

PRODUÇÃO DE FITOMASSA E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO SOB CULTIVO EM ALÉIAS E SOB VEGETAÇÃO NATIVA DE CERRADO⁽¹⁾

A. L. MAFRA⁽²⁾, A. A. W. MIKLÓS⁽³⁾, H. L. VOCURCA⁽⁴⁾,
A. H. HARKALY⁽⁵⁾ & E. MENDOZA⁽⁵⁾

RESUMO

Os sistemas agroflorestais podem aliar produção de alimentos com conservação dos recursos naturais, buscando economia de fertilizantes a partir da reciclagem de nutrientes. A produção de fitomassa e o aporte de nutrientes foram quantificados num cultivo em aléias e em área de vegetação nativa de cerrado em Botucatu (SP), com vistas em verificar as influências do sistema agroflorestal nos atributos químicos do solo. A leucena foi plantada em linhas em 1987, com espaçamento de 6 m, após calagem e aplicação de P. As linhas da leguminosa foram podadas anualmente, permitindo o cultivo intercalar de centeio + aveia e milho + feijão, durante a estação seca e chuvosa, respectivamente. A produção anual de fitomassa no sistema agroflorestal foi de 11.036 kg ha⁻¹ de massa seca, com um aporte mineral pelas plantas de (kg ha⁻¹) 149,0 de N, 9,4 de P, 70,0 de K, 75,2 de Ca e 31,1 de Mg. O pH do solo e os teores de Ca e Mg nesse sistema foram superiores aos do cerrado, o que se atribuiu ao efeito do calcário. A adubação verde, principalmente a fitomassa da leucena, colaborou na alteração dos teores de matéria orgânica, N e P no solo sob cultivo em aléias.

Termos de indexação: ciclagem de nutrientes, cultivo em aléias, latossolo, sistema agroflorestal.

SUMMARY: *BIOMASS PRODUCTION AND SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES IN AN ALLEY CROPPING SYSTEM AND IN CERRADO*

Agroforestry systems combine crop productivity with environmental sustainability while conserving fertilizer through nutrient cycling. Plant biomass production and nutrient inputs were measured in an alley cropping system and in native cerrado site at Botucatu, State of São Paulo, Brazil, and the influence of agroforestry practices on the soil chemical attributes were

⁽¹⁾ Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor, apresentada à Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP). Recebido para publicação em fevereiro de 1997 e aprovado em novembro de 1997.

⁽²⁾ Pós-graduando do Curso de Solos e Nutrição de Plantas, ESALQ/USP. Av. Pádua Dias, 11, CEP 13418-900 Piracicaba (SP).

⁽³⁾ Professor Doutor do Departamento de Ciência do Solo, ESALQ/USP.

⁽⁴⁾ Graduando do Curso de Agronomia, ESALQ/USP.

⁽⁵⁾ Engenheiro-Agrônomo, Instituto Biodinâmico de Desenvolvimento Rural. Caixa Postal 321, CEP 18603-970 Botucatu (SP).

determined. *Leucaena* was planted in 1987, in hedgerows 6 m apart, following lime and P applications. Legume hedgerows were pruned annually, allowing for cereal intercropping of rye with oat and maize with beans during the dry and rainy season, respectively. Annual biomass production in the agroforestry system was 11,036 kg ha⁻¹ (dry matter), and mineral inputs by plants, in kg ha⁻¹, were 149.0-N, 9.4-P, 70.0-K, 75.2-Ca and 31.1-Mg. As a result, soil pH, Ca and Mg levels were higher than in the cerrado, which was attributed to a residual effect of liming. This kind of green manure, obtained mainly by *leucaena* biomass, contributed to increases in organic matter, as well as soil N and P levels, in the alley cropping system.

Index terms: agroforestry system, alley cropping, nutrient cycling, oxisoil.

