

# Colonização micorrízica e nodulação radicular em mudas de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) sob diferentes níveis de salinidade<sup>1</sup>

Mycorrhizal colonization and root nodulation in sabiá seedlings (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) at different salinity levels

Rodrigo Castro Tavares<sup>2\*</sup>, Paulo Furtado Mendes Filho<sup>3</sup>, Claudivan Feitosa de Lacerda<sup>4</sup> e Joedna Silva<sup>5</sup>

**RESUMO** - O sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) é uma espécie vegetal nativa do nordeste brasileiro e reúne algumas características fundamentais para compor programas de reabilitação de áreas salinizadas, principalmente quanto associado aos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) e a bactérias fixadoras de nitrogênio (BFN). O objetivo do presente estudo foi avaliar a colonização micorrízica e a nodulação radicular de mudas de sabiá adubadas com composto orgânico e irrigadas com águas de diferentes condutividades elétricas. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, com delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial com 2 (presença e ausência de fungos micorrízicos arbusculares) x 2 (presença e ausência de composto orgânico) x 5 níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (0,7; 1,2; 2,2; 3,2 e 4,2 dS m<sup>-1</sup>), com 3 repetições. Os resultados obtidos indicam que: a salinidade reduziu a colonização micorrízica e a nodulação radicular das mudas de sabiá; a intensificação das condições de estresse salino aumentaram a dependência micorrízica das mudas de sabiá; a colonização das mudas de sabiá com os FMAs proporcionou aumentos na matéria seca dos nódulos radiculares da ordem de 1900%; as micorrizas arbusculares reduziram o pH após o cultivo do solo; e a adição de vermicomposto não promoveu efeito sobre a colonização micorrízica das mudas de sabiá, entretanto, aumentou a produção de matéria seca dos nódulos radiculares.

**Palavras-chave:** Sabiá (árvore). Salinidade. Microsymbiontes.

**ABSTRACT** - The sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) is a plant species native to the Brazilian northeast and brings together some fundamental features for use in rehabilitation programs of salinized areas, especially if associated with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and nitrogen-fixing bacteria (BFN). The aim of this study was to evaluate the mycorrhizal colonization and root nodulation of sabiá seedlings fertilized with organic compost and irrigated with water at different electrical conductivities. The experiment was carried out in a greenhouse, in a completely randomized design with a factorial scheme of 2 (presence and absence of arbuscular mycorrhizal fungi) x 2 (presence and absence of an organic compound) x 5 levels of electrical conductivity of the irrigation water (0.7, 1.2, 2.2, 3.2 and 4.2 dS m<sup>-1</sup>), and three repetitions. The results obtained indicate that: salinity reduced mycorrhizal colonization and root nodulation of the sabiá seedlings; intensifying salt-stress conditions increased the mycorrhizal dependence of the sabiá seedlings; the colonization of seedlings with AMF caused increases in the root-nodule dry matter of about 1900%; the arbuscular mycorrhiza reduced the pH after soil cultivation; and the addition of vermicompost had no effect on the mycorrhizal colonization of the sabiá seedlings, but did increase the production of root-nodule dry matter.

**Key words:** Sabiá (tree). Salinity. Microsymbionts.

\*Autor para correspondência

<sup>1</sup>Recebido para publicação em 15/11/2009; aprovado em 28/12/2011

Parte da Dissertação de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade Federal do Ceará e pesquisa realizada com recursos da CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

<sup>2</sup>Universidade Federal de Viçosa/UFV, Brasil, rocatavares@yahoo.com.br

<sup>3</sup>Departamento de Ciências do Solo, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará/UFC, Fortaleza-CE, Brasil, mendesfilho@bol.com.br

<sup>4</sup>Departamento de Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará/UFC, Fortaleza-CE, Brasil, cfeitosa@ufc.br

<sup>5</sup>Fundação Universidade Federal do Tocantins/UFT, Campus Universitário de Gurupi, Gurupi-TO, Brasil, joednabp@hotmail.com

## INTRODUÇÃO

O sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) é uma planta heliófita da família Leguminosae e subfamília Mimosaceae, e é conhecida regionalmente como sabiá devido à semelhança da coloração da casca da árvore com a plumagem do pássaro do mesmo nome (MAIA, 2004). Essa leguminosa pode ser encontrada em outras regiões do Nordeste do Brasil, especialmente nas áreas semiáridas, com precipitações que variam de 600 a 1.000 mm anuais (RIBASK *et al.*, 2003).

As plantas de sabiá, em habitat natural, normalmente encontram-se associadas a fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) e a bactérias fixadoras de nitrogênio (BFN) (ALMEIDA, 1986), o que possivelmente constitui uma estratégia evolutiva da adaptação desta espécie às condições adversas da região semiárida. Logo, o manejo dessa interação planta-microrganismo pode ser uma estratégia viável e de baixo custo para compor programas de revegetação de áreas no nordeste, principalmente aquelas afetadas por sais. Nestas áreas, o excesso de sais na zona radicular das plantas proporciona redução na disponibilidade de água e nutrientes, afeta o desenvolvimento das culturas e, algumas vezes, leva ao comprometimento agrícola da área (GHEYI, 2000).

