

NUTRIÇÃO DE LEGUMINOSAS ARBÓREAS
(NUTRITION OF LEGUMINOUS TREES)

FIXAÇÃO DE NITROGÊNIO EM ÁRVORES E FERTILIDADE DO SOLO

AVÍLIO A. FRANCO¹

RESUMO - Depois do nitrogênio, a deficiência de fósforo é o fator limitante mais generalizado, presente em aproximadamente 80% dos solos tropicais. A erosão pode afetar 75% e a salinidade e a alcalinidade 7% destes solos. A acidez e os fatores associados (toxidez de Al e Mn e deficiências de Ca e Mo) podem afetar 30%, enquanto outras deficiências como S, K, Zn estão presentes em 5 a 10% dos solos tropicais, especialmente em áreas com altas taxas de precipitação.

Árvores fixadoras de nitrogênio podem contribuir para a alta produção de proteína, uso eficiente da água e nutrientes e proteção contra erosão destes solos. Elas podem adicionar grandes quantidades de nitrogênio ao sistema (acima de 500 kg/ha/ano de N) e, ao mesmo tempo, retornar ao horizonte superficial K, Ca e Mg das camadas mais profundas do solo.

A acidez produzida na rizosfera das plantas fixadoras de N₂ pode aumentar a eficiência da utilização de fosfatos naturais pouco solúveis, tanto para culturas intercalares como para culturas em sucessão. O eventual abaixamento do pH a longo prazo, especialmente em solos com baixo poder tampão, vai obrigar a calagens periódicas; entretanto, o maior teor de matéria orgânica na presença de árvores fixadoras de N₂ pode permitir altas produções em pH mais baixo que usualmente recomendado, nos sistemas de agricultura convencional.

Termos para indexação: solos tropicais, uso da água, uso de nutrientes, rizosfera, acidez, poder tampão.

NITROGEN FIXATION IN TREES AND SOIL FERTILITY

ABSTRACT - Second to nitrogen, phosphorus deficiency is the most wide spread limiting factor, present in about 80% of tropical soils. Erosion may affect 75% of the land area of the tropics, and salinity and alkalinity 7%. Acidity and related factors (Al and Mn toxicity and Ca and Mo deficiency) may affect 30% of these soils while other deficiencies as S, K and Zn are present in 5 to 10% of these soils, comprising mostly high rainfall areas.

Nitrogen fixing trees may constitute the most desirable system for high protein yield, water and nutrient efficiency and protection against erosion. They can add large amounts of nitrogen to the soil-plant system (above 500 kg/ha/year) and at the same time return to the upper horizon nitrate, K, Ca and Mg from the lower profiles.

The acidity generated in the rhizosphere of N₂-fixing plants may increase phosphate uptake from low solubility rock-phosphate and the high P content of decomposing

¹ Pesquisador da EMBRAPA-UAPNPBS, km 47, CEP 23460 - Serópedica, RJ.

legume tissue may also be a good source of this nutrient for intercrops or succeeding crops. The acidity generated by N_2 -fixing plants on the long run may lower soil pH specially in soils with low buffering capacity and periodic liming may be necessary to maintain high productivity. However, the higher organic matter content of soils under N_2 -fixing trees may allow high yields at lower levels of pH than usually recommended in conventional cropping systems.

Index terms: tropical soils, water use, nutrient use, rhizosphere, acidity, buffering capacity.

INTRODUÇÃO

A tecnicidade da agricultura brasileira correspondeu a um aumento de produtividade desprezível. De 1964 a 1978, o consumo de fertilizantes aumentou 1.243%, de herbicidas 541%, fungicidas 584%, e a utilização de tratores aumentou 389%. Neste mesmo período, a produtividade agrícola aumentou somente 4,9% (Paschoal 1983). Estes dados salientam a necessidade de inovar, buscando sistemas alternativos para aumentar a produtividade agrícola, de forma mais eficiente.

