

CARMEM CRISTINA MARECO DE SOUSA

**INFLUÊNCIA DO ESTRESSE HÍDRICO E DA COMPACTAÇÃO DO
SOLO NA ASSOCIAÇÃO NEMATÓIDE, FUNGOS MICORRÍZICOS
ARBUSCULARES E RIZOBACTÉRIAS**

**RECIFE
PERNAMBUCO – BRASIL
2013**

CARMEM CRISTINA MARECO DE SOUSA

**INFLUÊNCIA DO ESTRESSE HÍDRICO E DA COMPACTAÇÃO DO
SOLO NA ASSOCIAÇÃO NEMATÓIDE, FUNGOS MICORRÍZICOS
ARBUSCULARES E RIZOBACTÉRIAS**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de Doutor.

Orientadora

Profa. Elvira Maria Regis Pedrosa, Ph D.

Co-Orientadora

Profa. Uided Maaze Tiburcio Cavalcante, Dra.

**RECIFE
PERNAMBUCO – BRASIL
2013**

Ficha catalográfica

S725i Sousa, Carmem Cristina Mareco de
 Influência do estresse hídrico e da compactação do solo na
 associação nematóide, rizobactérias e fungos micorrízicos
 arbusculares / Carmem Cristina Mareco de Sousa. – Recife, 2013.
 137 f. : il.

 Orientadora: Elvira Maria Regis Pedrosa.
 Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade
 Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Tecnologia Rural,
 Recife, 2013.

 Referências.

 1. Feijão caupi 2. Meloeiro 3. Cana-de-açúcar 4. Vinhaça
 5. Compactação 6. Nematóide I. Pedrosa, Elvira Maria Regis,
 orientadora II. Título

CDD 630

CARMEM CRISTINA MARECO DE SOUSA

INFLUÊNCIA DO ESTRESSE HÍDRICO E DA COMPACTAÇÃO DO SOLO NA ASSOCIAÇÃO NEMATÓIDE, FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E RIZOBACTÉRIAS

Tese defendida e aprovada em 20 de fevereiro de 2013 pela banca examinadora

Orientadora: _____

Prof^a Elvira Maria Regis Pedrosa, Ph D.
DTR/UFRPE

Examinadores: _____

Prof^a. Uided Maaze Tiburcio Cavalcante , Dra. (DM/UFPE)

Prof. Ênio Farias França Farias e Silva, Dr. (DTR/UFRPE)

Prof^a Lilia Gomes Willadino, Dra. (DB/UFRPE)

Prof^a. Lilian M. Paes Guimaraes, Dra. (DFCA/UFPB)

**RECIFE
PERNAMBUCO – BRASIL
2013**

À Deus, pela dádiva da vida, pelo amor e pela força para superar todas as etapas da
minha caminhada;

Ao meu marido, João Valdenor Pereira Filho, pelo companheirismo, amor, ajuda e
compreensão nessa etapa de minha vida;

A minha filha Ana Clara, por tanta felicidade;

Aos meus pais e minhas irmãs, pelo apoio e dedicação;

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me acompanhar e me orientar em todos os momentos de minha vida.

Ao meu esposo, João Valdenor Pereira Filho, por está sempre ao meu lado e por me ajudar na montagem, colheita e análises de praticamente toda a pesquisa.

À minha orientadora Elvira Maria Regis Pedrosa pela dedicação, compreensão e experiência acadêmica e de vida transmitida com paciência e esmero.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco – FACEPE pela concessão da bolsa de estudo e formação profissional.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação de Engenharia Agrícola e a Professora Uided Maaze Tiburcio Cavalcante da Universidade Federal de Pernambuco pela co-orientação, ajuda e formação profissional.

Aos Laboratórios de Micorrizas da Universidade Federal de Pernambuco, Cultura de Tecido, Mecânica do Solo e Aproveitamento de Resíduo, Fitonematologia, Bacteriologia Vegetal e de Química Vegetal da Universidade Federal Rural de Pernambuco pelo espaço e ajuda nas análises.

Aos funcionários Francisco Wellington de Oliveira Carneiro, Adelmo Adriano de Salgado, Sandra Maranhão, Lílian Guimarães, Luiz Coelho da Silva e “Seu Luiz” pela ajuda e companheirismo durante o andamento da pesquisa.

À todos os colegas do curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, a todos os colegas do Laboratório de Micorriza do Departamento de Biologia da UFPE, a todos os colegas do Laboratório de Cultura de Tecido e a todos os colegas do Laboratório de Fitonematologia pelo companheirismo, auxílio nos momentos difíceis e colaboração em várias etapas da pesquisa e durante o período de estudo.

E a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho. Muito Obrigada!

RESUMO

O objetivo da tese foi avaliar os efeitos da deficiência hídrica e do solo compactado sobre a interação planta × microbiota do solo (fungos arbusculares micorrízicos, rizobactérias promotora de crescimento de plantas e nematoides de galhas) nas culturas do feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), meloeiro (*Cucumis melo* L.) e cana-de-açúcar (*Saccharum* L.). Foram realizados cinco experimentos em casa de vegetação. No primeiro experimento, foi avaliado o crescimento e aspectos bioquímicos do feijoeiro caupi cultivar EPACE-10 submetido a estresse hídrico e parasitismo de *Meloidogyne incognita*. No segundo experimento, avaliou-se o efeito da interação estresse hídrico × *Bacillus* sp. ENM51 × *M. incognita* sobre variáveis de crescimento da planta, enzimas e teores de fósforo e nitrogênio do meloeiro amarelo cultivar Gold Mine. No terceiro experimento, foi estudado o efeito de quatro níveis de compactação no solo no desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar variedade RB 863129 parasitada por *M. incognita*. No quarto experimento, avaliou-se o efeito de níveis de estresse hídrico no solo e dos fungos micorrízicos arbusculares (FMA) *Claroideoglossum etunicatum*, *Gigasporas rosea*, *Acaulospora longula* e *Fuscutata heterogama* no desenvolvimento vegetativo inicial, produção de biomassa fresca e seca, colonização micorrízica, teores de fósforo, proteínas, enzimas e aminoácido da cana-de-açúcar variedade RB 857515. E no quinto, foram avaliados efeitos da interação estresse hídrico (100 e 50% da capacidade do pote) × *Meloidogyne incognita* × FMA (mistura de *C. etunicatum*, *G. rosea*, *A. longula* e *F. heterogama*) no desenvolvimento vegetativo, produção de biomassa, e multiplicação do fungo e do nematoide em cana-de-açúcar variedade RB 863129. O nível de estresse hídrico aplicado (50% da capacidade do pote) diminuiu a reprodução de *M. incognita* em feijoeiro caupi. O parasitismo de *M. incognita* potencializou o estresse hídrico induzindo aumento de proteína solúvel na planta. As respostas das enzimas oxidativas ao estresse hídrico e parasitismo de *M. incognita* foram variáveis. A peroxidase não foi afetada, a atividade da catalase foi diminuída pelo parasitismo do nematoide, a da ascorbato peroxidase foi diminuída pelo estresse hídrico e a da polifenoloxidase foi diminuída pelo estresse hídrico e/ou parasitismo de *M. incognita*. Em meloeiro, o nematoide diminuiu o comprimento e as biomassas fresca e seca da haste, a biomassa fresca total e o número de folhas e de flores do meloeiro amarelo. Além disso, *Bacillus* sp. diminuiu a reprodução do nematoide e o número de galhas. Em cana-de-açúcar, o aumento dos níveis de compactação do solo de 1,65 g cm⁻³ para 1,82 g cm⁻³ proporcionou redução na multiplicação de *M. incognita* e aumento no

comprimento do colmo da variedade RB 863129, mas não afetou as outras variáveis de desenvolvimento planta. O nível de estresse hídrico de 50% CP diminuiu o diâmetro do colmo, a biomassa fresca da parte aérea e raiz da cana-de-açúcar variedade RB 857515, como também os FMA no solo e raiz da planta. Entretanto, os FMA e o nível de estresse hídrico de 50% CP, isoladamente ou em conjunto, não afetaram a altura da planta, número de folhas, matéria seca e teores de fósforo, proteínas solúveis totais, catalase, ascarbato peroxidase, polifenoxidase, peroxidase e prolina da cana-de-açúcar. Tanto o estresse hídrico como o *M. incognita* diminuíram o crescimento vegetativo e a produção de biomassa fresca e seca da cana-de-açúcar variedade RB 863129. Os FMA aumentaram a biomassa fresca do colmo e raiz da cana-de-açúcar. O estresse hídrico aumentou as populações de FMA no solo e raiz. Os FMA diminuíram o número de galhas e o número de ovos de *M. incognita* nas raízes. Tanto o estresse hídrico como *M. incognita* reduziram a atividade da enzima ascorbato peroxidase na cana-de-açúcar, mas o nematoide aumentou as concentrações de polifenoxidase e de proteína solúvel na planta. O estresse hídrico reduziu os teores de P das folhas, mas os FMA aumentam os teores de P no colmo, contudo o aumento de P promovido pelos FMA não ocorreu sob estresse hídrico. As atividades das enzimas catalase e peroxidase e do aminoácido prolina não foram afetados pelo estresse hídrico, *M. incognita* e/ou FMA, 45 dias após a inoculação do nematoide.

Palavras-chaves: *Bacillus*, biomassa, *Cucumis melo*, enzimas, *Meloidogyne*, *Saccharum*, *Vigna unguiculata*

ABSTRACT

The thesis objective was evaluating effects of drought stress and soil compaction on plant × soil micro biota interaction (arbuscular mycorrhizal fungi, plant growth-promoting bacteria and root-knot nematode) in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), meloeiro (*Cucumis melo* L.) e cana-de-açúcar (*Saccharum* L.). It was carried out five experiments under greenhouse. In the first experiment, it was evaluated the development and biochemical aspects of cowpea cultivar EPACE-10 submitted to drought stress (50 and 100% pot capacity) and *Meloidogyne incognita* parasitism. In the second experiment, it was evaluated the drought stress × *Bacillus* sp. ENM51 × *M. incognita* interaction on melon cultivar Gold Mine through plant growth variables, enzymes activity and phosphorus and nitrogen contents. In the third study, it was evaluated the effect of four soil compaction levels on the initial development of sugarcane variety RB 863129 under *M. incognita* parasitism. In the fourth one, the effect of soil drought stress and the arbuscular mycorrhizal fungi (FMA) *Claroideoglossum etunicatum*, *Gigasporas rosea*, *Acaulospora longula* and *Fuscutata heterogama* on sugarcane variety RB857515 initial vegetative development, fresh and dry biomass production, mycorrhizal colonization, enzymes activity and phosphorus, protein and amino acid contents were evaluated. And, in the fifth study, it was evaluated the effects of drought stress × *M. incognita* × FMA (*C. etunicatum*, *G. rosea*, *A. longula* and *F. heterogama*) interaction on vegetative initial development, biomass production, nematode and fungi multiplication, and physiological activity of sugarcane variety RB863129. The hydro stress level (50% pot capacity) decreased nematode reproduction on cowpea. The *M. incognita* parasitism potentiated the drought stress increasing soluble protein level. Oxidative enzyme responses to either hydro stress or *M. incognita* parasitism were variable. Peroxidase was not affected, catalase decreased with nematode parasitism, ascorbate peroxidase decreased with hydro stress and polyphenol oxidase decreased with hydro stress and/or *M. incognita* parasitism. In melon, nematode decreased haste length, haste fresh and dry biomasses, total plant fresh biomass, leaf and flower numbers; *Bacillus* sp. decreased nematode reproduction and gall number. In sugarcane, the increasing in soil compaction level from 1.65 g cm⁻³ to 1.82 g cm⁻³ decreased *M. incognita* reproduction and increased stalk length of the variety RB 863129, but it did not affect the other plant development variables. The 50% CP drought stress level decreased RB 857515 stalk diameter, fresh shoot and root biomass and FMA in soil and roots. The FMA and the 50% CP drought stress, isolated or in association, did not affect plant height, leaves number and dry plant biomass as well the phosphorus, total soluble proteins,

catalase, ascorbate peroxidase, polyphenol oxidase, peroxidase, and proline contents in the variety RB857515. Either drought stress or *M. incognita* decreased initial vegetative development and fresh and dry biomass production of the variety RB 863129. The FMA increased fresh stalk and root biomass. Hydro stress increased FMA population in soil and roots. The FMA decreased gall and nematode numbers in roots. Either drought stress and *M. incognita* decreased ascorbate peroxidase contents in sugarcane, but the nematode increased polyphenol oxidase and total soluble protein in plant. Drought stress decreased P content in leaves but FMA increased P content in stalk, however, the increase in P promoted by the FMA did not occur under hydro stress. Catalase, peroxidase and proline levels were not affected by hydro stress, *M. incognita* and/or FMA, 45 days after nematode interaction.

Keywords: *Bacillus*, biomass, *Cucumis melo*, enzyme, *Meloidogyne*, *Saccharum*, *Vigna unguiculata*

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	1
CAPÍTULO 1:	
1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
1.1. Importância da deficiência hídrica na agricultura	2
1.2. Atividade fisiológica das plantas submetidas à deficiência hídrica	3
1.3. Atividade enzimática das plantas sob deficiência hídrica	3
1.4. Enzimas Oxidativas	6
1.4.1. Catalase	6
1.4.2. Peroxidase	6
1.4.3. Ascorbato peroxidase	7
1.5. Prolina	8
1.6. Adaptação das plantas a compactação do solo	9
1.7. Atividade microbiana no solo	10
1.7.1. Nematóide de galhas	11
1.7.2. Atividade rizobacteriológica nas plantas	12
1.7.3. Atividade dos fungos arbusculares micorrízicos nas plantas	13
2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16
	29
CAPÍTULO 2: Crescimento e respostas enzimáticas do feijoeiro caupi na interação entre estresse hídrico e nematóide de galhas	
RESUMO	29
ABSTRACT	29
INTRODUÇÃO	30
MATERIAL E MÉTODOS	32
RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
CONCLUSÕES	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

CAPÍTULO 3: Efeito da interação estresse hídrico × <i>Bacillus</i> sp. × <i>Meloidogyne incognita</i> no crescimento e componentes bioquímicos do meloeiro	47
RESUMO	47
ABSTRACT	47
INTRODUÇÃO	48
MATERIAL E MÉTODOS	49
RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
CONCLUSÕES	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
	71
CAPÍTULO 4: Efeito da compactação no solo no desenvolvimento inicial de plantas de cana-de-açúcar parasitadas por <i>Meloidogyne incognita</i>	
RESUMO	71
ABSTRACT	71
INTRODUÇÃO	72
MATERIAL E MÉTODOS	74
RESULTADOS E DISCUSSÃO	77
CONCLUSÕES	80
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
	87
CAPÍTULO 5: Efeito do estresse hídrico e fungos micorrízicos arbusculares no desenvolvimento inicial e componente químicos da cana-de-açúcar	
RESUMO	87
ABSTRACT	87
INTRODUÇÃO	88
MATERIAL E MÉTODOS	90
RESULTADOS E DISCUSSÃO	93
CONCLUSÕES	98
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98

CAPÍTULO 6: Efeito do estresse hídrico, <i>Meloidogyne incognita</i> e fungos micorrízicos arbusculares no desenvolvimento inicial e atividade fisiológica da cana-de-açúcar	107
RESUMO	107
ABSTRACT	107
INTRODUÇÃO	108
MATERIAL E MÉTODOS	109
RESULTADOS E DISCUSSÃO	113
CONCLUSÕES	122
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	123
CONSIDERAÇÕES FINAIS	132

INTRODUÇÃO GERAL

Muitas pesquisas do início do século XX focaram no crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas, como também nas respostas das plantas ao déficit hídrico, compactação e biomassa microbiana do solo (rizobactérias promotoras de crescimento de plantas, nematoides de galhas e fungos micorrízicos arbusculares). Contudo, o desenvolvimento agrícola depende fortemente da disponibilidade de água, cuja oferta é baixíssima em regiões áridas e semiáridas. Nessas regiões há queda na produção agrícola familiar devido, principalmente, à alta incidência de períodos de estiagem, à degradação do solo e à deficiência de nutrientes. Esse quadro ressalta a necessidade de programas que incentivem o desenvolvimento de sistemas de produção sustentáveis e de baixo custo tecnológico, especialmente com plantas já adaptadas.

O potencial genético de tolerância da cultura à seca ou ao grau de compactação solo, em muitos casos está associado às características do sistema radicular. Por outro lado, a comunidade microbiana do solo pode fornecer mecanismos para melhorar a produtividade agrícola dessas culturas, mudando o enfoque convencional para uma abordagem sustentável. A difusão do conceito de qualidade do solo vem ganhando espaço entre pesquisadores e agricultores. Entretanto, embora estudos com a comunidade microbiana do solo sejam intensos em regiões temperadas, são relativamente recentes em regiões subtropicais e tropicais.

Considerando a importância dos efeitos do clima semiárido na microbiota do solo e no vigor e sobrevivência das culturas, estudos sobre as respostas morfológicas e fisiológicas de culturas de expressão econômica e social para o nordeste brasileiro é fundamental para adoção de estratégias de manejo eficientes, de baixo custo e de baixo impacto ambiental.

CAPÍTULO 1

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1. Importância da deficiência hídrica na agricultura

A seca, por outro lado, é um fenômeno freqüente e característico do nosso país, principalmente nas regiões semiáridas e áridas, que apresentam intensidade e efeitos variáveis no espaço e no tempo. Uma vez que a seca é desencadeada por persistente ausência de pluviometria significativa, onde a variabilidade espacial da precipitação torna muito mais freqüente às ocorrências de fenômenos regionais de seca (MENESES et al., 2006), e devido à redução dessa disponibilidade de água nos solos, há uma grande influência na sobrevivência e adaptação das espécies vegetais neste ambiente (FIGUEIRÔA et al., 2004).

Estudos da resposta das plantas à deficiência hídrica são favoráveis e importantes para o aumento da produção agrícola, mesmo nas áreas de máxima produtividade (BRUCE et al., 2002), sobretudo em áreas marginais para a agricultura (PAYNE, 2000; WINKEL et al., 2001). Acredita-se, também, que os genótipos de plantas selecionados em regiões secas são mais tolerantes à desidratação do que aqueles selecionados em regiões úmidas (PIMENTEL, 2004).

Entre os vários fatores limitantes da produção vegetal, a deficiência hídrica ocupa posição de destaque, pois além de afetar as relações hídricas nas plantas, alterando-lhes o metabolismo, é fenômeno que ocorre em grandes extensões de áreas cultiváveis (NOGUEIRA et al., 2001); ocasiona mudanças na partição dos carboidratos no interior da planta, condicionando as plantas a desenvolver mecanismos de adaptação e resistência. Os efeitos do ambiente no crescimento, desenvolvimento e produtividade vegetal são essenciais à avaliação dos efeitos desses fatores nos diversos processos fisiológicos do crescimento das espécies de importância econômica e ecológica, visto que a deficiência hídrica aumenta a resistência difusiva ao vapor d'água, mediante fechamento dos estômatos, aceleração da senescência e a abscisão das folhas, reduzindo o rendimento da transpiração, o suprimento de CO₂ para a fotossíntese, a expansão celular (área foliar) e a condutância estomática e, conseqüentemente na acumulação de matéria seca (SOUZA et al., 2001; CABRAL et al., 2004; PIMENTEL, 2004; TAIZ; ZEIGER, 2009), acentua o crescimento de raízes, aumenta a resistência ao fluxo

de água e a disposição de cera na folha, e altera a dissipação de energia das folhas (TAIZ; ZEIGER, 2009).

1.2. Atividade fisiológica das plantas submetida à deficiência hídrica

O déficit hídrico pode ser definido como todo conteúdo de água de um tecido ou célula situado abaixo do conteúdo de água mais alto exigido no estado de maior hidratação. Quando esse estresse apresenta evolução suficientemente lenta para permitir mudanças nos processos de desenvolvimento da planta, este tem vários efeitos sobre o crescimento e desenvolvimento morfofisiológico das plantas. Contudo, o estresse provocado por déficit hídrico leva a expressão de conjuntos de genes envolvidos na aclimação e adaptação ao estresse. Esses genes atuam como mediadores de muitas respostas celulares e de toda a planta. Além disso, a deficiência hídrica, muitas vezes está associada à salinidade na biosfera das raízes e ao estresse por calor nas folhas, resultando, assim, na diminuição do esfriamento evaporativo devido à baixa transpiração (TAIZ; ZEIGER, 2009).

A resposta mais proeminente das plantas à deficiência hídrica consiste no decréscimo da produção da área foliar, do fechamento dos estômatos, da aceleração da senescência, da turgescência, da taxa fotossintética e da abscisão das folhas (PIMENTEL, 2004; TAIZ; ZEIGER, 2009).

Segundo Miller et al. (2010), a deficiência hídrica, especialmente sob alta intensidade de luz ou em combinação com outros tipos de estresse, afeta a fotossíntese e aumenta a fotorespiração, alterando a homeostase das células e causando um aumento na produção das espécies reativas de oxigênio (ROS). A seca e o calor causam danos significativos à integridade da membrana celular e na peroxidação lipídica, a combinação destes aumenta as perturbações fisiológicas das plantas, a exemplo da assimilação fotossintética de CO₂ e atividade fotoquímica (SILVA et al., 2010). Assim, o estudo das enzimas que regulam a ação antioxidante dentro das células vegetais ganhou ainda mais notoriedade.

1.3. Atividade enzimática das plantas sob deficiência hídrica

As plantas frequentemente estão expostas a estresses bióticos e abióticos que prejudicam o crescimento e a produtividade. Estes estresses desencadeiam várias respostas,

desde alterações na expressão gênica e metabolismo celular até variações na taxa de crescimento e produção de biomassa (PIMENTEL, 2004; TAIZ; ZEIGER, 2009).

O estresse oxidativo estimula a biossíntese de componentes antioxidantes e aumenta a atividade de enzimas antioxidantes. Contudo, no início do estresse, pode haver redução de algumas atividades antioxidantes, contribuindo para um aumento de espécies reativas de oxigênio (ROS). Enzimas que protegem as células e compartimentos sub celulares vegetais dos efeitos citotóxicos das ROS influenciam diversas reações envolvidas na sinalização de defesa vegetal. Suas concentrações e atividades relacionam-se a muitos processos fisiológicos envolvidos em mecanismos de sinalização celular na defesa vegetal ou no estresse oxidativo (SOARES; MACHADO, 2007), sendo crucial não só para compreender os processos metabólicos oxidação-redução das plantas como, também, as relações entre a homeostase celular e, o crescimento e desenvolvimento destas (FOYER; NOCTOR, 2009).

As ROS são formas reduzidas de oxigênio atmosférico, que normalmente resultam da excitação do O_2 para formar oxigênio singlete (O_2^1) ou a partir da transferência de um, dois ou três elétrons para O_2 para formar, respectivamente, um radical superóxido (O_2^-), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) ou um radical hidroxila (OH^-) (MITTLER, 2002).

A oxidação é parte fundamental da vida e do próprio metabolismo aeróbico. Os radicais livres são produzidos naturalmente ou por alguma disfunção biológica. O oxigênio é necessário para o crescimento normal, mas, inevitavelmente, leva à formação de ROS em processos metabólicos aeróbicos, como a respiração e a fotossíntese (JENKS; HASEGAWA, 2006; BHATTACHARJEE, 2010). As enzimas catalase, peroxidase e ascarbato peroxidase são enzimas que respondem ao processo oxidativo, o qual é consequência de qualquer estresse da planta seja biótico ou abiótico, já que as plantas amenizam os efeitos citotóxicos das ROS pela ação de enzimas antioxidantes (MITTLER, 2002; KIM; KWAK, 2010; DINAKARA et al., 2012).

Essas enzimas são proteínas que catalisam reações químicas e contribuem praticamente com toda a enorme variedade de reações bioquímicas que constituem a vida, portanto são essenciais para a manutenção adequada de qualquer organismo (NELSON; COX, 2004; VOET; VOET, 2006). Essas moléculas estão presentes em diferentes compartimentos celulares e eliminam ROS em plantas sob condições fisiológicas normais o que confere um estágio de homeostase redox no sistema. Desequilíbrio entre a produção de ROS e os componentes do sistema antioxidante pode ocorrer em plantas sob influência de estímulos

ambientais adversos, causando o acúmulo de ROS e como consequência, estresse oxidativo (BHATTACHARJEE, 2010).

Os processos metabólicos dependentes do oxigênio como respiração aeróbica, fotossíntese e fotorrespiração levam a produção de ROS em cloroplastos, mitocôndrias e peroxissomos, esse evento pode ser agravado com a imposição de condições de estresses biótico e abióticos (BHATTACHARJEE, 2010; MILLER et al., 2010). Em plantas sob condição de estresse ambiental como, alta intensidade de luz, seca, temperaturas extremas ou altos níveis de salinidade, o equilíbrio entre a produção de ROS e a atividade dos antioxidantes é desfavorecido, resultando em danos oxidativos (AHMAD et al., 2008). Trewavas (2000) conceitua o estresse como uma alteração nas condições adequadas ao crescimento e desenvolvimento normal de um organismo. Além disso, o estresse biótico ou abiótico resulta na superprodução de ROS, causando uma tensão oxidativa nas células vegetais que promove dano oxidativo de estruturas celulares (BHATTACHARJEE, 2010; GUIDI; DEGL'INNOCENTI, 2011).

Estresses abióticos são muitas vezes os principais impedimentos para o crescimento de plantas e a produção das culturas (JENKS; HASEGAWA, 2006). A adaptação e a aclimação das plantas ao estresse ambiental resultam de eventos integrados que ocorrem em vários níveis de organização, incluindo o celular, o bioquímico e o molecular (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Acredita-se que as enzimas do sistema antioxidativo estejam envolvidas com os principais mecanismos de tolerância das plantas a estresses ambientais. Por isso, a ação das enzimas antioxidantes é de fundamental importância para evitar danos a nível celular. Plantas tolerantes possuem a capacidade de reduzir a produção de ROS, ou aumentar a desintoxicação ou reparação de danos provocados pelas ROS. Quando a geração de ROS ultrapassa a capacidade de eliminação das mesmas mediante as defesas celulares envolvidas, então ocorre o estresse oxidativo (MEHDY et al., 1996), podendo inclusive levar a célula à morte (BUCHANAN et al., 2000).

1.4. Enzimas Oxidativas

1.4.1. Catalase

A catalase (CAT) é uma das principais enzimas na eliminação de H_2O_2 gerado durante a fotorrespiração e β -oxidação dos ácidos graxos, atua nos peroxissomos, glioxissomos e citosol, e pode ser encontrada também em mitocôndrias, convertendo H_2O_2 à H_2O e oxigênio (PERL-TREVES; PERL, 2002; HELDT; HELDT, 2005; DUBEY, 2010).

As plantas possuem várias isoformas de CAT as quais podem dismutar diretamente o H_2O_2 ou oxidar substratos, tais como metanol, etanol, formaldeído e ácido fórmico (BREUSEGEM et al., 2001). Segundo Wassmann et al. (2004), a CAT é considerada uma enzima com ação indireta na detoxificação de superóxido devido a sua participação na eliminação do H_2O_2 formado pela SOD, que são metalo-enzimas que podem também agir na redução do risco de formação do radical hidroxila a partir do superóxido. Portanto, desempenham um papel chave na proteção contra estresses oxidativos (DUBEY, 2010; DINAKARA, et al., 2012).

A catalase e o ciclo do ascorbato-glutationa são importantes na eliminação do H_2O_2 e, apesar de suas propriedades e requisitos serem diferentes, eles podem funcionar efetivamente em paralelo. Como a CAT degrada o H_2O_2 sem qualquer poder redutor, esta enzima fornece às plantas uma forma energeticamente eficiente para remover estas moléculas (DAT et al., 2000). A atividade da CAT é efetiva apenas em concentrações relativamente altas de H_2O_2 (mM) (MITTLER, 2002; GECHEV et al., 2006; DUBEY, 2010).

1.4.2. Peroxidase

A peroxidase (POD - peróxido de hidrogênio oxidoreductase) existe em muitas isoformas e está envolvida em uma série de processos celulares, nos quais algumas são constitutivamente expressas (SOUZA et al., 2002; BERNARDS et al., 2004).

Em plantas, localizam-se principalmente na parede celular e no vacúolo. Quando presentes no apoplasto, participam na formação de ligninas na parede secundária das células vegetais durante o seu crescimento normal na polimerização de monolignóis (CARPITA; McCANN, 2000; RADIC et al., 2006; LOCATO et al., 2010, KIM; KWAN, 2010). A POD está envolvida na deposição de lignina e suberina, catabolismo de auxinas, biossíntese e

metabolismo secundário e defesa contra a penetração de patógeno podendo ser também ativadas na parede celular durante a diferenciação de células (LOCATO et al., 2010).

A POD pode ser utilizada como marcador bioquímico tanto na identificação precoce de processos morfogênicos durante a diferenciação celular, crescimento e multiplicação de plantas, bem como no estresse resultante de fatores bióticos e abióticos (LIMA et al., 2002; PIZA et al., 2003; LOCATO, 2010; KIM; KWAN, 2010), que podem ser induzidas em resposta à infecção, dano ou predação (SOARES; MACHADO, 2007). Ela utiliza o H_2O_2 como oxidante e compostos de natureza fenólica como doadores de elétrons. O H_2O_2 formado pela ação da SOD pode ser eliminado pela CAT, APX ou POD (LOCATO et al., 2010). Conferindo também a esta enzima o seu envolvimento com a limpeza do H_2O_2 mediante o estresse oxidativo específico.

1.4.3. Ascorbato peroxidase

A ascorbato peroxidase (APX) é uma enzima que contém ferro no seu grupo heme prostético e pode ser encontrada em várias isoformas nos diferentes compartimentos celulares: citosol, mitocôndria, peroxissomos, cloroplastos (estroma e ligadas às membranas dos tilacóides) (DABROWSKA et al., 2007; FOYER; NOCTOR, 2009; FERNANDEZ-GARCIA et al., 2010). Assim como a CAT, a APX também participa da detoxificação do H_2O_2 reduzindo-o a H_2O em plantas. Contudo, a detoxificação pela APX ocorre com a oxidação de ascorbato, reação que resulta em monodeidroascorbato (MDHA) e H_2O . A regeneração do ascorbato é mediada pela monodeidroascorbato redutase (MDHAR) utilizando NAD(P)H como equivalente redutor (FOYER, NOCTOR, 2009).

Entre as enzimas do sistema antioxidativo, a APX é uma das principais na eliminação rápida H_2O_2 , agindo na prevenção de danos celulares oxidativos em plantas. Por causa da sua alta afinidade com o substrato, ela atua na modulação fina do H_2O_2 quando essas moléculas se encontram em baixas concentrações, enquanto que a CAT, atua na remoção do excesso de H_2O_2 , uma vez que apresenta menor afinidade com a molécula, agindo, portanto, em plantas sob altos níveis de estresse (MITTLER, 2002; LOCATO et al., 2010). Neste sentido, o balanço entre as enzimas do sistema antioxidante APX e CAT é útil na determinação do nível de radicais superóxido e do peróxido de hidrogênio (MITTLER, 2002).

1.5. Prolina

Outro composto citado na literatura para auxiliar na tolerância aos efeitos oxidativos dos estresses abióticos, tanto hídricos como da salinidade nas plantas, é a prolina, estabilizando a estrutura das macromoléculas e organelas, apesar de ser um aminoácido. O acúmulo de prolina, quando as plantas entram em déficit de água associado com a tolerância das plantas a essa condição desfavorável, pode representar um mecanismo regulador da perda de água, mediante aumento da osmolaridade celular (potencial hídrico). Isso tem sido relatado e estudado desde 1954 por vários autores, já que uma das mais bem estudadas respostas das plantas a deficiência hídrica é a acumulação de prolina nas células (GIRIJA et al., 2002).

A acumulação desse aminoácido é resultado do aumento no fluxo de glutamato, que é metabolizado pela Pirrolina-5-Carboxilato Sintetase (P5CS), enzima que regula a taxa de biossíntese de prolina (HARE; CRESS, 1997). A prolina em células vegetais submetidas a estresse hídrico tem sido sugerida como um mecanismo de ajuste osmótico (DELAUNEY; VERMA, 1993) e proteção da integridade celular (STEWART; LEE, 1974; SHEVYAKOVA, 1984). Tal acúmulo teria também a função de proteger as células dos processos de desnaturação sob estresse hídrico e salino (SHEVYAKOVA, 1984), ou ainda participar na constituição de um estoque de nitrogênio (N) e carbono (C) que poderia ser utilizado depois do período de estresse (TAYLOR, 1996). Enquanto outros trabalhos indicam uma alta correlação entre o acúmulo de prolina e o aumento da tolerância de prolina e o aumento da tolerância à seca, já outros sugerem que o acúmulo é simplesmente um efeito do estresse (DELAUNEY; VERMA, 1993; MADAN et al., 1995). Além disso, o aumento dos níveis de prolina pode esta associada às plantas, podendo esse aumento esta relacionada, também, com a resistência à seca (AZIZ; LARHER, 1995).

Embora vários trabalhos tenham relacionado à função protetora da prolina na adaptação das células sob estresse osmótico, ainda existem dúvidas se o acúmulo desse composto nos tecidos das plantas proporciona vantagem adaptativa ou simplesmente é uma consequência acidental de outros estresses, induzindo mudanças no metabolismo (HARE; CRESS, 1997).

1.6. Adaptação das plantas à compactação do solo

A compactação do solo é um grave problema para a qualidade do solo e o desenvolvimento de uma agricultura sustentável, pois modifica os fluxos de água e ar no solo e reduz a produtividades das culturas agrícolas. Por isso, segundo Mantovani (2012), para a maioria dos solos a densidade de partícula tem um valor variado de 2,55 a 2,70 g cm⁻³ e quando informações mais específicas não são conhecidas ou disponíveis, pode-se assumir 2,65 g cm⁻³, para que a planta possa ter um bom desenvolvimento radicular.

A estrutura do solo é um atributo edáfico que serve como referência aos estudos do solo no campo, pois influencia praticamente em todos os fatores que se relacionam com o potencial produtivo do solo, como disponibilidade de água, nutrientes, aeração, atividade microbiana (fungos, bactérias, micorrizas e nematoides), germinação de sementes, penetração de raízes, entre outros, ou seja, quase tudo no solo gira em torno da estrutura, assim, a densidade e a porosidade do solo são indicadores de como a estrutura do solo apresenta-se para um melhor desenvolvimento das culturas (AMARO FILHO et al., 2008).

O manejo e o cultivo são um dos principais problemas no desenvolvimento agrícola podendo ocasionar decréscimos significativos na produtividade devido à compactação do solo decorrente do tráfego de máquinas pesadas. Essa prática promove alteração estrutural e reorganização das partículas do solo (OLIVEIRA et al, 2004; SECCO et al, 2004, RICHART et al, 2005), causando, também, o aumento da densidade e o decréscimo do volume de poros de maior diâmetro. Em consequência, o crescimento radicular da planta é reduzido, por impedimento mecânico, e a aeração fica deficiente, ocorrendo redução da infiltração de água e nutrientes, aumentando, conseqüentemente, a erosão, e provocando, assim, efeitos negativos nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (QUEIROZ-VOLTON et al, 2000; MULLER et al., 2001; FONOLI et al, 2003; BEUTLER; CENTURION, 2004; BEUTLER et al, 2006; SILVA; CABEDA, 2006). Esses eventos diminuem o crescimento da parte aérea (GUIMARÃES; MOREIRA, 2001), reduzem a absorção de nutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio e a produção de massa seca das raízes e parte aérea das plantas (MEDEIROS et al., 2005).

Segundo Silva e Cabeda (2006), o aumento no conteúdo de água no solo reduz a pressão de pré-compactação e aumenta o índice de compressão do solo. Isso pode acarretar a redução da capacidade de suporte de carga no solo. A água no solo atua como lubrificante entre as partículas, permitindo o deslocamento das mesmas. Desta forma, o movimento das

partículas de solo é favorecido pelo aumento da umidade. Este processo continua até que a água sature praticamente todos os poros do solo. A partir desse momento, a cada incremento no conteúdo de água não corresponderá um incremento na densidade, visto que a água não pode ser comprimida (REINERT, 1990).

1.7. Atividade microbiana no solo

A qualidade do solo é um conceito amplo que se refere ao equilíbrio entre os condicionantes químicos, físicos e biológicos presentes. Para a avaliação da qualidade de um solo, tem sido postulada a necessidade de identificação de parâmetros indicativos de seu estado de conservação e/ou degradação. A diversidade microbiana, em virtude dos microrganismos estarem na base da cadeia trófica e intrinsecamente associados aos diversos processos ecológicos do solo, tem figurado como um importante indicador da qualidade do solo. Essa diversidade costuma ser apresentada em forma de índices devido a dificuldades de avaliação e compreensão dentro do ecossistema (ZILLI et al, 2003)

A atividade biológica do solo é responsável por inúmeras transformações físicas e químicas dos resíduos orgânicos que são depositados, mantendo, assim, a sustentabilidade do ambiente (SOUTO et al., 2008). Os principais fatores que controlam o processo de transformação da matéria orgânica do solo são quantidade e qualidade do material, o ambiente físico e químico e os organismos decompositores; entre eles, as bactérias e fungos apresentam altos valores de biomassa e metabolismo respiratório e têm grande capacidade de decomposição da matéria orgânica do solo (TOLEDO, 2003; LERJON et al., 2005).

Além disso, as práticas agrícolas atuais estão mudando de um enfoque convencional para uma abordagem mais sustentável. Os sistemas agrícolas sustentáveis são caracterizados pela reduzida inserção de insumos sintéticos tais como pesticidas e fertilizantes e pelo aumento considerado de informações relacionadas com práticas convencionais (DINIZ, 2007).

