

HUGO RAFAEL BENTZEN SANTOS

**RESPOSTAS AGRONÔMICAS, BIOQUÍMICAS E
FISIOLÓGICAS DE VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR
SUBMETIDAS A ESTRESSE HÍDRICO ASSOCIADO À
NEMATOIDE DE GALHAS**

RECIFE - PE
Março, 2012

HUGO RAFAEL BENTZEN SANTOS

**RESPOSTAS AGRONÔMICAS, BIOQUÍMICAS E
FISIOLÓGICAS DE VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR
SUBMETIDAS A ESTRESSE HÍDRICO ASSOCIADO À
NEMATOIDE DE GALHAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola na Área de Concentração em Manejo Integrado de Água e Solo

COMITÊ DE ORIENTAÇÃO

Profª Dra. Elvira Maria Régis Pedrosa - Orientadora

Profª Dra. Rejane J. Mansur Custódio Nogueira – Co-orientadora

RECIFE - PE
Março, 2012

HUGO RAFAEL BENTZEN SANTOS

**RESPOSTAS AGRONÔMICAS, BIOQUÍMICAS E
FISIOLÓGICAS DE VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR
SUBMETIDAS A ESTRESSE HÍDRICO ASSOCIADO À
NEMATOIDE DE GALHAS**

Dissertação defendida e aprovada pela Banca examinadora em 05 / 03 / 2012

ORIENTADORA:

Prof^ª Dra. Elvira Maria Régis Pedrosa (UFRPE)

EXAMINADORES:

Prof. Dr. Adriano do Nascimento Simões (UAST-UFRPE)

Prof^ª Dra. Ceres Duarte Cabral de Almeida (CODAI-UFRPE)

Prof^ª Dra. Rejane J. Mansur Custódio Nogueira (UFRPE)

RECIFE - PE
Março, 2012

Ficha catalográfica

S237r Santos, Hugo Rafael Bentzen
Respostas agronômicas, bioquímicas e fisiológicas de variedades de cana-de-açúcar submetidas a estresse hídrico associado à nematoide de galhas / Hugo Rafael Bentzen Santos. -- Recife, 2012.
96 f. : il.

Orientadora: Elvira Maria Régis Pedrosa.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Tecnologia Rural, Recife, 2012.
Inclui referências e apêndice.

1. Biomassa 2. Clorofila 3. Condutância estomática
4. Fotossíntese 5. *Meloidogyne incógnita* 6. Prolina
7. *Saccharum* I. Pedrosa, Elvira Maria Régis, orientadora
II. Título

CDD 631

*“Onde quer que haja mulheres e homens,
há sempre o que fazer,
há sempre o que ensinar,
há sempre o que aprender”.*

Paulo Freire

Aos meus pais, **Manoel José dos Santos e Maria das Graças Bentzen Santos**, pelo amor, carinho, atenção, ensinamentos, exemplos de caráter, honestidade, determinação e todo o suporte dado a mim durante minha vida, contribuindo para minha formação pessoal e profissional.

DEDICO

Aos meus irmãos, **Erika Bentzen Santos, Manoel Leonardo Bentzen Santos e Camila Maria Bentzen Santos**, pela amizade, apoio e por compartilharem todas as lutas, dificuldades, conquistas e vitórias.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À Deus que sempre trilhou meus caminhos da melhor maneira possível para que eu chegasse até aqui hoje;

À minha orientadora **Elvira Maria Régis Pedrosa**, meu agradecimento pela ótima orientação, mostrando as melhores opções para a condução de ótimo trabalho e confiança a mim dada, contribuindo para minha formação e por sempre mostrar seriedade, competência;

À **Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)**, através do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realizar o mestrado;

A **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES**, pela concessão de bolsa de estudo;

Ao Coordenador da Estação Experimental de Cana-de-açúcar do Carpina –EECAC, **Dr. Djalma Euzébio Simões Neto**, pela liberação do material vegetal, sem o qual não seria possível a realização deste trabalho;

À minha co-orientadora **Rejane Jurema Mansur Custódio Nogueira** pelo apoio na realização de parte do experimento, oferecendo toda a infra-estrutura de apoio material e laboratorial para desenvolvimento dos trabalhos práticos;

À equipe e amigos do Laboratório de Fitonematologia, **Aluizio Cordeiro, Ana Karina, Arinaldo Silva, Carmem Mareco, Cícero Costa, Diego Huggins, Gabriela Cavalcante, Jefferson Serpa, Marcela Andrade, Mariana Ferreira, Matheus Quintela, Mércia Cardoso, Mônica Freitas, Natália Ribeiro, Patrícia Ângelo e Thays Vicente** pela amizade e agradável convívio durante a realização do mestrado;

À **Lilian Guimarães e Sandra Maranhão** pela imensa ajuda na reta final para a conclusão deste trabalho;

Aos meus amigos **David Medeiros e Cibele Alves** pelo companheirismo, pelos momentos de alegrias e tristezas compartilhados, pela paciência, pela imensa ajuda na condução e realização deste trabalho, tudo isso só fez aumentar o prazer que tenho de ter vocês como amigos;

A toda equipe do Laboratório de Fisiologia Vegetal **Natalia Vaz, Clarissa Soares, Fernanda Alves, Hugo Henrique, Marcelle Almeida, Marcelo Mauricio, Rafaela Pereira, Rayana Marques e Tássia Mélo** pelo apoio e suporte em mais uma etapa da minha formação acadêmica;

A **todos** que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABELAS	X
RESUMO	XII
ABSTRACT	XIV
CAPÍTULO I – Introdução Geral	16
1. Cana-de-açúcar	17
1.1. História e Importância Econômica	17
1.2. Aspectos Botânicos	18
1.3. Aspectos Agronômicos	19
2. Estresse Hídrico	21
3. Meloidoginose	25
Referências Bibliográficas	27
CAPÍTULO II – Crescimento de três variedades de cana-de-açúcar submetidas a estresse hídrico associado à nematoide de galhas	36
Resumo	37
Abstract	38
Introdução	38
Material e Métodos	39
Resultados e Discussão	41
Conclusões	52
Literatura Citada	52
CAPÍTULO III - Relações hídricas e trocas gasosas em três variedades de cana-de-açúcar sob estresse hídrico associado à nematoide de galhas	56
Resumo	57
Abstract	58
Introdução	58
Material e Métodos	59
Resultados e Discussão	61
Conclusões	73
Literatura Citada	73
CAPÍTULO IV - Pigmentos fotossintéticos e solutos compatíveis em três variedades de cana-de-açúcar submetidas a estresse hídrico associado a nematoide de galhas ..	78
Resumo	79
Summary	80
Conteúdo	81
Literatura Citada	91

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II

Figura 1. Número de folhas em função do tempo em variedades de cana-de-açúcar submetidas a dois tratamentos hídricos	41
Figura 2. Altura da planta relacionada ao tempo em variedades (A), suprimento hídrico (B) e infestação de nematoide (C) em plantas de cana-de-açúcar submetidas a dois tratamentos hídricos e dois níveis de infestação por <i>Meloidogyne incognita</i>	43
Figura 3. Diâmetro do colmo relacionado ao longo do tempo em variedades (A) e suprimento hídrico (B) em plantas de cana-de-açúcar submetidas a dois tratamentos hídricos	45
Figura 4. Número de perfilhos relacionado ao longo do tempo em variedades de cana-de-açúcar submetidas a tratamento hídrico de 100% (A) e 40% (B) da capacidade de pote – CP	46

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II

Tabela 1. Produção de matéria seca da parte aérea – MSPA (A) e total - MST (B) (g) de três variedades de cana-de-açúcar submetidas a dois tratamentos hídricos	47
Tabela 2. Produção de matéria seca da parte aérea (g) de plantas de cana-de-açúcar submetidas a dois tratamentos hídricos e presença de <i>Meloidogyne incognita</i>	48
Tabela 3. Produção de matéria seca da raiz (g) em plantas de cana-de-açúcar submetidas a dois tratamentos hídricos e presença de <i>Meloidogyne incognita</i>	48
Tabela 4. Alocação (%) de biomassa para parte aérea – ABPA (A), para raiz – ABR (B) e razão raiz parte aérea – R/PA (C) de três variedades de cana-de-açúcar submetidas a dois tratamentos hídricos	49
Tabela 5. Alocação (%) de biomassa para parte aérea – ABPA (A), para raiz – ABR (B) e razão raiz/parte aérea – R/PA (C) de plantas de cana-de-açúcar submetidas a dois tratamentos hídricos e presença de <i>Meloidogyne incognita</i>	50
Tabela 6. Número de ovos por planta de cana-de-açúcar submetida a dois tratamentos hídricos na presença de <i>Meloidogyne incognita</i>	52

CAPÍTULO III

Tabela 1. Teor Relativo de Água (%) às 4 horas da manhã em folhas de cana-de-açúcar submetidas a dois tratamentos hídricos e presença de <i>Meloidogyne incognita</i>	62
Tabela 2. Teor Relativo de Água (%) ao meio dia em folhas de cana-de-açúcar.....	62
Tabela 3. Teor Relativo de Água (%) ao meio dia em folhas de cana-de-açúcar submetidas a dois tratamentos hídricos	62
Tabela 4. Teor Relativo de Água (%) ao meio dia em folhas de cana-de-açúcar sob dois níveis de inoculação de <i>Meloidogyne incognita</i>	62
Tabela 5. Potencial Hídrico Foliar (MPa) às 4 horas da manhã (A) e ao meio-dia (B) em variedades de cana-de-açúcar submetidas a dois tratamentos hídricos e presença de <i>Meloidogyne incognita</i>	64
Tabela 6. Condutância estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) em variedades de cana-de-açúcar submetidas a dois tratamentos hídricos e presença de <i>Meloidogyne incognita</i> realizada aos 15 (A), 30 (B) e 45 (C) dias após diferenciação dos tratamentos hídricos – DAD..	66

Tabela 7. Transpiração foliar ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) em variedades de cana-de-açúcar submetidas a dois tratamentos hídricos e presença de *Meloidogyne incognita* realizada aos 15 (A), 30 (B) e 45 (C) dias após diferenciação dos tratamentos hídricos – DAD..69

Tabela 8. Fotossíntese líquida ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) em variedades de cana-de-açúcar submetidas a dois tratamentos hídricos e presença de *Meloidogyne incognita* realizada aos 15 (A), 30 (B) e 45 (C) dias após diferenciação dos tratamentos hídricos – DAD..71

CAPÍTULO IV

Tabela 1. Teor de clorofila *a* (A), clorofila *b* (B) e clorofila total (C) (mg/g), carboidratos (CHO) em raízes (D), aminoácidos (AA) em folhas (E), aminoácidos (AA) em raízes (F), prolina (PL) em folhas (G), prolina (PL) em raízes (H), proteína (PT) folhas (I) ($\mu\text{mol.g}^{-1}\text{MF}$) e carotenoides (J) (mg/g) em plantas de cana-de-açúcar submetidas a dois tratamentos hídricos e presença de *Meloidogyne incognita*.....94

Tabela 2. Quantificação de carboidratos (CHO) em folhas (A) e proteína (PT) em raízes (B) ($\mu\text{mol.g}^{-1}\text{MF}$) de três variedades de cana-de-açúcar submetidas a dois tratamentos hídricos95

Tabela 3. Quantificação de carboidratos (CHO) em folhas (A) e proteína (PT) em raízes (B) ($\mu\text{mol.g}^{-1}\text{MF}$) submetidas a dois níveis de infestação por *Meloidogyne incognita*..96

RESUMO

O presente estudo teve como objetivos 1) avaliar o efeito da deficiência hídrica no crescimento de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) e implicações do parasitismo de *Meloidogyne incognita* na resposta das plantas, 2) avaliar relações hídricas e trocas gasosas em variedades de cana-de-açúcar submetidas ao parasitismo do nematoide e à deficiência hídrica de forma isolada ou conjunta, 3) avaliar a concentração de pigmentos fotossintéticos e os solutos orgânicos formados em plantas de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica e parasitismo do nematoides. Plântulas de cana-de-açúcar foram inoculadas com 30.000 ovos de *M. incognita* e após cinco dias da inoculação, foi realizada a diferenciação dos tratamentos, dispostos em delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 3 (variedades RB72454, RB867515 e RB92579) × 2 (tratamentos hídricos 100% CP e 40% CP) × 2 (níveis de infestação com e sem nematóide), realizando-se as avaliações até 45 dias após a diferenciação (DAD) dos tratamentos. A supressão hídrica, além de influenciar no número de folhas e altura das plantas, também afetou o diâmetro do colmo, a partir de 14 DAD, sendo esta última variável a que apresentou menor variação entre as variedades. RB92579 apresentou maior número de perfilhos, diferindo das demais a partir de 14 DAD. A 40% CP, todas as variedades tiveram desempenho reduzido na produção de matéria seca de raiz, independente da presença do nematoide. Não houve diferença na alocação de biomassa da parte aérea entre as plantas cultivadas sem ou com nematoides a 100% CP, no entanto, a 40% CP as plantas com nematoides tiveram redução de 4,86% na alocação de biomassa para a parte aérea. Dentre as variedades, RB867515 destacou-se por apresentar razão raiz/parte aérea maior que 50% no tratamento de 100% CP em relação ao de 40% CP. A reprodução de *M. incognita* foi significativamente maior a 100% CP do que a 40% CP. As plantas inoculadas o *M. incognita* tiveram rendimento no tratamento de déficit hídrico 25% menor em relação tratamento de 100% CP e uma redução de 26% no tratamento de 40% CP quando comparada às plantas não inoculadas. RB92579 foi a variedade mais sensível a deficiência hídrica. O déficit hídrico influenciou a turgescência das folhas, sendo RB867515 a variedade que manteve melhor turgescência das folhas. RB92579 apresentou o potencial mais negativo a 100% CP. RB867515 foi a variedade que menos

sofreu com a deficiência hídrica (40% CP). Reduções nas variáveis de trocas gasosas, condutância estomática (gs), transpiração (E) e fotossíntese (A) ao longo do período experimental foram observadas, assim como entre as variedades, tratamentos hídricos e os níveis de inoculação de nematóides. Com exceção da RB867515, as demais variedades apresentaram redução da condutância na presença do nematoide a 40% CP. Na ausência do nematoide, RB867515 alcançou os maiores valores de condutância estomática a 100% CP aos 45DAD. As variedades com nematoide sob 100% CP apresentaram reduções da condutância das plantas mais pronunciadas do que quando submetidas a 40% CP em relação às não inoculadas. A taxa de assimilação líquida de CO₂ foi fortemente afetada pela deficiência hídrica. Em plantas sem nematoide a 100% CP todas as variedades diferiram entre si, mas RB867515 teve maior fotossíntese. Aos 40 DAD, RB867515 apresentou as maiores taxas fotossintéticas em todos os tratamentos. RB72454 apresentou a maior quantidade de carotenóides e obteve as maiores concentrações de clorofila em todos os tratamentos, com exceção de 40% CP sem nematoide, enquanto RB867515 apresentou aumento no teor de clorofila *b* à medida que aumentou a severidade dos tratamentos. A concentração de carboidratos solúveis de maneira geral tendeu a diminuir com a redução da disponibilidade hídrica nas folhas para as plantas. Nas raízes, a concentração de carboidratos promoveu interação entre todos os fatores estudados, com aumentos significativos na concentração deste soluto em quase todas as plantas inoculadas com nematóide. Não houve diferença nas concentrações de aminoácidos entre as variedades a 100% CP, mas a 40% CP RB72454 mostrou menor concentração de aminoácidos. O acúmulo de prolina foi mais evidenciado nas folhas quando as plantas foram submetidas à infestação de nematoides nas variedades RB72454 e RB867515 a 100% CP. A concentração de proteínas nas folhas mostrou que, de maneira geral, plantas com nematoides, independente da disponibilidade hídrica, apresentaram redução da concentração de prolina. Contudo, plantas com ou sem nematóide apresentaram redução na concentração de proteína com a diminuição da disponibilidade hídrica.

Palavras chave: biomassa, clorofila, condutância estomática, fotossíntese, *Meloidogyne incognita*, prolina, *Saccharum*

ABSTRACT

The objective of the present study was to evaluate 1) the effect of hydric deficiency on growth of sugarcane varieties and implications of *Meloidogyne incognita* parasitism on plant response, 2) hydric relations and gaseous change in sugarcane varieties under both nematode parasitism and hydric deficit, 3) concentration of photosynthetic pigments and organic solutes formed in sugarcane plants under hydric deficit and nematode parasitism. Sugarcane seedlings were inoculated with 30,000 eggs of *M. incognita* and five days after inoculation, treatments were differentiated in completely randomized design in a 3 (sugarcane varieties RB72454, RB867515 e RB92579) × 2 (hydric treatment 100% CP and 40% CP) × 2 (inoculum level with and without nematode) factorial arrangement. Evaluations were carried out until 45 days after differentiation (DAD). Hydric suppress, besides influence number of leaves and plant height, affected stalk diameter from 14 DAD, being the last one variable that presented lower variation among varieties. RB92579 presented higher number of stalk, differing from the others from 14 DAD. At 40% CP, all varieties had decreased development decreasing root dry matter production, independently of nematode presence. There was no difference in biomass allocation to shoots in parasite and no parasite plants at 100% CP. However, at 40% CP parasite plants decreased 4.86% biomass allocation to shoots. RB867515 stood out presenting root/shoot ratio higher than 50% at 100% CP than 40% CP. Reproduction of *M. incognita* was significantly higher at 100% CP. inoculated plants had 25% lower development under hydric deficit than at 100% CP as well a 26% reduction under 40% CP when compared to non-inoculated ones. RB92579 was the most sensible to hydric suppress. Hydric deficit affected leaf turgescence, being RB867515 the variety that maintained the leaf turgescence. RB92579 presented negative potential at 100% CP. RB867515 was the variety less influenced by hydric deficit (40% CP). Reductions along experimental period on gaseous change, stomata conductance (gs), transpiration (E) and photosynthesis (A) were observed, as well among varieties, hydric treatments and nematode density. Except RB867515, all varieties presented reduction of conductance in presence of nematode under 40% CP. In the absence of nematode, RB867515 reached the highest stomata conductance values under 100% CP at 45 DAD. Under 100% CP, varieties with nematode presented higher decrease on plant conductance than under 40% CP in relation to non-inoculated. The CO₂ liquid

assimilation level was highly affected by hydric supress. In plants without nematode under 100% CP there was difference among all varieties, but RB867515 presented the higher photosynthesis. At 40 DAD, RB867515 showed the highest photosynthetic levels in all treatments. RB72454 presented higher amount of carotene and obtained higher amounts of chlorophyll in all treatments, except under 40% CP with no nematode, while RB867515 presented the highest amount in chlorophyll *b* content as treatment severity increased. In general, soluble carbohydrates concentration decreased as hydric availability decreased in leaves. In roots, carbohydrate concentration promoted interaction among all variables studied with significant increase in this solute concentration in almost all plants inoculated. There was no difference in amino acid concentration within varieties under 100% CP, but under 40% CP RB72454 showed the lowest amino acid concentration. Proline accumulation was stood out in leaves of plants infected with nematode on RB72454 and RB867515 under 100% CP. Protein concentration in leaves showed that, in general, plants with nematode, independently of hydric availability, presented reduction in proline amount. However, plants either with or without nematode presented decrease in protein amount as hydric availability decreased.

Key-words: biomass, chlorophyll, stomatal conductance, photosynthese, *Meloidogyne incognita*, prolin, *Saccharum*

CAPITULO I

Introdução Geral

INTRODUÇÃO GERAL

1. CANA-DE-AÇÚCAR

1.1. História e Importância Econômica

No Brasil, a introdução das primeiras mudas da cultura de cana-de-açúcar ocorreu em 1532 por Martim Afonso de Souza provenientes da Ilha da Madeira, uma colônia portuguesa, na então capitania de São Vicente que estava sob seu comando. A introdução desta cultura no século XVI teve por objetivo impulsionar a formação dos primeiros engenhos e plantações no país, com o intuito de quebrar o monopólio mundial exercido pela França no comércio do açúcar, que era produzido nas Ilhas do Caribe (LANDELL et al., 2006; MOZAMBANI et al., 2006).

O primeiro engenho, chamado de Engenho dos Erasmos, foi fundado no Brasil na capitania de São Vicente. Contudo foi em Pernambuco que a cultura melhor se desenvolveu, devido ao clima mais favorável ao cultivo e pela proximidade com a Europa, impulsionando a criação de diversos engenhos. Essas instalações foram responsáveis pelo desenvolvimento da produção, do comércio e da cultura no Nordeste brasileiro, onde foi implantado o primeiro centro açucareiro do país. No final do século XVI, os estados de Pernambuco e Bahia lideravam a produção mundial de açúcar, com grande repercussão no mercado europeu. No século XVII com a vinda do Morgado de Matheus, a cultura se disseminou pelo planalto paulista, pela região que ficou conhecida por Quadrilátero do Açúcar, compreendendo as cidades de Campinas, Itu, Capivari e Piracicaba, destacando-se como maior centro açucareiro do estado de São Paulo até meados do século XIX (JUNQUEIRA, 2006; MOZAMBANI et al., 2006).

A cana-de-açúcar é uma das culturas agrícolas mais importantes do mundo tropical, gerando milhares de empregos diretos e indiretos. É uma das melhores opções de fonte de energia renovável e produção de biocombustíveis, o que pode justificá-la como uma importante cultura no Brasil e no mundo, cujas perspectivas são extremamente favoráveis a médio e longo prazo. Além disso, a cana-de-açúcar é uma importante fonte de renda e desenvolvimento, pois é a principal matéria-prima para a fabricação do açúcar, rapadura, melado, na produção de energia elétrica (bagaço, briquete), para a fabricação de combustíveis (etanol, bioetanol), bebida (aguardente e cachaça, esta exclusivamente brasileira). Pode ser utilizada como forrageira na forma *in*

natura para alimentação animal e na construção civil. Estudos têm apontado potencial das cinzas do bagaço de cana-de-açúcar como possível substituto do cimento e areia (CARDONA; QUINTERO; PAZ, 2010; DIOLA; SANTOS, 2010; SALES; LIMA, 2010).

Cultivada em mais de 80 países, é considerada uma das mais importantes espécies vegetais. Apresenta como os maiores produtores mundiais o Brasil seguido por Índia, China, Paquistão, México, Tailândia, Colômbia, Austrália, Indonésia, Estados Unidos da América, África do Sul e Filipinas.

O Brasil detém pouco mais de um terço da cana cultivada mundialmente, e continua no caminho para aumentar sua produção e por consequência a de açúcar e etanol. Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2011), a previsão da safra 2011/2012 é de 588,915 milhões de toneladas. A área cultivada com cana-de-açúcar que será colhida e destinada à atividade sucroalcooleira está estimada em 8.434,3 mil hectares, distribuídos em todos os estados produtores.