Árvores com capacidade de fixar N_2 atmosférico podem contribuir para a solução deste problema, diminuindo a erosão do solo, utilizando água dos lençóis freáticos, melhorando as condições físicas e a fertilidade natural do solo, além de adicionar nitrogênio ao sistema. Hoje, já estão identificadas várias espécies leguminosas fixadoras de nitrogênio com alta produtividade de lenha, carvão, celulose, forragem e madeiras para usos diversos. Munns & Franco (1983) apresentam revisão recente sobre os fatores limitantes da simbiose e da produção de leguminosas. Nesta apresentação, serão focalizados sistemas envolvendo árvores fixadoras de nitrogênio.

Disponibilidade de nutrientes

Os solos tropicais sob cultivo contínuo convencional são incapazes de suprir N e P, em quantidades suficientes para altas produções. A maior reserva destes nutrientes esta na biomassa e, conseqüentemente, na faixa superficial do solo (0-20 cm), enquanto K, Ca e Mg, de uma maneira geral, aparecem em maior proporção nas partes mais profundas do solo (Tabela 1). Observações feitas no Arizona, Senegal, Sudão e Índia mostraram que os solos diretamente debaixo da coroa de leguminosas continham N e matéria orgânica em maior concentração que em solos mais afastados, o que nem sempre é observado para não-leguminosas (Felker & Bandurski 1979). A maior concentração de matéria orgânica, além de aumentar a atividade biológica do solo e diminuir os efeitos de toxidez de Al e Mn, aumenta a disponibilidade dos nutrientes, principalmente N, P e S e diminui a fixação de P e Mo em solos ácidos.

Efeito semelhante poderia ser esperado em sistemas agrícolas associando árvores com culturas anuais micorrizadas. Entretanto, para obter altas produções, na maioria dos casos, é necessário aumentar o nível de P do solo, além de substituir este e os demais nutrientes removidos na colheita dos grãos e as outras partes das plantas.

Fósforo

Em ecossistemas em clímax, o P é reciclado, tanto na própria planta como pela decomposição dos restos vegetais. Nestas condições, a necessidade total de P é pouca (Tabela 2). Além do mais, a imobiliza-

TABELA 1. Proporção de nutrientes do solo sob floresta que estão no horizonte superficial.

Localidade	Nutrientes				
	N	P	K	Ca	Mg
	% do total encontrado na parte superior				
Manaus, Brasil	73	69	11	0	8
Mérida, Venezuela	81	91	14	31	31
Carare, Colômbia	71	85	28	5	21
Kade, Ghana	81	-	56	61	61

Segundo Sánchez (1979)

TABELA 2. Acúmulo anual de nutrientes na biomassa florestal em Carare, Colômbia.

Idade	Biomassa	N	P	K	Ca			Mg	Al
					(kg/ha)				
0- 2 anos	10	81	8	60	44	13	10	10	
2- 5 anos	16	65	2	67	31	5	13	13	
5-16 anos	12	32	3	16	34	11	5	5	

Valores calculados por Salas (1978).

ção no solo por fixação nos óxidos de Al e Fe fica minimizada pelo baixo teor de P livre na solução do solo e pelo alto teor de matéria orgânica presente. Em revisão recente de Sánchez & Salinas (1982), é abordada em extensão a baixa disponibilidade de P em solos tropicais, especialmente em oxissolos e ultissolos que são incapazes de suprir continuamente P, em quantidades suficientes para culturas anuais. Desta forma, qualquer que seja o sistema usado, para manter uma produtividade estável, é necessário adubação fosfatada.

Devido a baixa concentração encontrada na solução do solo (em torno de 10^{-6} M) e especialmente na rizosfera (em torno de 10^{-7} M), o fósforo pode ser limitante à multiplicação de *Rhizobium*. Em torno de 10% de várias estirpes de *Rhizobium* testadas não cresceram em 10^{-7} M P, mas algumas foram capazes de crescer em concentrações de 3×10^{-8} M (Cassman et al. 1981a). Além disto, os nódulos apresentam alto teor de fósforo aumentando a necessidade de P em plantas dependentes da simbiose (Cassman et al. 1981b).