Segundo Merlim (2005) e Souto et al. (2008), no Brasil o número de trabalhos sobre a fauna do solo é irrelevante diante da diversidade do ecossistema do país e do próprio desconhecimento da biodiversidade do solo. Pereira et al. (2000), Coser (2006) e Sabino (2007) observaram em pesquisas que a microfauna do solo incrementa de maneira diferenciada a própria população e, também, de actinomicetos, proporcionando um maior teor

de nitrogênio e carbono para as culturas, sem causar redução na produtividade, diminuindo ou aumentando, a qualidade ou atividade dessa microfauna do solo (COSER, 2006).

Segundo Zilli et al. (2003), uma moderna concepção de qualidade do solo deve ser coerente com as particularidades inerentes a cada ecossistema. Por exemplo, o principal problema nos solos tropicais é a degradação do solo e a carência de água e nutrientes, enquanto, em solos temperados, a contaminação química costuma ser a maior preocupação. Essa abordagem diferenciada é essencial para que se encontrem soluções que, efetivamente, contribuam para o desenvolvimento de manejos sustentáveis. Além disso, a difusão do conceito de qualidade do solo tanto entre pesquisadores como entre agricultores é um fator importante para o desenvolvimento de aspectos culturais voltados à agricultura.

Dessa forma, a qualidade do solo influencia o potencial de uso, a produtividade e a sustentabilidade global do agroecossistema, sendo seu estudo necessário para fornecer informações sobre o manejo do solo e assegurar a tomada de decisões para uma melhor utilização desse recurso na agricultura (SPOSITO; ZABEL, 2003). Diante dos conhecimentos atuais, o uso da diversidade microbiana como indicador de qualidade do solo vem tendo um avanço importante. Tem se tornado consenso que a diversidade microbiana possui importantes vantagens como indicador de qualidade do solo (ZILLI et al, 2003), principalmente porque o uso incorreto (desmatamento, compactação e erosão) está causando impacto direto na biota local.

1.7.1. Nematóide das galhas

Os nematóides estão presentes em todos os locais onde se pratica agricultura. Ocorrem em cultivos de sequeiro ou sob irrigação, principalmente quando a temperatura e umidade do solo são elevadas. O excesso e falta de água que induzem a desoxigenação e desidratação do solo podem ocasionar redução da densidade e diversidade de espécies presentes (CHARCHAR et al., 2005).

Os nematóides do gênero *Meloidogyne* Goeldi, ou nematóides de galhas, são parasitos de plantas que só se alimentam do citoplasma de células vivas (HUSSEY; GRUNDLER, 1998). *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) Chitwood é uma das espécies de maior ocorrência em áreas agrícolas no Brasil (CAMPOS, 1995). Além das galhas que causa no sistema radicular, retarda o ciclo da cultura, reduz o desenvolvimento da parte aérea e leva muitas plântulas à morte (AGRIOS, 1997).

Entre as alternativas de manejo para os nematoides das galhas, a utilização de variedades resistentes é considerada a alternativa mais adequada, principalmente em sistemas de produção no qual existe baixo grau de adoção tecnológica (PONTE et al., 1993). Por isso, a busca por práticas agrícolas (DUTRA et al., 2003; PIMENTEL; FERRAZ, 2004; ROCHA et al., 2008) e novas fontes de resistência (GOULART et al., 2004; WILCKEN et al., 2006; SILVA et al., 2007; WANDERLEY et al., 2007), especialmente contra *M. incognita* e *M. javanica*, estão presentes em vários estudos. Além do mais, a utilização de plantas resistentes para o manejo de nematoides associada a outras práticas de manejo de pragas e doenças pode substituir a aplicação de produtos químicos que venham ser danosos ao meio ambiente. De acordo com Hussey e Grundler (1998), o mais importante é conhecer a interação planta-nematóide, encontrando a dissecação da interação molecular entre nematóide e hospedeiro, especialmente, entre sustentabilidade da planta e sedentarismo do nematóide.

1.7.2. Atividade das rizobactérias nas plantas

Dentre os microrganismos benéficos, simbioses ou saprófitos de vida livre, as rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (RPCPs) constituem um dos grupos mais estudados, destacando-se os gêneros *Bacillus*, *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Arthrobacter*, *Enterobacter*, *Azotobacter*, entre outros. Esses microrganismos têm sido apontados como essenciais ao ecossistema de plantas em relação ao suprimento de elementos de crescimento como nitrogênio, fósforo e, possivelmente ferro (MELO, 2012).

O uso de RPCPs para o controle de fitonematoides, diretamente por produção de compostos tóxicos, por alteração dos exsudados radiculares ou por indução de resistência na planta hospedeira, é um campo relativamente novo de pesquisa. Estas têm sido citadas em uma série de trabalhos como beneficiadoras de uma gama de espécies vegetais. Dentre essas espécies são mais frequentemente citadas as anuais, de pequeno porte, como abóbora (CHEN et al., 2000), alface (FREITAS et al., 2003), feijão (NECHET et al., 2012), trigo (LUZ, 2001), melão (MEDEIROS, 2007; SILVA et al., 2010), tomate (FREITAS et al., 2005; DALLEMOLE-GIARETTA et al., 2010), cebola (HARTHMAN et al., 2009), melancia (SANTOS et al., 2008), arroz (SOUZA JÚNIOR et al., 2010), etc. Nas plantas anuais, o benefício consiste no aumento de matéria seca, podendo resultar em encurtamento do ciclo ou em aumento na produção, dependendo da espécie (FREITAS et al., 2003).

As rizobactérias são bactérias que habitam o solo ao redor das raízes e, por serem não patogênicas, podem induzir nas plantas resistência sistêmica a vários patógenos e supressão de doenças, indireta e/ou diretamente, como demonstrado para várias espécies de fungos, bactérias, vírus e nematóides, pela produção ou alteração da concentração de fitormônios, fixação de nitrogênio, solubilização de fosfatos minerais ou outros nutrientes do solo, oxidação do enxofre, aumento da permeabilidade das raízes e produção de sideróforos (BARKA et al., 2000; MARIANO; KLOPPER, 2000; SIQUEIRA et al., 2003; FREITAS et al., 2005; TEIXEIRA et al., 2005; MENDEIROS, 2007; SANTOS et al., 2008).

As RPCPs gênero *Bacillus* não só apresentam algumas características favoráveis para a produção de inoculantes comerciais, como produção de endosporos, como possuem manuseio e aplicação facilitada, inclusive em mistura com outros defensivos, desejável para o manejo ecológico de doenças e pragas, produção integrada e o sistema “approach”. Outro aspecto que as inclui entre as rizobactérias agentes de controle biológico é a capacidade de produção de antibióticos (FREITAS; PIZZINATTO, 1997 CHANWAY et al., 2000).

O conhecimento dos efeitos dos cultivos agrícolas na dinâmica das populações na comunidade bacteriana nos solos é importante, por causa das transformações que esses microrganismos promovem, influenciando na qualidade dos produtos e na produtividade agrícola (PEREIRA et al., 2000).

1.7.3. Atividade dos fungos arbusculares micorrízicos nas plantas

Outro grupo de microrganismos que contribui para a absorção de nutriente e no desenvolvimento fisiológico das plantas são os fungos micorrízicos arbusculares (FMA), que dependem inteiramente dos carboidratos produzidos pelo hospedeiro, podendo as raízes de plantas inoculadas utilizarem de 4 a 17% mais carbono que a de plantas sem micorrizas. Inoculação das plantas com micorrizas pode ser uma alternativa para aumentar o vigor de plantas submetidas a estresse hídrico (PURIN et al., 2006).

Os FMA são associações simbióticas mutualistas obrigatórios entre fungos da divisão Glomeromycota e da maioria das plantas terrestres, cujos gêneros mais conhecidos são *Gigaspora*, *Scutellospora*, *Acaulospora* e *Glomus* (SCHUSSLER; SCHWARZOTT, 2001; BERBARA et al., 2006). A formação e o funcionamento dos FMA dependem de um complexo processo de troca de sinais, que resulta em mudanças no metabolismo dos simbiontes e na diferenciação de uma interface simbiótica no interior das células das raízes

(SCHUSSLER; SCHWARZOTT, 2001). Os mecanismos que regulam a formação dos FMA são pouco conhecidos, mas sabe-se que a concentração de fosfato na planta é um fator determinante para o desenvolvimento da simbiose. A disponibilidade de fósforo na planta pode afetar o balanço de açúcares e de fitormônios, além da expressão de genes de defesa vegetal. Até o presente, sabe-se que as plantas secretam substâncias que estimulam a germinação de esporos e o crescimento desses fungos. Há evidências também de que os FMA sintetizam moléculas sinalizadoras, que são reconhecidas pelas plantas hospedeiras para estimular a germinação e crescimento destes (BERBARA et al., 2006).

Kiriachek et al. (2009) afirmam que o fósforo é o mais importante nutriente inorgânico que afeta o desenvolvimento de FMA, controlando principalmente a taxa de crescimento fúngico intrarradicular. Normalmente, altas concentrações de fósforo na planta inibem a colonização dos FMA nas raízes, enquanto baixas concentrações favorecem a colonização intrarradicular. Várias hipóteses já foram propostas para explicar a regulação do desenvolvimento de FMA por fósforo. Esse nutriente pode afetar a exsudação radicular, cujos componentes podem ser importantes para a nutrição do fungo e, ou, sinalização molecular durante os processos de pré-infecção e colonização.

De acordo com Cavalcante et al. (2001), a contribuição de FMA em cultivos sujeitos a deficiência hídrica pode ser importante, para capacidade de estimular o crescimento vegetal, quando a simbiose é estabelecida de forma eficiente. No entanto, estudos sobre o comportamento de plantas micorrizadas em ambientes sob déficit hídrico, têm mostrado resultados variados, como: aumento da densidade das raízes ou do desenvolvimento do micélio externo, permitindo maior exploração e contato com o solo, facilitando, assim, a absorção de água durante período de seca (CAVALCANTE et al., 2001; SIQUEIRA et al., 2002); aumento no conteúdo de potássio (SIQUEIRA et al., 2002; SAGGIN JÚNIOR; SILVA, 2012); de fósforo (SIQUEIRA et al., 2002; NGWENE et al., 2010; SAGGIN JÚNIOR; SILVA, 2012); de magnésio (BERBARA et al., 2006); de zinco e de cobre, cujo a absorção é facilitada pelas hifas externas (SIQUEIRA et al., 2002; SAGGIN JÚNIOR; SILVA, 2012) nos tecidos das plantas; aumento nas concentrações de solos orgânicos, tais como açúcares e compostos nitrogenados (SIQUEIRA et al., 2002; DINIZ, 2007; DELBEM et al., 2010; NGWENE et al., 2010; SAGGIN JÚNIOR; SILVA, 2012); modificações no balanço hormonal (SIQUEIRA et al., 2002; DINIZ, 2007) e na regulação estomática (SIQUEIRA et al., 2002; DINIZ, 2007); tem efeito positivo sobre as taxas de transpiração e temperatura média foliar, e maiores teores de clorofila a, além de alterar o número de pólos no

xilema (SIQUEIRA et al., 2002; DINIZ, 2007; BRITO et al., 2012); pode reduzir o índice de porcentagem de nematóides de galhas nas raízes (SIQUEIRA et al., 2003; ZHANG et al., 2008); apresenta ação de biocontrole sobre certos patógenos, pragas e doenças; e, também, ameniza os estresse causados por fatores diversos como metais pesados e poluentes orgânica. Plantas micorrizadas são menos danificadas por danos causados por diversos tipos de estresse do solo ou ambientais, facilitando seu estabelecimento e sobrevivência em locais adversos (SIQUEIRA et al., 2002).

Segundo Gera Hol e Cook (2005), os nematoides parasitas de plantas e FMAs compartilham as raízes das plantas como recurso por alimento e espaço. O interesse nessas interações reside na possibilidade de maior resistência ou tolerância da planta com FMA infectadas por nematoides, e da valorização deste potencial para o controle de doenças.

Siqueira et al. (2002) consolidam que a aplicação de FMA em larga escala poderá contribuir para redução no uso de agroquímicos, diminuir as perdas das culturas causadas por estresses diversos, aumentar a produção, e, ao mesmo tempo, favorecer a conservação ambiental. Conseqüentemente, os FMA devem ser considerados um componente em estudos de longa duração que busque detectar não apenas seu impacto sobre o crescimento e desenvolvimento de uma planta, mas sobre a magnitude de sua contribuição a eventos globais e estruturação de comunidades vegetais (BERBARA et al., 2006).

Dessa forma, o presente estudo buscou avaliar os efeitos da deficiência hídrica e do solo compactado sobre a interação planta – microbiota do solo (fungos arbusculares micorrízicos, rizobactérias promotora de crescimento de plantas e nematoides do gênero *Meloidogyne*) nas culturas do feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), melão amarelo (*Cucumis melo* L.) e cana-de-açúcar (*Saccharum* L.).

2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIOS, G. N. **Plant Pathology**. 4º ed. Academic Press, London. 635p. 1997.

AHMAD, P.; SARWAT, M.; SHARMA, S. Reactive oxygen species, antioxidants and signaling in plants. **Journal of Plant Biology**, v. 51, n. 3, p. 167-173, 2008.

AMARO FILHO, J.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; MOTA, J. C. A. **Física do solo: conceitos e aplicações**. Imprensa Universitária, Fortaleza, 2008.

AZIZ, A.; LARHER, F. Changes in polyamine titers associated with the proline response and osmotic adjustment of rape leaf disc submitted to osmotic stresses. **Plant Science**, v. 112, p. 175-186, 1995.

BARKA, E. A. et al. Enhancement of in vitro growth and resistance to gray mould of *Vitis vinifera* co-cultures with plant growth-promoting rhizobacteria. **FEMS Microbiology Letters**, v. 186, p. 91-95, 2000.

BERBARA, R. L. L.; SOUZA, F. A.; FONSECA, H. M. A. C. **III – Fungos Micorrízicos Arbusculares: muito além da nutrição**. Ed. Fernandes, M. S., SBCS, Nutrição Mineral de Plantas, Viçosa, 432p., 2006.

BERNARDS, M. A.; SUMMERHURST, D. K.; RAZEM, F. A. Oxidases, peroxidases and hydrogen peroxide: The suberin connection. **Phytochemistry**, v. 3, p. 113–126, 2004.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Soil compaction and fertilization in soybean productivity. **Scientia Agricola**, v. 61, n. 6, p. 626-631, 2004.

BEUTLER, A. N. et al. Efeito da compactação na produtividade de cultivares de soja em Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v. 30, p. 787-794, 2006.

BHATTACHARJEE, S. Sites of generation and physicochemical basis of formation of reactive oxygen species in plant cell. In: GUPTA, S. D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfield: Science Publishers, cap. 1, p. 1-30. 2010.

BREUSEGEM, F. V. et al. The role of active oxygen species in plant signal transduction. **Plant Science**, v. 161, p. 405-414. 2001.

BRITO, R. R. de et al. **Influência de insumos químicos e da inoculação da colonização micorrízica e crescimento inicial de pinhão-manso em subsolo degradado**. Disponível em: http://prope.unesp.br/xxi_cic/27_34530847802.pdf. Acesso em: jun/2012.

BRUCE, W. B.; EDMEADES, G. O.; BARKER, T. C. Molecular and physiological approaches to maize improvement for drought tolerance. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, p. 13-25, 2002.

BUCHANAN, B., GRUISSEM, W., JONES, R. **Biochemistry & Molecular Biology of Plants**. Ed. American Society of Plants Physiologists, 2000.

CABRAL, E. L.; BARBOSA, D. C. de A.; SIMABUKURO, E. A. Crescimento de plantas jovens de *Tabebuia aurea* (Manso) Beth. & Hook. f. ex S. Moore submetidas a estresse hídrico. **Acta Botânica Brasileira**, v. 18, n. 2, p. 241-251, 2004.

CAMPOS, V. P. Doenças causadas por nematoides em alcachofra, alface, chicória, morango e quiabo. **Informe Agropecuário**, v. 17, n. 182, p. 17-22, 1995.

CARPITA, N.; McCANN, M. The Cell Wall. In: BUCHANAN, B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. Eds. **Biochemistry & Molecular Biology of Plants**. Rockville: American Society of Plant Physiologists. cap. 18, p. 930-987. 2000.

CAVALCANTE, U. M. T. et al. Respostas fisiológicas em mudas de maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* Sims. F. flavicarpa Deg.) inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares e submetida ao estresse hídrico. **Acta Botânica Brasileira**, v. 15, n. 3, p. 379-390, 2001.

CHANWAY, C. P. et al. Endophytic colonization and field responses of hybrid spruce seedlings after inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria. **Forest Ecology and Management**, v. 133, p. 81-88, 2000.

CHARCHAR, J. M. et al. Reprodução de *Meloidogyne incognita* raça 1 e produtividade de cultivares de ervilha sob diferentes lâminas de água. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 10, p. 989-995, 2005.

CHAVES, M. M. et al. How plants cope with stress in the field. **Photosynthesis and Growth Annals Botany**, v. 89, p. 907-916, 2002.

CHEN, C. et al. Defense enzymes induced in cucumber roots by treatment with plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and *Pythium aphanidermatum*. **Physiology Molecular Plant Pathology**, v. 56, p. 13-23, 2000.

COSER, T. R. **Doses de nitrogênio e seu efeito nos indicadores microbiológicos de qualidade do solo na cultura da cevada**. 2006. 81p. (Dissertação de Mestrado). Universidade de Brasília – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Brasília, 2006.

DABROWSKA, G. et al. Characteristics of the plant ascorbate peroxidase family. **Acta Biologica Cracoviensia**, v. 49, n. 1, p. 7–17, 2007.

DALLEMOLE-GIARETTA, R. et al. Associação de *Pochonia chlamydosporia*, *Bacillus cereus* e Fibra de Coco no Controle de *Meloidogyne javanica* em Tomateiro. **Nematologia Brasileira**, v. 34, n. 1, p. 18-22, 2010.

DAT, J. et al. Dual action of the active oxygen species during plant stress responses. **Cell Molecular Life Science**, v. 57, p. 779–795, 2000.

DELBEM, F. C. et al. Colonização micorrízica e fertilidade do solo submetido a fontes de doses de adubação nitrogenada em *Brachiaria brizantha*. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, n. 3, p. 455-461, 2010.

DELAUNEY, A. J.; VERMA, D. P. S. Biossíntese de prolina e osmorregulação em plantas. **Plant Journal**, v. 4, p. 215-223, 1993

DINAKARA, C.; DJILIANOV, D.; BARTELS, D. Photosynthesis in desiccation tolerant plants: Energy metabolism and antioxidative stress defense. **Plant Science**, v. 182, p. 29-41, 2012.

DINIZ, P. F. A. **Influência do fungo micorrízico arbuscular (*Glomus clarum*) sobre características biofísicas, nutricionais, metabólicas e anatômicas em plantas jovens de seringueiras**. 2007. 112p. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Lavras - Lavras, 2007.

DUBEY, R. S. Metal Toxicity, Oxidative stress and antioxidative defense system in plants. In: GUPTA, S.D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfield: Science Publishers, cap. 9, p. 178-203. 2010.

DUTRA, M. R.; CAMPOS, V. P.; TOYOTA, M. Manejo do solo e irrigação para controle de *Meloidogyne javanica* em alface. **Nematologia Brasileira**, v. 27, n. 1, p. 29-34, 2003.

FARIAS, S. G. G. de et al. Respostas de plantas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) inoculadas com fungos micorrízicos e submetidas ao estresse hídrico. **Engenharia Ambiental**, v. 5, n. 3, p. 036-046, 2008.

FERNANDEZ-GARCIA, N.; GARMA, J. G.; OLMOS, E. ROS as biomarkers in hyperhydricity. In: GUPTA, S.D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfield: Science Publishers, cap. 12, p. 249-274. 2010.

FIGUEIRÔA, J. M. de; BARBOSA, D. C. de A.; SIMABUKURO, E. A. Crescimento de plantas jovens de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiácea) sob diferentes regimes hídricos. **Acta Botânica Brasileira**, v. 18, n. 3, p. 573-580, 2004.

FLEXAS, J.; MEDRANO, H. Drought-inhibition of photosynthesis in C₃ plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited. **Annals Botany**, v. 89, p. 183-189, 2002.

FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C.; LIMA, S. L. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.38, n.8, p.947-953, 2003.

FOYER, C. H.; NOCTOR, G. Redox Regulation in Photosynthetic Organisms: Signaling, Acclimation, and Practical Implications. **Antioxidants & Redox Signaling**, v. 11, n. 4, p. 861-905, 2009.

FREITAS, S. S.; MELLO, A. M. T.; DONZELI, V. P. Promoção do crescimento de alface por rizobactérias. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 61-70, 2003.

FREITAS, L. G. et al. Isolamento e seleção de rizobactérias para controle de nematoides formadores de galhas (*Meloidogyne* spp.) na cultura do tomateiro. **Nematologia Brasileira**, v. 29, n. 2, p. 215-220, 2005.

GECHEV, T. S. et al. Reactive oxygen species as signals that modulate plant stress responses and programmed cell death. **Bioassays**. v. 28, p. 1091–1101, 2006.

GERA HOL, W. H.; COOK, R. An overview of arbuscular mycorrhizal fungi-nematode interactions. **Basic and Applied Ecology**, v. 6, p. 489-503, 2005.

GIRIJA, C.; SMITH, B. N.; SWAMY, P. M.. Interactive effects of sodium chloride and calcium chloride on the accumulation of proline and glycinebetaine in peanut (*Arachis hypogaea* L.). **Environmental and Experimental Botany**. v. 47, p. 1-10. 2002.

GOULART, R. dos R. et al. Avaliação de linhagens e cultivares de caupi a infecção por *Meloidogyne incognita* e *M. javanica*. **Agronomia**, v. 28, n. 2, p. 51-54, 2004.

GUIDI, L.; DEGL'INNOCENTI, E. Imaging of chlorophyll a fluorescence: a tool to study abiotic stress in plants. In: SHANKER, A. K.; VENKATESWARLU, B. Ed. **Abiotic stress in plants – mechanisms and adaptations**. Croatia: InTech, cap. 1, p. 3-20. 2011.

GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 36, n. 4, p. 703-707, 2001.

HARE, P. D.; CRESS, W. A. Metabolic implications of stress-induced proline accumulation in plants. **Plant Growth Regulation**, v. 21, p. 79-102, 1997.

HARTHMANN, O. E. L. et al. da. Rizobactérias no crescimento e na produtividade da cebola. **Ciência Rural**, v. 40, n. 2, p. 462-465, 2009.

HELDT, H. W.; HELDT, F. In the photorespiratory pathway phosphoglycolate formed by the oxygenase activity of RubisCo is recycled. In: **Plant Biochemistry**. 3rd edition. San Diego: Academic Press, cap. 7, p. 195-211. 2005.

HUSSEY, R. S.; GRUNDLER, F. M. W. **The physiology and biochemistry of free-living and plant-parasitic nematodes**. Ed . Wallingford: CABI Publishing, p. 213–243, 1998.

JENKS, M. A.; HASEGAWA, P. M. Plant abiotic stress. In: AGARWAL, M.; ZHU, J. **Integration of abiotic stress signaling pathways**. Indiana: Blackwell Publishing, cap. 8, p. 215-237. 2006.

KIM, Y. H.; KWAK, S. S. The role of antioxidant enzymes during leaf development. In: GUPTA, S.D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfield: Science Publishers, cap. 7, p. 129-150. 2010.

KIRIACHEK, S. G. et al. Regulação do desenvolvimento de micorrizas arbusculares. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 33, p. 1-16, 2009.

LERJON, D. P. H. et al. Microbial community structure and density under different tree species in an acid forest (Morvan, France). **Microbioly Ecology**, v.50, p.614-625, 2005.

LIMA, G. P. P. et al. Efeito do BAP e ANA e atividade da peroxidase em mandioca (*Manihot esculenta* Crantz cv. MCOL 22) cultivada *in vitro*. **Revista Brasileira de Agrocência**, v. 8, n. 2, p. 107-110, 2002.

LOCATO, V. et al. Reactive oxygen species and ascorbate-glutathione interplay in signaling and stress responses. In: GUPTA, S.D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfield: Science Publishers, cap. 3, p. 45-64. 2010.

LUZ, W. C. Evaluation of plant growth-promoting and bioprotecting rhizobacteria on wheat crop. **Fitopatologia Brasileira**, v. 26, p. 597-600, 2001.

MADAN, S. et al. Proline and proline metabolizing enzymes in in-vitro selected NaCl-tolerant *Brassica juncea* L. under salt stress. **Annals Botany**, v.76, p. 51-57, 1995.

MARIANO, R. L. R.; KLOEPPER, J. W. Método alternativo de biocontrole: resistência sistêmica induzida por rizobactérias. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, n. 8, p. 121-137, 2000.

MANTOVANI, E. C. **Compactação do solo**. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/57313/1/Compactacao-solo.pdf>. Acesso em: 20 jun 2012.

MEDEIROS, R. D.; SOARES, A. A.; GUIMARÃES, R. M. Compactação do solo e manejo da água. I: Efeitos sobre a absorção de N, P, K, massa seca de raízes e parte aérea das plantas de arroz. **Ciência Agrotécnica**. v. 29, n. 5, p. 940-947, 2005.

MEDEIROS, J. E. de. **Seleção de bactérias para controle da meloidoginose e atividade isoenzimática de meloeiro parasitado por *Meloidogyne incognita***. 2007. 76p. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife. 2007.

MEHDY, M. C. et al. The role of activated oxygen species in plant diseases resistance. **Physiology Plant**, v. 98, p. 365-374, 1996.

MELO, I. S. de. **Rizobactérias**. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agricultura_e_meio_ambiente/arvore/CONTAG01_53_210200792814.html. Acesso em: 12 ago 2012.

MENESES, C. H. S. G. et al. Aspectos genéticos e moleculares de plantas submetidas ao déficit hídrico. **Revista Brasileira de Oleaginosas Fibrosas**, v. 10, n. 1/2, p. 1039-1072, 2006.

MERLIM, A. O. **Macrofauna edáfica em ecossistemas preservados e degradados de araucária no Parque Estadual do Campos do Jordão, SP**. 2008. 89p. (Dissertação de Mestrado). Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2005.

MILLER, G. et al. Reactive oxygen species homeostasis and signaling during drought and salinity stresses. **Plant, Cell and Environment**, v. 33, p. 453–467, 2010.

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends in Plant in Science**, v. 9, p. 405-410, 2002.

MULLER, M. M. L.; CECCON, G.; ROSOLEM, C. A. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v. 25, p. 531-538, 2001.

NECHET, K de L. et al. **Mecanismos de Ação de Rizobactérias do Feijão-Caupi Seleccionadas para Redução da Viabilidade de Escleródios de *Rhizoctonia solani***. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/35946/1/39-KATIA-DELIMA-NEC HET-01.pdf>. Acesso em: 19 ago 2012.

NELSON, D. L.; COX, M. M. Enzimes. In: **Lehninger Principles of Biochemistry**. 4th ed. New York: W. H. Freeman, cap. 2, p. 190-237. 2004.

NGWENE, B. et al. Phosphorus uptake by cowpea plants from sparingly available or soluble sources as affected by nitrogen form and arbuscular-mycorrhiza-fungal inoculation. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 173, p. 353-359, 2010.

NOCTOR, G. et al. Drought and oxidative load in the leaves of C₃ plants: a predominant role for photorespiration? **Annals Botany**, v. 92, p. 808-814, 2002.

NOGUEIRA, R. J. M. C. et al. Alterações na resistência à difusão de vapor nas folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 13, n. 1, p. 75-87, 2001.

OLIVEIRA, G. C. et al. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v. 28, p. 327-336, 2004.

PERL-TREVES, R.; PERL, A. **Oxidative stress: an introduction**. In: _____. *Oxidative Stress in Plants*, 2002.

PEYNE, W. A. Optimizing crop water use in sparse stands of pearl millet. **Agronomy Journal**, v. 92, p. 808-814, 2000.

PEREIRA, J. C.; NEVES, M. C. P.; GAVA, C. A. T. Efeito do cultivo da soja na dinâmica da população bacteriana, em solos de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.6, p.1183-1190, 2000.

PIMENTEL, C. **A Relação da Planta com a Água**. Rio de Janeiro: UFRJ, Rio de Janeiro, 2004.

PIMENTEL, J. P.; FERRAZ, L. C. C. B. Efeitos de níveis de inoculo de *Meloidogyne javanica*, associado ou não a *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli*, sobre crescimento do feijoeiro. **Nematologia Brasileira**, v. 28, n. 2, p. 173-179, 2004.

PIZA, I. M. T; LIMA, G. P. P.; BRASIL, O. G. Atividade de peroxidase e níveis de proteínas em plantas de abacaxizeiro micropropagadas em meio salino. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 9, n. 4, p. 361-366, 2003.

PONTE, J. J. da et al. Atributos de resistência à meloidoginose e de produtividade de um novo cultivar de caupi. **Nematologia Brasileira**, v. 17, n. 2, p. 1-7, 1993.

PURIN, S.; KLAUBERG FILHO, O.; STÜRMER, S. L. Mycorrhizae activity and diversity in conventional and organic apple orchards from Brazil. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 38, p. 1831-1839, 2006.

QUEIROZ-VOLTAN, R. B.; NOGUEIRA, S. S. S.; MIRANDA, M. A. C. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 929-938, 2000.

RADIC, S.; RADIC-STOJKOVIC, M.; PEVALEK-KOZLINAB. Influence of NaCl and manitol on peroxidases activity and lipid peroxidation in *Centaurea ragusina* L. roots and shoots. **Journal of Plant Physiology**, v. 16, p. 1284-1292, 2006.

REINERT, D.J. **Soil structural form and stability induced by tillage in a typic Hapludalf**. 1990. 128p. (Tese de Doutorado) - Michigan State University, Michigan, EUA. 1990.

RICHART, A. et al. Compactação do solo: causa e efeito. **Ciências Agrárias**. v. 26, n. 3, p. 321-344, 2005.

ROCHA, F. S. et al. Relações entre populações iniciais de *Meloidogyne javanica* e *Heterodera glycines* e o desenvolvimento radicular da soja. **Nematologia Brasileira**, v. 32, n. 2, p. 161-166, 2008.

SABINO, D. C. C. **Interação planta-bactéria diazotrófica na cultura do arroz**. 2007. 58p. (Tese de Doutorado). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – Instituto de Agronomia. Rio de Janeiro, 2007.

SAGGIN JÚNIOR, O. J.; SILVA, E. M. R. da. **Micorriza Arbuscular – Papel, funcionamento e aplicação da simbiose**. Disponível em: <http://ag20.cnptia.embrapa.br/Repositorio/biotacap5ID-Ap5xcs12HW.pdf>. Acesso em: 22 ago 2012.

SANTOS, M. M. et al. da. Seleção de rizobactérias com a capacidade de promover crescimento em melancia (*Citrullus lanatus* L.). **Horticultura Brasileira**, v. 26, n. 2, p. 1544-1548, 2008.

SCHUSSLER, A.; SCHWARZOTT, D.; Walker C. **A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution.** Mycological Research, (in press), 2001.

SECCO, D. et al. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistema de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 797-804, 2004.

SHEVYAKOVA, N. I. Metabolism and the physiological role of proline in plants under conditions of water and salt stress. **Soviet Plant Physiology**, v. 30, p. 597-608, 1984.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V. Compactação e compressibilidade do solo sob sistema de manejo e níveis de umidade. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.30, p. 921-931, 2006.

SILVA, G. S. et al. Reação de genótipos de feijão caupi a *Meloidogyne incognita* raça 1. **Nematologia Brasileira**, v. 31, n. 2, p. 1-3, 2007.

SILVA, E. N. et al. Photosynthetic changes and protective mechanisms against oxidative damage subjected to isolated and combined drought and heat stresses in *Jatropha curcas* plants. **Journal of Plant Physiology**, v. 167, p. 1157–1164, 2010.

SILVA, J.R. et al. da. Potencialidade de rizobactérias promotoras de crescimento na cultura do melão. **Horticultura Brasileira**, v. 28, p. 1114-S1118, 2010.

SIQUEIRA, J. O.; LAMBAIS, M. R.; STURNER, S. I. Fungos micorrízicos arbusculares: características, associação simbiótica e aplicação na agricultura. **Biociência**, n. 25, p. 12-21, 2002.

SIQUEIRA, K. M. S. de et al. Interação entre *Meloidogyne incognita* raça 2, *Glomus etunicatum* e estirpes de rizóbios em caupi (*Vigna unguiculata*) e feijão comum (*Phaseolus vulgaris*). **Nematologia Brasileira**, v.27, n.7, p.159-166, 2003.

SOARES, A. M. dos S.; MACHADO, O. L. T. Defesa de plantas: Sinalização química e espécies reativas de oxigênio. **Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 1, n. 1, p. 9-19, 2007.

SOUTO, P. C. et al. Comunidade microbiana e mesofauna edáficas em solo sob caatinga no semi-árido da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, p. 151-160, 2008.

SOUZA, C. R.; SOARES, A. M.; REGINA, M. A. Trocas gasosas de mudas de videira, obtidas por dois porta-enxertos, submetidos à deficiência hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 10, p. 1221-1230, 2001.

SOUZA, I. R. P. et al. Change in root apical protein and peroxidase activity in response to aluminum in tolerant and sensitive maize inbred lines. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 14, n. 3, p. 219-224, 2002.

SOUZA JÚNIOR, I. T. de et al. Biocontrole da queima-das-bainhas e do nematoide-das-galhas e promoção de crescimento de plantas de arroz por rizobactérias. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 11, p. 1259-1267, 2010.

SPOSITO, G.; ZABEL, A. The assessment of soil quality. **Geoderma**, Amsterdam, v. 114, n. 3/4, p. 143-144, 2003.

STEWART, G. R.; LEE, J. A. The role of proline accumulation in halophytes. **Planta**, v. 120, p. 279-289, 1974.

TAIZ, L.; ZEIGER. **Plant Physiology**. California: The Benjamin/Commings Publishing Company, Inc., Redwood City, 2009.

TAYLOR, C. B. Proline and water deficit: ups, downs, ins, and outs. **Plant Cell**, v. 8, p. 1221-1224, 1996.

TEIXEIRA, D. A. et al. Evidências de indução de resistência sistêmica à ferrugem do eucalipto mediada por rizobactérias promotoras de crescimento de plantas. **Fitopatologia Brasileira**, v. 30, n. 4, p. 350-356, 2005.

TOLEDO, L. O. **Aporte da serrapilheira, fauna edáfica e taxa de decomposição em áreas de florestas secundária no município de Pinheiral, RJ.** 2003. 80p. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

TREWAVAS, A. Signal perception and transduction. In: BUCHANAN, B.B.; GRUISSEM, W.; JONES, R.L. **Biochemistry & molecular biology of plants.** Rockville: American Society of Plant Physiologists, cap. 18. p. 930-987. 2000.

VOET, D.; VOET, J. G. Introdução ao estudo de enzimas. In: **Biochemistry.** 3rd ed. São Paulo: Artmed, cap. 13, 1616 p. 2006.

WANDERLEY, M. J. A. et al. Resistência genética do feijão caupi ao nematóide *Meloidogyne javanica*. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n. 1, p. 1377-1380, 2007.

WASSMANN, S.; WASSMANN, K; NICKERIN, G. Modulation of oxidant and antioxidant enzyme expression and function in vascular cells. **Hypertencion.** v. 44, p. 381-386, 2004.

WILCKER, S. R. S. et al. Reprodução de *Meloidogyne incognita* raça 2 e *M. javanica* em genótipos de milho em condições de casa-de-vegetação. **Nematologia Brasileira**, v. 30, n. 1, p. 35-38, 2006.

WINKEL, T.; PAYNE, W.; RENNO, J. F. Ontogeny modifies the effect of water stress on stomatal control, leaf area duration and biomass partitioning of *Pennisetum glaucum*. **New Phytologist**, v. 149, p. 71-82, 2001.

ZHANG, L.; ZHANG, J.; CHRISTIE, P. Pre-inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi suppresses root knot nematode (*Meloidogyne incognita*) on cucumber (*Cucumis sativus*). **Biology and Fertility of Soils**, v.45, p.205-211, 2008.

ZILLI, J. E. et al. Diversidade microbiana como indicador de qualidade do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v.20, n.3, p.391-411, 2003.

CAPÍTULO 2

Crescimento e respostas enzimáticas do feijoeiro caupi na interação entre estresse hídrico e nematoide de galhas

Resumo: Considerando a importância do feijoeiro caupi no Nordeste brasileiro, o presente estudo teve por objetivo avaliar o crescimento e aspectos bioquímicos do cultivar EPACE-10 submetido a estresse hídrico e parasitismo de *Meloidogyne incognita* em condições de casa de vegetação. O delineamento adotado foi de blocos ao acaso em esquema fatorial 2 (com e sem nematoide) × 2 (com e sem estresse hídrico), com seis repetições. O nível de estresse hídrico aplicado (50% da capacidade do pote) diminuiu a reprodução do nematoide. No entanto, o desenvolvimento das plantas aferido pelas biomassas frescas e secas do caule e folhas, número de folhas, índice de área foliar, altura da planta e biomassa fresca da raiz não foi afetado pelo estresse hídrico aplicado. O parasitismo de *M. incognita* potencializou o estresse hídrico induzindo aumento de proteína solúvel na planta. As respostas das enzimas oxidativas ao estresse hídrico e parasitismo de *M. incognita* foram variáveis. A peroxidase não foi afetada, a catalase foi diminuída pelo parasitismo do nematoide, a ascorbato peroxidase, diminuída pelo estresse hídrico e a polifenoloxidase, diminuída pelo estresse hídrico e/ou parasitismo de *M. incognita*.