No Brasil, os solos afetados por sais ocorrem principalmente nos perímetros irrigados da região Nordeste, onde o acúmulo de sais é resultado da utilização inadequada da água de má qualidade, do uso incorreto dos sistemas de irrigação e drenagem e da aplicação indiscriminada de insumos (AYERS; WESTCOT, 1999). De acordo com o relatório técnico do Departamento Nacional das Obras Contra as Secas (1991), apesar de não existir levantamentos detalhados dos perímetros irrigados no Nordeste, nos estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Bahia, em média, 12% da superfície agrícola útil está salinizada e 7,6% encontram-se imprópria para produção agrícola.

A mitigação dos efeitos negativos da elevada concentração de sais no solo por métodos convencionais é muita vezes caro, demorado e pode não surtir o efeito esperado. Portanto, técnicas alternativas como o manejo de microrganismos, leguminosas e adubação orgânica podem representar uma saída para inclusão destas áreas ao processo produtivo. Neste sentido, leguminosas em associação com BFN e FMAs podem melhorar as condições físicas e químicas de solos salinos, principalmente por adicionar aos solos resíduos orgânicos (ANDRADE *et al.*, 2000), que ao sofrer as transformações dos microrganismos edáficos podem aumentar a CTC do solo (CIOTTA *et al.*, 2003). Assim, elevando a retenção de íons como o sódio na fase sólida, reduz sua atividade na solução, podendo diminuir os efeitos deletérios da salinidade sobre as plantas.

Apesar de alguns estudos apontarem que tanto a produção de nódulos radiculares em leguminosas, quanto

à colonização micorrízica foram afetadas negativamente pela salinidade do solo, esses simbiontes promovem condições mais adequadas ao desenvolvimento das plantas (LOPEZ *et al.*, 2008; QIANG-SHENG *et al.*, 2008). Em alguns estudos, verificou-se ainda que a dupla inoculação das plantas com FMAs e BFN foram mais eficientes na produção de nódulos radiculares e acúmulo de nitrogênio (GARG; MANCHANDA, 2008). No entanto, estudos visando avaliar a colonização micorrízica, e a nodulação radicular de leguminosas sob condições de estresse salino são escassos, principalmente na região Nordeste do Brasil.

O objetivo deste estudo foi avaliar a colonização micorrízica e a nodulação radicular de mudas de sabiá adubadas com composto orgânico sob diferentes níveis de salinidade.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação pertencente ao Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará (UFC), em Fortaleza, Ceará, Brasil (3°44' S e 38°33' W). A região apresenta um clima do tipo Aw' segundo a classificação de Köppen, e se localiza numa altitude de 20 m acima do nível do mar. A temperatura média diária no interior da casa de vegetação foi de 31 °C ± 3,3 °C.

O solo utilizado foi coletado na profundidade de 0-20 cm, no Campus do Pici/UFC, classificado como Argissolo Vermelho Amarelo Distrocoeso arênico (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2006). As principais propriedades químicas do solo estão apresentadas na Tabela 1.

O solo foi seco ao ar, destorroado, tamisado em peneira de 2 mm de diâmetro e autoclavado (1 atm a 121 °C) por 2 horas. Foram utilizados vasos com 1,5 kg de solo e nas parcelas adubadas realizou-se a adição de vermicomposto (Tabela 2) na dosagem equivalente de 30 toneladas por hectare.

A inoculação com FMAs foi realizada antes do plantio das sementes. As espécies utilizadas foram *Glomus clarum*, *Gomus intraradices* e *Glomus AZ112*, sendo as duas primeiras espécies obtidas do banco do inóculo do Setor de Microbiologia do Solo do Departamento de Ciências do Solo da UFC e a terceira do Setor de Microbiologia da Embrapa Cerrado. O inóculo foi adicionado no terço médio superior do vaso, sendo o mesmo constituído de 30 g de solo contendo cerca de 82 esporos por grama de inóculo e raízes colonizadas com hifas de FMAs. Ainda nesta etapa, foi realizada uma inoculação com estirpes de rizóbio comerciais selecionadas para a *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.

**Tabela 1** - Propriedades químicas da camada superficial (0-20 cm) do Argissolo Vermelho Amarelo utilizado no experimento

Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	P	C	N	pH	CE
-----cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----				mg kg <sup>-1</sup>	-----g kg <sup>-1</sup> -----		H <sub>2</sub> O	dS m <sup>-1</sup>
1,95	0,70	0,03	0,10	8,0	7,08	0,72	6,0	0,29

**Tabela 2** - Caracterização química do composto orgânico

Umidade	C	N	P total	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	C/N	pH
(%)	-----g kg <sup>-1</sup> -----						CaCl <sub>2</sub>
33	180	6,0	13,2	3,0	0,74	35:1	7,7

para viabilizar o suprimento de nitrogênio via fixação simbiótica. Nas parcelas que não receberam os FMAs foram adicionados 5 mL do filtrado do inóculo, com a finalidade de uniformizar a microbiota.

