *Diatraea saccharalis*. O parasitoide foi doado pela Usina da Barra do Grupo Raízen, que possui laboratório próprio para criação desse parasitoide; a liberação dos mesmos foi realizada aos 120 DAP, no período da manhã.



Figura 10. (A) Recipiente com parasitoides *Cotesia flavipes* no momento da liberação na área experimental. (B) Parasitoide na folha de cana-de-açúcar.



Figura 11. Vista aérea parcial da área experimental irrigada.

3.5 Avaliações realizadas durante o experimento

As avaliações fisiológicas e morfológicas foram realizadas na cana-planta safra 2013/2014 e em diferentes fases fenológicas, dos 123 aos 365 dias após o plantio, constituindo-se de quatro avaliações (A_1 , A_2 , A_3 , e A_4) no ciclo. Na colheita final (A_4) foram realizadas as avaliações qualitativas e quantitativas, aos 365 dias após o plantio.

3.5.1 Avaliações fisiológicas

3.5.1.1 Estimativa do conteúdo de clorofila aparente via clorofilômetro

A estimativa do conteúdo de clorofila aparente foi determinada usando um clorofilômetro (modelo SPAD-502, Konica Minolta, New Jersey, EUA). A leitura da parcela foi a média de três medidas nas folhas +1 (Dewlap)¹ de 15 perfilhos, assumindo diferentes perfilhos em cada época de avaliação, aos 123, 207, 305 e 365 DAP.

¹ A primeira folha apical (lâmina foliar com bainha visível) completamente expandida.

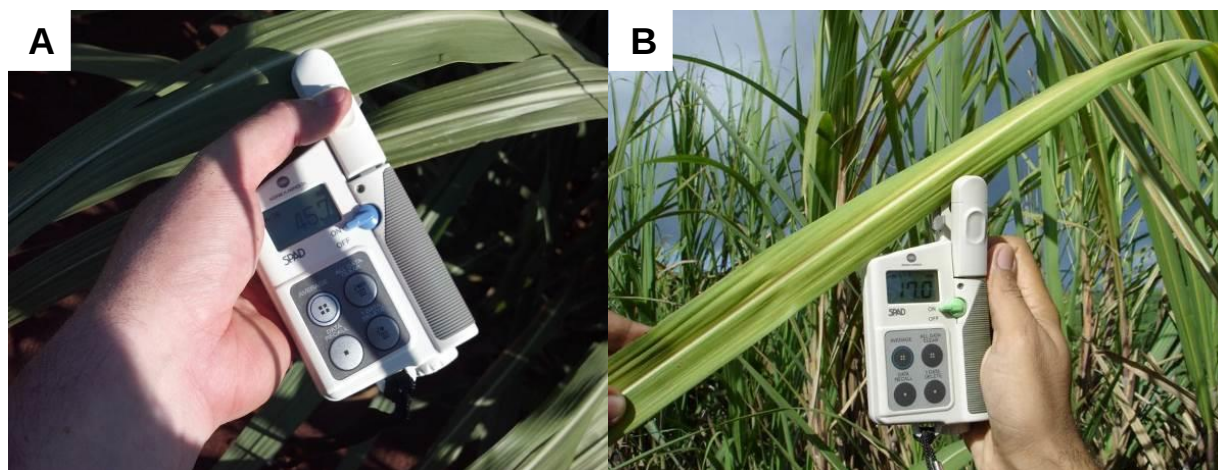


Figura 12. (A) Clorofilômetro, SPAD-502, leitura em folha +1 de cana-de-açúcar sem deficiência de N. (B) Leitura em folha +1 de cana-de-açúcar com deficiência de N.

3.5.1.2 Condutância estomática via porômetro

A condutância estomática (gs) foi obtida através de aparelho porômetro (Leaf Porometer - Decagon Devices). As leituras foram tomadas na região mediana da folha +1 e realizadas pela manhã antes das 10:00h, assumindo diferentes perfilhos em cada época de avaliação, aos 123, 207, 305 e 365 DAP.

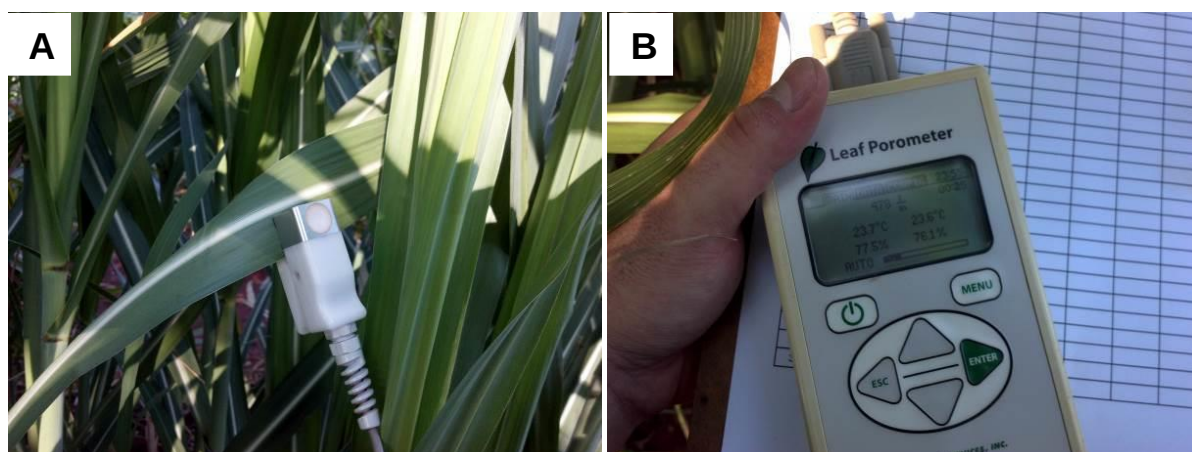


Figura 13. (A) Porômetro, leitura em folha +1 de cana-de-açúcar, detalhe do sensor preso à folha. (B) Visão do aparelho durante a leitura.

3.5.1.3 Temperatura Foliar via porômetro

Os valores de temperatura foliar foram obtidos através de aparelho porômetro (Leaf Porometer - Decagon Devices). Os valores de temperatura foram obtidos

simultaneamente às leituras de condutância estomática, utilizando-se a mesma região mediana da folha +1 e realizadas pela manhã antes das 10:00h, assumindo diferentes perfilhos em cada época de avaliação, aos 123, 207, 305 e 365 DAP.

3.5.2 Avaliações biométricas

3.5.2.1 Número de perfilhos (NP)

Para realizar a contagem de perfilhos, foram colhidos 2 metros lineares da linha central da parcela (Figura 14), em cada uma das repetições em 4 épocas de avaliação sequenciais aos 123, 207, 305 e 365 DAP.

3.5.2.2 Altura de plantas (ALT)

Nas mesmas amostras de 2 metros lineares utilizadas para contagem de perfilhos, mediu-se a (comprimento) altura do início do colmo até o colarinho + 1 (Figura 15B), utilizando-se uma fita graduada em centímetros, de acordo com o sistema de KUIJPER, para medida de comprimento, em 4 épocas de avaliação sequenciais aos 123, 207, 305 e 365 DAP.

3.5.2.3 Diâmetro de colmos (DIAM)

Ainda nas amostras de 2 metros lineares de cada parcela foi medido o diâmetro de colmos com paquímetro MZB (Figura 15A), no primeiro terço do colmo, acima da superfície do solo, nas 4 épocas de avaliação sequenciais aos 123, 207, 305 e 365 DAP.

3.5.3 Quantificação de nitrogênio e da produtividade nas amostragens sequenciais e colheita final

Nas colheitas sequenciais (A_1 , A_2 , e A_3 , aos 123, 207 e 305 DAP respectivamente) e na colheita final (A_4 , aos 365 DAP) foram avaliados e comparados os tratamentos em relação ao acúmulo de matéria seca e de nitrogênio em folha seca, colmo, ponteiro (folhas verdes, cartucho e palmito), na parte aérea da cana-de-açúcar. Na colheita

final foram determinadas a produtividade de colmos (TCH) (Mg ha^{-1}) e de açúcar (TPH) (Mg ha^{-1}) e realizadas as análises qualitativas da cana segundo método descrito por Caldas (1998) e Consecana (2003).

Nas amostragens sequenciais e na colheita final antes da determinação da produtividade de colmos, foram colhidas amostras de dois metros lineares da parte aérea da cana-de-açúcar, sem falhas, utilizadas para as avaliações biométricas, descritas anteriormente. No laboratório localizado na estação experimental de Jaú, a cana-de-açúcar foi cortada separando-se o material em folha seca, colmo, ponteiro. Após ser determinada a massa fresca destes materiais, eles foram triturados separadamente em picadora de forragem, sendo retiradas sub-amostras, submetidas à secagem em estufa com ventilação forçada à 65°C até massa constante, então foi determinada a massa de matéria seca de cada parte da planta (Figura 16).

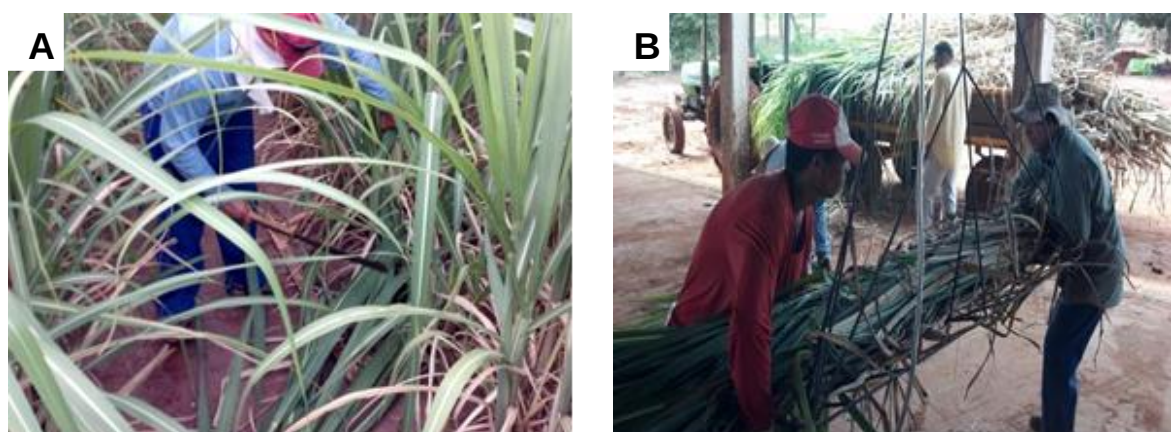


Figura 14. (A) Trabalhador iniciando o corte das amostras de parte aérea de cana-de-açúcar. (B) Pesagem do feixe de dois metros lineares de cana-de-açúcar.

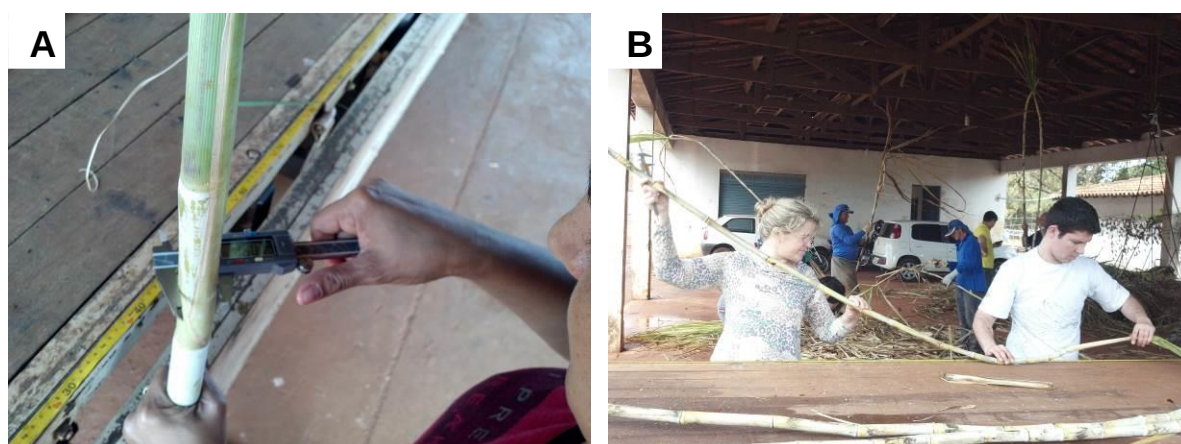


Figura 15. (A) Medição do diâmetro do colmo. (B) Medição da altura da planta até o colarinho +1.



Figura 16. (A) Separação das diferentes partes, colmos e ponteiros, das amostras de parte aérea de cana-de-açúcar. (B) Amostra de ponteiro triturada em picadora de forragem. (C) Pesagem da sub-amostra fresca de colmo. (D) Pesagem da sub-amostra de colmo, após secagem em estufa à 65 °C.

A massa de material fresco e seco da parte aérea foi calculada a partir da soma das massas de material fresco e seco de folhas secas, colmos e ponteiros.

Após a secagem, as sub-amostras foram processadas em moinho de facas tipo Willey (Tecnal, Piracicaba), e determinou-se o teor de N (g kg^{-1}), segundo método descrito por Malavolta et al. (1997).

A produção de colmos industrializáveis foi determinada no final do ciclo. Os colmos industrializáveis de cada parcela foram pesados. Sub-amostras de 15 colmos foram retiradas, passadas em picadeira de forragem, sub-amostradas e analisadas quanto aos teores de sacarose, aos açúcares redutores, a fibra e a pureza do caldo, seguindo método descrito por Caldas (1998) e Consecana (2003).



Figura 17. (A) Folhas+1 de cana-de-açúcar. (B) Retirando a nervura das folhas +1.

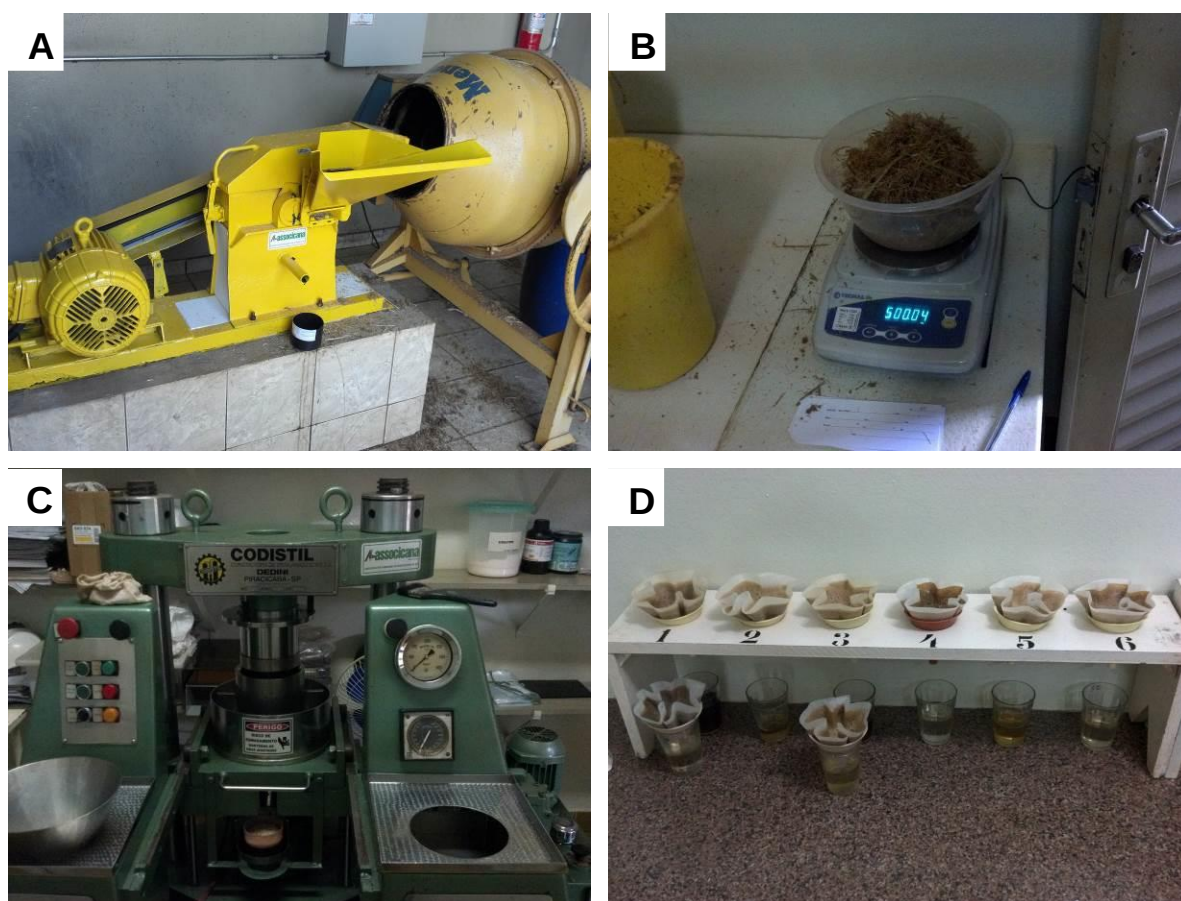


Figura 18. (A) Trituradora de forragem com betoneira para coleta das amostras processadas. (B) Amostra do colmo de cana-de-açúcar sendo pesado. (C) Prensa utilizada para extrair o caldo. (D) Caldo de cana-de-açúcar sendo clarificado para posterior leituras de Brix e Pol.

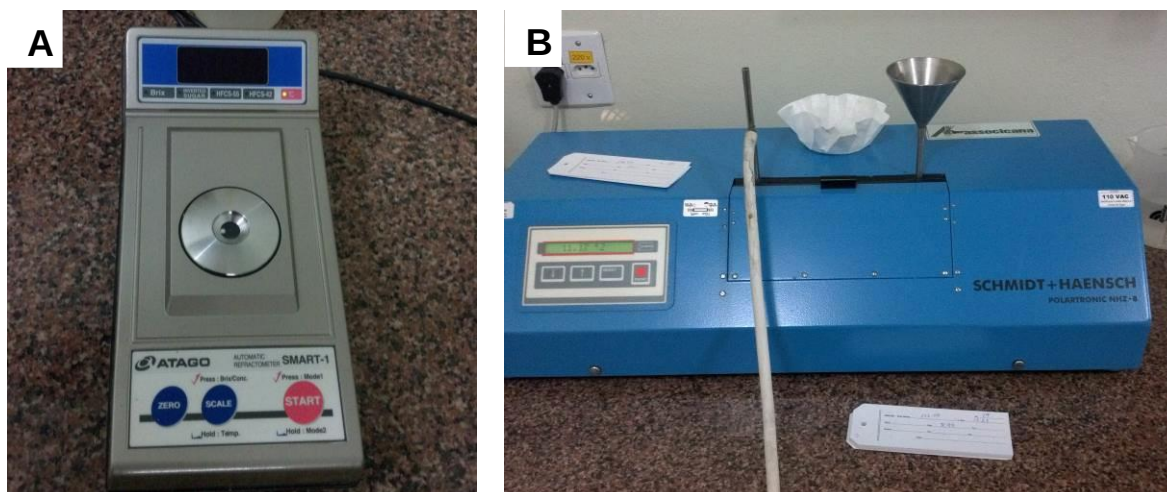


Figura 19. (A) Refratômetro para leitura do grau brix. (B) Polarímetro, utilizado para obter a Pol da cana-de-açúcar.