Nitrogênio

O nitrogênio, apesar de ser o nutriente requerido em maior quantidade, pode ser facilmente suprido através da fixação biológica, tanto por leguminosas como por algumas não-leguminosas. A quantificação da fixação de N_2 em árvores é extremamente difícil, e os valores mais altos que aparecem na Tabela 3 se referem a produção de N/ha/ano. Mesmo que o solo fosse capaz de suprir 50% de N contido na planta, as quantidades fixadas por algumas das espécies seriam suficientes para suprir as necessidades para altas produções das principais culturas. Na realidade, a quantidade de N fixada depende das exigências

TABELA 3. Estimativa de fixação de N₂ por árvores nos trópicos.

Espécie	Local	kg N ₂ /ha/ano	Referência
<i>Leucaena</i>	Trópico úmido	500-600	National Academy of Science 1977
<i>Acacia mearnsii</i>	Montanhas tropicais	200	Orchard & Darby 1956
<i>A. holosericea</i> ^a	Recuperação de solo de mina	6,4	Langkamp et al. 1982
<i>A. pennatula</i> ^a	-	34,3	Roskoski et al. 1981
<i>Gliricidia sepium</i> ^a	-	12,9	Roskoski et al. 1981
<i>Inga jinicuil</i> ^a	Sombreamento de café	35,0	Roskoski et al. 1981
<i>Casuarina equisetifolia</i>	Zona árida	58	Dormergues 1963
<i>C. littoralis</i>	Trópico úmido	218	Silvester 1977
<i>Parasponia andersonii</i>	Trópico úmido	850	Trinick 1981

^a Estimativas usando C₂H₂ em cilindros de solo.

do sistema, da remoção dos outros fatores limitantes ao desenvolvimento da planta e simbiose e da disponibilidade de N no solo.

A viabilidade técnica e econômica de usar árvores fixadoras de N_2 , para suprir as necessidades de N, já foi demonstrada em vários sistemas, e será abordada, mais detalhadamente, neste Simpósio e nas demais apresentações.

Potássio

As principais culturas podem retirar de 9 a 158 kg de K, respectivamente, em 4 t de arroz ou 42 t de mandioca (Malavolta 1976). Dependendo da região, parte deste K pode ser retornado nas águas das chuvas (Langkamp & Dalling 1983). Este nutriente não parece ter efeito específico sobre a fixação de N_2 (Andrew 1976) e, dos macronutrientes, é o que apresenta menor frequência de respostas (Andrew 1976, Sánchez 1976, Franco 1976), mas cuja deficiência aparece com agricultura intensiva (Kenmler 1980).

Em sistemas agroflorestais onde a erosão é minimizada e parte do K lixiviado é retornado às camadas superficiais do solo pelas raízes profundas das árvores (Greenland & Kowal 1960), o potássio não deverá ser limitante a curto prazo, necessitando apenas reposição do que é removido a longo prazo nos grãos.

Cálcio e Magnésio

Os dois cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} , geralmente deficientes nos solos ácidos, têm correção juntamente com a eliminação da acidez que muitas vezes é um fator de maior limitação às plantas dependentes do N_2 para crescimento (Munns 1977). A adição periódica de calagem nestes sistemas torna-se ainda necessária, devido à acidez residual acumulada, conforme será discutido adiante.

Micronutrientes

Resposta a micronutrientes tem sido estudada em culturas anuais e pastagens (Andrew 1976, Franco 1976, Lopes 1980), onde tem sido constatada uma deficiência de Mo, especialmente em solos ácidos, e de Zn em solos após calagem e adubação fosfatada. A correção da deficiência de micronutrientes usando fritas (FTE) tem mostrado bons resultados em pastagens (De-Polli et al. 1979), o que deveria também ser esperado em sistemas florestais. O uso de plantas arbóreas fixadoras de nitrogênio implica, por um lado, em uma maior exigência em termos de alguns micronutrientes como Mo e Co e, por outro, uma melhoria na disponibilidade destes nutrientes com aumento no teor de matéria orgânica do solo, o mesmo ocorrendo com Fe e Zn em solos alcalinos.

