

Desenvolvimento e nodulação natural de leguminosas arbóreas em solos de Pernambuco

Luiz Augusto Gomes de Souza⁽¹⁾, Egídio Bezerra Neto⁽²⁾, Carolina Etienne de Rosália Silva Santos⁽²⁾ e Newton Pereira Stamford⁽²⁾

⁽¹⁾Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Coordenação de Pesquisas em Ciências Agrônomicas, Av. André Araújo, 2936, Petrópolis, CEP 69083-000 Manaus, AM. E-mail: souzalag@inpa.gov.br ⁽²⁾Universidade Federal Rural de Pernambuco, Dep. de Biologia, Rua Dom Manuel de Medeiros, s/nº, Dois Irmãos, CEP 52171-900 Recife, PE. E-mail: egidio@ufrpe.br, etienne@ufrpe.br, npstamford@ufrpe.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar o desenvolvimento e nodulação natural de leucena (*Leucaena leucocephala*), palheteira (*Clitoria fairchildiana*) e sabiá (*Mimosa caesalpinifolia*), em solos com diferentes formas de uso da terra, da Zona da Mata de Pernambuco. Foram utilizados quatro solos de mata, seis solos de áreas agrícolas e dois de áreas degradadas. Os solos foram classificados, analisados quimicamente e distribuídos, 3 kg de solo por vaso, com duas plantas por vaso. A colheita das mudas foi feita aos 76, 70 e 62 dias, para leucena, palheteira e sabiá, respectivamente. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com 12 tratamentos e 3 repetições. Foram constatadas baixas frequências de populações nativas de rizóbios para leucena, 22% de plantas noduladas, em comparação à palheteira e sabiá, 100 e 86%, respectivamente. A palheteira apresentou nodulação natural abundante e eficiência na fixação de N₂, o que demonstra compatibilidade com as populações nativas de rizóbios. O crescimento, o desenvolvimento, a nodulação e o acúmulo de nitrogênio das três espécies foram favorecidos no solo de área agrícola com cobertura de *Calopogonium mucunoides*. A palheteira apresentou o maior potencial para fixação de N₂ e eficiência da nodulação com populações nativas de rizóbios, seguida por sabiá e leucena.

Termos para indexação: *Clitoria fairchildiana*, *Leucaena leucocephala*, *Mimosa caesalpinifolia*, fixação biológica de N₂, ecologia, rizóbio, biologia do solo.

Development and natural nodulation of legume trees in soils from Pernambuco, Brazil

Abstract – The objective of this work was to evaluate the development and natural nodulation of *Leucaena leucocephala*, *Clitoria fairchildiana* and *Mimosa caesalpinifolia*, in soils with different type of land use, in Zona da Mata of Pernambuco, Brazil. Soils of four forest areas, six agriculture areas and two degraded areas were used. Soils were classified, analyzed chemically and distributed in pots 3 kg soil per pot, two plants per pot. Plant evaluations were carried out at 76, 70 and 62 days, for *L. leucocephala*, *C. fairchildiana* and *M. caesalpinifolia*, respectively. The experimental design was completely randomized, with 12 treatments and 3 repetitions. Low frequencies of native populations of rhizobia were verified for *L. leucocephala*, with 22% of plants nodulated, compared to *C. fairchildiana* and *M. caesalpinifolia*, with 100% and 86%, respectively. *M. caesalpinifolia* presented abundant natural nodulation and efficiency in the fixation of N₂, demonstrating compatibility with native populations of rhizobia. Growth, development, nodulation as well as accumulation of nitrogen of the three species, were favored with soil under agricultural areas with covering of *Calopogonium mucunoides*. *C. fairchildiana* presented greater potential for fixation of N₂ and efficiency of the nodulation with native populations of rhizobia followed by *M. caesalpinifolia* and *L. leucocephala*.

Index terms: *Clitoria fairchildiana*, *Leucaena leucocephala*, *Mimosa caesalpinifolia*, biological N₂ fixation, ecology, rhizobia, soil biology.

Introdução

A associação ente bactérias e leguminosas reflete parâmetros evolutivos entre os hospedeiros, pelo reconhecimento de sinais moleculares e especificidade

simbiótica. Leguminosas primitivas eram árvores da região tropical e muitas espécies evoluíram e diversificaram-se em várias partes do mundo. Hoje, espécies introduzidas se desenvolvem bem longe de seus centros de origem. Uma leguminosa introduzida formará

nódulos e se beneficiará da fixação biológica de N₂ (FBN), em dado local, se populações nativas de rizóbios compatíveis estiverem presentes no solo. A eficiência do processo depende, porém, de fatores da planta, da bactéria, do clima e do solo.

O estímulo ao plantio de leguminosas arbóreas, como alternativa para recuperar solos e para reflorestamento, deve ser precedido por pesquisa que avalie o potencial de nodulação das espécies em condições locais e conseqüente prospecção de microrganismos do solo com potencial para uso como inoculante.

Ao se cultivar leguminosas introduzidas, a espécie pode associar-se com rizóbio nativo ou com estirpes de rizóbio introduzidas no solo por meio de inoculação nas sementes (Bala et al., 2003). A diversidade genética de árvores fixadoras de nitrogênio, bem como sua capacidade de nodulação, é um fator a ser considerado na recuperação de solos em sistemas de produção sustentáveis. Algumas estimativas sobre a contribuição da FBN para leguminosas arbóreas foram efetuadas, e entre gêneros de maior potencial estão *Acacia*, *Albizia*, *Calliandra*, *Gliricidia*, *Inga*, *Leucaena* e *Prosopis* (Fortes et al., 2004).

Quanto aos rizóbios, após extensivas análises de características fenotípicas, genotípicas e moleculares, os isolados obtidos de leguminosas arbóreas nativas estão classificados dentro dos seguintes gêneros: *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Sinorhizobium* e *Mesorhizobium* (Zahran, 2001). No entanto, à medida que novos estudos surgem são propostas reclassificações das estirpes, com novos gêneros, como *Burkholderia* (Vandame et al., 2002) *Azorhizobium* e *Methylobacterium* (Menna et al., 2006).

A área litorânea de Pernambuco, conhecida como Zona da Mata, era originalmente recoberta por Mata Atlântica, e, junto com áreas dos Estados de Alagoas, Paraíba e Rio Grande do Norte compõem um centro de endemismo que tem sido intensivamente destruído. Em seu histórico da ocupação, práticas agrícolas seculares, extração de madeira, queimadas, estabelecimento de pastos e canaviais e a expansão urbana, alteraram e reduziram a floresta original (Barbosa & Thomas, 2002). Em muitas áreas, o final do processo de desmatamento foi a erosão e degradação do solo com dominância de gramíneas e outras invasoras. Atualmente, a Floresta Atlântica, que originalmente recobria 16% do território pernambucano, encontra-se bastante reduzida e dispersa em fragmentos de diferentes tamanhos. Comparado a outras áreas da

Floresta Atlântica no Brasil, o centro de endemismo de Pernambuco é o mais desmatado, o mais desconhecido e o menos protegido (Araújo & Tabarelli, 2002). Resta menos de 5% da vegetação original (Vianna et al., 1997), com muitas áreas improdutivas que necessitam de práticas de recuperação da cobertura vegetal.