Palavras-chaves: *Vigna unguiculata*, *Meloidogyne incognita*, enzimas oxidativas

Cowpea development and enzymatic response under hydro stress and root-knot nematode interaction

Abstract: Considering cowpea importance in Northeastern Brazil the study hereby had as objective evaluating development and biochemical aspects of cowpea cultivar EPACE-10 submitted to hydro stress and *Meloidogyne incognita* parasitism under greenhouse. Experiment was carried out in a complete randomized block design in a factorial 2 (with and without nematode) × 2 (with and without hydro stress) arrangement with six replicates. The hydro stress level (50% pot capacity) decreased nematode reproduction. However, the plant development, evaluated through fresh and dry stem and leaves biomass, leaves number, leaves area index, plant height and fresh root biomass, was not affected by the hydro stress. The *M.*

incognita parasitism potentiated the hydro stress increasing soluble protein level. Oxidative enzyme responses to either hydro stress or *M. incognita* parasitism were variable. Peroxidase was not affected, catalase decreased with nematode parasitism, ascorbate peroxidase decreased with hydro stress and polyphenol oxidase decreased with hydro stress and/or *M. incognita* parasitism.

Keywords: *Vigna unguiculata*, *Meloidogyne incognita*, oxidative Enzymes

INTRODUÇÃO

O feijão caupi (*Vigna unguiculada* (L.) Walp.) é um dos alimentos básicos da população brasileira, exercendo importante função social no suprimento das necessidades nutricionais familiar, além de desempenhar papel fundamental na composição da produção agrícola brasileira, particularmente das regiões Norte e Nordeste. Por outro lado, a maneira como a planta responde ao déficit hídrico é bastante complexa, pois afeta praticamente todos os aspectos de crescimento, incluindo modificações anatômicas, morfológicas, fisiológicas e bioquímicas (BEZERRA et al., 2003).

Em 60% das áreas cultivadas do Nordeste brasileiro, o feijoeiro caupi é considerado uma planta rústica, adaptável aos diferentes climas e solos, em virtude das condições climáticas dessa região ser desfavorável ao cultivo do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). Além do mais, o feijoeiro caupi apresenta excelente capacidade de adaptação á seca, embora essa capacidade varie entre os cultivares e os estádios de desenvolvimento (LEITE; VIRGENS FILHO, 2004; KERBAUY, 2004).

Em condições naturais e agriculturáveis, as plantas estão frequentemente expostas a estresses ambientais de natureza química, física ou biológica. Condições ambientais adversas, como temperaturas extremas, baixa umidade, alta radiação luminosa e deficiência de nutrientes, podem ocasionar estresse múltiplo nas plantas em poucos minutos; enquanto outras condições, a exemplo do conteúdo de água no solo e altas densidades populacionais de nematoides, podem levar dias ou semanas (YORDANOV et al., 2000).

O estresse desempenha papel importante na determinação de como o solo limita a distribuição de espécies vegetais. Santos et al. (2000) afirmam que a interação ambiente × estresse é um indicativo do desempenho da cultura submetida a diferentes situações de manejo e épocas do ano. Portanto, o conhecimento da resposta da planta ao déficit hídrico e

da relação entre consumo de água e produtividade é fundamental para o manejo adequado da cultura visando alta produtividade (NASCIMENTO et al., 2004).

As respostas dos vegetais à deficiência hídrica incluem muitas vezes alterações bioquímicas em nível celular (FLOSS, 2004). Acúmulos de prolina foram observados em tecidos foliares de diversas espécies quando submetidos às condições de estresse hídrico, calor e salinidade (LEITE et al., 2000). Alterações na atividade de enzimas, como as peroxidases, mudanças nas proporções de aminoácidos e frequentes aumentos na concentração de prolina são ocasionados por distúrbios no metabolismo das proteínas (LARCHER, 2004) e, possivelmente, para manutenção do potencial hídrico da folha, que aumenta o teor deste aminoácido, para ajuste osmótico e defesa da planta à desidratação (COSTA, 1999). Acúmulo de outros compostos orgânicos encontrados no citoplasma, como os açúcares solúveis, também tem sido relatado (SUBBARAO et al., 2000). Contudo, as respostas das plantas podem diferir entre espécies, cultivares, tecidos analisados, duração e intensidade do estresse (DEBOUBA et al., 2006).

Em relação aos componentes bióticos, os nematoides, em particular os nematoides das galhas (*Meloidogyne* Goeldi), constituem um dos problemas fitossanitários mais importantes na cultura do feijoeiro caupi, devido à ampla gama de hospedeiros (FERRAZ; FREITAS, 2004) e a alta capacidade de sobrevivência no solo (BITENCOURT; SILVA, 2010). Quando presentes em altas densidades populacionais, especialmente em solos arenosos (SILVA, 2005), esses parasitos afetam drasticamente a fisiologia da planta hospedeira prejudicando a absorção e transporte de água e nutrientes (PIMENTEL; FERRAZ, 2004).

Praticado, na maioria dos casos, como agricultura de subsistência, sem uso de insumos modernos e nematicidas, o manejo de *Meloidogyne* spp. em caupi depende principalmente da utilização de variedades resistentes (SILVA et al., 2007; WANDERLEY et al., 2007; SANTOS, GOMES, 2011). O manejo inadequado da irrigação, excesso ou falta de água, reduz a produtividade e a qualidade de grãos, além de favorecer maior incidência de doenças (OLIVEIRA et al., 1999). Excesso e falta de água induzem a desoxigenação e desidratação do solo diminuindo a densidade populacional dos nematoides (CHARCHAR, 1995).

Considerando a importância do feijoeiro caupi para a população de baixa renda e a necessidade de elucidar componentes do comportamento de cultivares desenvolvidas para o plantio em regime de sequeiro na região Nordeste, frente às limitações hídricas impostas, o objetivo deste estudo foi avaliar o crescimento e aspectos bioquímicos do feijoeiro caupi

submetido a estresse hídrico e parasitismo de *M. incognita* raça em condições de casa de vegetação.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação pertencente à Universidade Federal Rural de Pernambuco, localizada no Município de Recife – Pernambuco, situado na latitude de 58° 61' S, longitude 39° 89' W e, altitude de 169 metros, com temperatura média de $\pm 30,25$ °C, umidade relativa do ar de 77,38%. O solo utilizado foi um Argissolo amarelo distrófico (EMBRAPA, 1999) de textura franco arenosa, coletado no município de Carpina, Pernambuco. Os resultados das análises físicas e químicas do solo estão dispostos nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Atributos químicos do solo utilizado no experimento

Atributos químicos	Camada coletada (m)
	0,5 – 0,9
pH (Água)	4,6
Complexo Sortivo (cmol _c kg ⁻¹)	
Ca ²⁺	0,37
Mg ²⁺	0,51
Na ⁺	0,03
K ⁺	0,04
H ⁺ + Al ³⁺	2,84
Al ³⁺	0,91
S	0,95
T	4,70
C (g kg ⁻¹)	7,0
N (g kg ⁻¹)	0,3
M.O. (g kg ⁻¹)	23
P Assimilável (mg kg ⁻¹)	8
K (mg dm ⁻³)	0,04

Para condução do experimento, o material de solo foi passado em peneira de 5 mm e autoclavado por 1 hora e 30 min, por dois dias consecutivos, com um intervalo de 24 h, à temperatura de 120 °C e pressão de 101 kPa e acondicionado em vasos com 70 cm de altura e 58 cm de diâmetro. Sementes de feijoeiro caupi cultivar EPACE-10 foram semeadas nos vasos e estes foram arranjados em delineamento em blocos ao acaso em esquema fatorial 2 (com e sem nematoide) \times 2 (com e sem estresse hídrico), com seis repetições. A capacidade de pote (CP) foi adotada como o conteúdo de água drenado pelo solo após sofrer saturação

através da ação da gravidade, até o cessamento desta drenagem, segundo Souza et al. (2000). O nível de estresse adotado foi de 50% da CP. Antes do plantio foram realizadas calagem e adubação de fundação segundo Universidade Federal do Ceará (1993).

Tabela 2 - Atributos físicos do solo utilizado no experimento

Atributos físicos	Camada de coleta (m)
	0,5 – 0,9
Composição granulométrica (%)	
Areia grossa	53
Areia fina	24
Silte	8
Argila	15
Argila natural	6
Densidade (g cm ⁻³) do solo	1,58
dos sólidos do solo	2,65

A irrigação dos vasos foi controlada através do procedimento de pesagem, os vasos foram pesados diariamente em balança de precisão com sensibilidade de 1 g entre 7 e 9 horas da manhã, para posterior reposição da água evapotranspirada no período, mantendo-se os vasos próximos à capacidade de campo e omitindo-se a irrigação em 50% da capacidade do pote naqueles tratamentos sob condições de estresse, sendo esta iniciada no 10º dias após a semeadura.

A população de *M. incognita* utilizada foi obtida no campo e propagada de progênes oriundas de uma massa de ovos, mantidas e multiplicadas em tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) e em seguida em plantas de pimentão (*Capsicum annuum* L.), em solo autoclavado. A obtenção do inoculo fundamentou-se na metodologia descrita por Hussey e Barker (1973) para extração de ovos, a partir das raízes parasitadas de plantas de pimentão. Os feijoeiros foram inoculados com 12.000 ovos planta⁻¹, 15 dias após a semeadura (quando iniciado a aplicação do estresse hídrico). A inoculação foi efetuada com pipeta de graduação automática, sendo a suspensão de ovos vertida em orifícios efetuados ao redor da planta. Por ocasião da colheita, realizada 45 dias após a inoculação, tendo a cultura 55 dias, foram mensuradas a altura da planta e o diâmetro do caule, a quantidade de folhas foi enumerada e foi determinado o índice de área foliar, o peso da material fresca das raízes, folhas e caule, o peso da matéria seca das folhas e caule, o número de galhas, o número de ovos por planta e o fator de reprodução do nematoide.

Para determinação do índice de área foliar, as folhas recém colhidas do feijoeiro foram digitalizadas com auxílio de um scanner e o cálculo realizado utilizando o programa ImageJ

(National Institute of Health, USA). As biomassas frescas (folhas e caule) foram colocadas em sacos de papel previamente identificados, pesadas, secas em estufa com circulação de ar forçada a 65°C por 72 horas ou até o peso constante, e pesadas novamente para a determinação da matéria seca.

Para facilitar a remoção dos sistemas radiculares, os vasos foram colocados em tanque de água por alguns minutos e os sistemas radiculares removidos cuidadosamente de modo a minimizar as perdas de massa de ovos do nematoide. Foram realizadas três lavagens de cada sistema radicular, fazendo-o passar por baldes com água limpa, em seguida, foi determinado o peso da matéria fresca dos sistemas radiculares. Com auxílio de uma lupa, foi realizada a contagem de galhas (TAYLOR; SASSER, 1978) e as raízes cortadas em pequenos segmentos para extração dos ovos conforme Hussey e Barker (1973). O fator de reprodução (FR) foi calculado pela relação: $FR = \text{População final} / \text{População inicial}$. Foram consideradas resistentes as plantas que apresentaram $FR < 1$ e, susceptíveis, as plantas com $FR > 1$ (COOK; EVANS, 1987).

Para as análises bioquímicas, foi utilizado a 3ª folha de cada planta, colocadas em nitrogênio líquido e acondicionou-as em freezer até o procedimento. Os extratos das amostras foram preparados pela homogeneização de 0,1 g de matéria fresca em 4 mL do tampão fosfato de sódio 0,1 M (pH 6.5) adicionado de 0,05 g de polivinilpirrolidona (PVP). O homogenato foi centrifugado a 10.000 x g a 4°C por 10 minutos (ZERAİK et al., 2008) e realizada análise da proteínas solúveis totais (BRADFORD, 1976) e das seguintes enzimas: catalase (BERRS; SIZER, 1952), ascorbato peroxidase (NAKANO; ASADA, 1981), polifenoloxidase (KAR; MISHRA, 1976) e peroxidase (FATIBELHO-FILHO; VIEIRA, 2002). Já para análise do aminoácido prolina foi preparado o extrato obtido de 0,1 g de matéria fresca em 5 mL de ácido sulfosalicílico a 3%. O homogenato foi centrifugado por 10 minutos a 2.000 rpm e filtrado em papel de filtro nº 2, em seguida utilizou metodologia de Bates et al, 1973.

Os dados foram submetidos, à análise de variância, com níveis de significância de 5% de probabilidade, pelo teste F. Quando significativas, as médias foram submetidos ao teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SAS.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação entre os tratamentos com nematoide e estresse hídrico em relação à altura da planta, diâmetro do caule, número de folhas, índice de área foliar, número de ovos

por planta, número de galhas e fator de reprodução, como também não foi significativo o efeito isolado do estresse hídrico sobre essas variáveis, exceto para o diâmetro do caule (Tabela 3) que apresentou maiores valores (0,70 mm) com 50% da capacidade do pote em contraste com 100% da capacidade do pote (0,51 mm). Esses resultados corroboram com outros estudos, a exemplo de Pimentel e Perez (2000), Rocha (2001) e Mendes et al. (2007), que não observaram diferenças significativas no número de folhas produzidas e índice de área foliar do feijoeiro caupi cultivar EPACE 10 submetido a estresse hídrico na fase vegetativa (as plantas foram submetidas a ciclos de deficiência hídrica no 10° ao 44° DAS), constatando resistência desta cultivar ao estresse hídrico.

Tabela 3 – Resumo de análises de variância das variáveis: altura da planta (ALT), diâmetro do caule (DIAM), número de folhas (NF), número de ovos por planta (OVOS), número de galhas (NG), fator de reprodução (FR) e índice de área foliar (IAF) do caupi parasitado por *Meloidogyne incognita* (12.000 ovos mL⁻¹ planta⁻¹) sob estresse hídrico (50 % CP por 45 dias) em casa de vegetação

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios						
		ALT	DIAM	NF	OVOS	NG	FR	IAF
Estresse	1	5,12 ^{ns}	0,11 [*]	0,001 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,04 ^{ns}
Nematoide	1	7,72 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,19 ^{ns}	92,54 [*]	12,17 [*]	4,65 [*]	0,06 ^{ns}
E × N	1	3,24 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,006 ^{ns}	0,02 ^{ns}
Resíduo	19	1,77	0,01	0,41	0,007	0,02	0,04	0,07
CV (%)	-	16,68	15,57	15,14	4,23	19,12	44,19	9,29

* significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns - não significativo pelo teste F

Resultados que corroboraram com Mendes et al. (2007), onde o nível de estresse aplicado não diferiu estatisticamente em relação à testemunha. Por outro lado, Nascimento et al. (2004) relataram que os efeitos do déficit hídrico ocorridos na fase vegetativa do caupi cultivares EMAPA-821 e IPA 206, respectivamente, provocaram reduções nos componentes de crescimento em solo franco arenoso. Larcher (2004) afirma que a taxa de crescimento pode servir de critério para avaliar o grau de estresse e a capacidade da planta de superá-lo.

Em relação ao estresse promovido por *M. incognita*, a quantidade de ovos no final do experimento (9.898 ovos planta⁻¹) foi menor do que o inoculado (12.000 ovos planta⁻¹) resultando em fator de reprodução menor que 1 (FR < 1), indicando resistência do cultivar EPACE 10 ao nematoide. Siqueira et al. (2003) e Mizobutsi et al. (2006) observaram que cultivares de feijoeiro caupi foram imunes a *M. incognita*, *M. javanica* (Treub) Chitwood e

Heterodera glycines Ichione, com FR igual à 0,16, zero e 0,03, respectivamente, representando opção de cultivo dessa leguminosa no semiárido do Nordeste.

Estudando o comportamento de 20 cultivares de caupi em solo de textura arenosa, Goulart et al. (2004) observaram resistência a *M. incognita* e *M. javanica*, embora tenha predominado reação de suscetibilidade. Silva et al. (2007), avaliando 40 genótipos inoculados com *M. incognita* raça 1, também em solo arenoso, constataram que embora 16 genótipos tenham sido classificados como resistentes, permitiram a reprodução do nematoide, inviabilizando a utilização desses genótipos como fontes de resistência. No entanto, os autores afirmam que tomando por base o sistema de produção do caupi, no qual existe um baixo grau de adoção tecnológica, a utilização de variedades resistentes desponta como alternativa viável para o manejo de nematoides das galhas.

Contudo, Wanderley et al. (2007) apresentaram resultados contrários a esta pesquisa. Trabalhando com sete cultivares de caupi inoculados com *M. javanica*, esses pesquisadores verificaram que todos os cultivares avaliados foram suscetíveis ao nematoide, pois apresentaram valores de FR maiores do que 1. Segundo os mesmos autores, a produção de sementes de caupi provenientes de plantas infectadas com *M. javanica* é possível, mas certamente essa produção será menor quando comparada a plantas não parasitadas. Entretanto, se o produtor não puder substituir a cultura por outra ou se preferir continuar cultivando a mesma espécie numa área infestada, deverá optar por cultivares com menor suscetibilidade ou recorrer a plantas resistentes cultivadas em consórcio com outra planta não hospedeira.

Trabalharam com 24 genótipos de fava (*Phaseolus lunatus* L.) inoculados com duas espécies de *Meloidogyne*, Bitencourt e Silva (2010) verificaram resultados variados, não identificando material imune ou altamente resistente, embora três genótipos tenham se mostrado resistentes a *M. incognita*. Araújo Filho et al. (2010) observaram que das 40 linhagens de feijão-guandu (*Cajanus cajan* (L) Hunth), apenas 11 se comportaram como resistentes (FR<1,0). Entre as linhagens resistentes, duas (g58-95 e g66-95) destacaram-se por apresentar valores de FR muito próximos de zero, podendo representar mais uma alternativa ao produtor.

Não houve interação entre nematoide e estresse hídrico, nem foi significativo o efeito isolado dessas variáveis em relação à biomassa fresca da raiz, biomassa fresca das folhas, biomassa fresca do caule, biomassa fresca total, biomassa seca das folhas, biomassa seca do caule e biomassa seca total das plantas (Tabela 4). Mendes et al. (2007) também não

constatarem efeito significativo do estresse hídrico aplicado tanto na fase vegetativa como na fase reprodutiva na produção de matéria seca da parte aérea da cultivar EPACE 10. No entanto, os autores concluíram que apesar da tolerância a estiagens prolongadas, o cultivar EPACE-10 é suscetível à falta de umidade durante a fase próxima à floração.

Tabela 4 – Resumo de análises de variância das variáveis: biomassa fresca da raiz (BFR), biomassa fresca das folhas (BFF), biomassa fresca do caule (BFC), biomassa fresca total (BFT), biomassa seca das folhas (BSF), biomassa seca do caule (BSC) e biomassa seca total (BST) do caupi parasitado por *Meloidogyne incognita* (12.000 ovos mL⁻¹ planta⁻¹) sob estresse hídrico (50% CP por 45 dias) em casa de vegetação

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios						
		BFR	BFF	BFC	BFT	BSF	BSC	BST
Estresse	1	0,05 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,17 ^{ns}
Nematoide	1	0,07 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,56 ^{ns}
E × N	1	0,001 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,004 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,02 ^{ns}
Resíduo	19	0,07	0,07	0,03	0,05	0,18	0,15	0,35
CV (%)		26,94	19,79	13,18	14,05	23,09	20,74	23,52

* significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns - não significativo pelo teste F

Ao estudarem a cultura do caupi em diferentes fases fenológicas e diferentes níveis de disponibilidade de água no solo, Leite e Virgens Filho (2004) relataram que apesar da cultura ser afetada em alguns períodos de estresse, o caupi apresentou capacidade de suportar a baixa disponibilidade de água, pois retomou, de forma lenta e contínua, o aumento da matéria seca em diversas partes da planta.

Não houve interação entre nematoide x estresse hídrico para catalase, peroxidase, ascorbato peroxidase, polifenoloxidase e prolina (Tabela 5). No entanto, nematoide e estresse hídrico interagiram afetando a atividade de proteína solúvel; o estresse hídrico afetou isoladamente a atividade de ascorbato peroxidase, polifenoloxidase e proteína solúvel no feijoeiro, enquanto o nematoide alterou a concentração de catalase e ascorbato peroxidase.

Apesar da enzima peroxidase apresentar variações quando a cultura do caupi foi submetido a estresse hídrico (50% CP), Santos et al. (2010) não obtiveram diferença significativa, corroborando os resultados obtidos no presente estudo. Segundo Camargo et al. (2000) e Piza et al. (2003), a atividade da enzima peroxidase varia com o tipo de tecido e estágio de desenvolvimento da planta, sendo sua atividade inversamente proporcional ao crescimento do vegetal.

Tabela 5 – Resumo de análises de variância para catalase (CAT), peroxidase (POD), ascorbato peroxidase (APX), polifenoloxidase (PPO), proteína solúvel (PS) e prolina (PRO) em feijoeiro caupi submetido ao parasitismo de *Meloidogyne incognita* (12.000 ovos mL⁻¹ planta⁻¹) sob estresse hídrico (50% CP por 45 dias) em casa de vegetação

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios					
		CAT	POD	APX	PPO	PS	PRO
Estresse	1	0,333 ^{ns}	1802,5 ^{ns}	55,59*	616,5*	2,99*	0,001 ^{ns}
Nematoide	1	0,008*	2370,8 ^{ns}	2,66*	282,7 ^{ns}	2,81 ^{ns}	0,06 ^{ns}
E x N	1	0,465 ^{ns}	90,3 ^{ns}	43,06 ^{ns}	93,4 ^{ns}	0,03*	0,01 ^{ns}
Resíduo	19	0,065	672,2	2,57	60,97	0,22	0,01
CV (%)		18,75	12,25	17,95	13,59	12,88	12,27

* significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns - não significativo pelo teste F

As atividades das enzimas polifenoloxidase e ascorbato peroxidase reduziram com a aplicação de estresse de 50% CP, independentemente de *M. incognita* (Tabela 6).

Tabela 6 - Valores médios da enzima polifenoloxidase (PPO) e ascorbato peroxidase (APX) em relação ao estresse hídrico (50% CP) aplicado no feijoeiro caupi em casa de vegetação

Estresse	PPO (mmol pirogalol gMF ⁻¹ min ⁻¹)	APX (mg H ₂ O ₂ gMF ⁻¹ min ⁻¹)
COM (50 % CP)	51,21 b	51,99 b
SEM (100 % CP)	63,62 a	123,05 a
DMS	8,50	33,39

As letras diferentes na coluna apresentam médias diferentes significativamente pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. CP = capacidade do pote, segundo Souza et al. (2000).

Campos et al. (2004) e Jesus (2011) constataram que as enzimas oxidativas, como catalase, polifenoloxidase e ascorbato peroxidase apresentam atividade enzimática alterada com o aumento do estresse abiótico. Embora estudos detalhados a respeito dos mecanismos bioquímicos envolvendo fenóis em plantas sejam necessários, é provável que fenóis e polifenoloxidases atuem como parte de um conjunto de fatores constitutivos para determinar os níveis diferentes de resistência das culturas (NOJOSA et al., 2003). Algumas espécies de plantas são capazes de tolerar baixo teor de água nos tecidos das vegetais, exibindo crescimento e manutenção dos processos metabólicos mesmo sob déficit hídrico celular (McCANN; HUANG, 2008).

As atividades das enzimas polifenoloxidase e catalase reduziram com o parasitismo de *M. incognita* (Tabela 7). Segundo Oliveira (2012), algumas repostas bioquímicas ou fisiológicas das enzimas oxidativas ocorrem não só no local de infecção (raízes) pelo juvenil de segundo estágio (J2) de *M. incognita*, mas, também, de forma sistêmica, caracterizando a

indução dessas enzimas oxidativas como resposta de defesa, também, manifestada na interação feijoeiro caupi \times *M. incognita*. Além disso, segundo o mesmo autor, a cultura do caupi possui mecanismos de defesa contra os estresses bióticos e abióticos, e um deles é a enzima catalase, que apresenta mecanismos fundamentais para a defesa da planta. Ainda segundo o autor, as respostas das atividades enzimáticas devem ser detalhadamente estudadas para que melhor se compreenda as estratégias de defesa empregadas pela planta. Isto possibilitaria a manipulação das vias metabólicas e/ou substâncias intervenientes nos mecanismos ativos de defesa, visando o desenvolvimento de variedades mais aptas a se defenderem das pressões bióticas e abióticas que lhes são impostas nos ambientes onde são cultivadas.

Tabela 7 - Valores médios de ascorbato peroxidase (APX) e catalase (CAT) em feijoeiro caupi parasitado por *M. incognita* (12.000 ovos mL⁻¹ planta⁻¹) em casa de vegetação

Nematoide	APX (mmol H ₂ O ₂ gMF ⁻¹ min ⁻¹)	CAT (mmol H ₂ O ₂ gMF ⁻¹ min ⁻¹)
COM	57,22 b	0,29 b
SEM	117,21 a	1,95 a
DMS	33,39	1,01

As letras diferentes na coluna apresentam médias diferentes significativamente pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. CP = capacidade do pote, segundo Souza et al. (2000).

Souza et al. (2004) relataram aumentos no conteúdo de prolina e açúcares solúveis totais em plantas de caupi sob condições de estresse hídrico. Além disso, a atividade enzimática pode ser reduzida ou ser estimulada com estresse ambiental (JESUS, 2011; TSIMPHO, 2011), e algumas delas, como a peroxidase, serem mecanismos de defesa dos hospedeiros a patógenos (ROSSITER et al., 2008).

A proteína solúvel aumentou quando submetida à aplicação de 50% CP na presença do *M. incognita* (Tabela 8). Oliveira Neto et al. (2012), estudando duas cultivares de caupi Sempre Verde e Pitiúba submetidas a estresse hídrico de cinco dias, observaram que o estresse aplicado diminuiu drasticamente o teor de proteínas solúveis totais nas folhas, 42,46% e 54,38%, respectivamente. Costa et al. (2012), também constataram redução (41,98%) no teor de proteínas solúveis totais em feijoeiro caupi cultivar Manteiguinha quando submetido à déficit hídrico. Ambos os autores atribuíram esse comportamento ao fato da falta de água ter aumentado a atividade de enzimas hidrolíticas, tais como a protease, diminuindo drasticamente o teor de proteínas solúveis nas folhas.

Tabela 8 - Valores médios da proteína solúvel (PS) da interação nematoide de galhas *M. incognita* (12.000 ovos mL⁻¹ planta⁻¹) × estresse hídrico (50% CP por 45 dias) em feijoeiro caupi em casa de vegetação

Estresse	PS (mg proteína solúvel gMF-1)	
	Nematoide	
	COM	SEM
COM (50% CP)	20,07 aA	12,76 aB
SEM (100% CP)	7,51 bB	12,71 aB
DMS	5,28	

Letras diferentes apresentam médias diferentes significativamente para cada variável pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade, sendo que letras minúsculas referem-se à linha e letras maiúsculas refere-se à coluna.
CP = capacidade do pote, segundo Souza et al. (2000).

Resultado semelhante foi descrito por Santos et al. (2010), que observaram efeito não significativo nos teores de açúcares em oito cultivares de caupi quando submetidos à estresse hídrico na prefloração, apesar de apresentarem variações na atividade enzimática, ocorrendo diminuição sob condições de estresse hídrico.

CONCLUSÕES

O desenvolvimento do cultivar EPACE-10 de feijoeiro caupi não é afetado por um nível de estresse hídrico equivalente a 50% da capacidade do pote;

As respostas das enzimas oxidativas ao estresse hídrico e parasitismo de *M. incognita* são variáveis. A peroxidase não é afetada, a catalase é diminuída pelo parasitismo do nematoide, a ascorbato peroxidase é diminuída pelo estresse hídrico, e a polifenoloxidase é diminuída tanto pelo estresse hídrico como pelo parasitismo de *M. incognita*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO FILHO, J. V. et al. Resistência de linhagens de feijão-guandu a *Meloidogyne javanica*. **Nematologia Brasileira**, v. 34, n. 2, p. 75-81, 2010.

BATES, L. S.; WALTREN, R. B.; TEARE, I. D. Rapid determination of free praline for water – stress studies. **Plant and Soil**, v.39, p.205-207, 1973.

BERRS, L. S. J.; SIZER, I. W. An spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase. **Journal of Biological Chemistry**, v. 195, p. 133-140, 1952.

BEZERRA, F. M. L. et al. Feijão caupi e déficit hídrico em suas fases fenológicas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 34, n. 1, p. 5-10, 2003.

BITENCOURT, N. V.; SILVA, G. S. Reação de genótipos de fava a *Meloidogyne incognita* e *M. enterolobii*. **Nematologia Brasileira**, v. 34, n. 3, p. 184-186, 2010.

BRANDFORD, M. **Analytical Biochemistry**. 72, p. 248-254, 1976.

CAMARGO, M. L. P. de et al. Atividade enzimática de plântulas de *Eucalyptus grandis* provenientes de sementes envelhecidas artificialmente e naturalmente. **Ciência Florestal**, v. 10, n. 2; p. 113-122, 2000.

CAMPOS, A. D. et al. Atividade de peroxidase e polifenoloxidase na resistência do feijão à antracnose. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 7, p. 637-643, 2004.

CHARCHAR, J. M. *Meloidogyne* em hortaliças. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE NEMATOLOGIA TROPICAL, 19, 1995, Rio Quente, GO. **Programa e anais...** Brasília: SBN, p.149-153, 1995.

COOK, R.; EVANS, K. Resistance and tolerance. In: BROWN, R. H. & KERRY, B. R. (Ed.). **Principles and practice of nematode control in crops**. New York: Academic Press, p. 179-231, 1987.

COSTA, R. C. L. **Assimilação de Nitrogênio e Ajustamento Osmótico em Planta Noduladas de Feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) Submetidas ao Estresse Hídrico**. 123p. 1999. Tese (Doutorado em Bioquímica) – Universidade Federal do Ceará/DBBM. 1999.

COSTA, R. C. L.; LOBATO, A. K. S.; OLIVEIRA-NETO, C. F. **Variação nos teores de proteínas solúveis totais em folhas de feijão-caupi submetidas ao déficit hídrico.**

Disponível em: <http://www.cpamn.embrapa.br/anaisconac2006/resumos/FV08.pdf>. Acesso em: 25 mai 2012.

DEBOUBA, M. et al. NaCl stress effects on enzymes involved in nitrogen assimilation pathway in tomato *Lycopersicon esculentum* seedlings. **Journal of Plant Physiology**, v.163, p.1247–1258, 2006.

EMBRAPA SOLOS. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Rio de Janeiro, 1999, 412p.

FATIBELHO-FILHO, O.; VIEIRA, I. C. Uso analítico de tecidos e de extratos brutos vegetais como fonte enzimática. **Química Nova**, v.25, n.3, p.455-464, 2002.

FERRAZ, S.; FREITAS, L. G. **Use of antagonistic plants and natural products.** In: CHEN, Z. X.; CHEN, S. Y.; DICKSON, D. W. (ed) *Nematology – Advances and Perspectives.* CABI, Wallingford - UK, p. 931-960, 2004.

FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas.** Passo Fundo: UPF, 2004.

GOULART, R. dos R. et al. Avaliação de linhagens e cultivares de caupi à infecção por *Meloidogyne incognita* e *M. javanica*. **Agronomia**. Rio de Janeiro, v.38, n.2, p.51-54, 2004.

HUSSEY, R. S.; BARKER, K. R. A comparison of methods of collecting inocula for *Meloidogyne* spp., including a new technique. **Plant Disease Reporter**, v.57, n.12, p. 1025-1028, 1973.

JESUS, C. G. de. **Estresse salino em rúcula (*Eruca saliva* Mill) hidropônica: aspectos fisiológicos, bioquímicos e nutricionais.** 2011. 66p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2011.

KAR, M.; MISHRA, D. Catalase, peroxidase and poliphenoloxidase activities during rice leaf senescence. **Plant Physiology**, v. 57, p. 315 – 319, 1976.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S. A, 2004

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

LEITE, M. de L.; VIRGENS FILHO, J. S. das; RODRIGUES, J. D. Variação dos níveis de prolina em folhas de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) submetido a diferentes déficits hídricos. **Biotemas**, v. 13, n. 1, p. 21-33, 2000.

LEITE, M. de L.; VIRGENS FILHO, J. S. das. Produção de matéria seca em plantas de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) submetida a déficit hídrico. **Ciências Exatas e da Terra**. Ponta Grossa, v.10, n.1, p.43-51, 2004.

McCANN, S. E.; HUANG, B. Evaluation of drought tolerance and avoidance traits for six creeping bentgrass cultivars. **HortScience**, v. 43, p. 519-524, 2008.

MENDES, R. M. de S. et al. Relações fonte-dreno em feijão-de-corda submetido à deficiência hídrica. **Revista Ciência Agronômica**. Fortaleza, v.38, n.1, p.95-103, 2007.

MIZOBUTSI, E. H. et al. Avaliação do componente de resistência da linhagem L2300 de feijoeiro a *Heterodera glycines*. **Nematologia Brasileira**, v. 30, n. 3, p. 251-257, 2006.

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant Cell Physiology**, v. 22, p. 867-880, 1981.

NASCIMENTO, J. T.; PEDROSA, M. B.; SOBRINHO, J. T. Efeito da variação de níveis de água disponível no solo sobre o crescimento e produção do feijão caupi, vagens e grãos verdes. **Horticultura Brasileira**. v.22, n.2, p.174-177, 2004.

NOJOSA, G. B. A. et al. Componentes fenólicos e enzimas oxidativas em clones de *Theobroma cacao* resistentes e suscetíveis a *Crinipellis pernicioso*. **Fitopatologia Brasileira**, v. 28, n. 2, p. 148-154, 2003.

OLIVEIRA, C. A. S. et al. Produção de escleródios de *Sclerotinia sclerotiorum* e severidade de oídio em cultivares de ervilha sob diferentes lâminas de água. **Horticultura Brasileira**, v.18, n.1, p.16-20, 1999.

OLIVEIRA-NETO, C. F.; LOBATO, A. K. S.; COSTA, R. C. L. **Teor de proteínas solúveis totais em folhas de duas cultivares de feijão-caupi sob estresse hídrico**. Disponível em: <http://www.cpamn.embrapa.br/anaisconac2006/resumos/FV08.pdf>. Acesso em: 25 mai 2012.

OLIVEIRA, J. T. A. **Mecanismo de defesa do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) contra patógenos**. Disponível em: <http://www.cpamn.embrapa.br/anaisconac2006/Palestras/PalestraJTAOLIVEIRA.pdf>. Acesso: 15 jan 2012.

PIMENTEL, C.; PEREZ, A. J. de La C. Estabelecimento de parâmetros para avaliação de tolerância à seca, genótipos de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 31-39, 2000.

PIMENTEL, J. P.; FERRAZ, L. C. C. B. Efeitos de níveis de inoculo de *Meloidogyne javanica*, associado ou não a *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli*, sobre crescimento do feijoeiro. **Nematologia Brasileira**, v.28, n.2, p. 173-179, 2004.

PIZA, I. M. T.; LIMA, G. P. P.; BRASIL, O. G. Atividade de peroxidase e níveis de proteínas em plantas de abacaxizeiro micropropagadas em meio salino. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 9, n. 4, p. 361-366, 2003.

ROCHA, D. G. da F. **Comportamento de cultivares de feijão-de-corda submetidos à deficiência hídrica na fase vegetativa**. 2001. 67f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2001.

ROSSITER, J. G. de A. et al. Seleção de genótipos de aceroleira assistida por marcadores isoenzimáticos visando à resistência a *Meloidogyne incognita* raça 2. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 4, p. 1057-1064, 2008.

SANTOS, C. A. F.; ARAÚJO, F. P.; MENEZES, E. A. Comportamento produtivo de caupi em regime irrigado e de sequeiro em Petrolina e Juazeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.11, p.2229-2234, 2000.

SANTOS, C. F.; LIMA, G. P. P.; MORGADO, L. B. Tolerância e caracterização bioquímica em feijão caupi submetido a estresse hídrico na prefloração. **Naturalia**, v. 33, p. 34-44, 2010.

SANTOS, A. V.; GOMES, C. B. Reação de cultivares de mamona a *Meloidogyne* spp. E efeito dos exsudatos radiculares sobre *Meloidogyne enterolobii* e *M. graminicola*. **Nematologia Brasileira**, v. 35, n. 1-2, p. 1-9, 2011.

SILVA, G. S. Nematoides. In: FREIRE FILHO, F., LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. (ed) **Feijão-Caupi: Avanços Tecnológicos**. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília. p. 487-497. 2005.

SILVA, G. S. et al. Reação dos genótipos de feijão caupi a *Meloidogyne incógnita* raça 1. **Nematologia Brasileira**. Piracicaba, v.31, n.2, p. 1-3, 2007.

SIQUEIRA, K. M. S. de et al. Interação entre *Meloidogyne incógnita* raça 2, *Glomus etunicatum* e estirpes de rizóbios em caupi (*Vigna unguiculada*) e feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris*). **Nematologia Brasileira**, v. 27, n. 2, p. 159-166, 2003.

SOUZA, C. C. et al. 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, n.3, p.338-342, 2000.

SOUZA, R. P. et al. Photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and some associate metabolic changes in cowpea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery. **Environmental and Experimental Botany**, v. 51, n. 1, p. 45-56, 2004.

SUBBARAO, G.V.; CHAUHAN, Y.S.; JOHANSEN, C. Patterns of osmotic adjustment in pigeon pea — its importance as a mechanism of drought resistance. **European Journal of Agronomy**, v. 12, p. 239–249, 2000.

TAYLOR, A. L., SASSER, J. N. Biology, **Identification and Control of Root-Knot Nematodes (*Meloidogyne* species)**. Raleigh: North Carolina State University, 1978, 111 p.