INTRODUÇÃO

O ecossistema do cerrado brasileiro abrange cerca de 1,5 milhão de hectares, caracterizado pela ocorrência de solos ácidos, com alta saturação por alumínio e baixa disponibilidade de nutrientes (Queiroz Neto, 1982). O desenvolvimento agrícola desse ecossistema requer a correção dessas limitações químicas, para aumentar a disponibilidade de nutrientes, e prescindir de sistemas de produção capazes de manter a matéria orgânica, a atividade biológica e as propriedades físicas do solo (Pereira & Peres, 1985).

O interesse pelo cultivo em aléias - tipo de sistema agroflorestal em que culturas agrícolas são intercaladas com espécies arbóreas plantadas em linhas - é crescente. Essas plantas são periodicamente podadas durante o cultivo, servindo o material da poda de adubo verde (Kang et al., 1981). Essa prática, tradicionalmente empregada em regiões tropicais da África e Ásia, tem permitido melhoria nas características químicas do solo (carbono orgânico e nutrientes), especialmente na camada superficial, quando comparado ao monocultivo (Yamoah et al., 1986; Lal, 1989; Schroth et al., 1995). A melhoria tem sido atribuída à reciclagem mais eficiente dos nutrientes pela fitomassa das podas ou pela serapilheira. Além disso, a espécie florestal mostra efeitos benéficos por suas raízes mais profundas, que reduzem as perdas por lixiviação e pela maior cobertura do solo, que proporciona proteção contra a erosão.

Um cultivo em aléias foi testado no cerrado em Goiânia, GO (Chagas et al., 1981). A leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.), plantada em linhas espaçadas de 5 m, produziu cerca de 7,6 t ha⁻¹ ano⁻¹ de massa seca. Esse material usado para adubação verde permitiu, já no primeiro ano, incrementos nos teores de K do solo. O rendimento da cultura intercalar (feijão) foi de 2.220 kg ha⁻¹, similar ao do tratamento que recebeu somente adubação mineral.

Este estudo teve por objetivo verificar as diferenças nos atributos químicos do solo pelo aporte de fitomassa e de nutrientes num cultivo em aléias no cerrado de Botucatu (SP).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em Botucatu (SP), num Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico A

moderado textura média distrófico, derivado de arenito do Grupo Bauru (Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1981).

O clima local é do tipo Cwb, segundo a classificação de Köppen. A temperatura média anual é de 20°C, e a pluviosidade média é de 1.350 mm ano⁻¹, com estação seca no período de abril a setembro. A umidade relativa média anual é de 75% (Nascimento & Pereira, 1988).

O sistema agroflorestal foi implantado, em 1987, em área de cerrado e consistiu em linhas de leucena (*Leucaena leucocephala*, variedade Peru), espaçadas de 6 x 0,43 m, com densidade de 3.876 plantas ha⁻¹. Tal espécie foi escolhida pela sua boa adaptação às condições de solo e resistência à seca (Bertalot et al., 1993). No plantio das árvores, o solo foi corrigido com 2.400 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico com PRNT de 70%, distribuídos a lanço, e 20 kg ha⁻¹ de P (termofosfato), aplicados na cova. As culturas intercalares avaliadas foram a aveia-preta e o centeio, semeadas em consórcio, em maio de 1995, e incorporadas ao solo como adubo verde, em setembro de 1995. Em sucessão, semeou-se o milho consorciado com feijão adzuki (*Vigna umbellata*), em outubro de 1995, e efetuada a colheita de grãos, em abril de 1996. O preparo de solo consistiu na roçada da cultura anterior e gradagem. Não foi feita adubação mineral de manutenção. O manejo da leucena consistiu em uma poda anual dos galhos, a 60 cm de altura do solo, realizada em outubro de 1995, distribuindo-se a fitomassa, uniformemente, sobre o solo, nas faixas de cultivo, imediatamente antes da semeadura do milho e feijão.

