

SEÇÃO III - BIOLOGIA DO SOLO

OCORRÊNCIAS DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO DE CÁLCIO NAS RAÍZES DE PLANTAS NA AMAZÔNIA BRASILEIRA⁽¹⁾

C. B. BARROSO⁽²⁾ & L. A. OLIVEIRA⁽³⁾

RESUMO

O uso de bactérias solubilizadoras de fosfato pode ser uma alternativa de baixo custo em sistemas agroflorestais na Amazônia, onde os preços e o transporte, aliados à baixa capacidade de aquisição dos produtores, dificultam o uso de adubos solúveis. Em solos sem histórico de cultivo, os fosfatos estão ligados principalmente ao Al, enquanto nos previamente cultivados e corrigidos com calagem, esses fosfatos podem estar ligados ao Ca, limitando seus usos pelas plantas. Existem poucas informações sobre bactérias solubilizadoras de fosfato (BSF) na Amazônia, sendo necessário intensificar os estudos nesse sentido. O primeiro passo dessas pesquisas é um estudo sobre a ecologia dessas bactérias, identificando o local e a frequência de ocorrência. Para isso, foram coletadas amostras de raízes de plantas nos estados do Acre, Amazonas e Rondônia, as quais foram colocadas em placas de Petri com um meio específico capaz de identificar suas presenças. Foram utilizados 28 espécies de plantas de diversas famílias e dois tipos de vegetação múltipla (pastagem e capoeira). Os índices de presença dessas bactérias foram muito baixos (0-10%), evidenciando que, nessas condições, essas bactérias não contribuem efetivamente para melhorar a nutrição das plantas com fósforo.

Termos de indexação: ecologia microbiana, fósforo, acidez, frutíferas, leguminosas, gramíneas.

⁽¹⁾ Estudo realizado com recursos dos projetos CNPq (proc. N. 520814/96.7 (RE)), PPD/PPG-7 e PPI do INPA. Recebido para publicação em agosto de 1999 e aprovado em março de 2001.

⁽²⁾ Mestrando da Universidade Estadual Paulista - UNESP. Bolsista do CNPq. E-mail: cbarroso@fcav.unesp.br

⁽³⁾ Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisa do Amazonas - INPA. Caixa Postal 478, CEP 69011-970 Manaus (AM). E-mail: luizoli@inpa.gov.br

SUMMARY: CALCIUM-PHOSPHATE SOLUBILIZING BACTERIA OCCURRENCE ON THE ROOTS OF BRAZILIAN AMAZONIA PLANTS

The use of phosphate-solubilizing bacteria can be a low-cost alternative to agroforestry systems in the Amazônia, where prices, transport, and producers' low buying capacity make the use of soluble fertilizers difficult. On soils without a cultivation past, phosphates are combined mainly to Al, while on previously limed and cultivated soils, these phosphates are combined with Ca, limiting their use by plants. There is little information on phosphate-solubilizing bacteria (BSF) in the Amazon; thus, further studies are needed. The first step should be to study the ecology of these bacteria to identify where, and how frequently they occur. Samples of plant roots were collected in the states of Acre, Amazonas and Rondônia, and placed in Petri plates in a specific medium to identify their presence. This study used 28 species of plants of several families and two types of multiple vegetation (pasture and secondary forest). The presence of these bacteria was very low (0-10%), suggesting that, under those conditions, they do not contribute to improve plant nutrition with P.

Index terms: microbial ecology, phosphorus, acidity, fruit species, legume, grass.

INTRODUÇÃO

Cerca de 78% dos solos amazônicos são de baixa fertilidade e acidez elevada (Nicholaides et al., 1983), limitando os seus usos econômicos tanto na agricultura como em agroflorestas. Esses autores estimam que 90% dos solos usados com sistemas produtivos são deficientes em fósforo e nitrogênio. Isso ocorre mesmo após cultivados e com a aplicação de calagem e fósforo (Oliveira et al., 1992), pois grande parte do P é imobilizada e fica indisponível para as plantas, em decorrência da formação de fosfatos de Al, Fe e Ca. Fungos micorrízicos arbusculares e microrganismos solubilizadores de fosfato, que se encontram nos solos, podem favorecer a disponibilidade desse elemento para as plantas, aumentando, assim, a eficiência do seu uso (Oliveira, 1991; Souza & Pereira, 1991; Nahas et al., 1994a,b).