TSIMPHO, C. J. **Efeito da salinidade da água de irrigação e de fração de lixiviação no cultivo do milho (*Zea mays* L.)**. 2011. 86p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2011.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Ceará**. In: Ceará. Fortaleza: UFC/CCA, 1993. 248p.

WANDERLEY, M. J. A. et al. Resistência genética do feijão caupi ao nematoide *Meloidogyne javanica*. **Revista Brasileira Agroecologia**. V.2, n.1, p. 1377-1380, 2007.

YORDANOV, I.; VELIKOVA, V.; TSONEV, T. Plant response to drought, acclimation, and stress tolerance. **Photosynthetica**, v.38, p.171-186, 2000.

ZERAIK, A. E. et al. Desenvolvimento de um spot test para o monitoramento da atividade da peroxidase em um procedimento de purificação. **Química Nova**, v. 31, p. 731-734, 2008.

CAPÍTULO 3

Efeito da interação estresse hídrico × *Bacillus* sp. × *Meloidogyne incognita* no crescimento e componentes bioquímicos do meloeiro

Resumo: Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da interação estresse hídrico × *Bacillus* sp. ENM51 × *Meloidogyne incognita* sobre variáveis de crescimento da planta, enzimas e teores de fósforo e nitrogênio do meloeiro amarelo cultivar Gold Mine em casa de vegetação. O estresse hídrico de 50% da capacidade do pote diminuiu o comprimento da haste, o número de folhas, o índice de área foliar e as biomassas frescas e secas das plantas. O nematoide diminuiu o comprimento e as biomassas fresca e seca da haste, a biomassa fresca total e o número de folhas e de flores. *Bacillus* sp. diminuiu a reprodução do nematoide e o número de galhas. A inoculação com a bactéria evitou a redução da biomassa fresca da raiz promovida pelo estresse hídrico. O estresse hídrico aumentou os níveis de proteína solúvel e ascorbato peroxidase nas plantas. *Bacillus* sp. inibiu as variações nos níveis de proteína solúvel promovidas pelo estresse hídrico como também as promovidas pelo nematoide. As atividades de peroxidase, polifenoloxidase, catalase, prolina, fósforo e nitrogênio não foram afetados.

Palavras-chaves: *Cucumis melo*, nematoide de galhas, rizobactéria, enzimas, nutrientes

Effect of drought stress × *Bacillus* sp. × *Meloidogyne incognita* interaction on melon growth and plant biochemical components

Abstract: This study had as objective evaluating the hydro stress × *Bacillus* sp. ENM51 × *Meloidogyne incognita* interaction on melon amarelo cultivar Gold Mine through plant growth variables, enzymes and phosphorus and nitrogen content, under greenhouse. Drought stress (50% pot capacity) decreased haste length, leaf number, leaf area index and fresh and dry plant biomasses. Nematode decreased haste length, haste fresh and dry biomasses, total plant fresh biomass, leaf and flower numbers. *Bacillus* sp. decreased nematode reproduction and gall number. The inoculation with the bacteria avoided decreasing on root fresh biomass of hydro stressed plants. Hydro stress increased ascorbate peroxidase and total protein levels. *Bacillus* sp. inhibits variations on total protein induced by either drought stress or nematode.

There was no effect on peroxidase, polyphenol oxidase, catalase, proline, phosphorus and nitrogen content.

Keywords: *Cucumis melo*, root-knot nematode, rhizosphere bacteria, enzyme, nutrient

INTRODUÇÃO

O melão (*Cucumis melo* L.) é o fruto de uma olerícola pertencente à família Cucurbitácea, muito apreciado, de popularidade ascendente no Brasil e no mundo. A amplitude de regiões de cultivo é consequência de uma grande variabilidade genética que tem permitido a adaptação de diferentes tipos de meloeiro em condições edafoclimáticas diversas (PEREIRA FILHO, 2012).

Aproximadamente, 96% da produção no Brasil estão concentradas nos Estados do Rio Grande do Norte (46,6%), Ceará (35%), Bahia e Pernambuco (juntos 13,9%), sendo o Rio Grande do Norte responsável por 50% da produção nacional, predominando o melão tipo amarelo (AGRIANUAL, 2010). Esta cucurbitácea é atualmente uma das culturas de maior expressão social e econômica para a região semiárida nordestina (MIGUEL et al., 2008). Em 2005, tornou-se a segunda fruta mais exportada pelo país, com o mercado internacional estimado em 1,6 milhão de Mg ano⁻¹. A grande vantagem de regiões semiáridas para o cultivo de meloeiro é a pequena ocorrência de chuvas que favorecem a baixa incidência de doenças e a melhor qualidade dos frutos (SENAR, 2007).

Nessas regiões, entretanto, o parasitismo por nematoides de galhas (*Meloidogyne* Goeldi) constitui um dos maiores entraves ao desenvolvimento da cultura, pois causa grandes perdas em olerícolas, inibindo iniciativas empresariais de produção e de exportação (BERNARDO et al., 2011). Os sintomas mais característicos do parasitismo desses nematoides aparecem nas raízes, que infectadas engrossam no ponto de penetração do juvenil, originando as galhas típicas. A infecção afeta a absorção de água e nutrientes, reduzindo o valor comercial da cultura e, em casos muito graves, ocasionando a morte da planta (STEFFEN, 2007).

As rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (RPCPs) são agentes de controle biológico que apresentam grande potencial para o controle de *Meloidogyne* spp. (FREITAS et al., 2002; FREITAS et al., 2005; LOPES et al., 2007). A eficiência desses organismos está associada principalmente à produção de metabólitos tóxicos, alteração dos

exsudatos radiculares ou indução de resistência à planta (SIQUEIRA et al., 2003; CHEN; DICKSON, 2004; FREITAS et al., 2005). Um ou mais mecanismos de ação podem estar envolvidos no controle de fitopatógenos por rizobactérias, destacando-se a secreção de sideróforos que podem inibir fungos fitopatogênicos (HAAS; DÉFAGO, 2005), antibióticos e outras enzimas que degradam a parede celular, competição por espaço e nutrientes, antibiose, parasitismo e indução de resistência (NANDAKUMAR et al., 2001; RAMAMOORTHY et al., 2001; WHIPPS, 2001).

O uso de práticas de gestão eficiente para reduzir e manter a população de nematoides abaixo do nível de danos é uma exigência da agricultura moderna. Por ter efeitos na promoção de crescimento e no biocontrole de doenças radiculares e foliares, reduzir custos de produção e diminuir o impacto dos agrotóxicos no meio ambiente, a associação de plantas com rizobactérias vem adquirindo importância crescente (FREITAS; AGUILAR-VILDOSO, 2004; ANDREI, 2005; ROMEIRO; BATISTA, 2012), sendo um campo de investigação promissora (FREITAS et al., 2005). O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da interação estresse hídrico \times *Bacillus* sp. \times *Meloidogyne incognita* sobre componentes de crescimento, enzimas e teores de fósforo e nitrogênio em meloeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação pertencente à Universidade Federal Rural de Pernambuco, localizada no Município de Recife – Pernambuco, situado na latitude de 58° 61' S, longitude 39° 89' W e, altitude de 169 metros, com temperatura média de \pm 30,25 °C, umidade relativa do ar de 77,38%. O solo utilizado foi um Argissolo amarelo distrófico (EMBRAPA, 1999) de textura franco arenosa, coletado no município de Carpina, Pernambuco. Os resultados das análises físicas e químicas do solo estão dispostos nas Tabelas 1 e 2.

Para condução do experimento, o material de solo foi passado em peneira de 5 mm e autoclavado por 1 hora e 30 min, por dois dias consecutivos, com um intervalo de 24 h, à temperatura de 120 °C e pressão de 101 kPa, e acondicionado em vasos com 70 cm de altura e 58 cm de diâmetro. O delineamento estatístico adotado foi de blocos ao acaso, no esquema fatorial 2 (com e sem estresse hídrico) \times 2 (com e sem nematoide) \times 2 (com e sem rizobactéria), com oito repetições, totalizando 64 parcelas. O nível de estresse adotado foi de 50% da capacidade do pote. A capacidade do pote foi adotada como o conteúdo de água

retirada pelo solo após sofrer saturação e consequente ação da gravidade, até o cessamento da drenagem, segundo Souza et al. (2000). Antes do plantio das sementes de meloeiro nos vasos, foram realizadas calagem e adubação de fundação segundo Universidade Federal do Ceará (1993).

Tabela 1 - Atributos químicos do solo utilizado no experimento

Atributos químicos	Camada de coleta (m)
	0,5 – 0,9
pH (Água)	4,6
Complexo Sortivo (cmol _c kg ⁻¹)	
Ca ²⁺	0,37
Mg ²⁺	0,51
Na ⁺	0,03
K ⁺	0,04
H ⁺ + Al ³⁺	2,84
Al ³⁺	0,91
S	0,95
T	4,70
C (g kg ⁻¹)	7,0
N (g kg ⁻¹)	0,3
M.O. (g kg ⁻¹)	23
P Assimilável (mg kg ⁻¹)	8
K (mg dm ⁻³)	0,04

Tabela 2 - Atributos físicos do solo utilizado no experimento

Atributos físicos	Camada de coleta (m)
	0,5 – 0,9
Composição granulométrica (%)	
Areia grossa	53
Areia fina	24
Silte	8
Argila	15
Argila natural	6
Densidade (g cm ⁻³) do solo	1,58
dos sólidos do solo	2,65

A irrigação dos vasos foi controlada através do procedimento de pesagem, onde os vasos eram pesados diariamente em balança de precisão com sensibilidade de 1 g entre 7 e 9 horas da manhã, para posterior reposição da água evapotranspirada no período, mantendo-se os vasos próximos à capacidade de campo e omitindo-se a irrigação em 50% da capacidade do pote naqueles tratamentos sob condições de estresse.

A rizobactéria foi oriunda da Coleção de Culturas do Laboratório de Bacteriologia Vegetal da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Para obtenção do inóculo foi utilizada a metodologia adaptada por Gomes et al. (2005), espalhando-se uniformemente o isolado em toda a superfície do meio NYDA, em placas de Petri, com uma espátula de Drigalsky. As placas foram incubadas em BOD por 48 horas, a 30 ° C. Dependendo da cor e do crescimento no médio prazo (\pm 72 horas), das colônias isoladas, estas foram purificadas e preservadas pelo método de água destilada esterilizada (DE VAY; SCHNATHRST, 1963). Em seguida, os isolados foram submetidos aos testes do Gram e crescimento em meio King B (SCHAAD et al, 2001). Foi utilizado apenas um isolado de rizobactéria do gênero *Bacillus* sp., ENM51, obtido de diferentes órgãos de meloeiro sadio (OLIVEIRA et al, 2006). Após obtenção, a rizobactéria foi inoculada em meloeiro, 20 dias após a germinação, com auxílio de uma proveta, usando-se 20 mL de suspensão bacteriana planta⁻¹, ajustada em espectrofotômetro 570 nm para absorvância 0,7.

A população de *M. incognita* foi obtida no campo e propagada de progênies oriundas de uma massa de ovos, mantida e multiplicada em tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) e em seguida em plantas de pimentão (*Capsicum annuum* L.), em solo autoclavado. A obtenção do inóculo fundamentou-se na metodologia descrita por Hussey e Barker (1973) para extração de ovos, a partir das raízes parasitadas de plantas de pimentão. Os meloeiros foram inoculados com 12.000 ovos planta⁻¹, após três dias da inoculação da rizobactéria, quando também se submeteu as plantas ao estresse hídrico. As inoculações foram efetuadas com pipetas de graduação automática, sendo a suspensão de ovos vertida em orifícios efetuados ao redor da planta.

Por ocasião da colheita, realizada 45 dias após a inoculação do nematoide, tendo a planta idade de 58 DAS (dias após a semeadura), foram avaliadas as seguintes variáveis: crescimento morfológico (comprimento da haste, diâmetro da haste, número de folhas e número de flores), biomassa fresca das raízes, biomassa fresca das folhas, biomassa fresca da haste, biomassa fresca total, biomassa seca das folhas, biomassa seca da haste, biomassa seca total, índice de área foliar, número de galhas nas raízes, número de ovos do nematoide por planta e o fator de reprodução do nematoide.

Para a avaliação do crescimento morfológico, as mensurações foram obtidas com auxílio de trena e paquímetro. Para determinação do índice de área foliar, as folhas frescas do meloeiro foram digitalizadas com auxílio de um scanner e o cálculo realizado utilizando o programa ImageJ (National Institute of Health, USA).

Para a avaliação da matéria seca, as amostras coletadas foram armazenadas em sacos de papel, previamente identificados, e posteriormente pesadas e encaminhadas para a secagem em estufa com circulação de ar forçada a 65°C por um período de 72 horas, e pesadas novamente. Em seguida, as amostras foram moídas e condicionadas em sacos de polietileno para realização das análises de fósforo (P) pelo método de Miyazawa et al. (1984) e de nitrogênio (N) que seguiu a metodologia descrita pela Association of Official Analytical Chemists – AOAC (1990).

Para os dados nematológicos, visando facilitar a remoção dos sistemas radiculares, os vasos foram colocados em um tanque de água por alguns minutos e os sistemas radiculares removidos cuidadosamente de modo a minimizar as perdas de massa de ovos do nematoide. Foram realizadas três lavagens de cada sistema radicular, fazendo-o passar por baldes com água limpa, tomando-se, em seguida, o peso da matéria fresca das raízes. Com auxílio de uma lupa, foi realizada a contagem de galhas (TAYLOR; SASSER, 1978) e as raízes cortadas em pequenos segmentos para extração dos ovos conforme Hussey e Barker (1973). O fator de reprodução (FR) foi calculado pela relação: $FR = \text{População final} / \text{População inicial}$.

Para as análises bioquímicas, foi utilizado a 3ª folha de cada planta submergida em nitrogênio líquido e armazenada em freezer. O extrato das amostras foi preparado para as análises pela homogeneização de 0,1 g de matéria fresca em 4 mL do tampão fosfato de sódio 0,1 M (pH 6.5) adicionado de 0,05 g de polivinilpirrolidona (PVP). O homogenato foi centrifugado a 10.000 x g a 4°C por 10 minutos (ZERAİK et al., 2008) e realizado análise das seguintes enzimas: catalase (BERRS; SIZER, 1952), ascorbato peroxidase (NAKANO; ASADA, 1981), polifenoloxidase (KAR; MISHRA, 1976), peroxidase (FATIBELHO-FILHO; VIEIRA, 2002), e da proteínas solúveis totais (BRADFORD, 1976). Já para análise do aminoácido prolina foi preparado o extrato obtido de 0,1 g de matéria fresca em 5 mL de ácido sulfosalicílico a 3%. O homogenato foi centrifugado por 10 minutos a 2.000 rpm e filtrado em papel de filtro nº 2, em seguida utilizou metodologia de Bates et al. (1973).

Os dados foram submetidos à análise de variância com níveis de significância de 5% de probabilidade, pelo teste F. Quando significativas, as médias foram submetidos ao teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SAS.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não ocorreram interações significativas entre estresse hídrico, *Bacillus* sp. e *M. incognita* para nenhuma das variáveis de crescimento avaliadas. No entanto, interações significativas foram detectadas entre estresse hídrico e *Bacillus* sp. em relação à biomassa fresca da raiz e biomassa seca total, como também, entre *Bacillus* sp. e *M. incognita* em relação ao número de galhas (Tabelas 3 e 4).

Tabela 3 – Resumo da análise de variância das variáveis: comprimento da haste (CH), diâmetro da haste (DH), número de folhas (NF), número de flores (NFL), índice de área foliar (IAF), número de ovos do nematoide (OVOS) e número de galhas (NG) em meloeiro amarelo cultivar Gold Mine inoculado com *Bacillus* sp. (R) (20 mL de suspensão bacteriana planta⁻¹) e *Meloidogyne incognita* (N) (12.000 ovos mL⁻¹ planta⁻¹), submetido a estresse hídrico (E) (50% CP por 45 dias) em casa de vegetação

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios						
		CH	DH	NF	NFL	IAF	OVOS	NG
E	1	14203,45*	0,00001 ^{ns}	19,14*	7,11 ^{ns}	0,26*	0,22 ^{ns}	0,24 ^{ns}
N	1	411,37*	0,002 ^{ns}	0,02*	2,99*	0,01 ^{ns}	277,63 ^{ns}	32,51 ^{ns}
R	1	10967,11 ^{ns}	0,001 ^{ns}	11,52 ^{ns}	2,11 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,15*	0,87*
E × N	1	140,97 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,31 ^{ns}
E × R	1	349,15 ^{ns}	0,0004 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,01 ^{ns}
N × R	1	282,62 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,08*
E × R × N	1	7,79 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,1 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,01 ^{ns}
Resíduo	56	513,11	0,003	0,48	1,78	0,02	0,26	0,09
CV (%)	-	23,01	13,09	14,82	28,99	5,75	25,42	38,85

* significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns - não significativo pelo teste F

O estresse hídrico de 50% da capacidade do pote diminuiu significativamente ($P \leq 0,05$) o comprimento da haste, o número de folhas, o índice de área foliar e as biomassas frescas e secas das plantas (Tabela 5).

Essa resposta foi atribuída ao mecanismo de regulação hídrica do meloeiro quando submetido aos baixos potenciais hídricos do solo e/ou à alta demanda evapotranspirativa, corroborando Soares et al. (2002), Dias et al. (2006), Porto Filho et al. (2006), Silva et al. (2008) e Silva et al. (2010). Ao contrário dessa pesquisa, Soares et al. (2010), também trabalhando com meloeiro sob estresse salino, verificaram que não houve redução no crescimento da cultura à medida que se aumentou a salinidade da água, exceto a altura das plantas e o índice de velocidade de germinação. Farias et al. (2003) notaram comportamento

similar para o híbrido Gold Mine, quando estudaram dois níveis de salinidade da água de irrigação, e constataram que o acúmulo de biomassa seca foi afetado apenas pela água de maior salinidade. Ambos os resultados corroboram Sivritepe et al. (2003) e Queiroga et al. (2006). Contudo, tem sido relatado que o estresse abiótico afeta o desenvolvimento das plantas em todos os estádios de crescimento de forma diferenciada, sendo a maioria dos cultivares mais sensíveis durante a emergência das plântulas, onde possivelmente as interações entre estresse e membranas celulares estão interferindo em diversas funções da membrana, como permeabilidade e transporte de solutos, podendo causar alterações estruturais (ARAGÃO et al., 2009).

Tabela 4 – Resumo da análise de variância das variáveis: biomassa fresca das folhas (BFF), biomassa fresca da haste (BFH), biomassa fresca total (BFT), biomassa fresca da raiz (BFR), biomassa seca das folhas (BSF), biomassa seca da haste (BSH) e biomassa seca total (BST) de meloeiro amarelo cultivar Gold Mine inoculado com *Bacillus* sp. (R) (20 mL de suspensão bacteriana planta⁻¹) e *Meloidogyne incognita* (N) (12.000 ovos mL⁻¹ planta⁻¹), submetido a estresse hídrico (E) (50% CP por 45 dias) em casa de vegetação

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios						
		BFF	BFH	BFT	BFR	BSF	BSH	BST
E	1	1,08*	685,39*	10,96*	0,26*	0,13*	1,01*	1,17*
N	1	0,06 ^{ns}	21,84*	0,33*	1,75 ^{ns}	0,004 ^{ns}	0,02*	0,02 ^{ns}
R	1	0,86 ^{ns}	204,32 ^{ns}	4,63 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,49*
E × N	1	0,001 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,000004 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,0001 ^{ns}	0,01 ^{ns}
E × R	1	0,07 ^{ns}	29,03 ^{ns}	5,37 ^{ns}	0,27*	0,28 ^{ns}	0,0003 ^{ns}	0,17*
N × R	1	1,74 ^{ns}	27,59 ^{ns}	1,94 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,07 ^{ns}
E × R × N	1	0,002 ^{ns}	8,78 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,0001 ^{ns}
Resíduo	56	0,30	11,46	0,43	0,06	0,02	0,02	0,04
CV (%)	-	15,89	22,65	12,64	15,31	11,46	10,35	11,79

* significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns - não significativo pelo teste F

Estudos realizados em outras culturas sob condições de estresse hídrico, a exemplo de Aguiar Netto et al. (2000), Urchei et al. (2000) e Rocha (2011), apresentam a mesma tendência de queda da taxa de crescimento relativo. Para Ayers e Westcot (1999), o aumento da pressão osmótica no solo atua de forma negativa sobre o processo fisiológico, reduzindo a absorção de água pelas raízes, inibindo a atividade meristemática, o alongamento celular e, como consequência, diminuindo o crescimento e desenvolvimento das plantas.

A redução da área foliar sob estresse hídrico pode ser um mecanismo de sobrevivência que permite a conservação de água. Entretanto, Dias et al. (2006) consideram que essa

redução se deve apenas ao estresse hídrico, e não necessariamente é o caso do estresse salino, onde a disponibilidade de água para o crescimento em geral não é limitante, a medida em que o gradiente de potencial hídrico favorece a absorção, em virtude da osmoregulação, apesar das características semelhantes nas plantas quando submetidas ao estresse hídrico e salino.

Tabela 5 - Efeito do estresse hídrico (50% CP) no comprimento da haste (CH), número de folhas (NF), índice de área foliar (IAF), biomassa fresca das folhas (BFF), biomassa fresca da haste (BFH), biomassa fresca total (BFT), biomassa seca das folhas (BSF) e biomassa seca da haste (BSH) do meloeiro amarelo cultivar Gold Mine durante 45 dias em casa de vegetação

Estresse hídrico	CH (cm)	NF (unid)	IAF (cm ²)	BFF (g)	BFH (g)	BFT (g)	BSF (g)	BSH (g)
COM	86,09b	19,47b	345,12b	9,60b	13,03b	22,63b	0,86b	1,07b
SEM	107,69a	24,25a	454,80a	13,95a	16,40a	30,36a	1,22a	1,34a
DMS	13,60	3,77	68,74	2,02	2,06	3,82	0,19	0,21

As letras diferentes na coluna apresentam médias diferentes significativamente pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. COM – refere-se a 50% da capacidade do pote; SEM – refere-se a 100% da capacidade do pote.

Por outro lado, tem sido relatado que em condições de déficits hídricos mais prolongados, as plantas diminuem acentuadamente o crescimento, evidenciando um período de repouso fisiológico, considerado como efeito negativo sobre o desenvolvimento da cultura que se acentua em resposta aos déficits hídricos de maior duração, tanto na fase vegetativa quanto na fase reprodutiva, resultando em progressiva redução da matéria seca total, de folhas, flores e frutos (LEITE; VIRGENS FILHO, 2004).

Em relação ao nematoide, o parasitismo de *M. incognita* diminuiu significativamente ($P \leq 0,05$) o comprimento e biomassas fresca e seca da haste, a biomassa fresca total e o número de folhas e de flores (Tabela 6). Esses resultados contrastam com os relatados por Paiva et al. (2012), ao testarem vários genótipos de meloeiro do tipo amarelo, e por Ito et al. (2011), ao testarem em experimento com meloeiro e outras cucurbitáceas, verificaram que as culturas se apresentaram resistentes aos nematoides de galhas. Contudo, Lima (2008) ao testar seis genótipos de melanciaira constatou que quatro genótipos foram susceptíveis a *M. javanica*, apresentando redução no desenvolvimento.

Segundo Dias-Arieira et al. (2008), o equilíbrio na adubação, adubação orgânica e diminuição de condições estressantes, como falta de água por meio de irrigação, são fatores que levam a planta a tolerar certos níveis de infestação. Sobrinho et al. (2008) recomendam a adoção de medidas culturais para o manejo de doenças, principalmente para aquelas causadas por patógenos de solo, tais como: manejo adequado de água e controle biológico, pois o uso

dessas medidas está quase sempre vinculado à preservação da natureza, pelo menor uso de produtos químicos. Além disso, a maioria das variedades e híbridos comerciais de melão apresenta algumas resistências a determinados patógenos, que deve ser observada na escolha do material genético a plantar, considerando os problemas fitossanitários que ocorrem normalmente na região.

Tabela 6 – Efeito do parasitismo de *Meloidogyne incognita* (12.000 ovos mL⁻¹ planta⁻¹) no comprimento da haste (CH), número de folhas (NF), número de flores (NFL), biomassa fresca da haste (BFH), biomassa fresca total (BFT) e biomassa seca da haste (BSH) do meloeiro amarelo cultivar Gold mine em casa de vegetação durante 45 dias

Nematoide	CH (cm)	NF	NFL	BFH (g)	BFT (g)	BSH (g)
Com	83,65b	17,09b	1,50b	11,74b	22,76b	0,90b
Sem	110,13a	26,63a	3,63a	17,73a	30,22a	1,51a
DMS	13,60	3,77	0,84	2,06	3,82	0,21

As letras diferentes na coluna apresentam médias diferentes significativamente pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A presença da rizobactéria afetou a reprodução do nematoide, reduzindo significativamente ($P \leq 0,05$) o número de ovos por planta de 6.990 para 1.985, reduzindo significativamente ($P \leq 0,05$) também a produção de galhas (dados não apresentados). Resultados semelhantes foram obtidos por Medeiros (2007) e Medeiros et al. (2009), ao estudarem rizobactérias do gênero *Bacillus*, para manejo de *M. incognita* raça 2, em meloeiro.

Silva et al. (2010) relataram bom desenvolvimento do meloeiro na presença de rizobactérias. Resultados contrários ao de Santos et al. 2008, que não observaram diferença significativa de 10 isolados de rizobactérias em relação à testemunha, como também, não observaram efeito deletério nas plântulas. Todavia, é enfatizada em alguns trabalhos, a necessidade da utilização de isolados residentes ou adaptados ao hospedeiro, refletindo em maior capacidade de colonização, menor risco na introdução de organismos exógenos e especificidade entre o isolado de rizobactérias e o hospedeiro (KHALID et al. 2004).

Locon et al. (2008) testaram 165 isolados de rizobactérias e constataram que 37 isolados contribuíram para a redução de 25% dos sintomas de tombamento pré-emergência e 57% inibiram o crescimento de patógenos em plântulas de pepino. Segundo Compant et al. (2005) e Sottero et al. (2006), a competição por nutrientes e nichos na superfície das raízes é um dos principais mecanismos utilizados por rizobactérias na proteção das plantas contra os fitopatógenos.

Todavia, é importante destacar que no presente estudo o meloeiro sem a presença do isolado *Bacillus* sp. apresentou-se moderadamente resistente ao *M. incognita*. Bitencourt e Silva (2010) estudaram algumas olerícolas quanto à hospedabilidade a *M. enterolobii*, e constataram que das 19 espécies avaliadas, sete mostraram-se altamente favoráveis à multiplicação do nematoide, entre elas o meloeiro, com FR = 10,2. Contudo, a compatibilidade entre nematoide e planta hospedeira depende do cultivar, da espécie e raça do nematoide e de componentes bióticos e abióticos do ambiente.

A fertilidade do substrato pode influenciar a atividade de promoção do crescimento das rizobactérias (FREITAS et al., 2003). Além do mais, as rizobactérias estimulam as plantas na formação de nódulos nas raízes, promovendo o crescimento, a multiplicação e a conversão do nitrogênio atmosférico em outras formas desse elemento químico para disponibilizá-lo as plantas (SIDDIQUI et al., 2001).

No presente estudo, quando inoculadas com *Bacillus* sp. a biomassa fresca da raiz das plantas submetidas ao estresse hídrico não diferiu das plantas sem estresse independente do parasitismo do *M. incognita*. No entanto, as plantas não inoculadas com as rizobactérias diminuíram significativamente ($P \leq 0,05$) a biomassa fresca do sistema radicular quando submetidas ao estresse de 50% da capacidade do pote (Tabela 7), corroborando os benefícios que a bactéria promove nas plantas, especialmente em condições de estresse. Já com relação à biomassa seca total observou que independente da presença do *Bacillus* sp., o estresse hídrico aplicado (50% CP) diminuiu o peso da BST.

Tabela 7 - Efeito da interação entre *Bacillus* sp. (20 mL de suspensão bacteriana planta⁻¹) e estresse hídrico (50% CP) na biomassa fresca da raiz (BFR) e biomassa seca total (BST) do meloeiro amarelo cultivar Gold Mine em casa de vegetação durante 45 dias

Estresse hídrico	BST (g)		DMS	BFR (g)		DMS
	<i>Bacillus</i> sp.			<i>Bacillus</i> sp.		
	Com	Sem		Com	Sem	
Com (50% CP)	1,95 bB	1,91 bB		2,28 aA	1,33 bB	
Sem (100% CP)	2,85 aA	2,55 aA	0,51	2,31 aA	2,55 aA	0,59
DMS	0,51			0,59		

Letras diferentes apresentam médias diferentes significativamente para cada variável pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade, sendo que letras minúsculas referem-se à coluna e letras maiúsculas refere-se à linha.

CP = capacidade do pote, segundo Souza et al. (2000).

Osorio Filho (2009), estudando o efeito de cinco isolados de rizobactérias em duas espécies de arroz em diferentes níveis de umidade do solo, verificou que em situação de estresse hídrico, seja alagamento ou déficit, nenhum dos isolados apresentou eficiência.

Contudo, mesmo não comprovando a eficiência dos isolados, em condições de alagamento, os mesmos apresentaram bom desenvolvimento, inclusive em raízes adventícias, sobre a lâmina de água.

As rizobactérias podem promover crescimento às plantas, desde que as condições ambientais e a cultura estejam favoráveis para que esse microrganismo possa se desenvolver. Sabino (2007), estudando a inoculação de rizobactérias em dois cultivares de arroz, constataram que, apenas, um isolado aumentou 60% o acúmulo de nitrogênio nas raízes e promoveu o maior peso de biomassa seca.

Segundo Osorio Filho (2009) e Stroschein et al. (2011), as rizobactérias produzem substâncias equivalentes ao ácido indolacético, sendo que a inoculação desses microrganismos acelera o processo de germinação das sementes, estimula o crescimento das plântulas e das raízes, a emissão de perfilho, além de aumentar a absorção de nitrogênio. Além disso, a utilização desses microrganismos em plantas são práticas de baixo custo, que, se bem manejadas, poderão aumentar a produção, diminuir a contaminação do ambiente e reduzir custos de produção, trazendo mais sustentabilidade para a agricultura, promovendo uma rizosfera benéfica (ATKINSON; WATSON, 2000) e desenvolvendo um papel preponderante para o desenvolvimento tecnológico na agricultura sustentável (MICHEREEFF et al., 2005).

Não ocorreram interações significativas entre estresse hídrico, *Bacillus* sp. e *M. incognita* para nenhuma das variáveis químicas avaliadas. No entanto, interações significativas foram detectadas entre *Bacillus* sp. e estresse hídrico e entre *Bacillus* sp. e *M. incognita* ambas em relação à proteína solúvel. Atividade das enzimas peroxidase, polifenoloxidase, catalase, e os teores de prolina, fósforo e nitrogênio não foram afetados pelo estresse hídrico, rizobactéria ou nematoide (Tabela 8). Entretanto, a atividade da enzima ascorbato peroxidase foi significativamente ($P \leq 0,05$) aumentado (de 110,17 para 149,37 $\text{Mmol H}_2\text{O}_2 \text{ gMF}^{-1} \text{ min}^{-1}$) quando o meloeiro foi submetido ao estresse de 50% da capacidade de pote, indicando que a redução de água faz com que a enzima aumente sua concentração na cultura do meloeiro amarelo, podendo ser um indicativo de defesa contra o estresse abiótico aplicado.

Considerando que enzimas oxidativas, especialmente a peroxidase, são consideradas marcadoras de estresses (FERNÁNDES-GARCIA et al., 2004; KOHAATSU, 2010; PEREIRA, 2010). Contudo, resultados semelhantes ao desta pesquisa foram relatados por Boava (2008), que não encontrou alteração na enzima polifenoloxidase quando clones de

eucalipto foram infectados pelo fungo *Puccinia psidii*. Nojosa et al. (2003), verificando relação entre fenóis solúveis totais e atividade da enzima polifenoloxidase em tecidos de clones de cacau, observaram que a relação entre a atividade das enzimas oxidativas apresentou correlação negativa com os níveis de fenóis em quase todos os clones estudados. Ao que parece, sob altas concentrações de compostos fenólicos, as enzimas que oxidam compostos fenólicos, como polifenoloxidase, são inibidas em folhas, corroborando Rivero et al. (2003), em estudo com tomateiros.

Tabela 8 – Resumo da análise de variância das variáveis químicas: peroxidase (POD), ascorbato peroxidase (APX), polifenoloxidase (PPO), proteína solúvel (PS), prolina (PRO), catalase (CAT), teor de fósforo (P) e teor de nitrogênio (N) em meloeiro amarelo cultivar Gold Mine inoculado com *Bacillus* sp. (R) (20 mL de suspensão bacteriana planta⁻¹) e *Meloidogyne incognita* (N) (12.000 ovos mL⁻¹ planta⁻¹), submetido a estresse hídrico (E) (50% CP) em casa de vegetação durante 45 dias

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios							
		POD	APX	PPO	PS	PRO	CAT	P	N
E	1	3,18 ^{ns}	5,46 [*]	0,13 ^{ns}	54,83 [*]	0,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,68 ^{ns}
N	1	6,90 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,47 ^{ns}	31,36 [*]	0,02 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,001 ^{ns}
R	1	4,48 ^{ns}	0,02 ^{ns}	10,98 ^{ns}	1,36 [*]	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,27 ^{ns}	1,22 ^{ns}
E × N	1	1,36 ^{ns}	2,71 ^{ns}	2,49 ^{ns}	6,15 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}
E × R	1	3,45 ^{ns}	1,15 ^{ns}	0,02 ^{ns}	64,55 [*]	0,01 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,27 ^{ns}
N × R	1	1,79 ^{ns}	38,85 ^{ns}	4,29 ^{ns}	0,02 [*]	0,01 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,04 ^{ns}
E × R × N	1	0,61 ^{ns}	5,06 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,003 ^{ns}
Resíduo	56	2,41	4,60	0,96	0,01	0,01	0,02	0,07	0,08
CV (%)	-	12,92	19,18	11,15	12,83	13,85	12,23	8,04	10,45

* significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns - não significativo pelo teste F

Em diferentes culturas e sob diferentes níveis de estresse hídrico e salino, Hernandez e Almansa (2002), Srivalli et al. (2003), Vasconcelos et al. (2009), Carneiro et al. (2011) e Viana et al. (2012) verificaram que as enzimas oxidativas, principalmente catalase, ascorbato peroxidase e peroxidase, não apresentaram níveis significativos com a aplicação dos estresses. Entretanto, Panda e Khan (2009) observaram redução na atividade da ascorbato peroxidase em raízes (mas não na parte aérea) de *Vigna radiata* sob estresse salino.

Plantas inoculadas com *Bacillus* sp. mantiveram constantes os níveis de proteína solúvel na presença do nematoide ou do estresse hídrico associado ao meloeiro (Tabela 9). Contudo, sem a rizobactéria os níveis de proteína solúvel aumentaram significativamente ($P \leq 0,05$) com o estresse hídrico. Santos et al. (2010) observaram que os teores de proteína solúvel e carboidratos aumentaram quando seis genótipos de feijoeiro caupi foram submetido a estresse hídrico, concluindo que a planta quando submetida ao estresse hídrico pode alterar o potencial osmótico da célula para evitar a perda de água para o meio.

Tabela 9 - Valores médios da proteína solúvel da interação *Bacillus* sp. × estresse hídrico (50% CP) e *Bacillus* sp. (20 mL de suspensão bacteriana planta⁻¹) × *Meloidogyne incognita* (12.000 ovos mL⁻¹ planta⁻¹) em meloeiro amarelo, cv. Gold Mine em casa de vegetação durante 45 dias

<i>Bacillus</i> sp.	Proteína solúvel (mg PS gMF ⁻¹)				DMS
	Estresse hídrico		<i>M. incognita</i>		
	Com (50% CP)	Sem (100% CP)	Com	Sem	
Com	13,39bB	14,37bA	13,31bB	13,20bB	
Sem	16,94aA	13,56bB	14,45bA	17,30aA	1,93
DMS	1,93				

Letras diferentes apresentam médias diferentes significativamente para cada variável pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade, sendo que letras maiúsculas referem-se à linha e letras minúsculas refere-se à coluna.
CP = capacidade do pote, segundo Souza et al. (2000).

Houve aumento da proteína solúvel quando submetido ao estresse hídrico (50% CP) e na presença do *M. incognita*, ambos na ausência do *Bacillus* sp. (Tabela 9). Segundo Missiura (2005), os testes bioquímicos são pouco utilizados no estudo da interação patógeno × hospedeiro, sendo, entretanto, constituídos de métodos rápidos, seguros e de baixo custo que merecem maior atenção por parte dos pesquisadores de maneira geral. Ray et al. (2001) observaram que tomateiros transformados para expressão de uma peroxidase de pepino tiveram um grande aumento na atividade das enzimas, no entanto, não foi verificado aumento da resistência dessas plantas a patógenos.

Alguns estudos bioquímicos envolvendo proteínas solúveis e enzimas oxidativas têm demonstrado uma grande importância no manejo de culturas submetidas a estresses bióticos e abióticos. Segundo Sbalcheiro (2006), a interação planta × patógeno envolve mecanismos bioquímicos de defesa da planta contra o patógeno, os quais são regidos por genes específicos. Estas enzimas agem como armas químicas de defesa contra o ataque de

patógenos, além de algumas catalisarem a formação de barreiras físicas nas plantas, reforçando a importância de estudos da ativação enzimática no mecanismo das interações patógeno × hospedeiro.

CONCLUSÕES

O estresse hídrico de 50% da capacidade do pote reduz o crescimento vegetativo do meloeiro, especialmente na presença de *M. incognita*, afetando a fase reprodutiva e a produção de biomassa da planta.