As avaliações da produção de fitomassa, do aporte de nutrientes e dos atributos químicos do solo foram desenvolvidas, no período de junho de 1995 a maio de 1996, em duas faixas do cultivo em aléias, com 22 x 8 m cada. Visando comparar com as condições originais do local, utilizou-se uma área adjacente com vegetação natural de cerrado, com dimensões de 30 x 30 m, localizada na mesma posição topográfica, no mesmo tipo de solo e sem sofrer introdução de espécies ou corte de plantas. Essa vegetação foi caracterizada em três estratos: a) herbáceo e subarbustivo, com até 1 m de altura; b) arbustivo baixo, com altura entre 1 e 3 m e densidade em torno de 770 plantas ha⁻¹, e c) arbustivo, com altura entre 3 e 5 m e densidade de 500 plantas ha⁻¹ (Mafra, 1996).

Foram determinados a fitomassa seca, o conteúdo de nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) e de carbono orgânico da serapilheira, da fitomassa podada da leucena e das culturas intercalares às aléias. Para tanto, podaram-se 10 árvores e utilizaram-se 16 amostras de 1,0 m² para as culturas intercalares. A serapilheira foi coletada em 10 bandejas de 0,5 m², instaladas a 60 cm de altura do solo, dispostas ao acaso, no cerrado, e de forma sistemática, em alinhamentos transversais às linhas de leucena, no cultivo em aléias. As análises químicas dos tecidos vegetais foram feitas conforme Malavolta et al. (1989).

Os teores de nutrientes e de carbono orgânico na camada superficial do solo (0-20 cm) foram determinados em duas amostras compostas (25 subamostras), coletadas a cada três meses, no período de junho de 1995 a maio de 1996, totalizando 10 amostras por tratamento. Coletaram-se, ainda, duas amostras de solo, nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20; 20-40; 100-110 e 150-160 cm.

As análises químicas de solo seguiram o método descrito por Raij & Quaggio (1983). Determinaram-se o teor de N pelo método de Kjeldahl; o P, extraído por resina, por colorimetria; o K, Ca e Mg, extraídos por resina, por espectrofotometria de absorção atômica, e o C orgânico, pelo método Walkley-Black. Foram determinados, ainda, o pH em solução salina (CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹) e a acidez potencial, extraída por solução SMP.

A produção de fitomassa e o conteúdo de nutrientes da leucena e das culturas foram caracterizados pela análise descritiva, representando a média e o intervalo de confiança com 5% de significância, calculado pelo teste t. As médias dos teores de nutrientes e carbono orgânico do solo, da produção de serapilheira e adição de nutrientes por esse componente nas duas áreas foram comparadas pelo teste t para dados não emparelhados, com variâncias populacionais desconhecidas, com 5% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Produção de fitomassa e aporte de nutrientes

A leucena produziu 2.398 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de massa seca (MS) de serapilheira e 4.465 kg ha⁻¹ de ramos e folhas podados. A fitomassa das culturas teve uma produção de 923 kg ha⁻¹ de centeio + aveia e 3.250 kg ha⁻¹ de milho + feijão, totalizando 11.036 kg ha⁻¹ de MS no sistema agroflorestal. No cerrado, a serapilheira teve uma fitomassa de 2.176 kg ha⁻¹ ano⁻¹, semelhante à quantidade produzida pela leucena. Não foram quantificados, no cerrado, a produção de fitomassa dos estratos herbáceos e subarbustivos nem o possível incremento de fitomassa da vegetação.

O aporte anual de nutrientes (kg ha⁻¹) a partir da biomassa foi de 149,0 de N, 9,4 de P, 70,0 de K, 75,2 de Ca e 31,1 de Mg no sistema agroflorestal. A serapilheira, no cerrado, apresentou um conteúdo de 27,8 de N, 1,1 de P, 7,2 de K, 13,2 de Ca e 3,7 kg ha⁻¹ de Mg (Quadro 1).

