**BALANÇO DE NUTRIENTES EM UM SISTEMA AGROFLORESTAL NO
CERRADO DE BOTUCATU, SP**

ÁLVARO LUIZ MAFRA
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. ANDREAS ATILA DE WOLINSK MIKLÓS

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Agosto - 1996

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - Campus "Luiz de Queiroz"/USP

Mafra, Álvaro Luiz

Balanço de nutrientes em um sistema agroflorestal no cerrado de Botucatu,
SP / Álvaro Luiz Mafra. - - Piracicaba, 1996.

65p. : il.

Dissertação (mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz,
1996.

Bibliografia.

1. Matéria orgânica do solo 2. Nutriente em solo 3. Sistema agroflorestal -
Balanço de nutrientes I. Título

CDD 634.99

**BALANÇO DE NUTRIENTES EM UM SISTEMA AGROFLORESTAL NO
CERRADO DE BOTUCATU, SP**

ÁLVARO LUIZ MAFRA

Aprovada em: 26.08.1996

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Fábio Poggiani

ESALQ/USP

Dr. Marco Antônio Ferreira Gomes

EMBRAPA/CNPM/Jaguariúna-SP

Prof. Dr. Andreas Attila de Wolinsk Miklos
Orientador

AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Andreas Attila de Wolinsk Miklós, pelos ensinamentos e amizade;
- Ao Departamento de Ciência do Solo, pela oportunidade de realização da pós-graduação;
- Aos professores Hilton Thadeu Zarate do Couto e Paulo Cesar Ocheuze Trivelin, pelo auxílio no planejamento do experimento;
- À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo financiamento concedido ao projeto;
- À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa;
- Ao Instituto Biodinâmico de Desenvolvimento Rural (IBD), em especial ao Dr. Alexandre Humberto Harkaly, pela concessão da área experimental e pelas facilidades dispendidas durante a execução do trabalho;
- Ao Dr. Eduardo Mendoza (IBD) e ao acadêmico Hugo Luiz Vocurea (ESALQ/USP), pelo auxílio na condução do experimento;
- Aos colegas da ESALQ, pela amizade;
- Aos familiares, pelo estímulo e compreensão.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	iv
SUMMARY	vi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Interações atmosféricas	5
2.2. Interações edáficas	6
3. MATERIAL E MÉTODOS	10
3.1. Caracterização da área experimental	10
3.2. Manejo do solo e das culturas	10
3.3. Delineamento experimental	11
3.4. Avaliações	11
3.4.1. Componentes hídricos	13
3.4.2. Componentes vegetais	15
3.4.3. Componentes edáficos	17
3.4.4. Estimativa do balanço de nutrientes	17
3.5. Análise dos resultados	19
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4.1. Composição florística	21
4.2. Atributos morfológicos e físicos-químicos dos solos	22
4.3. Componentes hídricos	26
4.3.1. Precipitação incidente	26
4.3.2. Gotejamento de copa	28
4.3.3. Fluxo de caule	30
4.3.4. Interceptação	33
4.3.5. Enxurrada	35
4.3.6. Lixiviação	37
4.4. Componentes vegetais	40
4.4.1. Serapilheira	40

4.4.2. Fitomassa da poda	44
4.4.3. Produção das culturas	46
4.5. Componentes edáficos	49
4.5.1. Nutrientes no solo	49
4.5.2. Volatilização de nitrogênio	52
4.6. Balanço de nutrientes	53
5. CONCLUSÃO	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

BALANÇO DE NUTRIENTES EM UM SISTEMA AGROFLORESTAL NO CERRADO DE BOTUCATU, SP

Autor: ÁLVARO LUIZ MAFRA

Orientador: PROF. DR. ANDREAS ATILLA DE WOLINSK MIKLÓS

RESUMO

O cultivo em aléias é um tipo de sistema agroflorestal em que, as espécies arbóreas, plantadas em renques, são associadas com culturas anuais. Nesse sistema e no cerrado, determinou-se o balanço de nutrientes a fim de verificar o efeito do aporte de nutrientes proveniente da fitomassa arbórea podada, na produção das culturas e em atributos químicos do solo (nutrientes e matéria orgânica).

A espécie arbórea foi a leucena (*Leucaena leucocephala*) plantada em 1987, em solo de cerrado (latossolo vermelho amarelo). Os renques foram espaçados de 6 m, com poda a cada 24 meses. Os cultivos anuais foram: aveia preta + centeio (inverno), usados como adubo verde e milho + feijão adzuki (verão). Aplicou-se adubação mineral somente na implantação da leucena.

As entradas e saídas anuais de macronutrientes foram avaliadas de junho de 1995 a maio de 1996 nos dois sistemas. Os componentes vegetais considerados foram: serapilheira, fitomassa podada da leucena, restos culturais e produção de grãos. Os componentes hídricos foram: chuva livre, gotejamento de copa, fluxo de caule, lixiviação e erosão. O teor de nutrientes no solo e volatilização de N também foram medidos. O balanço foi calculado pela diferença entre a adição e as perdas externas de nutrientes. Quantificou-se ainda a reciclagem interna de nutrientes para os componentes hídricos e vegetais.