As sementes foram selecionadas quanto ao tamanho e forma (sementes comerciais). Em seguida foram submetidas à quebra de dormência por imersão em ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), por 10 minutos (MARTINS *et al.*, 1992). Decorrido o período da imersão, as sementes foram submetidas a lavagens com água destilada para eliminar o resíduo do ácido. Após esta etapa, cada vaso contendo solo inoculado recebeu quatro sementes de sabiá. Aos 21 dias após a germinação, realizou-se o desbaste, deixando duas plantas por vaso.

Os níveis de salinidade do solo foram induzidos de forma a se obter diferentes condutividades elétricas (CE). Os níveis de salinidade de: 0,7; 1,2; 2,2; 3,2 e 4,2 dS m<sup>-1</sup> foram obtidos pela adição de NaCl, CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O e MgCl<sub>2</sub>, na proporção de 7:2:1, obedecendo à relação entre a CEa e concentração (mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup> = CE x 10), extraída de Rhoades *et al.* (1992). Foi utilizada água de abastecimento urbano, cuja caracterização está apresentada na Tabela 3. A quantidade de água aplicada em cada vaso foi calculada considerando uma lâmina de lixiviação de 20%. As plantas foram irrigadas com água destilada até os 25 dias, após este período, iniciou-se a irrigação dos tratamentos com solução salina.

A coleta do experimento foi realizada aos 60 dias após a instalação. Inicialmente, os nódulos radiculares foram separados das raízes e secos em estufa a 65 °C por 72 h, obtendo a matéria seca.

Na colonização micorrízica (CM), as raízes sofreram clareamento pelo aquecimento em solução de KOH a 10%. Em seguida, foram coradas de acordo com a metodologia adaptada por Vierheilig *et al.* (1998). A quantificação foi realizada pelo método da interseção, onde observou-se a presença de estruturas fúngicas na região do córtex radicular, com auxílio de um microscópio estereoscópico.

A dependência micorrízica (DM) foi estimada pela diferença percentual na produção de matéria seca da parte aérea entre as plantas inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares e as plantas não inoculadas, sendo calculada como: DM = ((matéria seca da planta micorrizada – matéria seca da planta não micorrizada) / {matéria seca da planta micorrizada x 100}), de acordo com metodologia adaptada por Moreira-Souza e Cardoso (2002). Desta forma, para verificar o efeito da adubação orgânica sobre a DM foram considerados dois níveis de fertilidade, sendo o primeiro nível a fertilidade natural do solo, e o segundo o solo adubado com o composto orgânico com uma adubação equivalente a 400 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por hectare.

O pH do solo (1:2,5 m/v) foi obtido utilizando solução de CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup> sendo determinado por potenciometria (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1997). A análise do pH do solo foi realizada antes e ao final do experimento.

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 (adubadas e não adubadas com composto orgânico) x 2 (inoculadas e não inoculadas com FMA) x 5 níveis de salinidade, com 3 repetições. Os resultados foram submetidos à análise de

**Tabela 3** - Caracterização química da água de abastecimento urbano utilizada nos tratamentos de salinidade

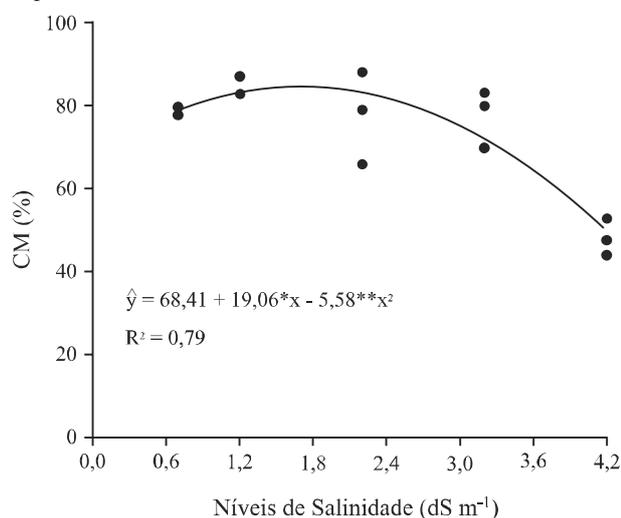
Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	pH	CE	RAS
-----mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> -----				-----mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> -----					dS m <sup>-1</sup>	
1,1	1,6	3,3	0,2	4,8	-	1,3	0,1	8,1	0,7	2,9

variância e de regressão, utilizado os procedimentos proc glm e proc reg; model  $y = x / xpx$ ; run - uit, respectivamente do software estatístico SAS/STAT® versão 8.2.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As raízes do sabiá inoculadas apresentaram estruturas características dos FMAs em todos os níveis de salinidade. Nas plantas controle, nenhuma estrutura destes fungos foi encontrada. A colonização micorrízica (CM) apresentou um comportamento quadrático, alcançando o máximo em  $1,71 \text{ dS m}^{-1}$ , e a partir desse ponto ocorreu decréscimo na CM com o aumento dos níveis de salinidade (Figura 1 e Tabela 4).