O estado de São Paulo continua sendo o maior produtor com 52,6% (4.436,53 mil hectares), seguido por Minas Gerais com 9,00% (759, 21 mil hectares), Goiás com 7,97% (672,43 mil hectares), Paraná com 7,26% (612,25 mil hectares), Mato Grosso do Sul com 5,70% (480,86 mil hectares), Alagoas com 5,39% (454,54 mil hectares) e Pernambuco com 3,85% (324,73 mil hectares).

A previsão de esmagamento para a produção de açúcar é de 308.888,2 mil toneladas. Os restantes 333.101,8 mil toneladas serão usadas para a produção de etanol que deverão produzir 27.090.915,6 mil litros, redução de 1,83% tendo por base a safra 2010/2011, onde a divisão dos produtos será de 8.708.512,7 mil litros de etanol anidro e 18.382.402,9 mil litros de etanol hidratado (CONAB, 2011).

1.2. Aspectos Botânicos

A cana-de-açúcar, *Saccharum* spp., é uma gramínea pertencente à divisão Magnoliophyta, classe Liliopsida, subclasse Commelinidae, ordem Cyperales. Sendo da família Poaceae, tribo Andropogoneae e gênero *Saccharum* (LUCCHESI, 2001). De acordo com Cronquist (1981), seis espécies compõem o gênero a qual pertence - *S. officinarum* L. (2n = 80), *S. robustum* Brandes e Jeswiet ex Grassl (2n = 60-205), *S. barberi* Jeswiet (2n = 81-124), *S. sinense* Roxb. (2n = 111-120), *S. spontaneum* L. (2n =

40-128), e *S. edule* Hassk. ($2n = 60-80$), as quais podem estar participando de alguma forma nas cultivares moderna (CHAVES, 2007).

As folhas são simples, alternadas, opostas e formadas por lâmina e bainha, ambas ligadas por uma porção internamente membranosa denominada lígula. A bainha, em geral, apresenta na borda, a aurícula, e possui pelos. As folhas são de coloração verde característica, variando a tonalidade de acordo com a região da folha, idade e o cultivar. O caule é um colmo composto por nós e entrenós, sendo um órgão de reserva com alta importância comercial (produção de álcool e açúcar através do teor de sacarose) e as flores são pequenas, sem perianto, protegidas por brácteas secas e se arranjam em inflorescência denominada panícula. As raízes são fasciculadas e podem atingir até 4 m de profundidade, embora cerca de 80% das raízes concentrem-se nos 20 cm superficiais do solo (SAMPAIO et al., 1995).

1.3. Aspectos Agronômicos

A cana-de-açúcar apresenta ciclo semiperene cujo desenvolvimento completo pode variar de nove a trinta e seis meses. Planta alógama que apresenta uma elevada rusticidade, sendo cultivada numa ampla faixa de latitude de 35° N a 30° S e em altitudes que variam desde o nível do mar até 1.000 metros. Essa ampla faixa de cultivo é devido ao fato das variedades atuais serem formadas por híbridos interespecíficos criados pelos programas de melhoramento genético, onde foram incorporadas características para maior resistência e/ou mais adaptadas às diversas condições ambientais, além do aprimoramento das características agronômicas (MATSUOKA; GARCIA; ARIZONO, 1999).

É uma cultura adaptada ao clima tropical, quente e úmido, com temperatura entre 19 °C a 32 °C (MARQUES; MARQUES; TASSO JÚNIOR, 2001). De acordo com Fauconier e Bassereau (1975), o crescimento da cana-de-açúcar é máximo no intervalo de temperatura entre 30 °C e 34 °C, lento abaixo de 25 °C e acima de 35 °C e quase nulo acima de 38 °C.

Os atributos edáficos satisfatórios às exigências da cana-de-açúcar são: solos arejados, profundos, boa fertilidade e pH variando de 5,0 a 6,5 (RAIJ et al., 1997; MARQUES; MARQUES; TASSO JÚNIOR, 2001).

O ciclo vegetativo da cana-de-açúcar pode ser dividido em quatro estádios: o primeiro caracteriza-se pela brotação e emergência da gema. No segundo ocorre o perfilhamento e o estabelecimento da arquitetura foliar. O estágio subsequente é caracterizado pelo crescimento da planta e o quarto ocorre quando os colmos estão no ponto de colheita (FAUCONIER; BASSEREAU, 1975).

Durante a fase inicial de desenvolvimento a cana-de-açúcar perfilha intensamente até se estabelecer como cultura, pois após o estabelecimento é promovida uma competição intraespecífica por luz (autosombreamento) entre as plantas acarretando a inibição do perfilhamento e indução do crescimento do colmo principal (RODRIGUES, 1995). A luz é um fator de suma importância para a cana-de-açúcar devido à alta eficiência fotossintética que a cultura apresenta. De acordo com Rodrigues (1995) e Silva Júnior (2001) a luz não influencia na germinação, mas favorece diretamente o perfilhamento, o número de brotos vivos, o teor de sacarose no caldo; sem contar que a quantidade de luz incidente promove um aumento ou diminuição na taxa de crescimento do colmo de acordo com o fotoperíodo. O crescimento em altura continua até a ocorrência de alguma limitação no suprimento de água, ocorrência de baixas temperaturas ou ainda devido ao florescimento.

As características varietais definem o número de colmos por planta e seu diâmetro, a altura, o comprimento e a largura das folhas e a arquitetura da parte aérea. De maneira geral, sabe-se que há uma produção média de 2 a 4 entrenós por mês, com 10 a 15 cm de comprimento cada um (BACCHI, 1983), sendo a expressão destes caracteres muito influenciados pelo clima, pelo manejo e pelas práticas culturais utilizadas.

Por ser uma planta de metabolismo C_4 , a cana-de-açúcar apresenta elevada taxa fotossintética e maior eficiência na utilização de gás carbônico (CO_2) da atmosfera, permitindo ser muito bem adaptada a produção de biomassa em regiões tropicais. Esta cultura, embora adaptada às condições de elevada intensidade luminosa e altas temperaturas, necessita de grandes quantidades de água, uma vez que somente 30% do peso constitui-se de massa seca e 70% de água, dependendo do estágio fenológico. A capacidade de assimilação hídrica pelas folhas da cana-de-açúcar é superior às outras gramíneas, de forma que o orvalho e os chuviscos, que não atingem o solo, também podem ser absorvidos. No entanto, as raízes, através dos pelos absorventes, apresentam maior capacidade de absorção de água (SEGATO; MATTIUZ; MOZAMBANI, 2006).

A cana-de-açúcar é uma cultura eficiente e econômica no uso da água, mesmo assim apresenta um alto consumo, necessitando de cerca de 2000 mm por ano para ter um pleno desenvolvimento (HEMAPRABHA; NAGARAJAN; ALARMELU, 2004), sendo, portanto, necessários 250 g de água para formar 1 g de matéria seca durante seu crescimento (TAIZ; ZEIGER, 2004; LARCHER, 2006; ENDRES et al., 2010).

2. ESTRESSE HÍDRICO

A água é a substância mais importante na superfície terrestre, sendo essencial para a existência da vida. É nela que se processam os principais processos metabólicos e bioquímicos, sendo fundamental para a integridade funcional de moléculas biológicas, células, tecidos e o organismo como um todo (LARCHER, 2006). A quantidade de água nos vegetais depende do tipo do tecido e da função que o mesmo exerce, podendo sua quantidade variar de 95% do total em tecidos que apresentam alto poder metabólico (frutos e meristemas) a 5% nos tecidos lignificados e sementes.

Estresse é um conjunto de reações do organismo às agressões capazes de perturbar a homeostasia (LECHINOSKI et al., 2007). O estresse em plantas pode ser considerado como qualquer fator externo que exerça influência desvantajosa sobre a planta, desviando das condições ótimas para a vida, acarretando mudanças e inibição do funcionamento normal dos sistemas, além de induzir respostas em todos os níveis do organismo, podendo estas alterações ser reversíveis ou permanentes dependendo da duração e intensidade do mesmo (LARCHER, 2006).

Segundo Mahajan e Tuteja (2005), as plantas podem ser afetadas por vários fatores bióticos e abióticos de estresse, sendo mais frequentemente expostas aos fatores abióticos, tais como baixa e alta temperaturas, salinidade, radiação, seca, inundação e toxicidade por metais pesados. Na maioria das áreas onde se desenvolvem as culturas agrícolas, principalmente nos trópicos, é comum apresentarem uma pluviosidade escassa ou irregular, ocasionando, muitas vezes, uma deficiência hídrica no solo (WOOD, 2005). Isso provoca um impacto negativo substancial no crescimento e desenvolvimento das plantas, acarretando conflito entre a conservação da água pela planta e a taxa de assimilação de CO₂ para produção de carboidratos, com conseqüentemente diminuição de produtividade (TAIZ; ZEIGER, 2009), em que as perdas devido ao déficit hídrico, devem ultrapassar as perdas de todos os outros fatores combinados.

O déficit hídrico é considerado o fator ambiental mais importante na limitação da expansão e desenvolvimento agrícola (NOGUEIRA et al., 2001; GHANNOUM, 2009; BATISTA et al., 2010), provoca alterações na composição química, biológica e física do solo. Além disso, modifica o metabolismo e comportamento vegetal, que de acordo com Wang, Vinocur e Altman (2003) acarreta mudanças fisiológicas, bioquímicas e moleculares, cuja irreversibilidade e efeitos irão depender do genótipo, duração, severidade, velocidade de imposição e estágio de desenvolvimento da planta (KRAMER; BOYER, 1995; SANTOS; CARLESSO, 1998; PIMENTEL, 2004). Quando a ocorrência do déficit hídrico é rápida, os mecanismos morfofisiológicos são severamente afetados e a planta necessita se adaptar à nova situação, de forma rápida. Desta forma, plantas conduzidas sob irrigação normalmente apresentam menos resistência a situações de déficit hídrico no solo em relação a plantas submetidas ao déficit hídrico gradual ou a deficiência de água no solo no início do seu ciclo. A adaptação das plantas ao déficit hídrico constitui um importante mecanismo de resistência para a manutenção do processo produtivo em condições de baixa disponibilidade de água às plantas (SANTOS; CARLESSO, 1998).

As plantas submetidas à redução no suprimento de água estabelecem estratégias para minimizar as necessidades fisiológicas e conseguir sobreviver com perda mínima do seu conteúdo líquido. Diversos pesquisadores (NOGUEIRA; SANTOS, 2000; INMAN-BAMBER; SMITH, 2005; MENDES et al., 2007; SILVA et al., 2008; GUO et al., 2010; LI et al., 2010; MARTINS et al., 2010) vêm estudando os efeitos do estresse hídrico sob as variáveis fisiológicas das mais diversas espécies de plantas, na sua grande parte em culturas de importância comercial.

Segundo Teare e Peet (1983), a diminuição no conteúdo de água na célula, geralmente quando alcança níveis abaixo de 75%, pode provocar mudanças estruturais e em casos extremos levar morte. Algumas mudanças que ocorrem com o déficit hídrico estão relacionados à:

(i) **Respostas estomáticas** – a resposta estomática pode estar envolvida tanto num suprimento de água insatisfatório, quanto devido a uma alta demanda evaporativa, ocasionando o fechamento dos estômatos. O fechamento estomático é considerado como primeira linha de defesa do vegetal para evitar o dessecação, porém, isto causa uma maior redução do fluxo de H₂O para fora da folha do que no fluxo de CO₂ que chega aos cloroplastos, reduzindo mais a taxa transpiratória que a taxa fotossintética (CHAVES, 1991; NOBEL, 2009). No entanto, protege o aparato fotossintético e a

ultraestrutura cloroplástica, diminuindo o efeito da falta de água e permitindo uma recuperação mais rápida, na reidratação (PIMENTEL, 2004).

O fechamento estomático também está ligado a um aumento na concentração de ácido abscísico (ABA) na parte aérea, principalmente no apoplasto das células-guarda do estômato, hormônio este que é produzido e remobilizado da zona radicular, devido a escassez de água no solo. O ABA promove a saída dos íons K^+ das células-guarda, resultando numa perda de pressão de turgor levando ao fechamento dos estômatos (MAHAJAN; TUTEJA, 2005).

(ii) **Trocas Gasosas e Fotossíntese** – em condições de déficit hídrico a transpiração decresce, pois esta associada à turgescência das células-guarda. A taxa da resistência difusiva se eleva devido à desidratação e consequente fechamento dos estômatos o que dificulta a saída de água e aumenta a temperatura foliar, pois como a transpiração foi reduzida, uma menor dissipação de calor para atmosfera será promovida (CAIRO, 1995; SILVA et al., 2004).

A fotossíntese é afetada pelo déficit hídrico devido à redução no suprimento e condução de CO_2 nos espaços intercelulares da folha, promovendo alterações fotoquímicas nas folhas e dificuldades no metabolismo de carbono (CHAVES et al., 2009). Essa diminuição é devido a uma redução da transpiração ou então pode estar ligada a uma maior senescência das folhas diminuindo a captação e diminuição da área fotossinteticamente ativa. Além disso, a diminuição da fotossíntese sob estresse hídrico pode estar relacionada com tamanho e proporção das folhas que ficam reduzidas.

(iii) **Crescimento** – Muitas plantas tentam evitar ou escapar do estresse hídrico através da redução de sua área foliar, que é um importante fator de produção, acarretando assim uma menor formação de fotoassimilados que promoveriam seu pleno desenvolvimento. Sob déficit hídrico, o equilíbrio entre a produção de assimilados e a demanda para o desenvolvimento dos órgãos reprodutivos é severamente afetado pela redução da área foliar fotossinteticamente ativa. As folhas de cana-de-açúcar quando submetidas à deficiência hídrica tornam-se mais espessas, ocorre um enrolamento que segundo Lisson et al. (2005) reduz a projeção da área foliar diminuindo a radiação incidente sobre as mesmas. Essas folhas tendem a formar substâncias de proteção na superfície como suberina, cutina e resinas reduzindo a perda de água pela epiderme.

O déficit hídrico tende a estimular o crescimento do sistema radicular para as zonas mais profundas, essa expansão radicular ocorre por causa do secamento da superfície do solo, o que leva as raízes a promoverem uma absorção de água nas camadas mais profundas do solo que ainda tem água disponível (CALVACHE et al, 1997). Segundo Ball, Oosterhuis e Mauromoustakos (1994) as raízes pequenas são mais sensíveis ao déficit hídrico do que as raízes médias e grandes. A razão entre a biomassa das raízes com a parte aérea tende a ser maior nas plantas sob déficit hídrico, sendo esta razão dependente do balanço entre a absorção de água pelas raízes e a fotossíntese pela parte aérea.

(iv) **Potencial Hídrico Foliar** (Ψ_f) – O potencial hídrico da folha, cujos gradientes explicam os fluxos da água no sistema solo-planta-atmosfera, decresce na presença do déficit de água. Embora haja variação ao longo do dia, esse parâmetro descreve o estado hídrico da planta, e tem sido muito utilizado em estudos das relações hídricas dos vegetais, sobretudo quando as plantas são submetidas a algum tipo de estresse hídrico (BERGONCI et al., 2000).

Diversos autores (BERGONCI et al., 2000; SILVA et al., 2001; SMIT; SINGELS, 2006) têm provado que com o aumento da escassez hídrica no solo acaba por refletir na condutância e por consequência uma menor alocação de seiva nas folhas, apresentando gradativamente uma diminuição do potencial hídrico foliar.

(v) **Ajustamento Osmótico** – Quando as plantas estão sujeitas a estresses abióticos tais como a salinidade e o déficit hídrico, muitas tendem a responder com acúmulo de compostos não tóxicos de baixo peso molecular, conhecidos como solutos compatíveis. Esse aumento na concentração intracelular de solutos osmoticamente ativos, de compostos de baixo peso molecular, acarreta na diminuição do potencial osmótico e consequentemente ajuda a manter o potencial hídrico em níveis normais, devido fenômeno este chamado de ajustamento osmótico (BRAY, 1993; CHAVES FILHO; STACCIARINI-RERAPHIN, 2001; NOGUEIRA; SILVA, 2002). O ajustamento osmótico produz um potencial mais negativo, ajudando assim a manter o movimento de água para as folhas e raízes, devido à manutenção da absorção de água, graças à diferença de concentração dos potenciais osmóticos e hídrico e consequentemente favorecendo a turgescência dos mesmos órgãos, garantindo a integridade da membrana plasmática.

De acordo com Queiroz et al. (2008), a habilidade que algumas espécies tem em se ajustar osmoticamente suas células sob condições de estresse hídrico é uma resposta bioquímico-fisiológica que indica a capacidade destas plantas em tolerar períodos curtos de seca, proporcionando à planta a continuar a expansão celular, favorecendo o crescimento vegetal. Este ajustamento osmótico é atribuído à síntese e absorção dos solutos orgânicos de baixo peso molecular tais como: açúcares, prolina, glicina betaina, aminoácidos, alcoóis, entre outros compostos (QUEZADA; ONTIVEROS; HERNANDEZ, 1999; SILVA et al., 2004; GUIMARÃES et al., 2008).

(vi) **Degradação de Clorofilas** – As clorofilas (*a* e *b*) e os carotenóides são os pigmentos fotossintéticos mais abundantes existentes no planeta e a sua presença garante às plantas a capacidade de absorver energia luminosa para a formação de ATP e NADPH na fotossíntese. Por sua estrutura química ser instável, as clorofilas são facilmente degradadas, resultando em produtos de decomposição que modificam a percepção e qualidade dos vegetais, razão qual o crescimento das plantas está intimamente ligado aos teores desse pigmento. A deficiência hídrica é responsável pela degradação de pigmentos nas folhas, prejudicando o ciclo de vida dos vegetais, além disso, nas plantas sob seca, o decréscimo na concentração de clorofila pode estar associado ao aumento da atividade da enzima clorofilase (ARUNYANARK et al., 2008). Em adição, a relação entre clorofila *a* e *b* em plantas terrestres pode ser usada como indicativo de resposta ao sombreamento e a senescência prematura, e a relação entre clorofila e carotenóides é usada em menor proporção para diagnosticar a taxa de senescência sob estresse hídrico (HENDRY & PRICE, 1993).

3. MELOIDOGINOSE

A cultura da cana-de-açúcar é atacada por um considerável número de fitonematoides, sendo estes, identificados como uma das mais importantes causas do declínio na produção de cana no Brasil e no mundo (DINARDO-MIRANDA; FRACASSO; COSTA, 2010; CHIRCHIR et al., 2011). Cerca de 300 espécies, pertencentes a 48 gêneros já foram identificadas na rizosfera ou então infectando diretamente raízes desta cultura. Mundialmente, os nematoides dos gêneros *Pratylenchus*, *Helicotylenchus*, *Meloidogyne* e *Scutellonema* causam sérios danos à cultura (SHOKO; ZHOU, 2009). Entre as várias espécies de nematoides encontradas em

associação com a cana-de-açúcar, as três principais para as condições brasileiras são: *Meloidogyne javanica* (Treub) Chitwood, *M. incognita* (Kofoid & White) e *Pratylenchus zaei* Graham (DINARDO-MIRANDA; FRACASSO, 2009).

Os nematoides do gênero *Meloidogyne* conhecidos como nematoides-de-galhas, devido à integração nematoides/raiz que provoca diferenciações celulares, levando à formação de galhas radiculares, estão amplamente distribuídos e atacam quase todas as plantas cultivadas, causando perdas consideráveis na produção e afetando a qualidade dos produtos (CARNEIRO et al., 2006a; SILVA et al., 2007; TENENTE et al., 2008).

Perdas anuais na produtividade agrícola atribuídas a nematoides são estimadas em cerca de 80 bilhões de dólares (RITZINGER; FANCELLI, 2006). Contribuem para isso a alta capacidade reprodutiva desses organismos que apresentam ciclo de vida curto, entre três a quatro semanas, além da alta fecundidade das fêmeas que produzem cerca de 400 ovos, o que leva a um rápido crescimento das populações. Além disso, esses nematoides estão amplamente adaptados às condições edafoclimáticas brasileiras. Em média, causam prejuízos de produtividade entre 20% e 40% no primeiro corte de variedades suscetíveis, reduzindo também a produtividade nas soqueiras e conseqüentemente a longevidade do canavial (DINARDO-MIRANDA; FRACASSO, 2010).

Associado às estiagens, que impõem condição de estresse à cana-de-açúcar, o acúmulo de problemas fitossanitários, em particular as fitonematoses, contribuem de forma significativa para uma baixa produtividade agrícola na Região Nordeste. *Meloidogyne incognita* é considerada uma das espécies mais importantes da cultura no nordeste brasileiro, causando redução e disfunção do sistema radicular e reduzindo a absorção de água e nutrientes, promovendo crescimento reduzido e atrofiado das plantas, que podem morrer nos estádios mais suscetíveis (ABRÃO; MASSAFERA, 1998; SEVERINO et al., 2008; CHIRCHIR et al., 2011). Para Berry, Spaul e Cadet (2007) as perdas de produção por nematoides em cana-de-açúcar, decorrem da redução do número e comprimento dos colmos. Além dos danos diretos, plantas atacadas por nematoides das galhas geralmente são predispostas ao ataque de outras pragas e doenças (BARBOSA et al., 2009).

De acordo com Carneiro et al. (2006b), a intensidade e quantidade de danos causados vão depender de fatores como a densidade populacional dos nematoides, da suscetibilidade da variedade, das condições ambientais e da presença de outros patógenos que podem interagir com os fitonematoides. A densidade populacional de

fitonematoides pode oscilar em função da temperatura e da umidade do solo, chegando a ocorrer dormência no período de frio ou de seca (MARANHÃO, 2008).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRÃO, M. M.; MAZZAFERA, P. Alterações fisiológicas no algodoeiro causadas por *Meloidogyne incognita* raça 3: Influência do nitrogênio. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 22, p. 66-79, 1998.

ARUNYANARK, A.; JOGLOY, S.; AKKASAENG, C.; VORASOOT, N.; KESMALA, T.; NAGESWARA RAO, R. C.; WRIGHT, G. C.; PATANOTHAI, A. Chlorophyll stability is an indicator of drought tolerance in peanut. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 194, p. 113-125, 2008.

BACCHI, O. O. S. (Ed.). Botânica da cana-de-açúcar. In: ORLANDO FILHO, J. (Eds.). **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR, 1983. p. 25-37.

BALL, R. A.; OOSTERHUIS, D. M.; MAUROMOUSTAKOS, A. Growth dynamics of the cotton plant during water-deficit stress. **Agronomy Journal**, Madison, v. 86, p. 788-795, 1994.

BARBOSA, B. F. F.; SANTOS, J. M.; SOARES, P. L. M.; BARBOSA, J. C. Avaliação comparativa da agressividade de *Meloidogyne javanica* e *M. incognita* à variedade SP 911049 de Cana-de-açúcar. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 33, p. 243-247, 2009.