As perdas de nutrientes no cerrado totalizaram 6,9 kg ha⁻¹ de N, 1,5 kg ha⁻¹ de P, 4,7 kg ha⁻¹ de K, 28,4 kg ha⁻¹ de Ca e 4,9 kg ha⁻¹ de Mg. A lixiviação foi mais

importante, contribuindo com 46 a 96 % do total. As perdas por escoamento superficial foram mínimas. No cultivo em aléias, as perdas de nutrientes atingiram 28,3 kg ha⁻¹ de N, 5,5 kg ha⁻¹ de P, 13,3 kg ha⁻¹ de K, 36,2 kg ha⁻¹ de Ca e 6,1 kg ha⁻¹ de Mg. Foram maiores que no cerrado, devido à remoção pelos grãos.

A reciclagem no ciclo planta-solo no cerrado, ocorreu principalmente pela serapilheira, com 2176 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de fitomassa seca. Este componente teve 27,8 kg ha⁻¹ de N, 7,2 kg ha⁻¹ de K e 3,7 kg ha⁻¹ de Mg, contribuindo com 64 a 83 % do total desses nutrientes. Para o P e Ca, o maior retorno ao solo foi pelo gotejamento de copa, com 3,0 kg ha⁻¹ de P e 14,9 kg ha⁻¹ de Ca. No cultivo em aléias, os componentes vegetais foram mais importantes, produzindo 11039 kg ha⁻¹ por ano de matéria seca. Deste total, 4465 kg ha⁻¹ foi composto de fitomassa podada, 4176 kg ha⁻¹ de restos culturais e 2398 kg ha⁻¹ de serapilheira. Como resultado a reciclagem foi 2,9 a 7,0 vezes superior à do cerrado.

Consequentemente, o balanço anual de nutrientes no cerrado foi de 8,5 kg ha⁻¹ de N, 1,4 kg ha⁻¹ de P, 0,7 kg ha⁻¹ de K, -15,5 kg ha⁻¹ de Ca e -2,5 kg ha⁻¹ de Mg. No sistema agroflorestal, o saldo anual de nutrientes atingiu -12,8 kg ha⁻¹ de N, -2,6 kg ha⁻¹ de P, -7,9 kg ha⁻¹ de K, -23,3 kg ha⁻¹ de Ca e -3,7 kg ha⁻¹ de Mg. O saldo negativo representa perda líquida de nutrientes, empobrecendo gradativamente o solo.

Os principais benefícios do cultivo em aléias, comparados ao cerrado, foram incrementos nos teores de carbono, N, P, Ca e Mg na camada superficial do solo (0-20 cm). Isso foi possível, graças à reciclagem contínua.

Apesar da melhoria nos teores de nutrientes e matéria orgânica no solo, a produtividade das culturas foi baixa: 1210 kg ha⁻¹ de milho e 175 kg ha⁻¹ de feijão. Isto foi atribuído à competição exercida pela leucena e ao limitado conteúdo de nutrientes no solo, os quais, excetuando-se o N, estavam em níveis baixos a muito baixos.

O cultivo em aléias pode ser indicado para a produção de alimentos sem a aplicação rotineira de fertilizantes. Isto resultará em economia de insumos para o agricultor. A adubação complementar com fósforo e potássio irá aumentar a produtividade das culturas e ajudará a equilibrar o balanço de nutrientes.

NUTRIENT BUDGET IN AN AGROFORESTRY SYSTEM IN THE “CERRADO” OF BOTUCATU, SP

Author: ÁLVARO LUIZ MAFRA

Adviser: PROF. DR. ANDREAS ATILLA DE WOLINSKI MIKLÓS

SUMMARY

Alley cropping is a kind of agroforestry system where tree species planted in hedgerows are associated with annual crops. In this system and in the cerrado, the nutrient budget was determined, to find the effect of nutrient input from pruned biomass on crop yield and in soil chemical characteristics (nutrient and organic matter levels).

Leucaena (Leucaena leucocephala) was the tree planted in a cerrado soil (Haplorthox), in 1987. The hedgerows were 6 m apart and the pruning interval was 24 months. Annual crops were oat + rye consorciated in winter for green manuring. Maize + adzuki bean were grown in the summer. Mineral fertilizers were applied to leucaena at planting time but not to the cereal crops.

Annual nutrient inputs and outputs (from July/1995 to May/1996) were evaluated for both systems. Plant components were estimated (litterfall, pruning biomass, crop residues and grains). Hydric components were separated in total rain, throughfall, stem flow, leaching and runoff. Soil nutrient content and N volatilization were also measured. The nutrient budget was calculated by the difference between external input and output. Internal turnover was determined for the hydric and plant components.

Nutrient losses in native vegetation were at 6,9 kg ha⁻¹ N, 1,5 kg ha⁻¹ P, 4,7 kg ha⁻¹ K, 28,4 kg ha⁻¹ Ca and 4,9 kg ha⁻¹ Mg. Leaching was the most important mechanism, reaching 46 a 96 % of total loss; runoff was the smaller process. In alley

cropping, losses were of 28,3 kg ha⁻¹ N, 5,5 kg ha⁻¹ P, 13,3 kg ha⁻¹ K, 36,2 kg ha⁻¹ Ca and 6,1 kg ha⁻¹ Mg. Those values were larger than in cerrado, because nutrient removal by grains.