Toxidez de alumínio

A toxidez de Al afeta diretamente a bactéria aumentando o tempo de multiplicação (Munns & Keyser 1981), retardando ou inibindo a nodulação (Carvalho et al. 1981, Franco & Munns 1982a) e, indiretamente, pelo efeito na redução do sistema radicular, reduzindo a absorção de P e o crescimento da planta. Em solos amazônicos desmatados, o teor de Al aumentou mais rapidamente que a queda de Ca e Mg, indicando ter parte do Al origem na matéria orgânica que está sendo rapidamente decomposta (Sánchez & Salinas 1982). Por outro lado, resultados obtidos na Colômbia mostraram que após 16 anos de re-

florestamento natural a quantidade total de Al na biomassa diminuiu 50%, ao mesmo tempo que o teor de matéria orgânica do solo aumentava (Salas 1978). Estes resultados, juntamente com os obtidos na adição de matéria orgânica (Guerra & Almeida 1983), indicam a possibilidade de manter sistemas produtivos em pH mais baixo se o teor de matéria orgânica do solo for elevado.

Toxidez de manganês

A toxidez de Mn aparece em alguns solos tropicais, tendo efeito específico sobre a simbiose (Döbereiner 1966, Franco & Dobereiner 1971, Coutinho et al. 1970), mas pode também ser deficiente em outros solos (De-Polli et al. 1975). A toxidez de Mn tem ocorrência menos generalizada que a toxidez de Al, sendo corrigida também com calagem, só que em pH = 5,5 é superior ao que normalmente é necessário para neutralizar a toxidez de Al. A deficiência pode ser corrigida com os demais micronutrientes, pela adição de FTE.

Efeito da simbiose no pH do solo

A fixação de N₂ pode alterar o pH do solo, devido aos efeitos no ciclo de N e pela exudação de ácidos associados com o crescimento e assimilação de cátions pela planta. Plantas crescendo com N₂ apresentam uma acidificação semelhante, porém, menos intensa que plantas crescendo com NH₄⁺ (Raven & Smith 1976).

As mudanças de pH do solo variam com o pH e com a quantidade e tipos de colóides presentes. Os tampões naturais do solo incluem (a) reações de solubilização/precipitação de minerais como caolinita e outros silicatos em pH < 4, gibsitita e boemitita em pH < e carbonatos, especialmente CaCO₃ em pH > 8; (b) protonação-deprotonação de colóides amorfos com carga variável (argilas - amorfas, óxidos de Fe e Al, matéria orgânica e margens de argilas silicatadas).

O maior abaixamento de pH das plantas, assimilando excesso de cátions, ocorre na rizosfera (Smiley 1974, Nye 1981), que pode ser benéfico em solos neutros ou solos alcalinos com deficiência de Zn, Mn, B, Fe e P, e agravar a deficiência de Ca e Mo e a toxidez de Al e Mn, mudanças estas que tendem a diminuir a nodulação em solos ácidos. Pode também viabilizar a utilização de fosfato de rocha, especialmente em solos ácidos.

A acidificação do solo, a longo prazo, com plantas fixando nitrogênio, é discutida por Franco & Munns (1982b), tendo sido estimado que para neutralizar a acidez deixada por uma fixação de 270 kg/N são necessários 600 kg de calcário (Nyatsanga & Pierre 1973). Em outro solo (podzólico), Helyar (1976) estimou que são necessários 250 kg de calagem para neutralizar a acidez produzida com a fixação de 70 kg de N.

Utilização de fosfatos pouco solúveis

A concentração de fósforo é muito baixa na solução do solo (10⁻⁶ M), sendo a absorção de P pelas plantas feita principalmente por contato das raízes com os colóides do solo. Nesta forma, é de se esperar que plantas com raízes fasciculadas e com um sistema radicular abundante como as gramíneas teriam vantagem na extração de P do solo em relação as leguminosas, que apresentam um sistema radicular pivotante.