BATISTA, L. A.; GUIMARÃES, R. J.; PEREIRA, F. J.; CARVALHO, G. R.; CASTRO, E. M. Anatomia foliar e potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao estresse hídrico. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, p. 475-481, 2010.

BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A.; SANTOS, A. O. Potencial da água na folha como um indicador de déficit hídrico em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 1531-1540, 2000.

BERRY, S.; SPAULL, V. W.; CADET, P. Impact of harvesting practices on nematode communities and yield of sugarcane. **Crop Protection**, v. 26, p. 1239–1250, 2007.

BRAY, E. A. Molecular responses to water deficit. **Plant Physiology**, v.103, p. 1035-1040, 1993.

CAIRO, P. A. R. (ED.). **Curso básico de relações hídricas de plantas**. Vitória da Conquista: UESB, 1995. 32 p.

CALVACHE, A. M.; REICHARDT, K.; MALAVOLTA, E.; BACCHI, O. O. S. Efeito da deficiência hídrica e da adubação nitrogenada na produtividade e na eficiência do uso de água em uma cultura do feijão. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 54, p. 232-240, 1997.

CARDONA, C. A.; QUINTERO, J. A.; PAZ, I. C. Production of bioethanol from sugarcane bagasse: Status and perspectives. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 4754-4766, 2010.

CARNEIRO, R. G.; MONÂCO, A. P. A.; LIMA, A. C. C.; NAKAMURA, K. C.; MORITZ, M. P.; SCHERER, A., SANTIAGO, D. C. Reação de gramíneas a *Meloidogyne incognita*, a *M. paranaensis* e a *M. javanica*. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 30, p. 287-291, 2006b.

CARNEIRO, R. G.; MORITZ, M. P.; MÔNACO, A. P. A.; LIMA, A. C. C.; SANTIAGO, D. C. Reação de cultivares de aveia às raças 1 e 3 de *Meloidogyne incognita* e a *M. paranaensis*. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 30, p. 281-285, 2006a.

CHAVES FILHO, J. T.; STACCIARINI-RERAPHIN, E. Alteração no potencial osmótico e teor de carboidratos em plantas jovens de lobeira (*Solanum lycocarpum* St. – Hil.) em resposta ao estresse hídrico. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 24, p. 199-204, 2001.

CHAVES, A. **Alternativas para o manejo integrado de fitonematóides em cana-de-açúcar em tabuleiros costeiros de Pernambuco**. 2007, 91 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2007.

CHAVES, A.; MARANHÃO, S. R. V. L.; PEDROSA, E. M. R.; GUIMARÃES, L. M. P.; OLIVEIRA, M. K. R. S. Incidência de *Meloidogyne* spp. e *Pratylenchus* sp. em cana-de-açúcar no estado de Pernambuco, Brasil. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 33, p. 278-280, 2009.

CHAVES, M. M. Effects of water stress on carbon assimilation. **Journal of Experimental Botany**, Cidade do Periódico, v. 42, p. 1-16, 1991.

CHIRCHIR, A. K.; KIMENJU, J. W.; OLUBAYO, F.; MUTUA, G. Cultivar resistance of sugarcane and effects of heat application nematodes in Kenya. **International Journal of Agricultural Research**, v. 6, p. 93-100, 2011.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, primeiro levantamento. Brasília: CONAB, 2011. Disponível em: <www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_05_27_11_53_13_boletim_cana_portugues_-_maio_2011_1o_lev..pdf>. Acesso em: 08 set. 2011.

CRONQUIST, A. (Ed.) **An integrated system of classification of flowering plants**. New York: Columbia University Press. 1981. 126p.

DINARDO-MIRANDA, L. L. & FRACASSO, J. V. Spatial distribution of plant-parasitic nematodes in sugarcane fields. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, p. 188-194, 2009.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; FRACASSO, J. V. Efeito da Torta de Mamona sobre Populações de Nematoides Fitoparasitos e a Produtividade da Cana-de-açúcar. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 34, p. 68-71, 2010.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; FRACASSO, J. V.; COSTA, V. P. Influência da Época de Aplicação de Nematicidas em Soqueiras Colhidas em Início de Safra sobre as

- Populações de Nematoides e a Produtividade da Cana-de-açúcar. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 34, p. 106-117, 2010.
- DIOLA, V.; SANTOS, F. Fisiologia. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. (Eds.). **Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e álcool – tecnologia e perspectivas**. 2 ed. Viçosa: Editora UFV, 2010, p. 25-49.
- 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, p. 31-37, 2010.
- FAUCONIER, R.; BASSEREAU, D. (Eds.) **La caña de azúcar: Técnicas agrícolas y producciones tropicale**. Barcelona: Blume, 1975. 433 p.
- GHANNOUM, O. C4 photosynthesis and water stress. **Annals of Botany**, v. 103, p. 635-644, 2009.
- GUIMARÃES, E. R.; MUTTON, M. A.; MUTTON, M. J. R.; FERRO, M. I. T.; RAVANELI, G. C. SILVA, J. A. Free proline accumulation in sugarcane under water restriction and spittlebug infestation. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, p. 628-633, 2008.
- GUO, J.; YANGA, Y.; WANGA, G., YANGA, L., SUNA, X. Ecophysiological responses of *Abies fabri* seedlings to drought stress and nitrogen supply. **Physiologia Plantarum**, v.139, p. 335-347, 2010.
- HEMAPRABHA, G.; NAGARAJAN, R.; ALARMELU, S. Response of sugarcane genotypes to water stress. Short communication, Society for Sugar Research & Promotion. **Sugar Tech**, v. 6, p. 165-168, 2004.
- HENDRY, G. A. F; PRICE, A. H. Stress indicators: chlorophylls and carotenoids. In: HENDRY, G. A. F.; GRIME, J. P. (Eds.) **Methods in comparative plant ecology**. London: Chapman & Hall, 1993. p. 148-152.

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

JUNQUEIRA, E. D. **A cana-de-açúcar, origem e influência**. São paulo: ProCana, 2006. Disponível em: <http://www.jornalcana.com.br/Conteudo/HistoriadoSetor.asp>>. Acesso em: 25. jan 2011.

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

LANDELL, M. G. A.; XAVIER, M. A.; ANJOS, I. A.; VASCONCELOS, A. C. M.; PINTO, L. R.; CRESTE, S. Potencialidade de novas variedades de cana-de-açúcar. In: MARQUES, M. O.; MUTTON, M. A.; AZANIA, A. A. P. M.; TASSO JUNIOR, L. C.; NOGUEIRA, G. A.; VALE, Q. W. (Eds.). **Tópicos em Tecnologia Sucroalcooleira**. 1 ed. Jaboticabal: Gráfica Multipress Ltda., 2006, v. 1, p. 17-30.

LARCHER, W. (Ed.) **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: RiMa, 2006. 531 p.

LECHINOSKI, A.; FREITAS, J. M. N.; CASTRO, D. S.; LOBATO, A. K. S.; OLIVEIRA NETO, C. F.; CUNHA, R. L. M. Influência do estresse hídrico nos teores de proteínas e aminoácidos solúveis totais em folhas de Teca (*Tectona grandis* L. f.). **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, p. 927-929, 2007.

LI, D.; LI, C.; SUN, H.; WANG, W.; LIU, L.; ZHANG, Y. Effects of drought on soluble protein content and protective enzyme system in cotton leaves. **Frontiers of Agriculture in China**, v. 4, p. 56-62, 2010.

LISSON, S. N.; INMAN-BAMBER, N. G.; ROBERTSON, M. J.; KEATING, B. A. The historical and future contribution of crop physiology and modelling research to sugarcane production systems. **Field Crops Research**, v. 92, p. 321-335, 2005.

LUCCHESI, A. A. Cana-de-açúcar. In: CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A. (Eds.). **Ecofisiologia de culturas extrativas: Cana-de-açúcar, seringueira, coqueiro, dendezeiro e oliveira**. Piracicaba: Cosmópolis Stoller do Brasil, 2001. v. 1, p. 13-45.

MAHAJAN, S.; TUTEJA, N. Cold, salinity and drought stresses: An overview
Archives of Biochemistry and Biophysics, v. 444, p. 139-158, 2005.

MARANHÃO, S. R. V. L. **Comunidade, dinâmica populacional e variabilidade espacial de nematóides em áreas de cultivo da cana-de-açúcar sob diferentes condições edafoclimáticas**. 2008, 126 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2008.

MARQUES, M. O; MARQUES, T. A.; TASSO JÚNIOR, L. C. 2001. (Eds.).
Tecnologia do açúcar: produção e industrialização da cana-de-açúcar. Jaboticabal: FUNEP, 2001. 166 p.

MARTINS, J. D.; CARLESSO, R.; KNIES, A. E.; OLIVEIRA, Z. B.; BROETTO, T.; RODRIGUES, G. J. Potencial hídrico foliar em milho submetido ao déficit hídrico.
Irriga, Botucatu, v.15, p. 324-334, 2010.

MATSUOKA, S.; GARCIA, A. A. F.; ARIZONO, H. 1999. Melhoramento da cana-de-açúcar. In: BOREN, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2 ed. Viçosa: UFV, 1999. p. 205-251.

MENDES, R. M. S.; TÁVORA, F. J. A. F.; PITOMBEIRA, J. B.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Relações fonte-dreno em feijão-de-corda submetido à deficiência hídrica. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 38, p. 95-103, 2007.

MOZAMBANI, A. E.; PINTO, A. S.; SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M. História e Morfologia da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. (Eds.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. p. 11-18.

NOBEL, P. S. *Physicochemical and environmental plant physiology*. 4 ed. San Diego: CA Academic Press. 2009. 582p.

- NOGUEIRA, R. J. M. C. & SANTOS, R. C. Alterações fisiológicas no amendoim submetido ao estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, p. 41-45, 2000.
- NOGUEIRA, R. J. M. C.; MORAES, J. A. P. V.; BURITY, H. A.; BEZERRA NETO, E. Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas à déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Lavras, v. 13, p. 75-87, 2001.
- NOGUEIRA, R. J. M. C.; SILVA, E. C. Comportamento estomático em plantas jovens de *Schinopsis brasiliensis* Engl. cultivadas sob estresse hídrico. **Iheringia**, Série Botânica, Porto Alegre, v.57, p. 31-38, 2002.
- PIMENTEL, C. (Ed.). **A relação da planta com a água**. Seropédica: Edur, 2004. 191p.
- QUEIROZ, R. J. B.; SANTOS, D. M. M.; CARLIN, S. D.; BANZATTO, D. A. Osmoprotetores em cana-de-açúcar sob efeito da disponibilidade hídrica no solo. **Científica**, Jaboticabal, v. 36, p. 107-115, 2008.
- QUEZADA, R. A. P.; ONTIVEROS, J. L. R.; HERNANDEZ, V. A. G. Transpiración, potencial hídrico y prolina em zarzamora bajo déficit hídrico. **TERRA Latinoamericana**, v. 17, p. 125-130, 1999.
- RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. 285 p.
- RITZINGER, C. H. S. P.; FANCELLI, M. Manejo integrado de nematóides na cultura da bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, p. 331-338, 2006.
- RODRIGUES, J. D. (Ed.). **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu. 1995. 101 p.
- SALES, A.; LIMA, S. A. Use of Brazilian sugarcane bagasse ash in concrete as sand replacement. **Waste Management**, v. 30, p. 1114-1122, 2010.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H.; SILVA, V. M.; ALVES, G. D. Capacidade de suprimento de nitrogênio e resposta à fertilização de vinte solos de Pernambuco.

Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 19, p. 269-279, 1995.

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

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. (Eds.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. p.19-36

SEVERINO, J. J.; DIAS-ARIEIRA, C. R.; TESSMANN, D. J.; SOUTO, E. R. Identificação de populações de *Meloidogyne* spp. Parasitas de cana-de-açúcar na região Noroeste do Paraná pelo fenótipo da Isoenzima esterase. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 32, p. 206-211, 2008.

SHOKO, M. D.; ZHOU, M. Nematode diversity in a soybean-sugarcane production system in a semi-arid region of Zimbabwe. **Journal of Entomology and Nematology**, v. 1, p. 25–28, 2009.

SILVA JÚNIOR, L. D. (Ed.). **Estágio de desenvolvimento exigências da cultura cana-de-açúcar**. Viçosa: UFV, 2001. 21 p.

SILVA, E. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; AZEVEDO NETO, A. D.; BRITO, J. Z. CABRAL, E. L. Aspectos ecofisiológicos de dez espécies em uma área de caatinga no município de Cabaceiras, Paraíba, Brasil. **Iheringia**, Série Botânica, Porto Alegre, v. 59, p. 201-205, 2004.

SILVA, G. S.; FREIRE FILHO, F. R.; PEREIRA, A. L.; SILVA, C. L. P. Reação de genótipos de Feijão Caupi a *Meloidogyne incognita* raça 1. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 31, p. 1-3, 2007.

- SILVA, M. A.; SILVA, J. A. G.; ENCISO, J.; SHARMA, V.; JIFON, J. Yield components as indicators of drought tolerance of sugarcane. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, p. 620-627, 2008.
- SILVA, S.; SOARES, A. M.; OLIVEIRA, L. E. M.; MAGALHÃES, P. C. Respostas fisiológicas de gramíneas promissoras para revegetação ciliar de reservatórios hidrelétricos, submetidas à deficiência hídrica. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 25, p. 124-133, 2001.
- SMIT, M. A.; SINGELS, A.. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research**, v. 98, p. 91-97, 2006
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. (Eds). **Fisiologia vegetal**. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.
- TEARE, I. D.; PEET, M. M. **Crop-water relations**. John Wiley & Sons Publ., New York, 1983. 547 p.
- TENENTE, R. C. V.; FONSECA, M. B.; SOUSA-VILARDI, A. I. M.; SILVA, S. O.; SILVA NETO, S. P.; SILVA, E. G.; CARRIJO, O. A.; ARAYA, M. Reaction of diferente banana (*Musa* spp.) cultivars to *Meloidogyne incognita* races 1 and 4. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 32, p. 285-293, 2008.
- WANG, W.; VINOCUR, B.; ALTMAN, A. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. **Planta**, v. 218, p. 1-14, 2003.
- WOOD, A. J. Eco-physiological adaptations to limited water environments. In: JENKS, M. A. & HASEGAWA, P. M. (Eds.). **Plant Abiotic Stress**. 1 ed Blackwell Publishing Ltda. 2005. P. 1-13.

CAPÍTULO II

Crescimento de três variedades de cana-de-açúcar submetidas a estresse hídrico associado à nematoide de galhas

Crescimento de três variedades de cana-de-açúcar submetidas a estresse hídrico associado à nematoide de galhas

Hugo Rafael Bentzen Santos, Elvira Maria Regis Pedrosa, Rejane Jurema Mansur Custódio Nogueira, Mario Monteiro Rolim, Sandra Roberta Vaz Lira Maranhão, David Barbosa Medeiros

Resumo: O objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito da deficiência hídrica no crescimento de variedades de cana-de-açúcar e implicações do parasitismo de *M. incognita* na resposta das plantas. Plântulas de cana-de-açúcar foram inoculadas com 30.000 ovos de *M. incognita* e após cinco dias da inoculação, foi realizada a diferenciação dos tratamentos hídricos, dispostos em delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 3 (variedades RB72454, RB867515 e RB92579) × 2 (tratamentos hídricos 100% CP e 40% CP) × 2 (níveis de infestação com e sem nematoide), realizando-se as avaliações 42 dias após a diferenciação (DAD). A supressão hídrica, além de influenciar no número de folhas e altura das plantas, também afetou o diâmetro do colmo, a partir de 14 DAD, sendo esta última variável a que apresentou menor variação entre as variedades. RB92579 apresentou maior número de perfilhos, diferindo das demais a partir de 14 DAD. A 40% CP, todas as variedades tiveram desempenho reduzido na produção de matéria seca de raiz, independente da presença do nematoide. Não houve diferença na alocação de biomassa da parte aérea entre as plantas cultivadas sem ou com nematoides a 100% CP, no entanto, a 40% CP as plantas com nematoides tiveram redução de 4,86% na alocação de biomassa para a parte aérea. Dentre as variedades, RB867515 destacou-se por apresentar razão raiz/parte aérea maior que 50% no tratamento de 100% CP em relação ao de 40% CP. A reprodução de *M. incognita* foi significativamente maior a 100% CP do que a 40% CP. As plantas inoculadas com *M. incognita* tiveram rendimento no tratamento de déficit hídrico 25% menor em relação tratamento de 100% CP e uma redução de 26% no tratamento de 40% CP quando comparada às plantas não inoculadas.

Palavras chave: biomassa, nematoide das galhas, *Saccharum*, supressão hídrica

Growth of three varieties of sugarcane under water stress associated with root-knot nematodes

Abstract: The objective of the present study was to evaluate the effect of hydric deficiency on growth of sugarcane varieties and implications of *Meloidogyne incognita* parasitism on plant response. Sugarcane seedlings were inoculated with 30,000 eggs of *M. incognita* and five days after inoculation, treatments were differentiated in completely randomized design in a 3 (sugarcane varieties RB72454, RB867515 e RB92579) × 2 (hydric treatment 100% CP and 40% CP) × 2 (inoculum level with and without nematode) factorial arrangement. Evaluations were carried out 42 days after differentiation (DAD). Hydric suppress, besides influence number of leaves and plant height, affected stalk diameter from 14 DAD, being the last one variable that presented lower variation among varieties. RB92579 presented higher number of stalk, differing from the others from 14 DAD. At 40% CP, all varieties had decreased development decreasing root dry matter production, independently of nematode presence. There was no difference in biomass allocation to shoots in parasite and no parasite plants at 100% CP. However, at 40% CP parasite plants decreased 4.86% biomass allocation to shoots. RB867515 stood out presenting root/shoot ratio higher than 50% at 100% CP than 40% CP. Reproduction of *M. incognita* was significantly higher at 100% CP. inoculated plants had 25% lower development under hydric deficit than at 100% CP as well a 26% reduction under 40% CP when compared to non-inoculated ones.

Key-words: biomass, root-knot nematode, *Saccharum*, hydric suppression

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma cultura tropical que produz grande quantidade de biomassa e para isso requer um bom suprimento de água para alcançar rendimento máximo. Segundo Gascho (1985) e Ramesh (2000), o bom suprimento de água deve ser fornecido durante a fase inicial de desenvolvimento, que compreende as fases de emergência, perfilhamento e estabelecimento da cultura, devido à alta demanda hídrica que estas fases requerem. No Nordeste brasileiro, contudo, nem sempre esse suprimento hídrico é adequado, devido à irregular pluviosidade e longos períodos de estiagem.

A baixa disponibilidade hídrica, isolada ou associada a outros fatores abióticos ou bióticos, em particular o ataque de nematoides, causa impactos significativamente negativos ao crescimento, produção e qualidade da cultura. Dentre os nematoides que parasitam a cana-de-açúcar, as espécies *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) Chitwood e *M. javanica* (Treub) Chitwood são os principais fatores limitantes da produção.

O estresse promovido na cana-de-açúcar por nematoides resulta em redução de crescimento da planta, provocado pela diminuição no alongamento celular, devido à menor quantidade de água nos tecidos e menor assimilação de água e nutrientes pelas raízes. Além disso, promove redução da altura da planta, restrição ao surgimento de novas folhas e senescência foliar, queda no número de perfilhos, colmos mal conformados, murcha temporária durante períodos quentes do dia, além de influenciar no acúmulo de matéria seca (Melakeberhan et al., 1986; Hemaprabha et al., 2004).

O entendimento de como a cultura responde a fatores abióticos e bióticos é fundamental para a escolha de variedades e práticas agrícolas eficientes em sistemas de manejo sustentáveis. O objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito da deficiência hídrica no crescimento de variedades de cana-de-açúcar e implicações do parasitismo de *M. incognita* na resposta das plantas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Laboratório de Fitonematologia – Departamento de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), entre os meses de abril e junho de 2011. As plantas foram obtidas de rebolos das variedades de cana-de-açúcar RB72454, RB867515 e RB92579, provenientes da Estação Experimental de Cana-de-açúcar do Carpina, base fixa da UFRPE. Os nematoides foram coletados de raízes e solo de áreas cultivadas com cana-de-açúcar e as populações foram mantidas em condição de casa de vegetação, parasitando o tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mil.) cultivar Santa Cruz. A determinação específica do parasito foi feita com base no fenótipo das esterases (Carneiro & Almeida, 2001). O solo utilizado foi esterilizado, segundo metodologia descrita por Monteiro et al. (2009), em autoclave a temperatura de 120 °C a 1 atm de pressão durante 1 hora, sendo este procedimento repetido após 24h.

Rebolos de cana-de-açúcar foram postos para germinar em bandejas plásticas, contendo areia lavada e esterilizada. Após a emergência, as plantas foram selecionadas quanto à sanidade, altura e número de folhas e transferidas para vasos de polietileno contendo 6 kg de solo. Após o transplante, as plantas foram mantidas em aclimação por 15 dias sendo regadas diariamente. Durante esse período, os vasos ficaram na Capacidade de Pote (CP), determinada previamente pelo método gravimétrico, de acordo com Souza et al. (2000). Após os dez primeiros dias de aclimação, as plantas foram inoculadas com 30.000 ovos de *M. incognita*. Os ovos e juvenis usados para inóculo foram extraídos das raízes parasitadas, de acordo com a técnica descrita por Hussey & Barker (1973). Após cinco dias da inoculação, foi realizada a diferenciação dos tratamentos hídricos. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 (variedades RB72454, RB867515 e RB92579) × 2 (tratamentos hídricos controle [100% da CP] e estresse [40% da CP]) × 2 (níveis de infestação do nematoide com e sem nematoide), com cinco repetições para cada tratamento.

Para minimizar a perda de água no solo por evaporação, a superfície dos vasos foi coberta com circunferências de plástico branco. A manutenção dos tratamentos hídricos foi realizada através da pesagem diária dos vasos, e da reposição da água transpirada. Para esse procedimento foi utilizada uma balança da marca Filizola e modelo BP15 com capacidade para 15 kg. Avaliou-se semanalmente (7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias após diferenciação dos tratamentos hídricos) o número de folhas (NF) completamente expandidas e com 20% de área verde, a altura das plantas (AP) até a inserção da folha +1 com a utilização de uma fita métrica, o diâmetro do colmo (DC) com o auxílio de um paquímetro digital da marca DIGIMESS com precisão de 0,01mm e a contagem do número de perfilhos (NP).

Ao final do experimento, separou-se a parte aérea (folhas e colmo) de raízes, pesou-se, acondicionou-se em saco de papel e foram postos em estufa de circulação forçada de ar, em temperatura de 65°C até atingirem peso constante. Após este período, determinou-se o peso da matéria seca dos órgãos – matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSR) e matéria seca total (MST). Com base nos dados obtidos, foram calculadas a alocação da biomassa para parte aérea (ABPA), raiz (ABR) e a razão raiz/parte aérea (R/PA), conforme metodologia descrita por Benincasa (2003).