Gerretsen (1948) demonstrou que algumas bactérias da rizosfera são capazes de aumentar a solubilização do fosfato de rocha, resultando em melhor desenvolvimento das plantas. Isto também foi demonstrado por outros investigadores (Sperber, 1958; Louw & Webley, 1959; Kundu & Gaur, 1980; Piccini & Azcon, 1987; Alagawadi & Gaur, 1988; Laheurte & Berthelin, 1988; Toro et al., 1997; Tomar, 1998). Além de solubilizar fosfato de cálcio, mecanismo adequado para solos alcalinos, essas bactérias, conforme Alexander (1977), podem também solubilizar fosfatos de ferro, de alumínio e outros. Desse modo, elas podem contribuir para a solubilização do fósforo nos solos ácidos e de baixa fertilidade dos trópicos, onde predominam os fosfatos de alumínio e ferro (Oliveira, 1991; Souza & Pereira, 1991).

Existem poucas informações sobre essas bactérias na Amazônia, como os trabalhos de Sylvester-Bradley et al. (1982), Silva & Oliveira (1999), Santiago & Oliveira (1999), Chagas Jr. (2000). É preciso intensificar os estudos com essas bactérias na região, para avaliar se elas podem contribuir efetivamente para o melhor aproveitamento do fósforo do solo pelas plantas. O primeiro passo dessas pesquisas é um estudo sobre a sua ecologia, isso é, onde ocorrem e as suas frequências. O único trabalho feito na região referente à ecologia dessas bactérias é o de Sylvester-Bradley et al. (1982), que avaliaram as ocorrências de bactérias e fungos solubilizadores de fosfato nas raízes e rizosfera de diversas gramíneas e leguminosas na região de Manaus.

O presente estudo teve como objetivo avaliar as ocorrências de bactérias solubilizadoras de fosfato (BSF) nas raízes de plantas coletadas na Amazônia brasileira (estados do Acre, Amazonas e Rondônia), em solos ainda não utilizados e em solos que apresentam um histórico de cultivo.

MATERIAL E MÉTODOS

Amostras de raízes de plantas coletadas nos estados do Acre, Rondônia e Amazonas foram levadas para o Laboratório de Microbiologia do Solo da Coordenação de Pesquisas em Ciências Agrônomicas (CPCA) do INPA para o presente estudo. Coletaram-se, também, amostras de solo rizosférico e adjacências das raízes para medir o pH em água (1:2,5), com vistas em avaliar sua acidez e fertilidade (Cochrane et al., 1985). A análise química de todas

as amostras foi impraticável, considerando o grande número coletado, o que acarretaria custos elevados. O fato de os solos ácidos e com fertilidade natural, em sua maioria, apresentarem pH que varia de 3,8 a 4,0 (Cochrane et al., 1985) e os solos adubados e corrigidos apresentarem, normalmente, pH acima de 5,0, leva a supor que a medição apenas do pH serve de indicativo quanto ao uso ou não de corretivos e fertilizantes nesses solos.

Os solos amostrados apresentavam-se com diferentes tipos de cobertura vegetal, natural ou cultivada, em propriedades rurais dos estados. As exceções são os solos no estado do Amazonas, da Estação experimental de Hortaliças do INPA, num Podzólico Vermelho-Amarelo, de onde se coletaram raízes e solo rizosférico de doze espécies. As quinze amostras de solo do estado do Acre encontravam-se, respectivamente, com 13 espécies diferentes de plantas e dois tipos de vegetações (pastagem e mata secundária, regionalmente denominada de capoeira), e os de Rondônia, com 14 espécies. A listagem de todas as espécies estudadas (e solos rizosféricos) encontra-se no quadro 3.