Realmente, as gramíneas são mais eficientes que as leguminosas em extrair P do solo quando a fonte de P é superfosfato (McLachlan 1976). Por outro lado, a tendência de acidificar o solo na rizosfera de plantas usando NH_4^+ ou N_2 poderia levar a solubilização de fosfatos, podendo assim ser acumulado mais P, mesmo com um sistema radicular menos abundante. Desde 1953, Fried indicava esta possibilidade não só para leguminosas como para gramíneas que apresentam um padrão de absorção alcalino (deixam a rizosfera ácida mesmo na presença de nitrato) (Raij & Diest 1979).

Estudos de Aguilar & Diest (1981), com soja, mostraram que plantas crescendo com N_2 foram mais eficientes em usar P de fosfato de rocha do que plantas usando nitrato, quando crescidas em solução nutritiva com areia ou em solo com moderada capacidade de fixar P. Observaram, também, que plantas com sistema radicular mais abundante absorveram mais P que plantas com sistema radicular mais reduzido. Melhores resultados eram obtidos, quando se adicionava pequenas quantidades de fosfato solúvel para o estabelecimento da planta e dos nódulos, e que o aumento da solubilização da apatita foi sincronizado com o início de fixação de N_2 e o abaixamento de pH do sistema.

Resultados recentes de Silva et al. (1983) mostraram diferenças entre espécies leguminosas em acumular P, quando crescendo em solo com alta capacidade de fixação deste elemento, ou onde foi adicionado fosfato pouco solúvel. Esta diferença poderia ser explicada por diferenças na acidificação da rizosfera. A grande vantagem neste sistema seria que o fosfato solubilizado na rizosfera seria imediatamente absorvido pela raiz, diminuindo a possibilidade de imobilização de P em óxidos de Fe e Al, principalmente em solos com alta capacidade de fixação de P.

REFERÊNCIAS

- AGUILAR, A. & DIEST, A. van. Rock-phosphate mobilization induced by the alkaline uptake pattern of legumes utilizing symbiotically fixed nitrogen. *Plant and Soil*, 61:27-42, 1981.
- ANDREW, C.S. Nutritional restraints on legume symbiosis. In: VINCENT, J.M. et alli, eds. *Exploiting the legume-Rhizobium symbiosis in tropical agriculture*. 1976. p.253-74. (Univ. Hawaii Coll. Trop. Ag. Misc. Publ., 145).
- CARVALHO, M.M. de; EDWARDS, D.G.; ANDREW, C.S. & ASHER, C.S. Aluminium toxicity, nodulation and growth of *Stylosanthes* species. *Agron. J.*, 73:261-5, 1981.
- CASSMAN, K.G.; MUNNS, D.N. & BECK, D.P. Growth of *Rhizobium* at low concentrations of phosphate. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45:520-3, 1981a.
- CASSMAN, K.G.; WHITNEY, A.S. & FOX, R.L. Phosphorus requirements of cowpea and soybean as affected by mode of N nutrition. *Agron. J.*, 73:17-22, 1981b.
- COUTINHO, C.F.; FREIRE, J.R. & VIDOR, C. Informe preliminar sobre o comportamento de variedades de soja em relação à toxidez de Al e Mn em solo ácido do Rio Grande do Sul. In: REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE RHIZOBIUM, 5, Rio de Janeiro, 1970. Anais . . . p.169-75.
- DE-POLLI, H.; CARVALHO, S.R. de; LEMOS, P.F. & FRANCO, A.A. Efeito de micronutrientes no estabelecimento e persistência de leguminosas em pastagens de morro em solo podzólico vermelho-amarelo. *R. bras. Ci. Solo*, 3: 154-7, 1979.
- DE-POLLI, H.; SUHET, A.R. & FRANCO, A.A. Micronutrientes limitando a fixação de nitrogênio atmosférico e produção de Centrosema em solo podzólico vermelho-amarelo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15, Campinas, 1975. Anais . . . p.152-6.