Práticas de reflorestamento e recuperação de solos com leguminosas arbóreas se constituem em opção na recuperação de áreas degradadas e no estabelecimento de corredores ecológicos no litoral de Pernambuco. Muitas dessas árvores têm rápido crescimento, múltiplo uso, são de fácil propagação, apresentam potencial para incremento genético e significância ecológica pela FBN (Franco & Faria, 1997).

A prospecção de nodulação natural de espécies arbóreas, em solos locais, associada a um programa de prospecção de novas estirpes, com posterior aplicação de testes de eficiência agrônômica com estirpes potenciais e estirpes recomendadas, são importantes para a definição de quais espécies podem ser plantadas para a recuperação de áreas alteradas. Assim, em razão das diferenças na habilidade nodulífera de leguminosas arbóreas com estirpes nativas, a bioprospecção de rizóbios em solos locais pode fornecer subsídios sobre a eficiência da nodulação natural e fixação de nitrogênio das espécies.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desenvolvimento e a nodulação natural de mudas de leucena (*Leucaena leucocephala*), palheteira (*Clitoria fairchildiana*) e sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia*), em solos da Zona da Mata de Pernambuco com diferentes formas de uso da terra: mata, áreas agrícolas e áreas degradadas.

Material e Métodos

Foram coletadas 12 amostras de solos (0–20 cm) em municípios do litoral de Pernambuco, entre julho e agosto de 2003; considerou um gradiente de coberturas para caracterizar as alterações da paisagem: quatro amostras de solos de mata, seis amostras de solos de áreas agrícolas e duas amostras de solos de áreas degradadas (Tabela 1). As amostras foram secadas ao ar, passadas em peneira com malhas de 2 cm e distribuídas na proporção de 3 kg por vaso.

Os solos foram classificados de acordo com Lemos & Santos (1996), Burgos et al. (1998) e Embrapa (1999) (Tabela 2). Foram determinadas as propriedades físicas e químicas dos solos (Tabelas 2, 3 e 4). A análise textural (método da pipeta) e a da matéria orgânica foram

realizadas no Centro de Pesquisas de Solos do Departamento de Agronomia da UFRPE, em Recife, PE, segundo métodos descritos em Embrapa (1997). As demais análises foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo, da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, em Recife. O pH foi

determinado em água (1:2,5); o Ca, Mg e Al foram extraídos com KCl 1N; o K e o Na foram determinados por fotometria de chama; o P foi extraído com o extrator Mehlich 1 e determinado por espectrofotometria.

A fim de determinar a presença de rizóbios que podem nodular leguminosas arbóreas, nas amostras de solo,

Tabela 1. Localização e descrição das formas de uso da terra nas áreas de estudo da Zona da Mata de Pernambuco.

Área/município	Coordenadas geográficas	Descrição sucinta da área amostrada
Área de mata		
1. Cabo de Santo Agostinho	08°18'37,6''S 34°51'89,9''W	Imediações da Mata do Zumbi. Árvores com 8 m de altura, em um sítio abandonado, dentro do contínuo de mata.
2. Camaragibe	08°01'22,2''S 34°59'19,0''W	Mata do Prive. Sob a copa de uma árvore não leguminosa, de 12 m de altura. Solo com presença de minhocas.
3. Recife	08°01'00,1''S 34°56'67,8''W	Parque Ecológico Dois Irmãos. Árvores com 10 m de altura. Presença de cipós e espessa camada de liteira.
4. São Lourenço da Mata	08°47'21,4''S 34°03'28,4''W	Mata secundária próxima à BR 408. Trecho com plantas lenhosas pioneiras, em fase ativa da sucessão vegetal.
Área de agricultura		
1. Camaragibe	07°56'74,3''S 35°01'43,8''W	Estrada de Aldeia, PE 27, Km 18. Área plantada com milho e mandioca, intercalada por árvores de acerola.
2. Chã de Alegria	08°53'04,2''S 35°37'35,4''W	Área cultivada com mandioca e fava (<i>Vicia faba</i>), sem capina, com presença de plantas invasoras.
3. Carpina	07°51'20,2''S 35°14'16,8''W	Plantio da leguminosa feijão-macassar (<i>Vigna unguiculata</i>). As plantas encontravam-se em fase de produção e colheita.
4. Paudalho	07°52'25,2''S 35°32'18,9''W	Estrada vicinal da BR 404, com cobertura densa da leguminosa calopogônio (<i>Calopogonium mucunoides</i>).
5. Cabo de Santo Agostinho	08°18'95,0''S 35°00'84,2''W	Monocultivo de cana-de-açúcar, sem a presença de plantas invasoras.
6. Carpina	07°53'21,8''S 35°16'85,7''W	Área experimental da UFRPE, cultivada há mais de 5 anos com cana-de-açúcar.
Área degradada		
1. Camaragibe	08°01'62,7''S 34°59'23,4''W	Encosta no morro Santo Antônio, em área colonizada por invasoras, principalmente <i>Brachiaria</i> sp. e leguminosas herbáceas ocasionais como <i>Desmodium</i> sp.
2. Paulista	07°58'73,0''S 34°55'73,1''W	Área de baixada, adjacente à BR 101. Solo exposto pela erosão intensa, com presença de gramíneas e também leguminosas herbáceas dos gêneros <i>Mimosa</i> e <i>Zornia</i> .

Tabela 2. Classificação, análise granulométrica e textura de solos coletados em áreas com diferentes formas de uso da terra, na Zona da Mata de Pernambuco.