As raízes foram separadas do solo no momento da coleta, no campo, por meio de agitação manual, sem lavar com água. Alguns resíduos de solo ficaram no rizoplano, mas esse procedimento evitou que as bactérias aderidas nas raízes fossem retiradas pela lavagem. No laboratório, as raízes das espécies anuais e perenes foram cortadas em pedaços de 1 cm e colocadas em placas de Petri. Em cada placa, foram colocados dez pedaços de uma mesma planta, evitando-se, assim, misturar plantas da mesma espécie ou de espécies diferentes. Esses pedaços foram colocados sobre o meio GL sólido (10 g de glicose, 0,5 g de extrato de levedura e 15 g de ágar por litro), mais fosfato de cálcio, como citado por Sylvester-Bradley et al. (1982), com vistas em observar aqueles onde aparecia solubilização de fosfato após incubação em laboratório por um período máximo de dez dias.

De modo geral, os resultados apareceram nos cinco primeiros dias, mas, por garantia, as placas foram deixadas por mais tempo para avaliar possível crescimento tardio. O aparecimento de um halo de solubilização do fosfato em volta da raiz amostrada foi o indicativo de positividade. A ausência do halo de solubilização em volta do pedaço de raiz foi considerada como "sem presença visível de BSF". Para assegurar que o halo de solubilização era proveniente de bactérias, procedeu-se à retirada de uma amostra das raízes positivas, usando-se uma alça de platina, replicando-a em outra placa de Petri que continha o meio GL com ágar. Consideraram-se positivas as raízes que apresentaram bactérias que, depois de purificadas, ainda solubilizavam o fosfato de cálcio do meio.

As raízes coletadas na região de Manaus, Amazonas, foram colocadas nas placas de Petri no mesmo dia da coleta, ou, no máximo, no dia seguinte.

As coletadas no Acre e Rondônia foram colocadas nas placas no máximo sete dias após suas coletas no campo. As raízes com halo de solubilização foram submetidas ao isolamento e à purificação das bactérias presentes, usando o meio de cultura supracitado, pelo qual foi possível verificar a presença ou ausência de solubilização, confirmando-as como solubilizadoras.

Para verificar se o método adotado não foi afetado pelo espaço de tempo entre a coleta e a colocação no meio de cultura, foi realizado um experimento com raízes de araçá-boi (*Eugenia stipitata* McVaugh), as quais foram coletadas de um experimento de campo em um Latossolo Amarelo textura argilosa e mantidas em laboratório por um período máximo de 12 dias, com as avaliações sendo feitas aos 0, 3, 6, 9 e 12 dias após a coleta, criando-se uma situação imaginária como se estivessem sendo transportadas de um local distante do laboratório sem as condições adequadas de conservação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A manutenção das raízes no laboratório por um período de 12 dias não influenciou estatisticamente a avaliação das bactérias solubilizadoras de fosfato (Quadro 1). O método não é adequado para quantificar a população das bactérias nos pedaços de raízes, pois mede apenas as suas presenças e não suas quantidades. Assim, uma raiz com 10 células de BSF pode dar o mesmo resultado positivo que uma com 10⁴ células. No entanto, para o propósito do presente trabalho, o método mostrou-se apropriado, por permitir estimar a presença das BSF num período de tempo satisfatório entre a coleta e a análise em laboratório, facilitando esses estudos em regiões como a Amazônia.

Com relação às ocorrências das BSF nas espécies estudadas nos três estados da Amazônia (Quadros 2 e 3), foram analisadas 640 amostras do Acre, 3.278 do Amazonas e 400 de Rondônia, totalizando 4.318 amostras (Quadro 2). Das amostras dos estados do Acre e Rondônia, apenas duas mostraram-se positivas, enquanto do Amazonas obtiveram-se 155, dando, respectivamente, as percentagens gerais de 0,31, 0,50 e 4,82. A maior ocorrência dessas bactérias nas amostras do Amazonas pode ser explicada, possivelmente, pelo fato de terem sido coletadas em uma área experimental do INPA com irrigação constante e em solo adubado e corrigido com calagem, condições não encontradas nas áreas de coletas dos outros estados. Umidade, pH e fertilidade adequados permitem melhor estado nutricional das plantas (Goedert et al., 1997; Sanchez, 1997) e bom desenvolvimento radicular, bem como a colonização rizosférica por bactérias de modo geral (Graham, 1992; Bordeleau & Prévost, 1994; Glenn et al., 1997; Siqueira & Moreira, 1997) e de micorrizas arbusculares (Oliveira & Oliveira, 1998).