A serapilheira constitui o principal mecanismo de reciclagem de minerais nas áreas de floresta. Sua produção depende especialmente da densidade da cobertura vegetal, variando desde 2,0 t ha⁻¹, em savanas, até 12,6 t ha⁻¹, em florestas tropicais (Vitousek, 1984). Para a região de cerrado em Brasília, DF, verificou-se a mesma tendência, obtendo-se, anualmente, 2,1 t ha⁻¹ de serapilheira, no cerrado, e 7,8 t ha⁻¹, no cerradão (Peres et al., 1983). O acúmulo de serapilheira da leucena foi semelhante ao do cerrado, sendo importante no fornecimento de nutrientes às culturas, pela sua rápida decomposição. Em um experimento em área de reflorestamento com leucena na Índia, notou-se, após 1 ano, mineralização de mais de 80% do N presente nesse material (Sandhu et al., 1990).

Quadro 1. Aporte de nutrientes na fitomassa no cultivo em aléias e no cerrado

Componente	N	P	K	Ca	Mg
kg ha ⁻¹ ano ⁻¹					
Sistema agroflorestal					
Restos de cultura ⁽¹⁾	34,2 ± 6,7	2,9 ± 0,9	34,7 ± 6,7	10,9 ± 2,6	8,3 ± 1,9
Fitomassa da poda ⁽²⁾	62,5 ± 20,3	3,8 ± 1,1	22,6 ± 7,5	23,9 ± 7,8	8,6 ± 2,9
Serapilheira	52,3	2,7	12,7	40,4	14,2
Aporte total	149,0	9,4	70,0	75,2	31,1
Cerrado					
Serapilheira	27,8	1,1	7,2	13,2	3,7
Análise das médias da serapilheira (10 repetições)					
Probabilidade (T < t)	0,0331	0,0061	0,1027	0,0089	0,0018
Coeficiente de variação	38,0	34,2	48,9	38,2	31,8

⁽¹⁾ Média de 16 repetições ± intervalo de confiança 95%. ⁽²⁾ Média de 10 repetições ± intervalo de confiança 95%.

O componente arbóreo produziu cerca de 62% da fitomassa total do sistema agroflorestal na forma de serapilheira, ramos e folhas podados da leucena. A participação desse componente na reciclagem de nutrientes também foi destacada, contribuindo com 77% do N, 69% do P, 86% do Ca e 74% do Mg. A fitomassa das culturas apresentou quantidade significativa de K, contribuindo com 50% do aporte total.

A adição de nutrientes pela fitomassa arbustiva no cultivo em aléias variou de acordo com as espécies envolvidas, fertilidade do solo, clima, idade da planta, largura entre as linhas de árvore e frequência de podas. No caso da leucena, a adição de nutrientes pela fitomassa a cada poda (kg ha^{-1}) variou de 20 a 100 de N, 2 a 5 de P, 10 a 90 de K, 1 a 10 de Mg e 2 a 25 de Ca (Fernandes et al., 1993).

Características químicas do solo

Nos dois tratamentos, o pH do solo em CaCl_2 foi baixo, com ligeira elevação no cultivo em aléias (Figura 1), especialmente na camada superficial (0-10 cm), variando em profundidade de 3,8 a 4,6. O aumento do pH foi atribuído, principalmente, ao efeito residual da calagem, realizada em 1987. Concomitantemente à acidez, encontraram-se teores altos de Al trocável nas duas áreas.

A matéria orgânica (MO) no solo de cerrado concentrou-se na camada superficial (0-5 cm), em razão do acúmulo da serapilheira, com um teor médio de 18 g kg^{-1} , considerando a profundidade de 0-20 cm (Quadro 2). No cultivo em aléias, essa concentração foi de 26 g kg^{-1} , sendo tal diferença atribuída ao aporte de fitomassa da leucena e dos restos culturais. Essa modificação positiva pelo cultivo em aléias tem sido relatada em outras situações, como em Ibadan, Nigéria (Yamoah et al., 1986), com plantio de *Cassia* sp. num alfissolo, resultando em aumento significativo no teor carbono orgânico na camada superficial do solo (0-15 cm). Nesse mesmo local, em experimento com cultivo em aléias de leucena, após 6 anos, verificou-se novamente incremento do carbono orgânico no solo (Lal, 1989). De maneira geral, os sistemas agroflorestais podem fornecer na superfície do solo de 3 a $15 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de carbono, com um adicional de 1,3 a $6,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ por meio das raízes (Sanchez, 1995).