Para aferição da resposta das variedades de cana ao parasitismo do nematoide foi determinado o número de ovos por planta.

Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando aplicável, análise de medidas repetidas com o tempo, com o auxílio do software SAS – Statistical Analytical System (SAS Institute, 2009). Modelos de regressões lineares, quadráticos, cúbicos e logarítmicos foram usados, objetivando melhor descrição do comportamento dos dados em função do tempo. Quando necessário, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Para análise estatística, os dados de matéria seca da raiz foram transformados em $\sqrt{X + 0,5}$; enquanto o número de ovos de *M. incognita* em $\log_{10}(X+1)$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se que o estresse hídrico influenciou o número de folhas produzidas pelas variedades de cana-de-açúcar estudadas, independente da presença de nematoide e das variedades. O modelo quadrático (Figura 1) foi o que melhor descreveu a relação do número de folhas em função do tempo para os dois suprimentos hídricos (40% CP e 100% CP), respectivamente: $Y = -0,03019x^2 + 0,61522x + 2,59184$ ($R^2 = 0,43$) e $Y = -0,07143x^2 + 1,23545x + 1,85185$ ($R^2 = 0,80$). As plantas com suprimento hídrico de 100% CP apresentaram maior número de folhas, diferindo estatisticamente das plantas com supressão hídrica (40% CP), na segunda avaliação 14 dias após de diferenciação (DAD) dos tratamentos. As plantas sob 40% CP tiveram redução final no número de folhas em torno de 21%. Apesar da supressão hídrica, em nenhum momento, as plantas deixaram de produzir folhas novas, apenas diminuíram sua intensidade de produção além do tamanho e largura das folhas.

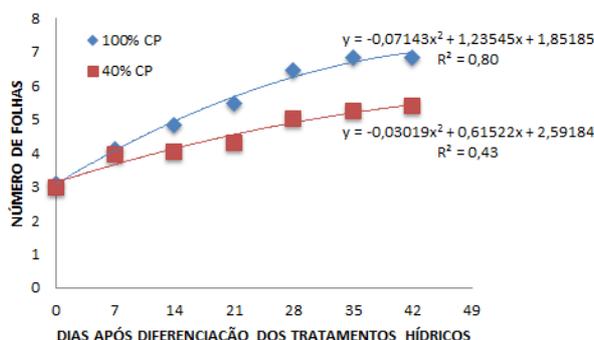


Figura 1. Número de folhas em função do tempo em variedades de cana-de-açúcar submetidas a dois tratamentos hídricos

A redução do número de folhas em plantas sob estresse hídrico pode se traduzir numa estratégia de sobrevivência, com o intuito de diminuir a área disponível à

transpiração e o gasto metabólico para a manutenção da turgescência dos tecidos (Kozlowski, 1976; Inman-Bamber & Smith, 2005). Além disso, é por intermédio desta variável que se pode verificar a eficiência fotossintética da planta frente aos estresses propostos.

Pincelli (2010) estudando o crescimento de quatro variedades de cana-de-açúcar sob deficiência hídrica encontrou reduções no número de folhas quando as variedades foram submetidas a 50% CC. Similarmente, Figueirôa et al. (2004) mostraram redução de 29% no número de folhas para o tratamento de maior restrição hídrica quando plantas de aroeira foram submetidas a 60 dias de estresse. Ao analisar o efeito da suspensão de rega na espécie *Arachis hypogaea* L., Correia & Nogueira (2004) também verificaram redução significativa no número de folhas para as plantas sob estresse hídrico, redução esta que chegou a mais de 60% ao final do período de 35 dias.

A altura das plantas das variedades de cana-de-açúcar sofreu influência direta dos tratamentos hídricos propostos, promovendo diferença significativa. Os modelos que melhor descreveram as variações na altura das variedades em função do tempo foram: $Y = 2,9641x + 12,492$ ($R^2 = 0,63$) para a variedade RB72454; $Y = 3,4483x + 14,1624$ ($R^2 = 0,60$) para a variedade RB867515 e $Y = 3,9338x + 11,8171$ ($R^2 = 0,72$) para a variedade RB92579 (Figura 2). Aos 7 DAD, a variedade RB72454 mostrou crescimento mais lento, suplantado pela variedade RB867515, em aproximadamente 14%, e altura de 18,54 cm, porém, não diferindo da RB92579 (Figura 2A). A partir da terceira avaliação, 21 DAD, a variedade RB72454, apresentou crescimento inferior em relação às outras variedades estudadas, permanecendo assim até a última avaliação. Aos 42 dias a variedade RB867515, quando comparada com a RB72454, apresentou aumento da ordem de 16% e altura de 38,38 cm. A variedade RB92579 se apresentou 18% superior e altura de 39,09 cm. Em nenhum dia de avaliação as variedades RB867515 e RB92579 apresentaram diferenças significativas entre si.

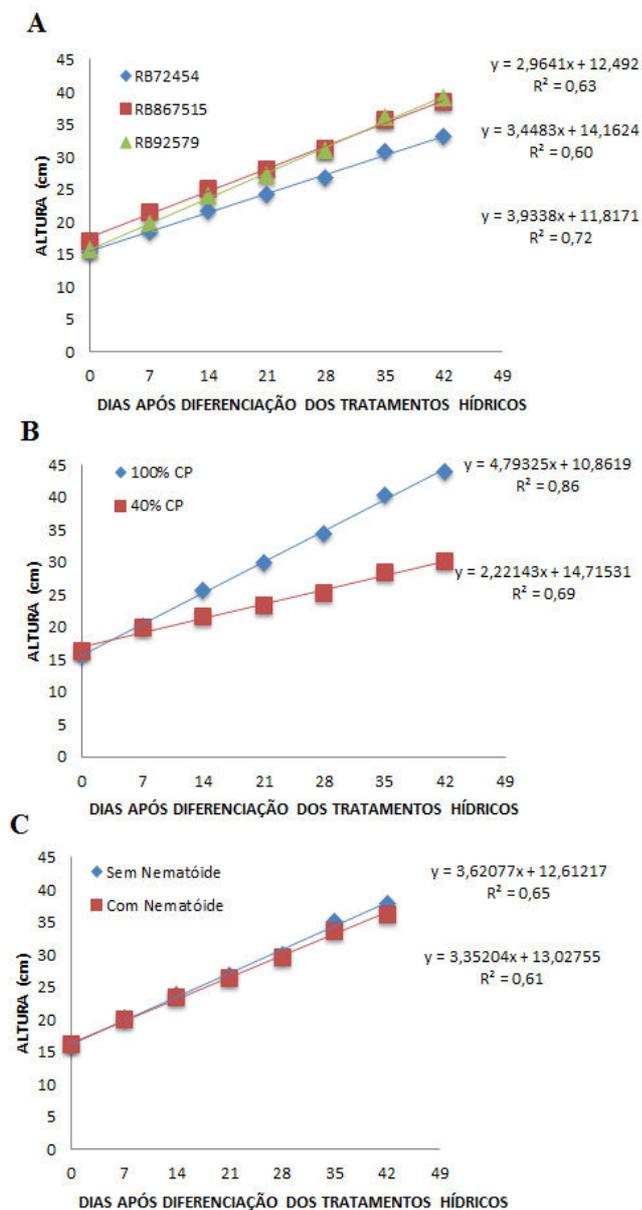


Figura 2. Altura da planta relacionada ao tempo em variedades (A), suprimento hídrico (B) e infestação de nematoide (C) em plantas de cana-de-açúcar submetidas a dois tratamentos hídricos e dois níveis de infestação por *Meloidogyne incognita*.

A variação na altura das plantas em função do tratamento hídrico (40% CP e 100% CP) foi descrita pelo modelo linear: $Y = 2,22143x + 14,71531$ ($R^2 = 0,69$) e $Y = 4,79325x + 10,8619$ ($R^2 = 0,86$), respectivamente (Figura 2B). As plantas sob supressão hídrica tiveram desenvolvimento reduzido, apresentando altura média de 30,16 cm ao final do período experimental, com redução de 31,5%, em relação ao tratamento de 100% CP, que apresentou altura de média de 44,03 cm (Figura 2B).

Em relação ao nematoide, os modelos lineares: $Y = 3,35204x + 13,02755$ ($R^2 = 0,61$) para plantas inoculadas e $Y = 3,62077x + 12,61217$ ($R^2 = 0,65$) para plantas não

inoculadas (Figura 2C) foram os que melhor descreveram as variações na altura das plantas. As plantas inoculadas com *M. incognita* não mostraram diferenças significativas das não inoculadas. Esses resultados podem estar associados a condições ambientais desfavoráveis e ao período de exposição do hospedeiro ao nematoide, que pode não ter sido suficiente para a completa multiplicação desse parasito.

Avaliações biométricas, a exemplo da altura, são importantes em pesquisas com disponibilidade hídrica e é apontada como um dos principais sintomas do estresse hídrico, pois o crescimento em altura continua até a ocorrência de alguma limitação no suprimento de água (Rodrigues, 1995). Porém esse crescimento pode ser diferencial entre variedades e representar graus de tolerância entre as mesmas (Silva & Costa, 2004; Silva et al., 2008).

Pesquisas mostram que as variedades de cana-de-açúcar quando submetidas à deficiência hídrica apresentam redução em altura. Essas reduções chegaram a 30% no trabalho realizado por Arias et al. (1996) entre os tratamentos controle (80% CC) e estresse (20% CC), e a quase 40% em estudo realizado por Gonçalves (2008) em quatro variedades. De maneira semelhante Pincelli (2010) encontrou reduções significativas em altura nas variedades de cana-de-açúcar estudadas por ela, corroborando os resultados obtidos nesta pesquisa.

Mesmo não sendo possível detectar influência do nematoide no presente estudo, vários pesquisadores relataram decréscimo em altura quando a planta é infectada. Por exemplo, Bond et al. (2004) observaram redução nos parâmetros de crescimento em cana-de-açúcar submetida a densidades crescentes de *M. incognita*, em casa de vegetação. Da mesma forma, estudando o crescimento das espécies medicinais *Ocimum kilimandscharicum* e *Hyoscyamus niger*, Haseeb et al. (1990; 1998) verificaram diminuição na parte aérea das plantas mais infectadas com maiores densidades populacionais de *M. incognita*. Entretanto, nem sempre a associação planta-nematoide é negativa para a planta. McDonald & Van den Berg (1993) observaram incremento de 6,2% na altura de plantas de sorgo parasitadas por *Pratylenchus brachyurus*. De maneira semelhante, Salawu (1992), estudando o comportamento de cana-de-açúcar, não encontrou diferença significativa entre as plantas controle e parasitadas por *M. incognita*.

O modelo quadrático foi o que melhor descreveu o diâmetro do colmo das variedades em função do tempo, respectivamente: $Y = 0,09095x^2 + 0,20984x + 5,82554$ ($R^2 = 0,55$) para RB72454, $Y = 0,08568x^2 + 0,40523x + 5,83143$ ($R^2 = 0,48$) para

RB867515 e $Y = 0,10195x^2 + 0,26545x + 5,45914$ ($R^2 = 0,60$) para RB92579 (Figura 3A). Esses resultados indicam que 35 DAD a variedade RB72454 apresentou diâmetro menor que 12,7 e 5,33% em relação às variedades RB867515 e RB92579, respectivamente (Figura 3A). As variedades mostraram incremento no crescimento ao longo do tempo de 94% para RB72454, 102% para RB867515 e 111% para RB92579.

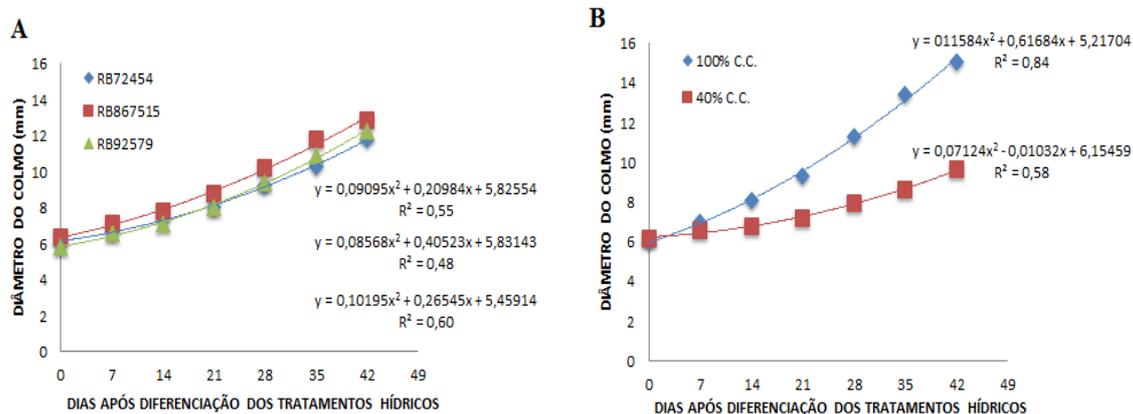


Figura 3. Diâmetro do colmo relacionado ao longo do tempo em variedades (A) e suprimento hídrico (B) em plantas de cana-de-açúcar submetidas a dois tratamentos hídricos.

O comportamento do diâmetro do colmo, em relação ao suprimento hídrico em função do tempo foi expresso pelo modelo quadrático, de acordo com as equações: $Y = 0,07124x^2 - 0,01032x + 6,15459$ ($R^2 = 0,58$) submetidos a 40% CP e $Y = 0,11584x^2 + 0,61684x + 5,21704$ ($R^2 = 0,84$) submetidos ao suprimento hídrico normal (100% CP) (Figura 3B).

A supressão hídrica, além de influenciar no número de folhas e altura, também afetou o diâmetro do colmo, a partir da segunda semana, 14 DAD. Os resultados indicam que o diâmetro do colmo submetido a 40% CP, apresentou redução de 35%, em relação ao suprimento hídrico normal (100% CP) (Figura 3B). Ao longo do tempo, as plantas apresentaram incremento no diâmetro de 1,8 x e 0,86 x, em 100 e 40% CP, respectivamente. Mediante os resultados, o diâmetro do colmo sofreu influência direta da supressão hídrica, indicando que em função da ausência de água, as células não se expandiram, dificultando a conformação do colmo.

Dentre as variáveis biométricas analisadas, o diâmetro do colmo foi a que apresentou menor variação entre as variedades, já que depende diretamente das características genéticas intrínsecas das mesmas. Silva (2010), ao analisar seis variedades/clones de cana-de-açúcar submetidas a diferentes regimes hídricos, relatou redução do diâmetro maior que 10% no tratamento mais severo.

Diferentemente das outras medidas biométricas, verificou-se interação tripla (tempo \times estresse \times variedades) em relação ao número de perfilhos. A Figura 4A apresenta a interação tempo \times variedade sob estresse 100% CP, descrita pelas equações: $Y = -0,03452x^2 + 0,72976x - 0,78571$ ($R^2 = 0,68$), para a variedade RB867515 e $Y = 0,03968x^2 - 0,07937x + 0,01587$ ($R^2 = 0,23$), para a variedade RB92579. Nenhum dos modelos usados descreveu adequadamente o comportamento da variedade RB72454 ao longo do tempo, motivo pelo qual não foram observadas diferenças significativas entre as variedades estudadas. A variedade RB92579 apresentou maior número de perfilhos, diferindo das demais a partir da segunda avaliação aos 14 dias após diferenciação (14 DAD). No final do experimento, foi observado perfilhamento superior 87,5% em relação a RB867515, apresentando média de 1,33 de perfilhos (Figura 4A).

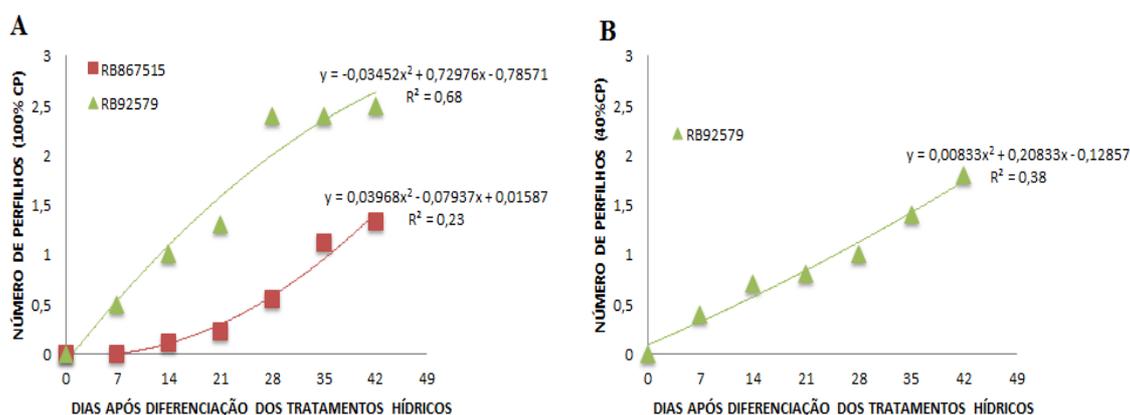


Figura 4. Número de perfilhos relacionado ao longo do tempo em variedades de cana-de-açúcar submetidas a tratamento hídrico de 100% (A) e 40% (B) da capacidade de pote - CP.

A Figura 4B mostra a variedade RB92579 submetida ao tratamento hídrico de 40% CP, apresentando dados significativos e ajustados ao modelo de regressão quadrática, expresso pela equação $y = 0,00833x^2 + 0,20833x - 0,12857$ ($R^2 = 0,38$). A variedade RB92579 diferiu estatisticamente das demais a partir de 14 dias após a diferenciação (14 DAD), momento em que apresentou maior perfilhamento, com cerca de 17x em relação às outras variedades estudadas. Nenhum dos modelos usados descreveu adequadamente o número de perfilhos das variedades RB867515 e RB72454 ao longo do tempo.

A habilidade de perfilhar juntamente com a capacidade de crescimento a posteriori pode vir a determinar a eficiência de produção de uma determinada variedade, além de contribuir como fonte de armazenamento de nutrientes que poderão ser

alocados quando submetidos a determinados fatores de estresse. Fato mostrado pela RB92579 que tem um alto poder de perfilhamento mesmo sobre deficiência hídrica.

Para MSPA foi verificada interações dos níveis de água propostos com as variedades e com a presença e/ou ausência de nematoides. Na Tabela 1A, as variedades RB867515 e RB92579 quando submetidas a 100% CP apresentaram resultados semelhantes, contudo ambas diferiram estatisticamente da RB72454 que se mostrou 33% menor na produção de matéria seca de sua parte aérea. Quando submetidas a 40% CP não ocorreu diferença entre as três variedades. Analisando cada variedade de forma isolada, verifica-se reduções a partir de 40% CP. Reduções de 57,70% para a RB72454, 57,80% para a RB867515 e de 62,10% para a RB92579 foram detectadas quando comparadas com tratamento com 100% CP.

Tabela 1. Produção de matéria seca da parte aérea – MSPA (A) e total - MST (B) (g) de três variedades de cana-de-açúcar submetidas a dois tratamentos hídricos. Médias seguidas por letras iguais, minúsculas entre variedades e maiúsculas entre tratamentos, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Variedades	Tratamentos Hídricos	
	100% CP	40% CP
A) MSPA		
RB72454	15,75 bA	6,67 aB
RB867515	24,16 aA	10,20 aB
RB92579	22,89 aA	8,67 aB
CV = 16,68		
B) MST		
RB72454	19,01 bA	8,66 aB
RB867515	31,38 aA	12,20 aB
RB92579	30,28 aA	11,21 aB
CV = 18,21		

Embora tenha ocorrido interação significativa entre tratamento hídrico e nematoide quanto à produção de matéria seca da parte aérea, houve redução significativa na produção de matéria seca da parte aérea das plantas submetidas a 40% CP, parasitadas ou não pelo nematoide (Tabela 2). Plantas cultivadas a 40% CP sem nematoides tiveram uma redução de 53,30% na sua produção, enquanto que, as cultivadas com nematoides apresentaram redução de 64,70%, quando comparado com 100% CP.

Tabela 2. Produção de matéria seca da parte aérea (g) de plantas de cana-de-açúcar submetidas a dois tratamentos hídricos e presença de *Meloidogyne incognita*. Médias seguidas por letras iguais, minúsculas entre nematoide e maiúsculas entre tratamentos hídricos, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

<i>M. incognita</i>	Tratamentos Hídricos	
	100% CP	40% CP
Sem Nematoide	19,72 aA	9,21 aB
Com Nematoide	22,14 aA	7,81 aB

CV = 16,68

As três variáveis analisadas interagiram significativamente em relação à matéria seca da raiz (Tabela 3). No tratamento de 100% CP sem nematoide a RB867515 apresentou o maior volume de raiz, sendo este aumento 87,90% superior em relação a RB72454 que mostrou a menor produção (3,64 g). No mesmo tratamento hídrico com nematoide, as variedades RB867515 e RB92579 não diferiram entre si, mas mostraram uma produção 1,5x maior em relação a RB72454 (2,89 g). A 40% CP não foi verificada diferença estatística entre as variedades nem quanto à presença do nematoide. A 40% CP, todas as variedades tiveram desempenho reduzido na produção de matéria seca de raiz, independente da presença do nematoide.

Tabela 3. Produção de matéria seca da raiz (g) em plantas de cana-de-açúcar submetidas a dois tratamentos hídricos e presença de *Meloidogyne incognita*. Médias seguidas por letras iguais, minúsculas entre variedades e maiúsculas entre tratamentos, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Variedades	Tratamentos			
	100% CP		40% CP	
	SN	CN	SN	CN
RB72454	3,64 bA	2,89 bA	1,14 aB	2,28 aAB
RB867515	6,84 aA	7,60 aA	2,02 aB	1,80 aB
RB92579	5,73 abA	6,92 aA	2,18 aB	1,84 aB

CV = 11,43

Após os 42 dias de diferenciação do experimento, a matéria seca total foi afetada pelo tratamento hídrico e variedades. RB72454 submetida a 100% CP teve menor quantidade de matéria seca total produzida (19,01 g) em relação a RB867515 e RB92579, sendo as duas últimas superiores 65,07% e 59,28%, respectivamente (Tabela 1B). A 40% CP não houve diferença entre as variedades. RB72454, RB867515 e RB92579 quando submetidas a 40% CP apresentaram decréscimo na produção de matéria seca na ordem de 54, 61 e 63% respectivamente quando comparadas ao tratamento de 100% CP.

Redução na matéria seca em diferentes partes da planta da cana-de-açúcar também foi verificada por Nogueira et al. (2008) estudando duas variedades sob três regimes hídricos. As reduções alcançaram 48% da matéria seca total da variedade RB72454. Zhao et al. (2010) relataram diminuição de 42% do crescimento de cana-de-açúcar, em campo, quando submetidas a estresse, corroborando os dados da presente pesquisa. O estresse hídrico afeta a força da fonte e do dreno por seus efeitos na fotossíntese, crescimento, translocação e no metabolismo geral, acarretando na grande maioria das vezes reduções no crescimento como um todo.