Quadro 1. pH do solo e presença de bactérias solubilizadoras de fosfato em amostras de raízes de araçá-boi, em relação ao tempo após as coletas das raízes

Amostra	pH _{H₂O}	Dia após a coleta				
		0	3	6	9	12
Planta 23	6,2	20 ⁽¹⁾	13	18	19	20
Planta 27	6,1	06	05	02	01	03
Planta 28	6,6	13	07	13	08	13
Planta 39	6,1	04	00	01	01	02
Planta 41	6,0	07	04	03	03	07
Média ⁽²⁾	6,2	10,0 a	5,8 a	7,4 a	6,4 a	9,0 a
Porcentagem	-	50	29	37	32	45

⁽¹⁾ Números de pedaços de raízes com BSF de um total de 20 raízes por planta. ⁽²⁾ Médias com a mesma letra (a) indicam ausência de diferença estatística pelo teste F a 5%. Dados transformados em raiz quadrada de (x + 1) para a análise estatística.

Além disso, o meio de cultura usado visa identificar as bactérias solubilizadoras de fosfato de cálcio, supostamente muito mais presentes nos solos já cultivados e corrigidos com calagem, como os da região de Manaus. Nos solos com fertilidade natural e mais ácidos, a maior porção do fosfato está ligado ao Al e, por isso, o método poderia subestimar essa população, a não ser que ocorram bactérias capazes de solubilizar ambos os tipos de fosfato (de Al e de Ca).

Essa suposição é reforçada pelo fato de que microrganismos do solo podem apresentar mais de um mecanismo solubilizador de fosfato, conforme observado por Nahas et al. (1994a). Esses autores verificaram, em solos de Jaboticabal (SP), que cerca de 5,1% das bactérias e 10,0% dos fungos, além de solubilizadores, possuíam atividades das fosfatases ácidas e alcalinas. Sensibilidade ao pH mais elevado do meio (pH 6,3), em contraste com o do solo (pH 3,8-4,0), pode também explicar a ausência das BSF nos solos ácidos, apesar de, em estudo mais recente,

Chagas Jr. (2000) ter observado que 100% dos isolamentos obtidos do presente estudo e testados em seu trabalho foram tolerantes à acidez (pH 4,5) e à presença de Al (1,1 cmol_c L⁻¹ de meio).

No presente estudo, as ocorrências de BSF foram muito baixas, com uma média geral de apenas 3,68% das raízes positivas. As duas amostras positivas no estado do Acre foram encontradas em raízes de jaca e as de Rondônia em raízes de laranjeiras (Quadro 3). No estado do Amazonas, o total de 155 positivas foi distribuído em diversas culturas, como o ariá (18 em 1.680-1,1%), feijão-de-asa (5 em 105-4,8%), feijão-de-metro (1 em 105-0,9%), macaxeira (11 em 305-3,6%), pimenta (3 em 105-2,9%), taioba (31 em 1.701-1,8%), araçá-boi (73 em 882-8,3%) e cubiu (13 em 200-6,5%). Nenhuma amostra positiva foi encontrada na puerária e braquiária, as únicas duas espécies deste estudo também estudadas por Sylvester-Bradley et al. (1982). No trabalho realizado por esses autores, ao contrário deste estudo, foram encontradas bactérias solubilizadoras de fosfato em suas raízes.

