

**RESPOSTAS FISIOLÓGICAS EM MUDAS DE MARACUJAZEIRO
AMARELO (*PASSIFLORA EDULIS* SIMS. F. *FLAVICARPA* DEG.)
INOCULADAS COM FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E
SUBMETIDAS A ESTRESSE HÍDRICO¹**

Uided Maaze Tiburcio Cavalcante²
Leonor Costa Maia³
Rejane Jurema Mansur Custódio Nogueira²
Venézio Felipe dos Santos⁴

Recebido em 20/07/00. Aceito em 15/09/01.

RESUMO – (Respostas fisiológicas em mudas de maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg.) inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares e submetidas a estresse hídrico). O efeito da simbiose entre fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e o maracujazeiro amarelo submetido a estresse hídrico por sete dias, iniciado 40 dias após a inoculação, foi estudado em experimento com delineamento inteiramente casualizado em arranjo fatorial, correspondendo a dois tratamentos hídricos (com e sem estresse), três isolados de FMA (*Gigaspora albida*, *Gigaspora margarita* e *Glomus etunicatum*), dois níveis de inóculo de FMA (200 e 400 esporos/planta) e um tratamento adicional (sem inoculação), com quatro repetições. Foi usado solo Podzólico Vermelho-Amarelo (3 mg de P/dm³). Medidas de resistência difusiva, transpiração e temperatura foliar foram tomadas em 4 folhas de cada tratamento. O crescimento foi avaliado pela altura, área foliar e biomassa seca total. Os dados foram analisados estatisticamente pelo programa NTIA da EMBRAPA. Nas mudas inoculadas o estresse não afetou o crescimento, ao contrário das não micorrizadas que não cresceram em ambas as condições hídricas. As mudas associadas aos FMA e submetidas ao estresse apresentaram maiores valores de resistência difusiva e temperatura foliar, e menores taxas de transpiração que as não estressadas. Mudas inoculadas com *G. etunicatum* apresentaram menor resistência difusiva em relação às demais mudas inoculadas e maior transpiração em relação a *G. albida*. Em geral a micorrização beneficiou as mudas de maracujazeiro, promovendo o crescimento, mesmo sob estresse hídrico.

Palavras-chave – crescimento vegetal, transpiração, resistência difusiva, temperatura foliar, micorriza.

ABSTRACT – (Physiological responses of yellow passion fruit (*Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa*) seedlings inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi under water stress). The effect of the symbiosis between arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and plants of yellow passion fruit, submitted to water stress during seven days, 40 days after the inoculation, was studied in an experiment using a completely randomized design, with factorial arrangement and the following treatments: (a) with and without water stress; (b) inoculation with *Gigaspora albida*, *Gigaspora margarita* or *Glomus etunicatum* and uninoculated control; (c) two inoculum levels: 200 and 400 spores/plant, with four replicates. The soil was a Red Yellow Podzol (3 mg of P/dm³). Measurements of diffusive resistance, transpiration and leaf temperature were taken from four leaves of each treatment, and the growth was evaluated by height, leaf area and total dry biomass. Data were analyzed by the NTIA statistic program. Development of inoculated plants was not affected by the stress while uninoculated plants did not grow under any condition. Non

¹ Parte de Tese de Doutorado da primeira autora, Centro de Ciências Biológicas-UFPE.

² Dr., Departamento de Biologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco. Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife-PE, CEP 52171-900. E-mail: umaaze@bol.com.br

mycorrhizal seedlings did not show wilt symptoms, probably due to their small size. In general, seedlings associated to AMF and submitted to stress showed higher values of diffusive resistance and leaf temperature and lower transpiration rates than those not stressed. Among the inoculated seedlings, those associated with *G. etunicatum* presented lower diffusive resistance and higher transpiration only when compared with *G. albida*. In general, mycorrhization was beneficial to passion fruit seedlings, increasing growth even under water stress.

Key words – plant growth, transpiration, diffusive resistance, leaf temperature, mycorrhiza

³Dr., Departamento de Micologia, Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco, Av. Prof. Nelson Chaves, s/nº, Cidade Universitária, CEP 50670-420, Recife-PE

⁴Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária (IPA), R. Gal. San Martin, 1371, Bongi, CEP 50761-000, Recife, PE.

Introdução

Nos sistemas micorrízicos arbusculares fungos da ordem Glomales se associam a espécies de briófitas, pteridófitas, gimnospermas e angiospermas. Com essa interação, as plantas têm o crescimento estimulado, em decorrência do aumento nos níveis de nutrientes minerais (Smith & Read, 1997) e de carboidratos solúveis (Amijeé *et al.*, 1993), alterações no conteúdo de hormônios vegetais (Ludwig-Mueller *et al.*, 1997) e na taxa de fotossíntese (Allen *et al.*, 1982).

Fungos micorrízicos arbusculares (FMA) dependem inteiramente dos carboidratos produzidos pelo hospedeiro, podendo as raízes de plantas inoculadas utilizar de 4 a 17% mais carbono que as de plantas sem micorriza (Smith *et al.*, 1989).

A colonização por FMA pode melhorar o estado nutricional de fruteiras, proporcionando incrementos no crescimento, além de minimizar os efeitos de estresses bióticos e abióticos (Barbosa Matos & Ribeiro da Silva, 1996; Rapparini *et al.*, 1994; Weber & Amorim, 1994; Sylvia & Williams, 1992), tais como os produzidos pelo transplantio, deficiência hídrica e patógenos radiculares (Michelsen & Rosendahl, 1990; Raju *et al.*, 1990; Smith & Read, 1997).

A disponibilidade de água é fator limitante no crescimento e produção das culturas em ambientes áridos e semi-áridos (Ellis *et al.*, 1985), tais como as encontradas no Nordeste do Brasil. Em condições hídricas normais, a planta

consome grande quantidade de água durante o seu ciclo fenológico, mas perde em torno de 98% através da transpiração e assim, qualquer alteração no fluxo de água prejudica a produção da cultura (Reichardt, 1978).