O meloeiro amarelo cultivar Gold Mine é moderadamente resistente a *M. incognita*.

Bacillus sp. ENM5 reduz a reprodução do nematoide e a produção de galhas.

O estresse hídrico aumenta os níveis de proteína solúvel no meloeiro enquanto *Bacillus* sp. mantém os níveis da proteína constantes compensando os efeitos do estresse hídrico e como também do nematoide.

Os níveis de ascorbato peroxidase na parte aérea são aumentados pelo estresse hídrico, mas não por *M. incognita* ou *Bacillus* sp. As atividades de peroxidase, polifenoloxidase, catalase, e os teores de prolina, fósforo e nitrogênio não são afetados pelo estresse hídrico, rizobactéria ou nematoide.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL. **Anuário da Agricultura Brasileira**. São Paulo. Tomate. FNPCONSULTORIA & COMERCIO. p. 506-516, 2010.

AGUIAR NETTO, A. O.; RODRIGUES, J. D.; PINHO, S. Z. Análise de crescimento na cultura da batata submetida a diferentes lâminas de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 901-907, 2000.

ANDREI. **Compêndio de defensivos agrícolas 7ª edição**. São Paulo: Organização Andrei Editora LTDA. 1141p. 2005.

ARAGÃO, C. A. et al. Avaliação de cultivares de melão sob condições de estresse salino. **Revista Caatinga**, v. 22, p. 161-169, 2009.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. Official Methods of Analysis. In: EUA. 15 ed., Washington: D. C., 1990, 1117p.

ATKINSON, D.C.; WATSON, A. The beneficial rhizosphere: a dynamic entity. **Applied Soil Ecology**, v. 15, p. 99-104, 2000.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **Qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1999. 1153p. (FAO. Estudos de Irrigação e Drenagem, 29).

BATES, L. S.; WALTREN, R. B.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water – stress studies. **Plant and Soil**, v.39, p.205-207, 1973.

BERNARDO, J. T. et al. Efeitos de adubos orgânicos sobre *Meloidogyne javanica* em tomateiro. **Nematologia Brasileira**, v. 35, n. 11-2, p. 10-19, 2011.

BERRS, L. S. J.; SIZER, I. W. An spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase. **Journal of Biological Chemistry**, v. 195, p. 133-140, 1952.

BITENCOURT, N. V.; SILVA, G. S. Reprodução de *Meloidogyne enterolobii* em olerícolas. **Nematologia Brasileira**, v. 34, n. 3, p. 181-183, 2010.

BRANDFORD, M. **Analytical Biochemistry**. 72, p. 248-254, 1976.

CARNEIRO, M. M. L. C. et al. Atividade antioxidante e viabilidade em sementes de girassol após estresse hídrico e salino. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 4, p. 754-763, 2011.

CHEN, Z. X.; DICKSON, D. W. Biological control of nematodes with bacterial antagonists. In: CHEN, Z.X.; CHEN, S. Y.; DICKSON, D. W. (ed) Nematology Advances and Perspectives. **Nematode Management and Utilization**, v. 2, p. 1041-1082, 2004.

COMPANT, S. et al. Use of plant growth-promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: principles, mechanisms of action and future prospects. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 71, p. 4951-4959, 2005.

DE VAY, J. E.; SCHNATHORST, W. C. Single-cell isolation and preservation of bacterial cultures. **Nature**, v. 199, p. 775-777, 1963.

DIAS, N. da S. et al. Salinidade e manejo da fertirrigação em ambiente protegido. I: Efeito sobre o crescimento do meloeiro. **Irriga**, v. 11, n. 2, p. 208-218, 2006.

DIAS-ARIEIRA, C. R.; MOLINA, R. de O.; COSTA, A. T. Nematoides causadores de doenças em frutíferas. **Revista Brasileira de Agroambiente**, v. 2, n. 1, 2008.

EMBRAPA SOLOS. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999, 412p.

FARIAS, C. H. A. et al. Crescimento e desenvolvimento do melão sob diferentes lâminas de irrigação e salinidade da água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 445-450, 2003.

FATIBELHO-FILHO, O.; VIEIRA, I.C. Uso analítico de tecidos e de extratos brutos vegetais como fonte enzimática. **Química Nova**, v.25, n.3, p.455-464, 2002.

FERNÁNDEZ-GARCÍA, N.; CARVAJAL, M.; OLMOS, E. Graft union formation in tomato plants: peroxidase and catalase involvement. **Annals of Botany**, v. 93, p. 53-60, 2004.

FREITAS, L. G. et al. Efeito de rizobactérias na adesão de endósporos de *Pasteuria penetrans* em juvenis do segundo estágio de *Meloidogyne javanica*. **Revista Ceres**, v. 49, n. 284, p. 461-465, 2002.

FREITAS, S. S.; MELLO, A. M. T.; DONZELI, V. P. Promoção do crescimento de alface por rizobactérias. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 61-70, 2003.

FREITAS, S. S.; AGUILAR VILDOSO, C. I. Rizobactérias e promoção do crescimento de plantas cítricas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 987-994, 2004.

FREITAS, L. G. et al. Isolamento e seleção de rizobactérias para controle de nematoides formadores de galhas (*Meloidogyne* spp.) na cultura do tomateiro. **Nematologia Brasileira**, v. 29, n. 2, p. 215-220, 2005.

GOMES, A. M. et al. 2005. In: MARIANO RLR; SILVEIRA EB (coords). **Manual de práticas em fitobacteriologia**. Recife: UFRPE. p. 119-125. 2005.

HAAS, D.; DÉFAGO, G. Biological control of soil-borne pathogens by fluorescent pseudomonads. **Nature Reviews Microbiology**, v. 3, p. 307-319, 2005.

HERNÁNDEZ, J. A.; ALMANSA, M. S. Short-term effects of salt stress on antioxidant systems and leaf water relations of pea leaves. **Physiologic Plantarum**, v. 115, p. 251-257, 2002.

HUSSEY, R. S.; BARKER, K. R. A comparison of methods of collecting inocula for *Meloidogyne* spp., including a new technique. **Plant Disease Reporter**, v.57, n.12, p. 1025-1028, 1973.

ITO, L. A. et al. Resistência a *Meloidogyne incognita* em genótipos de cucurbitáceas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE HORTICULTURA, 51. **Anais...** Horticultura Brasileira, v. 29, S1320-S1326, 2011.

KAR, M.; MISHRA, D. Catalase, peroxidase and poliphenoloxidase activities during rice leaf senescence. **Plant Physiology**, v. 57, p. 315 – 319, 1976.

KHALID, A.; ARSHAD, M.; ZAHIR, Z. A. Screening plant growth-promoting rhizobacteria improving growth and yield of wheat. **Journal of Applied Microbiology**, v. 96, p. 473-480, 2004.

KOHAATSU, D. S. **Aspectos fisiológicos e bioquímicos da enxertia em plantas de pepino**. 2010. 68p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2010.

LEITE, M. de L.; VIRGENS FILHO, J. S. das. Produção de matéria seca em plantas de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) submetida a déficit hídrico. **Ciências Exatas e da Terra**. Ponta Grossa, v.10, n.1, p.43-51, 2004.

LIMA, G. K. L. **Reação de cultivares e acessos de melancia ao parasitismo de *Rotylenchulus reniformes* e *Meloidogyne javanica***. 2008. 60p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2008.

LOPES, E. A. et al. Potencial de isolados de fungos nematófagos no controle de *Meloidogyne javanica*. **Nematologia Brasileira**, v. 31, n. 2, p. 78-84, 2007.

LUCON, C. M. M.; AKAMATSU, M. A.; HAARAKVA, R. Promoção de crescimento e controle de tombamento de plântulas de pepino por rizobactérias. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 6, p. 691-697, 2008.

MEDEIROS, J. E. de. **Seleção de bactérias para o controle da meloidoginose e atividade isoenzimática do meloeiro parasitado por *Meloidogyne incognita***. 2007. 76p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2007.

MEDEIROS, J. E. et al. Inconsistency of the biological control of *Meloidogyne incognita* race 2 in melon by endophytic and rhizosphere bacteria. **Horticultura Brasileira**, v. 27, p. 319-324, 2009.

MICHEREEFF, S. J.; ANDRADE, D. E. G. T.; MENESES, M. (ed.). **Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais**. Recife: UFRP, 2005, 388p.

MIGUEL, A. A. et al. Comportamento produtivo e características pós-colheita de híbridos comerciais de melão amarelo, cultivados nas condições do litoral do Ceará. **Ciência Agrotecnológica**, v. 32, p. 756 -761. 2008.

MISSIURA, F. B. **Alterações metabólicas promovidas pelo *Papaya Ringspot virus* – type W em plantas de melancia**. 2005. 69p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2005.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; BLOCH, M. F. M. Avaliação de métodos com e sem digestão para extração de elementos em tecidos de plantas. **Ciência e Cultura**, v.36, p.1953-1958, 1984.

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant Cell Physiology**, v. 22, p. 867–880, 1981.

NANDAKUMAR, R. et al. Induction of systemic resistance in rice against sheath blight disease by *Pseudomonas fluorescens*. **Soil Biology and Biochemistry**, v.33, p.603-612, 2001.

NOJOSA, G. B. A., RESENDE, M. V., AGUILAR, M. A. G. Componentes fenólicos e enzimas oxidativas em clones de *Theobroma cacao* resistentes e suscetíveis a *Crinipellis pernicioso*. **Fitopatologia Brasileira**, v. 28, n. 2, p. 148-154, 2003.

OLIVEIRA, A. et al. Biocontrole da mancha-aquosa do melão pelo tratamento de sementes com bactérias epifíticas e endofíticas. **Horticultura Brasileira**, v. 24, p. 373-377, 2006.

OSORIO FILHO, B. D. **Rizóbios eficientes em *Lotus* como promotores de crescimento em arroz irrigado**. 2009. 96p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

PANDA, S. K.; KHAN, M. H. Growth, oxidative damage and antioxidant responses in green gram (*Vigna radiata* L.) under short-term salinity stress and its recovery. **Journal of Agronomy & Crop Science**, v. 195, p. 442-454, 2009.

PAIVA, W. O. de et al. **Biological control of plant pathogens**. Disponível em: <http://www.apsnet.org/education/AdvancedPlantPath/>. Acesso em: 18 set 2012.

PEREIRA, E. P. L. **Marcadores bioquímicos da atividade antioxidantes em sementes de *Amburana cearensis* (Fr. Allemão) A. C. Smith submetidas a estresse hídrico.** 2010. 90p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010.

PEREIRA FILHO, J. V. **Cultivo do melão sob diferentes frequências de irrigação e parcelamento da adubação nitrogenada no Vale do Curu, CE.** 2012. 94p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Ceará, Fortaleza, 2012.

PORTO FILHO, F. Q. et al. Crescimento do meloeiro irrigado com águas de diferentes salinidades. **Horticultura Brasileira**, v. 24, p. 334-341, 2006.

QUEIROGA, R. C. F. de et al. Germinação e crescimento inicial de híbridos de meloeiro em função da salinidade. **Horticultura Brasileira**, v. 24, n. 3, p. 315-319, 2006.

RAMAMOORTHY, V. et al. Induction of systemic resistance by plant growth promoting rhizobacteria in crop plants against pests and diseases. **Crop Protection**, v. 20, p. 1-11, 2001.

RAY, H.; DOUCHES, D. S.; HAMMERSCHMIDT, R. Transformation of potato with cucumber peroxidase: expression and disease response. **Molecular Plant Pathology**, v. 53, p.93-103, 2001.

RIVERO, R. M. et al. Does grafting provide tomato plants an advantage against H₂O₂ production under condition of thermal shock? **Physiologia Plantarum**, v. 117, p. 44-50, 2003.

ROCHA, E. L. **Crescimento do feijão-de-corda em consórcio com milho.** 2001. 52p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2011.

ROMEIRO, R. S.; BATISTA, U. G. **Preliminary results on PGPR research at the Universidade Federal de Viçosa, Brasil.** Disponível em: <<http://www.ufv.br/dfp/bac/Cordoba.html>>. Acesso em: 18 set 2012.

SABINO, D. C. C. **Interação planta-bactéria diazotrófica na cultura do arroz**. 2007. 58p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

SANTOS, M. M. et al. Seleção de rizobactérias com a capacidade de promover crescimento em melancia (*Citrullus lanatus* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 48. **Anais...** Porto Seguro – BA, Horticultura Brasileira, v. 26, CD-ROM, S1544-S1548, 2008.

SANTOS, C. F.; LIMA, G. P. P.; MORGADO, L. B. Tolerância e caracterização bioquímica em feijão caupi submetido a estresse hídrico na prefloração. **Naturalia**, v. 33, p. 34-44, 2010.

SBALCHEIRO, C. C. **Ação do biocontrolador com atividade de indução de resistência no controle do crescimento bacteriano comum do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 2006. 124p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Passo Fundo, Rio Grande do Sul, 2006.

SCHAAD, N. W.; JONES, J. B.; CHUM, W. 2001. **Laboratory guide for identification of plant pathogenic bacteria**. Saint Paul: American Phytopathological Society, 3 ed., 2001. 373p.

SENAR. **Cultivo de melão**: manejo, colheita, pós-colheita e comercialização/Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. Brasília: SENAR, 2007. 104 p. (Coleção SENAR).

SIDDIQUI, Z. A.; IQBAL, A.; MAHMOOD, I. Effects of *Pseudomonas fluorescens* and fertilizers on the reproduction of *Meloidogyne incognita* and growth of tomato. **Applied Soil Ecology**, v. 16, p. 179-185, 2001.

SILVA, V. A. et al. Resposta fisiológica de clone de café Conilon sensível à deficiência hídrica enxertado em porta-enxerto tolerante. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.5, p.457-464, 2010.

SILVA, M. O. et al. Crescimento de meloeiro e acúmulo de nutrientes na planta sob irrigação com águas salinas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.6, p.593-605, 2008.

SIQUEIRA, K. M. S. de et al. Interações entre *Meloidogyne incognita* raça 2, *Glomus etunicatum* e estirpes de rizóbios em caupi (*Vigna unguiculata*) e feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris*). **Nematologia Brasileira**, v. 27, n. 2, p. 159-166, 2003.

SIVRITEPE, N.; SIVITREPE, H. O.; ERIS, A. The effect of NaCl priming on salt tolerance in melon seedling grown under saline conditions. **Scientae Horticulturae**, v.97, p.229-237, 2003.

SOARES, J. I. et al. Função de resposta da melancia aos níveis de água e adubação nitrogenada, no Vale do Curu, CE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.6, n.2, p. 219-224, 2002.

SOARES, A. N. R. et al. Crescimento inicial de plântulas de acesso de melão (*Cucumis melo* L.) crioulo submetido ao estresse salino. **Revista Verde**, v. 5, n. 3, p. 224-230, 2010.

SOBRINHO, R. B. et al. **Produção integrada de melão**. Fortaleza: EMBRAPA, 2008, 225p.

SOTTERO, A. N. et al. Rizobactérias e alface: colonização rizosférica, promoção de crescimento e controle biológico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 225-234, 2006.

SOUZA, C.C. et al. 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, n.3, p.338-342, 2000.

SRIVALLI, B.; SHARMA, G.; KHANNA-CHOPRA, R. Antioxidative defense system in an upland rice cultivar subjected to increasing intensity of water stress followed by recovery. **Plant Physiology**, v. 119, p. 503-512, 2003.

STEFFEN, R. B. **Caracterização, controle alternativo e reprodução de *Meloidogyne graminicola* em cultivares de arroz irrigado submetidos a diferentes regimes de**

umidade. 2007. 96p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

STROCHEIN, M. R. D. et al. Caracterização e influência de rizóbios isolados de alfafa na germinação e desenvolvimento inicial de plântulas em arroz. **Ciência Rural**, v. 41, n. 10; p. 1738-1743, 2011.

TAYLOR, A. L., SASSER, J. N. Biology, **Identification and Control of Root-Knot Nematodes (*Meloidogyne* species)**. Raleigh: North Carolina State University, 1978, 111 p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Ceará**. In: Ceará. Fortaleza: UFC/CCA, 1993. 248p.

URCHEI, M. A.; RODRIGUES, J. D.; STONE, L. F. Análise de crescimento de duas cultivares de feijoeiro sob irrigação, em plantio direto e preparo convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 497-506, 2000.

VASCONCELOS, A. C. F. de et al. Enzymatic antioxidant responses to bio stimulants in maize and soybean subjected to drought. **Scientia Agricola**, v. 66, n. 3, p. 395-402, 2009.

VIANA, M. C. M. et al. **Atividade de enzimas antioxidativas em linhagem de milho (*Zea mays* L.) submetida a déficit hídrico**. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/485140/1/Atividadeenzimas.pdf>. Acesso em: 18 set 2012.

WHIPPS, J.M. Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere. **Journal of Experimental Botany**, v. 52, p. 487-511, 2001.

ZERAIK, A. E. et al. Desenvolvimento de um spot test para o monitoramento da atividade da peroxidase em um procedimento de purificação. **Química Nova**, v. 31, p. 731-734, 2008.

CAPÍTULO 4

Efeito da compactação no solo no desenvolvimento inicial de plantas de cana-de-açúcar parasitadas por *Meloidogyne incognita*

Resumo: O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de quatro níveis de compactação no solo no desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar parasitada por *M. incognita* em condições de casa de vegetação. A variedade de cana-de-açúcar usada foi a RB 863129. As avaliações, realizadas 90 dias após a inoculação do nematoide, fundamentaram-se na altura da planta, diâmetro do colmo, número de folhas, biomassa fresca das raízes, biomassa fresca da parte aérea, biomassa seca da parte aérea e número de ovos do nematoide. O aumento dos níveis de compactação do solo de $1,65 \text{ g cm}^{-3}$ para $1,82 \text{ g cm}^{-3}$ proporcionou redução na multiplicação de *M. incognita* e aumento no comprimento do colmo da cana-de-açúcar, mas não afetou as outras variáveis de desenvolvimento planta.

Palavras-chaves: *Saccharum*, nematoide de galha, densidade do solo

Effect of soil compaction on initial development of sugarcane parasited by
Meloidogyne incognita

Abstract: The objective of this study was evaluating the effect of four soil compaction levels on the initial development of sugarcane parasited by *Meloidogyne incognita* under greenhouse. It was used the sugarcane variety RB 863129. Evaluations, carried out 90 days after nematode inoculation, based on plant height, stalk diameter, leaves number, root and shoot fresh biomass, shoot dry biomass and nematode eggs number. The increasing in soil compaction level from 1.65 g cm^{-3} to 1.82 g cm^{-3} decreased *M. incognita* reproduction and increased sugarcane stalk length, but it did not affect the other plant development variables.

Keywords: *Saccharum*, root-knot nematode, soil density

INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum L.*) reveste-se, atualmente, de grande importância socioeconômica para o Brasil, visto que é utilizada como matéria-prima para as agroindústrias do açúcar, álcool e aguardente, além da grande geração de empregos e renda no meio rural (LANDELL et al., 2005; MARTINIANO, 2009; VICENTE, 2011). O Brasil detém o título de maior produtor mundial, com 697.770,9 ha, sendo o estado de Pernambuco, atualmente o segundo maior produtor do Nordeste, com 326.110 ha cultivados (CONAB, 2012). Ademais, a crescente busca por fontes alternativas de energia vem colocando o Brasil em posição de destaque mundial em relação à produção de etanol, levando à criação de novas situações socioeconômicas e à expansão geográfica do cultivo da cana-de-açúcar (SEVERIANO, 2007; MIRANDA, 2009, VICENTE, 2011).

A aceitação internacional do etanol como combustível e a lucratividade alcançada pelo setor sucroalcooleiro têm trazido euforia aos produtores de cana-de-açúcar, com reflexos na intensificação e na expansão do seu cultivo. Dentre os fatores de produção relacionados com a modernização da canavicultura brasileira, destaca-se o crescimento da demanda pela colheita mecanizada (PAULINO et al., 2004; SOUZA et al., 2005; SEVERIANO, 2007), os quais, muitas vezes, trafegam sobre o solo em condições desfavoráveis em termos de conteúdo de água, tornando praticamente inevitável a ocorrência da compactação do solo (IAIA et al., 2006). Entretanto, o tráfego de máquinas vem promovendo alterações nas propriedades físicas dos solos e intensificando o processo de compactação dos mesmos (SEIXAS; OLIVEIRA JÚNIOR, 2001; CAMILOTTI et al., 2005; MOSADDEGHI et al., 2007; SOUZA et al., 2010), que afeta diretamente a qualidade do solo e da água (OLIVEIRA et al., 2003; LANZANOVA et al., 2007), trazendo como consequências a queda do crescimento e de produtividade da cultura e o aumento dos processos erosivos (BUSSCHER et al., 2000; OLIVEIRA et al., 2004; SERAFIM et al., 2008).

Por outro lado, é comum no Brasil o plantio da cana em solos com baixa fertilidade, presença de camada de compactação, e elevada incidência de plantas daninhas, pragas e doenças, em função da crescente demanda do mercado (MOURA et al., 2000). Além disso, a qualidade física assume importância na avaliação do grau de degradação do solo e na identificação de práticas de uso sustentáveis. Embora se admita que a verdadeira preocupação esteja com a qualidade física, que tem afetado bastante a qualidade química e biológica do solo, já que uma depende da outra. Portanto, melhorando a qualidade física de determinado

solo indiretamente se está contribuindo para a melhoria das suas condições químicas e biológicas (FELIPE, 2008).

Uma das principais causas da degradação do solo é a compactação, resultado do processo de aumento da densidade e resistência à penetração. As forças que atuam na compactação do solo podem ser classificadas em externas (tráfego de veículos, animais ou pessoas) e internas (congelamento e degelo, umedecimento e secamento, expansão e contração da massa do solo), mas quando expressas como pressão, têm a mesma ação no sistema, podendo causar compactação no solo (CAMARGO; ALLEONI, 2012).

Em geral, a resposta das plantas à compactação varia de acordo com os solos, as condições de umidade (SILVA et al., 2006; BEUTLER et al., 2007), densidade do solo e resistência mecânica à penetração com o crescimento radicular (COELHO et al., 2000), as culturas (SILVA; ROSOLEM, 2001) e as cultivares (BEUTLER et al., 2006; SILVA et al., 2006). Embora, a relação entre essas respostas já tenham sido extensivamente estudados, valores de resistência relacionados diretamente com restrições impostas ao crescimento radicular não são conclusivas para uma série extensiva de solos. Na maioria dos estudos sobre compactação do solo e desenvolvimento das culturas, pequena atenção é dada às diferenças genéticas dos materiais em relação ao seu desenvolvimento e estabelecimento em solos compactados (SOYELU et al., 2001). Pelo fato de a compactação ser um sério problema para os solos agrícolas, já que um dos atributos que mais interferem no desenvolvimento radicular é a densidade do solo, o seu estudo é intenso, bem como também a busca por medidas que permitam a comparação entre os diferentes solos (ALMEIDA et al., 2008).

A cana-de-açúcar, como outras culturas de grande valor econômico e importância histórica e social, é susceptível a diferentes patógenos. Os fitonematoides provocam grandes perdas que em média variam entre 20 e 40% no primeiro corte em variedades susceptíveis, reduzindo também a produtividade e, conseqüentemente, a longevidade da cana soca (CAMPOS et al., 2006). Entre os fitonematoides de maior importância para a cana-de-açúcar no Nordeste brasileiro destaca-se *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) Chitwood, cujas reduções na produtividade podem variar de 36 a 77% (DINARDO-MIRANDA et al., 2003).

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de quatro níveis de compactação no solo no desenvolvimento inicial de plantas de cana-de-açúcar parasitadas por *M. incognita*.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação pertencente à Universidade Federal Rural de Pernambuco, localizada no Município de Recife – Pernambuco, situado na latitude de 58' 61" S, longitude 39' 89" W e, altitude de 169 metros, com temperatura média de $\pm 30,25$ °C, umidade relativa do ar de 77,38%. O solo utilizado foi um Argissolo amarelo distrófico (EMBRAPA, 1999) de textura franco arenosa, coletado no município de Carpina, Pernambuco.

Nas Tabelas 1 e 2 estão apresentados os resultados das análises físicas e químicas do solo usado no experimento. Antes do experimento, o material de solo foi peneirado em peneira de 5 mm e autoclavado por 1 hora e 30 min, por 2 dias consecutivos, com um intervalo de 24 h, a temperatura de 120 °C, e pressão de 101 kPa.

Tabela 1 - Atributos químicos do solo utilizado no experimento

Atributos químicos	Camada de coleta (m)
	0,5 – 0,9
pH (Água)	4,6
Complexo Sortivo ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$)	
Ca ²⁺	0,37
Mg ²⁺	0,51
Na ⁺	0,03
K ⁺	0,04
H ⁺ + Al ³⁺	2,84
Al ³⁺	0,91
S	0,95
T	4,70
C (g kg^{-1})	7,0
N (g kg^{-1})	0,3
M.O. (g kg^{-1})	23
P Assimilável (mg kg^{-1})	8
K (mg dm^{-3})	0,04

Tabela 2 - Atributos físicos do solo utilizado no experimento

Atributos físicos	Camada de coleta (m)
	0,5 – 0,9
Composição granulométrica (%)	
Areia grossa	53
Areia fina	24
Silte	8
Argila	15
Argila natural	6
Densidade (g cm^{-3}) do solo	1,58
dos sólidos do solo	2,65

A variedade de cana-de-açúcar usada foi a RB 863129, cedida pela Biofábrica do Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste – CETENE. Após 20 dias de aclimação em substrato na casa de vegetação, as plantas foram transferidas para vasos com 70 cm de altura e 58 cm de diâmetro, contendo o solo autoclavado, o qual recebeu calagem e adubação de fundação segundo Universidade Federal do Ceará (1993). Após mais 30 dias no vaso foi realizado o experimento em delineamento inteiramente casualizado com cinco tratamentos (T1 – sem compactação com nematoide; T2 – 16% compactação com nematoide; T3 – 48% compactação com nematoide; T4 – 64% compactação com nematoide, e T5 – testemunha absoluta) e cinco repetições.

O nível de compactação foi determinado pela análise granulométrica do solo através de ensaio de Proctor que seguiu o padrão normalizado pela ABNT/NBR 7182 MB 33 (1986). A curva de compactação foi obtida compactando-se o solo em três camadas com cinco umidades, com intervalos de 2,5% entre os pontos, de forma que o terceiro ponto estivesse o mais próximo da umidade crítica, para que se pudesse obter a curva. Os tratamentos relacionados à compactação do solo foram estabelecidos utilizando a metodologia de Medeiros et al. (2005) através da expressão:

$$ds = \text{densidade máxima (1,91 g cm}^{-3}\text{)} - \text{a densidade do solo solto peneirado (1,65 g cm}^{-3}\text{)} = 0,26 \text{ g cm}^{-3}.$$

Em seguida, determinaram-se os níveis de compactação:

- i. Nível 0: 0% da ds = a densidade mínima do solo sem compactação = $1,65 \text{ g cm}^{-3}$.
- ii. Nível 1: 16% da ds e as demais densidades foram determinadas por regra de três simples: $0,26 \cdot 100 \cdot x = (0,26 \cdot 16) / 100 = 0,042 \Rightarrow ds \text{ a } 16\% = 1,65 + 0,042 = 1,69 \text{ g cm}^{-3}$.
- iii. Nível 2: 48% da ds: $x = (0,26 \cdot 48) / 100 = 0,13 \Rightarrow 1,65 + 0,13 = 1,78 \text{ g cm}^{-3}$.
- iv. Nível 3: 64% da ds: $x = (0,26 \cdot 64) / 100 = 0,17 \Rightarrow 1,65 + 0,17 = 1,82 \text{ g cm}^{-3}$.

A capacidade do pote foi adotada como o conteúdo de água retirada pelo solo após sofrer saturação e consequente ação da gravidade, até o cessamento da drenagem, segundo Souza et al. (2000). A irrigação dos vasos foi controlada através do procedimento de pesagem, diariamente, em balança de precisão com sensibilidade de 1 g entre 7 e 9 horas da manhã, para posterior reposição da água evapotranspirada no período, mantendo-se os vasos próximos à capacidade de campo e esta foi iniciada no 50º dias após a estabilidade das mudas nos vasos.

A população de *M. incognita* foi obtida em plantas de cana-de-açúcar cultivadas em campo, mantida em casa de vegetação em tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) e, posteriormente, em pimentão (*Capsicum annuum* L.) em solo autoclavado. Antes do lançamento do experimento, o inóculo foi multiplicado em potes com mistura de solo, areia e húmus na proporção 3:1:1, respectivamente, devidamente esterilizado. Vinte dias após, plântulas de tomates, obtidas de sementes foram selecionadas quanto ao vigor e transferidas para os copos plásticos de 250 mL, contendo o mesmo substrato igualmente esterilizado. Para o preparo do inóculo, usou-se o método de Hussey e Barker (1973) para extração de ovos, a partir das raízes parasitadas do tomateiro e pimenteira. As inoculações foram efetuadas com pipetas de graduação automática, sendo a suspensão vertida ao redor de cada planta. Cinco dias após a inoculação, as plantas foram transferidas para vasos de 3 L e 7,0 cm de diâmetro, e mantidas em ambiente de casa de vegetação por mais 40 dias, quando foram extraídos os ovos para o experimento, conforme Hussey e Barker (1973). As plantas de cana-de-açúcar foram inoculadas com suspensão de 6.000 ovos mL⁻¹ planta⁻¹, após 50 dias de estabilidade das mudas micropropagadas. O inóculo foi vertido no solo, com o auxílio de uma pipeta calibrada, em orifícios ao redor da planta. A colheita foi realizada aos 90 dias após a inoculação.

Foram avaliados aos 120 dias os seguintes parâmetros: altura da planta, diâmetro do colmo, número de folhas, biomassa fresca das raízes, biomassa fresca da parte aérea, biomassa seca da parte aérea e número de ovos do nematoide. Para a avaliação do crescimento morfológico, as mensurações foram realizadas 90 dias após a inoculação, com auxílio de uma trena e um paquímetro. Para a avaliação da matéria seca as amostras coletadas foram armazenadas em sacos de papel, previamente identificados e, posteriormente, pesadas e encaminhadas para a secagem em estufa com circulação de ar forçada a 65°C por um período de 72 horas, e pesadas novamente.

Para coleta dos ovos, para facilitar a remoção dos sistemas radiculares, os vasos foram colocados em um tanque de água, por alguns minutos e, cuidadosamente, o solo foi removido cada planta, de modo a minimizar as perdas de massa de ovos. Foram realizadas três lavagens de cada sistema radicular, fazendo-o passarem por baldes de água limpa, tomando-se, em seguida, o peso da matéria fresca dos sistemas radiculares. Para extração dos ovos seguiu-se a técnica de Hussey e Barker (1973).

Os dados foram submetidos, à análise de variância e quando significativos foram submetidos análise de regressão, utilizando os programas Excel e SAS.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não foram significativos ($P > 0,05$) os efeitos dos tratamento no diâmetro do colmo, número de folhas, biomassa fresca das raízes e da parte aérea e a biomassa seca da parte aérea. Efeitos significativos ($P \leq 0,05$) foram detectados para o comprimento do colmo e número de ovos do nematoide.

Ao trabalharem com cana-de-açúcar submetida a níveis de compactação no campo, Lima et al. (2012) concluíram que a densidade máxima permitida para a cultura da cana-de-açúcar foi de $1,45 \text{ g cm}^{-3}$. Segundo estes autores, para a cana-de-açúcar um aumento na densidade do solo, principalmente na camada superficial, prejudicaria o desenvolvimento do sistema radicular, já que esta cultura tem seu nível de exploração nutricional arranjado na camada arável do solo. Densidades muito altas poderiam comprometer a respiração das raízes e exercer resistência ao seu desenvolvimento. Entretanto, no presente estudo, a densidade de $1,82 \text{ g cm}^{-3}$ não afetou a quase totalidade das variáveis de desenvolvimento da planta avaliadas, corroborando Freddi et al. (2009) que, trabalhando com a cultura do milho em solo compactado, observaram que as características agronômicas da cultura não foram afetadas, apresentado desenvolvimento homogêneo.

Em relação à altura da planta, a Figura 1 indica que a altura do colmo obteve maior média (74,50 cm) quando sofreu maior nível de compactação do solo (64%), representado com uma regressão linear, sendo o valor de $R^2 = 72,9\%$, discordando da literatura. Foloni et al. (2003), estudando cultivares de milho sob solo compactado, verificaram que as características agronômicas foram afetadas, porém a compactação superficial não afetou a produção total de raízes, embora o impedimento físico tenha alterado a distribuição do sistema radicular das plantas. Silva e Rosolem (2001) verificaram que o crescimento aéreo do

sorgo granífero foi reduzido em mais de 40% ao final de 38 dias de cultivo, com uma resistência mecânica do solo da ordem de 1,22 MPa.

De acordo com Barros et al. (2010), a resistência do solo à penetração é uma das propriedades físicas diretamente relacionadas com o crescimento das plantas e modificadas pelos sistemas de preparo do solo. Valores excessivos de resistência do solo podem influenciar o crescimento das raízes em comprimento e diâmetro. Em geral, áreas de sistemas manejo agrícola apresentam maiores densidades do solo (VALPASSOS et al., 2001), já que tanto a densidade do solo como a resistência mecânica à penetração estão relacionados com a profundidade do solo (LOPES et al., 2007; CARDOSO, 2010; CARDOSO et al., 2012).

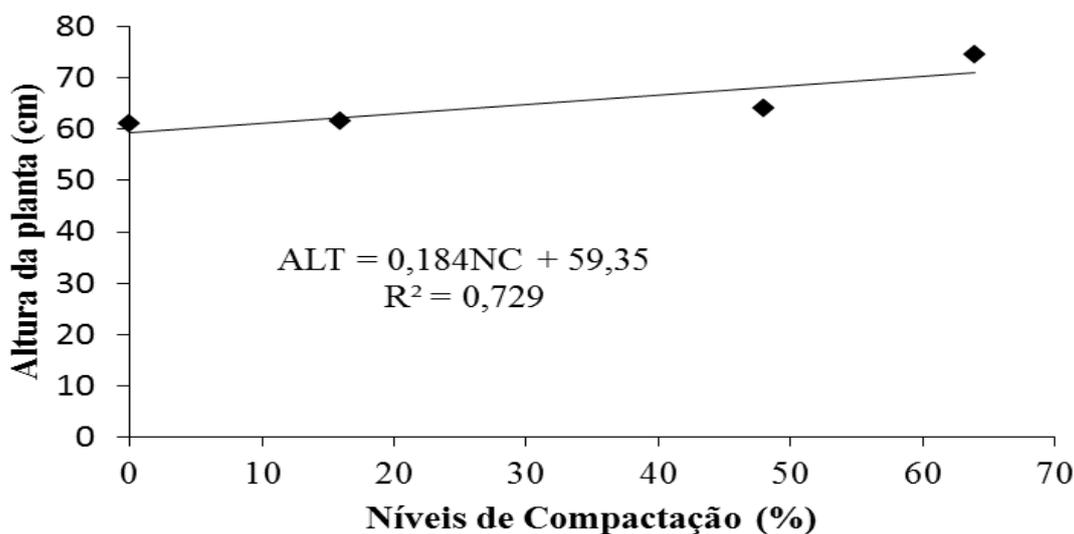


Figura 1 - Efeito de diferentes níveis de compactação do solo na variável altura (ALT) da cana-de-açúcar, em casa de vegetação, Recife – PE, 2011

A compactação do solo afetou a reprodução do nematoide, que diminuiu a medida em que houve aumento da compactação (Figura 2). Segundo Cardoso et al. (2012) o gênero *Meloidogyne* sp. esta positivamente relacionado com espaço o poroso do solo, já que é uma espécie que necessita essencialmente de trocas gasosas, através de sua cutícula, sendo assim, espécies que predominam em solos arenosos.

De acordo com Tita et al. (2002), Meng et al. (2006), Miranda (2009), Ribeiro et al. (2009), Vicente et al. (2010), Caixeta (2011) e Vicente (2011) a maior população de nematoides concentra-se na camada superficial do solo, onde se encontra as primeiras camadas do sistema radicular, o que também pode ser associado à compactação das camadas

mais profundas, pois estas modificam os espaços porosos, e diminuem a oxigenação do solo e a quantidade de nutrientes.

Além disso, Miranda (2009) afirma que a densidade do solo é crítica para a mobilidade e atividade dos nematoides, mas quando muito alta afeta a sobrevivência devido às limitações de oxigênio. Vicente (2011) relata que a densidade populacional de nematoide esta diretamente relacionada com a quantidade de matéria orgânica no solo, pois a mesma fornece maior mobilidade e oxigenação para estes microrganismos patogênicos, corroborando os resultados de Olabiyi et al. (2009), que afirmam que os parasitos de plantas são favorecidos em solos com textura arenosa. Ademais, Li et al. (2007) afirmam que a distribuição de parasitos de plantas no perfil do solo é reflexo da distribuição das raízes, contudo, no presente estudo a biomassa das raízes não variou com as diferentes densidades de solo aplicadas.