A partir desses resultados, foi estimada a produção de massa de material fresco e seco (Mg ha^{-1}) e o acúmulo de nitrogênio total (kg ha^{-1}) da cana-de-açúcar nos diferentes tratamentos.

3.6 Análise estatística dos resultados

Os resultados das variáveis de resposta foram analisados estatisticamente utilizando-se o teste F das análises de variância, ao nível de 95% de confiança, e as médias dos tratamentos foram comparadas através do teste de Tukey ($p < 0,05$). Também foi aplicada a análise de regressão nos dados referentes às doses de nitrogênio.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliações fisiológicas

4.1.1 Condutância estomática (gs)

Os valores de condutância estomática (Tabela 4 e Figura 20) foram superiores no manejo irrigado comparado ao não irrigado nas quatro avaliações realizadas ao longo do ciclo da cultura (Tabela 4). A média de condutância estomática nas 4 épocas de avaliação foram para o manejo irrigado de: 414,66; 374,89; 362,51 e 344,03, $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ aos 123, 207, 305 e 365 DAP, respectivamente, enquanto que para o manejo não irrigado os valores foram 305,43; 243,29; 231,05 e 206,33 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ aos 123, 207, 305 e 365 DAP.

Resultados similares foram encontrados por outros pesquisadores eles constataram a redução da condutância estomática em cana-de-açúcar sob deficiência hídrica (BRUNELLI, 2014; GERONIMO, 2014; PINCELLI, 2010), bem como a redução da condutância estomática ao longo do tempo (GONÇALVES, 2010). O fechamento dos estômatos é um mecanismo de defesa da planta, e tem por objetivo reduzir a perda de água, porém como consequência reduz também a assimilação de CO_2 (PIMENTEL, 2004).

A inoculação com bactérias diazotróficas (CD), apresentou diferenças significativas na segunda e quarta avaliações, aos 207 e 365 DAP respectivamente. Na segunda avaliação os valores de condutância foram menores nos manejos não irrigado (NI) e não inoculado com bactérias diazotróficas (SD).

Tabela 4. Análise da variável condutância estomática (gs), ao longo do ciclo da cultura.

Dose kg N ha ⁻¹	Manejo	Bactéria	Condutância estomática mmol m ⁻² s ⁻¹							
			123		207		305		365	
			DAP							
0	I	CD	400,13	aA	344,35	aA	343,95	aA	326,70	bA
		SD	410,90	aA	378,50	aA	354,00	aA	325,83	aA
70	I	CD	424,90	aA	386,40	aA	364,85	aA	333,20	bA
		SD	425,65	aA	410,38	aA	368,30	aA	343,68	aA
140	I	CD	418,70	aA	345,48	aA	358,83	aA	346,58	bA
		SD	413,35	aA	358,90	aA	364,38	aA	347,65	aA
210	I	CD	416,25	aA	378,55	aA	378,20	aA	366,23	bA
		SD	407,40	aA	396,58	aA	367,58	aA	362,40	aA
Média			414,66		374,89		362,51		344,03	
CV%			6,55		3,68		5,76		7,61	
F- Doses			0,26 ^{ns}		25,43 ^{ns}		1,50 ^{ns}		0,86 ^{ns}	
F regre 1º grau			0,48 ^{ns}		75,58 ^{ns}		3,52 ^{ns}		2,25 ^{ns}	
R²			61,25		99,07		78,26		87,36	
F regre 2º grau			0,12 ^{ns}		0,00 ^{ns}		0,59 ^{ns}		0,03 ^{ns}	
R²			77,04		99,18		91,47		88,53	
0	NI	CD	310,88	aB	205,68	bB	207,05	aB	197,90	aB
		SD	308,93	aB	249,25	aB	233,25	aB	202,33	aB
70	NI	CD	299,20	aB	234,63	bB	245,78	aB	207,90	aB
		SD	304,90	aB	241,63	aB	254,50	aB	209,18	aB
140	NI	CD	315,45	aB	237,28	bB	208,53	aB	193,38	aB
		SD	300,85	aB	255,20	aB	225,93	aB	218,48	aB
210	NI	CD	295,93	aB	261,23	bB	240,70	aB	216,98	aB
		SD	307,33	aB	261,45	aB	232,70	aB	204,55	aB
Média			305,43		243,29		231,05		206,33	
CV%			6,95		8,95		9,04		11,02	
F- Doses			0,72 ^{ns}		3,63 ^{ns}		4,31 ^{ns}		0,32 ^{ns}	
F regre 1º grau			0,72 ^{ns}		6,22 ^{ns}		0,25 ^{ns}		0,66 ^{ns}	
R²			33,11		57,96		1,98		67,94	
F regre 2º grau			1,25*		3,10*		0,50*		0,05 ^{ns}	
R²			90,90		85,70		5,9		73,02	
CV%			6,92		4,98		6,62		8,08	
F - Manejo			307,90*		1168,96*		715,91*		613,62*	
F- Bactérias			0,04 ^{ns}		2,02*		0,01 ^{ns}		6,06*	
F- Manejo x Bactéria			0,00 ^{ns}		16,24*		3,22 ^{ns}		3,02*	

Valores seguidos pela mesma letra minúscula não diferem entre si para inoculação com bactérias diazotróficas, pelo teste de Tuckey à 5%. Valores seguidos pela mesma letra maiúscula não diferem entre si para manejo (irrigado e não irrigado), pelo teste de Tuckey à 5%.

* significativo à 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo à 5% de probabilidade

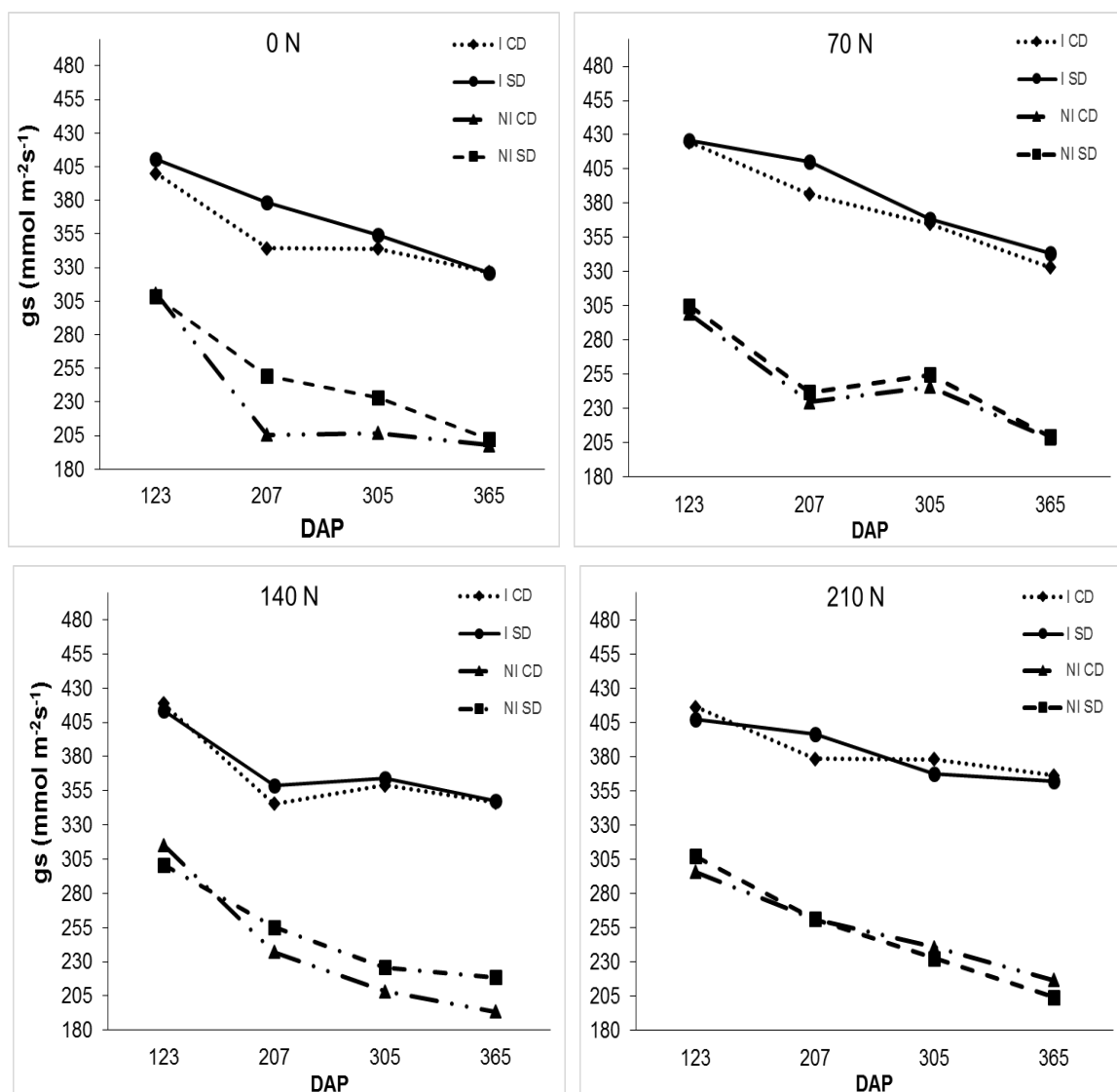


Figura 20. Evolução da variável condutância estomática (gs), nos manejos com e sem irrigação; com e sem inoculação com bactérias diazotróficas; aos 123, 207, 305 e 365 DAP; nas quatro diferentes doses de nitrogênio.

Na quarta avaliação os valores no tratamento irrigado diferiram quanto a inoculação sendo menores no manejo com inoculação de bactérias diazotróficas (CD). As diferenças observadas de condutância estomática, não foram constantes. Verificou-se que a inoculação com bactérias diazotróficas não promoveu elevação da condutância estomática das plantas de cana-de-açúcar. Falta discutir mais, desdobrar mais o assunto

Não houve diferença significativa entre as doses de nitrogênio aplicadas e a condutância estomática (gs), em todas as épocas de amostragem o F-Doses, no ambiente irrigado (I) e não irrigado (NI) não foram significativas.

4.1.2 Temperatura foliar

Os valores médios; valores do teste F e de regressões da variável temperatura foliar estão apresentados na Tabela 5 e na Figura 21. Observa-se diferenças significativas entre os manejos irrigado e não irrigado em todas as épocas avaliadas, sendo que no manejo irrigado as temperaturas foliares foram sempre menores comparado ao manejo não irrigado, mesmo na quarta avaliação aos 365 DAP, quando a irrigação já havia sido interrompida a 30 dias. A transpiração foliar tem várias funções, entre elas a de manter a temperatura das folhas mais baixa do que a temperatura do ar, porém quando em condições de deficiência hídrica a transpiração é restringida e pode ocorrer superaquecimento da folha e estresse por calor (TAIZ; ZEIGER, 2009; COSTA et al., 2013).

A redução da condutância estomática no ambiente não irrigado (Tabela 4), devido ao fechamento dos estômatos reduziu a transpiração, promovendo aumento da temperatura foliar (ARAÚJO et al., 2010; COSTA et al., 2013).

A média dos valores para a variável temperatura foliar nas 4 épocas de avaliação foram, para o manejo irrigado de: 26,2; 25,6; 24,7 e 27,3 °C aos 123, 207, 305 e 365 DAP, respectivamente, enquanto que para o manejo não irrigado os valores foram de: 31,8; 26,5; 25,9; 27,8 °C aos 123, 207, 305 e 365 DAP, respectivamente. A elevação de temperatura foliar devido ao estresse hídrico foi de: +5,6; +0,9; +1,2 e +0,5 °C aos 123, 207, 305 e 365 DAP, respectivamente.

Resultados semelhantes também foram constatados por Silva et al. (2014) que verificaram aumento médio de 3 °C da temperatura foliar em cultivares de cana-de-açúcar em condições de deficiência hídrica. Santos (2013) e Silva et al. (2007) estudando diferentes cultivares de cana-de-açúcar sob deficiência hídrica averiguaram aumento da temperatura foliar, associado à redução da produtividade.

Os valores de temperatura foliar não apresentaram diferenças significativas quanto as doses de nitrogênio, F-Doses, no ambiente irrigado (I) e não irrigado (NI) não foram significativas.

Tabela 5. Análise da variável temperatura foliar, ao longo do ciclo da cultura.

Dose kg N ha ⁻¹	Manejo	Bactéria	Temperatura foliar °C							
			123		207		305		365	
			DAP							
0	I	CD	26,14	aA	25,76	aA	24,81	aA	27,28	aA
		SD	26,26	aA	25,53	aA	24,64	aA	27,40	aA
70	I	CD	26,21	aA	25,65	aA	24,55	aA	27,28	aA
		SD	26,41	aA	25,44	aA	24,55	aA	27,00	aA
140	I	CD	26,26	aA	25,55	aA	25,08	aA	27,33	aA
		SD	26,11	aA	25,56	aA	25,15	aA	27,48	aA
210	I	CD	26,14	aA	25,46	aA	24,65	aA	27,35	aA
		SD	26,43	aA	25,61	aA	24,59	aA	27,18	aA
Média			26,25		25,57		24,75		27,28	
CV%			1,81		3,88		1,46		2,36	
F- Doses			0,48 ^{ns}		0,03 ^{ns}		2,33 ^{ns}		0,41 ^{ns}	
F regre 1º grau			0,74*		0,06 ^{ns}		6,20*		0,56*	
R²			51,26		70,27		88,64		45,97	
F regre 2º grau			0,58*		0,01 ^{ns}		0,01 ^{ns}		0,63*	
R²			91,88		86,23		88,71		97,91	
0	NI	CD	31,74	aB	26,40	aB	26,08	aB	27,71	aB
		SD	31,88	aB	26,33	aB	25,98	aB	27,79	aB
70	NI	CD	31,90	aB	26,45	aB	25,86	aB	27,73	aB
		SD	31,84	aB	26,48	aB	25,84	aB	27,81	aB
140	NI	CD	31,43	aB	26,51	aB	26,39	aB	27,76	aB
		SD	31,91	aB	26,38	aB	26,01	aB	27,80	aB
210	NI	CD	31,86	aB	26,41	aB	25,73	aB	27,75	aB
		SD	31,78	aB	26,61	aB	25,84	aB	27,83	aB
Média			31,79		26,45		25,96		27,77	
CV%			1,59		1,29		1,84		1,01	
F- Doses			0,65 ^{ns}		0,44 ^{ns}		1,24 ^{ns}		0,03 ^{ns}	
F regre 1º grau			0,68*		0,40 ^{ns}		0,26 ^{ns}		0,08 ^{ns}	
R²			34,87		30,95		6,87		95,24	
F regre 2º grau			1,17*		0,82*		0,52*		0,00 ^{ns}	
R²			94,53		93,61		20,91		100,00	
CV%			1,71		2,85		1,62		1,82	
F - Manejo			1993,39*		22,22*		139,35*		15,19*	
F- Bactérias			0,22 ^{ns}		0,00 ^{ns}		1,87 ^{ns}		0,23 ^{ns}	
F- Manejo x Bactéria			0,08 ^{ns}		0,09 ^{ns}		0,73*		0,08 ^{ns}	

Valores seguidos pela mesma letra minúscula não diferem entre si para inoculação com bactérias diazotróficas, pelo teste de Tuckey à 5%. Valores seguidos pela mesma letra maiúscula não diferem entre si para manejo (irrigado e não irrigado), pelo teste de Tuckey à 5%.

* significativo à 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo à 5% de probabilidade.

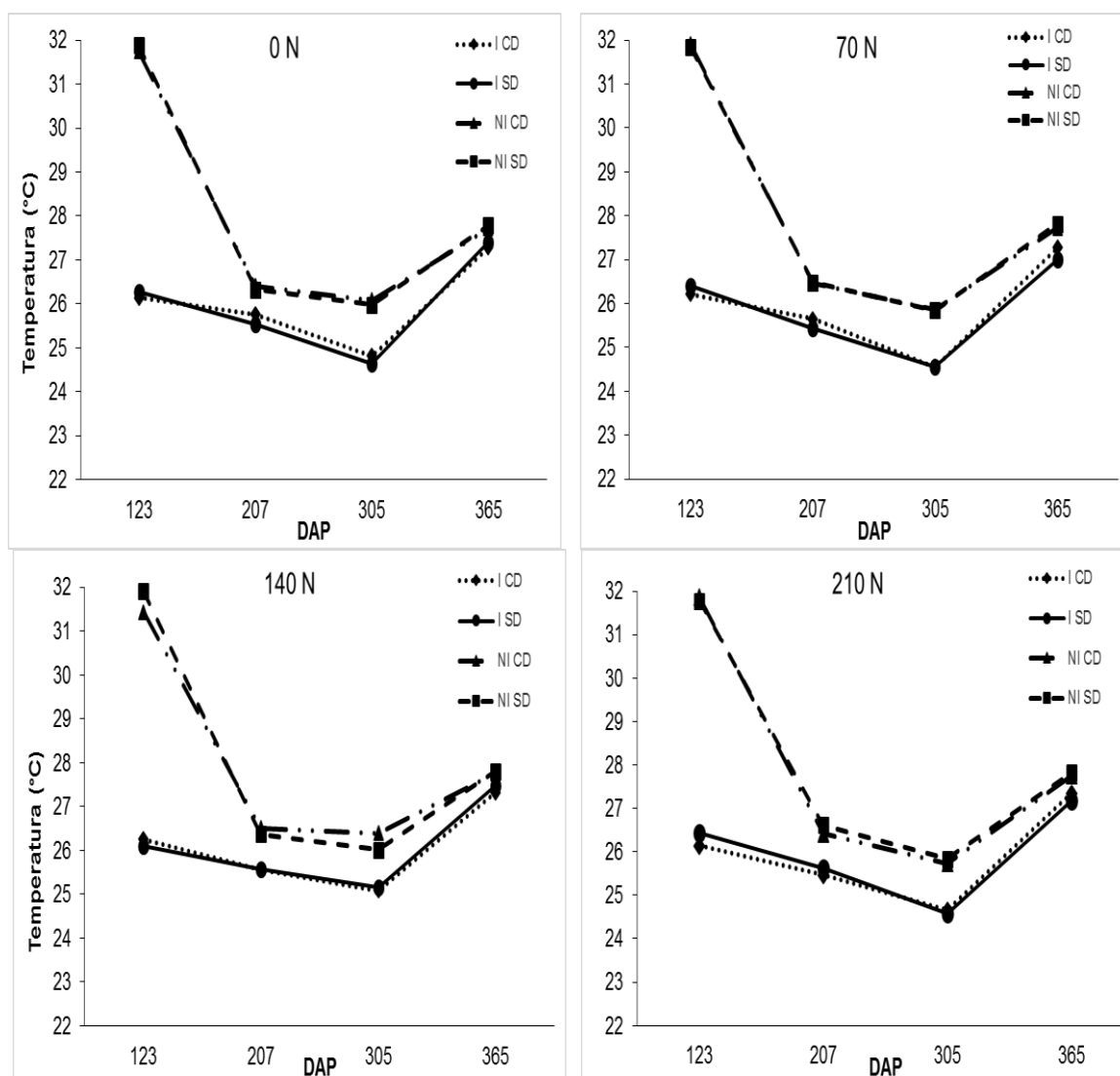


Figura 21. Evolução da variável temperatura foliar (°C), nos manejos com e sem irrigação; com e sem inoculação com bactérias diazotróficas; aos 123, 207, 305 e 365 DAP; nas quatro diferentes doses de nitrogênio.