As respostas de sobrevivência das plantas a condições de estresse hídrico variam de acordo com a espécie, cultivar, tempo de exposição, fatores edáficos, entre outros. Vários mecanismos podem ajudar a planta a suportar a deficiência de água: as plantas podem se desenvolver e alcançar a fase de produção antes do período de seca; fechar os estômatos nas horas mais quentes do dia, ou movimentar as folhas para reduzir a insolação; aumentar a capacidade de absorção de água por aprofundamento do sistema radicular; sobreviver a grandes períodos de déficit hídrico mantendo a turgescência por ajuste osmótico (Turner, 1979).

Inúmeros processos fisiológicos das plantas têm sido correlacionados a estresses hídricos, entre estes a transpiração, a resistência difusiva e a temperatura foliar. Em condições normais, a taxa de transpiração nas folhas é determinada especialmente pela radiação, déficit de saturação e pela condutância estomática (Santos Filho, 1984). O fechamento dos estômatos é a estratégia mais comumente utilizada pela planta para manter a turgescência durante as horas mais quentes do dia e para diminuir a taxa de transpiração (Hsiao, 1973). No entanto, esse mecanismo prejudica a atividade fotossintética devido ao impedimento da entrada de CO₂, com

conseqüente redução do crescimento da planta (Boyer, 1971; Kramer, 1963). A resistência difusiva (R_s) mede o comportamento dos estômatos em resposta à perda de vapor d'água. Altas resistências indicam o fechamento estomático, o qual torna mais lenta a perda do vapor d'água, reduz a absorção de CO_2 e, conseqüentemente, a fotossíntese (Nogueira, 1997). Em caupi, Duan *et al.* (1996) verificaram que plantas micorrizadas mantiveram maior condutância estomática durante o período seco e, conseqüentemente, menor resistência difusiva. A temperatura foliar varia de acordo com o comportamento estomático e a perda de calor latente, através da transpiração. A folha que está recebendo luz e/ou que está transpirando não pode ser isotérmica, sendo a proporção de evaporação em diferentes locais dentro dela, afetada pelos diferenciais de temperatura causados pela absorção diferenciada de radiação (Sheriff & Muchow, 1984). Em geral, a temperatura foliar está abaixo da do ar, ficando acima apenas quando sob condições de estresse, tal como observado em aceroleiras (Nogueira, 1997) e laranjeiras (Machado *et al.*, 1994).

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.

As respostas positivas de plantas inoculadas com FMA à deficiência hídrica podem resultar em: a) 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 períodos de seca (Davies Jr. *et al.*, 1992); b) aumento do conteúdo de P (Bryla & Duniway, 1997) e K (Ruiz-Lozano *et al.*, 1995) nos tecidos da planta; c) aumento nas concentrações de solutos orgânicos, tais como açúcares e compostos nitrogenados (Subramanian & Charest,

1995; d) modificações no balanço hormonal (Goicoechea *et al.*, 1997) e na regulação estomática (Al-Hamdani *et al.*, 1991; Levy & Krikun, 1980).

Informações sobre o comportamento de fruteiras tropicais inoculadas com FMA e submetidas a estresse hídrico são escassas. Os dados disponíveis são pouco comparáveis, tendo em vista que foram obtidos com diferentes espécies e cultivares de plantas e isolados de FMA, além de apresentarem diferenças de acordo com a idade da planta, duração e intensidade da supressão de água. Sendo assim, os resultados quanto ao efeito dos FMA em plantas estressadas por deficiência hídrica, mostram-se conflitantes, uma vez que a associação pode ser benéfica ou acentuar os efeitos do estresse hídrico (Sylvia & Williams, 1992).

Johnson & Hummel (1985) mencionaram que plantas de citrange 'Carrizo' cultivadas sob estresse hídrico e inoculadas com *Glomus intraradices* Schenck & Smith, tiveram aumento na transpiração e na condutância estomática, enquanto Graham *et al.* (1987) registraram ausência de efeito da micorrização, em plantas cultivadas em solo também sob déficit hídrico e com adequado conteúdo de P.

Em condições normais de disponibilidade hídrica, a inoculação de *G. intraradices* em laranja azeda não teve efeito sobre as trocas gasosas (Syvertsen & Graham, 1990), porém acarretou maiores taxas de transpiração (Graham & Syvertsen, 1984). Sob condições hídricas normais, mas com temperatura do ar elevada, as taxas de transpiração foram mais altas em mudas de 'Satsuma mandarin' (*Citrus unshiu* Marc. × *Poncirus trifoliata* Raf.) inoculadas com *Glomus ambisporum* Smith & Schenck, *Glomus fasciculatum* (Thaxter) Gerdemann & Trappe emend. Walker & Koske, *Glomus mosseae* (Nicol. & Gerd.) Gerdemann & Trappe e *Gigaspora ramisporophora* Spain do que nos controles não inoculados (Shrestha *et al.*, 1995). No entanto, ausências de respostas positivas das plantas micorrizadas ao estresse hídrico foram ob-

servadas em alguns casos (Simpson & Daft, 1990; Graham *et al.*, 1987), assim como pequenos benefícios da micorrização quando o estresse foi severo (Bryla & Duniway, 1997).

No Brasil, a maior produção de maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg.) ocorre nas regiões do Agreste e do Sertão de Pernambuco. Nessas áreas, a água é fator limitante para a produção da cultura (Ruggiero *et al.*, 1996).

Respostas do maracujazeiro à inoculação com FMA demonstraram que a simbiose com isolados de *Gigaspora albida* Schenck & Smith, *Gigaspora margarita* Becker & Hall e *Glomus etunicatum* Becker & Gerdemann é promissora no estágio de mudas, resultando em plantas com ótimo vigor (Cavalcante, 1999).

Como não foram encontrados registros de estudos envolvendo aspectos da fisiologia de maracujazeiros micorrizados, especialmente quando submetidos a estresse hídrico, informações sobre o assunto poderão fornecer subsídios sobre os benefícios que a associação pode proporcionar no estabelecimento e desenvolvimento das mudas no campo, em locais com limitação de água.