Os pHs das amostras de solos variaram de 3,6 até 7,0. Nas áreas amostradas, solos com pHs acima de 5,0 indicam que foram adubados e corrigidos com calagem, o que pode significar parte do fosfato ligado ao Ca. Embora tenham sido encontradas algumas bactérias solubilizadoras de fosfato em baixos pHs (duas em raízes de Jaca a pH 4,0 e duas em macaxeira em pH abaixo de 4,8), a maioria absoluta dos resultados positivos foi encontrada em solos com pHs superiores a 4,9 (Quadro 3, Figura 1), onde podem ter ocorrido calagem e presença de algum fosfato ligado ao Ca. Essa suposição é baseada no fato de os solos de "terra firme" da Amazônia (Latosolos e Podzólicos), com fertilidade e acidez natural, apresentarem pHs abaixo de 4,5, geralmente entre 3,8-4,0, onde predominam os fosfatos de Al, uma vez que a saturação por alumínio ultrapassa normalmente os 70% (Nicholaides et al., 1983; Cochrane et al., 1985). Valor de pH em torno de 5,0 indica a adição de pelo menos 2,0 toneladas de calcário por hectare (Nicholaides et al., 1983; Oliveira et al., 1992).

Quadro 2. Presença de bactérias solubilizadoras de fosfato em raízes de plantas (culturas) nos estados do Acre, Amazonas e Rondônia

Estado	Total de amostra	Amostra positiva	Porcentagem de amostra positiva
Acre	640	02	0,31
Amazonas	3.278	155	4,82
Rondônia	400	02	0,50
Total	4.318	159	3,68

Quadro 3. Culturas avaliadas quanto à ocorrência de bactérias solubilizadoras de fosfato na Amazônia