4.1.3 Teor relativo de clorofila aparente (índice SPAD)

O teor relativo de clorofila aparente (índice SPAD), apresentaram diferenças significativas entre manejo irrigado e não irrigado em todas as épocas avaliadas (F-Manejo), também houve interação com as doses de nitrogênio aplicadas (F-Doses), ocorrendo aumento do índice SPAD com o aumento da dose de nitrogênio com ou sem a aplicação da tecnologia de irrigação (Tabela 6 e Figura 22).

A média dos valores para a variável teor relativo de clorofila aparente nas 4 épocas de avaliação foram para o manejo irrigado foi de: 42,15; 41,49;

37,16 e 32,33 unidades aos 123, 207, 305 e 365 DAP, respectivamente, enquanto que para o manejo não irrigado os valores foram 41,25; 39,43; 32,79 e 30,79 unidades aos 123, 207, 305 e 365 DAP, respectivamente. Verifica-se que com avanço do ciclo de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar, ocorreu uma diluição do valor do índice SPAD, resultado semelhante ao deste trabalho foi constatado por Oliveira et al. (2013).

Resultados semelhantes ao deste trabalho, foram encontrados por Geronimo (2014); Rhein (2013); e Kölln (2012), os autores constataram a redução do índice SPAD em cana-de-açúcar sob deficiência hídrica.

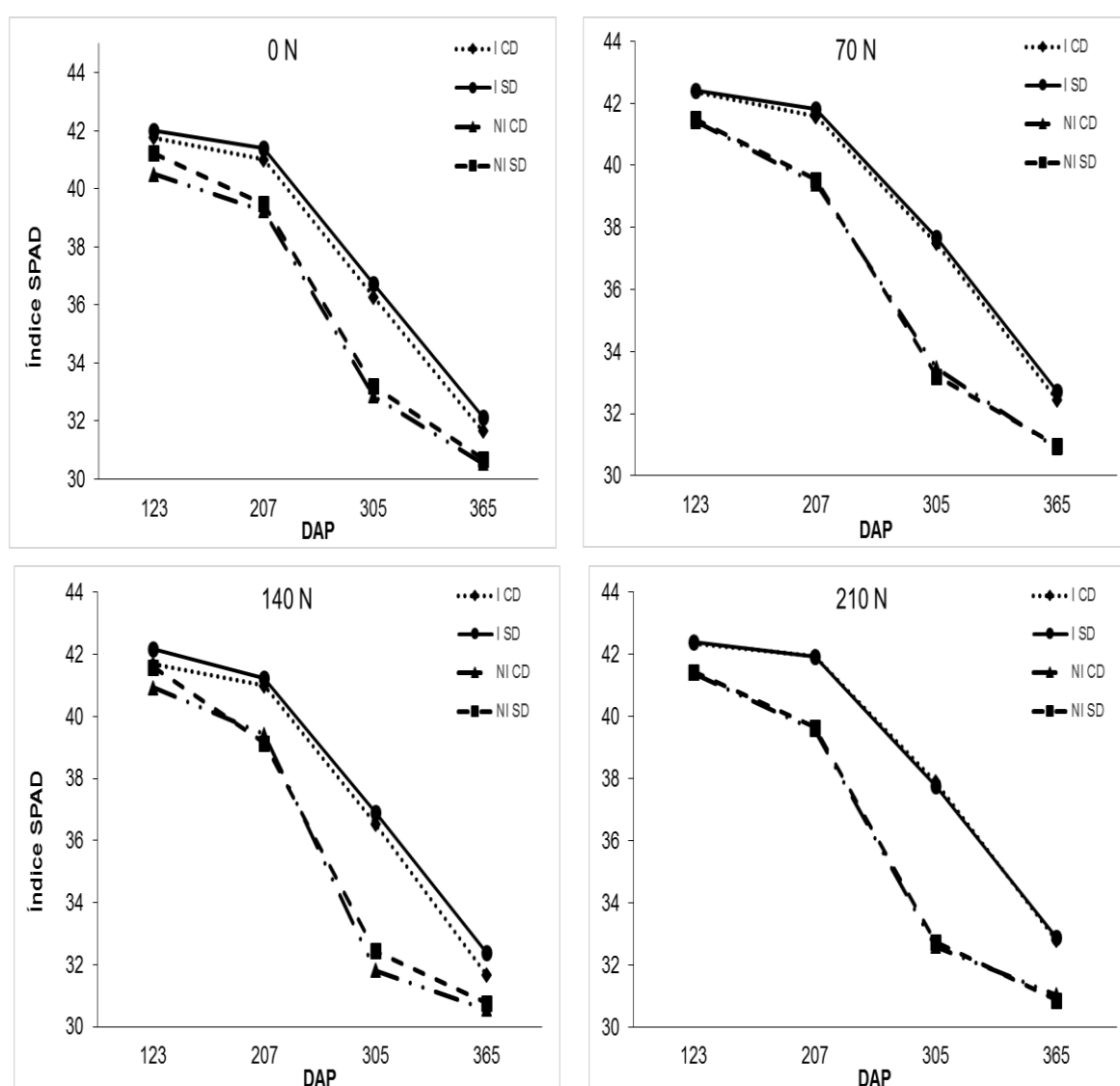


Figura 22. Evolução da variável teor relativo de clorofila aparente, nos manejos com e sem irrigação; com e sem inoculação com bactérias diazotróficas; aos 123, 207, 305 e 365 DAP; nas quatro diferentes doses de nitrogênio.

Tabela 6. Análise do teor relativo de clorofila aparente, ao longo do ciclo da cultura.

Dose kg N ha ⁻¹	Manejo	Bactéria	Índice SPAD							
			123		207		305		365	
			DAP							
0	I	CD	41,7	aA	41,0	aA	36,3	aA	31,7	aA
		SD	42,0	aA	41,4	aA	36,7	aA	32,1	aA
70	I	CD	42,4	aA	41,6	aA	37,5	aA	32,4	aA
		SD	42,4	aA	41,8	aA	37,7	aA	32,7	aA
140	I	CD	41,7	aA	41,0	aA	36,5	aA	31,7	aA
		SD	42,2	aA	41,2	aA	36,9	aA	32,8	aA
210	I	CD	42,4	aA	41,9	aA	37,9	aA	32,8	aA
		SD	42,4	aA	41,9	aA	37,8	aA	32,9	aA
Média			42,15		41,49		37,16		32,33	
CV%			0,90		0,69		1,22		8,33	
F- Doses			5,37*		15,95*		16,68*		2,41*	
F regre 1º grau			14,34*		45,84*		45,23*		5,89*	
R²			89,10		9,58		90,39		94,89	
F regre 2º grau			1,69*		0,90*		1,50*		1,32*	
R²			99,60		97,68		93,39		99,93	
0	NI	CD	40,5	aB	39,3	aB	32,8	aB	30,5	aB
		SD	41,2	aB	39,5	aB	33,2	aB	30,7	aB
70	NI	CD	41,4	aB	39,4	aB	33,4	aB	30,9	aB
		SD	41,5	aB	39,5	aB	33,2	aB	31,0	aB
140	NI	CD	40,9	aB	39,4	aB	31,8	aB	30,6	aB
		SD	41,6	aB	39,1	aB	32,5	aB	30,8	aB
210	NI	CD	41,4	aB	39,6	aB	32,6	aB	31,0	aB
		SD	41,4	aB	39,7	aB	32,7	aB	30,9	aB
Média			41,25		39,43		32,79		30,79	
CV%			1,05		1,53		1,47		1,56	
F- Doses			5,3*		0,39 ^{ns}		9,12*		1,06*	
F regre 1º grau			10,74*		0,99*		0,02*		0,84*	
R²			67,53		85,45		32,95		26,39	
F regre 2º grau			4,01*		0,09 ^{ns}		0,47 ^{ns}		0,01 ^{ns}	
R²			92,74		93,02		34,66		26,70	
CV%			0,97		1,21		1,12		7,54	
F - Manejo			78,95*		283,25*		1996,32*		1,08*	
F- Bactérias			0,89 ^{ns}		0,18 ^{ns}		7,36 ^{ns}		0,00 ^{ns}	
F- Manejo x Bactéria			0,67*		0,03 ^{ns}		27,55 ^{ns}		0,61 ^{ns}	

Valores seguidos pela mesma letra minúscula não diferem entre si para inoculação com bactérias diazotróficas, pelo teste de Tuckey à 5%. Valores seguidos pela mesma letra maiúscula não diferem entre si para manejo (irrigado e não irrigado), pelo teste de Tuckey à 5%.

* significativo à 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo à 5% de probabilidade.

A inoculação (CD) ou não (SD) com bactérias diazotróficas não promoveu diferenças significativas nos valores do índice SPAD. A redução do índice SPAD, na quarta época de avaliação, aos 365 DAP, pode ter ocorrido devido à interrupção da irrigação, e também à redução da capacidade fotossintética promovida pelo desenvolvimento de outros órgãos da planta, como raízes, colmos e folhas velhas, que atuam como drenos, demandando energia, e reduzindo assim a expansão foliar (OLIVEIRA et al., 2005; SILVA et al., 2005).

A inoculação com bactéria só demonstrou diferença significativa na última avaliação, aos 365 DAP, no manejo irrigado (I), os valores das plantas inoculadas com bactérias diazotróficas foram inferiores; enquanto que o oposto foi observado no manejo não irrigado (NI), em que os valores de SPAD das plantas sem bactérias diazotróficas foram inferiores.

4.2 Avaliações biométricas

4.2.1 Perfilhos

O perfilhamento da cana-de-açúcar é fator que influencia diretamente a produtividade do canavial, pois define o número final de colmos industrializáveis.

A média dos valores; valores do teste F e regressões da variável perfilhos, encontram-se na Tabela 7 e na Figura 23. Houve diferença significativa entre os manejos irrigado e não irrigado (F-Manejo), sendo no manejo irrigado maior o número de perfilhos em todas as épocas avaliadas. As doses de nitrogênio aplicadas também apresentaram diferenças significativas (F-Doses), houve aumento do número de perfilhos com o aumento da dose de nitrogênio fertilizante aplicado.

Os valores médios para a variável perfilhos nas 4 épocas de avaliação foram para o manejo irrigado de: 12,91; 11,5; 10,75 e 10,09 perfilhos por metro aos 123, 207, 305 e 365 DAP, respectivamente, enquanto que para o manejo não irrigado os valores foram 12,66; 10,84; 9,78 e 9,19 perfilhos por metro aos 123, 207, 305 e 365 DAP, respectivamente. Os valores obtidos aparentam serem baixos, porém quando se

considera o espaçamento utilizado, nota-se que o número de perfilhos por hectares torna-se maior que no espaçamento convencional.

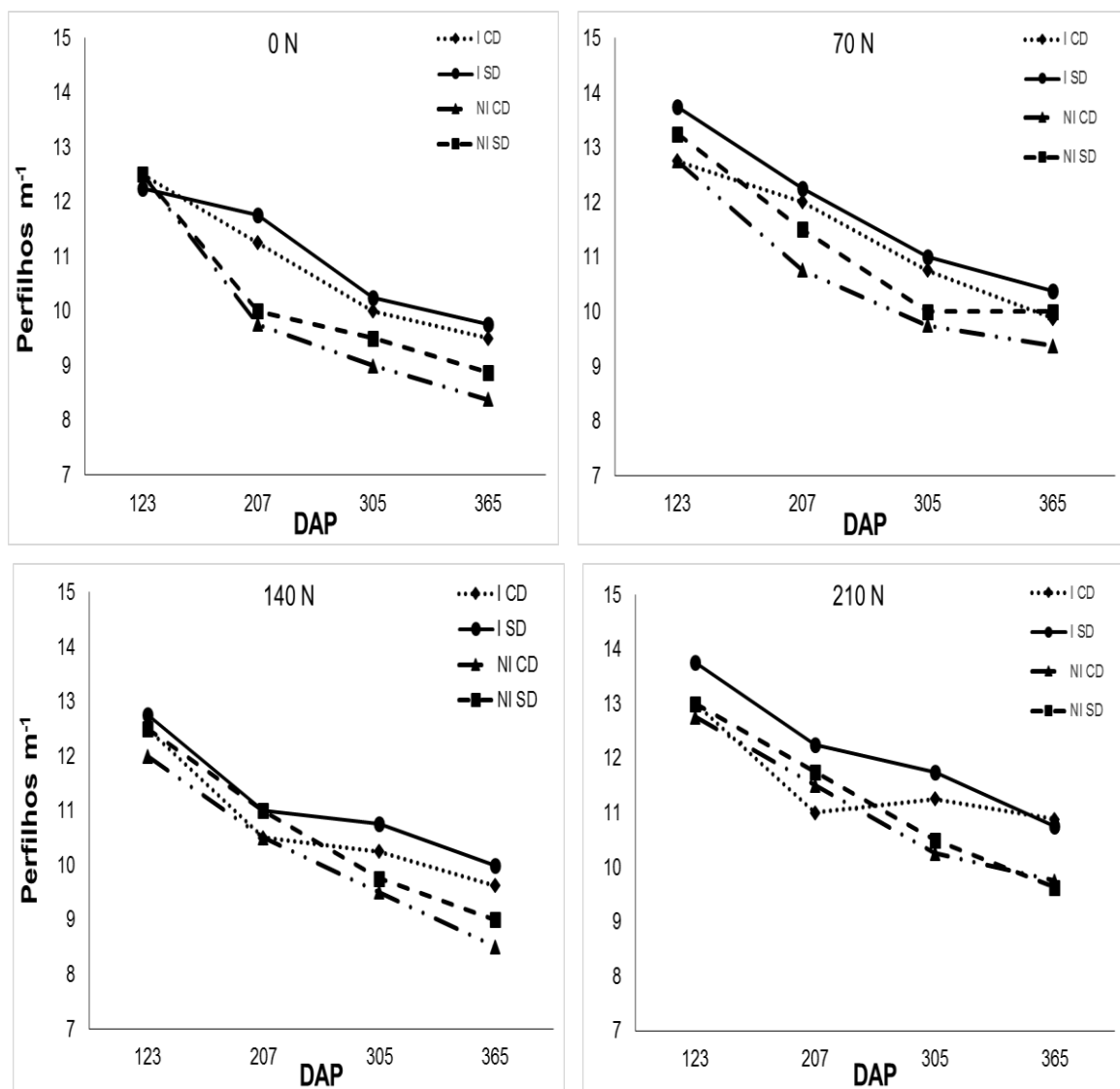


Figura 23. Evolução da variável perfilhos, nos manejos com e sem irrigação; com e sem inoculação com bactérias diazotróficas; aos 123, 207, 305 e 365 DAP; nas quatro diferentes doses de nitrogênio.

Tabela 7. Análise da variável perfilhos por metro linear, ao longo do ciclo da cultura.

Dose	Manejo	Bactéria	Perfilhos m ⁻¹							
			123		207		305		365	
kg N ha ⁻¹			DAP							
0	I	CD	12,5	aA	11,3	bA	10,0	aA	9,5	aA
		SD	12,3	aA	11,8	aA	10,3	aA	9,8	aA
70	I	CD	12,8	aA	12,0	bA	10,8	aA	9,9	aA
		SD	13,8	aA	12,3	aA	11,0	aA	10,4	aA
140	I	CD	12,5	aA	10,5	bA	10,3	aA	9,6	aA
		SD	12,8	aA	11,0	aA	10,8	aA	10,0	aA
210	I	CD	13,0	aA	11,0	bA	11,3	aA	10,9	aA
		SD	13,8	aA	12,3	aA	11,8	aA	10,8	aA
Média			12,91		11,5		10,75		10,09	
CV%			8,33		9,89		12,02		7,18	
F- Doses			2,41*		2,00*		1,45*		3,20*	
F regre 1º grau			5,84*		5,58*		4,327*		9,34*	
R²			81,57		93,23		99,66		97,39	
F regre 2º grau			1,32*		0,10 ^{ns}		0,001 ^{ns}		0,06 ^{ns}	
R²			99,93		94,84		99,66		98,01	
0	NI	CD	12,5	aA	9,8	bB	9,0	aB	8,4	aB
		SD	12,5	aA	10,0	aB	9,5	aB	8,9	aB
70	NI	CD	12,8	aA	10,8	bB	9,8	aB	9,4	aB
		SD	13,3	aA	11,5	aB	10,0	aB	10,0	aB
140	NI	CD	12,0	aA	10,5	bB	9,5	aB	8,5	aB
		SD	12,5	aA	11,0	aB	9,8	aB	9,0	aB
210	NI	CD	12,8	aA	11,5	bB	10,3	aB	9,8	aB
		SD	13,0	aA	11,8	aB	10,5	aB	9,6	aB
Média			12,66		10,84		9,78		9,19	
CV%			6,66		6,89		7,76		7,36	
F- Doses			1,57*		6,33*		3,09*		5,87*	
F regre 1º grau			4,66*		18,83*		6,78*		4,43*	
R²			98,88		99,17		73,1		25,12	
F regre 2º grau			0,04 ^{ns}		0,06 ^{ns}		0,01 ^{ns}		0,07 ^{ns}	
R²			99,81		99,47		73,68		25,5	
CV%			7,54		7,43		10,1		6,86	
F - Manejo			1,08 ^{ns}		9,99*		13,96*		30,02*	
F- Bactérias			0,00 ^{ns}		0,02*		3,27 ^{ns}		2,28 ^{ns}	
F- Manejo										
x			0,61 ^{ns}		9,99*		0,02 ^{ns}		1,29 ^{ns}	
Bactéria										

Valores seguidos pela mesma letra minúscula não diferem entre si para inoculação com bactérias diazotróficas, pelo teste de Tuckey à 5%. Valores seguidos pela mesma letra maiúscula não diferem entre si para manejo (irrigado e não irrigado), pelo teste de Tuckey à 5%.

* significativo à 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo à 5% de probabilidade.