O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito da inoculação com FMA sobre o crescimento, a resistência difusiva, a transpiração e a temperatura foliar em mudas de maracujazeiro amarelo, submetidas a estresse hídrico.

Material e métodos

O experimento foi realizado em telado sem controle de temperatura e de umidade do ar. Os dados dessas variáveis, registrados em termohigrômetro digital (TFA, Alemanha), apresentaram mínimas de 21° C e 37% e máximas de 36,6° C e 88%, respectivamente.

O solo utilizado foi um Podzólico Vermelho Amarelo, coletado em Aldeia (Camaragibe/PE) com as seguintes características: 3 mg P/dm³ de solo; 0,35 cmol_c de Al, 1,0 cmol_c de Ca, 0,85 cmol_c de Mg e 42,0 cmol_c de K/dm³ de solo;

0,10 g de N; 1,18 g de C e 24,0 g de M.O/dm³; pH 5,3; classe textural franco argilo arenoso. O mesmo foi esterilizado (98% de brometo de metila e 2% de cloropicrina) e utilizado 20 dias após a esterilização.

Este estudo teve delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial de 2 × 3 × 2 + 1, correspondendo a dois tratamentos hídricos (com e sem estresse = controle), três espécies de FMA, dois níveis de inóculo de FMA (200 e 400 esporos/planta) e um tratamento adicional (sem inoculação), com quatro repetições.

Como inóculo foram usados esporos dos seguintes isolados de FMA: *Gigaspora albida* (UFPE 01), *Gigaspora margarita* (UFPE 02) e *Glomus etunicatum* (UFPE 06). Esses FMA foram multiplicados em grama baiana (*Paspalum notatum* Flüggé), durante vários ciclos de crescimento da planta. A separação dos esporos foi feita através de peneiramento úmido (Gerdemann & Nicolson, 1963) seguido de centrifugação em água e sacarose 45% (Jenkins, 1964). Sementes de maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg.) obtidas no comércio foram desinfestadas com hipoclorito de sódio a 20% (produto comercial com 2% do p.a.) por dois minutos, lavadas com água destilada esterilizada e colocadas para germinar em bandeja plástica contendo solo esterilizado.

Vinte e cinco dias após a semeadura e treze após a germinação, plântulas com aproximadamente 4 cm de altura e 2 folhas foram inoculadas e colocadas em vasos plásticos com capacidade para 40g de solo. Dez dias após a inoculação, as plântulas foram transferidas para sacos de polietileno preto (11 × 26 cm) contendo 1500 g do solo esterilizado.

Durante o experimento, a umidade do solo foi mantida em torno de 60% do VTP (Volume Total de Poros), controlada por pesagens e irrigações periódicas. O tratamento de estresse hídrico, com suspensão total da irrigação por sete dias, foi feito em metade das plantas, 40 dias após a inoculação, sendo as demais irrigadas regularmente.

Tabela 1. Dados de Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA), Temperatura do Ar (Tar), Umidade Relativa do Ar (UR), Déficit de Pressão do Vapor do Ar (DPV), obtidos durante avaliação das medidas porométricas. Recife, PE, junho/1998; horário: 9 horas e 30' – 10 horas e 30'

Variável/Unidade	Mínimo	Máximo	Média	Erro padrão	Coefficiente de variação
RFA ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	340,00	390,00	367,00	6,86	4,94
Tar ($^{\circ}\text{C}$)	29,90	30,00	29,94	0,02	0,17
UR (%)	58,40	58,80	58,64	0,06	0,30
DPV (Kpa)	1,74	1,75	1,74	0,00	0,21

A altura das mudas foi medida antes e após o estresse hídrico enquanto a área foliar e a biomassa seca total foram obtidas ao final do experimento. A área foliar foi calculada pela determinação de valores do peso da biomassa fresca das folhas (Benincasa, 1988). Foram realizadas medidas de: resistência difusiva (R_s) e de transpiração (E), utilizando-se porômetro de equilíbrio dinâmico da LI-COR, modelo LI-1600 e de temperatura foliar (T_f), com o auxílio de termopares acoplados ao porômetro. As medidas foram feitas sete dias após a suspensão da água, 61 dias após a germinação e 47 dias após a inoculação com FMA, no período de 9:30 às 10:30 h, na face abaxial e central de folhas sadias e completamente expandidas.

Durante o período de leitura das medidas das variáveis fisiológicas foram monitoradas a temperatura, a umidade relativa do ar e a radiação fotossinteticamente ativa (Tab. 1), sendo esta última obtida através de um sensor quântico acoplado ao porômetro.

Também foi calculado o déficit de pressão de vapor do ar (DPV), segundo Vianello & Alves (1991). Os efeitos do estresse hídrico sobre a resistência difusiva nas mudas de maracujazeiro amarelo foram registrados pelo acréscimo dos seus valores sobre os obtidos no tratamento controle (sem estresse).

Após o período de estresse hídrico, e depois das medidas porométricas, as plantas receberam água, até atingir a capacidade de campo, com o objetivo de se avaliar o tempo de recupe-

ração da turgescência. Os dados foram submetidos a análise de variância, utilizando-se o programa estatístico NTIA (EMBRAPA, s.d.) com níveis de significância de 1% e 5% para o teste F e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Resultados e discussão

A suspensão da rega das plantas, por sete dias, induziu alterações significativas na resistência difusiva, na transpiração e na temperatura foliar. Foram encontradas diferenças nas respostas ao estresse entre mudas micorrizadas e não micorrizadas (Tab. 2). Interações significativas entre caracteres de crescimento da planta e as determinadas pelo FMA foram verificadas (Tabs. 3 a 8) tanto nas análises isoladas quanto nas combinadas.