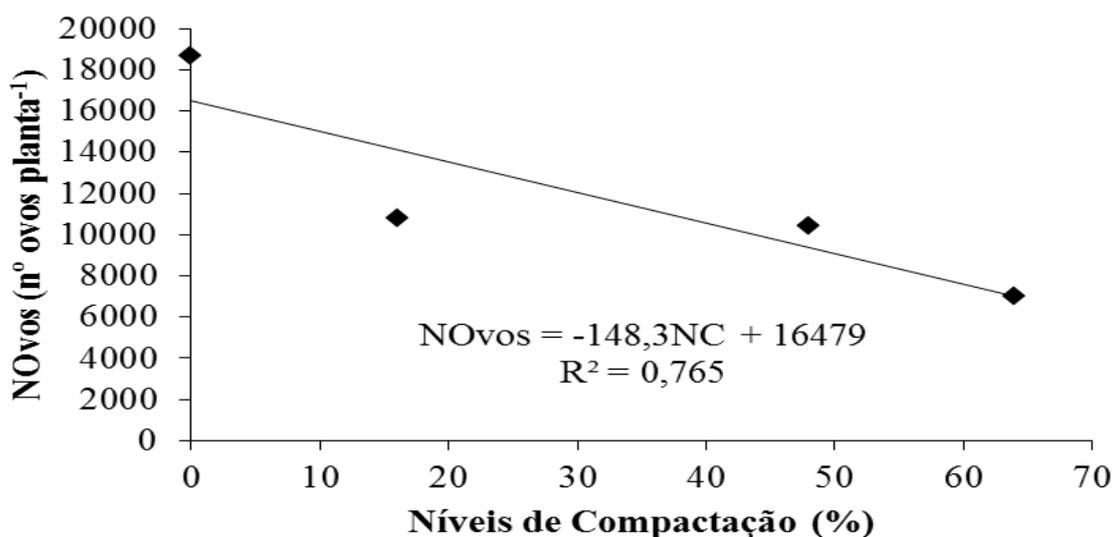


Figura 2 – Efeito de diferentes níveis de compactação do solo na variável número de ovos do nematoide *M. incognita* na cana-de-açúcar, em casa de vegetação, Recife – PE, 2011

Segundo Pattison et al. (2008), os nematoides parasitos de plantas tendem a se favorecer dos monocultivos, já que estes são locais com muito estresse ambiental. (GOMES et al., 2003; MONDINO et al., 2006; LI et al., 2007; KIMENJU et al., 2009; MONDINO et al., 2009; CARDOSO, 2010; CARDOSO et al., 2012), discordando do presente estudo, onde o maior nível de compactação aplicado promoveu número de ovos do *M. incognita*. Bouwman e Arts (2000) afirmam que os nematoides parasitas de plantas são influenciados positivamente por solos compactados, bem como por uma maior densidade do solo.

CONCLUSÃO

O aumento dos níveis de compactação do solo de $1,65 \text{ g cm}^{-3}$ para $1,82 \text{ g cm}^{-3}$ proporcionou redução na multiplicação de *M. incognita* e aumento no comprimento do colmo da variedade de cana-de-açúcar RB863129, mas não afetou outras variáveis de desenvolvimento planta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, C. X. et al. Funções de pedotransferência para a curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2235-2243, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. NBR 7182: Solo. **Ensaio de compactação** - ABNT. 1986. NBR 3. Rio de Janeiro, 1986. 11p.

BARROS, P. A. de et al. Análise espacial da resistência mecânica do solo à penetração sob cultivo de cana-de-açúcar. In: JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 10. **Anais...** CD-ROM, Recife: JEPEX, 2010.

BEUTLER, A. N. et al. Efeito da compactação na produtividade de cultivares de soja em Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 787-794, 2006.

BEUTLER, A. N. et al. Intervalo hídrico ótimo no monitoramento da compactação e da qualidade física de um Latossolo Vermelho cultivado com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1223-1232, 2007.

BOUWMAN, L. A.; ARTS, W. B. M. Effects of soil compaction on the relationships between nematodes grass production and soil physical properties. **Applied Soil Ecology**, v. 14, n. 3, p. 213–222, 2000.

BUSSCHER, W. J.; FREDERICK, J. R.; BAUER, P. J. Timing effects of deep tillage on penetration resistance and wheat and soybean yield. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, n. 3, p. 999–1003, 2000.

CAIXETA, L. B. **Dinâmica da nematofauna em resposta ao corte da cana-de-açúcar e fertirrigação com vinhaça**. 2011, 96 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2011.

CAMARGO, O. A. de; ALLEONI, L. R. F. **Causas da compactação do solo**. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/CompSolo/C3/Comp3.htm>. Acesso em: 21 out 2012.

CAMILOTTI, F. et al. Efeito prolongado de sistemas de preparo do solo com e sem cultivo de soqueira de cana crua em algumas propriedades físicas do solo. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 1, p. 189-198, 2005.

CAMPOS, A. P. et al. **Manejo integrado de pragas**. Jaboticabal: FUNEP, p.59-80, 2006.

CARDOSO, M. de O. **Relações entre a nematofauna e o grau de compactação do solo em área cultivada com cana-de-açúcar e em remanescente de Floresta Atlântica**. 2010. 68p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.

CARDOSO, M. de O. et al. Effects of soil mechanical resistance on nematode community structure under conventional sugarcane and remaining of Atlantic Forest. **Environ Monit Assess**, v. 184, p. 3529–3544, 2012.

COELHO, M. B.; MATEOS, L.; VILLALOBOS, F. J. Influence of a compacted loam subsoil layer on growth and yield of irrigated cotton in Southern Spain. **Soil and Tillage Research**, v. 57, p. 129-142, 2000.

CONAB- Companhia Nacional de Abastecimento (2012). **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar**. Disponível em: www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/1_levantamento2010_out2012.pdf. Acesso em: 21 out 2012.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; GIL, M. A.; MENEGATTI, C. C. Danos causados por nematoides a variedades de cana-de-açúcar em cana planta. **Nematologia Brasileira**, v. 27, n. 1, p. 69-73, 2003.

EMBRAPA SOLOS. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999, 412p.

FELIPE, D. C. **Produtividade da cana-de-açúcar (*saccharum officinarum*) submetida a diferentes épocas de plantio e a adubação mineral**. 2008. 58 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Areia: UFPB/CCA, 2008.

FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C.; LIMA, S. L. de. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 8, p. 947-953, 2003.

FREDDI, O. da O. et al. Compactação do solo e produção de cultivares de milho em Latossolo vermelho. I – Características de planta, solo e índice S⁽¹⁾. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 793-803, 2009.

GOMES, G. S.; HUANG, S. P.; CARES, J. E. Nematode community. trophic structure and population fluctuation in soybean fields. **Fitopatologia Brasileira**, v.28, n. 3, p. 258–266, 2003.

HUSSEY, R. S.; BARKER, K. R. A comparison of methods of collecting inocula for *Meloidogyne* spp., including a new technique. **Plant Disease Reporter**, v.57, n.12, p. 1025-1028, 1973.

IAIA, A. M.; MAIA, J. C. S.; KIM, M. E. Uso do penetrômetro eletrônico na avaliação da resistência do solo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 523-530, 2006.

KIMENJU, J. W. et al. Nematode community structure as influenced by land use and intensity of cultivation. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v. 11, n. 2, p. 353–360, 2009.

LANDELL, M. G. A. et al. Novas opções: cana-de-açúcar. **Caderno Técnico Cultivar**, v. 2, n. 79, p. 20-22, 2005.

LANZANOVA, M. E. et al. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 5, p. 1131–1140, 2007.

LI, Q.; LIANG, W.; OU, W. Responses of nematode communities to different land uses in an aquatic brown soil. **Biodiversity Science**, v. 15, n. 2, p. 172–179, 2007.

LIMA, R. P. de et al. **Resistência à penetração e densidade do solo como indicativos de compactação do solo em área de cultivo de cana-de-açúcar**. Disponível em: http://www.falker.com.br/artigos/CBCS_UFPB_RP_CompactacaoCana-de-Acucar.pdf. Acesso em: 21 out 2012.

LOPES, R. A. P. et al. Propriedades físicas de Latossolo Vermelho distroférico típico sob sistemas de manejo na sucessão soja-milho no período de três anos. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 29, n. 5, p. 721-727, 2007.

MARTINIANO, J. R. **Cana-de-açúcar irrigada**. 2009. 43p. Monografia (Graduação) – Faculdade Integradas de Jacarepaguá, Teresina, 2009.

MENG, F. et al. Vertical distribution and seasonal fluctuation of nematode trophic groups as affected by land use. **Pedosphere**, v. 16, n. 2, p. 169-176, 2006.

MEDEIROS, R. D.; SOARES, A. A.; GUIMARÃES, R. M. Compactação do solo e manejo da água. I: Efeitos sobre a absorção de N, P, K, massa seca de raízes e parte aérea das plantas de arroz. **Ciência Agrotécnica**, v.29, n.5, p.940-947, 2005.

MIRANDA, T. L. **Relações entre atributos físicos e biológicos do solo após operação de colheita e aplicação de vinhaça em cana-de-açúcar**. 2009. 81p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.

MONDINO, E. A.; CHAVES, E. J.; CLAUSEN, A. M. Distribution of nematodes in potato fields soil in Andean Valleys of Argentina. **Revista Facultad de Agronomía UBA**, v. 26, n. 2, p. 141-148, 2006.

MONDINO, E. A. et al. Avaliação das comunidades de nematoides do solo em agroecossistemas orgânicos. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 31, n. 3, p. 509–515, 2009.

MOSADDEGHI, M. R. et al. Comparisons of different procedures of pre-compaction stress determination on weakly structure soils. **Journal of Terramechanics**, v. 44, n. 1, p. 53-63, 2007.

MOURA, R. M. et al. Ocorrência dos nematoides *Pratylenchus zae* e *Meloidogyne* spp. em cana-de-açúcar no Nordeste do Brasil. **Fitopatologia Brasileira**, v. 25, n. 1, p. 101-103, 2000.

OLABIYI, T. I.; OLAYIWOLA, A. O.; OYEDIRAN, G. O. Influence of soil textures on distribution of phytonematodes in the South Western. **World Journal of Agricultural Sciences**, v. 5, n. 5, p. 557-560, 2009.

OLIVEIRA, G. C. et al. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 2, p. 327-336, 2004.

OLIVEIRA, G. C. et al. Compressibilidade de um Latossolo Vermelho argiloso de acordo com a tensão de água no solo, uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 773-781, 2003.

PAULINO, A. F. et al. Escarificação de um Latossolo Vermelho na pós-colheita de soqueira de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 5, p. 911-917, 2004.

PATTISON, A. B. et al. Development of key soil health indicators for the Australian banana industry. **Applied Soil Ecology**, v. 40, n. 1, p. 155–164, 2008.

RIBEIRO, C. F. R. et al. Flutuação populacional e efeito da distância e profundidade sobre nematoides em bananeira no norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 1, p. 103-111, 2009.

SEIXAS, F.; OLIVEIRA JÚNIOR, E. D. Compactação do solo devido ao tráfego de máquinas de colheita de madeira. **Scientia Forestalis**, v. 60, p. 73–88, 2001.

SERAFIM, M. E. et al. Intervalo hídrico ótimo em um Latossolo vermelho distroférico sob diferentes sistemas de produção. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 4, p. 654–665, 2008.

SEVERIANO, E. da C. **Indicadores de qualidade estrutural na avaliação da compactação do solo em decorrência da colheita mecanizada da cana-de-açúcar**. 2007. 71p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 253-260, 2001.

SILVA, G. J.; MAIA, J. C. S.; BIANCHINI, A. Crescimento da parte aérea de plantas cultivadas em vaso, submetidas à irrigação subsuperficial e a diferentes graus de compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 31-40, 2006.

SOUZA, C.C. et al. 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, n.3, p.338-342, 2000.

SOUZA, Z. M. et al. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.3, p.271-278, 2005.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J; PEREIRA, G. T. Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v. 40, n. 1, p. 48–56, 2010.

SOYELU, L. O. et al. Varietal differences in development of Maize (*Zea mays* L.) seedlings on compacted soil. **Crop Science**, v. 186, p. 157-166, 2001.

TITA, G. et al. Intertidal meiofauna of the St Lawrence estuary (Québec, Canada): diversity, biomass and feeding structure of nematode assemblages. **Journal of the Marine Biology Association of the U.K.**, v. 82, n. 5, p. 779–791, 2002.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Ceará.** In: Ceará. Fortaleza: UFC/CCA, 1993. 248p.

VALPASSOS, M. A. R. et al. Effects of soil management systems on soil microbial activity, bulk density and chemical properties. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 12, p. 1539-1545, 2001.

VICENTE, T. F. da S. et al. Resistência à penetração e sua influência na nematofauna em função da aplicação de vinhaça em áreas de cultivo da cana-de-açúcar. In: JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 10. **Anais...** CD-ROM, Recife: JEPEX, 2010.

VICENTE, T. F. da S. **Estabilidade de agregados em relações de atributos do solo com a nematofauna em áreas de cultivo de cana-de-açúcar.** 2011. 84p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2011.

CAPÍTULO 5

Efeito do estresse hídrico e fungos micorrízicos arbusculares no desenvolvimento inicial e componente químicos da cana-de-açúcar

Resumo: O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de níveis de estresse hídrico no solo e dos fungos micorrízicos arbusculares (FMA) *Claroideoglossum etunicatum*, *Gigasporas rosea*, *Acaulospora longula* e *Fuscutata heterogama* no desenvolvimento vegetativo inicial, produção de biomassa fresca e seca, colonização micorrízica, teores de fósforo, proteínas, enzimas e aminoácido da cana-de-açúcar variedade RB 857515 em condições de casa de vegetação. O nível de estresse hídrico de 50% CP diminuiu o diâmetro do colmo, a biomassa fresca da parte aérea e raiz da cana-de-açúcar, como também os FMA no solo e raiz da planta. Entretanto, os FMA e o nível de estresse hídrico de 50% CP, isoladamente ou em conjunto, não afetaram a altura da planta, número de folhas, matéria seca e teores de fósforo, proteínas solúveis totais, catalase, ascorbato peroxidase, polifenoloxidase, peroxidase e prolina da cana-de-açúcar.

Palavras-chaves: *Claroideoglossum etunicatum*, *Gigasporas rosea*, *Acaulospora longula*, *Fuscutata heterogama*, enzimas

Effect of drought stress and arbuscular mycorrhizal fungi on sugarcane initial development and chemical components

Abstract: The objective of this study was evaluating the effect of soil drought stress and the arbuscular mycorrhizal fungi (FMA) *Claroideoglossum etunicatum*, *Gigasporas rosea*, *Acaulospora longula* and *Fuscutata heterogama* on sugarcane initial vegetative development, fresh and dry biomass production, mycorrhizal colonization, and phosphorus, protein, enzymes and amino acid contents of sugarcane variety RB857515 under greenhouse. The 50% CP drought stress level decreased stalk diameter, fresh shoot and root biomass and FMA in soil and roots. The FMA and the 50% CP drought stress, isolated or in association, did not affect plant height, leaves number and dry plant biomass as well the phosphorus, total soluble

proteins, catalase, ascarbate peroxidase, polyphenol oxidase, peroxidase, and proline contents in sugarcane.

Keywords: *Claroideoglonus etunicatum*, *Gigasporas rosea*, *Acaulospora longula*, *Fuscutata heterogama*, enzymes

INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* L.) reveste-se de grande importância socioeconômica, visto que é utilizada como matéria-prima para produção do açúcar e do álcool. Este último, ainda mais em evidência, devido à possibilidade de escassez dos combustíveis fósseis o que preocupa o mundo moderno, altamente dependente de energia para sobreviver (ARGENTON, 2006). A procura por fontes de energia renováveis e menos poluentes traz incentivos para o aumento de produtividade da cana-de-açúcar, já que o álcool, fonte de energia alternativa, contribui para a redução de emissões de gases causadores do efeito estufa na atmosfera terrestre. A emissão de gases gerados pela combustão do álcool é compensada pela fixação de CO₂ durante o período de cultivo da cana-de-açúcar (BRASIL, 2005).

A utilização de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) apresenta grande importância para o crescimento de várias espécies de plantas, principalmente frutíferas, devido ao grande potencial para o desenvolvimento mais eficiente das culturas, e também, por minimizar o uso de fertilizantes (COSTA et al., 2001; BRESSAN et al., 2001; GUPTA et al., 2002; KAPOOR et al., 2002; FREITAS et al., 2004; DINIZ, 2007; RUSSOMANNO et al., 2008). Os FMA aumentam a absorção de nutrientes do solo, principalmente do fósforo; a absorção de água, principalmente em períodos de estiagem, e a resistência das plantas (SOUZA et al., 2001; SIQUEIRA et al., 2002; JEFFRIES et al., 2003; BAREA et al., 2005; RUSSOMANNO et al., 2008; SMITH; READ, 2008; KIRIAACHEK et al., 2009; SILVA; AMORIM, 2009; MACHINESKI et al., 2010; NGWENE et al., 2010; SERRÃO et al., 2012). De acordo com Genre et al. (2005), além dos efeitos nutricionais, a associação confere tolerância às plantas contra estresses bióticos e abióticos, contribuindo para a estabilidade dos agregados, aumento da aeração do solo e subsequente disponibilidade de água (AL-KARAKI et al., 2004; RILLIG, 2004; BORIE et al., 2008; MACHINESKI et al., 2010), já que plantas micorrizadas

mantêm maior condutância estomática durante períodos de déficit hídrico e, conseqüentemente, maior dependência difusiva (AUGÉ et al., 2004).

Segundo Silveira e Freitas (2007), as plantas micorrizadas apresentam maior atividade fotossintética, maior atividade enzimática e de produção de substâncias reguladoras de crescimento. Essas alterações metabólicas conferem às plantas maior resistência aos efeitos provocados por estresses de natureza biótica (pragas e doenças) ou abiótica (déficits hídricos e nutricionais ou estresses térmicos). Ecologicamente, a micorrização possibilita melhor utilização e conservação dos nutrientes disponíveis no sistema solo-planta, por possibilitar às plantas melhor adaptação ao ecossistema, bem como a maior capacidade de adaptação de mudas transplantadas.

Entretanto, pesquisas relatam que há escassez de trabalhos relacionados com a interação entre os FMA e a cana-de-açúcar. Kelly et al. (2001) afirmam que essa dificuldade de colonização dos FMA na cultura da cana-de-açúcar deve-se, também, a grande utilização de fertilizantes químicos, principalmente os fosfáticos, o que inibe a colonização micorrízica. Apesar da resposta da cana aos FMA em condições de campo ser pouco expressiva, existe grande potencial de emprego dessa tecnologia na etapa de produção de mudas livres de patógenos, com aumentos no índice de sobrevivência das plantas e maior vigor inicial (SILVEIRA; FREITAS, 2007), ficando mais adaptadas ao transplântio ao campo (CAVALCANTE et al., 2002; SILVA et al., 2009).

A seca é um fenômeno complexo, considerado um dos fatores mais importantes limitante da produção agrícola em todo o mundo. Por outro lado, a prática da irrigação é fundamental para garantir a estabilidade das colheitas, elevar o índice de produtividade das culturas e permitir a incorporação de áreas com precipitações reduzidas ou mal distribuídas no processo produtivo, que é o caso na região Nordeste do Brasil. No Nordeste, a disponibilidade de luz, de água e de nutrientes varia no tempo e espaço e é considerado o fator abiótico que mais afeta o estabelecimento das plântulas (EVANS; EDWARDS, 2001). Além disso, durante o estresse hídrico, a água no solo é mais fortemente retida e a transferência do soluto para as plantas é menos eficiente, podendo não atender as exigências nutricionais das da cultura (BELTRANO; RONCO, 2008). Contudo, a capacidade da espécie em adequar-se morfológica e fisiologicamente às variações na disponibilidade de recurso hídrico e em associar-se com FMA favorece o estabelecimento de plantas em ambientes limitantes em água (EVANS; EDWARDS, 2001; HURST et al., 2002), pois a associação entre raízes e FMA é influenciada, entre outros fatores, pela disponibilidade de água (ENTRY et al., 2002).

Ressaltando, ainda, que a disponibilidade de água é a principal variável climática causadora de variabilidade da produtividade da cana-de-açúcar (TRENTIN, 2010), já que segundo Maule et al. (2001) e Inman-Bamber (2004) as temperaturas elevadas em períodos de estresse hídrico causam a diminuição da área foliar da cultura, pois aceleram o processo de senescência das folhas verdes. Dependendo da variedade de cana-de-açúcar, as plantas tendem a fechar os estômatos, enrolar as folhas e realizar ajustes osmóticos, como mecanismos de tolerância ao estresse hídrico (INMAN-BAMBER; SMITH, 2005).

Além disso, há grande interesse pelo desenvolvimento de pesquisas relacionadas ao uso eficiente de água, objetivando o aumento de produção com utilização mínima dos recursos hídricos disponíveis. Nesse contexto, faz-se necessário a execução de estudos do consumo de água por diferentes variedades de cana-de-açúcar nas regiões onde essa espécie é cultivada nas condições de sequeiro. Por outro lado, em cultivos irrigados, o conhecimento da transpiração, juntamente com o desenvolvimento de sensores eletrônicos, é fundamental para o manejo da frequência e duração dos intervalos de irrigação (ZOLNIER, 2004; STEIDLE NETO et al., 2005). Assim como, a contribuição de FMA em cultivos sujeitos a deficiência hídrica pode ser importante, pela capacidade de estimular o crescimento vegetal, quando a simbiose é estabelecida de forma eficiente. No entanto, estudos sobre o comportamento de plantas micorrizadas em ambientes sob déficit hídrico, têm mostrado resultados variados (CAVALCANTE et al., 2001; JEFFRIES et al., 2003).

Face ao exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de níveis de estresse hídrico no solo e FMA no desenvolvimento vegetativo inicial, produção de biomassa fresca e seca, colonização micorrízica, teores de fósforo, proteínas, enzimas e aminoácido da cana-de-açúcar.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação pertencente à Universidade Federal Rural de Pernambuco, localizada no Município de Recife – Pernambuco, situado na latitude de 58° 61' S, longitude 39° 89' W e, altitude de 169 metros, com temperatura média de $\pm 30,25$ °C, umidade relativa do ar de 77,38%. O solo utilizado foi um Argissolo amarelo distrófico (EMBRAPA, 1999) de textura franco arenosa, coletado no município de Carpina, Pernambuco.

As Tabelas 1 e 2 apresentam os resultados das análises físicas e químicas do solo utilizado. Para o experimento, o material de solo foi peneirado em peneira de 5 mm, e autoclavado por 1 hora e 30 min, por 2 dias consecutivos, com um intervalo de 24 h, a uma temperatura de 120 °C, e a uma pressão de 101 kPa.

Tabela 1 - Atributos químicos do solo utilizado no experimento

Atributos químicos	Camada de coleta (m)
	0,5 – 0,9
pH (Água)	4,6
Complexo Sortivo (cmol _c kg ⁻¹)	
Ca ²⁺	0,37
Mg ²⁺	0,51
Na ⁺	0,03
K ⁺	0,04
H ⁺ + Al ³⁺	2,84
Al ³⁺	0,91
S	0,95
T	4,70
C (g kg ⁻¹)	7,0
N (g kg ⁻¹)	0,3
M.O. (g kg ⁻¹)	23
P Assimilável (mg kg ⁻¹)	8
K (mg dm ⁻³)	0,04

Tabela 2 - Atributos físicos do solo utilizado no experimento

Atributos físicos	Camada de coleta (m)
	0,5 – 0,9
Composição granulométrica (%)	
Areia grossa	53
Areia fina	24
Silte	8
Argila	15
Argila natural	6
Densidade (g cm ⁻³) do solo	1,58
dos sólidos do solo	2,65

A variedade de cana-de-açúcar utilizada foi a RB 857515, cedida pela Biofábrica do Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste – CETENE. As mudas passaram por 20 dias de aclimação em substrato na casa de vegetação. Em seguida, foram implantadas em vasos com 70 cm de altura e 58 cm de diâmetro, contendo o solo autoclavado, o qual recebeu calagem e adubação de fundação segundo Universidade Federal do Ceará (1993).

A capacidade do pote (CP) foi adotada como o conteúdo de água retirada pelo solo após sofrer saturação e consequente ação da gravidade, até o cessamento da drenagem, segundo Souza et al. (2000). A irrigação dos vasos foi controlada através do procedimento de pesagem, diariamente em balança de precisão com sensibilidade de 1 g entre 7 e 9 horas da manhã, para posterior reposição da água evapotranspirada no período, mantendo-se os vasos próximos à capacidade de campo e esta foi iniciada no 50º dias após a estabilidade das mudas nos vasos.

O delineamento estatístico adotado foi blocos ao acaso em esquema fatorial 2² com 4 tratamentos (T1- 50% CP com FMA; T2- 100% CP – com FMA; T3- 50% CP sem FMA; T4- 100% CP sem FMA) com 16 repetições.

Os FMA utilizados em mistura foram: *Claroideoglopus etunicatum* (W. N. (Becker & Gerd) C. Walker & A. Schiibler, *Gigasporas rosea* T. H. Nicolson & N. C. Schenck, *Acaulospora longula* Spain & N. C. Schenck e *Fuscutata heterogama* Oehl, F. A. Souza, L. C. Maia & Sieverd provenientes do Laboratório de Micorrizas do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Pernambuco. Os FMA foram multiplicados, cada espécie em um vaso separadamente, em plantas testes painço (*Panicum miliaceum* L.), milho (*Zea mays* L.), girassol (*Helianthus annuus* L.) e sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) por um período de três meses em vasos com 3 kg de solo esterilizado em autoclave a 120 °C, durante 1 hora e 30 minutos, por duas vezes, em dias consecutivos. Após os três meses, período suficiente para os FMA apresentarem um ótimo número de sua população, cessou-se a irrigação até as folhas das “plantas armadilhas” secarem, e assim, realizou-se avaliação da quantidade de esporos por 10 g de solo, utilizando a metodologia de Gerdemann e Nicolson (1963). A inoculação dos FMA na cana-de-açúcar foi realizada com 200 esporos planta⁻¹, após 20 dias de instalação da mudas em casa de vegetação. E a colheita realizou-se após 90 dias da inoculação dos FMA, tendo a planta idade de 140 dias.

As variáveis avaliadas fundamentaram-se no crescimento morfológico (comprimento do colmo, diâmetro do colmo, número de folhas), biomassa fresca das raízes, biomassa fresca da parte aérea, biomassa seca da parte aérea, colonização micorrízica, análise de fósforo, das proteínas solúveis totais, das enzimas catalase, ascorbato peroxidase, polifenoloxidase e peroxidase e da prolina.

Para a avaliação do crescimento morfológico, as mensurações foram obtidas no 90º após a inoculação de nematoides, com auxílio de trena e paquímetro. Para a avaliação da matéria seca, as amostras coletadas foram armazenadas em sacos de papel, previamente

identificados e, posteriormente, pesadas e encaminhadas para a secagem em estufa com circulação de ar forçada a 65°C por 72 horas ou até obterem peso constante, e pesadas novamente. As amostras do segundo experimento foram moídas e condicionadas em sacos de polietileno para realização das análises de fósforo (P) utilizando o método de Miyazawa et al. (1984) no Laboratório de Química Vegetal da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Os FMA foram extraídos de alíquotas de 50 g de solo de cada amostra, utilizando a técnica de peneiramento úmido (GERDEMANN; NICOLSON, 1963) seguida de centrifugação em água e solução de sacarose (JENKINS, 1964) a 50% (p/v). A colonização micorrízica foi estimada em 100 fragmentos de 1 cm (GIOVANNETTI; MOSSE, 1980), após diafanização das raízes em KOH 10% e H₂O₂ 10% e coloração com azul de trypan 0,05% (PHILLIPS; HAYMAN, 1970), montados em lâminas e observados em microscópio.

Dados das análises bioquímicas foram obtidos utilizando a 3ª folha de cada planta, submergiu-as em nitrogênio líquido e armazenadas em freezer. O extrato das amostras foram preparados para as análises pela homogeneização de 0,1 g de matéria fresca em 4 mL do tampão fosfato de sódio 0,1 M (pH 6.5) adicionado de 0,05 g de polivinilpirrolidona (PVP). O homogenato foi centrifugado a 10.000 × g a 4°C por 10 minutos (ZERAİK et al., 2008) e realizada a análise das proteínas solúveis totais (BRADFORD, 1976) e das enzimas catalase (BERRS; SIZER, 1952), ascorbato peroxidase (NAKANO; ASADA, 1981), polifenoloxidase (KAR; MISHRA, 1976) e peroxidase (FATIBELHO-FILHO; VIEIRA, 2002). Para análise do aminoácido prolina foi preparado o extrato obtido de 0,1 g de matéria fresca em 5 mL de ácido sulfosalicílico a 3%. O homogenato foi centrifugado por 10 minutos a 2.000 rpm e filtrado em papel de filtro nº 2, em seguida utilizou metodologia de Bates et al, 1973.

Os dados foram submetidos, à análise de variância e, quando significativos, foram submetidos teste Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SAS.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação entre FMA e estresse hídrico, como também não foi significativo ($P>0,05$) o efeito dos FMA para o comprimento e diâmetro do colmo, número de folhas, biomassa fresca da parte aérea e raiz, biomassa seca e teor de P da planta, embora o estresse hídrico tenha afetado significativamente ($P<0,05$) o diâmetro do colmo, o número de folhas e a biomassa fresca da parte aérea e raiz da planta. Por outro lado os FMA interagiram com o

estresse hídrico afetando a população de fungos micorrízicos arbusculares no solo e a população de fungos micorrízicos arbusculares nas raízes.

Costa et al. (2001), avaliando o crescimento vegetativo de dois genótipos de aceroleira (*Malpighia emarginata*) inoculada com *Gigaspora margarita* e *C. etunicatum*, observaram que houve aumento significativo na altura das mudas aos 56, 84 e 110 dias, como também da biomassa seca, corroborando com Russomanno et al. (2008), em plantas de alecrim (*Rosmarinus officinalis*) e manjeriço (*Ocimum Basilicum L.*), e Silva et al. (2009) em maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis*). Resultados contrários a presente pesquisa, já que esta não houve efeito significativo da altura da planta e matéria seca.

Todavia, Souza et al. (2001), trabalhando com *Andropogon gayanus* e *Stylosanthe guianensis* inoculados com *Glomus etunicatum* e níveis de P (0, 50, 100, 200 e 300 mg kg⁻¹ de solo) sob estresse hídrico, constataram aumento da matéria seca e desenvolvimento radicular, mesmo em altos teores de fósforo, em ambas as plantas estudadas. Segundo os autores, os incrementos significativos do P, foram realçados na presença dos FMA, demonstrando efeito benéfico da interação micorrízica × adubação fosfatada sobre a maior tolerância dessas espécies à deficiência hídrica.

No presente estudo, o P não foi afetado pelo estresse hídrico e inoculação dos FMA, corroborando com Costa et al. (2001) e Diniz (2007) em plantas de açazeiro (*Euterpe oleracea*), aceroleira e seringueira (*Hevea brasiliensis*), respectivamente. Os autores justificaram que os níveis de P no solo eram muito baixos. Contudo, no solo trabalhado a concentração de P assimilável foi de 8 mg kg⁻¹, considerada mediana para o cultivo, já que em altas concentrações de P há uma inibição na colonização de FMA nas raízes das plantas, já que a planta não necessitaria gastar foto assimilados com o FMA (que emite hifas no solo e aumenta a absorção de nutrientes, principalmente, os de baixa mobilidade). O fungo nesse caso se comportaria como um parasita podendo até interferir no desenvolvimento da planta, fato pelo qual a maioria das pesquisas com FMA são realizadas em solos pobres ou dependentes de fósforos (SMITH; READ, 2008; KIRIACHER et al., 2009).

A ausência de efeito dos FMA e estresse hídrico sobre a matéria seca contradiz Diniz (2007) que observou ganho de 28%, 33% e 49% de matéria seca total, matéria seca da parte aérea e matéria seca da raiz, respectivamente, nas mudas de seringueira inoculadas com *Glomus clarum*. Semelhantemente, Amerian et al. (2001) e Beltrano e Ronco (2008) obtiveram aumento significativo na cultura do milho (*Zea mays L.*) e trigo (*Triticum spp.*), respectivamente, sob estresse hídrico moderado e gravíssimo, inoculados com *Glomus*

claroideum. Soares et al. (2003) encontraram aumento de 560% em ipê roxo (*Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos.) inoculado com *Gigaspora margarita*, aos três meses de cultivo, comparado ao não inoculado.

Segundo Augé (2001), Ruiz-Lozano (2003), Sánchez-Blanco et al. (2004) e Goicoechea et al. (2005), a simbiose (FMA) tem demonstrado aumentar a tolerância a deficiência de água, embora os mecanismos envolvidos sejam controversos, pois em condições de seca, o potencial de água na folha diminuiu em ambas não-micorrízicas e plantas micorrizadas, embora essa diminuição seja menor em plantas estressadas e micorrizadas. Isto ocorre, possivelmente, devido ao fato de que em baixos potenciais hídricos no solo as plantas micorrizadas podem absorver mais água do que as não-micorrizadas, como mencionado por Porcel e Ruiz-Lozano (2004).

O nível de estresse de 50% CP foi suficiente para que a cana-de-açúcar apresentasse alterações no desenvolvimento e crescimento vegetativo, mesmo na presença dos FMA, havendo diminuição de 75%, 83,55% e 80,54% no diâmetro do colmo, biomassa fresca da parte aérea e da raiz, respectivamente (Tabela 3). Russomanno et al. (2008) obtiveram resultado contrário em relação à biomassa fresca da raiz, na cultura do alecrim, não ocorrendo diferença entre as espécies inoculadas de FMA (*C. etunicatum* e *G. clarum*), contrário à cultura do manjeriço, onde a biomassa fresca da raiz obteve aumento de 93,10 %, quando comparado ao controle. Corroborando com Chu et al. (2001), Silva et al. (2001), Trindade et al. (2001), Carneiro et al. (2004) e Silva et al. (2009), em outras culturas inoculadas com FMA.

Tabela 3 - Valores médios de diâmetro do colmo (DIAM), biomassa fresca da parte aérea (BFPA) e biomassa fresca da raiz (BFR) da cana-de-açúcar sob estresse hídrico (50% CP) em solo inoculado com fungos micorrízicos arbusculares (200 esporos planta⁻¹) em casa de vegetação durante 90 dias, Recife – PE, 2011

Estresse	DIAM (mm)	PFA (g)	PFR (g)
COM (50% CP)	0,63b	64,69b	19,83b
SEM (100% CP)	0,84a	77,43a	24,62a
DMS	0,24	23,75	7,93

As letras diferentes na coluna apresentam médias diferentes significativamente pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. COM – refere-se a 50% da capacidade do pote; SEM – refere-se a 100% da capacidade do pote.

Segundo Diniz (2007), um dos efeitos mais bem documentados dos FMA nas plantas é o crescimento vegetativo, o que não difere da pesquisa em questão, que apresentou aumento no diâmetro do colmo da cana-de-açúcar, contudo, apenas quando não foi submetida ao

estresse hídrico. De acordo com Diniz (2007), as mudas de seringueira obtiveram um aumento significativo até 105 dias após a inoculação de *G. clarum*, quando comparado ao controle. Rocha et al. (2006), trabalhando com mudas de cedros inoculadas com varias espécies de FMA encontraram efeito significativo no crescimento das plantas após 180 dias de inoculação. Soares et al. (2003), avaliando mudas de ipê roxo inoculadas com várias espécies de FMA, constataram que as espécies *G. margarita* e *G. fasciculatum* promoveram aumento de 87%, e *Claroideoglossum etunicatum* e *Gigasporas rosea* 78% e *Glomus* sp. 61%, no diâmetro das mudas. Resultados contrários ao de Silva et al. (2009), que observaram que mudas de maracujazeiro amarelo não apresentaram diferença no diâmetro quando inoculados com *G. albida* e *S. heterogama*.

As maiores quantidades de FMA ocorreram quando a cultura da cana-de-açúcar não foi submetida ao estresse hídrico, indicando que os FMA se desenvolvem melhor (tanto na raiz como no solo) quando a cana-de-açúcar encontra-se suprida de água, ou seja, quando o solo está na capacidade de campo (Tabela 4). Costa et al. (2001) afirmam que a colonização dos FMA depende da espécie utilizada para determinada cultura, pois algumas espécies de FMA podem proporcionar ou não aumento no crescimento vegetativo, dependendo da cultura em que estes foram inoculados. Segundo os autores, a porcentagem de colonização não se correlacionou com quaisquer dos parâmetros de crescimento das plantas, como altura, diâmetro, biomassa seca e área foliar.

Tabela 4 - Valores médios do numero de glomeosporos de fungos micorrízicos arbusculares no solo (FMAS) e colonização radicular de fungos micorrízicos arbusculares nas raízes (FMAR) de cana-de-açúcar sob estresse hídrico (50% CP) em solo colonizado com fungos micorrízicos arbusculares (200 esporos planta⁻¹) em casa de vegetação durante 90 dias, Recife – PE, 2011

Estresse	FMAS (10g solo ⁻¹)		DMS	FMAR (%)		DMS
	FMA			FMA		
	COM	SEM		COM	SEM	
COM	85,31aB	0,00bB		4,89aB	0,00bB	
SEM	240,63aA	0,00bB	54,41	19,37aA	0,00bB	4,48
DMS	54,41			4,48		

Letras diferentes apresentam médias diferentes significativamente para cada variável pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade, sendo que as letras minúsculas referem-se à linha e as letras maiúsculas referem-se à coluna.
CP = capacidade do pote, segundo Souza et al. (2000).

No experimento em questão, com estresse hídrico as espécies de FMA inoculadas apresentaram colonização micorrízica menor (42,66 %) que no início (200 esporos planta⁻¹),

quando comparado ao tratamento sem estresse hídrico com 120,32% de colonização micorrízica no solo. Bordin (2002), avaliando a micorrização na cultura dos tomateiros, observou que a maior colonização micorrízica foi da espécie *G. clarum* (63,28%) em comparação a *G. margarita* (57,48%). Normalmente, a eficiência micorrízica está relacionada à quantidade de micélio externo formado no solo, pois varia muito entre as espécies de FMA e com o hospedeiro utilizado (ROSSUMANNO et al., 2008).