Nota-se o decréscimo de perfilhos ao longo das avaliações sequenciais, isto porque com o crescimento dos perfilhos, estes começam a intensificar a disputa por luz, água e nutrientes, promovendo a morte dos perfilhos mais jovens (OLIVEIRA et al., 2010). Resultados semelhantes foram encontrados por outros autores, relatando o aumento do número de perfilhos em condições sem deficiência hídrica, e redução do número de perfilhos ao longo do ciclo (RHEIN, 2013; KÖLLN, 2012; URIBE, 2010; DALRI; CRUZ, 2008). Oliveira et al. (2014), trabalhando com 2 variedades de cana-de-açúcar (RB72 454 e RB92 579), em soqueira irrigada por gotejamento subsuperficial, obteve médias de 16,63 perfilhos por metro linear aos 210 dias após o corte (DAC).

Apenas na segunda época de avaliação, aos 207 DAP houve diferença entre os manejos com e sem inoculação de bactérias diazotróficas, sendo que o maior número de perfilhos foi encontrado no manejo sem inoculação com bactérias diazotróficas.

4.2.2 Altura de plantas

Os valores médios; valores do teste F e regressões para a variável altura de plantas estão dispostos na Tabela 8 e Figura 24, com base nesses dados é possível constatar que os valores de altura de plantas responderam positivamente a irrigação (F-Manejo significativos) e às doses de nitrogênio (F-Doses) em todas as épocas de avaliação, os valores da variável aumentaram com a elevação da dose de nitrogênio, em ambos os manejos, irrigado e não irrigado, corroborando com outras pesquisas com cana-de-açúcar submetidas à diferentes disponibilidades hídricas e diferentes níveis de N-fertilizante (RHEIN, 2013, KÖLLN, 2012; OLIVEIRA et al., 2010; PINCELLI, 2010; URIBE, 2010; WIEDENFELD; ENCISO, 2008).

A média dos valores para a variável altura de plantas em metros nas 4 épocas de avaliação foram, para o manejo irrigado: 1,26; 2,47; 2,99 e 3,08 metros aos 123, 207, 305 e 365 DAP, respectivamente, enquanto para o manejo não irrigado os valores foram de: 0,92; 1,95; 2,22 2,24 metros aos 123, 207, 305 e 365 DAP, respectivamente. A elevação da altura de plantas devido a tecnologia de irrigação foi de: +0,3; +0,5; +0,8 e +0,8 metros aos 123, 207, 305 e 365 DAP, respectivamente.

Oliveira et al. (2014) encontrou em 2 variedades de cana-de-açúcar, média de altura de planta de 3,68 metros aplicando lâmina de irrigação de 100% da ETc.

Tabela 8. Análise da variável altura de plantas, ao longo do ciclo da cultura.

Dose kg N ha ⁻¹	Manejo	Bactéria	Altura das plantas m							
			123		207		305		365	
			DAP							
0	I	CD	1,18	aA	2,35	aA	2,81	aA	2,79	bA
		SD	1,24	aA	2,41	aA	2,99	aA	2,94	aA
70	I	CD	1,29	aA	2,46	aA	3,00	aA	3,11	bA
		SD	1,32	aA	2,55	aA	2,98	aA	3,06	aA
140	I	CD	1,21	aA	2,29	aA	2,84	aA	3,12	bA
		SD	1,22	aA	2,51	aA	2,97	aA	3,22	aA
210	I	CD	1,29	aA	2,60	aA	3,14	aA	3,24	bA
		SD	1,31	aA	2,61	aA	3,12	aA	3,28	aA
Média			1,26		2,47		2,99		3,08	
CV%			9,15		9,02		6,65		6,75	
F- Doses			2,05*		2,03*		3,10*		2,72*	
F regre 1º grau			6,08*		5,78*		6,38*		4,98*	
R²			98,76		94,81		68,66		60,61	
F regre 2º grau			0,01 ^{ns}		0,30 ^{ns}		2,61*		1,99*	
R²			98,95		99,86		96,77		84,85	
0	NI	CD	0,80	aB	1,82	aB	2,13	aB	2,13	aB
		SD	0,90	aB	1,94	aB	2,14	aB	2,16	bB
70	NI	CD	0,94	aB	2,02	aB	2,18	aB	2,33	aB
		SD	0,98	aB	2,02	aB	2,3	aB	2,30	bB
140	NI	CD	0,84	aB	1,86	aB	2,1	aB	2,26	aB
		SD	0,92	aB	1,92	aB	2,15	aB	2,19	bB
210	NI	CD	0,98	aB	1,99	aB	2,19	aB	2,29	aB
		SD	1,00	aB	2,00	aB	2,21	aB	2,26	bB
Média			0,92		1,95		2,22		2,24	
CV%			8,64		6,64		5,47		5,82	
F- Doses			7,32*		2,97*		3,85*		2,58*	
F regre 1º grau			20,83*		8,05*		0,83*		2,19*	
R²			94,79		90,28		7,24		28,26	
F regre 2º grau			1,09*		0,76*		0,73*		1,83*	
R²			99,76		98,87		13,59		52,00	
CV%			9,05		8,19		6,26		6,86	
F - Manejo			187,88*		134,53*		354,16*		384,98*	
F- Bactérias			0,37 ^{ns}		0,26 ^{ns}		0,08 ^{ns}		3,81*	
F- Manejo x Bactéria			0,40*		0,53*		0,85*		2,05*	

Valores seguidos pela mesma letra minúscula não diferem entre si para inoculação com bactérias diazotróficas, pelo teste de Tuckey à 5%. Valores seguidos pela mesma letra maiúscula não diferem entre si para manejo (irrigado e não irrigado), pelo teste de Tuckey à 5%.

* significativo à 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo à 5% de probabilidade

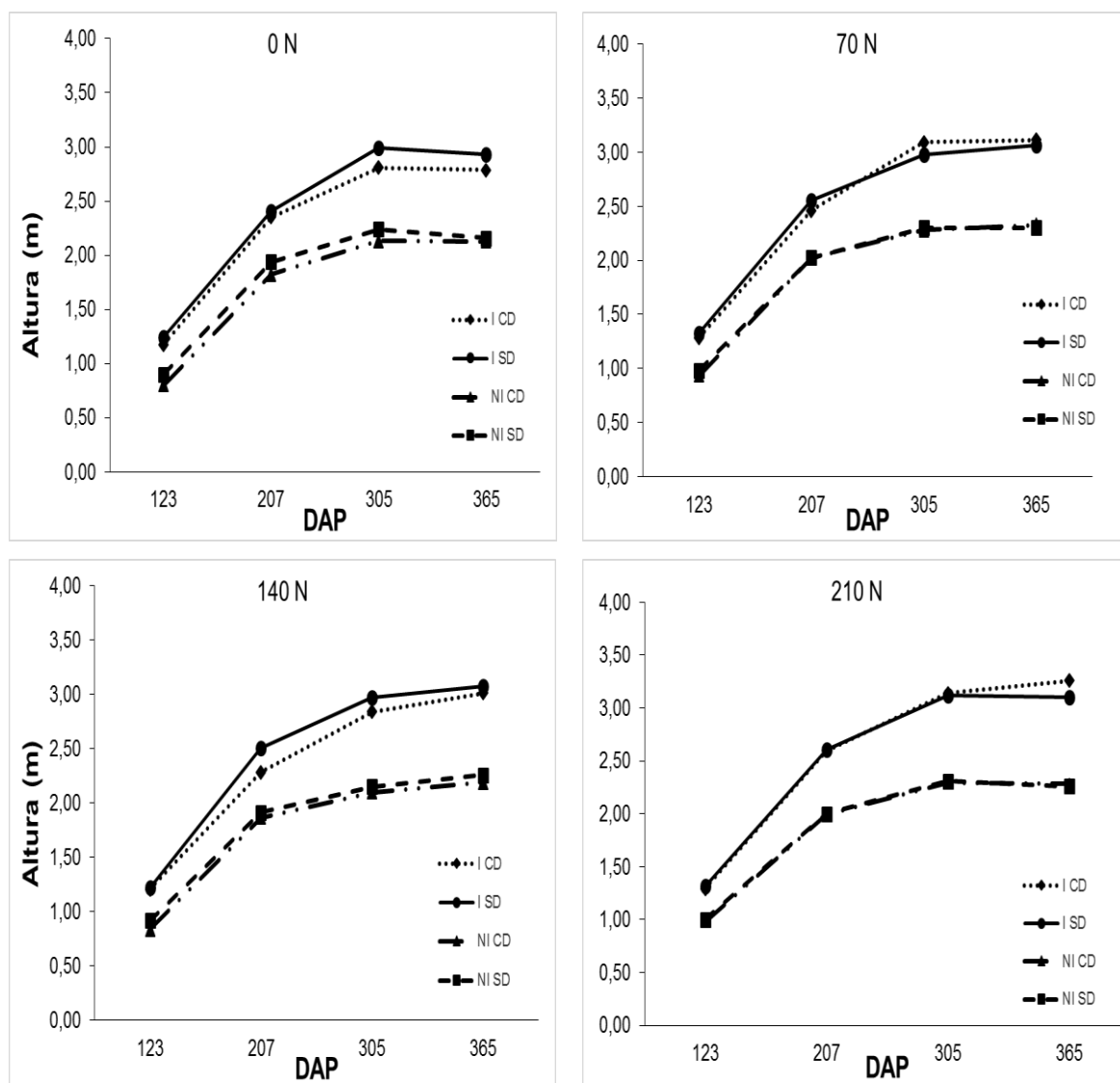


Figura 24. Evolução da variável altura de plantas, nos manejos com e sem irrigação; com e sem inoculação com bactérias diazotróficas; aos 123, 207, 305 e 365 DAP; nas quatro diferentes doses de nitrogênio.

A fase de alongamento dos colmos apresenta alta susceptibilidade à deficiência hídrica, que pode reduzir a produtividade e o acúmulo de sacarose (INMAN-BAMBER; SMITH, 2005; ROBERTSON et al., 1999). O período de maior crescimento da cana-de-açúcar neste trabalho ocorreu até a segunda época de avaliação, aos 207 DAP (de outubro/2013 à maio/2014), período caracterizado por ocorrência de chuvas frequentes, temperaturas altas e alta luminosidade, fatores que permitiram o bom desenvolvimento da cultura tanto manejo irrigado como no manejo não irrigado, os valores maiores de altura de

plantas encontrados no manejo irrigado podem ser correlacionados à fertirrigação nitrogenada (RHEIN, 2013; KÖLLN, 2012; URIBE, 2010; OLIVEIRA et al., 2010).

4.2.3 Diâmetro de colmos

Os valores médios, valores do teste F e de F regressões para a variável diâmetro de colmos estão dispostos na Tabela 9 e Figura 25. Essa variável apresentou diferenças significativas entre o manejo irrigado (I) e não irrigado (NI), sendo os valores do manejo irrigado maiores em todas as avaliações.

A média dos valores para a variável diâmetro de colmos nas 4 épocas de avaliação foram: para o manejo irrigado de 25,65; 26,62; 27,30 e 26,52 milímetros aos 123, 207, 305 e 365 DAP, respectivamente, enquanto que para o manejo não irrigado os valores foram 24,33; 25,62; 25,83 e 25,56 milímetros aos 123, 207, 305 e 365 DAP, respectivamente.

A variável não apresentou diferenças significativas para as doses de nitrogênio. Ao longo do ciclo de crescimento da cultura, nas avaliações sequenciais nota-se pouca variação nos valores de diâmetro de colmos, diferentemente do que apontam outras pesquisas com cana-de-açúcar submetida à diferentes níveis de deficiência hídrica e de doses de nitrogênio (RHEIN, 2013; KÖLLN, 2012). Arantes (2012) estudando diferentes genótipos de cana-de-açúcar sob manejo irrigado e de sequeiro não encontrou diferenças significativas para a variável diâmetro de colmos para a variedade SP83-2847, dos 120 aos 240 DAC. Oliveira et al. (2014) não verificou diferenças no diâmetro de colmo de 2 variedades de cana-de-açúcar (RB72454 e RB92579), aplicando lâmina de irrigação de 100% da ETc, entre 150 a 330 DAC.

O aumento de diâmetro devido a utilização da tecnologia de irrigação foi de: 1,3; 1,0; 1,5 e 1 mm aos 123, 207, 305 e 365 DAP, respectivamente.

O diâmetro de colmos não apresentou diferenças significativas para os manejos: com (CD) e sem (SD) inoculação de bactérias diazotróficas (F-Bactérias não significativos).

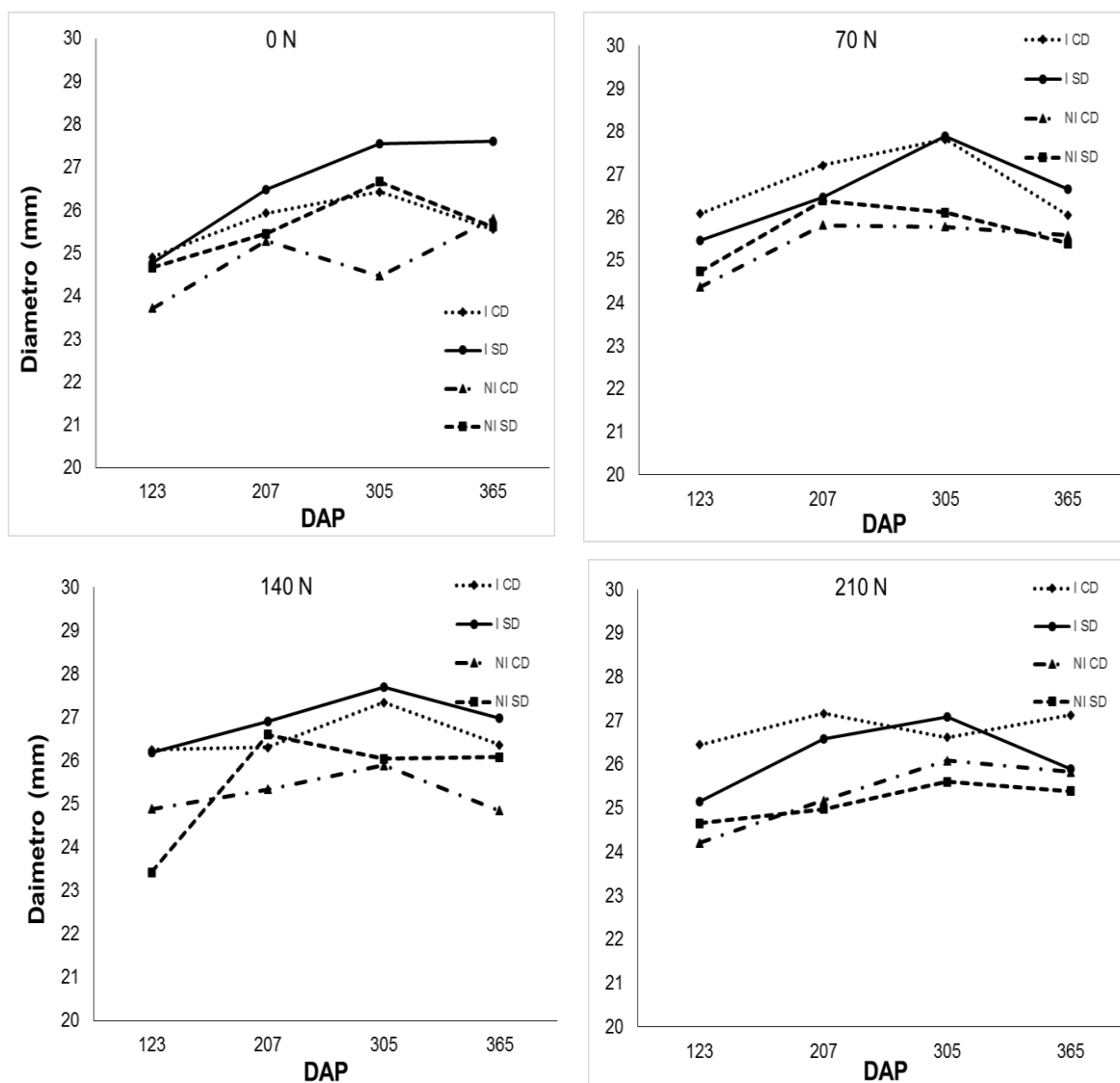


Figura 25. Evolução da variável diâmetro de colmos, nos manejos com e sem irrigação; com e sem inoculação com bactérias diazotróficas; aos 123, 207, 305 e 365 DAP; nas quatro diferentes doses de nitrogênio.

Tabela 9. Análise da variável diâmetro de colmos, ao longo do ciclo da cultura.

Dose kg N ha ⁻¹	Manejo	Bactéria	Diâmetro mm							
			123		207		305		365	
			DAP							
0	I	CD	24,91	aA	25,93	aA	26,42	aA	25,55	aA
		SD	24,77	aA	26,47	aA	27,55	aA	27,60	aA
70	I	CD	26,08	aA	27,21	aA	27,82	aA	26,04	aA
		SD	25,46	aA	26,47	aA	27,88	aA	26,65	aA
140	I	CD	26,24	aA	26,30	aA	27,33	aA	26,35	aA
		SD	26,18	aA	26,89	aA	27,69	aA	26,98	aA
210	I	CD	26,45	aA	27,16	aA	26,61	aA	27,13	aA
		SD	25,15	aA	26,58	aA	27,09	aA	25,89	aA
Média			25,65		26,62		27,30		26,52	
CV%			5,48		5,67		4,87		4,21	
F- Doses			0,72*		0,64*		0,49 ^{ns}		2,09*	
F regre 1º grau			0,00 ^{ns}		0,49 ^{ns}		0,46 ^{ns}		0,02 ^{ns}	
R²			0,00		25,84		30,99		0,31	
F regre 2º grau			0,74*		1,22*		0,26 ^{ns}		4,37*	
R²			34,45		89,59		49,07		69,86	
0	NI	CD	23,71	aB	25,28	aA	24,46	aB	25,79	aB
		SD	24,66	aB	25,45	aB	26,66	aB	25,61	aB
70	NI	CD	24,37	aB	25,81	aA	25,78	aB	25,58	aB
		SD	24,73	aB	26,38	aB	26,11	aB	25,39	aB
140	NI	CD	24,88	aB	25,33	aA	25,88	aB	24,84	aB
		SD	23,41	aB	26,59	aB	26,03	aB	26,07	aB
210	NI	CD	24,21	aB	25,17	aA	26,08	aB	25,83	aB
		SD	24,65	aB	24,97	aB	25,6	aB	25,38	aB
Média			24,33		25,62		25,83		25,56	
CV%			7,08		5,27		4,69		4,13	
F- Doses			0,19 ^{ns}		0,40 ^{ns}		0,18 ^{ns}		0,09 ^{ns}	
F regre 1º grau			0,28 ^{ns}		0,07 ^{ns}		0,19 ^{ns}		0,03 ^{ns}	
R²			47,68		5,95		35,52		13,48	
F regre 2º grau			0,29 ^{ns}		0,29 ^{ns}		0,33 ^{ns}		0,23 ^{ns}	
R²			97,17		30,73		96,72		100,00	
CV%			6,23		5,62		4,64		4,17	
F - Manejo			11,58*		7,45*		22,84*		12,54*	
F- Bactérias			0,62 ^{ns}		0,00 ^{ns}		0,02 ^{ns}		0,01 ^{ns}	
F- Manejo x Bactéria			1,00 ^{ns}		0,34 ^{ns}		0,38 ^{ns}		0,12 ^{ns}	

Valores seguidos pela mesma letra minúscula não diferem entre si para inoculação com bactérias diazotróficas, pelo teste de Tuckey à 5%. Valores seguidos pela mesma letra maiúscula não diferem entre si para manejo (irrigado e não irrigado), pelo teste de Tuckey à 5%.