**Figura 1** - Efeitos da salinidade sobre a colonização micorrízica (CM) de mudas de sabiá (\* e \*\* significativos a 5 e 1 %, respectivamente)



**Tabela 4** - Quadro de análise de variância da regressão para a colonização micorrízica

FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
Modelo	2	1600,1	1600,1	15,8	0,002
Resíduo	12	1317,5	101,4		
Total	14	2917,6			

FV = Fator de variação; GL = Graus de liberdade; SQ = Soma de quadrados e QM = Quadrado médio

Portanto, a concentração de sais solúveis do solo até o ponto de máximo da curva não promoveu efeito negativo sob a CM. A redução da CM nas plantas

submetidas a estresse salino observada neste trabalho corrobora com o estudo realizado por Abbaspour (2010). Sendo que, isolados de FMAs oriundos de solos salinos apresentaram CM superior aos extraídos de áreas não salinizadas (CARVALHO *et al.*, 2003). De acordo com Evelin *et al.* (2009), a redução da CM sob condições salinas pode estar associada a ação direta dos sais sob o fungo, causando efeito negativo na formação e no desempenho da simbiose, com a diminuição da germinação dos esporos e do crescimento micelial.

A adubação orgânica não promoveu efeito sobre a CM nas plantas submetidas ao estresse salino, não havendo interação significativa entre os fatores (Tabela 5). Estudos relacionando o efeito da adubação orgânica sob a CM em áreas salinizadas ainda são escassos. Portanto, alguns estudos conduzidos em áreas não salinas foram utilizados para fundamentar a discussão. Sainz *et al.* (1998), verificaram que adição de vermicomposto pode reduzir a CM, pois a ação dos anelídeos (minhocas) na transformação do substrato (lixo urbano) pode disponibilizar elevados teores P. Visto que, em condições de elevado suprimento desse elemento para a planta ocorre a diminuição da CM.

**Tabela 5** - Valores médios do efeito da salinidade sobre a colonização micorrízica (CM) de mudas de sabiá

	+MO	-MO			
	-----%-----				
+MZ	65,13 a	74,80 a			
-MZ	0,00 b	0,00 b			
FV	GL	QM	F	p-valor	
MO	1	350,4	2,4	0,12	
MZ	1	73430,0	508,0	<0,0001	
MO*MZ	1	350,4	2,4	0,12	

FV = fonte de variação, GL= grau de liberdade, QM = quadrado médio. Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey a 5%

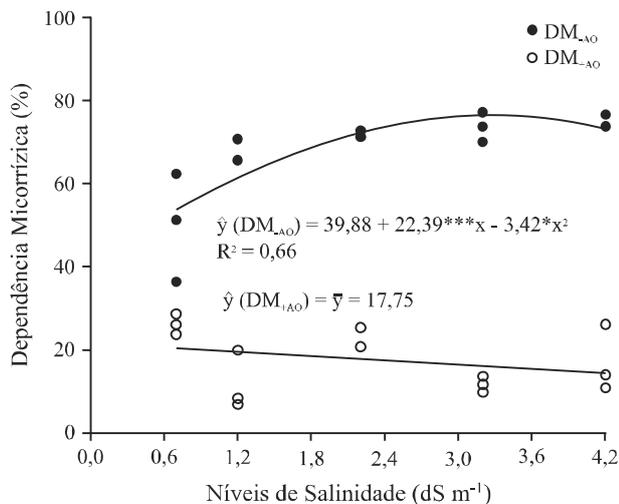
Em contrapartida, a adição de vermicomposto estimulou a CM no sistema radicular de plantas de sorgo (CAVENDER *et al.*, 2003). Hameeda *et al.* (2007) observaram que a utilização de palha de arroz e vermicomposto de palha de arroz como adubos orgânicos nas quantidades de 5 e 10 toneladas por hectares, respectivamente não proporcionaram inibição da CM, porém resultou na redução da matéria seca das plantas, em relação às plantas não inoculadas. As divergências observadas nos diversos estudos podem ser justificadas pela elevada variabilidade na composição dos adubos orgânicos, pois materiais orgânicos pobres em nutrientes podem estimular a CM e os ricos podem inibir (BUCHER, 2007),

visto que, a eficiência dos FMAs em suprir a demanda da planta por nutrientes é maior em ambientes pobres (LEAKE *et al.*, 2004). No caso específico dos ambientes salinos, onde a atividade microbiana é baixa (BEZERRA *et al.*, 2010), conseqüentemente a taxa de decomposição é lenta, logo a quantidade de nutriente liberada pelo vermicomposto pode não ter sido suficiente para causar efeito na CM, pois os recursos minerais no solo, principalmente P regulam a interação entre os simbioses.