O crescimento das plantas inoculadas não foi afetado negativamente pelo estresse hídrico uma vez que estas continuaram crescendo regularmente, ao contrário das não inoculadas, cujo crescimento estacionou com a aplicação do estresse. Assim, as plantas associadas aos FMA apresentaram ganhos na altura de 8 cm, 4 cm e 8 cm, respectivamente, para *G. albida*, *G. margarita* e *G. etunicatum*, enquanto as não inoculadas não cresceram (Tab. 2).

A área foliar é representada pela superfície fotossinteticamente ativa da planta sendo o crescimento intimamente relacionado com a produção vegetal (Turner, 1979). O incremento re-

Tabela 2. Valores médios de altura, área foliar e biomassa total do maracujazeiro amarelo micorrizado ou não e submetido a estresse hídrico por sete dias.

Tratamento de inoculação	Altura (cm)		Área foliar (cm ²)	Biomassa total (g)
	Pré-estresse	Pós-estresse	Pós-estresse	Pós-estresse
<i>Gigaspora albida</i>	15,1 a	23,1 a	217 a	1,29 a
<i>Gigaspora margarita</i>	14,2 a	18,2 a	225 a	1,22 a
<i>Glomus etunicatum</i>	14,2 a	22,0 a	196 a	1,12 a
Sem inoculação	8,2 b	8,2 b	3 b	0,06 b

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 3. Efeito da densidade de inóculo de FMA sobre a resistência difusiva (Rs) em mudas de maracujazeiro amarelo submetidas a estresse hídrico por sete dias

Tratamento de inoculação	Resistência difusiva (s.cm ⁻¹)			
	Com estresse		Sem estresse	
	Número de esporos/planta			
	200	400	200	400
<i>Gigaspora albida</i>	11,1 ± 0,6 aA	7,8 ± 1,2 aB	0,5 ± 0,0 aA	0,5 ± 0,0 aA
<i>Gigaspora margarita</i>	5,4 ± 0,5 bA	6,5 ± 0,7 abA	0,5 ± 0,0 aB	1,0 ± 0,0 aA
<i>Glomus etunicatum</i>	3,1 ± 0,2 cB	5,3 ± 0,3 bA	0,5 ± 0,0 aA	0,5 ± 0,0 aA

Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna (comparação de médias entre os tratamentos de inoculação) e maiúscula, na linha (comparação das médias entre os isolados, na mesma condição hídrica), não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

sulta do direcionamento da biomassa para a produção de folhas (Vince-Prue, 1975), aumentando o potencial fotossintético total da planta.

O desenvolvimento do maracujazeiro, foi beneficiado pela inoculação com FMA, enquanto as plantas não inoculadas restringiram a produção de folhas e a expansão foliar (Tab. 2). Em média, as plantas inoculadas tiveram área de 212,7 cm², enquanto as não inoculadas apenas 3 cm². No entanto, o mesmo não foi observado em alguns estudos com outras plantas, como roseiras e citros (Graham *et al.*, 1987; Henderson & Davies Jr., 1990).

Quando a área foliar é restringida, a quantidade de biomassa seca produzida é menor, uma vez que o aproveitamento da energia luminosa é alterado em consequência da diminuição da superfície responsável pela interceptação da radiação luminosa (Nogueira, 1997). A quantidade

de significativamente inferior de biomassa seca das mudas não inoculadas, tal como aqui observado (Tab. 2) pode ser atribuída, em princípio, à ausência da associação micorrízica nas mesmas. Também se constatou que, independentemente do fungo inoculado, as plantas micorrizadas, quando submetidas ao estresse, recuperaram a turgescência duas horas após o retorno da irrigação, diferentemente das não inoculadas, que não voltaram à forma original, permanecendo “murchas”.

Considerando que as plantas foram cultivadas em solo com baixo P (4 mg de P/dm³ de solo), o aumento significativo do crescimento, em termos de altura, área foliar e biomassa seca das plantas micorrizadas (Tab. 2), pode ser atribuído à eficiência na utilização dos nutrientes minerais, associada à alta produção de hormônios de crescimento. Tal hipótese foi sugerida

Tabela 4. Efeito da inoculação com FMA sobre a resistência difusiva (Rs) em mudas de maracujazeiro amarelo submetidas a estresse hídrico por sete dias

Tratamento hídrico	Resistência difusiva (s.cm ⁻¹)			
	Tratamento de inoculação			
	<i>Gigaspora albida</i>	<i>Gigaspora margarita</i>	<i>Glomus etunicatum</i>	Sem inoculação
Com estresse	9,5 ± 0,9 aA	5,9 ± 0,4 aB	4,2 ± 0,4 aC	3,0 ± 0,2 aD
Sem estresse	0,5 ± 0,0 bB	0,7 ± 0,0 bB	0,5 ± 0,0 bB	2,3 ± 0,1 aA

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na coluna, e maiúscula, na linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

por Drüge & Schönbeck (1992), os quais verificaram que o aumento do nível interno de citocinina estava relacionado à melhoria da fotossíntese e crescimento de plantas micorrizadas de *Linum usitatissimum* L. Níveis elevados desse hormônio foram verificados em mudas micorrizadas de laranja azeda, o que não ocorreu quando as mudas foram fertilizadas com P (Edriss *et al.*, 1984).

Sob estresse hídrico, houve maior resistência difusiva nas plantas inoculadas com 200 esporos de *G. albida*. Nos demais tratamentos de inoculação (*G. margarita* e *G. etunicatum*), maior Rs ocorreu quando se inoculou 400 esporos dos respectivos fungos (Tab. 3). Nas plantas sem estresse praticamente não houve diferença entre os tratamentos de inoculação com 200 ou 400 esporos, com exceção de *G. margarita*, onde as plantas inoculadas com 400 esporos apresentaram maior Rs (Tab. 3).

Plantas inoculadas com FMA e submetidas a estresse hídrico apresentaram maior resistência difusiva que as não estressadas, enquanto as não inoculadas tiveram índices de resistência difusiva semelhantes nas duas condições hídricas, possivelmente porque apresentaram reduzido crescimento (Tab. 4).