Cobertura do solo	Classes de solo	Análise granulométrica (g kg ⁻¹)			Classificação textural
		Areia	Silte	Argila	
Mata 1	Argissolo Vermelho-Amarelo	785	56	159	Franco-arenoso
Mata 2	Argissolo Vermelho-Amarelo	635	166	199	Franco-arenoso
Mata 3	Espodossolo	841	45	114	Areia franca
Mata 4	Latossolo Vermelho-Amarelo	392	298	310	Franco-argiloso
Agricultura 1	Argissolo Vermelho-Amarelo	705	71	224	Franco-argilo-arenoso
Agricultura 2	Latossolo Amarelo	458	184	358	Franco-argiloso
Agricultura 3	Argissolo Vermelho-Amarelo	765	61	174	Franco-arenoso
Agricultura 4	Latossolo Vermelho-Amarelo	386	306	308	Franco-argiloso
Agricultura 5	Latossolo Vermelho-Escuro	158	174	668	Muito argiloso
Agricultura 6	Argissolo Vermelho-Amarelo	765	71	164	Franco-arenoso
Degradada 1	Latossolo Vermelho-Amarelo	595	66	339	Franco-argilo-arenoso
Degradada 2	Alissolo Amarelo	522	140	338	Franco-argilo-arenoso

foram conduzidos três experimentos em casa de vegetação, de agosto a dezembro de 2003. As leguminosas estudadas foram leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit. Mimosoideae, Eumimosoideae), palheteira (*Clitoria fairchildiana* Howard Papilionoideae, Phaseoleae) e sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth. Mimosoideae, Eumimosoideae). Cada espécie constituiu um experimento.

As sementes de leucena foram procedentes de Manaus, AM, as de palheteira, de Recife, PE e as de sabiá, de Piracicaba, SP. As sementes de sabiá e leucena foram submetidas a choque térmico, com água em ebulição, seguido da imersão em água à temperatura ambiente por 24 horas, antes da semeadura em areia lavada e autoclavada. Foi utilizado pó de coco como cobertura de semeio. A semeadura foi a 1 cm de profundidade em linhas com parcelas de 50 sementes.

Aos 15 dias após a semeadura, foi feita a transferência de duas plântulas de cada espécie para os vasos. Durante os experimentos, o comprimento do caule e o diâmetro do colo das mudas foi medido regularmente, com régua e um paquímetro digital. Quanto a leucena, as medições foram aos 6, 28, 46 e 76 dias, após o transplantio. Em palheteira, aos 9, 29, 49 e 70 dias, e em sabiá, aos 11, 29, 52 e 62 dias.

Na condução do ensaio, foi efetuada irrigação diária dos vasos a cerca de 80% de capacidade de campo com remoção regular de plantas invasoras. A colheita foi realizada aos 76, 70 e 62 dias, para leucena, palheteira e sabiá, respectivamente. Foram determinados o número de nódulos e a biomassa da parte aérea das raízes e dos nódulos, após a secagem em estufa a 65°C por 72 horas. Determinações da concentração de N foliar foram realizadas no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas

Tabela 3. Potencial hidrogeniônico, grau de acidez, teores de fósforo e de bases trocáveis em classes de solos coletados em áreas com diferentes formas de uso da terra, na Zona da Mata de Pernambuco.

Cobertura do solo	pH (H ₂ O)	Acidez	P (mg dm ⁻³)	Ca	----- (cmol _c dm ⁻³) -----		
					Mg	K	Na
Mata 1	5,24	Moderada	2	1,15	0,90	0,06	0,05
Mata 2	4,86	Elevada	3	1,10	1,40	0,17	0,05
Mata 3	4,38	Elevada	5	0,60	0,90	0,12	0,11
Mata 4	5,49	Moderada	10	2,25	1,90	0,44	0,15
Agricultura 1	5,33	Moderada	9	1,15	0,50	0,13	0,04
Agricultura 2	4,40	Elevada	3	0,35	0,50	0,12	0,10
Agricultura 3	5,90	Fraca	14	2,30	1,60	0,09	0,06
Agricultura 4	5,28	Moderada	20	2,50	2,70	0,19	0,08
Agricultura 5	4,70	Elevada	3	1,60	1,85	0,34	0,05
Agricultura 6	5,92	Fraca	26	2,40	1,75	0,30	0,07
Degradada 1	5,35	Moderada	2	1,25	0,75	0,07	0,04
Degradada 2	4,76	Elevada	1	0,10	0,25	0,03	0,03

Tabela 4. Características químicas do solo, capacidade de troca de cátions e outras propriedades químicas de solos coletados em áreas com diferentes formas de uso da terra, da Zona da Mata de Pernambuco⁽¹⁾.

Cobertura do solo	MO (g kg ⁻¹)	Al ³⁺	----- (cmol _c dm ⁻³) -----			V ----- (%) -----	m	NC (t ha ⁻¹)
			H+Al	S	CTC			
Mata 1	5,7	0,15	4,53	2,2	6,7	32 (D)	6	0,5
Mata 2	19,2	0,50	7,26	2,7	10,0	27 (D)	16	1,0
Mata 3	7,9	1,60	12,62	1,7	14,4	12 (D)	48	3,0
Mata 4	8,7	0,20	2,72	4,7	7,5	64 (E)	4	0,5
Agricultura 1	3,9	0,40	5,93	1,8	7,8	23 (D)	18	1,0
Agricultura 2	18,2	1,50	6,10	1,1	7,2	15 (D)	58	3,0
Agricultura 3	4,9	0,00	4,37	4,1	8,4	48 (D)	0	0,0
Agricultura 4	22,8	0,15	6,43	5,5	11,9	46 (D)	3	0,5
Agricultura 5	21,6	1,05	9,48	3,8	13,3	29 (D)	21	2,0
Agricultura 6	7,3	0,05	3,95	4,5	8,5	53 (E)	1	0,0
Degradada 1	17,0	0,35	6,76	2,1	8,9	24 (D)	14	0,5
Degradada 2	2,6	0,90	1,56	0,4	2,0	21 (D)	69	4,0

⁽¹⁾MO: matéria orgânica; H+Al: acidez potencial; S: soma de bases; CTC: capacidade de troca de cátions; V: saturação de bases; m: saturação de alumínio; NC: necessidade de calagem; D: distrófico; E: eutrófico.

da UFRPE, pelo método de Kjeldahl, empregando-se digestão sulfúrica (Bezerra Neto & Barreto, 2004). Os valores da biomassa da parte aérea das plantas foram usados no cálculo do N total acumulado na parte aérea.

A fim de preservar as condições originais dos solos, não foi realizada correção com fertilizantes. Cada solo correspondeu a um tratamento. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, com 12 tratamentos (solos) e 3 repetições, empregando-se o teste de Tukey na comparação das médias.

Dados em porcentagem foram transformados para $\arcsin(x + 0,01)^{0,5}$ e dados de contagem do número de nódulos e da biomassa seca dos nódulos foram transformados para $(x + 0,01)^{0,5}$. Foi realizada regressão linear da biomassa seca dos nódulos e N total acumulado na parte aérea para estimar a eficiência da simbiose estabelecida pelas leguminosas arbóreas e os rizóbios nativos dos solos.