* significativo à 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo à 5% de probabilidade.

4.3 Acúmulo de matéria seca da parte aérea

Os valores médios; valores do teste F e regressões para a variável acúmulo de matéria seca da parte aérea estão apresentados na Tabela 10 e na Figura 26. A variável apresentou diferenças significativas entre os manejos irrigado e não irrigado, sendo maiores os valores do manejo irrigado em todas as avaliações.

A média de acúmulo de matéria seca da parte aérea no manejo irrigado (I) foi de 7,86; 28,81; 39,67 e 68,78 Mg ha⁻¹, aos 123, 207, 305 e 365 DAP, respectivamente; enquanto que a média no manejo não irrigado (NI) foi de 5,81; 16,05; 22,51 e 44,65 Mg ha⁻¹; aos 123, 207, 305 e 365 DAP, respectivamente. A maior média no manejo irrigado foi 75,54 Mg ha⁻¹ na dose de 210 kg N ha⁻¹; para o manejo não irrigado a maior média foi 49,34 Mg ha⁻¹ na dose de 70 kg N ha⁻¹. Os ganhos de matéria seca do manejo irrigado comparado ao não irrigado, foram de 2,05; 12,76; 17,16 e 24,13 Mg ha⁻¹, aos 123, 207, 305 e 365 DAP, respectivamente.

A cana-de-açúcar submetida a irrigação apresenta elevado potencial de resposta a adubação nitrogenada (THORBURN et al., 2003; GAVA et al.; 2010). A prática da fertirrigação permite fracionar a aplicação de nitrogênio, melhorando a eficiência de absorção e assimilação do nitrogênio pelas plantas, promovendo assim aumento na matéria seca da parte aérea por unidade de nitrogênio aplicado (SINGH; MOHAN, 1994; NG KEE KWONG et al, 1999; URIBE, 2010; KÖLLN, 2012).

Até a primeira época de avaliação, aos 123 DAP, ocorreu acúmulo de aproximadamente 11,4% e 13% da matéria seca da parte aérea total nos manejos irrigado e não irrigado, respectivamente. O baixo acúmulo de matéria seca da parte aérea nessa fase é decorrência do intenso perfilhamento que ocorre na mesma época (FARONI, 2008; OLIVEIRA, 2011; KÖLLN, 2012).

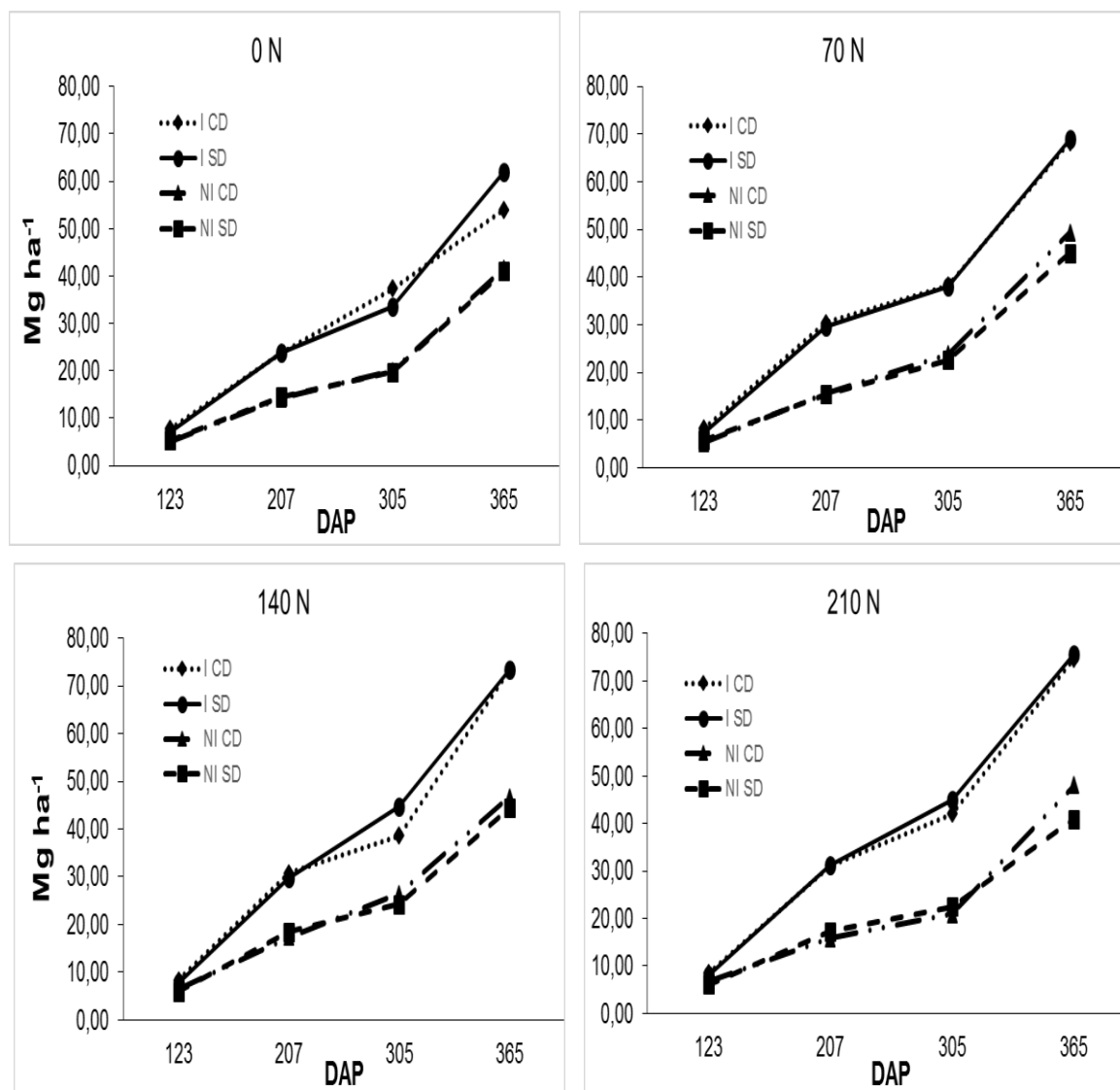


Figura 26. Evolução da variável acúmulo de matéria seca da parte aérea, nos manejos com e sem irrigação; com e sem inoculação com bactérias diazotróficas; aos 123, 207, 305 e 365 DAP; nas quatro diferentes doses de nitrogênio.

As doses de nitrogênio interferiram no acúmulo de matéria seca, em ambos os manejos de irrigação, no manejo irrigado as médias foram aumentando conforme o aumento na dose de nitrogênio aplicado, enquanto que no manejo não irrigado, não houve aumento significativo entre as doses de 140 e 210 kg N ha⁻¹. Oliver (2014) trabalhando com cana-de-açúcar submetida à diferentes doses de nitrogênio e manejos com e sem inoculação com bactérias diazotróficas, obteve aumento de 13,95 Mg ha⁻¹ no acúmulo de matéria seca de parte aérea na dose de 120 kg N ha⁻¹ sem inoculação, comparando ao tratamento testemunha sem inoculação.

Tabela 10. Análise da variável acúmulo de matéria seca da parte aérea, ao longo do ciclo.

Dose kg N ha ⁻¹	Manejo	Bactéria	Acúmulo de matéria seca Mg ha ⁻¹							
			123				207			
			305				365			
DAP										
0	I	CD	7,80	aA	23,81	aA	37,35	aA	54,05	aA
		SD	7,05	bA	23,80	aA	33,47	aA	62,06	aA
70	I	CD	8,23	aA	30,41	aA	38,13	aA	68,27	aA
		SD	7,27	bA	29,66	aA	38,01	aA	69,01	aA
140	I	CD	8,29	aA	30,77	aA	38,61	aA	73,26	aA
		SD	7,73	bA	29,77	aA	44,67	aA	73,35	aA
210	I	CD	8,44	aA	31,15	aA	42,03	aA	74,71	aA
		SD	8,05	bA	31,11	aA	45,05	aA	75,54	aA
Média			7,86		28,81		39,67		68,78	
CV%			12,42		12,89		10,42		8,45	
F- Doses			1,04*		6,58*		6,19*		13,89*	
F regre 1º grau			3,10*		14,30*		18,33*		37,02*	
R²			99,45		72,44		98,80		88,81	
F regre 2º grau			0,02 ^{ns}		4,18*		0,07 ^{ns}		4,56*	
R²			99,99		93,59		99,16		99,73	
0	NI	CD	5,08	aB	14,17	aB	19,99	aB	41,65	aB
		SD	5,30	bB	14,55	aB	19,73	aB	41,05	aB
70	NI	CD	5,24	aB	15,50	aB	23,76	aB	49,34	aB
		SD	5,74	bB	15,37	aB	22,55	aB	45,06	aB
140	NI	CD	6,52	aB	17,33	aB	26,38	aB	46,65	aB
		SD	5,95	bB	18,41	aB	24,25	aB	44,46	aB
210	NI	CD	6,59	aB	15,77	aB	20,88	aB	48,04	aB
		SD	6,08	bB	17,25	aB	22,51	aB	40,94	aB
Média			5,81		16,05		22,51		44,65	
CV%			13,36		15,83		9,88		14,12	
F- Doses			4,18*		2,8*		8,61*		1,22*	
F regre 1º grau			11,61*		4,89*		4,76*		0,61*	
R²			92,63		58,29		18,43		16,60	
F regre 2º grau			0,13 ^{ns}		1,85*		19,34*		2,41*	
R²			93,69		80,27		93,27		82,10	
CV%			12,27		14,43		11,46		11,10	
F - Manejo			95,31*		275,12*		371,39*		233,02*	
F- Bactérias			3,21*		0,73*		0,19 ^{ns}		0,13 ^{ns}	
F- Manejo x Bactéria			1,86*		3,32*		0,98*		3,55*	

Valores seguidos pela mesma letra minúscula não diferem entre si para inoculação com bactérias diazotróficas, pelo teste de Tuckey à 5%. Valores seguidos pela mesma letra maiúscula não diferem entre si para manejo (irrigado e não irrigado), pelo teste de Tuckey à 5%.

* significativo à 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo à 5% de probabilidade.

O manejo de inoculação com bactérias diazotróficas (CD) interferiu nos valores de acúmulo de matéria seca na primeira época de avaliação, aos 123 DAP; essas alterações encontradas podem ser efeito da produção de precursores de hormônios vegetais, que promoveram maior acúmulo de matéria seca no desenvolvimento inicial da cultura (SCHULTZ et al., 2012; PEREIRA et al., 2013; JORIS, 2015), época de elevada umidade, maior quantidade de chuvas e altas temperaturas, e também foi a época de inoculação dos tratamentos.

4.4 Acúmulo de nitrogênio na planta

Os valores médios; valores do teste F e regressões para a variável acúmulo de nitrogênio na planta estão apresentados na Tabela 11 e na Figura 27. A variável apresentou diferenças significativas entre os manejos irrigado e não irrigado; e entre as doses de nitrogênio aplicadas, sendo maiores os valores do manejo irrigado em todas as avaliações.

As médias de acúmulo de nitrogênio na planta no manejo irrigado (I) foram 85,74; 157,61; 165,82 e 213,60 kg N ha⁻¹, aos 123, 207, 305 e 365 DAP, respectivamente; enquanto que no manejo não irrigado (NI) as médias foram 52,47; 85,02; 90,49 e 125,73 kg N ha⁻¹, aos 123, 207, 305 e 365 DAP, respectivamente. As maiores médias foram 259,60 e 158,25 kg N ha⁻¹ na dose de 210 kg N_{aplicado} ha⁻¹, nos manejos irrigado e não irrigado, respectivamente; e os menores acúmulos foram 132,08 e 100,42 kg N ha⁻¹ na dose de 0 kg N_{aplicado} ha⁻¹; nos manejos irrigado e não irrigado, respectivamente. O manejo irrigado (I) promoveu aumento de acúmulo de nitrogênio na planta, comparado ao manejo não irrigado (NI), esse aumento foi de 33,27; 72,59; 75,33 e 87,87 Mg ha⁻¹, aos 123, 207, 305 e 365 DAP, respectivamente.

Esses valores mostram que em ambos os manejos de irrigação, o nitrogênio proveniente da matéria orgânica do solo foi utilizado pela cana-de-açúcar; no manejo o consumo foi maior que a dose aplicada, o que pode ocasionar esgotamento do solo; no manejo não irrigado nas doses mais baixas de nitrogênio aplicado (0 e 70 kg N_{aplicado} ha⁻¹), observou-se a mesma tendência, já para as doses mais altas (140 e 210 kg N_{aplicado} ha⁻¹), observou-se o contrário, o nitrogênio aplicado não foi totalmente utilizado pela cultura, o que pode favorecer a manutenção da fertilidade do solo no tocante ao nitrogênio (JORIS, 2015).

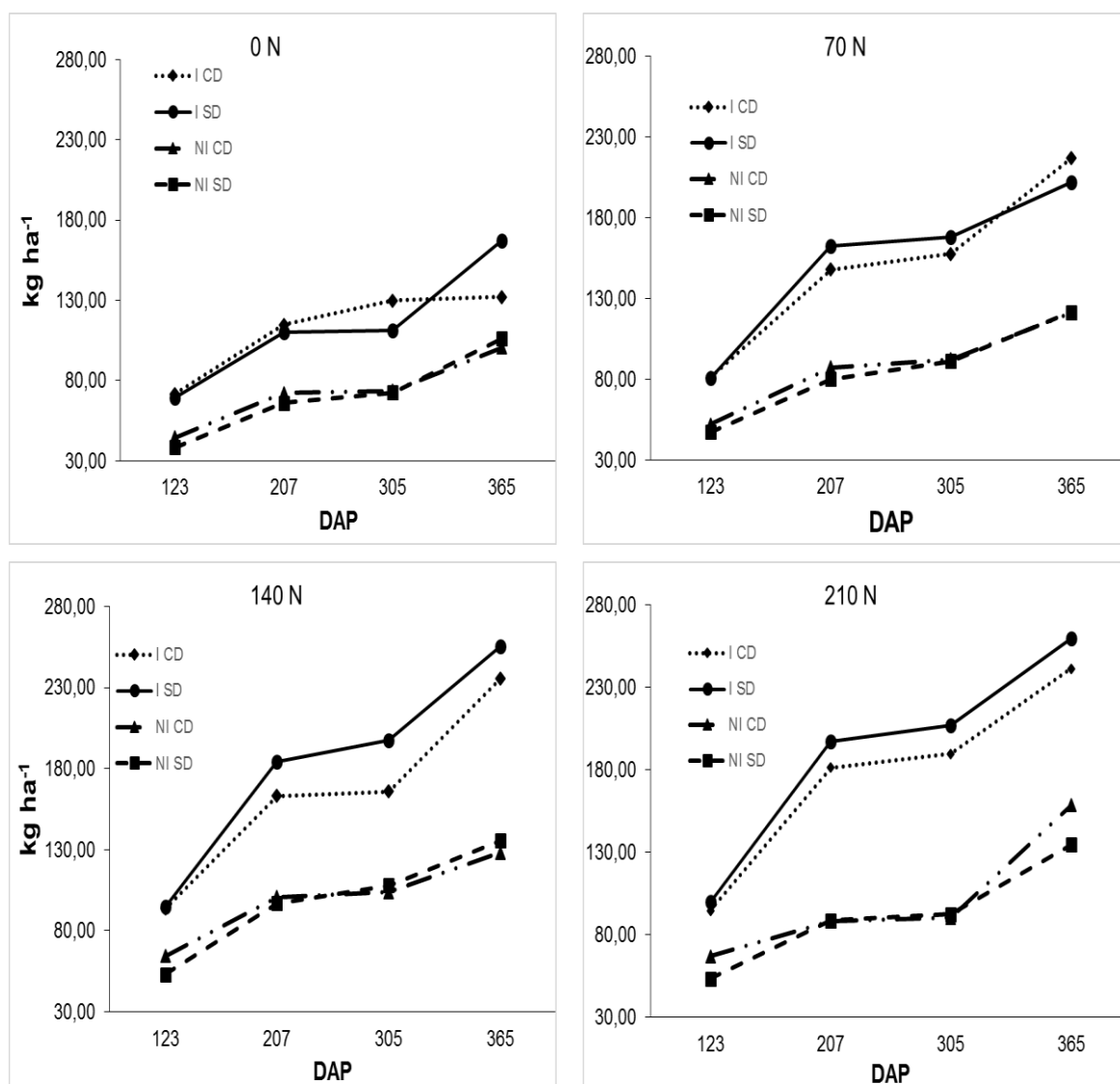


Figura 27. Evolução da variável acúmulo de nitrogênio na planta, nos manejos com e sem irrigação; com e sem inoculação com bactérias diazotróficas; aos 123, 207, 305 e 365 DAP; nas quatro diferentes doses de nitrogênio.

Oliver (2014), estudando o acúmulo de nitrogênio em cana-de-açúcar, encontrou resposta linear positiva à adubação nitrogenada sem inoculação com bactérias diazotróficas e resposta quadrática positiva para adubação nitrogenada com inoculação com bactérias diazotróficas. Joris (2015), não verificou efeito significativo da inoculação com bactérias diazotróficas na variedade IACSP95 5000 com dose de 100 kg N ha⁻¹.

Tabela 11. Análise da variável acúmulo de nitrogênio na planta, ao longo do ciclo.