Sob condições normais de rega, a Rs das plantas inoculadas foi semelhante entre si. No entanto, diferiu do tratamento não inoculado, que apresentou Rs significativamente maior possivelmente devido ao restrito crescimento das plantas. A Rs das plantas não inoculadas não

diferiu estatisticamente entre os dois tratamentos hídricos. Essas plantas não apresentaram sintomas visíveis do estresse, provavelmente devido à sua reduzida altura e área foliar (respectivamente 60% e 98% menores que as das plantas inoculadas).

É possível que a quantidade de água presente no solo tenha atendido a demanda, mesmo considerando os sete dias de estresse. Em estudo com mudas de limoeiro 'Rugoso' inoculadas com *Glomus* sp., Levy & Krikun (1980) também observaram diferenças significativas na Rs, entre plantas estressadas e não estressadas; no entanto, os menores valores foram registrados nas plantas não submetidas ao estresse. Os valores médios encontrados por esses autores para plantas submetidas a sete dias de estresse hídrico foram de aproximadamente 16,6 s.cm⁻¹ (micorrizadas) e de 25 s.cm⁻¹ (não micorrizadas), superiores aos registrados no presente estudo.

Tais resultados sugerem que a associação fúngica atuou na regulação estomática proporcionando, para as plantas micorrizadas, menor fechamento estomático. O comportamento da Rs no maracujazeiro amarelo sob estresse diferiu do verificado em limão 'Rugoso' por Levy & Krikun (1980) porque neste, a micorrização não influenciou a Rs nem a transpiração durante o período de estresse.

Essas variáveis oscilam de acordo com vários fatores, tais como espécie da planta, fase fenológica, densidade estomática (Nogueira,

Tabela 5. Efeito da densidade de inóculo de FMA sobre a transpiração em mudas de maracujazeiro amarelo submetidas a estresse hídrico por sete dias

Tratamento de inoculação	Transpiração (mmol. m ⁻² .s ⁻¹)			
	Com estresse		Sem estresse	
	Número de esporos/planta			
	200	400	200	400
<i>Gigaspora albida</i>	0,5 ± 0,0 cA	0,9 ± 0,2 aA	5,5 ± 0,0 aA	6,1 ± 0,0 aA
<i>Gigaspora margarita</i>	1,2 ± 0,1 bA	1,1 ± 0,1 aA	6,0 ± 0,2 aA	3,6 ± 0,0 bB
<i>Glomus etunicatum</i>	2,0 ± 0,1 aA	1,2 ± 0,0 aB	5,9 ± 0,3 aA	6,3 ± 0,2 aA

Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna (comparação de médias entre os tratamentos de inoculação) e maiúscula, na linha (comparação das médias entre os isolados, na mesma condição hídrica), não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

1997) e hormônios vegetais (Duan *et al.*, 1996). Além disso, no maracujazeiro micorrizado as diferenças podem ser atribuídas à variação do crescimento, com altas taxas de área foliar, quando comparado ao não micorrizado (Tab. 2). FMA podem ter alterado a concentração do ácido abscísico (ABA) que atua no controle estomático, como foi observado em caupi inoculado com *Glomus intraradices* (Duan *et al.*, 1996).

As plantas micorrizadas apresentaram maior crescimento (Tab. 2) que as não associadas a FMA e desenvolveram maior Resistência difusiva (Tabs. 3 e 4) quando sob estresse. Esses resultados indicam que houve maior fechamento dos estômatos, o que poderia resultar na redução da fotossíntese (Nogueira, 1997; Ruiz-Lozano *et al.*, 1995).

Foi observado crescimento das plantas inoculadas com FMA, mesmo sem irrigação (Tab. 2). É possível que o crescimento das plantas tenha ocorrido apenas no início do estresse; no entanto, como as avaliações foram realizadas no final desse período, não foi possível identificar se e quando ocorreu paralisação do crescimento.

As plantas responderam ao estresse através da redução da perda de água, mas provavelmente continuaram a absorver CO₂ e essa assimilação pode ser considerada uma estratégia de tolerância ao estresse, como sugerido por Ruiz-Lozano *et al.* (1995), os quais observaram au-

mento na assimilação de CO₂ em plantas de alface. Os níveis de transpiração (E) nas plantas sob estresse diferiram significativamente entre os tratamentos de inoculação apenas nos tratamentos inoculados com 200 esporos. Nas plantas não submetidas ao estresse, apenas as que receberam 400 esporos de *G. margarita* diferiram das demais, apresentando taxa de transpiração significativamente inferior (Tab. 5).

Em geral, a situação de estresse hídrico acarreta diminuição da taxa de transpiração, como verificado em aceroleiras (Nogueira, 1997), onde a taxa de transpiração caiu de 5 mmol. m⁻².s⁻¹ para valores de 0,6 a 0,8 mmol. m⁻².s⁻¹. Quando as plantas sob condição de estresse hídrico foram inoculadas com 200 esporos/planta, os maiores valores de transpiração, em ordem decrescente, foram verificados com a inoculação de *G. etunicatum*, *G. margarita* e *G. albida*, enquanto com 400 esporos/planta não houve diferença entre os isolados.

Comparando os dois níveis de inóculo, as mudas submetidas ao estresse hídrico e associadas a *G. etunicatum* tiveram maior valor de transpiração quando inoculadas com 200 esporos/planta (2,0 vs. 1,2 mmol.m⁻².s⁻¹), enquanto as demais não apresentaram diferenças significativas em resposta aos níveis de inóculo.