A dependência micorrízica (DM) foi considerada alta nas plantas micorrizadas e que não receberam a adubação orgânica (DM<sub>-AO</sub>) e baixa nas plantas micorrizadas adubadas com composto orgânico (DM<sub>+AO</sub>), conforme a classificação adaptada por Miranda e Miranda (2001). Portanto, a redução da DM nas plantas fertilizadas (400 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por hectare via composto orgânico) pode estar relacionada à maior disponibilidade de recursos minerais no solo, principalmente de P, pois o aumento da concentração desse elemento no tecido vegetal reduz a DM (FREITAS *et al.*, 2006). No caso da DM<sub>-AO</sub>, observou-se um comportamento quadrático com aumento da salinidade, com ponto de máximo em 3,3 dS m<sup>-1</sup> e DM de 77%, reduzindo a dependência após esse ponto, possivelmente pelo efeito negativo do aumento da concentração de sais sobre a CM, que sofreu redução antes desse ponto (1,71 dS m<sup>-1</sup>) (Figura 2 e Tabela 6).

Esse efeito dos FMAs pode estar relacionado à maior oferta de nutrientes, e ainda à compartimentalização de Na<sup>+</sup> nas hifas, que pode amenizar os efeitos da salinidade (GIRI *et al.*, 2003). A DM<sub>-AO</sub> foi sempre superior a DM<sub>+AO</sub> em todos os níveis de salinidade, observando-se ainda,

**Figura 2** - Dependência micorrízica das mudas de sabiá que não receberam adubação orgânica (DM<sub>-AO</sub>) e dependência micorrízica das mudas de sabiá adubadas (DM<sub>+AO</sub>) em diferentes níveis de salinidade (\* e \*\*\* significativos a 5 e 0,1%, respectivamente)



**Tabela 6** - Quadro de análise de variância da regressão para a dependência micorrízica sem composto orgânico (DM<sub>-AO</sub>) e com composto orgânico (DM<sub>+AO</sub>)

FV (DM <sub>-AO</sub> )	GL	SQ	QM	F	p-valor
Modelo	2	1082	541,1	11,72	0,002
Resíduo	12	553,8	46,15		
Total	14	1636,1			

FV (DM <sub>+AO</sub> )	GL	SQ	QM	F	p-valor
Modelo	1	72,7	72,7	1,4	0,260
Resíduo	13	685,8	52,7		
Total	14	758,5			

FV = Fator de variação; GL = Graus de liberdade; SQ = Soma de quadrados e QM = Quadrado médio

o aumento da DM<sub>-AO</sub> da salinidade. Esses resultados indicam que plantas de sabiá sob estresse salino sob baixa disponibilidade de nutrientes são altamente dependentes das micorrizas arbusculares.

A salinidade reduziu o peso seco dos nódulos radiculares, tanto das plantas micorrizadas, quanto das não micorrizadas (Tabela 7 e Figura 3). Corroborando com os resultados de (LOPEZ *et al.*, 2008).

Tejera *et al.* (2004) verificaram, ainda, a redução da fixação biológica de nitrogênio e da atividade enzimática dos nódulos. Portanto, a elevação da salinidade (75 mM de NaCl) pode inibir completamente a nodulação radicular, uma vez que o aumento nas concentrações de sais solúveis no solo reduz a formação dos bacteróides, afeta negativamente a diferenciação das células do córtex radicular e a atividade enzimática dos nódulos (EL IDRISSEI; ABDELMOUMEN, 2008; GARG; MANCHANDA, 2008).

**Tabela 7** - Quadro de análise de variância da regressão para a matéria seca dos nódulos radiculares das plantas micorrizadas (+MZ) e não micorrizadas (-MZ)

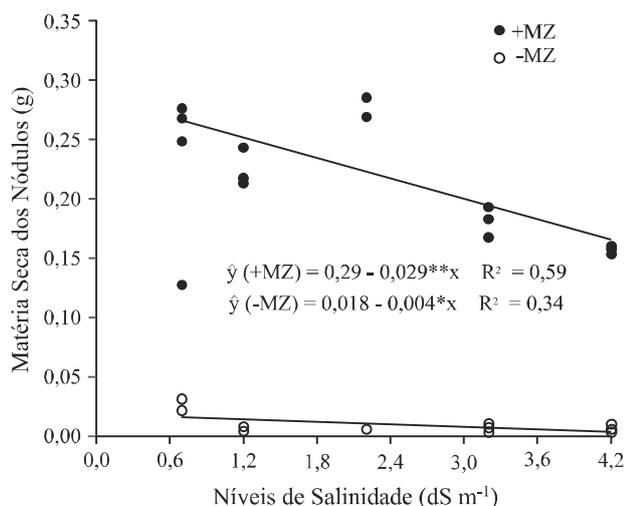
FV (+MZ)	GL	SQ	QM	F	p-valor
Modelo	1	0,021	0,021	18,96	0,0008
Resíduo	13	0,014	0,001		
Total	14	0,035			