- DÖBEREINER, J. Manganese toxicity effects on nodulation and nitrogen fixation of beans in acid soils. *Plant and Soil*, 24:153-66, 1966.
- DOMMERGUES, Y. Ensuring effective symbiosis in nitrogen fixing trees. In: GRAHAM, P.H. & HARRIS, S.C., eds. *Biological nitrogen fixation technology for tropical agriculture*. Cali, Colombia, CIAT, 1981. p.395-411. (AA 67-13).
- DOMMERGUES, Y. Evaluation du taux de fixation de l'azote un sol dunaite reboise en filao (*Casuarina equisetifolia*). *Agronochimica*, 7:335-40, 1963.
- FELKER, P. & BANDURSKI, R.S. Uses and potential uses of leguminous trees for minimal energy input agriculture. *Econ. Bot.*, 33:172-84, 1979.
- FRANCO, A.A. Nutritional restraints for tropical grain legume symbiosis. In: VINCENT, J.M. et alii, eds. *Exploiting the legume-Rhizobium symbiosis in tropical agriculture*. 1976. p.237-52. (Univ. Hawaii Coll. Trop. Agr. Misc. Publ., 145).
- FRANCO, A.A. & DOBEREINER, J. Toxidez de manganês de um solo ácido na simbiose soja-*Rhizobium*. *Pesq. agropec. bras. Sér. Agron.*, 6:57-66, 1971.
- FRANCO, A.A. & MUNNS, D.N. Acidity and Al restraints on nodulation, N fixation and growth of *Phaseolus vulgaris* in solution culture. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46:296-301, 1982a.
- FRANCO, A.A. & MUNNS, D.N. Plant assimilation and nitrogen cycling. *Plant and Soil*, 67:1-14, 1982b.
- FRIED, M. The feeding power of plants for phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 17:357-9, 1953.
- GREENLAND, D.J. & KOWAL, J.M.L. Nutrient content of the moist tropical forest of Ghana. *Plant and Soil*, 12: 154-75, 1960.
- GUERRA, J.G.M. & ALMEIDA, D.L. de. Efeito de níveis de composto de resíduos urbanos e calcário na correção da acidez do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, Curitiba, PR, 1983. *Anais* . . .
- HELYAR, K.R. Nitrogen cycling and soil acidification. *J. Aust. Inst. Agr. Sci. dec.*, 217-21, 1976.
- KENMLER, G. Potassium deficiency in soils of the tropics as a constraint to food production. In: METZ, J.F. & BRADY, N.C., eds. *Soil related constraints to food production in the tropics*. Los Baños, IRRI, 1980. p.253-76.
- LANGKAMP, P.J. & DALLING, M.J. Nutrient cycling in a stand of *Acacia holosericea*. A. Cunn. ex G. Don. III. Calcium, Magnesium, Sodium and Potassium. *Aust. J. Bot.*, 31:141-9, 1983.
- LANGKAMP, P.J.; FARNELL, G.K. & DALLING, M.J. Nutrient cycling in a stand of *Acacia holosericea*. A. Cunn. ex G. Don. I. Measurements of precipitation interception, seasonal acetylene reduction, plant growth and nitrogen requirement. *Aust. J. Bot.*, 30:87-106, 1982.
- LOPES, A.S. Micronutrients in soils of the tropics as constraints to food production. In: METZ, J.M. & BRADY, N.C., eds. *Soil constraints to food production in the tropics*. Los Baños, Philippines, IRRI, 1980. p.277-98.
- MALAVOLTA, E. *Manual de química agrícola. Nutrição de plantas e fertilidade do solo*. São Paulo, Ed. Ceres, 1976. 528p.
- MCLACHLAM, K.D. Comparative phosphorus responses in plants to a range of available phosphorus situations. *Aust. J. Agric. Res.*, 27:323-41, 1976.
- MUNNS, D.N. Mineral nutrition and the legume symbiosis. In: HARDY, R.W.F. & GIBSON, A.H., eds. *A treatise on dinitrogen fixation; agronomy and ecology*. New York, Wiley, 1977. v.4, p.211-36.
- Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 19 s/n: 253-261, jun. 1984.