Sob estresse hídrico, as plantas não inoculadas apresentaram valor de E semelhante ao verificado nas plantas inoculadas com 200 es-

Tabela 6. Efeito da inoculação com FMA sobre a transpiração (E) em mudas de maracujazeiro amarelo submetidas a estresse hídrico por sete dias

Tratamento hídrico	Transpiração (mmol. m ⁻² .s ⁻¹)			
	Tratamento de inoculação			
	<i>Gigaspora albida</i>	<i>Gigaspora margarita</i>	<i>Glomus etunicatum</i>	Sem inoculação
Com estresse	0,7 ± 0,1 bC	1,1 ± 0,1 bBC	1,6 ± 0,1 bAB	2,1 ± 0,1 aA
Sem estresse	5,8 ± 0,1 aA	4,8 ± 0,4 aB	6,1 ± 0,2 aA	1,8 ± 0,0 aC

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na coluna, e maiúscula, na linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

poros de *G. etunicatum* (Tab. 5 e 6). Analisando a simbiose pelas respostas estomáticas, sob condições de seca as plantas apresentaram redução na taxa transpiracional, porém quando inoculadas com *G. etunicatum* tiveram valores significativamente maiores que os registrados nas mudas com *G. albida* (Tab. 6); no entanto, as plantas não inoculadas apresentaram valores de transpiração mais elevados do que os das plantas associadas a *G. albida* e a *G. margarita* (Tab. 6). Houve benefício da micorrização sobre a perda de água das plantas por transpiração e apenas as inoculadas com *G. etunicatum* não diferiram significativamente das testemunhas, quando submetidas ao estresse.

As folhas das plantas inoculadas tinham área foliar significativamente maior que as das plantas controle, mas durante o estresse perderam menos água. O inverso ocorreu em condições de rega normal, o que provavelmente está relacionado com o maior tamanho das plantas inoculadas com os FMA (Tab. 2).

Resultados contrários foram obtidos por Johnson & Hummel (1985) os quais verificaram que plantas de citrange 'Carrizo', inoculadas com *G. intraradices* e submetidas a estresse hídrico, tiveram maiores taxas de transpiração do que as não estressadas.

É provável que essas diferenças tenham decorrido das condições experimentais, espécies de plantas e de fungos estudados. As respostas de transpiração das plantas micorrizadas de maracujazeiro variaram de acordo com o isolado e

o nível de esporos de FMA. Sob condições de seca, a inoculação com *G. albida* induziu maior resistência estomática do que a observada nas plantas com os demais fungos (Tab. 6). Nas plantas não submetidas ao estresse, os valores de transpiração foram superiores nas inoculadas (69% com *G. albida*, 62,5% com *G. margarita* e 70,5% com *G. etunicatum*) quando comparados aos controles não inoculados (Tab. 6). Resultados semelhantes foram observados por Ruiz-Lozano *et al.* (1995) em plantas de alface associadas a espécies de *Glomus*.

Segundo esses autores, a taxa de transpiração nas plantas inoculadas e cultivadas sem estresse hídrico foi 248% superior ao das plantas sob estresse. Plantas de *Ziziphus mauritiana* Lam. associadas a *G. margarita* e sob condições hídricas normais, apresentaram redução na taxa transpiracional, alta eficiência de aproveitamento da água e aumento na fotossíntese, quando comparadas a plantas não inoculadas (Mathur & Vyas, 1995). Para os autores, o aumento na fotossíntese foi devido ao elevado conteúdo de clorofila e resultou em maior acúmulo de carboidratos. Os nossos resultados revelam a potencialidade dos FMA para, em associação com a planta, aumentar a eficiência do uso da água, reduzindo a transpiração.

As menores taxas de temperatura foliar foram obtidas: a) em plantas submetidas ao estresse, nas inoculadas com 200 esporos de *G. albida* ou com 400 esporos de *G. etunicatum*; b) em plantas sem estresse hídrico, nas inocu-

Tabela 7. Efeito da densidade de inóculo de FMA sobre a temperatura foliar (Tf) em mudas de maracujazeiro amarelo submetidas a estresse hídrico por sete dias

Tratamento de inoculação	Temperatura foliar (°C)			
	Com estresse		Sem estresse	
	Número de esporos/planta			
	200	400	200	400
<i>Gigaspora albida</i>	29,4 ± 0,0 bB	30,0 ± 0,0 aA	27,9 ± 0,0 bB	28,8 ± 0,1 bA
<i>Gigaspora margarita</i>	29,8 ± 0,0 aA	29,8 ± 0,0 abA	29,8 ± 0,1 aA	29,5 ± 0,1 abA
<i>Glomus etunicatum</i>	29,8 ± 0,0 aA	29,7 ± 0,0 bA	29,3 ± 0,1 aA	29,3 ± 0,1 bA

Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna (comparação de médias entre os tratamentos de inoculação) e maiúscula, na linha (comparação das médias entre os isolados, na mesma condição hídrica), não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 8. Efeito da inoculação com FMA sobre a temperatura foliar (Tf) em mudas de maracujazeiro amarelo submetidas a estresse hídrico por sete dias

Tratamento hídrico	Transpiração (mmol. m ⁻² .s ⁻¹)			
	Tratamento de inoculação			
	<i>Gigaspora albida</i>	<i>Gigaspora margarita</i>	<i>Glomus etunicatum</i>	Sem inoculação
Com estresse	29,7 ± 0,1 aA	29,8 ± 0,0 aA	29,7 ± 0,0 aA	29,7 ± 0,0 aA
Sem estresse	28,3 ± 0,2 bC	29,7 ± 0,1 aA	29,3 ± 0,0 bAB	28,9 ± 0,4 bB

Médias seguidas da mesma letra minúscula, na coluna, e maiúscula, na linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

ladas com 200 esporos de *G. albida* ou com 400 esporos de *G. albida* ou de *G. etunicatum*.

Comparando os níveis de inóculo nos diferentes isolados, os valores de Tf só diferiram entre plantas associadas a *G. albida*, com e sem estresse (Tab. 7). De modo geral, as plantas inoculadas com este fungo apresentaram Tf estatisticamente inferior à das demais plantas, nas duas condições hídricas.