Seguindo a tendência da matéria seca parte aérea, as variedades submetidas ao tratamento de 40% CP não diferiram estatisticamente entre si para a alocação de biomassa da parte aérea, no qual as variedades apresentaram alocação de 79,65%; 83,59% e 82,38% respectivamente para RB72454, RB867515 e RB92579 (Tabela 4A). Com relação à comparação entre variedades no tratamento de 100% CP a variedade RB72454, que tinha sido a menos eficiente na produção da MSPA, obteve 82,87% de toda sua biomassa alocada para a parte aérea, enquanto a RB867515 apresentou uma redução de 6% quando comparada com a RB72454.

Tabela 4. Alocação (%) de biomassa para parte aérea – ABPA (A), para raiz – ABR (B) e razão raiz parte aérea – R/PA (C) de três variedades de cana-de-açúcar submetidas a dois tratamentos hídricos. Médias seguidas por letras iguais, minúsculas entre variedades e maiúsculas entre tratamentos, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Variedades	Tratamentos Hídricos	
	100% CP	40% CP
A) ABPA		
RB72454	82,87 aA	79,65 aA
RB867515	77,62 bB	83,59 aA
RB92579	78,58 abA	82,38 aA
CV = 4,15		
B) ABR		
RB72454	17,13 bA	20,35 aA
RB867515	22,37 aA	16,41 aB
RB92579	21,42 abA	17,62 aA
CV = 17,46		
C) R/PA		
RB72454	0,21 bA	0,26 aA
RB867515	0,30 aA	0,20 aB
RB92579	0,27 abA	0,22 aA
CV = 21,41		

Na quantificação da alocação de biomassa da parte aérea houve interação entre estresse hídrico e nematoides, conforme Tabela 5A. Não houve diferença entre as plantas cultivadas sem ou com nematoides no tratamento de 100% CP, no entanto, a 40% CP as plantas cultivadas com nematoides tiveram redução de 4,86% na alocação de biomassa para a parte aérea, quando comparadas as plantas cultivadas sem nematoides.

Tabela 5. Alocação (%) de biomassa para parte aérea – ABPA (A), para raiz – ABR (B) e razão raiz/parte aérea – R/PA (C) de plantas de cana-de-açúcar submetidas a dois tratamentos hídricos e presença de *Meloidogyne incognita*. Médias seguidas por letras iguais, minúsculas entre nematoide e maiúsculas entre tratamentos, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

<i>M. incognita</i>	Tratamentos Hídricos	
	100% CP	40% CP
A) ABPA		
Sem Nematóide	79,13 aB	83,91 aA
Com Nematóide	80,24 aA	79,83 bA
CV = 4,15		
B) ABR		
Sem Nematóide	20,86 aA	16,08 bB
Com Nematóide	19,76 aA	20,17 aA
CV = 17,46		
C) R/PA		
Sem Nematóide	0,27 aA	0,20 bB
Com Nematóide	0,25 aA	0,26 aA
CV = 21,41		

Analisando o fator biótico isoladamente, nas plantas cultivadas com nematoides foram observados resultados semelhantes para os dois tratamentos hídricos, no entanto, nas plantas cultivadas sem nematoides foi observado uma maior alocação da parte aérea para as submetidas a 40% CP, superior 5,11% em relação às submetidas a 100% CP.

A Tabela 4B mostra a interação entre variedades e tratamentos hídricos, em relação à alocação de biomassa da raiz. A 100% CP houve diferença entre as variedades RB867515 que obteve o maior valor para a alocação de biomassa da raiz (22,37%) e a RB72454 que apresentou uma alocação 23,42% menor. Diferentemente para o tratamento de 40% CP onde as variedades não diferiram entre si. A redução da

alocação de biomassa para RB867515 foi de 26,64% no tratamento de 40% CP, quando comparado ao de 100% CP.

Houve interação entre tratamento hídrico e nematoide na alocação de biomassa da raiz. A 40% CP as plantas não inoculadas diferiram das inoculadas, sendo esta última superior em 25% quando comparada as não inoculadas. Não houve diferença entre a alocação de biomassa da raiz dentro das plantas inoculadas nos tratamentos hídricos propostos. No entanto, nas plantas sem nematoide o déficit hídrico influenciou negativamente, promovendo redução de 22,91% (Tabela 5B).

A razão raiz/parte aérea demonstra o quanto a raiz cresceu em relação à parte aérea, favorecendo a planta alcançar e ter contato com uma maior área de água no solo. A 100% CP ocorreu diferença estatística entre RB867515 e RB72454, tendo a última apresentado redução de 30% em relação à primeira. Com a diminuição da disponibilidade hídrica para 40% CP não mais ocorreu diferença entre as variedades no tratamento (Tabela 4C). Dentre as variedades, RB867515 destacou-se por apresentar razão raiz/parte aérea maior que 50% no tratamento de 100% CP em relação ao de 40% CP (Tabela 4C).

As plantas não inoculadas com *M. incognita* tiveram rendimento no tratamento de déficit hídrico 25% menor em relação tratamento de 100% CP e uma redução de 26% no tratamento de 40% CP quando comparada as plantas inoculadas (Tabela 5C)

A reprodução de *M. incognita* foi significativamente maior a 100% CP do que a 40% CP (Tabela 6). A maior produção de ovos pelo nematoide deve estar associada a um suprimento hídrico satisfatório no solo favorecendo a locomoção e penetração do parasito e a um melhor desenvolvimento da planta favorecendo a formação do sitio de alimentação pelo nematoide. O baixo suprimento hídrico leva as raízes a desenvolverem camadas mais espessas e grossas, o que muitas vezes, dependendo da espécie vegetal, inoculado, dificulta a penetração do parasito. Segundo Lordello (1992), além da umidade, o ciclo biológico de *M. incognita* sofre influência da temperatura, solos mais quentes e solos sob déficit hídrico tendem a diminuir o ciclo reprodutivo do nematoide. No entanto, Kirkpatrick et al. (1991) constataram um número maior de ovos de *M. incognita* em raízes de plantas de algodão sob deficiência hídrica do que nas controle.

Tabela 6. Número de ovos por planta de cana-de-açúcar submetida a dois tratamentos hídricos na presença de *Meloidogyne incognita*. Médias seguidas por letras iguais maiúsculas entre tratamentos, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

<i>M. incognita</i>	Tratamentos Hídricos	
	100% CP	40% CP
Sem Nematóide	-	-
Com Nematóide	10066,67A	984,67B

CV = 58,14

CONCLUSÕES

O estresse hídrico reduziu o número de folhas, altura da planta, diâmetro do colmo, mas influenciou pouco no perfilhamento por ser uma característica intrínseca de cada variedade.

A produção de matéria seca da parte aérea, das raízes e total foi sensivelmente reduzida na associação do estresse hídrico juntamente com infestação por nematóide.

Na escassez hídrica a reprodução do *Meloidogyne incognita* sofreu redução no número de ovos encontrados nas raízes.

As variedades RB867515 e RB92579 mostraram ser mais capazes em tolerar a deficiência hídrica.

A variedade RB72454 foi a que apresentou as maiores perdas de produção quando submetidas à deficiência hídrica e ao ataque de nematoides.

LITERATURA CITADA

Arias, M. I. B.; Delgado, E. O.; Carmentare, R. V. Câmbios fisiológicos de la caña de azúcar ante el déficit hídrico. 1.ed. México: Universidad Autónoma Chapingo, 1996. 135p.

Benincasa, M. M. P. Análise de crescimento de plantas (noções básicas). 2 ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41p.

Bond, J. P.; McGawley E. C.; Hoy, J. W. The impact of nematodes on sugarcane cultivars. *Nematropica*, v.34, p. 235-243, 2004.

Carneiro, R. M. D. G.; Almeida, M. R. A. Técnica de eletroforese usada no estudo de enzima dos nematóides das galhas para identificação de espécies. *Nematologia Brasileira*, v.25, p. 35-44, 2001.

Correia, K. G.; Nogueira, R. J. M. C. Avaliação do crescimento do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) submetido a déficit hídrico. *Revista de Biologia e de Ciências da Terra*, v.4, p. 121-127, 2004

Figueirôa, J. M.; Barbosa, D. C. A.; Simabukuro, E. A. Crescimento de plantas jovens de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) sob diferentes regimes hídricos. *Acta Bot. Bras.*, v.18, p.573-580, 2004.

Gascho, G.J. Water sugarcane relationships. *Sugar Journal*, v.48, p. 11-17, 1985.

Gonçalves, E. D. Fotossíntese, osmorregulação e crescimento inicial de quatro variedades de cana-de-açúcar submetida à deficiência hídrica. Rio Largo: UFAL, 2008. 66p. Dissertação Mestrado.

Haseeb, A.; Butool, F.; Shukla, P. K. Relationship between initial inoculation density of *Meloidogyne incognita* and growth physiology and oil yield *Ocimum kilimandscharicum*. *Nematologia Mediterranea*, v.26, p.19-22, 1998.

Haseeb, A.; Srivastava, N. K.; Pandey, R. The influence of *Meloidogyne incognita* on growth, physiology, nutrient concentration and alkaloid yield of *Hyoscyamus nigeri*. *Nematologia Mediterranea*, v.8, p.127-129, 1990.

Hemaprabha, G; Nagarajan, R.; Alarmelu, S. Response of sugarcane genotypes to water déficit stress. *Sugar Tech*, v.6, p. 165-168, 2004.

Hussey, R. S.; Barker, K. R. A comparison of methods of collecting inocula of *Meloidogyne* spp., including a new technique. *Plant Disease Reporter*, v.57, p. 1025-1028, 1973.

Inman-Bamber, N. G.; Smith, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. *Field Crops Research*, v.92, p.185-202, 2005.

Kirkpatrick, T. L.; Oosterhuis, D. M.; Wullschlegel, S. D. Interaction of *Meloidogyne incognita* and water stress in two cotton cultivars. *Journal of Nematology*, v.23, p. 462-467, 1991.

Kozłowski, T. I. Water supply and leaf shedding. In: _____ Water deficits and plant growth. New York: CA Academic Press, p.191-222, 1976.

Lordello, L. G. E. Nematóides das plantas cultivadas. 8ed. São Paulo: Nobel, 1992. 315p.

McDonald, A. H.; Van den Berg, E. H. Effect of watering regimen on injury to corn and grain sorghum by *Pratylenchus* species. *Journal of Nematology*, v.25, p. 654-658, 1993.

Melakeberham, H.; Brooke, R.C.; Webster, J.M. Relationship between physiological response of French beans of different age to *Meloidogyne incognita* and subsequent yield losses. *Plant Pathology*, v.35, p. 203-213, 1986.

Monteiro, M. T. M.; Gomes, V. F. F.; Mendes Filho, P. F.; Guimarães, F. V. A. Absorção de nutrientes por mudas de pimentão micorrizado cultivado em substrato com pó de coco. *Revista Caatinga*, v.22, p. 95-101, 2009.

Nogueira, R. J. M. C.; Silva, E. C.; Silva, M. A.; Ribeiro, M. S.; Silva, N. V.; Teixeira, M. M.; Simões Neto, D. E. Produção de biomassa seca e teor de pigmentos fotossintéticos em duas variedades de cana-de-açúcar sob déficit hídrico. In: Congresso Nacional da STAB, 9, 2008, Anais... Maceió: Organização da Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros, 2008. p. 670-674.

Pincelli, R. P. Tolerância à deficiência hídrica em cultivares de cana-de-açúcar avaliada por meio de variáveis morfofisiológicas. Botucatu: UNESP, 2010. 78p. Dissertação Mestrado.

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*, v.185, p. 83-89, 2000.

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

Salawu, E. O. Effect of *Meloidogyne incognita* and *Heterodera sacchari* singly and combined on the growth of sugarcane. *Nematologia Mediterranea*, v.20, p. 187-188, 1992.

SAS - Institute Inc. *SAS/STAT 9.3 User's guide*. Cary, NC: SAS Institute Inc. 2009.

Silva, A. L. C.; Costa, W. A. J. M. Varietal variation in growth, physiology and yield of sugarcane under two contrasting water regimes. *Tropical Agricultural Research*, v.16, p. 1-12, 2004.

Silva, M. de A.; Silva, J. A. G. da; Enciso J.; Sharma V.; Jifon J. L.. Yield components as indicators of drought tolerance of sugarcane. *Scientia Agricola*. v.65, p. 620-627, 2008.

Silva, P. B. Aspectos fisiológicos de seis genótipos de cana-de-açúcar submetidos a estresse hídrico. Rio Largo: UFAL, 2010. 98p. Dissertação Mestrado.

Souza, C. C.; Oliveira, F. A.; Silva, I. F.; Amorim Neto, M. S. Avaliação de métodos de determinação de água disponível e manejo da irrigação em terra roxa sob cultivo de algodoeiro herbáceo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4, p. 338-342, 2000.

Zhao, D.; Glaz, B.; Comstock, J. C. Sugarcane Response to Water-Deficit Stress during Early Growth on Organic and Sand Soils. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, v.5, p. 403-414, 2010.

CAPÍTULO III

Relações hídricas e trocas gasosas em três variedades de cana-de-açúcar sob estresse hídrico associado à nematoide de galhas

Relações hídricas e trocas gasosas em três variedades de cana-de-açúcar sob estresse hídrico associado à nematoide de galhas

Hugo Rafael Bentzen Santos, Elvira Maria Regis Pedrosa, Rejane Jurema Mansur Custódio Nogueira, Mario Monteiro Rolim, Lílian Margarete Guimarães, Hugo Henrique Costa do Nascimento.

Resumo: O objetivo deste trabalho foi avaliar relações hídricas e as trocas gasosas em variedades de cana-de-açúcar submetidas ao parasitismo de nematoides e à deficiência hídrica de forma isolada ou conjunta. Plântulas de cana-de-açúcar foram inoculadas com 30.000 ovos de *M. incognita* e após cinco dias da inoculação, foi realizada a diferenciação dos tratamentos, dispostos em delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 3 (variedades RB72454, RB867515 e RB92579) × 2 (tratamentos hídricos 100% CP e 40% CP) × 2 (níveis de infestação com e sem nematoide), realizando-se as avaliações 45 dias após a diferenciação (DAD). Das três variedades, RB92579 foi a mais sensível a deficiência hídrica. O déficit hídrico influenciou a turgescência das folhas, sendo RB867515 a variedade que manteve melhor turgescência das folhas. RB92579 apresentou o potencial mais negativo a 100% CP. RB867515 foi a variedade que menos sofreu com a deficiência hídrica (40% CP). Reduções nas variáveis de trocas gasosas, condutância estomática (gs), transpiração (E) e fotossíntese (A) ao longo do período experimental foram observadas, assim como entre as variedades, tratamentos hídricos e os níveis de inoculação de nematoides. Com exceção da RB867515, todas as variedades apresentaram redução da condutância na presença do nematoide a 40% CP. Na ausência do nematoide, RB867515 alcançou os maiores valores de condutância estomática a 100% CP aos 45DAD. As variedades com nematoide sob 100% CP apresentaram reduções da condutância das plantas mais pronunciadas do que quando submetidas a 40% CP em relação às não inoculadas. A taxa de assimilação líquida de CO₂ foi fortemente afetada pela deficiência hídrica. Em plantas sem nematoide a 100% CP todas as variedades diferiram entre si, mas RB867515 teve maior fotossíntese. Aos 45 DAD, RB867515 apresentou as maiores taxas fotossintéticas em todos os tratamentos.

Palavras chave: condutância estomática, disponibilidade hídrica, fotossíntese *Meloidogyne incognita*, *Saccharum*

Water relations and gas exchange in three varieties of sugarcane under water stress associated with root-knot nematodes

Abstract: The objective of this work was to evaluate hydric relations and gaseous change in sugarcane varieties under both nematode parasitism and hydric deficit, in association or isolated. Sugarcane seedlings were inoculated with 30,000 eggs of *M. incognita* and five days after inoculation, treatments were differentiated in a completely randomized design arranged in a factorial a 3 (sugarcane varieties RB72454, RB867515 e RB92579) ×2 (hydric treatment 100% CP and 40% CP) ×2 (inoculum level with and without nematode). Evaluations were carried out every 15 days for 45 days after differentiation (DAD). Within the three varieties, RB92579 was the most sensible to hydric suppress. Hydric deficit affected leaf turgescence, being RB867515 the variety that maintained the leaf turgescence. RB92579 presented negative potential at 100% CP. RB867515 was the variety less influenced by hydric deficit (40% CP). Reductions along experimental period on gas exchange, stomata conductance (gs), transpiration (E) and photosynthesis (A) were observed, as well among varieties, hydric treatments and nematode density. Except RB867515, all varieties presented reduction of conductance in presence of nematode under 40% CP. In the absence of nematode, RB867515 reached the highest stomatal conductance values under 100% CP at 45 DAD. Under 100% CP, varieties with nematode presented higher decrease on plant conductance than under 40% CP in relation to non-inoculated. The CO₂ liquid assimilation level was highly affected by hydric suppress. In plants without nematode under 100% CP there was difference among all varieties, but RB867515 presented the higher photosynthesis. At 40 DAD, RB867515 showed the highest photosynthetic levels in all treatments.

Key-words: stomatal conductance, water availability, photosynthesis, *Meloidogyne incognita*, *Saccharum*

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma das culturas econômicas mais importantes em muitos países das regiões tropical e subtropical. Muitos são os fatores ambientais que influenciam o desenvolvimento da cultura. O ataque por nematoides e a baixa disponibilidade hídrica são alguns dos principais fatores que influenciam na

produção agrícola, afetando o desenvolvimento e resultando em diminuição do rendimento da cultura.

A caracterização das condições hídricas dos vegetais está intimamente relacionada com o teor de água nos tecidos. Muitos pesquisadores têm dado preferência às determinações do potencial hídrico na planta, porque influencia mais diretamente os processos metabólicos que qualquer outro parâmetro de avaliação ao déficit hídrico (Bergonci et al., 2000; Martins et al., 2010). Entretanto, a medição do potencial hídrico isoladamente não fornece informações suficientes sobre o impacto do estresse hídrico nos processos fisiológicos medidos pelo conteúdo de água dos tecidos. Com isso, é necessária a avaliação de outras variáveis, tais como a condutância estomática, a fotossíntese líquida, a transpiração, o teor relativo de água para poder melhor compreender como as plantas se comportam sob estresse hídrico.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento de variedades de cana-de-açúcar frente às relações hídricas e suas trocas gasosas, quando submetidas ao parasitismo de nematoides e à deficiência hídrica.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Laboratório de Fitonematologia – Departamento de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), entre os meses de abril e junho de 2011. As plantas foram obtidas de rebolos das variedades de cana-de-açúcar RB72454, RB867515 e RB92579, provenientes da Estação Experimental de Cana-de-açúcar do Carpina, base fixa da UFRPE. Os nematoides foram coletados de raízes e solo de áreas cultivadas com cana-de-açúcar e as populações foram mantidas em condição de casa de vegetação, parasitando o tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mil.) cultivar Santa Cruz. A determinação específica do parasito foi feita com base no fenótipo das esterases (Carneiro & Almeida, 2001). O solo utilizado foi esterilizado, segundo metodologia descrita por Monteiro et al. (2009), em autoclave a temperatura de 120 °C a 1 atm de pressão durante 1 hora, sendo este procedimento repetido após 24h.

Rebolos de cana-de-açúcar foram postos para germinar em bandejas plásticas, contendo areia lavada e esterilizada. Após a emergência, as plantas foram selecionadas quanto à sanidade, altura e número de folhas, e transferidas para vasos de polietileno contendo 6 kg de solo. Após o transplante, as plantas foram mantidas em aclimação

por 15 dias sendo regadas diariamente. Durante esse período, os vasos ficaram na Capacidade de Pote (CP), determinada previamente pelo método gravimétrico, de acordo com Souza et al. (2000). Após 10 dias de aclimatação, as plantas foram inoculadas com 30.000 ovos de *M. incognita*. Os ovos e juvenis usados para inóculo foram extraídos das raízes parasitadas, de acordo com a técnica descrita por Hussey & Barker (1973). Após cinco dias da inoculação, foi realizada a diferenciação dos tratamentos hídricos. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 (variedades RB72454, RB867515 e RB92579) × 2 (tratamentos hídricos controle (100% da CP) e estresse (40% da CP)) × 2 (níveis de infestação do nematoide com e sem nematoide), com cinco repetições para cada tratamento.

Para minimizar a perda de água no solo por evaporação, a superfície dos vasos foi coberta com circunferências de plástico branco. A manutenção dos tratamentos hídricos foi realizada através da pesagem diária dos vasos, e da reposição da água transpirada. Para esse procedimento foi utilizada uma balança da marca Filizola e modelo BP15 com capacidade para 15 kg. Ao final do período experimental, 45 DAD, foram realizadas as medições do teor relativo de água (TRA) as 4 h da manhã e ao meio dia. Para tanto foram usadas folhas +1 e a determinação do TRA realizada conforme a metodologia descrita por Silveira et al. (2009), no qual foram tomados 6 fragmentos de 1 cm² cada e imediatamente pesados em balança analítica para a obtenção do Peso da Matéria Fresca (PMF). Em seguida, os discos foliares foram colocados em placa de Petri contendo papel de filtro saturado com 10 mL de água deionizada e mantidos sob refrigeração durante 48 h. Após esse período os discos foram colocados em papel toalha para a retirada do excesso de água e pesados, obtendo-se assim o Peso da Matéria Túrgida (PMT). Por fim, os discos foram colocados em sacos de papel e levados a estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até peso constante, obtendo-se o Peso da Matéria Seca (PMS). O TRA foi calculado, portanto, através da seguinte Eq.1.

$$\text{TRA (\%)} = \frac{\text{PMF} - \text{PMS}}{\text{PMT} - \text{PMS}} \times 100 \quad (1)$$

Nos mesmos horários que foram determinados o TRA foi determinado também o Potencial hídrico foliar (Ψ_w) realizado na folha +1, de acordo com a metodologia descrita por Scholander et al. (1964). As folhas foram coletadas nos horários propostos e logo em seguida envoltas em filme plástico, para evitar a perda de água e armazenadas em recipiente refrigerado. A determinação do Ψ_w foi feita com o auxílio da câmara de

pressão de Scholander, modelo 3035 (Soil Moisture Equipment Corp, Santa Barbara, CA, USA).