Resultados e Discussão

Durante o período experimental, as mudas de leucena, palheteira e sabiá se desenvolveram normalmente e apresentaram índice de sobrevivência de 100%. O crescimento em comprimento do caule das três espécies foi favorecido em solo com cobertura da leguminosa calopogônio, designado como Agricultura 4, comparado aos outros solos estudados (Figura 1). Neste solo, as mudas de leucena e de sabiá alcançaram 52,2 e 52,9 cm, respectivamente, aos 76 e 62 dias após o transplantio, superando ($p < 0,01$) o crescimento observado nos demais solos. No solo Agricultura 4, a palheteira alcançou 42,2 cm aos 70 dias do transplantio, crescimento comparável aos solos Agricultura 3 e de Mata 3 e 4, o que indica maior adaptação a condições de solo. Em todas as espécies, o menor comprimento do caule das plantas foi observado no solo de área Degradada 2, embora, nestas condições, as medidas de comprimento do caule não diferissem significativamente de alguns solos estudados.

O crescimento em diâmetro do colo das mudas das três espécies também foi favorecido no solo Agricultura 4 (Figura 2). Assim, neste solo, as mudas de leucena e palheteira, com 8 e 9,1 mm de diâmetro, respectivamente, superaram ($p < 0,01$) os outros solos avaliados. Para a leguminosa sabiá, nos solos Agricultura 4 (leguminosa calopogônio) e Agricultura 6 (cana-de-açúcar), observaram-se os maiores diâmetros das mudas com valores médios de 5,9 e 4,3 mm, respectivamente.

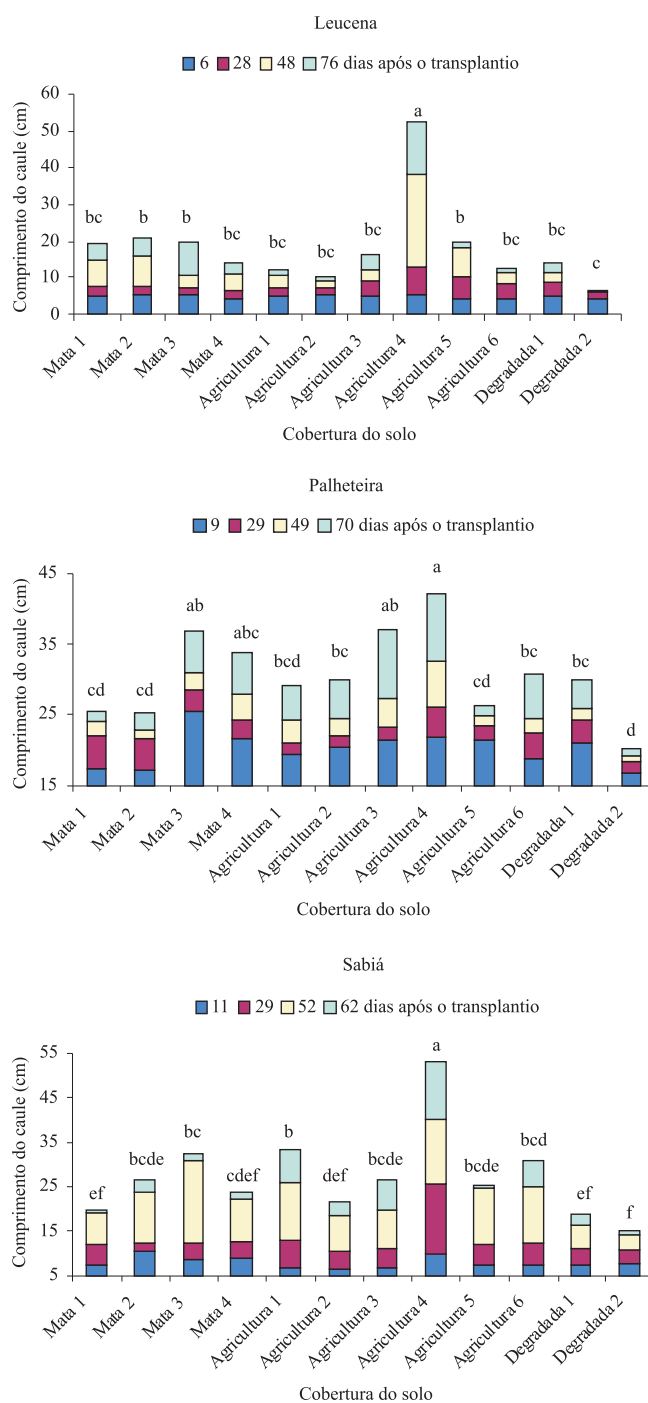


Figura 1. Aumentos médios no comprimento do caule de mudas de leucena, palheteira e sabiá, aos 76, 70 e 62 dias de transplantio, respectivamente, em solos coletados em áreas com diferentes formas de uso da terra, da Zona da Mata de Pernambuco. Os coeficientes de variação foram 24,55, 10,54 e 10,54% para leucena, palheteira e sabiá, respectivamente. Comparações feitas no último dia da avaliação de cada espécie. Médias com mesma letra não diferem entre si pelo teste F ($p < 0,01$).