Em todos os tratamentos, a temperatura foliar das plantas foi ligeiramente inferior à temperatura do ar, exceto o da inoculação com 400 esporos de *G. albida* (Tab. 7), em plantas com estresse. Dados de literatura mostram que sob condições de estresse a temperatura foliar apresenta-se geralmente mais elevada do que a temperatura do ar (Nogueira *et al.*, 1998). Aparentemente, em nosso estudo o estresse hídrico de 7 dias não foi suficiente para alterar esse parâ-

metro no maracujazeiro. Observou-se diferenças significativas na temperatura foliar entre os tratamentos com e sem estresse, exceto nas plantas inoculadas com *G. albida* (Tab. 8). Sob condições de estresse, a Tf foi semelhante entre as plantas inoculadas e não inoculadas; porém, quando sob condições hídricas adequadas, as plantas associadas a *G. margarita* tiveram maior Tf do que as associadas com *G. albida* e as testemunhas (Tab. 8).

Finalizando, constatou-se que a exposição ao estresse hídrico por sete dias não foi suficiente para induzir a paralisação do crescimento das plantas micorrizadas, as quais apresentaram rígido controle estomático, traduzido por maior resistência difusiva e menores taxas de transpiração, com padrão de comportamento diferenciado de acordo com o fungo inoculado.

Agradecimentos

À Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária (IPA/PE), pelas análises de solo. Ao CNPq e à CAPES, pelo apoio a L. C. Maia e a U. M. T. Cavalcante, respectivamente.

Os autores expressam ainda os seus agradecimentos aos revisores, pelas criteriosas e valiosas sugestões.

Referências bibliográficas

- Allen, M. F.; Moore Jr., T. S. & Christensen, M. 1982. Phytohormone changes in *Bouteloua gracilis* infected by vesicular-arbuscular mycorrhizae. II. Altered levels of gibberelin-like substances and abscisic acid in the host plant. **Canadian Journal of Botany** **60**: 468-471.
- Al-Hamdani, S. H.; Murphy, J. M. & Todd, G. W. 1991. Stomatal conductance and CO₂ assimilation as screening tools for drought resistance in sorghum. **Canadian Journal of Plant Science** **71**: 689-694.
- Amijee, F.; Stribley, D.P. & Tinker, P.B. 1993. The development of endomycorrhizal root systems. VII. Effects of soil phosphorus and fungal colonization on the concentration of soluble carbohydrates in roots. **New Phytologist** **123**: 297-306.
- Barbosa Matos, R. M. & Ribeiro da Silva, E. M. 1996. Effect of inoculation by arbuscular mycorrhizal fungi on the growth of micropropagated pineapple plants. **Fruits** **51**: 115-119.
- Benincasa, M. M. P. 1988. **Análise de crescimento de plantas**. Jaboticabal, FUNEP, 42p.
- Boyer, J. S. G. 1971. Recovery of photosynthesis in sunflower after a period of low water potencial. **Plant Physiology** **47**: 816-820.
- Bryla, D. R. & Duniway, J. M. 1997. Effects of mycorrhizal infection on drought tolerance and recovery in safflower and wheat. **Plant and Soil** **197**: 95-103.
- Cavalcante, U. M. T. 1999. **Efeitos da associação de fungos micorrízicos arbusculares com o maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* Sims. f. *flavicarpa* Deg.)**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 132p.
- Davies Jr., F. T.; Potter, J. R. & Linderman, R. G. 1992. Mycorrhiza and repeated drought exposure affect drought resistance and extraradical hyphae development of pepper plants independent of plant size and nutrient content. **Journal of Plant Physiology** **139**: 289-294.
- Drüge, U. & Schönbeck, F. 1992. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhizal infection on transpiration, photosynthesis and growth of flax (*Linum usitatissimum* L.) in relation to cytokinin levels. **Journal of Plant Physiology** **141**: 40-48.
- Duan, X.; Neuman, D. S.; Reiber, J. M.; Green, C. D.; Saxton, A. M. & Augé, R. M. 1996. Mycorrhizal influence on hydraulic and hormonal factors implicated in the control of stomatal conductance during drought. **Journal of Experimental Botany** **47**: 1541-1550.
- Edriss, M. H.; Davis, R. M. & Burger, D. W. 1984. Influence of mycorrhizal fungi on cytokinin production in sour orange. **Journal of the American Society for Horticultural Science** **109**: 587-590.
- Ellis, J. R.; Larsen, H. J. & Boosalis, M. G. 1985. Drought resistance of wheat plants inoculated with vesicular-arbuscular mycorrhizae. **Plant and Soil** **86**: 369-378.
- EMBRAPA. SWNTIA (Programa Estatístico). Campinas, Centro Nacional de Pesquisa Tecnológica em Informática para a Agricultura - CNPTIA (Campinas, SP). http://www.cnptia.embrapa.br/frame_biblio.html
- Gerdemann, J. W. & Nicolson, T. H. 1963. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactions of the British Mycological Society** **46**: 235-244.
- Goicoechea, N.; Antolín, M. C. & Sánchez-Díaz, M. 1997. Gas exchange is related to the hormone balance in mycorrhizal or nitrogen-fixing alfalfa subjected to drought. **Physiologia Plantarum** **100**: 989-997.
- Graham, J. H. & Syvertsen, J. P. 1984. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhiza on the hydraulic conductivity of roots of two citrus rootstocks. **New Phytologist** **97**: 277-284.
- Graham, J. H.; Syvertsen, J. P. & Smith Jr., M. L. 1987. Water relations of mycorrhizal and phosphorus-fertilized non-mycorrhizal *Citrus* under drought stress. **New Phytologist** **105**: 411-419.
- Henderson, J. C. & Davies Jr., F. T. 1990. Drought acclimation and the morphology of mycorrhizal *Rosa hybrida* L. cv. 'Ferdyn' is independent of leaf elemental content. **New Phytologist** **115**: 503-510.
- Hsiao, T. C. 1973. Plant responses to water stress. **Annual Review of Plant Physiology** **24**: 519-570.
- Jenkins, W. R. 1964. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter** **48**: 692.
- Johnson, C. R. & Hummel, R. L. 1985. Influence of mycorrhizae and drought stress on growth of *Poncirus* × *Citrus* seedlings. **Hortscience** **20**: 754-755.
- Kramer, P. J. 1963. Water stress and plant growth. **Agronomy Journal** **55**: 31-35.
- Levy, J. & Krikun, J. 1980. Effect of vesicular-arbuscular