As medições de trocas gasosas [taxas de fotossíntese (A), transpiração (E) e condutância estomática (gs)] foram realizadas quinzenalmente após a diferenciação dos tratamentos hídricos – DAD (15 DAD, 30 DAD e 45 DAD) com o auxílio do analisador portátil de CO₂ a infravermelho (IRGA) da ADC Bioscientific Ltda. modelo LCPro + entre os horários de 11 h às 13 h, de maior demanda fotossintética para a cultura, sendo realizado a leitura na parte mediana da folha +1.

Os dados foram submetidos à análise de variância e quando necessário, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, com o auxílio do software SAS – Statistical Analytical System (SAS Institute, 2009).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Às 4 horas da manhã, as plantas que estavam em suprimento hídrico adequado (100% CP) estavam mais hidratadas que as de supressão hídrica (40% CP). A 100% CP houve diferença entre as variedades apenas quando inoculado os nematoides. RB72454 e RB867515 mostraram maior turgescência das folhas com valores percentuais de 96,19 e 95,14%, respectivamente. Quando comparada com as demais variedades, RB92579 apresentou redução média em cerca de 7,5% (Tabela 1). A 40% CP ocorreu diferença significativa entre as variedades que não foram inoculadas. RB867515 apresentou percentual de água em torno de 92,7%, superior em 8,6 e 11% em relação a RB72454 e RB92579, respectivamente. Quando a 40% CP, RB72454 apresentou diferença superior 12% em relação às não inoculadas e 5% das inoculadas. RB867515 diferiu apenas entre os tratamentos de 100 e 40% CP ambos com nematoides, sendo que as plantas sob supressão hídrica tiveram uma redução na turgescência de 6,1%. RB92579 foi a mais sensível das três variedades, pois o tratamento 100% CP sem nematoide apresentou maior porcentagem de água nas folhas (94,56%) diferindo dos demais tratamentos, que apresentaram valores de TRA de 88,52% (100% CP com inoculação de nematoides), de 83,56 e 87,62% (40% CP sem e com nematoide, respectivamente).

Tabela 1. Teor Relativo de Água (%) às 4 horas da manhã em folhas de cana-de-açúcar submetidas a dois tratamentos hídricos e presença de *Meloidogyne incognita*. Médias seguidas por letras iguais, minúsculas entre variedades e maiúsculas entre tratamentos, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Variedades	100% CP		40% CP	
	SN	CN	SN	CN
RB72454	92,29 aAB	96,19 aA	85,31 bC	91,57 aB
RB867515	92,91 aAB	95,14 aA	92,68 aAB	89,31 aB
RB92579	94,56 aA	88,52 bB	83,56 bC	87,62 aBC

CV = 1,97

No TRA ao meio-dia não houve interação entre os fatores estudados. Neste horário, os fatores mostraram diferenças isoladamente. Entre as variedades, a que manteve uma melhor turgescência de suas folhas foi a RB867515 com 89,44% de água, sendo superior 3% em relação a RB72454 e superior 2,6% em comparação a RB92579 (Tabela 2). A aplicação dos tratamentos hídricos influenciou na turgescência das folhas das plantas, onde o tratamento de supressão hídrica (40% CP) reduziu o teor de água das folhas em 5,04% (Tabela 3). Plantas inoculadas com *M. incognita* favoreceram uma maior turgescência das folhas, mostrando que essas foram superiores 2% em relação a não inoculadas que tiveram TRA de 86,93% (Tabela 4). No horário de meio-dia devido à influência de diversos fatores climáticos tais como a intensidade luminosa, menor umidade relativa do ar, altas temperaturas é percebido um decréscimo no valor do TRA em relação os valores obtidos no horário as 4 h.

Tabela 2. Teor Relativo de Água (%) ao meio dia em folhas de cana-de-açúcar. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Variedades	TRA (%)
RB72454	86,77 b
RB867515	89,44 a
RB92579	87,11 b

Tabela 3. Teor Relativo de Água (%) ao meio dia em folhas de cana-de-açúcar submetidas a dois tratamentos hídricos. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Estresse	TRA (%)
100% C.C.	90,04 a
40% C.C.	85,50 b

Tabela 4. Teor Relativo de Água (%) ao meio dia em folhas de cana-de-açúcar sob dois níveis de inoculação de *Meloidogyne incognita*. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

<i>M. incognita</i>	TRA (%)
Sem Nematoides	86,93 b
Com Nematoides	88,62 a

De acordo com Hsiao (1973), uma diminuição menor que 10% do TRA nas plantas sob deficiência hídrica, demonstra estresse leve, de 10 a 20% estão em estresse moderado e acima de 20% em estresse severo. Por base nisso, estipula-se que as plantas estudadas neste trabalho, com esse contexto se encontraram em estresse variando de leve a moderado, não chegando, a nenhum momento a estresse severo.

Contribuindo positivamente para os resultados encontrados neste trabalho, vários pesquisadores analisando o TRA em plantas de cana-de-açúcar, tendo como comparação plantas cultivadas em solo com bom *status* hídrico e sob déficit, verificaram que os valores do TRA em plantas cultivadas com baixa disponibilidade hídrica apresentaram decréscimo em seus valores (Jain & Madan, 2002; Wahid & Close, 2007). Da mesma forma, Silva et al. (2007), estudando o TRA em cana-de-açúcar, verificaram que as variedades tolerantes a seca apresentaram uma menor redução de turgescência de suas folhas quando da escassez hídrica em relação as variedades sensíveis a falta d'água.

Com uma maior hidratação celular é possível o funcionamento e a realização dos processos fisiológicos a níveis ótimos, pois, os mais diversos estudos demonstram que a manutenção de um TRA relativamente alto durante a seca, é um leve indicativo de tolerância à seca.

Não foi elucidado o motivo pelo qual as folhas das plantas de cana-de-açúcar inoculadas com *M. incognita* tanto no tratamento de suprimento hídrico normal, quanto sob deficiência hídrica, em algumas variedades na avaliação as 4 h e ao meio-dia, tiveram seus valores de TRA maiores do que nas plantas não inoculadas. Uma vez que a tendência de acordo com a literatura para algumas culturas, como o tomate e algodão, (Dorhout et al., 1991; Kirkpatrick et al., 1991; Kirkpatrick et al., 1995) seja a diminuição do fluxo e pressão de água para planta e conseqüente redução da turgescência celular, quando atacadas por parasitos radiculares.

A tensão de água existente no xilema das folhas de cana-de-açúcar foi inicialmente realizada às 4 horas da manhã, horário ideal para avaliação, pois não há a interferência de diversos fatores abióticos tais como intensidade solar, calor e outros, o que ajudou a verificar a real intensidade dos tratamentos propostos.

Conforme exposto na Tabela 5A, no tratamento de 100% CP a variedade RB92579 apresentou o potencial mais negativo tanto para as plantas não inoculadas quanto para as inoculadas com *M. incognita*, caracterizando uma menor circulação de água dentro das folhas. Representando nesta variedade supracitada um potencial hídrico

foliar menor 3,13 e 6,7x em relação à RB72454 e menor 3,7 e 3,3x em relação à variedade RB867515, respectivamente para os tratamentos sem a presença e com inoculação de nematoide.

A 40% CP, RB867515 foi a variedade que menos sofreu com a deficiência hídrica, tendo o potencial mais positivo e com isso as variedades RB72454 e a RB92579, tiveram uma redução no potencial de 1,29 e 1,44x para as plantas não inoculadas e de 0,62 e 0,81x quando as plantas foram inoculadas, ambas em comparação a primeira variedade citada.

RB72454, RB867515 e RB92579 quando em condições de suprimento hídrico adequado (100% CP) apresentam potencial hídrico superior em mais de 91, 78 e 53% em relação ao tratamento de supressão hídrica, de acordo com os dados obtidos nesse estudo.

Tabela 5. Potencial Hídrico Foliar (MPa) às 4 horas da manhã (A) e ao meio-dia (B) em variedades de cana-de-açúcar submetidas a dois tratamentos hídricos e presença de *Meloidogyne incognita*. Médias seguidas por letras iguais, minúsculas entre variedades e maiúsculas entre tratamentos, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Variedades	Tratamentos			
	100% CP		40% CP	
	SN	CN	SN	CN
A) 4 horas				
RB72454	-0,08 aA	-0,09 aA	-1,08 bC	-0,94 bB
RB867515	-0,07 aA	-0,16 aA	-0,47 aB	-0,58 aB
RB92579	-0,33 bA	-0,69 bB	-1,15 bC	-1,05 bC
CV = 8,12				
B) 12 horas				
RB72454	-0,95 aA	-1,07 aAB	-1,18 aBC	-1,25 bC
RB867515	-1,05 aA	-0,95 aA	-1,38 bB	-1,03 aA
RB92579	-0,99 aA	-0,93 aA	-1,21 aB	-1,30 bB
CV = 4,91				

No potencial hídrico foliar ao meio dia ocorreu interação tripla entre variedade × estresse hídrico × nematoide, sendo que no tratamento de 100% CP não foram observadas diferenças entre as variedades. A 40% CP ocorreu diferença entre as variedades, sendo que no tratamento sem inóculo de nematoide a variedade RB867515 ficou o potencial mais negativo (-1,38 MPa), sendo inferior quase 17 e 14% em comparação as variedades RB72454 e RB92579 respectivamente, contudo no tratamento com inóculo de nematoide ocorreu uma inversão na qual a variedade RB867515 apresentou potencial mais positivo (-1,03 MPa) ficando superior as demais

na ordem de 17 e 26% em relação as variedades RB72454 e RB92579 respectivamente (Tabela 5B).

Quando se analisou as variedades de maneira isolada foi verificado diferença estatística entre os tratamentos de 100% CP e 40% CP, no qual os valores do potencial hídrico das variedades RB72454, RB867515 e RB92579 ficaram menores no tratamento de 40% CP em relação ao de 100% em torno de 20,3%, 20,5% e 30,7% respectivamente. Esses resultados mostram a influência negativa que o déficit hídrico causa no suprimento interno de água das plantas, ocorrendo gradativamente à medida que se prolonga e se intensifica o estresse.

Essa resposta de diminuição do potencial hídrico foliar é esperada em plantas submetidas à deficiência hídrica ou também quando submetidas a estresses os quais dificultem a captação de água do solo, pois é considerada uma das primeiras estratégias da planta para impedir a desidratação excessiva das folhas (Yordanov et al., 2003; Inman-Bamber & Smith, 2005). Machado et al. (2009), estudando o comportamento de duas variedades de cana-de-açúcar em três estádios fenológicos distintos, encontraram reduções que chegaram a 6x no potencial hídrico quando as plantas foram submetidas a suspensão de rega. Nogueira et al. (2008) obtiveram reduções do potencial hídrico foliar, entre horários e entre tratamentos, estudando duas das mesmas variedades aqui avaliadas (RB72454 e RB92579), corroborando os dados deste presente trabalho.

Pelos resultados obtidos no presente estudo, a cana-de-açúcar demonstra ser uma planta de comportamento aniso-hídrico, ou seja, não mantém o potencial da água alto nos tecidos nas horas mais quentes do dia. Esse abaixamento do potencial da água nas horas mais quentes do dia reflete, na verdade, o efeito da deficiência hídrica no solo e não na planta, daí à importância de se fazer a medida de potencial ao cair da noite ou início da manhã para poder comprovar realmente a influência dos tratamentos e indicação de déficit hídrico na planta.

Estudos realizados em diversas culturas mostraram que a presença de espécies do gênero *Meloidogyne* obstruem o xilema promovendo conseqüentemente uma redução do potencial hídrico foliar, caso este confirmado por Rahi et al. (1988), Kirkpatrick et al. (1991), Abrão & Mazzafera (2001) e Strajnar et al. (2011).

Reduções nas variáveis de trocas gasosas [condutância estomática (gs), transpiração (E) e fotossíntese (A)] ao longo do período experimental foram observadas, assim como entre as variedades, tratamentos hídricos e os níveis de inoculação de nematoides.

A condutância estomática apresentou maiores valores para o tratamento de suprimento hídrico satisfatório (100% CP) na primeira época de avaliação (15 DAD), onde a variedade RB92579 apresentou uma condutância de $1,78 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ no tratamento sem inóculo de nematoide, sendo superior as demais em 295 e 78% respectivamente em relação as RB72545 e RB867515 (Tabela 6A). Esses maiores valores podem estar associados à fase inicial de desenvolvimento das plantas, a uma intensa atividade metabólica e respiratória para se desenvolver. Entretanto não foi verificado diferença entre as variedades para os demais tratamentos nessa primeira época de avaliação.

RB72454 não mostrou diferença estatística entre os tratamentos os quais foram submetidos, no entanto, mostrou à medida que o estresse e o nível de nematoides eram aumentados uma diminuição linear da condutância estomática, passando de $0,45 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ no tratamento de 100% CP sem nematoide para $0,07 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ no tratamento de 40% CP com nematoide, resultando em redução de 84% na condução de vapor d'água no estômato. De maneira semelhante, contudo ocorrendo diferença estatística, foi verificado nas variedades RB867515 e RB92579 que saíram de $1 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ e $1,78 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ do tratamento controle para $0,25 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ e $0,12 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ para o tratamento mais severo (40% CP com nematoide), o que acarretou numa redução de 75 e 93% respectivamente.

Para todas as variedades, com exceção para a RB867515, no tratamento de 40% CP com nematoide na avaliação de 15 dias após diferenciação dos tratamentos, houve uma redução da condutância do tratamento sem nematoide para com inoculação de nematoide.

Tabela 6. Condutância estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) em variedades de cana-de-açúcar submetidas a dois tratamentos hídricos e presença de *Meloidogyne incognita* realizada aos 15 (A), 30 (B) e 45 (C) dias após diferenciação dos tratamentos hídricos – DAD. Médias seguidas por letras iguais, minúsculas entre variedades e maiúsculas entre tratamentos, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Variedades	Tratamentos			
	100% CP		40% CP	
	SN	CN	SN	CN
A) 15 DAD				
RB72454	0,45 bA	0,32 aA	0,19 aA	0,07 aA
RB867515	1,00 bA	0,38 aAB	0,11 aB	0,25 aB
RB92579	1,78 aA	0,45 aB	0,19 aB	0,12 aB

CV = 54,72

B) 30 DAD				
RB72454	0,11 aA	0,14 aA	0,12 aA	0,14 aA
RB867515	0,10 aA	0,08 aAB	0,16 aA	0,01 bB
RB92579	0,18 aA	0,12 aA	0,11 aA	0,17 aA
CV = 25,68				
C) 45 DAD				
RB72454	0,54 bA	0,19 aB	0,17 bB	0,18 aB
RB867515	1,28 aA	0,26 aC	0,50 aB	0,30 aC
RB92579	0,29 cAB	0,19 aB	0,44 aA	0,12 aB
CV = 14,97				

A avaliação efetuada 30 DAD mostrou diferença apenas entre as variedades no tratamento de 40% CP com nematoide. RB867515 ficou com condutância de 0,01 mol H₂O m⁻²s⁻¹, inferior cerca de 93% em relação as demais variedades, sendo a única variedade que apresentou diferença entre os tratamentos propostos. O tratamento de 40% CP sem nematoide mostrou condutância de 0,16 mol H₂O m⁻²s⁻¹ e o com nematoide com 0,01 mol H₂O m⁻²s⁻¹ (Tabela 6B).

Ao final de quase dois ciclos reprodutivo de *M. incognita*, que dura em média 27 dias, foi feita a última avaliação de condutância estomáticas nas plantas (45 DAD), que da mesma forma como observado na primeira avaliação, não apresentou diferença estatística entre as variedades nos tratamentos com inoculação do nematoide a 100% e 40% CP (Tabela 6C). No entanto, nos tratamentos sem nematoide RB867515 alcançou os maiores resultados sendo 118% superior em relação a RB72454 que teve condutância de 0,54 mol H₂O m⁻²s⁻¹ e 306% em relação a RB92579 que apresentou condutância de 0,29 mol H₂O m⁻²s⁻¹, quando comparada a 100% CP. A 40% CP, a mesma variedade não diferiu da RB92579, porém, foi superior 194% em relação a RB72454.

Analisando as respostas das variáveis isoladamente, verifica-se que as variedades sob 100% CP com nematoide apresentaram reduções da condutância das plantas mais pronunciadas do que quando submetidas a 40% CP com nematoide em relação às não inoculadas. RB72454 e RB867515 reduziram 64,8 e 79,7% respectivamente na comparação entre 100% CP sem nematoides com as inoculadas, enquanto que as variedades RB867515 e RB92579 reduziram 40 e 72,7% respectivamente na comparação entre 40% CP sem nematoides com as inoculadas.

A interrupção abrupta ou diminuição do suprimento de água para as plantas afeta a condutância dos vapores das plantas nas mais diversas espécies. Machado et al. (2009)

relataram diminuição em 60% para as duas variedades de cana-de-açúcar. Similarmente, Endres et al. (2010), avaliando as trocas gasosas em feijão, apresentou valores diminuídos da condutância em relação ao tratamento de suprimento hídrico satisfatório.

Os resultados apresentados por Ennahli & Earl (2005) em plantas de algodão mostram reduções na condutância estomática superiores a 90% entre os níveis de controle e de deficiência hídrica. Somando a isso, Smith & Singels (2006) observaram em duas variedades de cana de açúcar reduções no g_s , e afirmaram que essa variável apresenta maior sensibilidade do que o potencial hídrico à medida que o solo se torna mais seco, corroborando os dados apresentados. Segundo Taiz e Zeiger (2004), a baixa disponibilidade de água disponível no solo pode diminuir a abertura estomática ou até mesmo causar o seu fechamento, para evitar a desidratação da planta.

Audebert et al. (2000) avaliando cultivares de arroz sob influência do estresse hídrico, conjuntamente ao ataque de nematoides, mostraram valores de $0,84 \text{ cm s}^{-1}$ para controle e $0,41 \text{ cm s}^{-1}$ para controle com nematoides. Kirkpatrick et al. (1995), estudando o efeito do algodoeiro com e sem nematoide, também verificaram diminuição nas taxas de condutância estomática.

As taxas transpiratórias das plantas estão intimamente ligadas à condutância estomática, quanto maior a condutância, maior a transpiração das plantas. Seguindo a tendência da condutância na comparação entre as variedades na primeira época de avaliação, no tratamento de 100% CP sem nematoide a variedade RB92579 foi superior em 37% e 19% respectivamente em relação a RB72454 e RB867515. Enquanto que sob o tratamento de 100% CP com nematoide a RB92579 ficou superior apenas a RB867515 na ordem de 20% (Tabela 7A). No tratamento de supressão hídrica sem nematoide, a variedade RB867515 obteve a menor taxa transpiratória ($2,6 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) ficando 35% menor em relação às demais, no entanto, esta mesma variedade foi superior no tratamento de 40% CP com nematoide.

Analisando o efeito dos tratamentos dentro de cada variedade isoladamente, observa-se que o tratamento sob supressão hídrica influenciou negativamente a transpiração das plantas, onde a redução da transpiração do tratamento mais severo (40% CP com nematoide) em relação ao controle (100% CP sem nematoide) chegou a 66% na variedade RB72454, a 23% na RB867515 e a 59% na RB92579.

Tabela 7. Transpiração foliar ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) em variedades de cana-de-açúcar submetidas a dois tratamentos hídricos e presença de *Meloidogyne incognita* realizada aos 15 (A), 30 (B) e 45 (C) dias após diferenciação dos tratamentos hídricos – DAD. Médias seguidas por letras iguais, minúsculas entre variedades e maiúsculas entre tratamentos, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Variedades	Tratamentos			
	100% CP		40% CP	
	SN	CN	SN	CN
A) 15 DAD				
RB72454	5,74 bA	5,86 abA	4,05 aB	1,95 cC
RB867515	6,63 bA	5,30 bB	2,60 bC	5,11 aB
RB92579	7,88 aA	6,39 aB	4,04 aC	3,22 bC
CV = 6,88				
B) 30 DAD				
RB72454	2,53 aA	2,99 aA	2,91 aA	2,96 aA
RB867515	2,30 aA	1,95 aA	3,27 aA	0,38 bB
RB92579	3,61 aA	2,65 aA	2,57 aA	3,57 aA
CV = 17,2				
C) 45 DAD				
RB72454	6,18 aA	2,82 aB	3,15 bB	2,93 aB
RB867515	6,22 aA	3,78 aB	6,10 aA	3,42 aB
RB92579	4,32 bAB	2,96 aB	5,50 aA	2,47 aB
CV = 12,01				

Na avaliação aos 30 DAD foi verificado diferença apenas entre as variedades no tratamento de 40% CP com nematoide, no qual RB867515 foi inferior cerca de 88% na transpiração em relação as demais variedades (Tabela 7B). Com relação ao efeito dos tratamentos sob as variedades, apenas na RB86715 detectou-se diferença entre os tratamentos, no qual a supressão hídrica causou redução na transpiração de 83% do controle (100% CP sem nematoide) para o tratamento mais severo (40% CP com nematoide).

A terceira medição de transpiração assim como na condutância, não mostrou diferença estatística entre as variedades independente do suprimento hídrico quando em presença do nematoide, diferente daqueles que não foram inoculados. No caso do tratamento 100% CP sem nematoide onde a variedade RB92579 teve transpiração de $4,32 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ inferior cerca de 30% em relação às demais variedades, enquanto que no tratamento de 40% CP sem nematoide a RB72454 foi inferior 48% em relação a RB867515 e 43% quando comparada a transpiração da variedade RB92579 (Tabela 7C).

Reduções significativas na transpiração foliar foram encontradas por Graça et al. (2010) estudando o a fisiologia de três variedades de cana-de-açúcar submetidas a suspensão de rega. Os pesquisadores verificaram reduções em todas as variedades analisadas (SP83-2847, CTC15 e SP86-15) devido ao déficit hídrico. Gonçalves et al. (2010) analisando quatro variedades (SP79-1011, RB92579, RB72454 e RB98710) mostraram reduções de E após 71 dias sob suspensão de rega, corroborando os resultados apresentados. Nable et al. (1999) e Nogueira et al. (2008) também verificaram reduções de E em mudas de sorgo e cana-de-açúcar, reduzindo a medida que diminuía a disponibilidade hídrica no solo.

As taxas de transpiração em plantas infectadas geralmente decrescem com a presença ou aumento de inóculo de nematoide de acordo com Schans (1991) e às vezes algumas interações não promovem diferença alguma (Wilcox & Loria, 1986). As pesquisas feitas por Kirkpatrick et al. (1991; 1995) mostraram redução das taxas transpiratórias com a presença de *M. incognita* chegando a quase 40%, com relação aos algodoeiros isentos do parasito; além disso quando a presença do nematoide é associado com estresse hídrico a queda de E chega a alcançar 81,5% na mesma espécie vegetal.

De acordo com Silva et al. (2006), as plantas cultivadas sob supressão hídrica apresentam enrolamento foliar e ressecamento dos ápices foliares, fato ocorrido durante a presente pesquisa e que pode ser explicado como uma estratégia para redução da transpiração, com o objetivo de manter os estômatos em condições de elevada umidade.