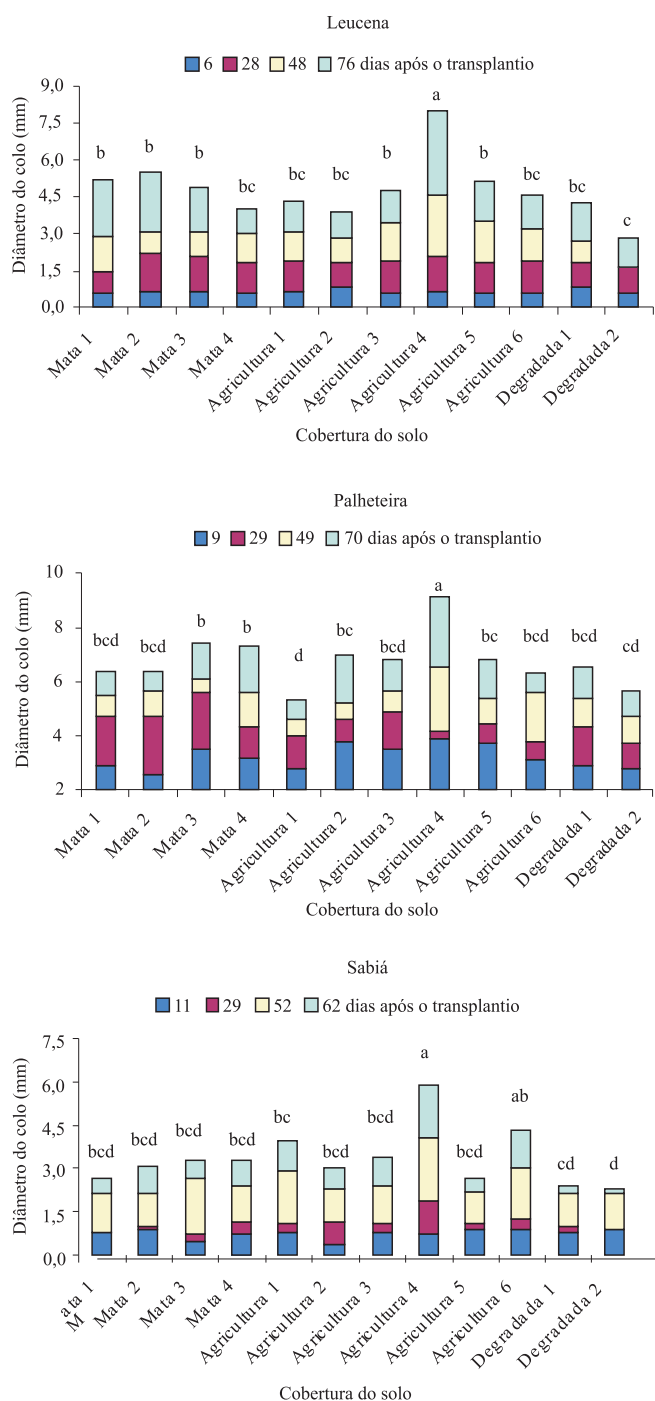


Figura 2. Aumentos médios no diâmetro do colo de mudas de leucena, palheteira e sabiá, aos 76, 70 e 62 dias de transplântio, respectivamente, em solos coletados em áreas de diferentes formas de uso da terra, da Zona da Mata de Pernambuco. Os coeficientes de variação foram 12,65, 7,58 e 17,07% para leucena, palheteira e sabiá, respectivamente. Comparações feitas no último dia da avaliação de cada espécie. Médias com mesma letra não diferem entre si pelo teste F ($p < 0,01$).

No solo Agricultura 4, a cobertura proporcionada pelo calopogônio foi relacionada à boa fertilidade deste solo (Latossolo Vermelho-Amarelo) e, foram observados valores elevados de capacidade de troca catiônica (CTC), soma e saturação de bases, baixos níveis de alumínio, acidez moderada e teores medianos de fósforo (Tabelas 3 e 4).

A propriedade das leguminosas de melhorar as características químicas dos solos onde se desenvolvem foi demonstrada por Teklehaimanot & Anim-Kwapong (1996) com *Albizia zigia* em solos da África. Do mesmo modo, foi observado que no solo Agricultura 4, as três espécies apresentaram maior biomassa na parte aérea e nas raízes e o desenvolvimento das plantas superou o verificado em outros solos (Tabela 5). Foi observado pouco desenvolvimento das plantas nos solos amostrados em áreas degradadas, especialmente quanto à biomassa seca da parte aérea da leguminosa sabiá. Nesta espécie, a biomassa da parte aérea em solo de Mata 3 (Espodosolo) superou os demais, o que evidencia seu potencial de adaptação a esta classe de solo. A palheteira apresentou as maiores médias de desenvolvimento da parte aérea e das raízes.

Entre as espécies estudadas, verificou-se menor desenvolvimento radicular da leucena o que evidencia maior dificuldade de estabelecimento dessa espécie nos solos amostrados (Tabela 5). Vale et al. (1996) verificaram que o desenvolvimento das raízes de leucena é sensível à acidez do solo e ao teor de alumínio, o que pode explicar o pouco desenvolvimento das raízes. Com elevada rusticidade e comportamento agressivo, a leucena é uma árvore cujo cultivo se expandiu na região tropical e é a de melhor desempenho dentro do gênero, que reúne 22 espécies, que crescem sob as mais variadas condições de clima e solo (Hughes, 1998).

Apesar da época de colheita diferenciada de cada espécie, a biomassa seca da parte aérea da palheteira apresentou aumento relativo no desenvolvimento de 53,2 e 38,5% maior que o de leucena e sabiá, respectivamente, o que evidencia boa capacidade de prosperar em diferentes solos, mesmo sem insumos. Para a produção relativa da biomassa seca da raiz, a palheteira foi 58,3 e 73,3% maior que leucena e sabiá, respectivamente.

A leucena apresentou maior dificuldade de nodulação por estirpes de rizóbios nativas dos solos da Zona da Mata de Pernambuco, com média de 1 nódulo por vaso (Tabela 6), e ocorrência natural de rizóbios nas amostras somente em 22% das plantas analisadas, enquanto no

sabiá, foi de 86% e, na palheteira, 100%. Em seis dos solos coletados na Zona da Mata pernambucana, as mudas de leucena não nodularam e o baixo número de nódulos correspondeu também à baixa biomassa seca de nódulos, não ultrapassando 30 mg vaso⁻¹. Bala et al. (2003) avaliaram a nodulação natural de leucena em solos de diferentes partes do mundo e a espécie formou nódulos em apenas 60% deles. Sanginga et al. (1985) estudaram a nodulação da leucena em solo franco-arenoso da Nigéria e também constataram população de rizóbios com baixa competitividade e 78% dos nódulos foram formados pela estirpe adicionada ao solo.

Essa baixa nodulação, em solos sem adição de rizóbio, foi explicada por Duhoux & Dommergues (1985) pela alta especificidade hospedeira da leucena. Espécies com especificidade em relação aos rizóbios têm maiores respostas à inoculação de estirpes selecionadas que espécies promíscuas (pouco específicas). Leguminosas dos gêneros *Parapiptadenia*, *Sesbania* e *Leucaena* são específicas quanto ao grupo de inoculação e apresentam maior compatibilidade com estirpes de rizóbios isoladas do próprio hospedeiro (Fiori et al., 1998). Porém, em outro trabalho foi observado que a

leucena pode nodular com mais de um gênero de rizóbios e, no Brasil, são recomendadas estirpes de *Bradyrhizobium elkanii* e *Rhizobium* sp. para uso como inoculante comercial para esta espécie de planta (Menna et al., 2006).

Na palheteira, a média, entre os solos, de 155 nódulos por vaso (Tabela 6) é evidência de baixa especificidade hospedeira quanto à nodulação e corresponde a alta infectividade e desenvolvimento de biomassa nodular. A boa nodulação da palheteira nos solos incluiu solos coletados sob mata, solos agrícolas com mandioca (Agricultura 1 e 2) e com cobertura de leguminosas e mesmo solo procedente da área Degradada 1, que evidencia a compatibilidade desta espécie com os rizóbios nativos.