A eficiência da simbiose micorrízica está relacionada com os fatores edafoclimáticos e aspectos da relação fungo-planta, ou seja, dependendo da espécie de fungo utilizada e das condições do meio ambiente, a eficiência da simbiose planta/FMA também varia (COSTA et al., 2001; CAVALCANTE et al., 2002; SILVEIRA et al., 2002). Ngwene et al. (2010) contataram em feijoeiro caupi (*Vigna unguiculata*) inoculados com FMA sob adubação fosfatada e nitrogenada, que a colonização das micorizas foi severamente reduzida. Bonfim et al. (2010) observaram que o maior número de esporos de FMA, no sistema com componente arbóreo (maior área radicular) na cultura do café (*Coffea arabica* L.) foi maior em época seca, indicando que a restrição de disponibilidade hídrica nesta estação induziu os microrganismos associados à planta à manifestação de mecanismos de adaptação, como a elevação da esporulação. Entretanto, para as duas estações avaliadas (seca e chuvosa), não foram observadas correlação entre o número de esporos e o potencial hídrico foliar, indicando que, independente do período, os FMA atuam normalmente na cultura e no solo. Resultados semelhantes foram observados por Amorim et al. (2004), em aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) e umbuzeiro (*Spondias tuberosa* L.) sob condições de estresse hídrico. Segundo Maia et al. (2006), a introdução de árvores no cultivo das culturas, em geral, implica em maior acúmulo de matéria orgânica sobre o solo, conseqüentemente, maior colonização dos FMA nas culturas.

Diniz (2007) avaliando mudas de seringueiras inoculadas com *G. clarum*, verificou uma percentagem de colonização radicular baixa (18%) após 195 dias e após a inoculação das plantas em solo com 640 ppm de P, o que é considerado relativamente alto teor de P no solo. Contudo, a espécie *G. clarum*, segundo o autor, se adaptou mesmo em altas condições de fertilização de P. Então, considerando que no presente experimento a concentração de P foi de 8 mg kg⁻¹, considerada mediana, é possível especular que o P afetou na colonização das diferentes espécies de FMA (*Claroideoglossum etunicatum*, *Gigasporas rosea*, *Acaulospora longula* e *Fuscutata heterogama*).

Não houve interação entre FMA e estresse hídrico, como também não foi significativo ($P>0,05$) o efeito isolado dos FMA e do estresse hídrico para as enzimas catalase, peroxidase, ascorbato peroxidase, polifenoloxidase, proteína solúvel, e o aminoácido prolina. Resultados semelhantes para atividade de proteína total nas folhas de trigo com e sem estresse hídrico foram observados por Beltrano e Ronco (2008), embora, sob estresse severo, as plantas micorrizadas apresentassem maior concentração de proteína do que as não micorrizadas.

De acordo com Serrão et al. (2012), o desequilíbrio ambiental provocado pela seca prolongada afeta significativamente a atividade enzimática, o que permite usá-la como indicador da funcionalidade do solo e da dinâmica de nutrientes. Da mesma forma, a colonização dos FMA no solo e o teor de P nas plantas também podem ser usados, embora, os esporos sejam estruturas muito tolerantes ao estresse hídrico (SIQUEIRA, 2001).

CONCLUSÕES

Os níveis de estresse hídrico de 60% e 80% CP não interferem na colonização dos FMA (*C. etunicatum*, *G. rosea*, *A. longula* e *F. heterogama*), no crescimento e desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar variedade RB 857515.

O nível de estresse hídrico de 50% CP diminui o diâmetro do colmo, a biomassa fresca da parte aérea e raiz da cana-de-açúcar, como também os FMA no solo e raiz da planta.

Os FMA e o nível de estresse hídrico de 50% CP, isoladamente ou em conjunto, não afetam a altura, número de folhas, matéria seca e teores de P, proteínas solúveis totais, catalase, ascorbato peroxidase, polifenoloxidase, peroxidase e prolina da variedade RB 857515.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-KARAKI, G. N.; McMICHAEL, B.; ZAK, J. Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. **Mycorrhiza**, v. 14, p. 263-269, 2004.

ARGENTON, P. E. **Influência das variáveis edafoclimáticas e de manejo no rendimento de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) na região de Piracicaba, São Paulo**. 2006. 110 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2006.

AMERIAN, M. R.; STEWART, W. S.; GRIFFITHS, H. Effect of two species of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, assimilation and leaf water relations in maize (*Zea mays*). **Aspects of Applied Biology**, v.63, p. 73-76, 2001.

AMORIM, S. M. C.; PAIM, A. C. B.; SILVA, M. G. Efeito do déficit hídrico sobre a colonização endomicorrízica em duas espécies vegetais típicas da região semiárida do nordeste. **Revista de Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento**, v. 33, p. 23-26, 2004.

AUGÉ, R. M. Water relations, drought and vesicular arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Mycorrhiza**, v. 11, p. 3-42, 2001.

AUGÉ, R. M. Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 84, p. 375-381, 2004.

BAREA, J. M. et al. Microbial co-operation in the rhizosphere. **Journal of Experimental Botany**, v. 56, p. 1761-1778, 2005.

BATES, L.S.; WALTREN, R.B.; TEARE, I.D. Rapid determination of free proline for water – stress studies. **Plant and Soil**, v.39, p.205-207, 1973.

BELTRANO, J.; RONCO, M. G. Improved tolerance of wheat plants (*Triticum aestivum* L.) to drought stress and rewatering by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus claroideum*: Effect on growth and cell membrane stability. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v. 20, n. 1, p. 29-37, 2008.

BERRS, L. S. J.; SIZER, I. W. An spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase. **Journal of Biological Chemistry**, v. 195, p. 133-140, 1952.

BONFIM, J. A. et al. Fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e aspectos fisiológicos em cafeeiros cultivados em sistema agroflorestal e a plano solo. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 201-206, 2010.

BORDIN, S. S. **Interação fungos micorrízicos arbusculares e *Meloidogyne incognita*, em plantas de tomateiro e pimentão.** 2002. 70p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

BORIE, F.; RUBIO, R.; MORALES, A. Arbuscular mycorrhizal fungi and soil aggregation. **Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal**, v. 8, p. 9-18, 2008.

BRANDFORD, M. **Analytical Biochemistry**. 72, p. 248-254, 1976.

BRASIL. Empresa de Pesquisa. **Potencial de redução de emissões de CO₂ em projetos de produção e uso de biocombustíveis.** Brasília, 2005. 66 p.

BRESSAN, W. et al. Fungos micorrízicos e fósforo, no crescimento, nos teores de nutrientes e na produção do sorgo e soja consorciados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 315-323, 2001.

CARNEIRO, M. A. C.; SIQUEIRA, J. O.; DAVIDE, A. D. Fósforo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares no estabelecimento de mudas de embaúba (*Cecropia pachstachya*). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 3, p. 119-125, 2004.

CAVALCANTE, U. M. T. et al. dos. Respostas fisiológicas em mudas de maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* Sims. F. *flavicarpa* Deg.) inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares e submetida a estresse hídrico. **Acta Botânica Brasileira**, v. 15, n. 3, p. 379-390, 2001.

CAVALCANTE, U. M. T. et al. Influência da densidade de fungos micorrízicos arbusculares na produção de mudas de maracujazeiro-amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 5, p. 643-649, 2002.

COSTA, C. M. C. et al. Influência de fungos micorrízicos arbusculares sobre o crescimento de dois genótipos de aceroleira (*Malpighia emarginata* D. C.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 6, p. 893-901, 2001.

CHU, E. Y.; MÜLLER, M. R.; CARVALHO, J. G. Efeitos da inoculação micorrízica em mudas de graviolera em solo fumigado e não fumigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 4, p. 671-680, 2001.

DINIZ, P. F. de A. **Influência do fungo micorrízicos arbusculares (*Glomus clarum*) sobre características biofísicas, nutricionais, metabólicas e anatômicas em plantas jovens de seringueira**. 2007. 112p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

EMBRAPA SOLOS. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999, 412p.

ENTRY, J. A. et al. Influence of adverse soil conditions on the formation and function of arbuscular mycorrhizas. **Advances in Environmental Research**, v. 7, p. 123-138, 2002.

EVANS, J. R.; EDWARDS, E. Nutrient uptake and use in plant growth. In: NET ECOSYSTEM EXCHANGE CRC WORKSHOP, 2001, Canberra. **Proceedings**. Canberra: Cooperative Research Centre for Greenhouse Accounting, 2001. p. 75-81.

FATIBELHO-FILHO, O.; VIEIRA, I.C. Uso analítico de tecidos e de extratos brutos vegetais como fonte enzimática. **Química Nova**, v.25, n.3, p.455-464, 2002.

FREITAS, M. S. M.; MARTINS, M. A.; VIEIRA, I. J. C. Produção e qualidade de óleos essenciais de *Mentha arvensis* em resposta à inoculação de fungos micorrízicos arbusculares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 9, p. 887-894, 2004.

GENRE, A. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi elicit a novel intracellular apparatus in *Medicago truncatula* root epidermal cells before infection. **The Plant Cell**, v. 17, p. 3489-3499, 2005.

GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of micorrhizal *endogone species* extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactions of the British Mycological Society**. v.46, p. 235-244, 1963.

GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**, v. 84, p. 489-500, 1980.

GOICOECHEA, N.; MERINO, S.; SÁNCHEZ-DÍAZ, M. Arbuscular mycorrhizal fungi can contribute to maintain antioxidant and carbon metabolism in nodules of *Anthyllis cytisoides* L. subjected to drought. **Journal of Plant Physiology**, v.162, p. 27-35, 2005.

GUPTA, M. L. et al. Effect of the vesicular-arbuscular mycorrhizal (VAM) fungus *Glomus fasciculatum* on the essential oil yield related characters and nutrient acquisition in the crops of different cultivars of menthol mint (*Mentha arvensis*) under field conditions. **Bioresource Technology**, v. 81, p. 77-79, 2002.

HURST, S. E.; TURNBULL, M. H.; NORTON, D. A. The effect of plant light environment on mycorrhizal colonization in field-grown seedlings of podocarp-angiosperm forest tree species. **New Zealand Journal of Botany**, v. 40, p. 65-72, 2002.

INMAN-BAMBER, N. G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crops Research**, v. 89, p. 107-122, 2004.

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.

JEFFRIES, P. et al. M. The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. **Biology Fertility Soils**, v. 37, p. 1-16, 2003.

JENKINS, W. R. A. Rapid centrifugal flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, v. 48, p. 692, 1964.

KAPOOR, R.; GIRI, B.; MUKERJI, K. G. Mycorrhization of coriander (*Coriandrum sativum* L.) to enhance the concentration and quality of essential oil. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 82, n. 4, p. 339-342, 2002.

KAR, M.; MISHRA, D. Catalase, peroxidase and poliphenoxidase activities during rice leaf senescence. **Plant Physiology**, v. 57, p. 315 – 319, 1976.

KELLY, R. M. et al. Responses of sugarcane, maize, and soybean to phosphorus and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 52, p. 731-743, 2001.

KIRIACHEK, S. G. et al. Regulação do desenvolvimento de micorrizas arbusculares. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1-16, 2009.

MACHINESKI, O. et al. Contribuição das micorrizas arbusculares no desenvolvimento e na nutrição do nim em diferentes doses de fósforo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 29. **Anais...** Guarapari: ES, CD-ROM, 2010.

MAIA, S. M. F. et al. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semiárido cearense. **Revista Árvore**, v. 30, p. 837-848, 2006.

MAULE, R. F.; MAZZA, J. A.; MARTHA, J. R. G. B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 295-301, 2001.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; BLOCH, M. F. M. Avaliação de métodos com e sem digestão para extração de elementos em tecidos de plantas. **Ciência e Cultura**, v.36, p.1953-1958, 1984.

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant Cell Physiology**, v. 22, p. 867–880, 1981.

NGWENE, B. et al. Phosphorus uptake by cowpea plants from sparingly available or soluble sources as affected by nitrogen form and arbuscular-mycorrhiza-fungal inoculation. **Journal Plant Nutrition Soil Science**, v. 173, p. 353–359, 2010.

PHILLIPS, J. M.; HAYMAN, D. S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. **Transactions of the British Mycological Society**, v.55, p. 157-161, 1970.

PORCEL, R.; RUIZ-LOZANO, J. M. Arbuscular mycorrhizal influence on leaf water potential, solute accumulation, and oxidative stress in soybean plants subjected to drought stress. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, p. 1743-1750, 2004.

RILLIG, M.C. Arbuscular mycorrhizae, glomalin and soil and aggregation. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 84, p. 355-363, 2004.

ROCHA, F. S. et al. Dependência e resposta de mudas de cedro a fungos micorrízicos arbusculares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 1, p. 77-84, 2006.

RUIZ-LOZANO, J. M. Arbuscular mycorrhizal symbiosis and alleviation of osmotic stress. New perspectives for molecular studies. **Mycorrhiza**, v. 13, p. 309-317, 2003.

RUSSOMANNO, O. M. R.; KRUPPA, P. C.; MINHOMI, M. T. A. Influência de fungos micorrízicos arbusculares no desenvolvimento de plantas de alecrim e manjeriço. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 75, n. 1, p. 37-43, 2008.

SÁNCHEZ-BLANCO, M. J. et al. Variations in water status, gas exchange, and growth in *Rosmarinus officinalis* plants infected with *Glomus deserticola* under drought conditions. **Journal of Plant Physiology**, v. 161, p. 675-682, 2004.

SERRÃO, B. de O.; CARVALHO, C. J. R. de; DUTRA, F. C. **Influência da seca prolongada sob a atividade enzimática de micorrizas em floresta de terra firme: resultados em um experimento de manipulação de chuvas**. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/407935/1/ExpandidoBrunoSerrao.pdf>. Acesso em: 21 out 2012.

SILVA, R. P.; PEIXOTO, J. R.; JUNQUEIRA, N. T. V. Influência de diversos substratos no desenvolvimento de mudas de maracujazeiro azedo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 23, n. 2, p. 377–381, 2001.

SILVA, M. G.; AMORIM, S. M. C. de. Estresse salino em plantas de *Spondias tuberosa* Arruda (Câmara) colonizadas com fungos micorrízicos arbusculares. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 2, p. 91-96, 2009.

SILVA, T. F. B. da et al. Influência da densidade de fungos micorrízicos arbusculares na produção do maracujazeiro-doce (*Passiflora alata* Curtis). **Revista Caatinga**, v. 22, n. 4, p. 1-6, 2009.

SILVEIRA, S. V.; SOUZA, P. V. D.; KOLLER, O. C. Influência de fungos micorrízicos arbusculares sobre o desenvolvimento vegetativo de porta-enxertos de abacateiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 303-309, 2002.

SILVEIRA, A. P. D. da; FREITAS, S dos S. **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Ed. IAC – Instituto Agrônomo, Campinas: SP, 2007. 312p.

SIQUEIRA, J. O.; LAMBAIS, M. R.; STÜRMER, S. L. Fungos micorrízicos arbusculares. **Biotechnology, Ciência e Desenvolvimento**, n.25, 2002.

SIQUEIRA, J. O. **Biologia e bioquímica do solo**. Curso de Pós-Graduação “Latu Sensu” (especialização) a Distância: Solos e Meio Ambiente. Lavras: UFLA/FAEPE. 291p. 2001.

SMITH, S.E.; READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis**. 3rd edition. Academic Press, San Diego, 2008, 814p.

SOARES, A. C. F. et al. Produção de mudas de ipê roxo inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares. **Magistra**, v. 15, n. 2, p. 123-127, 2003.

SOUZA, C. C. et al. 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, n.3, p.338-342, 2000.

SOUZA, R. F. de et al. Micorriza e fósforo no crescimento de *Andropogon gaayanus* e *Stylosanthes guianensis* cultivados sob condições de estresse hídrico em um Latossolo vermelho escuro distrófico. **Pasturas Tropicales**, v. 22, n. 2, p. 42-46, 2001.

STEIDLE NETO, A. J. et al. Avaliação de um circuito eletrônico para medição da condutividade elétrica de soluções nutritivas. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 2, p. 427-435, 2005.

TRENTIN, R. **Estimativa de um índice de estresse hídrico para a cultura da cana-de-açúcar com base na temperatura foliar**. 2010. 61p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

TRINDADE, A. V.; SIQUEIRA, J. O.; ALMEIDA, F. P. Dependência micorrízica de variedades comerciais de mamoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 12, p. 1485–1494, 2001.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Ceará**. In: Ceará. Fortaleza: UFC/CCA, 1993. 248p.

ZERAIK, A. E. et al. Desenvolvimento de um spot test para o monitoramento da atividade da peroxidase em um procedimento de purificação. **Química Nova**, v. 31, p. 731-734, 2008.

ZOLNIER, S. Automação de sistemas de cultivo em substrato. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATO PARA PLANTAS, 4, 2004, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2004. p. 158-189.

CAPÍTULO 6

Efeito do estresse hídrico, nematoide das galhas e fungos micorrízicos arbusculares no desenvolvimento inicial e atividade fisiológica da cana-de-açúcar

Resumo: O objetivo deste estudo foi avaliar efeitos da interação estresse hídrico (100 e 50% da capacidade do pote) × nematoide das galhas (*Meloidogyne incognita*) × FMA (mistura dos fungos micorrízicos arbusculares *Claroideoglomus etunicatum*, *Gigasporas rosea*, *Acaulospora longula* e *Fuscutata heterogama*) no desenvolvimento vegetativo, produção de biomassa, multiplicação do fungo e do nematoide, e o crescimento da cana-de-açúcar variedade RB 863129. Tanto o estresse hídrico como o *M. incognita* diminuíram o crescimento vegetativo e a produção de biomassa fresca e seca da cana-de-açúcar. Os FMA aumentaram a biomassa fresca do colmo e raiz. O estresse hídrico aumentou as populações de FMA no solo e raiz. Os FMA diminuíram o número de galhas e o número de ovos de *M. incognita* nas raízes. Tanto o estresse hídrico como *M. incognita* reduziram a atividade da enzima ascorbato peroxidase na cana-de-açúcar, mas o nematoide aumentou as concentrações de polifenoloxidase e de proteína solúvel na planta. O estresse hídrico reduziu os teores de P das folhas, mas os FMA aumentam os teores de P no colmo, contudo o aumento de P promovido pelos FMA não ocorreu sob estresse hídrico. As atividades das enzimas catalase e peroxidase e do aminoácido prolina não foram afetados pelo estresse hídrico, *M. incognita* e/ou FMA, 45 dias após a inoculação do nematoide.

Palavras-chaves: *Claroideoglomus etunicatum*, *Gigasporas rosea*, *Acaulospora longula*, *Fuscutata heterogama*, enzimas, interação

Effect of drought stress, root-knot nematode and arbuscular mycorrhizal fungi on initial development and physiological activity of sugarcane

Abstract: The objective of this study was evaluating effects from the interaction drought stress (50 and 100% pot capacity) × root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) × FMA (association of the arbuscular mycorrhizal fungi *Claroideoglomus etunicatum*, *Gigasporas rosea*, *Acaulospora longula* and *Fuscutata heterogama*) on vegetative initial development, biomass production, nematode and fungi multiplication, and physiological activity of

sugarcane variety RB863129. Either hydro stress or *M. incognita* decreased initial vegetative development and fresh and dry biomass production of sugarcane. The FMA increased fresh stalk and root biomass. Hydro stress increased FMA population in soil and roots. The FMA decreased gall and nematode numbers in roots. Either drought stress and *M. incognita* decreased ascorbate peroxidase contents in sugarcane, but the nematode increased polyphenol oxidase and total soluble protein in plant. Drought stress decreased P content in leaves but FMA increased P content in stalk, however, the increase in P promoted by the FMA did not occur under hydro stress. Catalase, peroxidase and proline levels were not affected by hydro stress, *M. incognita* and/or FMA, 45 days after nematode interaction.

Keywords: *Claroideoglossum etunicatum*, *Gigasporas rosea*, *Acaulospora longula*, *Fuscutata heterogama*, enzyme, interaction

INTRODUÇÃO

A deficiência hídrica é um dos estresses mais comuns a que as plantas cultivadas estão sujeitas durante o ciclo de vida. Em função da alteração do ambiente, a inoculação das plantas com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) pode ser uma alternativa para aumentar o vigor das culturas, principalmente se a umidade do solo encontrar-se entre 40 e 80%, considerada ótima para o desenvolvimento e eficiência dos FMA (FARIAS et al., 2008). A eficiência dos FMA e a dependência micorrízica das plantas variam de acordo com o fungo, planta hospedeira e condições edáficas (MOREIRA-SOUZA; CARDOSO, 2002).

Os fungos FMA crescem em associação com a planta e ramificam-se no solo e nas raízes, atuando como complemento do sistema radicular do hospedeiro, aumentam a capacidade de absorção de nutrientes de baixa mobilidade no solo pelas radículas (fósforo, zinco, etc.), aumentam o desenvolvimento das plantas, a absorção de água e resistência das plantas a períodos de estiagem e, principalmente, a resistência das plantas a patógenos do sistema radicular, sendo considerados bi controladores de doenças e pragas (MAIA et al., 2001; LARANJEIRA, 2001; CAVALCANTE et al., 2002; BRANDÃO et al., 2004; MORATELLI et al., 2007; RUSSOMANNO et al., 2008, SILVA et al., 2009). No entanto, a associação entre raízes e FMA é influenciada pela disponibilidade de água (EVANS; EDWARDS, 2001; ENTRY et al., 2002; HURST et al., 2002).

Cofcewicz et al. (2001) afirmam que há variabilidade na interação de FMA e nematoides, indicando que a associação planta \times nematoide \times FMA é bastante específica e que alterações em um dos componentes pode levar à diversidade de resultados, não permitindo conclusões definidas. Em geral, os dados existentes indicam que as reduções de crescimento, consequência da infecção por nematoides, têm sido menores em plantas colonizadas por FMA comparadas às plantas não micorrizadas. Contudo, o efeito dos FMA sobre a reprodução de nematoides, tem sido apontado como dependente de um elevado percentual de colonização da raiz por esses organismos. Já que tais patógenos afetam drasticamente o sistema radicular das plantas causando rachaduras nas raízes, galhas, necroses, impedindo a absorção de água e nutrientes pela planta, culminando com a diminuição da produção, podendo levá-las à morte (KRZYZANOWSKI et al., 2011).

Em geral, o FMA é capaz de produzir modificações as quais induzem maior resistência ao estabelecimento de doenças na raiz, determinando à planta uma posição privilegiada frente ao patógeno que, desse modo, tem o seu efeito reduzido ou anulado (MAIA et al., 2001). Nesse sentido, há um notável interesse no estudo de alternativas de controle, sendo o controle biológico uma das mais promissoras. Pesquisas na área de controle biológico têm mostrado a eficácia e a habilidade dos fungos nematófagos para colonizar a rizosfera, o que tem sido apontado como uma característica importante no biocontrole desses parasitos (MAIA et al., 2001; KRZYZANOWSKI et al., 2006).

A utilização de microrganismos como aprimoramento tecnológico, com a finalidade de melhorar a disponibilidade de nutrientes às plantas, é uma prática potencialmente importante e muito necessária para as culturas (TEIXEIRA et al., 2010).

O objetivo deste estudo foi avaliar efeitos da interação estresse hídrico \times nematoides de galhas \times FMA no desenvolvimento vegetativo, produção de biomassa fresca e seca, reprodução do nematoide e na atividade fisiológica da cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação pertencente à Universidade Federal Rural de Pernambuco, localizada no Município de Recife – Pernambuco, situado na latitude de 58° 61' S, longitude 39° 89' W e, altitude de 169 metros, com temperatura média de \pm 30,25 °C, umidade relativa do ar de 77,38%. O solo utilizado foi um Argissolo amarelo distrófico (EMBRAPA, 1999) de textura franco arenosa, coletado no município de Carpina,

Pernambuco. As Tabelas 1 e 2 apresentam os resultados das análises físicas e químicas do solo utilizado. Para o experimento, o material de solo foi peneirado em peneira de 5 mm, e autoclavado por 1 hora e 30 min, por 2 dias consecutivos, com um intervalo de 24 h, a uma temperatura de 120 °C, e a uma pressão de 101 kPa.

Tabela 1 - Atributos químicos do solo utilizado no experimento

Atributos químicos	Camada de coleta (m)
	0,5 – 0,9
pH (Água)	4,6
Complexo Sortivo (cmol _c kg ⁻¹)	
Ca ²⁺	0,37
Mg ²⁺	0,51
Na ⁺	0,03
K ⁺	0,04
H ⁺ + Al ³⁺	2,84
Al ³⁺	0,91
S	0,95
T	4,70
C (g kg ⁻¹)	7,0
N (g kg ⁻¹)	0,3
M.O. (g kg ⁻¹)	23
P Assimilável (mg kg ⁻¹)	8
K (mg dm ⁻³)	0,04

Tabela 2 - Atributos físicos do solo utilizado no experimento

Atributos físicos	Camada de coleta (m)
	0,5 – 0,9
Composição granulométrica (%)	
Areia grossa	53
Areia fina	24
Silte	8
Argila	15
Argila natural	6
Densidade (g cm ⁻³) do solo	1,58
dos sólidos do solo	2,65

A variedade de cana-de-açúcar foi RB 863129, cedida pela Biofábrica do Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste – CETENE. Após 15 dias de aclimatação em substrato na casa de vegetação, as plantas foram transplantadas para vasos com 210 cm de altura e 240 cm de diâmetro, contendo o solo autoclavado, preparado com calagem e adubação de fundação, segundo Universidade Federal do Ceará (1993). O delineamento estatístico adotado

foi blocos ao acaso em esquema fatorial 2 (com e sem estresse hídrico) × 2 (com e sem nematoide) × 2 (com e sem FMA), com seis repetições.

Para o estresse hídrico foram usados tratamentos com 100 e 50% da capacidade do pote (CP). A CP foi adotada como o conteúdo de água retirada pelo solo após sofrer saturação e drenar pela ação da gravidade, até o cessamento, segundo Souza et al. (2000). A irrigação dos vasos foi controlada através do procedimento de pesagem, diariamente, em balança de precisão com sensibilidade de 1 g entre 7 e 9 horas da manhã, para posterior reposição da água evapotranspirada no período, mantendo-se os vasos próximos à capacidade de campo e omitindo-se a irrigação em 50% da capacidade do pote naqueles tratamentos sob condições de estresse, sendo esta foi iniciada no 30º dias após a inoculação dos FMA, onde as plantas estavam com 45 dias.

Os FMA utilizados em mistura foram: *Claroideoglopus etunicatum* (W. N. (Becker & Gerd) C. Walker & A. Schiibler, *Gigasporas rosea* T. H. Nicolson & N. C. Schenck, *Acaulospora longula* Spain & N. C. Schenck e *Fuscutata heterogama* Oehl, F. A. Souza, L. C. Maia & Sieverd, proveniente do Laboratório de Micorrizas do Departamento de Biologia da UFPE. Os inóculos dos FMA foram multiplicados, cada espécie em um vaso separadamente, com plantas testes painço (*Panicum miliaceum*), milho (*Zea mays* L.), girassol (*Helianthus annuus* L.) e sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), por um período de três meses, em vasos com 3 kg de solo esterilizado em autoclave a 120 °C, durante 1 hora e 30 minutos, por duas vezes, em dias consecutivos. Após 3 meses, período suficiente para a produção de glomeosporos, a rega foi suspensa, e quando as plantas estavam secas foi feita a avaliação dos glomeosporos em 10 g de solo utilizando a metodologia de Gerdemann e Nicolson (1963). A inoculação dos FMA na cana-de-açúcar foi realizada após 20 dias de instalação da mudas em casa de vegetação, com aproximadamente 200 esporos planta⁻¹ (mistura das quatro espécies de FMA).

A espécie de nematoide de galhas estudada foi *Meloidogyne incognita*, obtida em campo cultivado com cana-de-açúcar. As progênies, oriundas de massa de ovos, foram mantidas e multiplicadas em tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) e em plantas de pimentão (*Capsicum annuum* L.), em solo autoclavado. A confirmação da espécie fundamentou-se na técnica de eletroforese de isoenzimas e a obtenção do inóculo seguiu a metodologia descrita por Hussey e Barker (1973) para extração de ovos a partir de raízes parasitadas. A inoculação do *M. incognita* foi após 30 dias da inoculação dos FMA, usando-se pipetas de graduação automática com aproximadamente 12.000 ovos mL⁻¹ planta⁻¹, sendo a suspensão de ovos

vertida em orifícios no solo ao redor de cada planta. A colheita foi realizada aos 45 dias após a inoculação dos nematoides na cana-de-açúcar, quando as plantas se encontravam com idade de 90 dias.

As avaliações fundamentaram-se dos parâmetros de crescimento morfológico (comprimento do colmo, diâmetro do colmo, número de folhas e número de perfilho), biomassa fresca das raízes, biomassa fresca das folhas, biomassa fresca do colmo, biomassa fresca total, biomassa seca das folhas, biomassa seca do colmo, biomassa seca total, número de galhas e de ovos do nematoide nas raízes, número de glomerosporos de FMA no solo e percentagem de colonização de FMA nas raízes, a atividade das enzimas catalase, ascorbato peroxidase, polifenoloxidase, peroxidase e de proteínas solúveis totais, e do aminoácido prolina na planta e teores de fósforo (P) nas folhas e colmos.

Para a avaliação do crescimento morfológico, as mensurações foram obtidas com auxílio de trena e paquímetro. Para a avaliação da matéria seca, as amostras coletadas foram armazenadas em sacos de papel, previamente identificadas e posteriormente, pesadas e encaminhadas para a secagem em estufa com circulação de ar forçada a 65°C por um período de 72 horas ou até obter peso constante, e pesadas novamente. As amostras secas foram moídas e condicionadas em sacos de polietileno para realização das análises de P utilizou o método de Miyazawa et al. (1984), e de N seguiu a metodologia descrita pela Association of Official Analytical Chemists – AOAC (1990), no Laboratório de Química Vegetal da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Para facilitar a remoção do sistema radicular, os vasos foram colocados em tanque com água, por alguns minutos e, cuidadosamente, as plantas foram removidas, de modo a minimizar as perdas de massa de ovos. Foram realizadas três lavagens de cada sistema radicular em baldes de água limpa, e em seguida, determinado o peso da matéria fresca dos sistemas radiculares. Com ajuda de uma lupa foi realizado a contagem das galhas e determinado o índice de galhas. Em seguida, as raízes foram cortadas em segmentos de 1 cm e agitadas durante três minutos em solução de hipoclorito de sódio 0,5% para extração dos ovos, procedendo-se à contagem das amostras em lâmina de Peters sob microscópio (HUSSEY; BARKER, 1973).

O número de glomeosporos foram extraídos de alíquotas de 50 g de solo de cada amostra, utilizando a técnica de peneiramento úmido (GERDEMANN; NICOLSON, 1963), seguida de centrifugação em água e solução de sacarose (JENKINS, 1964) a 50% (p/v). A colonização micorrízica foi estimada em 100 fragmentos de 1 cm (GIOVANNETTI; MOSSE,

1980), após diafanização das raízes em KOH 10% e H₂O₂ 10% e coloração com azul de Trypan 0,05% (PHILLIPS; HAYMAN, 1970), na montagem das lâminas e observação em microscópio ópticos.

Para as análises bioquímicas, realizadas no Laboratório de Cultura do Tecido da Universidade Federal Rural de Pernambuco, a 3ª folha de cada planta foi retirada, submersa em nitrogênio líquido e armazenada em freezer. O extrato das amostras foi preparado a partir da homogeneização de 0,1 g de matéria fresca em 4 mL do tampão fosfato de sódio 0,1 M (pH 6.5) adicionado de 0,05 g de polivinilpirrolidona (PVP). O homogenato foi centrifugado a 10.000 × g a 4°C por 10 minutos (ZERAİK et al., 2008) e realizada a análise das proteínas solúveis totais (BRADFORD, 1976), e das enzimas catalase (BERRS; SIZER, 1952), ascorbato peroxidase (NAKANO; ASADA, 1981), polifenoloxidase (KAR; MISHRA, 1976) e peroxidase (FATIBELHO-FILHO; VIEIRA, 2002). Para análise do aminoácido prolina foi preparado o extrato obtido de 0,1 g de matéria fresca em 5 mL de ácido sulfosalicílico a 3%. O homogenato foi centrifugado por 10 minutos a 2.000 rpm e filtrado em papel de filtro nº 2, em seguida utilizou metodologia de Bates et al, 1973.

Os dados foram submetidos à análise de variância e quando significativos foram submetidos ao teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SAS.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação entre estresse hídrico, *M. incognita* e FMA para as variáveis relacionadas ao crescimento vegetativo da cana-de-açúcar (Tabela 3).

O estresse hídrico por 45 dias diminuiu significativamente ($P < 0,05$) o diâmetro do colmo, as biomassas frescas da folha, da raiz e total e a biomassa seca da folha (Tabela 4) independente do nematoide e do FMA. Os resultados corroboram Santos (2012) que verificou que o diâmetro do colmo submetido a 40% CP apresentou redução de 35%, em relação ao suprimento hídrico normal (100% CP). O autor também verificou redução na matéria seca da parte aérea e na matéria seca total em relação ao suprimento hídrico aplicado (40% CP), parasitados ou não com *M. incognita*.

Tabela 3 - Resumo da análise de variância do comprimento do colmo (ALT), diâmetro do colmo (DIAM), número de folhas (NF), número de perfilho (NP), biomassa fresca das folhas (BFF), biomassa fresca do colmo (BFC), biomassa fresca total (BFT), matéria seca das folhas (MSF), matéria seca do colmo (MSC), matéria seca total (MST), biomassa fresca das raízes (BFR), número de galhas nas raízes (NG), número de ovos do nematoide (NOvos), numero de glomeosporos no solo (FMAS) e percentagem de colonização radicular por FMA nas raízes (FMAR) da cana-de-açúcar variedade RB863129, na interação estresse hídrico (E) (50% CP) × *Meloidogyne incognita* (N) (12.000 ovos mL⁻¹ planta⁻¹) × FMA (200 esporos planta⁻¹), 45 dias após a inoculação do nematoide, em casa de vegetação

Fonte de		Quadrados médios														
variação	GL	ALT	DIAM	NF	NP	BFF	BFC	BFT	MSF	MSC	MST	BFR	NG	NOvos	FMAS	FMAR
E	1	2950,97 ^{ns}	0,18*	0,032 ^{ns}	0,11 ^{ns}	6,7*	8902,6 ^{ns}	9397,4*	0,09*	1,06 ^{ns}	0,58 ^{ns}	3640,7*	0,25 ^{ns}	0,077 ^{ns}	1,82*	0,85*
N	1	81,67*	0,001 ^{ns}	2,77 ^{ns}	0,33 ^{ns}	107,2 ^{ns}	448,5 ^{ns}	117,2*	0,02*	0,00002*	0,005*	259,4 ^{ns}	18,08*	199,14*	5,57 ^{ns}	1,92 ^{ns}
FMA	1	5,53 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,84 ^{ns}	0,22 ^{ns}	839,9 ^{ns}	1392,8*	4395,7 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,11 ^{ns}	1651,6*	0,15*	0,083*	243,99*	10,61*
E×N	1	135,83 ^{ns}	0,077 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,2 ^{ns}	2,3 ^{ns}	3,7 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,02 ^{ns}	276,1 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,077 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,45 ^{ns}
E×FMA	1	11,47 ^{ns}	0,016 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,026 ^{ns}	129,4 ^{ns}	747,8 ^{ns}	1499,2 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,00001 ^{ns}	0,0001 ^{ns}	268,4 ^{ns}	0,000001 ^{ns}	0,005 ^{ns}	1,82*	0,85*
N×FMA	1	134,59 ^{ns}	0,018 ^{ns}	2,95 ^{ns}	0,14 ^{ns}	103,0 ^{ns}	371,2 ^{ns}	865,3 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,001 ^{ns}	283,6 ^{ns}	0,15*	0,083*	5,57 ^{ns}	1,92 ^{ns}
E×N×FMA	1	104,49 ^{ns}	0,049 ^{ns}	0,31 ^{ns}	1,11 ^{ns}	117,6 ^{ns}	8,4 ^{ns}	188,7 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,0003 ^{ns}	0,003 ^{ns}	13,8 ^{ns}	0,000002 ^{ns}	0,0046 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,45 ^{ns}
Resíduo	41	89,25	0,033	1,19	0,33	114,0	435,8	844,1	0,01	0,07	0,03	92,3	0,016	0,012	0,88	0,29
CV (%)	-	21,45	13,45	17,85	31,85	17,61	23,69	19,53	9,52	21,13	12,25	22,83	20,85	5,48	41,53	45,38

* significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns - não significativo pelo teste F

Tabela 4 – Efeito do estresse hídrico (50% CP por 45 dias) no diâmetro do colmo (DIAM), biomassa fresca das folhas (BFF), biomassa fresca da raiz (BFR), biomassa fresca total (BFT) e matéria seca das folhas (MSF) em cana-de-açúcar variedade RB 863129, em casa de vegetação, Recife – PE, 2011

Estresse hídrico	DIAM (mm)	BFF (g)	BFR (g)	BFT (g)	MSF (g)
Com (50% CP)	1,11b	56,46b	36,28b	139,21b	11,65b
Sem (100% CP)	1,39a	64,83a	47,88a	158,35a	14,74a
DMS	0,24	6,23	5,61	16,96	2,19

As letras diferentes na coluna apresentam médias diferentes significativamente pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.
COM – refere-se a 50% da capacidade do pote; SEM – refere-se a 100% da capacidade do pote.