Na Tabela 8 é possível verificar reduções nas taxas de fotossintéticas líquidas entres as variedades dentro dos tratamentos e entre as plantas que estão com suprimento hídrico adequado (100% CP) com as sob supressão hídrica (40% CP), o que demonstra que a taxa de assimilação líquida de CO₂ foi fortemente afetada pela deficiência hídrica. No tratamento de 100% CP sem nematoide todas as variedades diferiram entre si, mas RB867515 teve maior fotossíntese com 62,26 μmol CO₂ m⁻²s⁻¹ superior em 94 e 12% em relação às variedades RB72454 e RB92579 respectivamente. Nesse sentido, a mesma variedade foi também maior no tratamento 40% CP com nematoide sendo 2x e 105% em suas taxas fotossintéticas (Tabela 8A). Nos tratamentos de 100% CP com nematoide e 40% sem nematoide, RB867515 obteve a menor taxa fotossintética líquida sendo inferior às demais variedades na ordem de 13% e 50%, respectivamente para os tratamentos de 100 e 40% CP.

Tabela 8. Fotossíntese líquida ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) em variedades de cana-de-açúcar submetidas a dois tratamentos hídricos e presença de *Meloidogyne incognita* realizada aos 15 (A), 30 (B) e 45 (C) dias após diferenciação dos tratamentos hídricos – DAD. Médias seguidas por letras iguais, minúsculas entre variedades e maiúsculas entre tratamentos, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Variedades	Tratamentos			
	100% CP		40% CP	
	SN	CN	SN	CN
A) 15 DAD				
RB72454	32,04 cB	38,24 aA	24,16 aC	9,63 cD
RB867515	62,26 aA	33,67 bB	11,19 bC	33,22 aB
RB92579	55,39 bA	39,12 aB	22,65 aC	16,13 bD
CV = 4,17				
B) 30 DAD				
RB72454	16,93 aA	21,86 aA	19,07 aA	22,02 aA
RB867515	13,98 aAB	11,99 bB	20,02 aA	3,79 bC
RB92579	21,09 aA	18,23 abA	16,28 aA	21,04 aA
CV = 15,75				
C) 45 DAD				
RB72454	38,11 bA	13,81 bB	17,84 bB	17,58 bB
RB867515	57,61 aA	21,34 aC	41,02 aB	26,04 aC
RB92579	21,74 cB	13,90 bC	36,89 aA	10,98 cC
CV = 8,22				

Devido à diminuição de incidência luminosa no ambiente, as taxas fotossintéticas da segunda avaliação aos 30 dias após diferenciação dos tratamentos tiveram uma queda em relação às da avaliação aos 15 DAD. Os resultados observados podem ser devido às condições climáticas no dia da avaliação, que apresentava-se nublado e chuvoso. É verificada uma redução nos valores da fotossíntese para a RB867515, que a levou a ter menores taxas tanto no tratamento de 100% CP quanto de 40% CP com nematoides, no qual foi inferior a variedade RB72454 que apresentou $21,86 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ para o tratamento de 100% CP e em relação às demais no tratamento de 40% CP, tendo redução acentuada de 83% (tabela 8B).

RB72454 e RB92579 não mostraram diferença no comportamento entre os tratamentos propostos. RB867515 apresentou redução de quase 73% no tratamento mais severo de 40% CP com nematoide em relação ao de 100% CP sem nematoide.

Aos 45 DAD, RB867515 apresentou as maiores taxas fotossintéticas em todos os tratamentos propostos em relação às demais variedades (Tabela 8C), sendo superior 51% e 164% no tratamento de 100% CP sem nematoide em relação a RB72454 e RB92579, além disso, a variedade obteve fotossíntese de $21,34 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ no

tratamento de 100% CP com nematoide maior em 54% em relação as demais variedades. Para os tratamentos de supressão hídrica (40% CP) a mesma variedade foi 129% maior que a RB72454 que teve taxa fotossintética de $17,84 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ no tratamento sem nematoide e 48% e 137% no tratamento com nematoide em relação às variedades RB72454 e RB92579, respectivamente.

A redução da taxa fotossintética, devido à diminuição do suprimento hídrico, também foi relatada por diversos pesquisadores nas mais variadas culturas (Gonçalves et al., 2009; Chartzoulakis et al., 1999; Graça et al., 2010; Behboudian et al., 1986). Graça et al. (2010) analisando o efeito do déficit hídrico em quatro variedades de cana-de-açúcar, observaram que, com a restrição hídrica, ocorreram reduções significativas em A, E e gs. Vidal et al. (2005) afirmam que parte da diminuição na taxa fotossintética está relacionada aos movimentos estomáticos que, quando se desenvolve um déficit hídrico, os estômatos se fecham, independente de luz, temperatura ou concentração de CO_2 .

Araújo et al. (2010) estudando as características fotossintéticas em três genótipos de capim-elefante anão sob estresse hídrico constataram que no tratamento submetido à suspensão da irrigação houve reduções drásticas na fotossíntese, resultado semelhante ao obtido na presente pesquisa. Du et al., (1998) sugerem que o principal fator para a redução das taxas fotossintéticas em cana-de-açúcar é consequência da redução da condução estomática por causa da deficiência hídrica.

Ramakrishnan & Rajendran (1998), em estudos sobre o comportamento fisiológico do mamão submetido a níveis crescentes de infestação por *M. incognita*, mostraram que à medida que se aumenta o número de nematoides menor fica a fotossíntese, chegando a apresentar redução de 24% quando inoculado com 10000 juvenis de 2º estágio de desenvolvimento (j_2) quando comparados ao controle isento do parasito. De maneira semelhante, Ye et al. (2011), estudando infestação em pepinos, observaram redução das taxas fotossintéticas quando a cultura foi inoculada com *M. incognita*.

Além da redução devido à diminuição da assimilação de CO_2 , na interação nematoide-estresse hídrico, a redução da A pode ser caracterizada pela falta de habilidade das raízes danificadas pelos nematoides em suprir as necessidades nutricionais, principalmente pela falta N_2 . Além disso, o decréscimo da A pode ser maior em plantas jovens do que em plantas mais velhas.

CONCLUSÕES

O déficit hídrico e o parasitismo de *M. incognita* influíram negativamente em todas as variáveis analisadas (TRA, potencial hídrico, gs, E, A) e quando interagiram mostraram-se potencializador dos danos causados.

LITERATURA CITADA

Abrão, M.; Mazzafera, P. Efeitos do nível de inóculo de *Meloidogyne incognita* em algodoeiro. *Bragantia*, v.60, p. 19-26, 2001.

Araújo, S. A. C.; Vasquez, H. M.; Campostrini, E.; Torres Neto, A.; Deminicis, B. B.; LIMA, E. S. Características fotossintéticas de genótipos de capim-elefante anão (*Pennisetum purpureum* Schum.), em estresse hídrico. *Acta Scientiarum: Animal Sciences*, v.32, p. 1-7, 2010.

Audebert, A.; Coyne, D. L.; Dingkuhn, M.; Plowright, R. A. The influence of cyst nematodes (*Heterodera sacchari*) and drought on water relations and growth of upland rice in Côte d'Ivoire. *Plant and Soil* 220: 235–242, 2000.

Behboudian, M. H.; Walker, R. R.; Torokfalvy, E. Effects of water stress and salinity on photosynthesis of pistachio. *Scientia Horticulturae*, v. 29, p. 251-261, 1986.

Bergonci, J. I.; Bergamaschi, H.; Berlato, M. A.; Santos, A. O. Potencial da água na folha como um indicador de déficit hídrico em milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, p.1531-1540, 2000.

Carneiro, R. M. D. G.; Almeida, M. R. A. Técnica de eletroforese usada no estudo de enzima dos nematoides das galhas para identificação de espécies. *Nematologia Brasileira*, v.25, p. 35-44, 2001.

Chartzoulakis, K.; Patakas A.; Bosabalidis, A. M. Changes in water relations, photosynthesis and leaf anatomy induced by intermittent drought in two olive cultivars *Environmental and Experimental Botany*, v. 42, p. 113-120, 1999.

Dorhout, R.; Gommers, F.; Kollöffel, C. Water transport through tomato roots infected with *Meloidogyne incognita*. *Phytopathology*, v.81, p. 379-385, 1991.

Du, YC.; Nose, A.; Wasano, K.; Uchida, Y. Responses to water stress of enzyme activities and metabolite levels in relation to sucrose and starch synthesis, the Calvin cycle and the C4 pathway in sugarcane (*Saccharum* sp.) leaves. *Australian Journal of Plant Physiology*, v. 25, p. 253-260, 1998.

Endres, L.; Souza, J. L. de; Teodoro, I.; Marroquim, P. M. G., Santos, C. M. dos; Brito J. E. D. de. Gas exchange alteration caused by water deficit during the bean reproductive stage. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.14, p.11–16, 2010.

Ennahli, S.; Earl, H. J. Physiological limitations to photosynthetic carbon assimilation in cotton under water stress. *Crop Science*, v.45, p. 2374-2382, 2005.

Gonçalves, E. R.; Ferreira, W. M.; Silva, J. V.; Endres, L.; Barbosa, T. P.; Duarte, W. G. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.14, p.378-386, 2010.

Gonçalves, J. F. C.; Da Silva, C. E. M.; Guimarães, D. G. Fotossíntese e potencial hídrico foliar de plantas jovens de andiroba submetidas à deficiência hídrica e à reidratação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.44, p.8-14, 2009.

Graça, J. P. da; Rodrigues, F. A.; Farias, J. R. B.; Oliveira, M. C. N. de; Hoffmann-Campo, C. B.; Zingaretti, S. M. Physiological parameters in sugarcane cultivars submitted to water deficit. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v.22, p. 189-197, 2010.

Hsiao, T. C. Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, v.24, p. 519-570, 1973.

Hussey, R. S.; Barker, K. R. A comparison of methods of collecting inocula of *Meloidogyne* spp., including a new technique. *Plant Disease Reporter*, v.57, p.1025-1028, 1973.

Inman-Bamber, N. G.; Smith, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. *Field Crops Research*, v.92, p.185–202, 2005.

Jain, R. Madan, V. K. Changes in enzyme activity and soluble protein of sugarcane in response to drought. *Indian Journal of Sugarcane Technology*. v.17, p. 77-78, 2002.

Kirkpatrick, T. L.; Oosterhuis, D. M.; Wullschlegel, S. D. Interaction of *Meloidogyne incognita* and water stress in two cotton cultivars. *Journal of Nematology*, v.23, p. 462-467, 1991.

Kirkpatrick, T. L.; Van Iersel, M. W.; Oosterhuis, D. M. Influence of *Meloidogyne incognita* on the water relations of cotton grown in microplots. *Journal of Nematology*, v.27, p. 465-471, 1995.

Machado, R. S.; Ribeiro, R. V.; Marchiori, P. E. R., Machado, D. F. S. P.; Machado E.C.; Landell, M. G. de A. Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.44, p.1575-1582, 2009.

Martins, J. D.; Carlesso, R.; Knies, A. E.; Oliveira, Z. B.; Broetto, T.; Rodrigues, G. J. Potencial hídrico foliar em milho submetido ao déficit hídrico. *Irriga*, Botucatu, v.15, p. 324-334, 2010.

Monteiro, M. T. M.; Gomes, V. F. F.; Mendes Filho, P. F.; Guimarães, F. V. A. Absorção de nutrientes por mudas de pimentão micorrizado cultivado em substrato com pó de coco. *Revista Caatinga*, v.22, p. 95-101, 2009.

Nable, R. O.; Robertson, M. J.; Berthelsen, S. response of shoot growth and transpiration to soil drying in sugarcane. *Plant and Soil*, v.207, p. 59-65, 1999.

Nogueira, R. J. M. C.; Silva, E. C.; Silva, M. A.; Santos, H. R. B.; Pacheco, C. M.; Teixeira, M. M.; Simões Neto, D. E. Uso de Indicadores Fisiológicos para Avaliar Tolerância à Seca em Cana-de-açúcar no Estádio Inicial do Desenvolvimento: Relações Hídricas e Comportamento Estomático. In: Congresso Nacional da STAB, 9, 2008, Anais... Maceió: Organização da Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros, 2008, p. 692-698.

Rahi, G. S.; Rich, J. R.; Hodge, C. Effect of *Meloidogyne incognita* and *M. javanica* on leave water potential and water use of tabacco. *Journal of Nematology*, v. 20, p. 516-522, 1988.

Ramakrishnan, S.; Rajendran, G. Influence of *Meloidogyne incognita* on yields components and physiological functions of papaya. *Nematologia Mediterranea*, v.26, p. 225-228, 1998.

SAS - Institute Inc. SAS/STAT 9.3 User's guide. Cary, NC: SAS Institute Inc. 2009.

Schans, J. Reduction of leaf photosynthesis and transpirations rates of potatos plants by stage juveniles of *Globodera pallida*. *Plant Cell Environment*, v.14, p.707-712, 1991.

Scholander, P. F.; Hammel, H. T.; Hemingsen, E. A.; Bradstreet, E. D. Hydrostatic pressure and osmotic potenciales in leaves of mangroves and some other plants. *Proceedings of National Academy Science*, v. 52, p.119-125, 1964.

Scholander, P. F.; Hammel, H. T.; Hemingsen, E. A.; Bradstreet, E. D. Hydrostatic pressure and osmotic potenciales in leaves of mangroves and some other plants. *Proceedings of National Academy Science*, v.52, p.119-125, 1964.

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*, v.19, p. 193-201, 2007.

Silva, M. M. P.; Vasquez, H. M.; Bressan-Smith, R.; Silva, F. C.; Erbesdobler, E. D.; Andrade Junior, P. S. C. Eficiência fotoquímica de gramíneas forrageiras tropicais submetidas à deficiência hídrica. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.35, p. 67-74, 2006.

Silveira, J.A.G.; Araújo, S.A.M.; Lima, J.P.M.S.; Viégas, R.A. Roots and leaves display contrasting osmotic adjustment mechanisms in response to NaCl-salinity in *Atriplex nummularia*. *Environmental and Experimental Botany*, v.66, p.1-8, 2009.

Smit, M. A.; Singels, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. *Field Crops Research*, v. 98, p. 91–97, 2006.

Souza, C. C.; Oliveira, F. A.; Silva, I. F.; Amorim Neto, M. S. Avaliação de métodos de determinação de água disponível e manejo da irrigação em terra roxa sob cultivo de algodoeiro herbáceo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.4, p.338-342, 2000.

Strajnar P.; Širca S.; Urek G.; Šircelj H.; Železnik P.; Vodnik D. Effect of *Meloidogyne ethiopica* parasitism on water management and physiological stress in tomato. *European Journal of Plant Pathology*, v.132, p. 49-57, 2011.

Taiz, L.; Zeiger, E. *Fisiologia vegetal*. 3.ed. Porto Alegre: ARTMED, 2004. 719p.

Vidal, M. S.; Carvalho, J. M. F. C.; Meneses, C. H. S. G. Déficit hídrico: Aspectos morfofisiológicos. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. 19p.

Wahid, A.; Close, T. J. Expression of dehydrins under heat stress and their relationship with water relations of sugarcane leaves. *Biologia Plantarum*, v.51, p. 104-109, 2007.

Wilcox, D. A.; Loria, L. Water relations, growth and yield in two snap bean cultivars infected with root knot nematode, *Meloidogyne hapla* (Chitwood). *Journal American Society Horticulture Science*, v.111, p. 34-38, 1986.

YE De-You, QIAN Chun-Tao, CHEN Jin-Feng. Photosynthetic Response to the Root-Knot Nematode *Meloidogyne incognita* in Resistant Cultivar Sour Cucumber (*Cucumis hystrix* Chakr.). *China Agriculture Science*, v. 44, p. 4248-4257, 2011.

Yordanov, I.; Velikova, V.; Tsonev, T. Plant responses to drought and stress tolerance. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, special issue, p.187-206, 2003.

CAPÍTULO IV

**Pigmentos fotossintéticos e solutos compatíveis
em três variedades de cana-de-açúcar
submetidas a estresse hídrico associado a
nematóide de galhas**

Pigmentos fotossintéticos e solutos compatíveis em três variedades de cana-de-açúcar submetidas a estresse hídrico associado a nematoide de galhas

Hugo Rafael Bentzen Santos, Elvira Maria Regis Pedrosa, Rejane Jurema Custódio Nogueira, Mario Monteiro Rolim, Sandra Roberta Vaz Lira Maranhão, David Barbosa Medeiros

Resumo – Santos, H.R.B., Pedrosa, E.M.R., Nogueira, R.J.M.C., Rolim, M.M., Maranhão, S.R.V.L., Medeiros, D.B. 2012. Pigmentos fotossintéticos e solutos compatíveis em três variedades de cana-de-açúcar submetidas a estresse hídrico associado a nematoide de galhas.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a concentração de pigmentos fotossintéticos e os solutos orgânicos formados em plantas de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica e parasitismo de nematoides da espécie *Meloidogyne incognita*. Plântulas de cana-de-açúcar foram inoculadas com 30.000 ovos de *M. incognita* e após cinco dias da inoculação, foi realizada a diferenciação dos tratamentos, dispostos em delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 3 (variedades RB72454, RB867515 e RB92579) \times 2 (tratamentos hídricos 100% CP e 40% CP) \times 2 (níveis de infestação com e sem nematoide), realizando-se as avaliações 45 dias após a diferenciação (DAD) dos tratamentos hídricos. RB72454 apresentou a maior quantidade de carotenóides e obteve o maior teor de clorofila em todos os tratamentos, com exceção de 40% CP sem nematoide. Enquanto a RB867515 apresentou aumento no teor de clorofila *b* à medida que aumentou a severidade dos tratamentos. A concentração de carboidratos solúveis, de maneira geral, tendeu a diminuir com a redução da disponibilidade hídrica nas folhas para as plantas. Nas raízes, a concentração de carboidratos promoveu interação entre todos os fatores estudados, com aumentos

significativos na concentração deste soluto em quase todas as plantas inoculadas com nematoide. Não houve diferença nas concentrações de aminoácidos entre as variedades a 100% CP, mas a 40% CP RB72454 mostrou menor concentração de aminoácidos. O acúmulo de prolina foi mais evidenciado nas folhas quando as plantas foram submetidas à infestação de nematoides nas variedades RB72454 e RB867515 a 100% CP. O teor de proteínas decresceu nas folhas e nas raízes das plantas que foi feita a inoculação de nematoide, assim como nas plantas sob estresse hídrico.

Palavras chave: carboidrato, clorofila, *Meloidogyne incognita*, prolina, *Saccharum*

Summary - Santos, H.R.B., Pedrosa, E.M.R., Nogueira, R.J.M.C., Rolim, M.M., Maranhão, S.R.V.L., Medeiros, D.B. 2012. Photosynthetic pigments and compatible solutes in three varieties of sugarcane under water stress associated with root-knot nematodes.

The present work had as objective evaluating concentration of photosynthetic pigments and organic solutes formed in sugarcane plants under hydric deficit and nematode parasitism. Sugarcane seedlings were inoculated with 30,000 eggs of *M. incognita* and five days after inoculation, treatments were differentiated in a completely randomized design arranged in a factorial a 3 (sugarcane varieties RB72454, RB867515 e RB92579) ×2 (hydric treatment 100% CP and 40% CP) ×2 (inoculum level with and without nematode). Evaluations were carried out 45 days after differentiation (DAD). RB72454 presented higher amount of carotene and obtained higher amounts of chlorophyll in all treatments, except under 40% CP with no nematode, while RB867515 presented the highest amount in chlorophyll *b* content as treatment severity

increased. In general, soluble carbohydrates concentration decreased as hydric availability decreased in leaves. In roots, carbohydrate concentration promoted interaction among all variables studied with significant increase in this solute concentration in almost all plants inoculated. There was no difference in amino acid concentration within varieties under 100% CP, but under 40% CP RB72454 showed the lowest amino acid concentration. Proline accumulation was stood out in leaves of plants infected with nematode on RB72454 and RB867515 under 100% CP. The protein content decreased in leaves and roots of plants were made the inoculation of nematodes, as well as in plants under water stress.

Key words: carbohydrate, chlorophyll, *Meloidogyne incognita*, proline, *Saccharum*

Conteúdo

A cana-de-açúcar que é uma cultura de destaque no Brasil, pois agrega importância econômica e social, e está em plena expansão com previsão de aumento de 40% na área plantada para os próximos 10 anos, causado pela crescente demanda do mercado interno e externo para combustíveis renováveis, atraindo mais investimentos e uma busca para a formação de novas áreas de cultivo.

Condições inadequadas do meio ambiente para cultivo promovido por fatores abióticos, tais como temperatura, luminosidade, salinidade e estresse hídrico, e por fatores bióticos como ataque de pragas e agentes fitopatogênicos (vírus, bactérias, fungos, nematoides) podem provocar desordens de ordem fisiológica, bioquímica além de perdas de produção em várias culturas (Nogueira et al., 1998; Dinardo- Miranda, 1999; Cadet & Spaul, 2003).

O interesse por cultivares e/ou variedades mais tolerantes a períodos mais severos de seca tem despertado na comunidade científica relevante interesse na investigação dos mecanismos bioquímicos e fisiológicos utilizados pelas plantas em resposta ao estresse hídrico (Bartels & Sunkar, 2005). A habilidade de algumas espécies em ajustar osmoticamente suas células sob condições de estresse hídrico é uma resposta bioquímico-fisiológica que indica a capacidade destas plantas em tolerar períodos curtos de seca, proporcionando à planta a continuar a expansão celular, favorecendo o crescimento vegetal.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a concentração de pigmentos fotossintéticos e os solutos orgânicos formados em plantas de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica e ataque de nematoides da espécie *Meloidogyne incognita*.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Laboratório de Fitonematologia – Departamento de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), entre os meses de abril e junho de 2011. As plantas foram obtidas de rebolos das variedades de cana-de-açúcar RB72454, RB867515 e RB92579, provenientes da Estação Experimental de Cana-de-açúcar do Carpina, base fixa da UFRPE. Os nematoides foram coletados de raízes e solo de áreas cultivadas com cana-de-açúcar e as populações foram mantidas em condição de casa de vegetação, parasitando o tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mil.) cultivar Santa Cruz. A determinação específica do parasito foi feita com base no fenótipo das esterases (Carneiro & Almeida, 2001). O solo utilizado foi esterilizado, segundo metodologia descrita por Monteiro et al. (2009), em autoclave a temperatura de 120 °C a 1 atm de pressão durante 1 hora, sendo este procedimento repetido após 24h.