As mudas da espécie sabiá não nodularam quando cresceram no solo de Mata 4 (Tabela 6) e, nos solos de Agricultura 5 (com cana-de-açúcar) e Degradado 2, somente dois de cada três vasos apresentaram mudas noduladas. A melhor formação de nódulos nessa espécie ocorreu nos solos Agricultura 4 e 6, o que está de acordo com Jankovski (1989), que observou abundante nodulação do sabiá em solos do Ceará, Piauí e Rio

Tabela 5. Biomassa seca da parte aérea e da raiz de mudas de leucena, palheteira e sabiá, em solos coletados em áreas com diferentes formas de uso da terra, da Zona da Mata de Pernambuco, aos 76, 70 e 62 dias de transplântio, respectivamente, sem fertilização⁽¹⁾.

Cobertura do solo	Biomassa seca da parte aérea (g vaso ⁻¹)			Biomassa seca da raiz (g vaso ⁻¹)		
	Leucena	Palheteira	Sabiá	Leucena	Palheteira	Sabiá
Mata 1	2,94bc	4,49e	2,21de	1,64bc	4,13cd	0,72bcd
Mata 2	3,11bc	4,97de	2,49de	1,53bc	2,88cd	0,53cd
Mata 3	3,36b	9,17b	4,62bc	1,82bc	6,99ab	1,33b
Mata 4	1,96bc	8,30bc	2,45de	1,39bc	3,57cd	1,13bcd
Agricultura 1	1,86bc	4,89de	5,13b	1,30bc	1,86d	1,31bc
Agricultura 2	1,48bc	5,50cde	2,40de	1,07bc	3,67cd	0,88bcd
Agricultura 3	2,45bc	7,85bcd	3,56bcd	1,32bc	2,80cd	0,90bcd
Agricultura 4	12,68a	15,25a	14,61a	5,42a	9,17a	2,90a
Agricultura 5	3,22bc	5,81cde	3,03de	2,40b	5,16bc	1,04bcd
Agricultura 6	1,87bc	5,16cde	5,63b	1,19bc	2,65cd	1,21bc
Degradada 1	1,78bc	5,75cde	1,69e	0,96bc	3,59cd	0,60bcd
Degradada 2	0,63c	2,62e	1,14e	0,26c	2,15d	0,41d
Média dos solos	3,11	6,65	4,09	1,69	4,05	1,08
Teste de F	36,79**	26,92**	85,89**	10,57**	14,67**	17,26**
CV (%)	28,64	16,31	16,39	40,38	23,79	25,02

⁽¹⁾Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,01).

Grande do Norte, onde essa espécie predomina em solos arenosos e profundos. As mudas de sabiá que se desenvolveram nos solos sob Agricultura 1, 2, 3, 4 e 6, apresentaram biomassa nodular seca destacável comparada aos solos sob mata ou degradados. A inoculação de rizóbios em sabiá em solos de Pernambuco foi pesquisada por Stamford & Silva (2000), que estudaram o efeito da calagem e da inoculação em mudas em Argissolo Vermelho-Amarelo, textura argilo-

arenosa, coletado em Goiana, Município da Zona da Mata de Pernambuco, em que comprovaram a presença de rizóbios nativos compatíveis com a eficiência das estirpes inoculadas, NFB 539, NFB 577 e NFB 578.

As determinações efetuadas para o nitrogênio foliar e total das leguminosas arbóreas estudadas encontram-se na Tabela 7. Nas folhas, na média dos solos, a maior concentração de N foliar foi verificada em palheteira. Quanto a leucena, que teve nodulação irregular, as

Tabela 6. Nodulação (número e biomassa seca dos nódulos) em mudas de leucena, palheteira e sabiá, em solos coletados em áreas com diferentes formas de uso da terra, na Zona da Mata de Pernambuco, aos 76, 70 e 62 dias de transplantio, respectivamente, sem fertilização⁽¹⁾.

Cobertura do solo	Número de nódulos			Biomassa seca dos nódulos (g vaso ⁻¹)		
	Leucena	Palheteira	Sabiá	Leucena	Palheteira	Sabiá
Mata 1	4a	79bc	20bcd	0,03a	0,11d	0,06cde
Mata 2	0a	176ab	5cde	0,00a	0,19cd	0,04cde
Mata 3	0a	189ab	4cde	0,00a	0,42abc	0,07cde
Mata 4	6a	276a	0e	0,03a	0,33abcd	0,00e
Agricultura 1	0a	186ab	22bc	0,00a	0,31abcd	0,28ab
Agricultura 2	0a	135ab	20bc	0,00a	0,36abcd	0,18abc
Agricultura 3	1a	298a	38b	0,02a	0,51ab	0,22abc
Agricultura 4	2a	269a	96a	0,01a	0,56a	0,16abcd
Agricultura 5	0a	25c	2de	0,00a	0,13cd	0,09bcde
Agricultura 6	1a	58bc	48ab	0,01a	0,31abcd	0,34a
Degradada 1	1a	164ab	4cde	0,03a	0,25bcd	0,09bcde
Degradada 2	0a	9c	4cde	0,00a	0,07d	0,02de
Média dos solos	1	155	22	0,01	0,30	0,13
Teste F	1,25 ^{ns}	13,24 ^{**}	19,36 ^{**}	0,99 ^{ns}	6,96 ^{**}	8,30 ^{**}
CV (%)	174,96	19,21	29,19	46,76	34,21	27,34

⁽¹⁾Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,01). ^{ns}Não-significativo. ^{**}Significativo a 1% de probabilidade.

Tabela 7. Teor de N foliar e N total acumulado na parte aérea de mudas de leucena, palheteira e sabiá, em solos coletados em áreas com diferentes formas de uso da terra, na Zona da Mata de Pernambuco, aos 76, 70 e 62 dias de transplantio, respectivamente, sem fertilização⁽¹⁾.

Cobertura do solo	Teor de nitrogênio foliar (g kg)			N total acumulado na parte aérea (mg vaso ⁻¹)		
	Leucena	Palheteira	Sabiá	Leucena	Palheteira	Sabiá
Mata 1	23,6ab	29,3bc	25,9a	69,60b	132,39de	56,74de
Mata 2	25,0ab	28,4bc	19,6a	69,23b	141,10de	56,27de
Mata 3	16,1b	33,5ab	22,9a	51,57bc	306,34bc	105,29bcd
Mata 4	30,8a	34,7ab	29,2a	49,92bc	288,16bc	71,37cde
Agricultura 1	18,0ab	37,8ab	28,9a	32,94bc	179,18cde	148,87bc
Agricultura 2	18,8ab	39,2ab	28,5a	27,83bc	218,37bcd	68,17de
Agricultura 3	21,6ab	41,3a	21,9a	54,12bc	323,03b	84,45bcde
Agricultura 4	21,0ab	34,5ab	30,0a	265,13a	525,98a	435,76a
Agricultura 5	20,0ab	16,6d	21,7a	64,37bc	95,41de	65,87de
Agricultura 6	22,2ab	32,3abc	26,7a	41,49bc	174,95cde	152,00b
Degradada 1	20,3ab	34,2ab	19,0a	36,95bc	196,88bcd	33,10de
Degradada 2	19,0ab	22,5cd	21,3a	11,97c	59,70e	24,72e
Média dos solos	21,4	32,0	24,6	64,60	220,12	108,55
Teste F	2,41 [*]	12,70 ^{**}	1,23 ^{ns}	35,84 ^{**}	23,72 ^{**}	52,01 ^{**}
CV (%)	9,50	5,82	12,62	29,33	20,42	24,43