Dose kg N ha ⁻¹	Manejo	Bactéria	Acúmulo de nitrogênio kg ha ⁻¹							
			123		207		305		365	
			DAP							
0	I	CD	71,69	aA	114,83	aA	129,88	aA	132,08	aA
		SD	69,26	aA	110,20	aA	111,21	aA	167,09	aA
70	I	CD	80,87	aA	147,92	aA	157,52	aA	216,63	aA
		SD	80,56	aA	162,22	aA	167,88	aA	201,70	aA
140	I	CD	93,63	aA	163,18	aA	166,02	aA	235,35	aA
		SD	95,14	aA	184,30	aA	197,56	aA	255,25	aA
210	I	CD	94,64	aA	181,09	aA	189,47	aA	241,03	aA
		SD	100,11	aA	197,17	aA	207,01	aA	259,60	aA
Média			85,74		157,61		165,82		213,60	
CV%			16,15		11,29		16,91		19,80	
F- Doses			6,51*		27,73*		11,41*		9,65*	
F regre 1º grau			18,57*		77,99*		32,34*		25,60*	
R²			95,07		93,75		94,47		88,45	
F regre 2º grau			0,55*		4,66*		1,68*		3,33*	
R²			97,88		99,36		99,38		99,95	
0	NI	CD	44,40	aB	72,22	aB	73,51	aB	100,42	aB
		SD	38,46	bB	66,06	aB	72,45	aB	106,17	aB
70	NI	CD	51,89	aB	87,38	aB	92,17	aB	121,19	aB
		SD	47,28	bB	79,99	aB	91,23	aB	121,55	aB
140	NI	CD	64,44	aB	100,80	aB	103,96	aB	128,14	aB
		SD	53,01	bB	97,01	aB	107,87	aB	135,47	aB
210	NI	CD	66,81	aB	88,11	aB	90,21	aB	158,25	aB
		SD	53,45	bB	88,57	aB	92,53	aB	134,63	aB
Média			52,47		85,02		90,49		125,73	
CV%			20,30		13,94		17,85		23,54	
F- Doses			5,36*		8,69*		5,60*		3,01*	
F regre 1º grau			15,00*		15,11*		7,39*		8,94*	
R²			93,33		57,95		44,04		98,99	
F regre 2º grau			0,80*		8,97*		8,48*		0,03 ^{ns}	
R²			98,33		92,36		94,62		99,29	
CV%			16,97		14,93		19,59		22,59	
F - Manejo			128,81*		232,54*		144,08*		84,13*	
F- Bactérias			1,76*		0,02 ^{ns}		0,80*		0,40 ^{ns}	
F- Manejo x Bactéria			2,85*		0,47 ^{ns}		0,53*		0,81*	

Valores seguidos pela mesma letra minúscula não diferem entre si para inoculação com bactérias diazotróficas, pelo teste de Tuckey à 5%. Valores seguidos pela mesma letra maiúscula não diferem entre si para manejo (irrigado e não irrigado), pelo teste de Tuckey à 5%.

* significativo à 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo à 5% de probabilidade.

Igualmente observado no acúmulo de matéria seca da parte aérea, o acúmulo de nitrogênio na planta, sofreu interferência do manejo de inoculação com bactérias diazotróficas (CD) na primeira época de avaliação, aos 123 DAP; essas alterações encontradas podem ser efeitos da fixação biológica do nitrogênio, ou outros efeitos benéficos da inoculação como a produção de precursores de hormônios vegetais, que promoveram maior acúmulo de matéria seca no desenvolvimento inicial da cultura (DOBBELAERE et al., 2003; SCHULTZ et al., 2012; PEREIRA et al., 2013; JORIS, 2015), época de elevada umidade, maior quantidade de chuvas e altas temperaturas, e também foi a época de inoculação dos tratamentos.

4.5 Produtividade e qualidade da matéria-prima

Na colheita final, aos 365 DAP, realizou-se a análise tecnológica da cana-de-açúcar em todas as parcelas do experimento; os valores médios; valores do teste F e regressões para as variáveis tecnológicas: fibra; teor de sólidos solúveis (TSS), teor de sacarose aparente (PCC) e açúcar total recuperável (ATR) estão apresentados na Tabela 12 e Figura 28. Observa-se efeito significativo dos manejos nas variáveis fibra, teor de sacarose aparente e ATR, sendo que no manejo irrigado foram encontrados valores menores comparado ao manejo não irrigado; a variável teor de sólidos solúveis não apresentou diferença estatística entre os manejos de irrigação.

A média dos valores no manejo irrigado foi de 12,14% para fibra; 21,24% para o teor de sólidos solúveis; 15,37% para o teor de sacarose aparente e 153,58 kg Mg⁻¹ cana para açúcar total recuperável; enquanto que no manejo a média foi de 12,85% para fibra; 21,98% para o teor de sólidos solúveis; 16,33% para o teor de sacarose aparente e 161,76 kg Mg⁻¹ cana para açúcar total recuperável.

As doses de nitrogênio aplicadas interferiram nas variáveis TSS, PCC e ATR, mesmo não apresentando diferença estatística, percebe-se que a elevação da dose de nitrogênio ocasionou redução dessas variáveis. Segundo Franco (2008), a adubação nitrogenada promove maior crescimento vegetativo, resultando em plantas com alto teor de umidade e menor acúmulo de sacarose.

Estudos mostram a redução na qualidade da matéria-prima em cana-de-açúcar submetida à irrigação e adubação nitrogenada, entre os principais efeitos pode-se citar: o aumento da porcentagem de fibra em cana-de-açúcar em condições de

deficiência hídrica (OLIVEIRA et al., 2011; LEAL, 2012; RHEIN, 2013); redução do teor de sólidos solúveis e do açúcar total recuperável em cana-de-açúcar fertirrigada com doses de nitrogênio superiores à 120 kg N ha^{-1} (FRANCO, 2008) e de 150 kg N ha^{-1} (RHEIN, 2013), evidenciando a redução da concentração de sacarose em dosagem alta de nitrogênio e o consumo de luxo de nitrogênio em doses superiores à 150 kg N ha^{-1} (MUCHOW et al., 1996). Para Lavanholi (2010), maiores valores de porcentagem de fibra caracterizam na cana-de-açúcar, maior resistência ao tombamento e a queda na ocorrência de pragas do colmo.

O manejo de inoculação com bactérias diazotróficas (CD) não promoveu diferenças significativas nas variáveis tecnológicas.

As alterações encontradas nas variáveis tecnológicas, podem ser decorrentes do déficit hídrico do período (352,5 mm) que restringiu o desenvolvimento da cultura e promoveu maior acúmulo de sacarose no manejo não irrigado.

Observa-se na Figura 29, o aumento considerável da produtividade de colmos industrializáveis (TCH) em cana-de-açúcar no manejo irrigado comparado ao manejo não irrigado, bem como entre as doses de nitrogênio aplicadas.

As médias de produtividade no manejo irrigado foram de $138,48 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $192,97 \text{ Mg ha}^{-1}$, nas doses 0 e 210 kg N ha^{-1} , respectivamente enquanto que no manejo não irrigado as médias foram de $85,56 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $82,59 \text{ Mg ha}^{-1}$, nas doses 0 e 210 kg N ha^{-1} , respectivamente. No manejo irrigado a maior produtividade foi alcançada na dose de 210 kg N ha^{-1} ($192,97 \text{ Mg ha}^{-1}$), no manejo não irrigado verificou-se maior produtividade na dose de 70 kg N ha^{-1} ($101,03 \text{ Mg ha}^{-1}$).

A produção de açúcar (TPH) (Figura 30) apresentou grande aumento entre os manejos irrigado e não irrigado, sendo que as médias de produção de açúcar no manejo irrigado foram de $138,48 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $192,97 \text{ Mg ha}^{-1}$, nas doses 0 e 210 kg N ha^{-1} , respectivamente enquanto que no manejo não irrigado as médias foram de $85,56 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $82,59 \text{ Mg ha}^{-1}$, nas doses 0 e 210 kg N ha^{-1} , respectivamente. No manejo irrigado a maior TPH foi alcançada na dose de 210 kg N ha^{-1} ($28,46 \text{ Mg ha}^{-1}$), no manejo não irrigado verificou-se maior produtividade na dose de 70 kg N ha^{-1} ($16,54 \text{ Mg ha}^{-1}$).

Tabela 12. Análise das variáveis de qualidade da matéria-prima, ao longo do ciclo.

Dose kg N ha ⁻¹	Manejo	Bactéria	Qualidade da matéria-prima							
			FIBRA		TSS		PCC		ATR	
			%		°BRIX		%		kg Mg ⁻¹	
0	I	CD	12,26	aB	22,14	aA	16,60	aB	164,46	aB
		SD	11,99	aB	21,14	aA	16,33	aB	162,52	aB
70	I	CD	12,24	aB	20,71	aA	15,03	aB	150,09	aB
		SD	12,21	aB	20,75	aA	15,08	aB	150,58	aB
140	I	CD	12,26	aB	21,04	aA	15,18	aB	151,60	aB
		SD	12,07	aB	21,13	aA	15,30	aB	152,86	aB
210	I	CD	12,21	aB	23,05	aA	14,87	aB	150,52	aB
		SD	11,84	aB	19,93	aA	14,60	aB	145,97	aB
Média			12,14		21,24		15,37		153,58	
CV%			4,96		10,09		8,28		7,77	
F- Doses			0,15 ^{ns}		0,30 ^{ns}		2,83*		2,61*	
F regre 1º grau			0,14 ^{ns}		0,01 ^{ns}		6,20*		5,40*	
R²			29,99		0,10		72,98		69,13	
F regre 2º grau			0,31 ^{ns}		0,76*		1,01*		1,18*	
R²			99,04		85,37		84,9		84,25	
0	NI	CD	12,72	aA	22,64	aA	16,87	aA	166,95	aA
		SD	13,32	aA	22,21	aA	16,50	aA	163,20	aA
70	NI	CD	12,92	aA	22,07	aA	16,47	aA	162,96	aA
		SD	12,24	aA	21,66	aA	16,25	aA	161,00	aA
140	NI	CD	12,94	aA	21,93	aA	16,22	aA	160,76	aA
		SD	12,73	aA	21,87	aA	16,36	aA	161,90	aA
210	NI	CD	13,07	aA	21,80	aA	15,99	aA	158,65	aA
		SD	12,83	aA	21,69	aA	15,99	aA	158,72	aA
Média			12,85		21,98		16,33		161,76	
CV%			5,51		3,12		3,94		3,69	
F- Doses			0,60 ^{ns}		1,55*		1,57*		1,54*	
F regre 1º grau			0,01 ^{ns}		3,44*		4,47*		4,40*	
R²			0,05		73,81		95,08		94,98	
F regre 2º grau			1,24*		0,68*		0,06*		0,01 ^{ns}	
R²			68,66		88,46		95,19		95,24	
CV%			5,29		7,12		6,52		6,12	
F - Manejo			18,49*		3,78*		13,73*		11,54*	
F- Bactérias			1,15*		2,66*		0,15 ^{ns}		0,23 ^{ns}	
F- Manejo x Bactéria			0,06 ^{ns}		0,95*		0,01 ^{ns}		0,01 ^{ns}	

Valores seguidos pela mesma letra minúscula não diferem entre si para inoculação com bactérias diazotróficas, pelo teste de Tuckey à 5%. Valores seguidos pela mesma letra maiúscula não diferem entre si para manejo (irrigado e não irrigado), pelo teste de Tuckey à 5%.

* significativo à 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo à 5% de probabilidade.

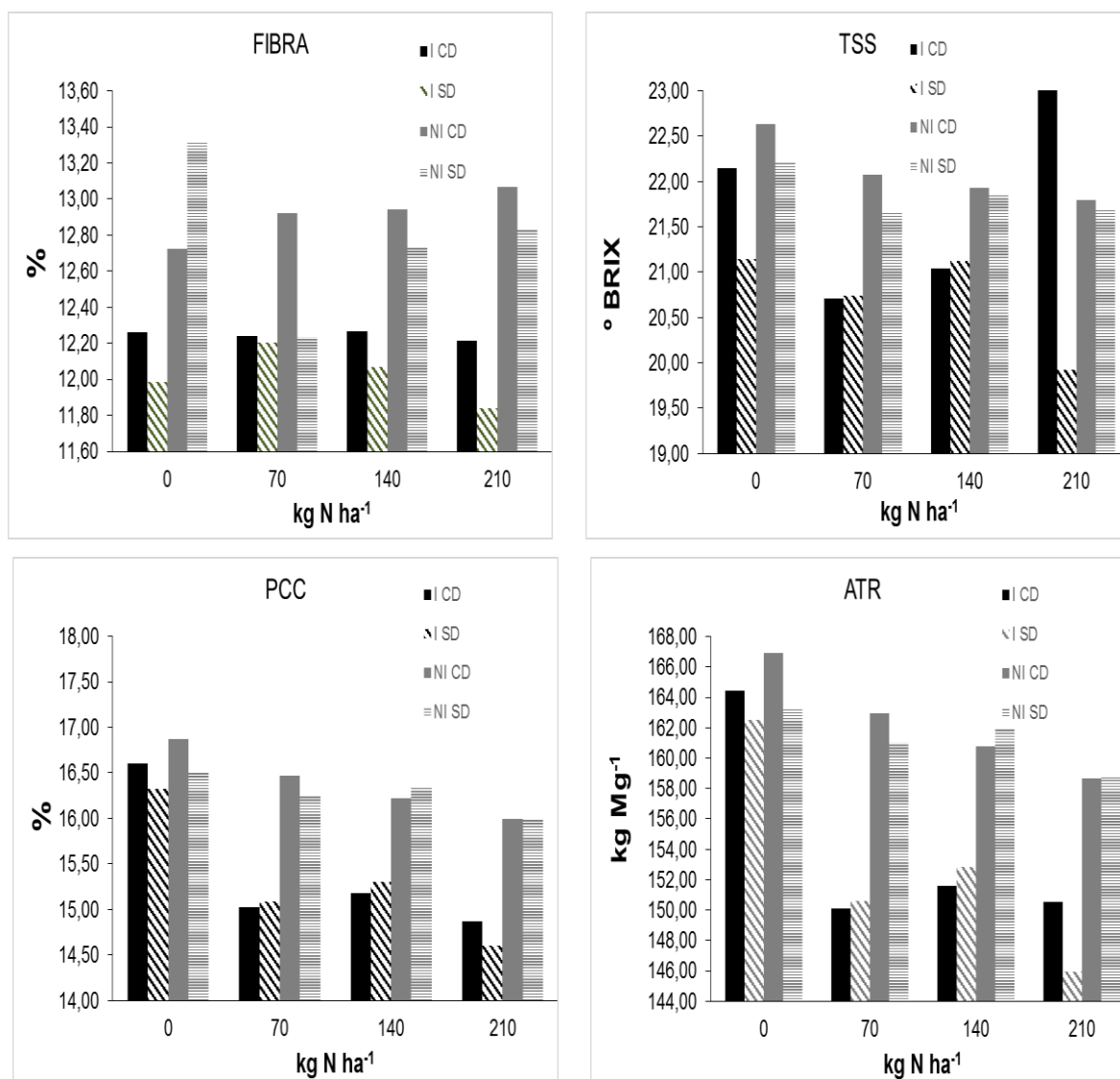


Figura 28. Evolução das variáveis Fibra, Teor de sólidos solúveis (TSS), teor de sacarose aparente (PCC) e açúcar total recuperável (ATR), nos manejos com e sem irrigação; com e sem inoculação com bactérias diazotróficas; aos 123, 207, 305 e 365 DAP; nas quatro diferentes doses de nitrogênio.

Respostas semelhantes para as variáveis TCH e TPH, foram encontradas por diversos autores trabalhando com cana-de-açúcar sob diferentes condições hídricas e diferentes doses de nitrogênio (MUCHOW et al., 1996; DALRI, 2004; DALRI; CRUZ, 2008; FORTES, 2010; GAVA et al., 2011; ARANTES, 2012; KÖLLN, 2012). Wiedenfeld; Enciso (2008), obtiveram em soqueira de cana-de-açúcar, os valores de TCH 108 e 115 Mg ha⁻¹ nas doses de 70 e 140 kg N ha⁻¹, respectivamente; também Rhein (2013) observou produtividade de colmos de 100 e 120 Mg ha⁻¹ nas doses de 150 e 200 kg N ha⁻¹,

respectivamente, trabalhando com soqueira de cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial.

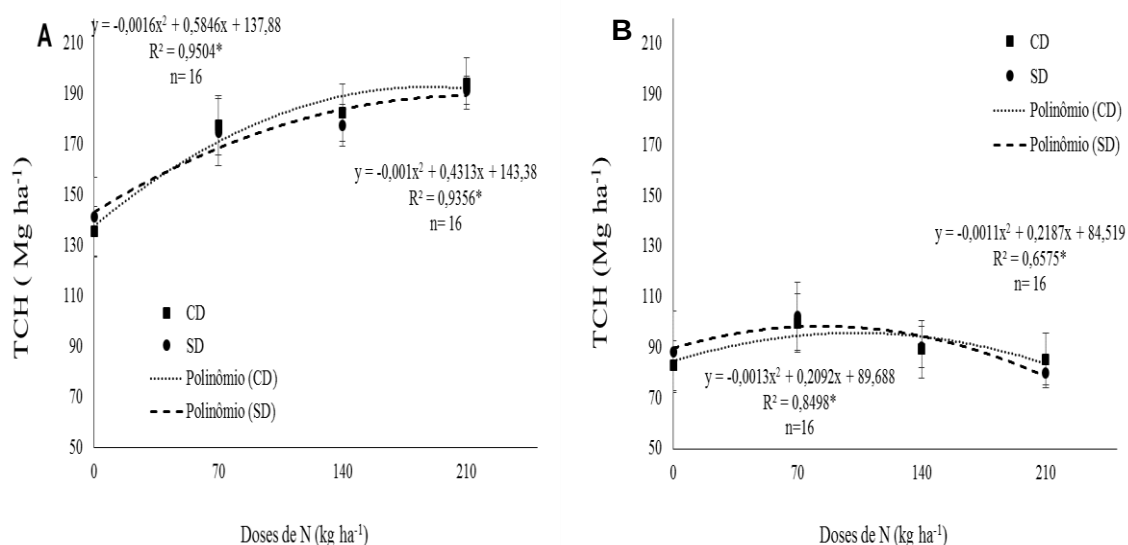


Figura 29. Produtividade de colmos (A) manejo irrigado; (B) manejo não irrigado.