Rebolos de cana-de-açúcar foram postos para germinar em bandejas plásticas, contendo areia lavada e esterilizada. Após a emergência, as plantas foram selecionadas quanto à sanidade, altura e número de folhas, e transferidas para vasos de polietileno contendo 6 kg de solo. Após o transplante, as plantas foram mantidas em aclimação por 15 dias sendo regadas diariamente. Durante esse período, os vasos ficaram na Capacidade de Pote (CP), determinada previamente pelo método gravimétrico, de acordo com Souza et al. (2000). Após 10 dias de aclimação, as plantas foram inoculadas com 30.000 ovos de *M. incognita*. Os ovos e juvenis usados para inoculo foram extraídos das raízes parasitadas, de acordo com a técnica descrita por Hussey & Barker (1973). Após cinco dias da inoculação, foi realizada a diferenciação dos tratamentos hídricos. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 (variedades RB72454, RB867515 e RB92579) × 2 (tratamentos hídricos controle (100% da CP) e estresse (40% da CP)) × 2 (níveis de infestação do nematoide com e sem nematoide), com cinco repetições para cada tratamento.

Para minimizar a perda de água no solo por evaporação, a superfície dos vasos foi coberta com circunferências de plástico branco. A manutenção dos tratamentos hídricos foi realizada através da pesagem diária dos vasos, e da reposição da água transpirada. Para esse procedimento foi utilizada uma balança da marca Filizola com capacidade para 15 kg. Ao final do período experimental, 45 DAD, os teores de clorofila *a*, *b*, total e carotenóides foram determinados através do método de extração com álcool etílico seguindo a metodologia descrita por Lichtenthaler & Buschmann (2001), a partir de 100 mg de matéria fresca das folhas.

Os solutos orgânicos osmoticamente ativos também foram determinados ao final do experimento, a partir de 1 grama de matéria fresca do limbo da folha +1 e 1 g de raízes, ambos macerados e centrifugados. Os carboidratos solúveis totais foram determinados a 490 nm, pelo método de fenol-ácido sulfúrico (Dubois *et al.*, 1956) utilizando-se D(+)-glicose como padrão. O teor de prolina livre foi determinada a 520 nm, pelo método da ninhidrina e ácido fosfórico (Bates *et al.*, 1973), utilizando-se a prolina como padrão. Os aminoácidos livres foram analisados a 570 nm, pelo método da ninhidrina (Yemm & Cocking, 1955) e tendo como padrão a L-leucina e a determinação de proteínas solúveis pelo método da ligação ao corante Coomassie Brilliant Blue (Bradford, 1976) utilizou-se albumina sérica bovina (BSA) como padrão e comprimento de onda de 595 nm. As leituras foram realizadas no espectrofotômetro BioSpectro SP220.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, utilizando o software SAS – Statistical Analytical System (SAS Institute, 2009). Para análise estatística, os dados de carotenoides foram transformados em $\sqrt{x + 0,5}$.

Na concentração de clorofila *a*, ocorreu uma interação tripla entre os fatores analisados (variedades × estresse hídrico × nematoides), no qual a variedade RB72454 obteve as maiores concentrações de clorofila em quase todos os tratamentos, com exceção do 40% CP sem nematoide. Esta variedade foi maior 86% no tratamento 100% CP sem nematoide em relação a RB867515, superior em 76% e 46% no tratamento 40% CP com nematoide em comparação as variedades RB867515 e RB92579 respectivamente (Tabela 1A). Por outro lado, no tratamento de 40% CP sem nematoide

a variedade RB92579 teve concentração de 2,33 mg/g de clorofila *a*, não diferindo da RB72454 mas 65% superior em relação a RB867515.

Avaliando o efeito dos tratamentos sobre cada variedade isoladamente, apenas a RB92579 no tratamento de 40% CP mostrou diferença, onde o tratamento com nematoide reduziu o teor desse pigmento fotossintético em 31% comparado ao sem nematoide.

Na concentração de clorofila *b* a variedade RB72454 não mostrou diferença entre os tratamentos propostos, enquanto a RB867515 apresentou um aumento no teor desse pigmento à medida que aumentou a severidade dos tratamentos. No qual o tratamento de 100% CP apresentou concentração de 1,18 mg/g de clorofila *b* sendo inferior 21%, 33% e 30% em relação aos tratamentos de 100% com nematoide e de 40% CP sem e com nematoide, respectivamente. RB92579 mostrou maior concentração desse pigmento no tratamento de 100% com nematoide (1,76 mg/g), superior em 49%, 65% e 54% respectivamente em relação aos tratamentos de 100% CP sem nematoide e 40% CP sem e com nematoide (Tabela 1B).

Entre as variedades, RB867515 obteve a maior concentração desse pigmento e RB72454 as menores concentrações. Sendo a RB867515 superior em 55% e 98% para os tratamentos de 100% CP sem e com nematoides respectivamente, e superior em 142% e 102% para os tratamentos de 40% CP sem e com nematoides quando comparados a RB72454.

Na clorofila total mesmo havendo estatisticamente uma interação tripla entre os fatores estudados, não ocorreu diferença entre os tratamentos dentro de cada variedade, apenas uma variação na concentração de clorofila total no tratamento de 40% CP sem

nematoide. RB92579 apresentou 3,37 mg/g sendo superior em 33% em comparação a RB72454 (Tabela 1C).

A variação na concentração dos pigmentos de clorofila em algumas variedades, sobretudo para o tratamento sob deficiência hídrica, onde aumentou em relação ao controle, pode estar relacionado ao fato que as folhas da cana-de-açúcar quando submetidas ao déficit hídrico, diminuem em expansão e comprimento, favorecendo uma concentração de cloroplastos na folha. Ponto este observado, pois em muitas plantas a coloração verde estava mais forte nas com deficiência hídrica do que nas com suprimento hídrico satisfatório.

Na concentração de carotenóides não houve interação entre os fatores, ocorrendo diferença entre as variedades de forma isolada. RB72454 apresentou a maior quantidade de carotenóides (0,344 mg/g) enquanto a RB867515 e a RB92579 ficaram menores 79% e 58% respectivamente (Tabela 1J).

A concentração de carotenóides é importante nas respostas das plantas frente a estresses, pois estes agem como catalizadores de radicais prejudiciais e também em proteger os tecidos das plantas por absorver a luz em excesso. Por isso é mais notado maior concentração na RB72454, pois foi à variedade que mais sofreu reduções da clorofila em seu metabolismo durante a fase experimental.

A concentração de carboidratos solúveis de maneira geral tendeu a diminuir com a redução da disponibilidade hídrica nas folhas para as plantas. A análise de carboidratos promoveu interação dupla entre variedades × estresse hídrico e nematoide × estresse hídrico. RB867515 mostrou um maior acúmulo deste soluto em suas folhas para os dois tratamentos hídricos propostos, ficando esta variedade superior 25% e 46% em relação às variedades RB72454 e RB92579 no tratamento de 100% CP e em 91% e

41% em comparação com as mesmas variedades no tratamento de 40% CP (Tabela 2A). No entanto o efeito do tratamento sobre cada variedade mostrou diferença apenas na RB72454, a qual no tratamento de 40% CP teve uma redução de 39% frente ao tratamento de 100% CP.

A interação nematoide \times estresse hídrico mostrou que nas folhas das plantas sem nematoides ocorreu uma concentração de carboidratos menor que a com nematoide sob 100% CP, sendo isto invertido no tratamento de 40% CP. Houve um aumento na concentração de carboidratos na comparação dos tratamentos sem nematoide entre 100% para 40% CP, porém, sem ocorrer diferença estatística, enquanto para os tratamentos com nematoide um declínio na concentração de carboidratos em 33% foi verificado no tratamento de 40% CP (Tabela 3A).

Nas raízes, a concentração de carboidratos promoveu interação entre todos os fatores estudados, no qual foi verificado um aumento significativo na concentração deste soluto em quase todas nas plantas inoculadas com nematoide. Fato este comprovado principalmente no tratamento de 100% CP, onde todas as plantas com a presença de nematoides tiveram um aumento na concentração deste soluto em 91%, 108% e 66% respectivamente para as variedades RB72454, RB867515 e RB92579 respectivamente. Da mesma forma a variedade RB72454 no tratamento de 40% CP teve um aumento de 151% na concentração de carboidratos quando comparadas as sem nematoides (Tabela 1D).

Esse aumento nas raízes de carboidratos pode estar associado a uma busca de aumentar a concentração osmótica das células na tentativa promover uma maior entrada de água pela diferença de concentração ou esta ligada a compostos produzidos pelo nematoide ao penetrar nas raízes e na formação das galhas.

Na comparação entre as variedades foi mostrado diferença entre elas apenas no tratamento de 40% CP, sendo que nas plantas sem nematoide a RB72454 ficou cerca de 67% inferior enquanto nas plantas inoculadas a RB92579 ficou 51% as demais variedades (Tabela 1D).

A quantidade de aminoácidos produzidos nas folhas não foi alterada nas variedades RB867515 e RB92579, permanecendo constante em todos os tratamentos e com isso não apresentando diferença significativa. Exceção para a RB72454 onde as plantas sob deficiência hídrica apresentaram redução de aminoácidos, chegando a 45% quando comparando o controle (100% CP sem nematoide) com o tratamento mais estressado (40% CP com nematoide).

Não houve diferença nas concentrações de aminoácidos entre as variedades no tratamento de 100% CP, enquanto no de 40% CP a variedade RB72454 mostrou-se menor concentração de aminoácidos em torno de 43,5% e 46% em relação a RB92579 para os tratamentos sem nematoide ($20,01 \mu\text{mol.g}^{-1}\text{MF}$) e com nematoide ($19,33 \mu\text{mol.g}^{-1}\text{MF}$) respectivamente (Tabela 1E).

De forma semelhante como foi mostrado para as folhas, a concentração de aminoácidos nas raízes apenas mostrou diferença nos tratamentos de 40% CP entre as variedades. Sendo que quando as plantas que não estavam expostas a nematoides a variedade RB92579 acumulou $12,45 \mu\text{mol.g}^{-1}\text{MF}$, valor maior cerca de 2x e 107% em comparação aos valores obtidos pelas RB71454 e RB867515 respectivamente, enquanto que nas plantas inoculadas a mesma variedade RB92579 teve a concentração de aminoácidos menor em 70% quando comparadas as demais (Tabela 1F).

Os tratamentos influenciaram na quantificação de aminoácidos apenas na RB92579, reduzindo a quantidade acumulada em 69% quando comparado ao controle (100% CP sem nematoide) com o tratamento mais estressado (40% CP com nematoide).

O acúmulo de prolina foi mais evidenciado nas folhas quando as plantas foram submetidas à infestação de nematoides nas variedades RB72454 e RB867515 no tratamento de 100% CP. Com exceção da RB92579 que não houve diferença entre o acúmulo de prolina das plantas submetidas a 100% CP e 40% CP, para a RB72454 tiveram nas plantas com deficiência hídrica uma redução no acúmulo de prolina em torno de 47%. No entanto, na variedade RB867515 apenas o tratamento de 100% CP com nematoide diferiu dos demais sendo as plantas com deficiência hídrica inferior 56% (Tabela 1G).

Nas raízes o nível de prolina entre as variedades mudou apenas para o tratamento de 100% CP e 40% CP ambos sem nematoide, no quais as variedades RB92579 e RB72454 respectivamente tiveram uma redução no acúmulo de prolina na ordem de 38% e 56%.

RB72454 mostrou um menor acúmulo de prolina na raiz no tratamento de deficiência hídrica sendo menor cerca de 63% (tabela 1H). Diferente do que ocorreu nas folhas na variedade RB92579 no tratamento de 100% CP, as raízes inoculadas com nematoide tiveram um aumento na concentração de prolina em 89%, enquanto que no tratamento de 40% CP as plantas inoculadas tiveram uma redução de 56% na comparação às sem nematoides no mesmo tratamento.

A concentração de proteínas nas folhas mostra que a inoculação das plantas com nematoides, com exceção da variedade RB867515 no tratamento de 100%, independente de qual disponibilidade hídrica presente, resultou em redução da

concentração de prolina, caracterizando uma proteólise. Essa diminuição da concentração de proteína chegou no tratamento de 100% CP a 69% na RB72454 e a 16% na RB92579, enquanto nas plantas com baixa disponibilidade hídrica (40% CP) a redução foi de 53%, 18% e 28% na RB72454, RB867515 e RB92579 respectivamente.

Diferenças entre as variedades ocorreram apenas no tratamento de 100% CP com nematoide, sendo a RB867515 superior em quase 3x e 57%, respectivamente em relação a Rb72454 e RB92579 (Tabela 1I). Nas raízes a concentração de proteína diminuiu com o estresse hídrico, como exposto na Tabela 2B. As variedades tiveram reduções nas concentrações de proteína em 65%, 45% e 72% respectivamente no tratamento de 40% CP para as variedades RB72454, RB867515 e RB92579 quando comparadas ao de 100% CP. No tratamento de 40% CP a RB867515 foi a variedades que mais acumulou proteína, sendo superior em 97% em relação a RB92579 (Tabela 2B).

Na interação nematoide \times estresse hídrico, plantas com e sem nematoide apresentaram redução na concentração de proteína com a diminuição da disponibilidade hídrica, essa redução foi de 41% e 74% respectivamente para o tratamento sem e com nematoide. Dentro do tratamento de 100% CP, as plantas com nematoide tiveram um incremento na concentração de proteína em relação as sem nematoide em torno de 51,5% (Tabela 3B).

A capacidade de acúmulo de solutos compatíveis é uma resposta comum em organismos sob estresses, e vem sendo investigada, nos últimos anos, nos vegetais superiores (Hongbo et al., 2006; Queiroz et al., 2008; Cha-um & Kirdmanee, 2008). Esses solutos são moléculas que não interferem no metabolismo e se acumulam,

predominantemente, no citoplasma, onde têm a função de manter o turgor celular, além de estabilizar proteínas e estruturas.

Em condições de estresse, o metabolismo de aminoácidos é amplamente alterado, sendo a síntese de proteínas diminuída com consequente aumento na concentração de aminoácidos totais ou prolina (SODEK, 2004), fato observado neste estudo. Guimarães et al. (2008), estudando a cana-de-açúcar sob estresse biótico, não verificaram mudança na concentrações de prolina quando atacadas por *Mahanarva fimbriolata*.

O estresse hídrico e o ataque de *M. incognita* influenciaram o metabolismo da cana-de-açúcar, fazendo que a planta busque meios para a qual possa enfrentar estes estresses sem prejudicar seu crescimento, seja na forma de acúmulo de compostos de baixo peso molecular ou no aumento de clorofila para manter as taxas fotossintéticas.

Literatura Citada

BARTELS, D.; SUNKAR, R. 2005. Drought and salt tolerance in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 24 (1):23-58.

BATES, L. S. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Short communication, Plant and Soil*, 39: 205-207.

BRADFORD, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principles of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*. 72: 248-254.

CADET, P.; SPAULL, V. W. 2003. Effect of nematodes on the sustained production of sugarcane in South Africa. *Field Crops Research*, 83: 91-100.

CARNEIRO, R. M. D. G.; ALMEIDA, M. R. A. 2001. Técnica de eletroforese usada no estudo de enzima dos nematóides das galhas para identificação de espécies. *Nematologia Brasileira*, 25: 35-44.

CHA-UM, S.; KIRDMANEE, C. 2008. Effect of osmotic stress on proline accumulation, photosynthetic abilities and growth of sugarcane plantlets (*Saccharum officinarum* L.). *Pakistan Journal of Botany*, 40: 2541-2552.

DINARDO-MIRANDA, L. L. 1999. Reação de variedade cana-de-açúcar ao parasitismo de *Meloidogyne javanica* e de *M. incognita*. *Nematologia Brasileira*, 23 (2): 76-83.

DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A.; SMITH, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28: 350-356.

GUIMARÃES, E. R.; MUTTON, M. A.; MUTTON, M. J. R.; FERRO, M. I. T.; RAVANELI, G. C. SILVA, J. A. 2008. Free proline accumulation in sugarcane under water restriction and spittlebug infestation. *Science Agricola*. Piracicaba, Brasil, 65 (6): 628-633.

HONGBO, S.; ZONGSUO, L.; MINGAN, S. 2006. Osmotic regulation of 10 wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes at soil water deficits. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, Amsterdam, 47 (2): 132-139.

HUSSEY, R. S.; BARKER, K. R. A comparison of methods of collecting inocula of *Meloidogyne* spp., including a new technique. *Plant Disease Reporter*, 57: 1025-1028, 1973.

LICHTENTHALER, H. K., BUSCHMANN, C. 2001. Chlorophylls and carotenoids - Measurement and characterization by UV-VIS. In: *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. John Wiley & Sons, Madison, p. 431-438.

MONTEIRO, M. T. M.; GOMES, V. F. F.; MENDES FILHO, P. F.; GUIMARÃES, F. V. A. 2009. Absorção de nutrientes por mudas de pimentão micorrizado cultivado em substrato com pó de coco. *Revista Caatinga (Mossoró)*, 22 (2): 95-101.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; SANTOS, R. C.; BEZERRA NETO, E.; SANTOS, V. F. 1998. Comportamento fisiológico de duas cultivares de amendoim submetidas a diferentes regimes hídricos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 33 (12): 1963-1969.

QUEIROZ, R. J. B.; SANTOS, D. M. M.; CARLIN, S. D.; BANZATTO, D. A. 2008. Osmoprotetores em cana-de-açúcar sob efeito da disponibilidade hídrica no solo. *Científica, Jaboticabal*, 36 (2): 107-115.

SAS - Institute Inc. SAS/STAT 9.3 User's guide. Cary, NC: SAS Institute Inc. 2009.

SODEK, L. 2004. Metabolismo do nitrogênio. In: KERBAUY, G. B (ed). *Fisiologia vegetal*. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, p. 94-113.

SOUZA, C. C.; OLIVEIRA, F. A.; SILVA, I. F.; AMORIM NETO, M. S. 2000. Avaliação de métodos de determinação de água disponível e manejo da irrigação em terra roxa sob cultivo de algodoeiro herbáceo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 4 (3): 338-342.

YEMM, E. W.; COCKING, E. F. The determination of amino acids with ninhydrin. 1955. *Analyst*, 80: 209-213.

Tabela 1 - Teor de clorofila *a* (A), clorofila *b* (B) e clorofila total (C) (mg/g), carboidratos (CHO) em raízes (D), aminoácidos (AA) em folhas (E), aminoácidos (AA) em raízes (F), prolina (PL) em folhas (G), prolina (PL) em raízes (H), proteína (PT) folhas (I) ($\mu\text{mol.g}^{-1}\text{MF}$) e carotenoides (J) (mg/g) em plantas de cana-de-açúcar submetidas a dois tratamentos hídricos e presença de *Meloidogyne incognita*. Médias seguidas por letras iguais, minúsculas entre variedades e maiúsculas entre tratamentos, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Variedades	Tratamentos				Tratamentos				Tratamentos				Tratamentos							
	100% CP		40% CP		100% CP		40% CP		100% CP		40% CP		100% CP		40% CP		100% CP		40% CP	
	SN	CN	SN	CN	SN	CN	SN	CN	SN	CN	SN	CN	SN	CN	SN	CN	SN	CN	SN	CN
A) Clorofila <i>a</i>					B) Clorofila <i>b</i>				C) Clorofila Total				D) CHO Raízes				E) AA Folhas			
RB72454	2,39 aA	2,28 aA	1,81 abA	2,34 aA	0,76 bA	0,76 bA	0,73 bA	0,84 bA	3,15 aA	3,04 aA	2,53 bA	3,18 aA	14,62 aBC	27,94 aA	7,26 bC	18,24 aB	19,00 aA	15,20 aAB	11,30 bB	10,46 bB
RB867515	1,26 bA	1,73 aA	1,41 bA	1,33 bA	1,18 aB	1,51 aA	1,77 aA	1,69 aA	2,45 aA	3,24 aA	3,08 abA	3,10 aA	13,57 aC	28,31 aA	23,48 aAB	18,75 aBC	14,00 aA	17,71 aA	16,14 abA	14,04 abA
RB92579	1,75 abAB	1,88 aAB	2,33 aA	1,60 bB	1,12 abB	1,67 aA	1,01 bB	1,08 abB	2,70 aA	3,46 aA	3,37 aA	2,68 aA	18,95 aB	31,46 aA	20,84 aB	9,01 bC	19,36 aA	16,10 aA	20,01 aA	19,33 aA
CV =	15,76				14,31				11,19				13,12				13,06			
F) AA Raízes					G) PL Folhas				H) PL Raízes				I) PT Folhas				J) Carotenóides			
RB72454	4,58 aA	5,67 aA	4,15 bA	6,08 aA	0,127 aA	0,154 aA	0,067 bB	0,065 aB	0,116 aA	0,107 aAB	0,066 bB	0,081 aAB	1934,28 aA	605,40 cB	2264,63 aA	1058,00 aB	0,344 a			
RB867515	4,51 aA	6,42 aA	6,01 bA	6,85 aA	0,091 aB	0,171 aA	0,115 abB	0,077 aB	0,105 aA	0,101 aA	0,113 aA	0,091 aA	1433,48 aB	2419,59 aA	1948,88 aAB	1597,03 aB	0,072 b			
RB92579	6,41 aB	8,79 aB	12,45 aA	1,96 bC	0,108 aA	0,098 bA	0,120 aA	0,103 aA	0,068 bB	0,129 aA	0,124 aA	0,054 aB	1828,43 aA	1539,23 bA	1660,30 aA	1187,84 aA	0,145 b			
CV =	17,92				15,67				15,89				16,44							

Tabela 2 - Quantificação de carboidratos (CHO) em folhas (A) e proteína (PT) em raízes (B) ($\mu\text{mol.g}^{-1}\text{MF}$) de três variedades de cana-de-açúcar submetidas a dois tratamentos hídricos. Médias seguidas por letras iguais, minúsculas entre variedades e maiúsculas entre suprimento hídrico, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Variedades	Tratamentos Hídricos	
	100% CP	40% CP
A) CHO Folhas		
RB72454	63,67 bA	38,98 cB
RB867515	79,61 aA	74,46 aA
RB92579	54,55 bA	52,91 bA
CV = 12,22		
B) PT Raízes		
RB72454	248,49 aA	85,79 abB
RB867515	212,26 aA	117,44 aB
RB92579	213,29 aA	59,56 bB
CV = 13,91		

Tabela 3 - Quantificação de carboidratos (CHO) em folhas (A) e proteína (PT) em raízes (B) ($\mu\text{mol.g}^{-1}\text{MF}$) submetidas a dois níveis de infestação por *Meloidogyne incognita*. Médias seguidas por letras iguais de letras iguais, minúsculas entre inoculação e maiúsculas entre suprimento hídrico, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

<i>M. incognita</i>	Tratamentos Hídricos	
	100% CP	40% CP
A) CHO Folhas		
Sem Nematóide	60,51 bA	63,24 aA
Com Nematóide	71,37 aA	47,67 bB
CV = 12,27		
B) PT Raízes		
Sem Nematóide	178,66 bA	105,28 aB
Com Nematóide	270,70 aA	69,91 aB
CV = 13,91		