⁽¹⁾Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,01; p<0,05). ^{ns}Não-significativo. ^{*} e ^{**}Significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

mudas no solo de Mata 4 tiveram concentrações de N foliar superior (30%) às do solo de Mata 3 ($p < 0,05$) (Tabela 7). O valor de N total acumulado nas mudas de leucena no solo Agricultura 4, favorecidas pelo maior desenvolvimento da biomassa da parte aérea, foi superior aos demais solos estudados.

Em palheteira em condições naturais, sem fertilização ou adição de rizóbios, a concentração de N foliar de 4,13% em solo sob Agricultura 3 (cobertura da leguminosa feijão-macassar) foi superior ($p < 0,01$) à das mudas desenvolvidas nos solos de Mata 1 e 2, Agricultura 5 e Degradado 2 (Tabela 7). Para esta espécie, na parte aérea das mudas que se desenvolveram nos solos de Mata 3 e 4 nos solos Agricultura 1, 2, 6 e de área Degradada 1, o N foliar apresentou valores acima da média dos solos (3,20%). O maior acúmulo de N total na palheteira foi observado no solo Agricultura 4 (Tabela 7), que superou os demais solos. Entretanto, houve diferença significativa para o N total acumulado na parte aérea da palheteira em solos de mata e, nos solos de Mata 3 e 4, o suprimento de N para as folhas foi maior ($p < 0,01$) que nos de Mata 1 e 2.

Quanto a leguminosa sabiá, a concentração de N foliar na parte aérea não diferiu entre os solos avaliados e a média foi de 2,46%. É possível que, nessa espécie, a seleção de estirpes de rizóbios eficientes e adaptadas a solos locais contribua para um incremento na absorção de N pela via simbiótica. Para a determinação do N total na parte aérea da espécie sabiá, as diferenças entre solos foram significativas e as mudas no solo Agricultura 4 apresentaram valores superiores ($p < 0,01$) aos verificados em outros solos.

A espécie de leguminosa sabiá é nativa do Nordeste, e no Ceará, há cultivos intensivos para produção de estacas, varas e lenha, ocupando 30 mil hectares (Leal Júnior et al., 1999). Os benefícios da dupla inoculação de rizóbios e micorrizas na espécie sabiá foram demonstrados, identificando-se o FMA *Acaulospora longuta* como eficiente para a espécie em solos com diferentes texturas (Mergulhão et al., 2001). Mesmo sem adição de rizóbio, a leguminosa sabiá tem aptidão para recuperação de solos e, em Planossolo, Andrade et al. (2000) observaram que o acúmulo anual de serapilheira de 10,1 t ha⁻¹ de biomassa, em plantios de sete anos,

proporciona adições ao solo de 185 kg ha⁻¹ de N e 6,8 kg ha⁻¹ de P.

Ao se considerar as variáveis de crescimento, biomassa, nodulação e distribuição do N total analisadas para leucena, palheteira e sabiá, é possível classificar o potencial ecológico das espécies para a fixação de N₂ e a eficiência da nodulação natural nos solos do litoral Pernambucano. A palheteira apresenta o maior potencial, seguida por sabiá e leucena.

A biomassa seca dos nódulos e o N total na parte aérea das espécies apresentaram correlação significativa para a palheteira (Figura 3), o que permite concluir sobre a eficiência do processo da nodulação e fixação de N₂ com populações nativas de rizóbios nos solos estudados.

Foi também verificado que a relação entre nodulação e N total em leucena e sabiá não foi significativa. Campêlo & Campêlo (1970) identificaram um mesmo grupo de inoculação cruzada para leucena e sabiá (ambas da tribo Eumimoseae) e, na ausência de outros fatores que afetam a relação simbiótica, o fato de ambas não encontrarem populações nativas de rizóbios compatíveis nos solos estudados é indicação de baixa presença e competitividade de rizóbios deste grupo de inoculação.

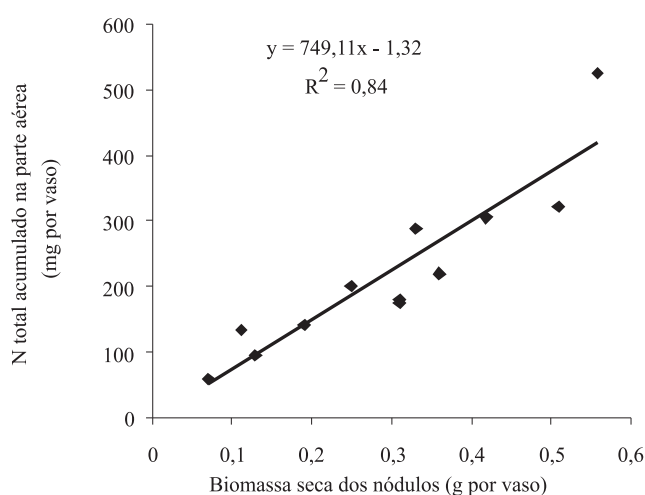


Figura 3. Regressão linear da biomassa seca dos nódulos e N total acumulado na parte aérea de mudas de palheteira, em solos coletados em áreas com diferentes formas de uso da terra, na Zona da Mata de Pernambuco, aos 70 dias de transplantio, sem fertilização ($p < 0,01$).

Conclusões

1. A frequência de populações nativas de rizóbios compatíveis com leucena é baixa, comparado às compatíveis com palheteira e sabiá.

2. A palheteira apresenta nodulação natural abundante, eficiência na fixação de N₂ e compatibilidade com as populações de rizóbios nativas do solo.

3. O crescimento, desenvolvimento, nodulação e acúmulo de nitrogênio de leucena, palheteira e sabiá, na fase de mudas, são favorecidos em solo agricultável com cobertura da leguminosa *Calopogonium mucunoides*.

4. Palheteira concentra o maior potencial para fixação de N₂ e eficiência da nodulação com populações nativas de rizóbios de solos da Zona da Mata de Pernambuco, seguida por sabiá e leucena.