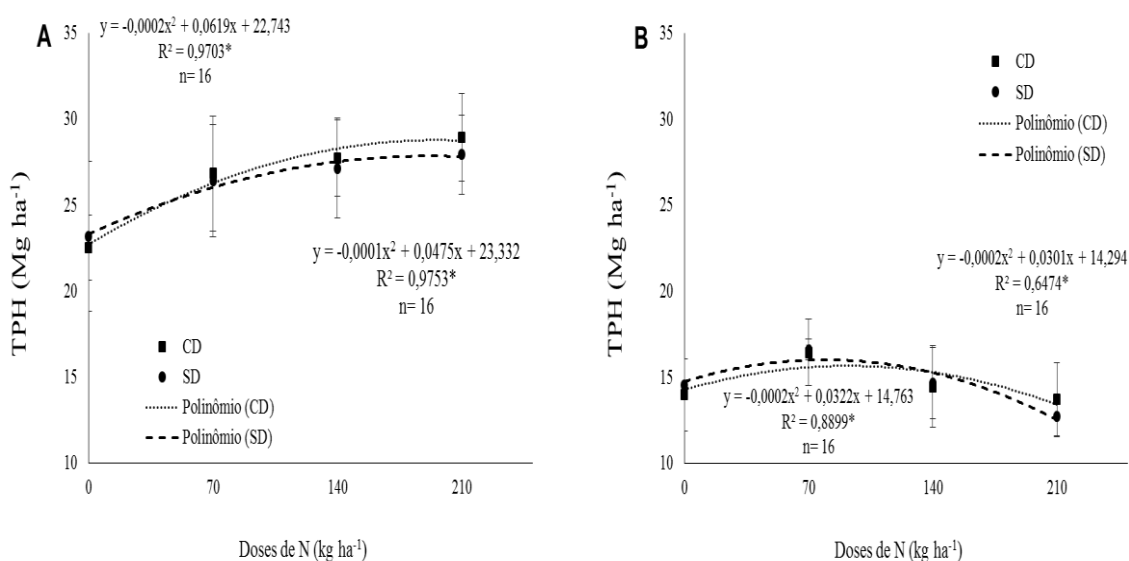


Figura 30. Produção de açúcar por hectare (A) manejo irrigado; (B) manejo não irrigado.

Kölln (2012) estudando soqueira de cana-de-açúcar em duas condições hídricas, irrigada e não irrigada, e diferentes doses de nitrogênio aplicadas, encontrou valores de TPH de 14,4 e 10,8 Mg ha⁻¹ nas doses de 0 e 140 kg N ha⁻¹, respectivamente e sob irrigação; e 10,8 e 15,3 Mg ha⁻¹ nas doses de 0 e 140 kg N ha⁻¹, respectivamente e sem irrigação.

A inoculação com bactérias diazotróficas não promoveu diferenças significativas na produção de colmos e de açúcar. Joris (2015), avaliando 4 ciclos de cana-

de-açúcar, sob diferentes doses de nitrogênio e inoculação de bactérias diazotróficas, encontrou aumento linear da TCH com a adição de nitrogênio, porém não constatou diferenças entre os tratamentos inoculados e o tratamento controle.

Os resultados obtidos em diversos experimentos demonstram que a demanda por nitrogênio em soqueira de cana-de-açúcar irrigada, especialmente em ambientes com alto potencial produtivo, é superior às doses utilizadas em soqueira de cana-de-açúcar sem irrigação (CANTARELLA, 2007; VITTI et al, 2007), sendo necessário o desenvolvimento de estudos para determinação das melhores doses de nitrogênio, nos diferentes ambientes e em diferentes cultivares.

Ainda que os valores de teor de sacarose aparente e açúcar total recuperável, no manejo irrigado tenham sido inferiores aos valores do manejo não irrigado, a produção de açúcar foi muito superior no manejo irrigado, este fato se deve ao fato de que a alta produtividade de colmos foi suficiente para superar o decréscimo de teor de sacarose aparente e de açúcar total recuperável (TRIVELIN et al., 2002).

5. CONCLUSÕES

Os atributos fisiológicos (condutância estomática, temperatura foliar e índice SPAD) e biométricos (número de perfilhos, altura de plantas e diâmetro) aumentaram com o aumento disponibilidade hídrica (irrigação).

A adubação nitrogenada elevou o índice SPAD nos dois sistemas de manejo (irrigado e não irrigado).

O acúmulo de matéria seca e de nitrogênio ao longo do crescimento da cultura, foi influenciado pelas doses de N-fertilizante e pela disponibilidade hídrica.

A inoculação com bactérias diazotróficas não alterou o acúmulo de nitrogênio e de matéria seca da planta de cana-de-açúcar.

Ocorreram alterações dos atributos tecnológicos e da produtividade de colmos e de açúcar devido a aplicação de diferentes doses de N-fertilizante e do uso da irrigação.

A aplicação dos inoculantes de bactérias diazotróficas não alteraram a produtividade de colmos e de açúcar, não apresentando benefício no aumento de produtividade, para a cultura da cana-de-açúcar, neste trabalho.

h

6. REFERÊNCIAS

- ALFONSI, R. R.; PEDRO JUNIOR, M. J.; BRUNINI, O.; BARBIERI, V. Condições climáticas para cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. (Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 42-55.
- ALMEIDA, A. C. S.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I.; BARBOSA, G. V. S. B.; MOURA FILHO, G.; FERREIRA JUNIOR, R. A. F. Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação a disponibilidade hídrica e unidades térmicas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1441-1448, 2008.
- ANDREOTE, F. DI.; AZEVEDO, J. L.; ARAÚJO, W. L. Assessing the diversity of bacterial communities associated with plants. **Brazilian Journal of Microbiology**. V. 40, p. 417-432, 2009.
- ARANTES, M. T. **Potencial produtivo de cultivares de cana-de-açúcar sob os manejos irrigado e sequeiro**. 2012. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.
- ARAÚJO, S. A. C.; VASQUEZ, H. M.; CAMPOSTRINI, E.; NETTO, A. T.; DEMINICIS, B. B.; LIMA, É S. Características fotossintéticas de genótipos de capim-elefante anão (*Pennisetum purpureum* Schum.) em estresse hídrico. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v.32, p.1-7, 2010.
- BATISTA, E. L. D. S.; ZOLNIER, S.; RIBEIRO, A.; LYRA, G. B.; SILVA, T. G. F.; BOEHRINGER, D. Avaliação do efeito do estresse hídrico no crescimento de cultivares de cana-de-açúcar usando um sistema automático de fertirrigação. **Engenharia Agrícola**, v.35, n. 2, p. 215-229, 2015.
- BARBOSA, E. A. A.; ARRUDA, F. B.; PIRES, R. C. M.; SILVA, T. J. A.; SAKAI, E. Cana-de-açúcar fertirrigada com vinhaça e adubos minerais via irrigação por gotejamento subsuperficial: Ciclo da cana-planta, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.9, p.952–958, 2012.

BEADLE, C. L. Plant growth analysis. In: COOMBS, J.; HALL, D.O.; LONG, S.P.; SCURLOCK, J. M. O. (Ed.). **Techniques in bioproductivity and photosynthesis**. 2. ed. Oxford: Pergamon Press, 1987. p.20-25.

BODDEY, R. M.; OLIVEIRA, O. C.; URQUIAGA, S.; REIS, V. M.; OLIVARES, F. L. de; BALDANI, V. L. D.; DÖBEREINER, J. Biological nitrogen fixation associated with sugarcane and rice: contributions and prospecta for improvement, **Plant and Soil**, The Hague, v. 174, p. 195-209, 1995.

BODDEY R. M.; DÖBEREINER J. Nitrogen fixation associated with grasses and cereals. In: **Current Developments**. In: SUBBA RAO, N. S., ed. Biological Nitrogen Fixation. New Delhi: Oxford, 1984, p. 277-313.

BRAY, E.A. Plant responses to water deficit. **Trends in Plant Science**, Kidlington, v. 2, n.2, p. 48-54, Feb., 1997.

BRUNELLI, M. C. **Índice spad e trocas gasosas ao longo do dia para diferenciação de cana-de-açúcar sob deficiência hídrica**. 2014. 63 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia –Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014.

CALDAS, C. **Manual de análises selecionadas para indústrias sucroalcooleiras**. Maceió. Sindicato da Indústria do Açúcar e do Alcool no Estado de Alagoas. 1998. 422p.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375–470.

CANTARELLA, H.; MONTEZANO, Z. F. Nitrogênio e enxofre. In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STTIP, S.R. (Ed.); **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Piracicaba: IPNI, 2010. p. 5-67.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C. Nitrogênio e enxofre na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (Eds.). **Nitrogênio e Enxofre na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2007. p. 349–412.

CANTARELLA, H.; MONTEZANO, Z. F.; GAVA, G.; ROSSETTO, R.; VITTI, A. C.; VARGAS, V.; SOARES, J. R.; OLIVEIRA, C.; JORIS, H.; KÖLLN, O. T.; DIAS, F.; URQUIAGA, S. **N fertilization and diazotrophic bacteria inoculation in sugarcane for bioenergy production** (17th International Nitrogen Workshop, Ed.)Proceedings of the 17th International Nitrogen Workshop. **Anais...Wexford**: 2012.

CARDOSO, G. D.; ALVES, P.L.C.A.; BELTRÃO, N. E. M.; BARRETO, A. F. Uso da análise de crescimento não destrutiva como ferramenta para avaliação de cultivares. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 6, n. 2, 2006.

CARNAÚBA, B. A. A. O nitrogênio e a cana-de-açúcar. **STAB - Açúcar, Alcool 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. 157 p.

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

CIVIERO, J. C. **Arranjo de plantas em cana-de-açúcar: comportamento do sistema radicular, análise de crescimento, componentes morfológicos e de produção**. 2014. 192p. Tese (Doutorado em agronomia - Produção Vegetal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2014.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Safra 2015/16. Segundo Levantamento, v. 2. n. 2. Brasília, agosto/2015. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_09_11_10_51_14_boletim_cana_portugues_-_2o_lev_-_15-16.pdf>. Acesso em 06 nov. 2015.

CONSECANA - Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo. **Manual de instruções**. 4.ed. Piracicaba: CONSECANA, 2003. 115p.

COSTA, J. M.; GRANT, O. M.; CHAVES, M. M. Thermography to explore plant-environment interactions. **Journal of experimental botany**, v. 64, n. 13, p. 3937-3949, 2013.

DIAS, A. C. F.; COSTA, F. E. C.; ANDREOTE, F. D.; LACAVA, P. T.; TEIXEIRA, M. A.; ASSUMPÇÃO, L. C.; ARAÚJO, W. L.; AZEVEDO, J. L.; MELO, I. S.; Isolation of micropropagated strawberry endophytic bacteria and assessment of their potential for plant growth promotion. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**. 25:189-195, 2009.

DALRI, A. B. **Avaliação da produtividade da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial nos três primeiros ciclos**. 2004. 89p. Tese (Doutorado em agronomia / Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004

DALRI, A. B.; CRUZ, R. L. Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 516-524, 2008.

DANIELS, J.; ROACH, B. T. Taxonomy and evolution. In.: HEINZ, D. J. (Ed.) **Sugarcane improvement through breeding**. 1987. p. 7-84.

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

DOBBELAERE, S.; VANDERLEYDEN, J.; OKON, Y. Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. **Critical Reviews in Plant Science**, Boca Raton, v. 22, n.2, p. 107- 149, 2003.

DU, Y. -C.; KAWAMITSU, Y.; NOSE, A.; HIYANE, S.; MURAYAMA, S.; WASANO, K.; UCHIDA, Y. Effects of water stress on carbon exchange rate and activities of photosynthetic enzymes in leaves of sugarcane (*Saccharum* sp.). **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 23, p. 719–726, 1996.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, CNPS, 1997. 212 p.

ENDRES, L.; SILVA, J. V.; FERREIRA, V. M.; BARBOSA, G. V. S. Photosynthesis and water relations in Brazilian sugarcane. **The Open Agriculture Journal**. v.4, pg. 31-37, 2010.

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

FARONI, C. A. **Eficiência agrônômica das adubações nitrogenadas de plantio e após o primeiro corte avaliada na primeira soca da cana-de-açúcar**. 2008. 190 p. Tese (Doutorado em Agronomia – Área de Concentração em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

FAO, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS Statistical Yearbook 2013, **World food and agriculture**. Rome, 2013. 289p.

FERRARA, F. I. S.; OLIVEIRA, Z. M.; GONZALES, H. H. S.; FLOH, E. I. S.; BARBOSA, H. R. Endophytic and rhizospheric enterobacteria isolated from sugar cane have different potentials for producing plant growth-promoting substances. **Plant Soil**. 2011. 347:1-400, 2011.

FERREIRA, R. S. **Matemática aplicada às ciências agrárias: análise de dados e modelos**. Viçosa: UFV, 1999. 333 p.

FORTES, C. **Produtividade de cana-de-açúcar em função da adubação nitrogenada e da decomposição da palhada em ciclos consecutivos**. 2010. 153 f. Tese (Doutorado em Ciências – Área de Concentração em Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear da Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

FORTES, C.; OCHEUZE TRIVELIN, P. C.; VITTI, A. C.; OTTO, R.; JUNQUEIRA FRANCO, H. C.; FARONI, C. E. Stalk and sucrose yield in response to nitrogen fertilization of sugarcane under reduced tillage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 1, p. 88–96, 2013.

FRANCHE, C.; LINDSTRÖM, K.; ELMERICH, C. Nitrogen-fixing bacteria associated with leguminous and non-leguminous plants. **Plant Soil**. V. 321, p.35-59, 2009.

FRANCO, H. C. J. **Eficiência Agronômica da adubação nitrogenada de cana-planta**. 2008. 127p. Tese (Doutorado em Agronomia – Área de Concentração em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; OTTO, R. Stalk yield and technological attributes of planted cane as related to nitrogen fertilization. **Scientia Agricola**, v. 67, n. 5, p. 579–590, 2010.

FRANCO, H. C. J.; OTTO, R.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; ALMEIDA DE OLIVEIRA, E. C.; OCHEUZE TRIVELIN, P. C. Nitrogen in sugarcane derived from fertilizer under Brazilian field conditions. **Field Crops Research**, v. 121, n. 1, p. 29–41, 2011.

FUENTES-RAMÍREZ, L. E.; JIMÉNEZ-SALGADO, T.; ABARCA-OCAMPO, I. R.; CABALLERO-MELLADO, J. *Acetobacter diazotrophicus*, an indoleacetic acid producing bacterium isolated from sugarcane cultivars of Mexico. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.154, p.145-150, 1993.

GARG, A.K.et al. Trehalose accumulation in rice plants confers high tolerance levels to different abiotic stresses. **PNAS**, v. 99, n .25, p. 15898-15903, 2002.

GASCHO, G. J.; SHIH, S. F. Sugarcane. In: TEARE, I.D.; PEET, M. M. (Ed.). **Crop-water relations**. New York: Wiley-Interscience, 1983. p. 445-479.

GAVA, G. J. C. **Utilização do nitrogênio da uréia (15N) e da palhada (15N) por soqueira de cana-de-açúcar no manejo sem despalha a fogo**. 1999. 81f. Dissertação (Mestrado em Ciências – Área de Concentração em Energia Nuclear na Agricultura) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

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 ou não com palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.2, p.1347-1354, 2001.

GAVA, G. J. C.; SILVA, M.; CRUZ, J. S.; JERÔNIMO, E. M.; OLIVEIRA, M.; KRONTAL, Y.; PEDROSO, D. Produtividade e atributos tecnológicos de três cultivares de cana-de-açúcar irrigadas por gotejamento subsuperficial. In: **CONGRESSO NACIONAL DA STAB**. 2008. p. 751-755.

GAVA, G. J. C.; KÖLLN, O. T.; URIBE, R. A. M.; TRIVELIN, P. C. O.; CANTARELLA, H. Interação entre água e nitrogênio na produtividade de cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.). In: CRUSCIOL, C. A. (Org.). **Tópicos em ecofisiologia da cana-de-açúcar**. 1. ed. Botucatu: FEPAF, 2010. v. 1, p. 49-66.

GAVA, G. J. DE C.; SILVA, M. DE A.; SILVA, R. C. DA; JERONIMO, E. M.; CRUZ, J. C. S.; KÖLLN, O. T. Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.3, p.250–255, 2011.

GERONIMO, G. Z. **Características morfofisiológicas e agrupamento genético de cana-de-açúcar sob deficiência hídrica**. 2014. 81 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014.

GONÇALVES, E. R. **Fotossíntese, osmorregulação e crescimento inicial de quatro variedades de cana-de-açúcar submetida à deficiência hídrica**. 2008. 66 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Produção Vegetal) -Universidade Federal do Alagoas, Rio Largo, 2008.

GONÇALVES, E. R.; FERREIRA, V. M.; SILVA, J. V.; ENDRES, L.; BARBOSA, T. P.; DUARTE, W. D. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a* em variedade de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 4, p. 378-386, 2010.

HARTMANN, A.; LEMANCEAU, P.; PROSSER, J. I. Multitrophic interactions in the rhizosphere. Rhizosphere microbiology: at the interface of many disciplines and expertises. **FEMS Microbiology Ecology**. V. 65, p. 179, 2008.

HOLANDA, L. A. **Resposta varietal da cana-de-açúcar à deficiência hídrica, durante o desenvolvimento inicial em um latossolo vermelho distroférrico**. 2012. 66 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Irrigação e drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

HOWELL, T. A.; EVETT S. R. **The Penman-Monteith method**. Washington, DC: USDA-Agricultural Research Service, Conservation & Production Research Laboratory, 2004. 14 p.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; SOUZA, E.L M.; PEDROSA, F. O.; Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant Soil**. 331:413-425, 2010.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. T.; CAMPO, R. J.; GALERANI, P. R. **Adubação nitrogenada na soja?** Londrina: Embrapa Soja (Comunicado Técnico, 57), 1997. 4 p.

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.

INMAN-BAMBER, N. G.; DE JAGER, J. M. The reaction of two varieties of sugar-cane to water stress. **Field Crops Research**. V. 14, p. 15-28. 1986.

JORIS, H. A. W. **Nitrogênio na produção de cana-de-açúcar: aspectos agrônômicos e ambientais**. 2015. 135 f. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical e Subtropical - Gestão de recursos Agroambientais) - Instituto Agrônomo, Campinas, 2015.

KENNEDY, I. R.; CHOUDHURY, A. T. M. A.; KECSKES, M.L. Non- symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: can their potential for plant growth promotion be better exploited? **Soil Biology and Biochemistry**. v. 36, p. 1229-1244, 2004.

KINKEL, L.L., WILSON, M., AND LINDOW, S.E. Plant species and plant incubation conditions influence variability in epiphytic bacterial population size. **Microbogy Ecology**. V. 39, p. 1-11, 2000.

KOEHLER, P. H.; MOORE, P. H.; JONES C. A.; DELA CRUZ, A.; MARETZKI, A. Response of drip-irrigated sugarcane to drought stress. **Agronomy Journal** v.74, pg. 906–911, 1982.

KÖLLN, O. T. **Interação entre os estresses de nitrogênio e disponibilidade hídrica no fracionamento isotópico de ^{13}C e na produtividade em soqueira de cana-de-açúcar**. 2012. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo. Piracicaba. 2012.

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

KORNDÖRFER, G. H. Importância da adubação na qualidade da cana-de-açúcar. In: SÁ, M. E.; BUZETTI, S. (Ed.). **Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas**. São Paulo: Ícone, 1994. p.133-142.

KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. **Water relations of plants and soils**. San Diego: Academic Press, 1995. 495 p.

LAKSHMANAN, P.; ROBINSON, N. Stress physiology: abiotic stresses In: MOORE, P. H.; BOTH A F. (Eds) **Sugarcane: Physiology, Biochemistry and Functional Biology**. 1st edn. Wiley, Ames, pg. 411–434, 2014.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos, SP: RIMA, 2004. 531 p.