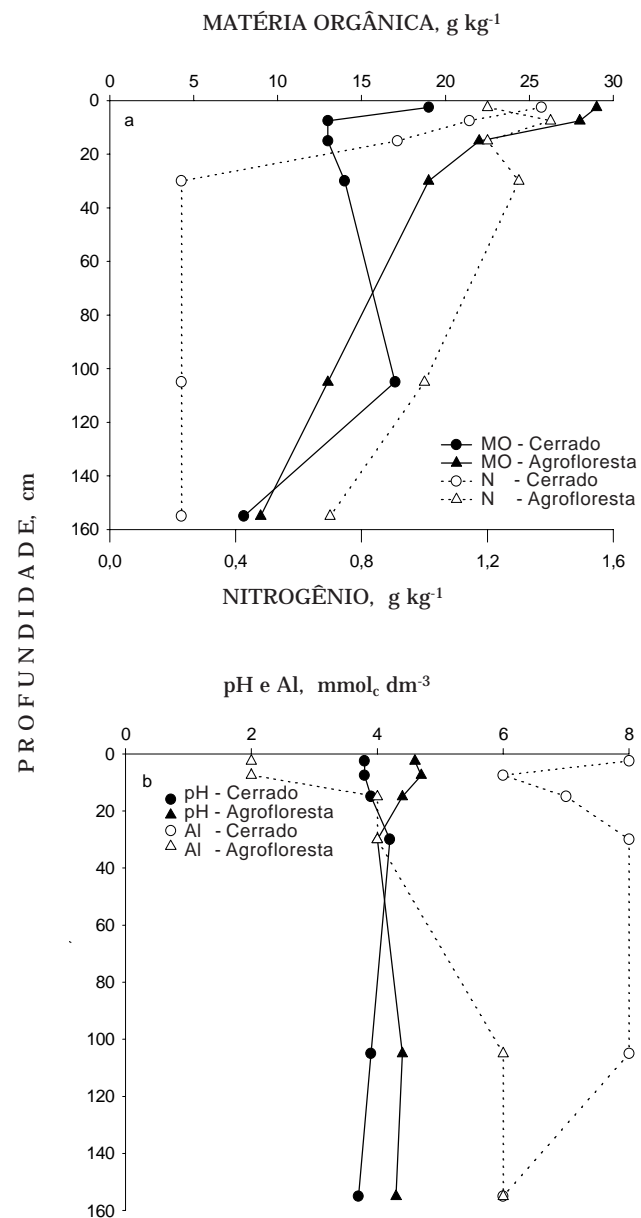


Figura 1. Atributos químicos do solo sob cultivo em aléias e no cerrado (a) Matéria orgânica e nitrogênio, (b) pH e alumínio.

Quadro 2. Comparação dos atributos químicos do solo na profundidade de 0-20 cm em função do manejo. Média de 10 repetições

Local	MO	N	P	K	Ca	Mg
	g kg^{-1}		mg kg^{-1}	$\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$		
Cerrado	18,1	0,90	4,25	0,60	2,36	1,63
Cultivo em aléias	26,0	1,33	11,25	0,51	18,63	9,50
Probabilidade ($T < t$)	0,0013	0,0055	0,0001	0,5096	0,0001	0,0005
Coeficiente de variação	20,7	31,9	38,7	51,3	31,6	42,9

No solo sob cultivo em aléias, foram observadas alterações nos teores de N, P, Ca e Mg na camada superficial (0-20 cm). Para o N, o teor passou de 0,9 g kg⁻¹ para 1,3 g kg⁻¹, o que pode ser atribuído ao conteúdo reciclado pela fitomassa e à fixação biológica. Esta constitui uma das principais contribuições das leguminosas arbóreas, que, no caso da leucena sob cultivo em aléias, num solo aluvial e pobre em nutrientes da Tanzânia, resultou em 110 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de nitrogênio (Högberg & Kuarnström, 1982).