FV (-MZ)	GL	SQ	QM	F	p-valor
Modelo	1	0,00032	0,00032	6,76	0,022
Resíduo	13	0,00061	0,00005		
Total	14	0,00093			

FV = Fator de variação; GL = Graus de liberdade; SQ = Soma de quadrados e QM = Quadrado médio

**Figura 3** - Efeitos da salinidade sobre a produção de matéria seca dos nódulos radiculares de mudas de sabiá (\* e \*\*\* significativos a 5 e 0,1%, respectivamente)



Analisando os dados da Tabela 8, observa-se o efeito significativo da interação da matéria orgânica versus micorriza para a característica avaliada matéria seca dos nódulos, demonstrando que a interação aumenta a massa vegetal das mudas de sabiá.

As plantas inoculadas com os FMAs aumentaram em 63% o peso seco dos nódulos radiculares (Tabela 8), indicando que os danos causados na nodulação pela salinidade são menores em plantas associadas aos FMAs. Segundo Garg e Manchanda (2008) o efeito deletério dos sais sobre a leghemoglobina é menor nas plantas micorrizadas, mas também, a maior disponibilidade de nutrientes, principalmente de N, P e K pode favorecer a formação dos nódulos.

**Tabela 8** - Valores médios do efeito da salinidade sobre a matéria seca dos nódulos de mudas de sabiá

	+MO		-MO	
	%			
+MZ	0,22 a		0,22 a	
-MZ	0,16 b		0,01 c	
FV	GL	QM	F	p-valor
MO	1	0,09	49,41	<0,0001
MZ	1	0,27	140,86	<0,0001
MO*MZ	1	0,09	45,48	<0,0001

FV = fonte de variação, GL= grau de liberdade, QM = quadrado médio. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey a 5%

A adubação orgânica promoveu acréscimo de 93% na matéria seca dos nódulos radiculares das plantas não inoculadas com os FMAs. Nas plantas inoculadas esse efeito não foi observado. Verificou-se que as plantas micorrizadas ou adubadas apresentaram comportamento semelhante na produção de matéria seca dos nódulos radiculares. E ainda, quando foi retirado o efeito da adubação orgânica, observou-se que as plantas micorrizadas apresentam um aumento no peso seco dos nódulos radiculares de 1.900%, em relação às não micorrizadas. Desta forma, pode-se considerar que o efeito benéfico da adubação orgânica e da inoculação com os FMAs está associado ao melhor fornecimento de nutrientes para as plantas.

O pH do solo após cultivo das plantas não micorrizadas apresentou resposta quadrática com aumento dos níveis de salinidade. No solo das plantas micorrizadas houve redução no pH até o nível de salinidade de 2,2 dS m<sup>-1</sup> com aumento após esse nível (Tabela 9 e Figura 4). Em média, o pH do solo após o cultivo das plantas micorrizadas foi menor que os das plantas não micorrizadas.

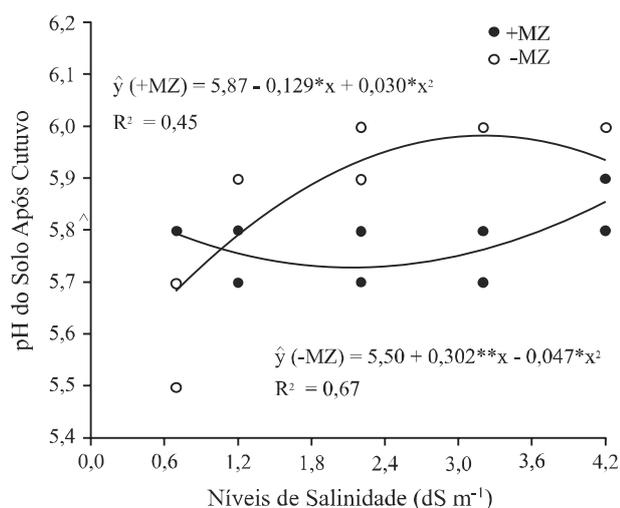
Em estudo com diversas espécies vegetais em substrato de rejeito de lavra de cassiterita resultado semelhante foi observado por Mendes Filho (2004). Xiao-Li *et al.* (1991) verificaram a redução do pH do solo após cultivo na interface raiz-solo e hifa-solo, porém concluíram que as plantas não micorrizadas acidificaram somente a interface raiz-solo, enquanto as micorrizadas acidificaram a interface raiz-solo e hifa-solo. Ainda de acordo com os autores, a exsudação de prótons H<sup>+</sup> proporcionada pela atividade dos FMAs e a quantidade micélio produzida é suficiente para reduzir o pH do solo.