- mycorrhiza on *Citrus jambhiri* water relations. **New Phytologist** **85**: 25-31.
- Ludwig-Mueller, J.; Kaldorf, M.; Sutter, E. G. & Epstein, E. 1997. Indole-3-butyric acid (IBA) is enhanced in young maize (*Zea mays* L.) roots colonized with the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices*. **Plant Science** **125**: 153-162.
- Machado, E. C.; Quaggio, J. A.; Lagôa, A. M. M. A.; Ticelli, M. & Furlani, P. R. 1994. Trocas gasosas e relações hídricas em laranjeiras com clorose variegada dos citros. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal** **6**: 53-57.
- Mathur, N. & Vyas, A. I. 1995. Influence of VA mycorrhizae on net photosynthesis and transpiration of *Ziziphus mauritiana*. **Journal of Plant Physiology** **147**: 328-330.
- Michelsen, A. & Rosendahl, S. 1990. The effect of VA mycorrhizal fungi, phosphorus and drought stress on the growth of *Acacia nilotica* and *Leucaena leucocephala* seedlings. **Plant and Soil** **124**: 7-13.
- Nogueira, R. J. M. C. 1997. **Expressões fisiológicas da aceroleira (*Malpighia emarginata* D. C.)**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 205p.
- Nogueira, R. J. M. C.; Santos, R. C.; Bezerra Neto, E. & Santos, V.F. 1998. Comportamento fisiológico de duas cultivares de amendoim submetidas à diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** **33**: 1963-1969.
- Raju, P. S.; Clark, R. B.; Ellis, J. R. Duncan, R. R. & Maranville, J. W. 1990. Benefit and cost analysis and phosphorus efficiency of VA mycorrhizal fungi colonizations with sorghum (*Sorghum bicolor*) genotypes grown at varied phosphorus levels. **Plant and Soil** **124**: 199-204.
- Rapparini, F.; Baraldi, R.; Bertazza, G.; Branzanti, B. & Predieri, S. 1994. Vesicular-arbuscular mycorrhizal inoculation of micropropagated fruit trees. **Journal of Horticultural Science** **69**: 1101-1109.
- Reichardt, L. 1978. **A água na produção agrícola**. McGraw-Hill do Brasil, São Paulo. 119p.
- Ruiz-Lozano, J. M.; Azcón, R. & Gomez, M. 1995. Effects of arbuscular-mycorrhizal *Glomus* species on drought tolerance: physiological and nutritional plant responses. **Applied and Environmental Microbiology** **61**: 456-460.
- Ruggiero, C.; São José, A. R.; Volpe, C. A.; Oliveira, J. C.; Durigan, J. F.; Baumgartner, J. G.; Silva, J. R.; Nakamura, K.; Ferreira, M. E.; Kavati, R. & Pereira, V. P. 1996. **Maracujá para exportação: aspectos técnicos da produção**. Ministério da Agricultura e do Abastecimento, Secretaria de Desenvolvimento Rural, Programa de Apoio à Produção e Exportação de Frutas, Hortaliças, Flores e Plantas ornamentais. EMBRAPA-SPI. Brasília. 64p. (Publicações Técnicas FRUPEX, 19).
- Santos Filho, B. G. 1984. **Parâmetros biofísicos e fisiológicos associados à economia da água em plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) submetidas à estresse hídrico**. Tese de Doutorado. Universidade de Campinas, Campinas. 158p.
- Scheriff, D. W. & Muchow, R. C. 1984. The water relations of crops. Pp. 39-83. In: P. R. Goldsworthy & N.M. Fisher (Eds.), **The Physiology of Tropical Field Crops**. John Wiley & Sons, New York.
- Shrestha, Y. H.; Ishii, T. & Kadoya, K. 1995. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on the growth, photosynthesis, transpiration and the distribution of photosynthates of bearing Satsuma Mandarin trees. **Journal Japanese of the Society of Horticultural Science** **64**: 517-525.
- Simpson, D. & Daft, M. J. 1990. Interactions between water stress and different mycorrhizal inocula on plant growth and mycorrhizal development in maize and sorghum. **Plant and Soil** **121**: 179-186.
- Smith, S. E.; McGee, P. A. & Smith, F. A. 1989. Physiological interactions between mycorrhizal fungi and host plants: an approach to determining the bases of symbiotic efficiency. **Endocytobiology** **4**: 91-98.
- Smith, S. E. & Read, D. J. 1997. **Mycorrhizal Symbiosis**. 2 ed. Academic Press, London. 605p.
- Subramanian, K. S. & Charest, C. 1995. Influence of arbuscular mycorrhizae on the metabolism of maize under drought stress. **Mycorrhiza** **5**: 273-278.
- Sylvia, D. M. & Williams, S. E. 1992. Vesicular-arbuscular mycorrhizae and environmental stress. Pp. 101-124. In: **Mycorrhizae in Sustainable Agriculture**. ASA Special Publication no. 54. Madison.
- Syvrtsen, J. P. & Graham, J. H. 1990. Influence of vesicular arbuscular mycorrhizae and leaf age on net gas exchange of *Citrus* leaves. **Plant Physiology** **94**: 1424-1428.
- Turner, N. C. 1979. Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plants. Pp. 343-372. In: H. Mussell & R.C. Staples (Eds.). **Stress Physiology in Crop Plants**. John Wiley & Sons, New York.
- Vianello, R. L. & Alves, A. R. 1991. **Meteorologia básica e aplicações**. Imprensa Universitária da UFV, Viçosa. 449p.
- Weber, O. B. & Amorim, S. M. C. 1994. Adubação fosfática e inoculação de fungos micorrízicos arbusculares em mamoeiro 'Solo'. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** **18**: 187-191.