O fósforo passou de 4 mg kg⁻¹, no cerrado, a 11 mg kg⁻¹, no sistema agroflorestal (Figura 2). Esse incremento deveu-se, em parte, ao efeito da adubação verde, pois a quantidade de adubo adicionada foi baixa (20 kg ha⁻¹ de P), e a quantidade extraída pelas colheitas, após a implantação desse sistema, foi superior a essa adição (Mafra, 1996).

Para os cátions, os teores passaram de 2,36 e 1,63 mmol_c dm⁻³ de Ca e Mg, no cerrado, para 18,6 e 9,5, no cultivo em aléias, respectivamente (Quadro 2). Esse aumento na camada superficial foi influenciado pelo efeito residual do calcário. Para o K, que não foi repostado pela adubação, os teores foram semelhantes nas duas áreas.

Parte do acúmulo de nutrientes na superfície do solo sob cultivo em aléias deveu-se, supostamente, à reciclagem, especialmente à ação da leucena na absorção de minerais em camadas mais profundas do solo e à sua subsequente liberação na superfície a partir da decomposição das raízes, serapilheira e resíduos culturais (poda). Apesar da importância da reciclagem biológica, os níveis de P e de cátions mantiveram-se baixos a muito baixos, nas duas áreas. A adubação de reposição no sistema agroflorestal poderia aumentar a disponibilidade de nutrientes, favorecendo o desenvolvimento das culturas e das árvores.

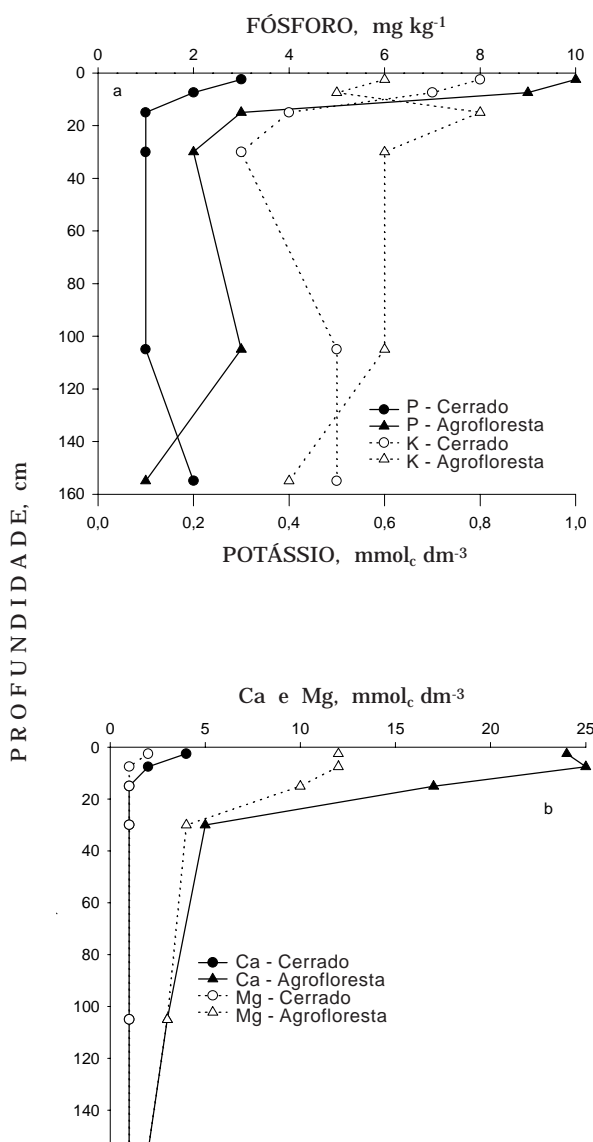


Figura 2. Teores de nutrientes no solo sob cultivo em aléias e no cerrado (a) Fósforo e potássio, (b) Cálcio e magnésio.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelos recursos cedidos ao projeto de pesquisa, e ao Professor Danilo dos Santos Rheinheimer (UFMS), pelas sugestões durante a elaboração do artigo.