**Tabela 9** - Quadro de análise de variância da regressão para o pH do solo após o cultivo das plantas micorrizadas (1) e não micorrizadas (2)

FV (1)	GL	SQ	QM	F	p-valor
Modelo	2	0,029	0,014	4,82	0,029
Resíduo	12	0,036	0,003		
Total	14	0,064			
FV (2)	GL	SQ	QM	F	p-valor
Modelo	2	0,183	0,091	12,09	0,001
Resíduo	12	0,091	0,008		
Total	14	0,274			

FV = Fator de variação; GL = Graus de liberdade; SQ = Soma de quadrados e QM = Quadrado médio

**Figura 4** - Efeitos da salinidade sobre o pH do solo após o cultivo de mudas de sabiá (\* e \*\* significativos a 5 e 1%)



Com base nos dados da Tabela 10, observou-se que as plantas micorrizadas e não adubadas apresentaram valores de pH do solo após cultivo menor que as plantas não micorrizadas e adubadas. Evidenciando a recorrência do efeito dos FMAs sobre a redução do pH do solo.

**Tabela 10** - Valores médios do efeito da salinidade sobre o pH do solo após o cultivo de mudas de sabiá

	+MO		-MO	
	----- % -----			
+MZ	5,78 b		5,72 b	
-MZ	5,83 a		5,87 a	
FV	GL	QM	F	p-valor
MO	1	0,0027	0,29	0,59
MZ	1	0,1500	16,32	0,0002*
MO*MZ	1	0,0327	3,55	0,0646

FV = fonte de variação, GL= grau de liberdade, QM = quadrado médio. Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey a 5%

## CONCLUSÕES

1. A salinidade reduz a colonização micorrízica e nodulação radicular das mudas de sabiá;
2. A intensificação das condições de estresse salino aumenta a dependência micorrízica das mudas de sabiá;

3. A colonização das mudas de sabiá com os FMAs proporciona aumentos na matéria seca dos nódulos radiculares da ordem de 1900%;
4. As micorrizas arbusculares reduzem do pH após o cultivo do solo; e
5. A adição de vermicomposto não promove efeito sobre a colonização micorrízica das mudas de sabiá. Entretanto, aumenta a produção de matéria seca dos nódulos radiculares.