O nematoide diminuiu significativamente ($P \leq 0,05$) a altura da planta, biomassa fresca total e as matérias secas do colmo, folhas, e total (Tabela 5) independente do estresse hídrico aplicado (50% CP) e do FMA, corroborando Guimarães et al. (2010) em cana-de-açúcar inoculada com *M. incognita*. Cofcewicz et al. (2001) afirmam que a diminuição do desenvolvimento da parte aérea das plantas geralmente está relacionada com a interrupção de água e translocação nutrientes pelas células gigantes promovido pelo nematoide.

Tabela 5 – Efeito de *Meloidogyne incognita* (12.000 ovos mL⁻¹ planta⁻¹) no comprimento do colmo (ALT), biomassa fresca total (BFT), matéria seca do colmo (MSC), matéria seca das folhas (MSF) e matéria seca total (MST) da cana-de-açúcar variedade RB 863129 em casa de vegetação, Recife – PE, 2011

<i>M. incognita</i>	ALT (cm)	BFT (g)	MSC (g)	MSF (g)	MST (g)
Com	36,33b	134,37b	15,51b	11,69b	27,20b
Sem	47,99a	162,77a	31,19a	14,69a	45,89a
DMS	8,23	16,96	8,46	2,19	9,05

As letras diferentes na coluna apresentam médias diferentes significativamente pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.
COM – refere-se à presença de nematoides; SEM – refere-se à ausência de nematoide.

Resultados semelhantes de Barbosa et al. (2009), em cana-de-açúcar variedade SP 911049, inoculadas com *M. javanica* e *M. incognita*, que observaram que a estatura da planta até a folha não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos relativos aos nematoides e entre esses e a testemunha, corroborando Santos (2012) ao avaliar três variedades de cana-de-açúcar sob estresse hídrico inoculadas ao *M. incognita*. Segundo Santos (2012), esses resultados podem estar associados a condições ambientais desfavoráveis e ao período de exposição do hospedeiro ao nematoide (45 dias), que pode não ter sido suficiente para a completa multiplicação desse parasito. Por outro lado, segundo Barros et al. (2005) e Dias-Arieira et al. (2010), o comportamento de diferentes variedades de cana-de-

açúcar é variável no campo e nem sempre os maiores números de nematoides refletem em redução nos parâmetros vegetativos da planta. Contudo, 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, corroborando com os resultados desta pesquisa em questão.

Os FMA aumentaram significativamente ($P \leq 0,05$) a biomassa fresca do colmo em 35% (de 101,76 para 74,52 g) e da raiz em 31% (de 47,88 para 36,28 g), resultados inferiores ao de Russomanno et al. (2008) em manjerição, onde a biomassa fresca da raiz obteve aumento de 93,10 % quando inoculada com FMA, quando comparado ao controle. Em maracujazeiro, Silva et al. (2001) relataram que *G. albida* proporcionou incrementos de 2138% na biomassa fresca da parte aérea, 1430% na biomassa seca da parte aérea, 1937% na biomassa fresca da raiz e 2671% na área foliar. Resultados contrários ao de Silva et al. (2009) que observaram que mudas de maracujazeiro amarelo não apresentaram diferença significativa no diâmetro quando inoculados com *G. albida* e *S. heterogama*.

De acordo com Glowa et al. (2003) e Sawyer et al. (2003), as hifas micorrízicas aumentam a área de absorção radicular, permitindo melhor aproveitamento de água e nutrientes, proporcionando, assim, um crescimento mais rápido das plantas. Isso confere, também, maior resistência a estresse hídrico e a patógenos do sistema radicular. Portanto, contribuem no estabelecimento e no crescimento das plantas, mesmo em solos pobres em nutrientes ou degradados (FARIAS et al., 2008).

Houve interação entre estresse hídrico (50% CP por 45 dias) e FMA em relação ao número de glomeosporos no solo e a percentagem de colonização das raízes (Tabela 3), de forma que o estresse hídrico de 45 dias após a inoculação da mistura de FMA aumentou significativamente o número de glomeosporos no solo e a colonização na raiz (Tabela 6). Esses resultados corroboram Amorim et al. (2004) em aroeira e umbu, como também Santos et al. (2008), que observaram, para colonização micorrízica, diferenças significativas entre os manejos de água para a cultura do arroz. Os autores afirmam que os FMA autóctones mostram-se sensíveis aos manejos de água.

Tabela 6 – Efeito da interação entre estresse hídrico (50% CP por 45 dias) e fungos micorrízicos arbusculares (FMA – 200 esporos planta⁻¹) na percentagem de colonização de FMA na raiz (FMAR) e no número de glomeosporos no solo (FMAS) em cana-de-açúcar variedade RB 863129, em casa de vegetação, Recife – PE, 2011

Estresse hídrico	FMAR (%)		DMS	FMAS (10g solo ⁻¹)		DMS
	FMA			FMA		
	Com	Sem		Com	Sem	
Com (50% CP)	4,50 aA	0,00 bB	1,89	2,27 aA	0,00 bB	0,19
Sem (100% CP)	1,42 bB	0,00 bB		1,91 bA	0,00 bB	
DMS	1,89			0,19		

Letras diferentes apresentam médias diferentes significativamente para cada variável pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade, sendo que letras minúsculas referem-se à linha e letras maiúsculas refere-se à coluna.
CP = capacidade do pote, segundo Souza et al. (2000).

Costa et al. (2001) declaram que apesar não existir especificidade entre FMA e hospedeiro, pode ocorrer maior compatibilidade entre certas espécies, sendo tais diferenças atribuídas ao genótipo dos parceiros. De acordo com Sawyer et al. (2003), há diferentes respostas, variando em compatibilidade e eficiência além da afinidade colonizador-hospedeiro, devendo ser levado em conta o meio ambiente como agente selecionador da espécie de FMA.

Bonfim et al. (2010) afirmam que a restrição de disponibilidade hídrica na estação seca induz os FMA associados à planta, a manifestação de mecanismos de adaptação, como a elevação da esporulação. Segundo Cavalcante et al. (2001), a contribuição dos FMA é otimizada em condições de cultivo sujeitas à deficiência hídrica atribuindo-se o papel preponderante da relação fungo-planta para manutenção do crescimento vegetal sob estresse hídrico. Além do mais, plantas micorrizadas aumentam sua resistência a estresse hídrico, pelo favorecimento da relação água-planta promovido pelo fungo micorrízico, incluindo aumentos na elasticidade das folhas, na taxa de transpiração e na de abertura de estômatos, melhoria do estado nutricional e aumento das raízes, em comprimento e profundidade (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Segundo Cofcewicz et al. (2001), a produção de esporos de fungos micorrízicos arbusculares é influenciada pela variação do meio, tipo de hospedeiro e, também pela espécie de fungos a ser inoculado. Entretanto, o aumento do vigor da cultura proporcionado pelo FMA, também ajuda a planta a suportar o parasitismo do nematoide (ANJOS et al., 2010).

Os FMA interagiram com *M. incognita* em relação ao número de galhas e número de ovos do nematoide (Tabela 3). Os FMA diminuíram o número de galhas nas raízes em 48,99%, como também o número de ovos em 68,39% na cana-de-açúcar (Tabela 7). Anjos et

al. (2010), ao avaliarem maracujá-doce, relataram interação entre *S. heterogama* × *M. incognita*, com redução de 72% no número de galhas e 87,7% no número de ovos, concluindo que o desenvolvimento reprodutivo de fungos e nematoides foi positivamente correlacionado com a produção de galhas e número de ovos nas raízes de maracujá-doce. Resultados semelhantes ao de Cofcewicz et al. (2001), que observaram que o benefício nutricional promovido por *G. etunicatum* em tomateiro contribuiu para o aumento da resistência a *M. javanica*. Esses resultados são contrários aos de Siqueira et al. (2003) que, trabalhando com a interação *G. etunicatum* e *M. incognita* em caupi e feijoeiro comum, não obtiveram diferença significativa no número de nematoides e de esporos de micorrizas.

Tabela 7 - Efeito da interação fungos micorrízicos arbusculares (FMA - 200 esporos planta⁻¹) e *Meloidogyne incognita* (12.000 ovos mL⁻¹ planta⁻¹) no número de galhas nas raízes (NG) e número de ovos do nematoide (NOvos) em cana-de-açúcar variedade RB 863129, em casa de vegetação, Recife – PE, 2011

FMA	NG		DMS	NOvos		DMS
	<i>M. incognita</i>			<i>M. incognita</i>		
	Com	Sem		Com	Sem	
Com	12,33 aB	0,00 bB		10537,50 aB	0,00 bB	
Sem	25,17 aA	0,00 bB	5,18	15408,33 aA	0,00 bB	2803,63
DMS	5,18			2803,63		

Letras diferentes apresentam médias diferentes significativamente para cada variável pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade, sendo que letras minúsculas referem-se à linha e letras maiúsculas refere-se à coluna.

Segundo Barbosa (2008), existe uma relação inversamente proporcional entre o número de ovos e juvenis de *M. incognita* e a massa de matéria fresca da parte aérea das plantas. Ademais, Teixeira et al. (2010) relatam que os FMA e os nematoides parasitas de plantas podem estar simultaneamente associados às raízes, motivo pelo qual deve ser considerado o efeito combinado dos dois grupos de organismos sobre o desenvolvimento da planta. Os autores afirmam, também que as interações entre planta, nematoide, FMA e demais organismos da rizosfera, bem como os mecanismos envolvidos nesses processos, apresentam elevada complexidade, daí a necessidade de estudos integrados. Segundo Forge et al. (2001), as combinações FMA × nematoide × hospedeiro favorecem a supressão da reprodução do patógeno e o aumento da tolerância da planta aos efeitos do nematoide. Cardozo e Araújo (2011) afirmam que o controle biológico da meloidoginose em cana-de-açúcar é uma alternativa promissora para compor programas de controle integrado do parasito no solo.

Os fungos micorrízicos arbusculares caracterizam-se por formar associação com as raízes de plantas. Esta associação mutualística, onde existe uma dependência dos participantes, é caracterizada pelo movimento bidirecional dos nutrientes, com fluxo de carbono para o fungo e nutrientes inorgânicos à planta. Essa associação micorrízica envolve a integração do micélio fúngico e das raízes das plantas, formando uma unidade morfológica integrada, favorecendo assim o desenvolvimento e nutrição das plantas (SMITH; READ, 2008).

Não correram interações entre estresse hídrico, *M. incognita* e FMA para nenhuma das enzimas, proteínas solúveis totais, prolina e teores de fósforo das folhas e do colmo da cana-de-açúcar, exceto entre estresse hídrico e FMA para os teores de fósforo do colmo (Tabela 8). O estresse hídrico (50% CP por 45 dias) isoladamente diminuiu as atividades das enzimas ascorbato peroxidase e os teores de fósforo das folhas (dados não apresentados).

Tabela 8 – Resumo da análise de variância das enzimas catalase (CAT), peroxidase (POD), ascorbato peroxidase (APX), polifenoloxidase (PPO), proteína solúvel (PS), do aminoácido prolina (PRO) e dos teores de fósforo das folhas (PF) e do colmo (PC) da cana-de-açúcar variedade RB 863129, na interação estresse hídrico (E) (50% CP) × *Meloidogyne incognita* (N) (12.000 ovos mL⁻¹ planta⁻¹) × FMA (200 esporos planta⁻¹), 45 dias após a inoculação do nematoide, em casa de vegetação

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios							
		CAT	POD	APX	PPO	PS	PRO	PF	PC
E	1	0,12 ^{ns}	3,56 ^{ns}	9397,4 [*]	0,09 ^{ns}	1,06 ^{ns}	0,58 ^{ns}	3640,7 [*]	20,15 ^{ns}
N	1	0,11 ^{ns}	0,31 ^{ns}	117,2 [*]	0,02 [*]	0,00002 [*]	0,005 ^{ns}	259,4 ^{ns}	0,24 ^{ns}
FMA	1	0,24 ^{ns}	0,01 ^{ns}	4395,7 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,11 ^{ns}	1651,6 ^{ns}	10,16 ^{ns}
E×N	1	0,07 ^{ns}	0,01 ^{ns}	3,7 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,02 ^{ns}	276,1 ^{ns}	98,75 ^{ns}
E×FMA	1	0,02 ^{ns}	747,8 ^{ns}	1499,2 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,00001 ^{ns}	0,0001 ^{ns}	268,4 ^{ns}	31,38 [*]
N×FMA	1	0,29 ^{ns}	371,2 ^{ns}	865,3 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,001 ^{ns}	283,6 ^{ns}	144,5 ^{ns}
E×N×FMA	1	0,06 ^{ns}	8,4 ^{ns}	188,7 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,0003 ^{ns}	0,003 ^{ns}	13,8 ^{ns}	0,13 ^{ns}
Resíduo	41	0,04	435,8	844,1	0,01	0,07	0,03	92,3	10,02
CV (%)	-	13,85	23,69	19,53	9,52	21,13	12,25	22,83	22,98

* significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns - não significativo pelo teste F

Esses resultados discordam de outros estudos, a exemplo de Blilou et al. (2000), que observaram efeito significativo das atividades de catalase e ascorbato peroxidase em tabaco aos três e cinco dias após a inoculação com *Glomus mosseae*. Contudo, os autores afirmam que é possível que a indução de atividades de catalase e ascorbato peroxidase nas raízes micorrizadas seja resultado de um estresse oxidativo causado pela colonização dos FMA.

Santos et al. (2010) constataram que apesar da enzima peroxidase apresentar variações quando o feijoeiro caupi foi submetido a estresse hídrico, não obteve diferença significativa, corroborando com os resultados obtidos nesta pesquisa. Segundo Camargo et al. (2000) e Piza et al. (2003), a atividade da enzima peroxidase varia com o tipo de tecido e estágio de desenvolvimento da planta, sendo sua atividade inversamente proporcional ao crescimento do indivíduo.

Guimarães et al. (2010) também observaram efeito significativo na atividade da enzima peroxidase em plantas de cana-de-açúcar tratadas com metil jasmonato e inoculadas com *M. incognita*. Missiura (2005) relata que enzimas oxidativas, como a peroxidase, podem ser indicadoras do estresse sofrido pela planta em função da infecção de patógenos ou estresse ambientais, apesar das enzimas oxidativas, principalmente a peroxidase, serem consideradas pela literatura enzimas marcadoras de estresses (FERNÁNDES-GARCIA et al., 2004; KOHATSU, 2010; PEREIRA, 2010).

Moratolli et al. (2007), avaliando a *T. avellanadae* sob estresse hídrico, observaram que a baixa disponibilidade hídrica, independentemente do FMA inoculado (*G. clarum* e *C. etunicatum*), mostrou aumento significativo na quantidade do aminoácido prolina em relação às plantas não-estressadas, resultados contrários ao da pesquisa em questão. Segundo Augé (2001) e Diallo et al. (2001), a maior concentração de prolina leva a diminuição do potencial osmótico da folha. O aminoácido prolina pode ser considerado um osmorregulador bioquímico de estresse hídrico para os genótipos de ciclo intermediário, diferenciando-os dos genótipos de ciclo tardio (SANTOS et al., 2010).

Estudando mutantes de tomates inoculados com FMA, Santo (2011) observou baixíssimas alterações na atividade da enzima catalase, quando comparado ao controle. Segundo Santos (2012), tanto o estresse hídrico como o parasitismo de nematoides de galhas podem influenciar negativamente na fisiologia da cultura da cana-de-açúcar. Viana et al. (2012), estudando a linhagem de milho (L13.1.2) selecionada para tolerância à seca, concluiu que a indução dos mecanismos de defesa antioxidantes, provavelmente se estabeleceria a partir de um nível de estresse hídrico mais drástico, correspondendo a 50% da água total disponível no solo, induzindo, assim, um aumento significativo na atividade enzimática.

Alguns trabalhos (SRIVALLI et al., 2003; VASCONCELOS et al., 2009; CARNEIRO et al., 2011; VIANA et al., 2012) com arroz, soja e milho, girassol e milho sob diferentes níveis de estresse hídrico mostraram que as enzimas oxidativas, principalmente ascorbato

peroxidase, não apresentaram diferenças significativas em plantas sob aplicação dos estresses hídricos.

Por outro lado, Jesus (2011) constatou que as enzimas oxidativas, como ascorbato peroxidase apresentam atividade enzimática alterada com o aumento do estresse biótico. Além disso, a atividade enzimática pode ser reduzida ou ser estimulada com estresse ambiental (JESUS, 2011; TSIMPHO, 2011).

No presente estudo, a presença de *M. incognita*, sem considerar o FMA, contribuiu para a redução significativa ($P \leq 0,05$) da enzima ascorbato peroxidase, mas aumentou ($P \leq 0,05$) as atividades de polifenoloxidase e de proteína solúvel (Tabela 9). Resultados semelhantes foram encontrados também por Souza et al. (2005) em plantas de trigo infectadas pelo vírus SBW MV. Segundo Lima (2007), há uma sincronia entre os sistemas antioxidantes enzimáticos de ascorbato peroxidase, envolvendo mecanismos moleculares e bioquímicos na regulação e desintoxicação das espécies ativas de oxigênio, produzidas nas células vegetais durante situações de estresse ambiental.

Tabela 9 - Efeito de *Meloidogyne incognita* (12.000 ovos mL⁻¹ planta⁻¹) nos valores médios das enzimas ascorbato peroxidase (APX) e polifenoloxidase (PPO) e de proteína solúvel (PS) em cana-de-açúcar variedade RB 863129 em casa de vegetação durante 45 dias, Recife – PE, 2011

<i>M. incognita</i>	APX (mmol H ₂ O ₂ gMF ⁻¹ min ⁻¹)	PPO (mmol Pirogalol gMF ⁻¹ min ⁻¹)	PS (mg PS gMF ⁻¹)
Com	36,99b	78,80a	11,19a
Sem	44,09a	68,80b	6,25b
DMS	5,32	8,51	2,13

As letras diferentes apresentam médias diferentes significativamente pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. COM – refere-se à presença de nematoides; SEM – refere-se à ausência de nematoides.

Alguns estudos bioquímicos, envolvendo proteínas solúveis e enzimas oxidativas têm demonstrado uma grande importância no manejo de culturas submetidas a estresses bióticos e abióticos. Segundo Sbalcheiro (2006), a interação planta-patógeno envolve mecanismos bioquímicos de defesa da planta contra o patógeno, os quais são regidos por genes específicos. Afirma, também, que a enzima PPO apresenta como um mecanismo de defesa da planta contra fitopatógenos, envolvendo atividades enzimáticas chave ligadas à síntese de lignina e fitoalexina como a PPO, POD e compostos fenólicos. As enzimas PPO e POD aumentam a atividade nas plantas em resposta ao estresse sendo, assim, fundamental na proteção da célula.

Tabela 10 - Efeito da interação entre estresse hídrico (50% CP por 45 dias) e fungos micorrízicos arbusculares (FMA – 200 esporos planta⁻¹) nos teores de fósforo no colmo (PC) da cana-de-açúcar variedade RB 863129, em casa de vegetação, Recife – PE, 2011

Estresse Hídrico	PC (g kgMS ⁻¹)		DMS
	FMA		
	Com	Sem	
Com (50% CP)	12,57bB	13,39bB	
Sem (100% CP)	16,13aA	13,00bB	2,97
DMS	2,97		

Letras diferentes apresentam médias diferentes significativamente para cada variável pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade, sendo que letras minúsculas referem-se à linha e letras maiúsculas refere-se à coluna.

Os FMA aumentaram ($P \leq 0,05$) o teor de P no colmo da cana-de-açúcar apenas na ausência do estresse hídrico (Tabela 10), sem considerar *M. incognita*. Os mecanismos envolvidos na maior absorção de P pela planta micorrizada ainda não estão totalmente esclarecidos, atribuindo-se em parte ao aumento da área de absorção promovido pela hifa e/ou maior expressão e afinidade dos transportadores de P da hifa fúngica (RAUSCH et al., 2001; PASZKOWSKI et al., 2002; NAGY et al., 2005; ALMEIDA, 2007).

CONCLUSÕES

Tanto o estresse hídrico (50% CP por 45 dias) como o parasitismo de *M. incognita* diminuem o crescimento vegetativo e a produção de biomassa fresca e seca dada cana-de-açúcar variedade RB 863129. Ao contrário, a mistura de FMA (*C. etunicatum*, *G. rosea*, *A. longula* e *F. heterogama*) induzem aumentos na biomassa fresca do colmo e raiz.

O estresse hídrico favorece a colonização de FMA aumentando a produção de propágulos no solo e na raiz. Por outro lado, plantas micorrizadas diminuem o número de galhas e o número de ovos de *M. incognita* nas raízes.

Tanto o estresse hídrico como o parasitismo de *M. incognita* diminuem as concentrações de ascorbato peroxidase na cana-de-açúcar, entretanto a infecção promovida pelo nematoide aumenta as concentrações de polifenoloxidase e de proteína solúvel na planta.

O estresse hídrico reduz os teores de P das folhas da cana-de-açúcar enquanto os FMA aumentam os teores de P no colmo, contudo o aumento de P promovido pelos FMA não ocorre sob estresse hídrico.

As enzimas catalase e peroxidase e o aminoácido prolina não são afetados pelo estresse hídrico (50% CP), parasitismo do *M. incognita* e/ou associação micorrízica durante 45 dias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIRA, R. S. **Perfil fisiológico e da expressão de transportadores de fosfato de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) durante a simbiose com micorrizas arbusculares.** 2007. 187p. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

AMORIM, S. M. C.; PAIM, A. C. B.; SILVA, M. G. Efeito do déficit hídrico sobre a colonização endomicorrízica em duas espécies fungos micorrízicos arbusculares em cafeeiros vegetais típicas da região semiárida do nordeste. **Revista de Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento**, v.33, p.23-26, 2004.

ANJOS, E. C. T. dos et al. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungus (*Scutellospora heterogama*) and the root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) on sweet passion fruit (*Passiflora alata*). **Brazilian Archives of Biology Technology**, v. 53 n. 4, p. 801-809, 2010.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. Official Methods of Analysis. In: EUA. 15 ed., Washington: D. C., 1990, 1117p.

AUGÉ, R. M. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Mycorrhiza**, v. 11, p. 3-42, 2001.

BARBOSA, B. F. F. **Estudo das inter-relações patógeno hospedeiro de *Meloidogyne incognita* (Kofoid & Write) Chitwood, *M. javanica* (Treub) Chitwood e *Pratylenchus brachyurus* (Godfrey) Filipjev & Schuurmans Stekhoven em cana-de-açúcar.** 2008. 46p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

BARBOSA, B. F. F. et al. Avaliação comparativa da agressividade de *Meloidogyne javanica* e *M. incognita* à variedade SP911049 de cana-de-açúcar. **Nematologia Brasileira**, v. 33, n. 3, p. 243-247, 2009.

BARROS, A. C. B.; MOURA, R. M.; PEDROSA, E. M. R. Estudo de interação variedade-nematicida em cana-de-açúcar em solo naturalmente infestado por *Meloidogyne incognita*, *M. javanica* e *Pratylenchus zeae*. **Nematologia Brasileira**, v. 29, n. 1, p. 39-46, 2005.

BATES, L. S.; WALTREN, R. B.; TEARE, I. D. Rapid determination of free praline for water – stress studies. **Plant and Soil**, v.39, p.205-207, 1973.

BERRS, L. S. J.; SIZER, I. W. An spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase. **Journal of Biological Chemistry**, v. 195, p. 133-140, 1952.

BLILOU, I.; OCAMPO, J.; GARCIA-GARRIDO, J. Induction of catalase and ascorbate peroxidase activities in tobacco roots inoculated with arbuscular mycorrhizal *Glomus mosseae*. **Mycological Research**, v.104, p. 722-725, 2000.

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

BONFIM, J. A. et al. Fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e aspectos fisiológicos em cafeeiros cultivados em sistema agroflorestal e a pleno sol. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 201-206, 2010.

BRANDÃO, J. A. C. et al. Interação entre fungos micorrízicos arbusculares e *Pratylenchus coffeae* na produção de mudas de graviola (*Annona muricata*). **Nematologia Brasileira**, v. 28, n. 1, p. 27-33, 2004.

BRANDFORD, M. **Analytical Biochemistry**. 72, p. 248-254, 1976

CAMARGO, M. L. P. de et al. Atividade enzimática de plântulas de *Eucalyptus grandis* provenientes de sementes envelhecidas artificialmente e naturalmente. **Ciência Florestal**, v. 10, n. 2; p. 113-122, 2000.

CARDOZO, R. B.; ARAÚJO, F. F. de. Multiplicação de *Bacillus subtilis* em vinhaça e viabilidade no controle da meloidoginose, em cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 12, p. 1283–1288, 2011.

CARNEIRO, M. M. L. C. et al. Atividade antioxidante e viabilidade em sementes de girassol após estresse hídrico e salino. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 4, p. 754-763, 2011.

CAVALCANTE, U. M. T. et al. dos. Influência da densidade d e fungos micorrízicos arbusculares na produção de mudas de maracujazeiro-amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 5, p. 643-649, 2002.

CAVALCANTE, U. M. T. et al. Respostas fisiológicas em mudas de maracujazeiro amarelo inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares e submetidas ao estresse hídrico. **Acta Botânica Brasileira**, v. 15, p. 379-390, 2001.

COFCEWICZ, E. T. et al. Interação de fungos micorrízicos arbusculares *Glomus etunicatum* e *Gigaspora margarita* e o nematoide das galhas *Meloidogyne javanica* em tomateiro. **Fitopatologia Brasileira**, v. 26, n. 1, p. 65-70, 2001.

COSTA, C. M. C. et al. Influência de fungos micorrízicos arbusculares sobre o crescimento de dois genótipos de aceroleira (*Malpighia emarginata* D. C.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 6, p. 893-901, 2001.

DIALLO, A. T.; SAMB, P. I.; ROY-MACAULEY, H. Water status and stomatal behaviour of cowpea, *Vigna unguiculata* (L.) Walp, plants inoculated with two *Glomus* species at low soil moisture levels. **European Journal of Soil Biology**, v. 37, p. 187-196, 2001.

DIAS-ARIEIRA, C. R. et al. Reação de variedades de cana-de-açúcar aos nematoides-das-galhas. **Nematologia Brasileira**, v. 34, n. 4, p. 198-203, 2010.

EMBRAPA SOLOS. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999, 412p.

ENTRY, J. A. et al. Influence of adverse soil conditions on the formation and function of arbuscular mycorrhizas. **Advances in Environmental Research**, v. 7, p. 123-138, 2002.

EVANS, J. R.; EDWARDS, E. Nutrient uptake and use in plant growth. In: NET ECOSYSTEM EXCHANGE CRC WORKSHOP, 2001, Canberra. **Proceedings**. Canberra: Cooperative Research Centre for Greenhouse Accounting, 2001. p. 75-81.

FARIAS, S. G. G. de et al. Resposta de plantas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) inoculadas com fungos micorrízicos e submetidas ao estresse hídrico. **Engenharia Ambiental**, v. 5, n. 3, p. 36-46, 2008.

FATIBELHO-FILHO, O.; VIEIRA, I. C. Uso analítico de tecidos e de extratos brutos vegetais como fonte enzimática. **Química Nova**, v.25, n.3, p.455-464, 2002.

FERNÁNDEZ-GARCÍA, N.; CARVAJAL, M.; OLMOS, E. Graft union formation in tomato plants: peroxidase e catalase involvement. **Annals of Botany**, v. 93, p. 53-60, 2004.

FORGE, T. et al. Effect of preplant inoculation of apple (*Malus domestica* Borkh) with arbuscular mycorrhizal fungi on population growth of the root-lesion nematode, *Pratylenchus penetrans*. **Plant and Soil**, v. 236, p. 185-196, 2001.

GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of micorrhizal *Endogone species* extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactions of the British Mycological Society**. v.46, p. 235-244, 1963.

GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**, v. 84, p. 489-500, 1980.

GLOWA, K. R.; AROCENA, J. M.; MASSICOTTE, H. B. Extraction of potassium and/or magnesium from selected soil minerals by pitoderma. **Geomicrobiology Journal**, v. 20, p. 99-111, 2003.

GUIMARÃES, L. M. P. et al. Eficiência e atividade enzimática elicitada por metil jasmonato e silicato de potássio em cana-de-açúcar parasitada por *Meloidogyne incognita*. **Summa Phytopathology**, v. 36, n. 1, p. 11-15, 2010.

HURST, S. E.; TURNBULL, M. H.; NORTON, D. A. The effect of plant light environment on mycorrhizal colonization in field-grown seedlings of podocarp-angiosperm forest tree species. **New Zealand Journal of Botany**, v. 40, p. 65-72, 2002.

HUSSEY, R. S.; BARKER, K. R. A comparison of methods of collecting inocula for *Meloidogyne* spp., including a new technique. **Plant Disease Reporter**, v.57, n.12, p. 1025-1028, 1973.

JENKINS, W. R. A. Rapid centrifugal flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, v. 48, p. 692, 1964.

JESUS, C. G. de. **Estresse salino em rúcula (*Eruca saliva* Mill) hidropônica: aspectos fisiológicos, bioquímicos e nutricionais**. 2011. 66p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2011.

KAR, M.; MISHRA, D. Catalase, peroxidase and poliphenoxidase activities during rice leaf senescence. **Plant Physiology**, v. 57, p. 315 – 319, 1976.

KOHATSU, D. S. **Aspectos fisiológicos e bioquímicos da enxertia em plantas de pepino**. 2010. 68p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2010.

KRZYZANOWSKI, A. A. **Controle biológico de nematoides de galha do cafeeiro com fungos nematófagos**. 2006. 60 p. Tese (Doutorado) Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jabotical, 2006.

KRZYZANOWSKI, A. A. et al. Potencial de controle biológico de *Meloidogyne paranaensis* utilizando fungos nematófagos e fungos micorrízicos em planta de café. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 7. **Anais...** Araxá: MG, CD-ROM, 2011.

LARANJEIRA, D. **Utilização de micorrizas no manejo de doenças e plantas.** In: MICHEREFF, S. J.; BARROS, R. Proteção de plantas na agricultura sustentável, 2001 (Ed.) capítulo 4, 2001, p. 101-121.

LIMA, J. P. M. S. **Sincronia entre catalases e peroxidases de ascorbato na proteção contra danos oxidativos em folhas de feijão caupi expostas ao estresse hídrico e salino.** 136p. Tese (Doutorado em Bioquímica). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

MAIA, L. C.; SILVEIRA, N. S. S.; CAVALCANTE, U. M. T. **Interação entre fungos micorrízicos arbusculares e patógenos radiculares.** In: MICHEREFF, S. J.; ANDRADE, D. E. G. T.; MENEZES, M. (Eds.) Patógenos radiculares em solos tropicais. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2001.

MISSIURA, F. B. **Alterações metabólicas promovidas pelo *Papaya Ringspot virus – type W* em plantas de melancia.** 2005. 69p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2005.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; BLOCH, M. F. M. Avaliação de métodos com e sem digestão para extração de elementos em tecidos de plantas. **Ciência e Cultura**, v.36, p.1953-1958, 1984.

MORATOLLI, E. M. et al. Efeito da disponibilidade de água e luz na colonização micorrízica e no crescimento de *Tabebuia allelanedae* Lorentz ex Griseb. (Bignoniaceae). **Revista Árvore**, v. 31, n. 3, p. 555-566, 2007.

MOREIRA-SOUZA, M.; CARDOSO, E. J. B. N. Dependência micorrízica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. sob doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 905-912, 2002.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002, 625 p.

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant Cell Physiology**, v. 22, p. 867–880, 1981.

NAGY, R. et al. The characterization of novel mycorrhiza-specific phosphate transporters from *Lycopersicon esculentum* and *Solanum tuberosum* uncovers functional redundancy in symbiotic phosphate transport in solanaceous species. **Plant Journal**, v. 42, p. 236–250, 2005.

PASZKOWSKI, U. et al. Rice phosphate transporters include an evolutionarily divergent gene specifically activated in arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 99, p. 13324–13329, 2002.

PEREIRA, E. P. L. **Marcadores bioquímicos da atividade antioxidantes em sementes de *Amburana cearensis* (Fr. Allemão) A. C. Smith submetidas a estresse hídrico**. 2010. 90p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010.

PHILLIPS, J. M.; HAYMAN, D. S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. **Transactions of the British Mycological Society**, v.55, p. 157-161, 1970.

PIZA, I. M. T.; LIMA, G. P. P.; BRASIL, O. G. Atividade de peroxidase e níveis de proteínas em plantas de abacaxizeiro micropropagadas em meio salino. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 9, n. 4, p. 361-366, 2003.

RAUSCH, C. et al. A phosphate transporter expressed in arbuscule-containing cells in potato. **Nature**, v. 414, p. 462-466, 2001.

RUSSOMANNO, O. M. R.; KRUPPA, P. C.; MINHONI, M. T. A. Influência de fungos micorrízicos arbusculares no desenvolvimento de plantas de alecrim e manjerição. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 75, n. 1, p. 37-43, 2008.

SANTO, V. B. R. D. **Respostas das plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) com superexpressão da H⁺ pirofosfatase à inoculação com fungos micorrízicos arbusculares.** 2011. 68p. Dissertação (Mestrado) – Centro Universitário Vila Velha, Vila Velha, 2011.

SANTOS, T. E. B. dos et al. Alterações microbiológicas, de fertilidade e de produtividade do arroz de terras altas em diferentes manejos de solo e água. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 30, n. 2, p. 203-209, 2008.

SANTOS, C. F.; LIMA, G. P. P.; MORGADO, L. B. Tolerância e caracterização bioquímica em feijão caupi submetido a estresse hídrico na prefloração. **Naturalia**, v. 33, p. 34-44, 2010.

SANTOS, H. R. B. **Respostas agronômicas, bioquímicas e fisiológicas de variedades de cana-de-açúcar submetidas a estresse hídrico associado à nematoide de galhas.** 2012. 96p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2012.

SAWYER, N. A.; CHAMBERS, S. M.; CAIRNEY, J. W. G. Utilization of inorganic and organic phosphorus sources by isolates of *Amanita muscoria* e *Amanita species native* to temperate eastern Australia. **Australian Journal of Botany**, v. 51, p. 151-158, 2003.

SBALCHEIRO, C. C. **Ação do biocontrolador com atividade de indução de resistência no controle do crescimento bacteriano comum do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.).** 2006. 124p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Passo Fundo, Rio Grande do Sul, 2006.

SILVA, R. P.; PEIXOTO, J. R.; JUNQUEIRA, N. T. V. Influência de diversos substratos no desenvolvimento de mudas de maracujazeiro azedo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 23, n. 2, p. 377–381, 2001.

SILVA, T. F. B. da et al. Influência da densidade de fungos micorrízicos arbusculares na produção do maracujazeiro-doce (*Passiflora alata* Curtis). **Revista Caatinga**, v. 22, n. 4, p. 1-6, 2009.

SMITH, S.E.; READ, D.J. **Mycorrhizal symbiosis.** 3rd edition. Academic Press, San Diego, 2008, 814p.

SOUZA, C. C. et al. 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, n.3, p.338-342, 2000.

SOUZA, R. et al. Efeito do Soil-borne wheat mosaic vírus sobre o metabolismo de cinco genótipos de trigo com diferentes níveis de resistência à doença. **Fitopatologia Brasileira**, v. 30, n. 4, p. 400-403, 2005.

SRIVALLI, B.; SHARMA, G.; KHANNA-CHOPRA, R. Antioxidative defense system in an upland rice cultivar subjected to increasing intensity of water stress followed by recovery. **Plant Physiology**, v. 119, p. 503-512, 2003.

TEIXEIRA, E. M. et al. Ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares, nematoide e ácaro em solos sob diferentes sistemas de cultivo cafeeiro no sul de Minas Gerais. **Revista Agrogeoambiental**, p. 101-108, 2010.

TSIMPHO, C. J. **Efeito da salinidade da água de irrigação e de fração de lixiviação no cultivo do milho (*Zea mays* L.)**. 2011. 86p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2011.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Ceará**. In: Ceará. Fortaleza: UFC/CCA, 1993. 248p.

VASCONCELOS, A. C. F. de et al. Enzymatic antioxidant responses to bio stimulants in maize and soybean subjected to drought. **Scientia Agricola**, v. 66, n. 3, p. 395-402, 2009.

VIANA, M. C. M. et al. **Atividade de enzimas antioxidativas em linhagem de milho (*Zea mays* L.) submetida a déficit hídrico**. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/485140/1/Atividadeenzimas.pdf>. Acesso em: 18 set 2012.

ZERAIK, A. E. et al. Desenvolvimento de um spot test para o monitoramento da atividade da peroxidase em um procedimento de purificação. **Química Nova**, v. 31, p. 731-734, 2008.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O crescimento do feijão caupi cultivar EPACE-10 não é afetado pelo estresse hídrico aplicado (50% CP). No entanto, esta deficiência hídrica influencia a reprodução do nematoide de galhas *Meloidogyne incognita*. Dessa forma, recomenda-se o cultivo do feijão caupi a 50% da capacidade hídrica do solo, apenas na fase vegetativa, pois não afeta o crescimento da cultura e, também, proporciona a diminuição da reprodução do *M. incognita*.

No cultivo do meloeiro amarelo cultivar Gold Mine recomenda-se a inoculação da rizobactérias do gênero *Bacillus* sp. ENM51 na fase inicial, já que a mesma reduz a reprodução de *M. incognita*, porém sem estresse hídrico, pois este pode diminuir o crescimento vegetativo da cultura, conseqüentemente, prejudicando a fase reprodutiva da planta.

Apesar dos FMA (*Claroideoglossum etunicatum*, *Gigasporas rosea*, *Acaulospora longula* e *Fuscutata heterogama*) induzirem aumento da biomassa fresca da cana-de-açúcar variedade RB 863129, há necessidade de mais estudos da relação FMA × hospedeiro, como também da ação dos FMA como biocontroladores de *M. incognita*.