LITERATURA CITADA

BERTALOT, M.; PIAMONTE, R. & HARKALY, A. Sistema agrossilvopastoril no Instituto Biodinâmico. *Agric. Biodin.*, 10:4-7, 1993.

CHAGAS, J.M.; KLUTHCOUSKI, J. & AQUINO, A.R.L. *Leucaena leucocephala* como adubo verde para a cultura de feijão em cerrado. *Pesq. Agrop. Bras.*, 16:809-814, 1981.

FERNANDES, E.C.M.; DAVEY, C.B. & NELSON, L.A. Alley cropping on an acid soil in the upper Amazon: mulch, fertilizer and hedgerow root pruning effects. *Madison, American Society of Agronomy*, 1993. v.56. p.77-96 (Special Publication)

HÖGBERG, P. & KUARNSTRÖM, M. Nitrogen fixation by woody legume *Leucaena leucocephala* in Tanzania. *Plant Soil*, 66:21-28, 1982.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS-IPT. Mapa geológico do Estado de São Paulo. São Paulo, IPT/Divisão de Minas e Geologia Aplicada, 1981. Escala 1:1.000.000.

KANG, B.T.; WILSON, G.F. & SIPKENS, L. Alley cropping maize and leucaena in Southern Nigeria. *Plant Soil*, 63:165-179, 1981.

LAL, R. Agroforestry systems and soil surface management of a tropical alfisol: III: Changes in soil chemical properties. *Agrofor. Syst.*, 8:113-132, 1989.

MAFRA, A.L. Balanço de nutrientes em um sistema agroflorestal no cerrado de Botucatu, SP. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. 1996. 65p. (Tese de Mestrado)

- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas. Piracicaba, Associação Brasileira Pesquisa da Potassa e Fosfato, 1989. 201p.
- NASCIMENTO, C.M. & PEREIRA, M.A.M.G. Atlas climatológico do Estado de São Paulo (1977-1988). Campinas, Fundação Cargill, 1988. 93p.
- PEREIRA, J. & PERES, J.R.R. Manejo da matéria orgânica. In: GOEDERT, W.J. ed. Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo. São Paulo, Nobel; Brasília, EMBRAPA/CPAC, 1985. p.261-84.
- PERES, J.R.R.; SUEHT, A.R.; VARGAS, M.A.T. & DROZDOWICZ, A. Litter production in areas of brazilian cerrados. *Pesq. Agrop. Bras.*, 18:1037-1043, 1983.
- QUEIROZ NETO, J.P. Solos da região dos cerrados e suas interpretações. *R. Bras. Ci. Solo*, 6:11-12, 1982.
- RAIJ, B. van & QUAGGIO, J.A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1983. 42p. (Boletim Técnico, 81)
- SANCHEZ, P.A. Science in agroforestry. *Agrofor. Syst.*, 30:5-55, 1995.
- SANDHU, J.; SINHA, M. & AMBASHT, R.S. Nitrogen release from decomposing litter of *Leucaena leucocephala* in the dry tropics. *Soil Biol. Biochem.*, 22:850-863, 1990.
- SCHROTH, G.; OLIVER, R.; BALLE, P.; GNAHOVA, G.M.; KANCHANAKANTI, N.; LEDUC, B.; MALLET, B.; PELTIER, R. & ZECH, W. Alley cropping with *Gliricidia sepium* on an a high base status soil following forest clearing: effects on soil conditions, plant nutrition and crop yields. *Agrofor. Syst.*, 32:261-276, 1995.
- VITOUSEK, P.M. Litterfall, nutrient cycling and nutrient limitation in tropical forest. *Ecology*, 65:285-298, 1984.
- YAMOAH, C.F.; AGBOOLA, A.A.; WILSON, G.F. & MULONGOY, K. Soil properties as affected by the use of leguminous shrubs for alley cropping with maize. *Agric. Ecosys. Environ.*, 18:167-177, 1986.