## REFERÊNCIAS

- ABBASPOUR, H. Investigation of the Effects of Vesicular Arbuscular Mycorrhiza on Mineral Nutrition and Growth of *Carthamus tinctorius* under Salt Stress Conditions. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 57, n. 04, p. 526-531, 2010.
- ANDRADE, A. G.; COSTA, G. S.; FARIA, S. M. Deposição e decomposição da serapilheira em povoamentos de *Mimosa caesalpiniaefolia*, *Acacia mangium* e *Acacia holosericea* com quatro anos de idade em Planossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 04, p. 777-785, 2000.
- ALMEIDA, R. T.; VASCONCELOS, I.; NESS, R. L. L. Infecção micorrízica vesículo-arbuscular e nodulação de leguminosas arbóreas do Ceara, Brasil. **Ciência Agrônoma**, v. 17, n. 01, p. 89-97, 1986.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A. **Qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1999, 218 p. (Estudos da FAO, Irrigação e Drenagem, 29).
- BEZERRA, M. E. de J. *et al.* Biomassa, atividade microbiana e FMA em rotação cultural milho/feijão-de-corda utilizando-se águas salinas. **Revista Ciência Agrônoma**, v. 41, n. 04, p. 562-570, 2010.
- BUCHER, M. Functional biology of plant phosphate uptake at root and mycorrhiza interfaces. **New Phytologist**, v. 173, n. 01, p. 11-26, 2007.
- CARVALHO, L. M. *et al.* Effects of salinity and flooding on the infectivity of salt marsh arbuscular mycorrhizal fungi in *Aster tripolium* L. **Biogyl and Fertility of Soils**, v. 38, n. 03, p. 137-143, 2003.
- CAVENDER, N. D.; ATIYEH, R. M.; MICHAEL, K. Vermicompost stimulates mycorrhizal colonization of roots of *Sorghum bicolor* at the expence of plant growth. **Pedobiologia**, v. 47, n. 01, p. 85-89, 2003.
- CIOTTA, M. N. *et al.* Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, v. 33, n. 06, p. 1161-1164, 2003.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS. **Grupo de Coordenação Executiva das Operações Agrícola (GOA)**. 1991. Mimeografado.
- EL IDRISSE, M. M.; ABDELMOUMEN, H. Carbohydrates as carbon sources in rhizobia under salt stress. **Symbiosis**, v. 46, n. 01, p. 33-44, 2008.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos e análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 300 p.
- EVELIN, H.; KAPOOR, R.; GIRI, B. Arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of salt stress: a review. **Annals of Botany**, v. 104, n. 07, p. 1263-1280, 2009.
- FREITAS M. S. M.; MARTINS M. A.; CARVALHO A. J. C. Crescimento e composição da menta em resposta à inoculação com fungos micorrízicos arbusculares e adubação fosfatada. **Horticultura Brasileira**, v. 24, n. 01, p. 11-16, 2006.
- GARG, N.; MANCHANDA, G. Effect of Arbuscular Mycorrhizal Inoculation on Salt-induced Nodule Senescence in *Cajanus cajan* (Pigeonpea). **Journal Plant Growth Regulation**, v. 27, n. 02, p. 115-124, 2008.
- GIRI, B.; KAPOOR, R.; MUKERJI, K. G. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi and saliniton growth, biomass, and mineral nutrition of *Acacia auriculiformis*. **Biology and Fertility of Soils**, v. 38, n. 03, p. 170-175, 2003.
- GHEYI, H. R. Problemas de salinidade na agricultura irrigada. In: OLIVEIRA, T.; ASSIS, R. N.; ROMERO, R. E.; SILVA, J. R. C. (Ed.). **Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido**. Fortaleza: UFC, 2000. p. 329-345.
- HAMEEDA, B. *et al.* Effect of composts or vermicomposts on sorghum growth and mycorrhizal colonization. **African Journal of Biotechnology**, v. 06, n. 01, p. 9-12, 2007.
- LEAKE, J. R. *et al.* Networks of power and influence: the role of mycorrhizal mycelium in controlling plant communities and agroecosystem functioning. **Canadian Journal of Botany**, v. 82, n. 08, p. 1016-1045, 2004.
- LOPEZ, M. *et al.* Growth and nitrogen fixation in *Lotus japonicus* and *Medicago truncatula* under NaCl stress: Nodule carbon metabolism. **Journal of Plant Physiology**, v. 165, n. 06, p. 641-650, 2008.
- MAIA, G. N. **Caatinga: árvores e arbustos e suas utilidades**. São Paulo: D&Z 2004. 413 p.
- MARTINS, C. C.; CARVALHO, N. M.; OLIVEIRA, A. P. Quebra de dormência de sementes de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 14, n. 01, p. 05-08, 1992.
- MENDES FILHO, P. F. **Potencial de reabilitação do solo de uma área degradada, através da revegetação e do manejo microbiano**. 2004. 121 f. Tese (Doutorado em Solos) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- MIRANDA, J. C. C.; MIRANDA, L. N. **Seleção e recomendação de uso de espécies de fungos micorrízicos arbusculares**. Brasília: Embrapa, 2001. 3 p. (Comunicado Técnico 52).
- MOREIRA-SOUZA, M.; CARDOSO, E. J. B. N. Dependência micorrízica em *Araucária angustifolia* (Bert.) O. Ktze. sob doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 04, p. 905-912, 2002.
- QIANG-SHENG, W.; REN-XUE, X.; YING-NING, Z. Improved soil structure and citrus growth after inoculation with three arbuscular mycorrhizal fungi under drought stress. **European Journal of Soil Biology**, v. 44, n. 01, p. 122-128, 2008.
- RHOADES, J. P.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. **The use saline waters for crop production**. Roma: FAO, 1992, 133 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 48),
- RIBASKI, J. *et al.* **Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*) Árvore de Múltiplo uso no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas 2003. 4 p. (Comunicado Técnico, 104).
- SAINZ, M. J.; TABOADA-CASTRO, M. T.; VILARINO, A. Growth, mineral nutrition and mycorrhizal colonization of red clover and cucumber plants grown in a soil amended with composted urban wastes. **Plant Soil**, v. 205, n. 01, p. 85-92, 1998.
- SAS INSTITUTE. **SAS/STAT: users guide**, release 6.03. Cary: SAS Institute Inc., 1988.
- TEJERA, N. A. *et al.* Nitrogenase and antioxidant enzyme activities in *Phaseolus vulgaris* nodules formed by *Rhizobium tropici* isogenic strains with varying tolerance to salt stress. **Journal of Plant Physiology**, v. 161, n. 03, p. 329-338, 2004.
- VIERHEILIG, H. *et al.* Ink and vinegar, a simple technique for arbuscular mycorrhizal fungi. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 64, n. 12, p. 5004-5007, 1998.
- XIAO-LIN, L.; ECKHARD, G.; MARSCHNER, H. Phosphorus depletion and pH decrease at the root-soil and hyphae-soil interfaces of VA mycorrhizal white clover fertilized with ammonium. **New Phytologist**, v. 119, n. 03, p. 397-404, 1991.