LAVANHOLI, M. G. D. P. Qualidade da cana-de-açúcar como matéria-prima para produção de açúcar e álcool. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed). **Cana-de-Açúcar**. Campinas: 1ª Ed. Instituto Agrônômico, 2010, p. 697-722.

LEAL, D. P. V. **Evapotranspiração da cana-de-açúcar e fotossíntese acumulada em biomassa e energia, para diferentes variedades, disponibilidades hídricas no solo e ciclos de cultivos**. 2012. 137 p. Dissertação (Mestrado em Ciências – Área de concentração Engenharia de Sistemas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

LEME, E. J. A., MANIERO, M. A.; GUIDOLIN, J. C. **Estimativa da área foliar da cana-de-açúcar e sua relação com a produtividade**. Cadernos Planalsucar, v. 2, p. 3-22, 1984.

LUCCHESI, A. A. Utilização prática da análise de crescimento vegetal. **Anais da E.S.A." Luiz de Queiroz"**, v.41, p.181-201, 1984.

MACEDO, I. C.; SEABRA, J. E. A.; SILVA, J. E. A. R. Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and a prediction for 2020. **Biomass and Bioenergy**, v. 32, n. 7, p. 582–595, 2008.

MAEDA, A. S. **Adubação nitrogenada e potássica em socas de cana-de-açúcar com e sem queima em solos de cerrado**. 2009. 110 f. Tese (Doutor em Agronomia – Área de Concentração em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.

MAGALHÃES, A. C. N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M.G. (Coord.). **Fisiologia vegetal 1**. São Paulo: EPU/Ed. da Universidade de São Paulo, 1979. p. 331-350.

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

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

MARASCA, I. **Avaliação dos atributos físicos de um argissolo cultivado com cana-de-açúcar em área com adequação de relevo, utilizando equipamento de preparo profundo e canteirizado do solo**. 2014. 76 f. Tese (Doutorado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014.

MARIN, F. R. **Fenologia**. Agência de Informação EMBRAPA, 2007. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_68_22122006154840.html>. Acesso em 06 nov 2015.

MARQUES, D. **Guia da cana-de-açúcar/Avanço científico beneficia o país**. Conselho de Informações sobre Biotecnologia. 2009. Disponível em: <http://cib.org.br/wp-content/uploads/2011/10/guia_cana.pdf> Acesso em: 06 nov. 2015.

MORAIS, L. K.; SILVA, P. A.; REIS, V. M.; AGUIAR, M. S.; CÂMARA, T. M. M.; MARAFON, A. C.; IVO, W. M. M.; AMARAL, A. L.; RAMOS, N. P. Evaluation of performance of sugarcane genotypes inoculated with endophytic diazotrophic bacteria (Y.-R. Li et al., Eds.) Proceedings of the 4th IAPSIT International Sugar Conference. **Anais...**New Delhi, India: Society for Sugar Research and Promotion, 2011.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do solo**. Minas Gerais: Editora UFLA, 2006. 729p.

MUCHOW, R. C.; ROBERTSON, M. J.; WOOD, A. W.; KEATING, B. A. Effect of nitrogen on the time-course of sucrose accumulation in sugarcane. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 47, p. 143-153, 1996.

NEUFELD, H. S.; GRANTZ, D. A.; MEINZER, F. C.; GOLDSTEIN, G.; CRISOTO, G. M.; CRISOTO, C. Genotypic variability in vulnerability of leaf xylem to cavitation in water-stressed and well-irrigated sugarcane. **Plant Physiology**, v. 100, n. 2, p. 1020 – 1028, 1992.

NG KEE KWONG, K. F.; PAUL, J. P.; DEVILLE, J. Drip-fertigation - a means for reducing fertilizer nitrogen to sugarcane. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 35, n. 1, p. 31-37, 1999.

OLIVEIRA, A. R.; BRAGA, M. B.; SANTOS, B. L. S. Produção de biomassa de cana-de-açúcar no vale do São Francisco. **Energia na agricultura**, v. 29, n. 1, p. 27-38, 2014.

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

DE OLIVEIRA, Emídio Cantídio Almeida et al. Determining a critical nitrogen dilution curve for sugarcane. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 176, n. 5, p. 712-723, 2013.

OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, A. C.; SIMÕES-NETO, D. E.; ROCHA, A. T.; CARVALHO, L. A. Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica de cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 6, p. 617-625, 2011.

OLIVEIRA, E. C. A.; OLIVEIRA, R. I.; ANDRADE, 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. T.; BESPALHOK-FILHO, J. C.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; SILVA, D. K. T. Área foliar em três cultivares de cana-de-açúcar e sua correlação com a produção de biomassa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n.1, p. 71-76, 2007.

OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. T.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; KOEHLER, H. S.; SILVA, D. K. T. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana-planta, no estado do Paraná: Taxas de crescimento. **Scientia Agrária**, Curitiba, v.6, n.1-2, p.85-89, 2005.

OLIVER, R. **Interação entre bactérias diazotróficas e doses de n-fertilizante na cultura da cana-de-açúcar**. 2014. 61 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014.

PEDRAZA, R. O. Recent advances in nitrogen-fixing acetic acid bacteria. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v.125, n. 1, p.25-35, 2008.

PENATTI, C. P. **Adubação da cana-de-açúcar - 30 anos de experiência**. 1. ed. Itu, SP, Brazil: Editora Ottoni, 2013. p. 347

PEREIRA, W.; LEITE, J. M.; HIPÓLITO, G. S.; SANTOS, C. L. R.; REIS, V. M. Acúmulo de biomassa em variedades de cana-de-açúcar inoculadas com diferentes estirpes de bactérias diazotróficas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 2, p. 363–370, 2013.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: EDUR, 2004. 191 p.

PINCELLI, R. P. **Tolerância à deficiência hídrica em cultivares de cana-de-açúcar avaliada por meio de variáveis morfofisiológicas**. 2010. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Área de Concentração em Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

POLIDORO, J. C. **O molibdênio na Nutrição Nitrogenada e na Fixação Biológica de Nitrogênio Atmosférico Associada à cultura de cana de açúcar**. 2001. 184f. Tese (Doutorado em Agronomia Ciência do solo). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2001.

PROCÓPIO, S. O.; SILVA, A. A.; VARGAS, L. Manejo e controle de plantas daninhas em cana-de-açúcar. In: VARGAS, L.; ROMAN, E. S. (Orgs.). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2004. p. 397-452.

QUEIROZ, R. J. B. **Quantificação da trealose e da prolina livre em cana-de-açúcar sob efeito da disponibilidade hídrica do solo**. 2006. 58 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2006.

RAE, A. L.; MARTINELLI, A. P.; DORNELAS, M. C. Anatomy and morphology. In: MOORE, P. H.; BOTHA F. C. (eds) **Sugarcane: physiology, biochemistry, and functional biology**, 1st edn. Wiley, Ames, pg. 19–34, 2014.

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

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, n. 2, p. 83-89, 2000.

REIS, V. M.; BALDANI, J. I.; URQUIAGA, S. Recomendação de uma mistura de estirpes de cinco bactérias fixadoras de nitrogênio para inoculação de cana-de-açúcar: *Gluconacetobacter diazotrophicus* (BR 11281), *Herbaspirillum seropedicae* (BR 11335), *Herbaspirillum rubrisubalbicans* (BR 11504), *Azospirillum amazonense* (BR 11145) e *Burkholderia tropica* (BR 11366). **Circular Embrapa Agrobiologia**. Seropédica, RJ: 2009.

REIS, V. M.; PEREIRA, W.; HIPÓLITO, G de S. **Métodos de aplicação de bactérias diazotróficas em cana-planta para fins de determinação de eficiência agrônômica**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2009. 4p. (Embrapa Agrobiologia, Comunicado Técnico 118.).

REIS JUNIOR, B. F.; MENDES, I. C.; REIS, V. M.; HUNGRIA, M. **Fixação Biológica de Nitrogênio: uma revolução na agricultura**. Distrito Federal: Embrapa Cerrados, 2008. 32 p.

REIS JUNIOR, F. B.; REIS, V. M.; URQUIAGA, S.; DÖBEREINER, J. Influence of nitrogen fertilisation on the population of diazotrophic bacteria *Herbaspirillum* spp. and *Acetobacter diazotrophicus* in sugar cane (*Saccharum* spp.). **Plant and Soil**, v. 219, p. 153–159, 2000.

RHEIN, A. F. de L.. **Produtividade e qualidade da cana-de-açúcar sob doses de nitrogênio via fertirrigação subsuperficial por gotejamento**. 2013. 117 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Área de Concentração em Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

RIPOLI, T. C. C; RIPOLI, M. L. C; CASAGRANDE, D. V.; IDE, B. Y. **Plantio de cana-de-açúcar: estado da arte**. 2.ed. Piracicaba: Edição dos autores, 2007. 198 p.

ROBERTSON, M. J. et al. Physiology and productivity of sugarcane with early and midseason water deficit. **Field Crops Research**, Australia, v. 64, p. 211-227, 1999.

RODRIGUES, J. D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: UNESP, 1995. 100 p.

ROESCH, L. F. W.; FULTHORPE, R. R.; JACCQUES, R. J. S.; BENTO, F. M.; CAMARGO, F. A. O. Biogeography of diazotrophic bacteria in soils. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**. 26:1503-1508, 2010.

ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F.; LANDELL, M. G. A.; CANTARELLA, H.; TAVARES, S.; VITTI, A. C.; PERECIN, D. N and K fertilisation of sugarcane ratoons harvested without burning. **Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists**, v. 27, p. 1– 8, 2010.

SALIENDRA, N. Z.; MEINZER, F. C. Genotypic, developmental and drought-induced differences in root hydraulic conductance of contrasting sugarcane cultivars. **Journal of Experimental Botany**, v. 43, p. 1209–1217, 1992.

SANTOS, C. M. **Mecanismos fisiológicos e bioquímicos da cana-de-açúcar sob estresses induzidos por deficiência hídrica e paraquat**. 2013. 93 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológicos das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, n.3, p.287-294, 1998.

SARAVANAN, V. S.; MADHAIYAN, M.; THANGARAJU, M. Solubilization of zinc compounds by the diazotrophic, plant growth promoting bacterium *Gluconacetobacter diazotrophicus*. **Chemosphere**, v. 66, n. 9, p. 1794 – 1798, 2007.

SCARDUA, R. **O clima e a irrigação na produção agroindustrial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*)**. 1985. 122 p. Tese (Livre-Docência) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1985.

SCARPARI, M. S. **PREDPOL: um modelo de previsão da maturação da cana-de-açúcar visando planejamento otimizado**. 2007. 120 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

SCHULTZ, N.; SILVA, J. A. DA; SOUSA, J. S.; MONTEIRO, R. C.; OLIVEIRA, R. P.; CHAVES, V. A.; PEREIRA, W.; SILVA, M. F. DA; BALDANI, J. I.; BODDEY, R. M.; REIS, V. M.; URQUIAGA, S. Inoculation of sugarcane with diazotrophic bacteria. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 2, p. 407–414, 2014.

SCHULTZ, N.; MORAIS, R. F.; SILVA, J. A.; BAPTISTA, R. B.; OLIVEIRA, R. P.; LEITE, J. M.; PEREIRA, W.; CARNEIRO JÚNIOR, J. B.; ALVES, B. J. R.; BALDANI, J. I.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; REIS, V. M. Avaliação agrônômica de variedades de cana-de-açúcar inoculadas com bactérias diazotróficas e adubadas com nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.2, p.261-268, 2012.

SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M.; MOZAMBANI, A. E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. (Org.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ, 2006. cap. 2, p. 19-36.

SEVILLA, M.; BURRIS, R. H.; GUNAPALA, N.; KENNEDY, C. Comparison of benefit to sugarcane plant growth and $15N_2$ incorporation following inoculation of sterile plants with *Acetobacter diazotrophicus* wild-type and nif mutant strains. **Molecular plant-microbe interactions**, St. Paul, v. 14, n. 3, p. 358-366, 2001.

SILVA, D. K. T.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. T.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; KOEHLER, H. S.; OLIVEIRA, R. A. Análise de crescimento em cultivares de cana-de-açúcar em cana-soca no noroeste do Paraná na safra de 2002/2003. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 6, n. 1-2, p. 47-53, 2005.

SILVA, G. C.; OLIVEIRA, F. J.; ANUNCIACÃO FILHO, C. J.; SIMÕES. Divergência genética entre genótipos de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Pernambuco, vol. 6, n. 1, p. 52-58, 2011

SILVA, L. C.; BELTERÃO, N. E. M.; AMORIM NETO, M. S. **Análise do Crescimento de Comunidades Vegetais**. Campina Grande, PB. Circular Técnica, 34. Maio, 2000.

SILVA, M. A.; JIFON, J. L.; DA SILVA, J. A. G.; DOS SANTOS, C. M.; SHARMA, V. Relationships between physiological traits and productivity of sugarcane in response to water deficit. **The Journal of Agricultural Science**, Cambridge, n.15, v.1, p 1-15, 2014.

SILVA, M. A.; SILVA, J. A. G. da; ENCISO, J.; SHARMA, V.; JIFON, J. Yield components as indicators of drought tolerance of sugarcane. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, n. 6, p. 620-627, 2008.

SILVA, M. A.; JIFON, J. L.; DA SILVA, J. A. G.; SHARMA, V. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v.19, n.3, p.193-201, 2007.

SIMÕES-NETO, D. E.; OLIVEIRA, A. C.; FREIRE, F. J.; FREIRE, M. B. G. S.; NASCIMENTO, C. W. A.; ROCHA, A. T. Extração de fósforo em solos cultivados com cana-de-açúcar e suas relações com a capacidade tampão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, p. 840–848, 2009.

SINGH, P. N.; MOHAN, S. C. Water use and yield response of sugarcane under different irrigation schedules and nitrogen levels in a subtropical region. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 26, p. 253-264, 1994.

SINGH, P. N.; SHUKLA, S. K.; BHATNAGAR, V. K. Optimizing soil moisture regime to increase water use efficiency of sugarcane (*Saccharum spp.* Hybrid complex) in subtropical India. **Agricultural Water Management**, v.90, p.95 - 100, 2007.

SINGH, S.; SRIVASTAVA, K. K. Effects of soil-water potential on germination of sugarcane setts. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 44, n. 4, p. 184-187, 1974.

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

SMITH, R. S. Legume inoculant formulation and application, **Canadian Journal of Microbiology**, v. 38, n. 6, p. 485-492, 1992.

SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis**. Academic press, 1996.

STEDUTO, P. et al. **Crop yield response to water**. Irrigation and Drainage Paper No. 66, FAO; Rome, 2012, 503p.

STURZ, A. V.; CHRISTIE, B. R.; NOWAK, J. Bacterial endophytes: potential role in developing sustainable systems of crop production. **Critical Reviews in Plant Sciences**. v. 19, p.1-30, 2000.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. Ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848p.

TAULÉ, C.; MAREQUE, C.; BARLOCCO, C.; HACKEMBRUCH, F.; REIS, V. M.; SICARDI, M.; BATTISTONI, F. The contribution of nitrogen fixation to sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) and the identification and characterization of part of the associated diazotrophic bacterial community. **Plant and Soil**, v. 356, p. 35–49, 2012.

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 Ciencia do Solo**, v. 26, p. 637–646, 2002.

THORBURN, P. J.; DART, I. K.; BIGGS, I. M.; BAILLIE, C. P.; SMITH, M. A.; KEATING, B. A. The fate of nitrogen applied to sugarcane by trickle irrigation. **Irrigation Science**, Heidelberg, v. 22, n. 3-4, p. 201–209, 2003.

URIBE, R. A. M. **Produtividade e estimativa do acúmulo de biomassa em soqueira de cana-de-açúcar irrigada por gotejamento com diferentes doses de N-fertilizante**. 2010. 67 p. Tese (Doutorado em Agronomia - Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

URQUIAGA, S.; XAVIER, R. P.; MORAIS, R. F.; BATISTA, R. B.; SCHULTZ, N.; LEITE, J. M.; SÁ, J. M.; BARBOSA, K. P.; RESENDE, A. S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Evidence from field nitrogen balance and ¹⁵N natural abundance data for the contribution of biological N₂ fixation to Brazilian sugarcane varieties. **Plant and Soil**, v. 356, n. 1-2, p. 5–21, 2012.

URQUIAGA, S.; CRUZ, K. H. S.; BODDEY, R. M. Contribution of Nitrogen Fixation to Sugar Cane: Nitrogen-15 and Nitrogen-Balance Estimates. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, n. 1, p. 105–114, 1992.

VIDEIRA, S. S.; DE OLIVEIRA, D. M.; DE MORAIS, R. F.; BORGES, W. L.; BALDANI, V. L. D.; BALDANI, J. I. Genetic diversity and plant growth promoting traits of diazotrophic bacteria isolated from two *Pennisetum purpureum* Schum. genotypes grown in the field. **Plant and Soil**, v. 356, n. 1-2, p. 51–66, 21 dez. 2011.

VIEIRA JUNIOR, P. A.; VIEIRA, A. C. P.; BUAINAIN, A. M.; LIMA, F.; SILVEIRA, J. M. J. Produção brasileira de cana-de-açúcar e deslocamento da fronteira agrícola no estado do Mato Grosso. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 38, n. 4, 2008.

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. (Ed). **Cana-de-Açúcar**. Campinas: 1ª Ed. Instituto Agrônômico, 2010, p. 239-270.

VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O.; GAVA, G. J. C.; FRANCO, H. C. J.; BOLOGNA, I. R.; FARONI, C. E. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada à localização de adubos nitrogenados aplicados sobre os resíduos culturais em canavial sem queima. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 491–498, 2007.

YADAV, R. L.; SUMAN, A.; PRASAD, S. R.; PRAKASH, O. Effect of *Gluconacetobacter diazotrophicus* and *Trichoderma viride* on soil health, yield and N-economy of sugarcane cultivation under subtropical climatic conditions of India. **European Journal of Agronomy**, v. 30, p. 296–303, 2009.

WELLER, D. M. Biological control of soilborne plant pathogens in the rhizosphere with bacteria, **Annual Review of Phytopathology**, v. 26, p. 379-407, 1988.

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

WIEDENFELD, R. P. Effects of irrigation and N fertilizer application on sugarcane yield and quality. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 43, p. 101-108, 1995.

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

ZHANG, Y. Z.; WANG, E. T.; LI, M.; LI, Q. Q.; ZHANG, Y. M.; ZHAO, S. J.; JIA, X. L.; ZHANG, L. H.; CHEN, W. F.; CHEN, W. X.; Effects of rhizobial inoculation, cropping systems and growth stages on endophytic bacterial community of soybean roots. **Plant Soil**. v. 347, p.147-161, 2011.

ZULLO JUNIOR, J.; ARRUDA, F. B. Programa computacional para ajuste de equações em dados experimentais. **Campinas: Instituto Agrônômico**, 1987.