- MUNNS, D.N. & FRANCO, A.A. Soil constraints to legume production. In: GRAHAN, P.H. & HARRIS, S.C., eds. *Biological nitrogen fixation technology for tropical agriculture*. Cali, Colômbia, CIAT, 1983. p.133-52.
- MUNNS, D.N. & KEYSER, H.H. Response of *Rhizobium* strains to acid and Al stress. *Soil Biol. Bioch.*, 13:115-8, 1981.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE. *Leucaena*. Promising forage and tree crop for the tropics. Washington, D.C. 1977.
- NYATSANGA, T. & PIERRE, W.H. Effects of nitrogen fixation by legumes on soil acidity. *Agron. J.*, 65:936-40, 1973.
- NYE, P.H. Changes of pH across the rhizosphere induced by roots. *Plant and Soil*, 7:25, 1981. Special issue (Mulder celebration).
- ORCHARD, E.R. & DARBY, G.D. Fertility changes under continued wattle culture with special references to nitrogen fixation and base status of the soil. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE CIÊNCIA DO SOLO, 6, Paris, France, 1956. Anais... p.305-10. (citado por DOMMARGUES 1981).
- PASCHOAL, A.D. O ônus do modelo da agricultura industrial. *R. bras. Tecnol.*, Brasília, 14:17-27, 1983.
- RAIJ, B. van & DIEST, A. van. Utilization of phosphate from different sources by six plant species. *Plant and Soil*, 51:577-89, 1979.
- RAVEN, J.A. & SMITH, F.A. Nitrogen assimilation and transport in vascular land plants in relation to intracellular pH regulation. *New Phytol.*, 76:415-31, 1976.
- ROSKOSKI, J.P. Nodulation and N₂-fixation by *Inga jinicuil*, a woody legume in coffee plantations. I. Measurements of nodule biomass and field C₂H₂ reduction rates. *Plant and Soil*, 59:201-6, 1981.
- SALAS, G. de las. El sistema forestal carare-opón. Bogotá, Colômbia, Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal, 1978. (CONIF Ser. Tec., 8).
- SÁNCHEZ, P.A. *Properties and management of soils in the tropics*. New York, John Wiley, 1976.
- SÁNCHEZ, P.A. Soil fertility and conservation considerations for agroforestry systems in the humid tropics of Latin America. In: MONGI, H.O. & HUXLEY, P.A., eds. *Soils research in agroforestry*. Nairobi, Kenya, ICRAF, 1979. p.79-124.
- SÁNCHEZ, P.A. & SALINAS, J.G. Low input technology for managing oxisols and ultisols in tropical America. *Adv. agron.*, 34:279-406, 1982.
- SILVA, E.M.R.; ALMEIDA, D.L. de; FRANCO, A.A. & DÖBEREINER, J. Efeito da adubação verde com mucuna (*Stizolobium aterrimum*) e crotalária (*Crotalaria juncea*) no aproveitamento de fosfatos em solo ácido. (Em preparação), 1983.
- SILVESTER, N.B. Dinitrogen fixation by plant associations excluding legumes. In: HARDY, R.W.F. & GIBSON, A.H., eds. *A treatise on dinitrogen fixation; agronomy and ecology*. New York, Wiley, 1977. v.4, p.141-90.
- SMILEY, R.W. Rhizosphere pH as influenced by plants and N fertilizers. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 38:795-9, 1974.
- TRINICK, M.J. The effective *Rhizobium* symbiosis with non-legume *Parasponia andersonii*. In: PROC. INTERNAT. SYMP. N₂ FIXATION, Canberra, Australia (citado por DOMMARGUES 1981).