Estado da Amazônia / cultura ou vegetação	Família	Data de coleta	Positiva / total de amostra	% Amostra positivas	pH do solo (H ₂ O)
Estado do Acre					
Banana (<i>Musa</i> sp.)	Musaceae	28/05/97	0/20	0	4,2
Biribá (<i>Rollinia mucosa</i>)	Annonaceae	27/05/97	0/20	0	4,0
Capoeira (vegetação variada)	Diversas	27/05/97	0/10	0	4,1
Cupuaçu (<i>Theobroma grandiflorum</i>)	Sterculiaceae	28/05/97	0/70	0	4,1
		05/06/97	0/30	0	3,8-5,6
		06/06/97	0/20	0	3,8-5,6
Freijó (<i>Cordia goeldiana</i>)	Meliaceae	06/06/97	0/20	0	4,8-5,3
Goiaba (<i>Psidium guajava</i>)	Myrtaceae	05/06/97	0/50	0	3,8-4,5
Ingá (<i>Inga</i> sp.)	Mimosaceae	05/06/97	0/20	0	4,4
Jaca (<i>Artocarpus heterophylla</i>)	Moraceae	05/05/97	2/40	5,0	4,0
Macaxeira (<i>Manihot esculenta</i>)	Euphorbiaceae	28/05/97	0/30	0	4,2-4,4
Manga (<i>Mangifera indica</i>)	Anacardiaceae	27/05/97	0/20	0	3,9-4,1
		06/06/97	0/70	0	3,9-4,1
Laranja (<i>Citrus sinensis</i>)	Rutaceae	27/05/97	0/30	0	4,2
Pastagem (vegetação variada)	Diversas	06/06/97	0/20	0	4,4-4,7
Puerária (<i>Pueraria phaseoloides</i>)	Papilionaceae	28/05/97	0/10	0	4,8
Pupunha (<i>Bactris gasipaes</i>)	Palmae	27/05/97	0/20	0	4,8
		28/05/97	0/30	0	4,1-4,9
		05/06/97	0/30	0	4,1-4,9
		06/06/97	0/10	0	4,1-4,9
Tangerina (<i>Citrus reticulata</i>)	Rutaceae	27/05/97	0/60	0	4,1
		06/06/97	0/10	0	4,1
Estado do Amazonas					
Acerola (<i>Malpighia glabra</i>)	Malpighiaceae	08/07/97	0/100	0	4,4
Ariá (<i>Calathea allouia</i>)	Marantaceae	14/05/98	5/756	0,7	5,3-6,1
		25/06/98	13/924	1,4	5,8-6,3
Araçá-boi (<i>Eugenia stipitata</i>)	Myrtaceae	25/06/98	73/882	8,3	6,0-6,6
Cumaru (<i>Dipteryx odorata</i>)	Papilionaceae	03/07/97	0/100	0	4,0
Cupuaçu (<i>Theobroma grandiflorum</i>)	Sterculiaceae	14/08/97	0/100	0	4,3
Feijão-de-asa (<i>Psophocarpus tetragonolobus</i>)	Papilionaceae	24/04/98	5/105	4,8	5,3
Feijão-de-metro (<i>Vigna unguiculata</i>)	Papilionaceae	24/04/98	1/105	0,9	5,2
Guaraná (<i>Paullinia cupana</i> H.B.K. var. <i>sorbilis</i>)	Sapindaceae	14/08/97	0/100	0	4,3
Macaxeira (<i>Manihot esculenta</i>)	Euphorbiaceae	24/04/98	9/105	8,6	4,9
		09/02/99	2/200	1,0	4,3-4,8
Pimenta (<i>Piper</i> sp.)	Piperaceae	24/04/98	3/105	2,9	5,4
Taioba (<i>Colocasia esculenta</i>)	Araceae	24/04/98	3/105	2,9	5,4
		06/05/98	28/1596	1,8	5,7-6,4
Cubiu (<i>Solanum sessiliflorum</i>)	Solanaceae	09/02/99	13/200	6,5	6,3-7,0
Estado de Rondônia					
Banana (<i>Musa</i> sp.)	Myrtaceae	27/05/97	0/10	0	4,9
Biribá (<i>Rollinia mucosa</i>)	Annonaceae	28/05/97	0/10	0	4,3
Braquiária (<i>Brachiaria</i> sp.)	Poaceae	28/05/97	0/30	0	4,1
Café (<i>Coffea arabica</i>)	Rubiaceae	28/05/97	0/20	0	4,9
Cerejeira (<i>Prunus</i> sp.)	Rosaceae	06/06/97	0/10	0	4,9
Coco (<i>Cocus nucifera</i>)	Palmae	06/06/97	0/70	0	5,9
Cupuaçu (<i>Theobroma grandiflorum</i>)	Sterculiaceae	28/05/97	0/30	0	4,1-5,1
		06/06/97	0/20	0	5,5
Freijó (<i>Cordia goeldiana</i>)	Meliaceae	27/05/97	0/20	0	5,5
		06/06/97	0/10	0	5,5
Laranja (<i>Citrus sinensis</i>)	Rutaceae	28/05/97	2/20	10,0	4,9
		06/06/97	0/30	0	4,9
Manga (<i>Mangifera indica</i>)	Anacardiaceae	28/05/97	0/10	0	3,8
		06/06/97	0/20	0	3,8
Puerária (<i>Pueraria phaseoloides</i>)	Papilionaceae	28/05/97	0/20	0	3,6
Pupunha (<i>Bactris gasipaes</i>)	Palmae	27/05/97	0/20	0	4,9
Tangerina (<i>Citrus reticulata</i>)	Rutaceae	28/05/97	0/10	0	4,4
Teca (<i>Tectona grandis</i>)	Caesalpiaceae	27/05/97	0/30	0	5,2

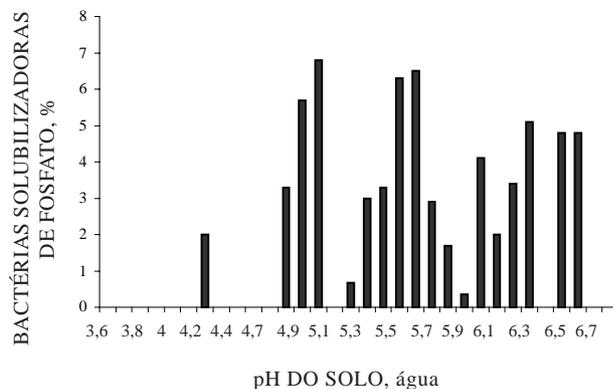


Figura 1. Presença de bactérias solubilizadoras de fosfato nos solos amazônicos com diferentes pHs.

Os dados apresentados indicam que, nas condições naturais estudadas, as ocorrências dessas bactérias são baixas ou ausentes na maioria das raízes das plantas.