Referências

- ANDRADE, A.G.; COSTA, G.S.; FARIA, S.M. Deposição e decomposição da serapilheira em povoamentos de *Mimosa caesalpiniiifolia*, *Acacia mangium* e *Acacia holosericea* com quatro anos de idade em Planossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.777-785, 2000.
- ARAÚJO, E.L.; TABARELLI, M. Estudo de ecologia de populações de plantas do nordeste do Brasil. In: ARAÚJO, E.L.; MOURA, A.N.; SAMPAIO, E.V.S.B.; GESTINARI, L.M.S.; CARNEIRO, J.M.T. (Ed.). **Biodiversidade, conservação e uso sustentável da flora do Brasil**. Recife: UFRPE, SBB, Seção Regional Pernambuco, Imprensa Universitária, 2002. p.135-142.
- BALA, A.; MURPHY, P.J.; OSUNDE, A.O.; GILLER, K.E. Nodulation of tree legumes and the ecology of their native rhizobial populations in tropical soils. **Applied Soil Ecology**, v.22, p.211-223, 2003.
- BARBOSA, M.R.V.; THOMAS, W.W. Biodiversidade, conservação e uso sustentável da Mata Atlântica no Nordeste. In: ARAÚJO, E. de L.; MOURA, A. do N.; SAMPAIO, E. de S.B.; GESTINARI, L.M. de S.; CARNEIRO, J. de M.T. (Ed.). **Biodiversidade, conservação e uso sustentável da flora do Brasil**. Recife: UFRPE/SBB, Imprensa Universitária, 2002. p.19-22.
- BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L.P. **Métodos de análises químicas em plantas**. Recife: Imprensa Universitária da UFRPE, 2004. 165p.
- BURGOS, N.; SANTOS, J.C.P.; ARAÚJO FILHO, J.C.; CAVALCANTI, A.C. Solos: caracterização e ocorrência. In: CAVALCANTI, J.A.C. **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco**: 2ª aproximação. 2.ed. Recife: Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, 1998. p.3-28.
- CAMPÊLO, A.B.; CAMPÊLO, C.R. Eficiência da inoculação cruzada entre espécies da subfamília Mimosoideae. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.5, p.333-337, 1970.
- DUHOUX, E.; DOMMERGUES, Y. The use of nitrogen fixing trees in forest and soil restoration in the tropics. In: SSALI, H.; KEYA, S.O. (Ed.). **Biological nitrogen fixation in Africa**. Nairobi: Mircen, 1985. p.384-400.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- FORTES, J.L.O.; BALIEIRO, F.C.; FRANCO, A.A. Leguminosas arbóreas como agentes de recuperação de áreas degradadas. In: MOURA, E.G. (Coord.). **Agroambientes de transição entre o trópico úmido e o semi-árido do Brasil**: atributos; alterações; uso na produção familiar. 1.ed. São Luiz: Uema, 2004. p.101-132.
- FRANCO, A.A.; FARIA, S.M. The contribution of N₂ fixing tree legumes to land reclamation and sustainability in the tropics. **Soil Biology and Biochemistry**, v.29, p.897-903, 1997.
- FRIORI, L.; MALATÉS, D.; IRIGOYEN, I.; DODERA, R. Promiscuity for nodulation and effectivity in the N₂-fixing legume tree *Acacia caven* in Uruguay. **Applied Soil Ecology**, v.7, p.239-244, 1998.
- HUGHES, C.E. **Leucaena**: manual de recursos genéticos. Oxford: University of Oxford, Department of Plant Sciences, 1998. 280p. (Tropical forestry papers, 37).
- JANKOVSKI, T. *Mimosa caesalpiniaefolia*, espécie de interesse agrossilvicultural. **Informativo Agroflorestal**, v.1, p.13, 1989.
- LEAL JÚNIOR, G.; SILVA, J.A.; CAMPELLO, R.C.B. **Proposta de manejo florestal sustentado do sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.)**. Crato: Ibama, 1999. 15p. (Boletim técnico, 3).
- LEMO, R.C.; SANTOS, R.D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 2.ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 84p.
- MENNA, P.; HUNGRIA, M.; BARCELLOS, F.G.; BANGEL, E.V.; HESS, P.N.; MARTÍNEZ-ROMERO, E. Molecular phylogeny base on the 16S rRNA gene of elite rhizobial strains used in Brazilian commercial inoculants. **Systematic and Applied Microbiology**, v.29, p.315-332, 2006.
- MERGULHÃO, A.C.E.S.; SILVA, M.L.R.B.; BURITY, H.A.; STAMFORD, N.P. Influência da dupla inoculação rizóbio e fungos micorrizas-arbusculares em plantas de sabiá sob solos de diferentes texturas. **Ecossistema**, v.26, p.42-47, 2001.
- SANGINGA, N.; MULONGOY, K.; AYANABA, A. Effect of inoculation and mineral nutrients on nodulation and growth of *Leucaena leucocephala*. In: SSALI, H.; KEYA, S.O. (Ed.). **Biological nitrogen fixation in Africa**. Nairobi: Mircen, 1985. p.419-427.
- STAMFORD, N.P.; SILVA, R.A. Efeito da calagem e inoculação de sabiá em solo da mata úmida e do semi-árido de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.1037-1045, 2000.
- TEKLEHAIMANOT, Z.; ANIM-KWAPONG, G. The potentials of *Albizia zygia* (DC.) Macbride for soil amelioration. **Applied Soil Ecology**, v.3, p.59-68, 1996.

VALE, F.R.; FURTINI NETO, A.E.; RENÓ, N.B.; FERNANDES, L.A.; RESENDE, A.V. Crescimento radicular de espécies florestais em solo ácido. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.31, p.609-616, 1996.

VANDAME, P.; GORIS, J.; CHEN, W.-M.; VOS, P.; WILLENS, A. *Burkholderia tuberum* sp. nov. and *Burkholderia phymatum* sp. nov., nodulate of roots of tropical legumes. **Systematic and Applied Microbiology**, v.25, p.507-512, 2002.

VIANNA, V.M.; TABANEZ, A.J.; BATISTA, J.L. Dynamics and restoration of forest fragments in the Brazilian Atlantic moist forest. In: LAURANCE, W.F.; BIERREGAARD JÚNIOR, R.O. (Ed.). **Tropical forest remnants: ecology management, and conservation of fragmented communities**. Chicago: The University of Chicago Press, 1997. p.351-365.

ZAHRAN, H.H. Rhizobia from wild legumes: diversity, taxonomy, ecology, nitrogen fixation and biotechnology. **Journal of Biotechnology**, v.91, p.143-153, 2001.

Recebido em 2 de maio de 2006 e aprovado em 31 de outubro de 2006