CONCLUSÕES

1. Os índices de presença de bactérias solubilizadoras de fosfato de cálcio nas raízes das plantas variaram de 0 a 10%.

2. Suas presenças foram maiores em raízes de plantas coletadas em solos com pH acima de 5,0.

LITERATURA CITADA

- ALAGAWADI, A.R. & GAUR, A.C. Associative effect of *Rhizobium* and phosphate-solubilizing bacteria on the yield and nutrient uptake of chickpea. *Plant Soil*, 105:241-246, 1988.
- ALEXANDER, M. Introduction to soil microbiology. New York, John Wiley, 1977. p.333-339.
- BORDELEAU, L.M. & PRÉVOST, D. Nodulation and nitrogen fixation in extreme environments. *Plant Soil*, 161:115-125, 1994.
- CHAGAS Jr., A.F. Efeito da inoculação de bactérias solubilizadoras de fosfato na fisiologia de quatro espécies de plantas de importância econômica da Amazônia. Manaus, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 2000. 96p. (Tese de Mestrado)
- COCHRANE, T.T.; SÁNCHEZ, L.G.; AZEVEDO, L.G.; PORRAS, J.A. & C.L. GARVER. Land in Tropical America. Cali, CIAT, EMBRAPA/CPAC, 1985. v.3. p.7-29.
- GERRETSEN, F.C. The influence of microorganisms on the phosphate intake by the plant. *Plant Soil*, 1:51-81, 1948.
- GLENN, A.R.; TIWARI, R.P.; REEVE, W.G. & DILWORTH, M.J. The response of root nodule bacteria to acid stress. In: MONIZ, A.C.; FURLANI, A.M.C.; SCHAFFERT, R.E.; FAGERIA, N.K.; ROSOLEM, C.A. & CANTARELLA, H., eds. *Plant-soil interactions at low pH: sustainable agriculture and forestry production*. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. p.123-138.
- GOEDERT, W.J.; LOBATO, E. & LOURENÇO, S. Nutrient use efficiency in Brazilian acid soils: Nutrient management and plant efficiency. In: MONIZ, A.C.; FURLANI, A.M.C.; SCHAFFERT, R.E.; FAGERIA, N.K.; ROSOLEM, C.A. & CANTARELLA, H., eds. *Plant-soil interactions at low pH: sustainable agriculture and forestry production*. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. p.97-104.
- GRAHAM, P.H. Stress tolerance in *Rhizobium* and *Bradyrhizobium*, and nodulation under adverse soil conditions. *Can. J. Microbiol.*, 38:475-484, 1992.
- KUNDU, B.S. & GAUR, A.C. Establishment of nitrogen-fixing and phosphate-solubilizing bacteria in rhizosphere and their effect on yield and nutrient uptake of wheat crop. *Plant Soil*, 57:223-230, 1980.
- LAHEURTE, F. & BERTHELIN, J. Effect of a phosphate solubilizing bacteria on maize growth and root exudation over four levels of labile phosphorus. *Plant Soil*, 105:11-17, 1988.
- LOUW, H.A. & WEBLEY, D.M. A plate method for estimating the numbers of phosphate dissolving and acid producing bacteria in soil. *Nature*, 182:1317-1318, 1959.
- NAHAS, E.; CENTURION, J.E. & ASSIS, L.C. Microrganismos solubilizadores de fosfato e produtores de fosfatase de vários solos. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:43-48, 1994a.
- NAHAS, E.; CENTURION, J.E. & ASSIS, L.C. Efeito das características químicas dos solos sobre os microrganismos solubilizadores de fosfato e produtores de fosfatases. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:49-53, 1994b.
- NICHOLAIDES, J.J. III; SANCHEZ, P.A.; BANDY, D.E.; VILLACHICA, J.H.; COUTU, A.J. & VALVERDE, C.S. Crop production systems in the Amazon Basin. In: MORAN, E., ed. *The dilemma of Amazonian development*. Boulder-CO, Westview, 1983. p.101-153.
- OLIVEIRA, L.A. Phosphorus related to plant growth and plant-microorganism associations in Amazonian soils. In: TIESSEN, H.; LÓPEZ-HERNANDEZ, D. & SALCEDO, I.H., eds. *PHOSPHORUS CYCLES IN TERRESTRIAL AND AQUATIC ECOSYSTEMS. REGIONAL WORKSHOP 3: SOUTH AND CENTRAL AMERICA*, Maracay, 1991. p.186-195.
- OLIVEIRA, A.N. & OLIVEIRA, L.A. Ocorrência de micorrizas arbusculares em um sistema agroflorestal de terra firme no município de Manaus. In: *JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO PIBIC/INPA*, 7., Manaus, 1998. Anais. Resumos expandidos. Manaus, PIBIC/INPA, 1998. p.182-185.

- OLIVEIRA, L.A.; SMYTH, T.J. & BONETTI, R. Efeito de adubações anteriores na nodulação e rendimento da soja e do feijão-caupi num Latossolo Amarelo da Amazônia. R. Bras. Ci. Solo, 16:195-201, 1992.
- PICCINI, D. & AZCON, R. Effect of phosphate-solubilizing bacteria and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on the utilization of Bayovar rock phosphate by alfalfa plants using a sand-vermiculite medium. Plant Soil, 101:45-50, 1987.
- SANCHEZ, P.A. Changing tropical soil fertility paradigms: from Brazil to Africa and back. In: MONIZ, A.C.; FURLANI, A.M.C.; SCHAFFERT, R.E.; FAGERIA, N.K.; ROSOLEM, C.A. & CANTARELLA, H., eds. Plant-soil interactions at low pH: sustainable agriculture and forestry production. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. p.19-28.
- SANTIAGO, J.L. & OLIVEIRA, L.A. Efeito da inoculação com bactérias solubilizadoras de fosfato no desenvolvimento do feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO PIBIC/INPA, 8., Manaus, 1999. Anais. Resumos expandidos. Manaus, PIBIC/INPA, 1999. p.271-274.
- SILVA, A.C.S. & OLIVEIRA, L.A. Efeito da inoculação com bactérias solubilizadoras de fosfato no desenvolvimento de mudas de *Leucena leucocephala*. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO PIBIC/INPA, 8, Manaus, 1999. Anais. Resumos expandidos. Manaus, PIBIC/INPA, 1999. p.255-258.
- SIQUEIRA, J.O. & MOREIRA, F.M.M. Microbial populations and activities in highly-weathered acidic soils: highlights of the Brazilian research. In: MONIZ, A.C.; FURLANI, A.M.C.; SCHAFFERT, R.E.; FAGERIA, N.K.; ROSOLEM, C.A. & CANTARELLA, H., eds. Plant-soil interactions at low pH: sustainable agriculture and forestry production. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. p.139-156.
- SOUZA, E.M.O. & PEREIRA, R.M.F.V. Solubilidade e disponibilidade de fosfatos em três tipos de solos do estado do Amazonas. Rev. U.A., Série Ciências Agrárias, Amazonas, 1:15-22, 1991.
- SPERBER, J.I. The incidence of apatite solubilizing organisms in the rhizosphere and soil. Aust. J. Agric. Res., 9:778-781, 1958.
- SYLVESTER-BRADLEY, R.; ASAKAWA, N.; LA TORRACA, S.M.; MAGALHÃES, F.M.M.; OLIVEIRA, L.A. & PEREIRA, R.M. Levantamento quantitativo de microorganismos solubilizadores de fosfato na rizosfera de gramíneas e leguminosas forrageiras na Amazônia. Acta Amaz., 12:15-22, 1982.
- TOMAR, R.K.S. Effect of phosphate-solubilizing bacteria and farmyard manure on the yield of blackgram (*Phaseolus mungo*). Ind. J. Agric. Sci., 68:81-83, 1998.
- TORO, M.; AZCÓN, R. & BAREA, J.M. Improvement of arbuscular mycorrhiza development by inoculation of soil with phosphate-solubilizing rhizobacteria to improve rock phosphate bioavailability (^{32}P) and nutrient cycling. Appl. Environ. Microbiol., 63:4408-4412, 1997.