Nutrient turnover in plant-soil cycle in the cerrado, occurred mainly by litterfall, with 2176 kg ha⁻¹ year⁻¹ of dry matter (DM). This component had 27,8 kg ha⁻¹ of N, 7,2 kg ha⁻¹ of K and 3,7 kg ha⁻¹ of Mg. Litterfall contributed with to 64 % to 83 % of the total of these nutrients. For P and Ca, the larger return to the soil came from throughfall, with 3,0 kg ha⁻¹ P and 14,9 kg ha⁻¹ Ca. In the alley cropping system, plant components were more important, yielding 11039 kg ha⁻¹ of DM per year. Of this amount, 4465 kg ha⁻¹ was composed of pruning biomass, 4176 kg ha⁻¹ of crop residues and 2398 kg ha⁻¹ of litterfall. As a result, nutrient turnover was 2,9 to 7,0 times that of the cerrado.

Consequently, annual nutrient budget in cerrado was of 8,5 kg ha⁻¹ N, 1,4 kg ha⁻¹ P, 0,7 kg ha⁻¹ K, -15,5 kg ha⁻¹ Ca and -2,5 kg ha⁻¹ Mg. In the agroforestry system, it reached -12,8 kg ha⁻¹ N, -2,6 kg ha⁻¹ P, -7,9 kg ha⁻¹ K, -23,3 kg ha⁻¹ Ca and -3,7 kg ha⁻¹ Mg. The negative values reveal net loss of soil nutrients. This effect gradually exhausts soil fertility.

The main benefits of alley cropping, as compared to cerrado, were increments in organic C, N, P, Ca and Mg to the soil surface layer (0-20 cm). This was the result of continuous nutrient turnover.

In spite of those gains in soil nutrients and organic matter, crop yields were low: 1210 kg ha⁻¹ of maize and 175 kg ha⁻¹ of beans. This is attributed to competition by leucaena and low soil nutrient levels, which, except for N, were low to very low.

Thus, alley cropping can be recommended for production grain, without continuous fertilization. This will result in lowering external inputs for the farmer. Fertilization with P and K will, however, improve crop yields helping to equilibrate nutrient balance.

1. INTRODUÇÃO

O ecossistema de cerrado é responsável atualmente por cerca de 25 % da produção brasileira de grãos, tendo como principal característica, a pobreza mineral dos solos. Para explorar adequadamente sua potencialidade agrícola, tem se buscado alternativas de manejo viáveis para correção dessas limitações químicas, visando também a manutenção da matéria orgânica, com benefícios sobre a atividade biológica e os atributos físicos do solo.

Neste sentido, tem crescido o interesse por práticas como a agrossilvicultura, que é uma forma de utilização da terra em que associam culturas anuais com espécies arbóreas. Um desses sistemas é o cultivo em aléias, em que o plantio intercalar é feito em faixas entre linhas de árvores. Estas plantas são periodicamente podadas adicionando fitomassa ao solo. Essa prática intensifica a reciclagem de nutrientes e proporciona maior cobertura do solo, protegendo-o contra a erosão. Como resultado, pode-se esperar uma economia no uso de fertilizante, além de manter a fertilidade do solo.

Este tipo de sistema agroflorestal é tradicionalmente empregado em regiões tropicais da África e Ásia, permitindo o cultivo contínuo da terra, sem a degradação acelerada dos recursos naturais. No Brasil, os sistemas agroflorestais são novos, faltando estudos para otimizar as interações entre os componentes vegetais e o meio físico. Não se conhece qual a sua influência na ciclagem de nutrientes em condições de solos inférteis como os de cerrado.

O experimento teve como objetivo determinar o balanço de nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) em um sistema agroflorestal do tipo cultivo em aléias e em uma área com vegetação nativa de cerrado, estimando-se as entradas e as saídas dos elementos

minerais no sistema. Avaliou-se a influência do aporte de nutrientes a partir da fitomassa das árvores na produção das culturas agrícolas, verificando a possibilidade de reduzir a necessidade de insumos externos. Observou-se ainda, o efeito sobre os teores de nutrientes e matéria orgânica do solo, após 9 anos de manejo, em relação à condição original.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Nos ecossistemas naturais, as comunidades bióticas interagem com o meio, tendo seu desenvolvimento limitado pelas condições climáticas, pela disponibilidade de energia e de minerais. O conhecimento da ciclagem dos nutrientes auxilia na compreensão do funcionamento dos ecossistemas e permite prever o efeito da ação antrópica sobre o sistema (Brown et al., 1994).

A ciclagem mineral pode ser caracterizada pelos componentes geoquímico e biológico. O primeiro envolve os ganhos pelo intemperismo e por deposição atmosférica e as perdas por lixiviação, escoamento superficial e volatilização. O ciclo biológico envolve as transferências entre as plantas e o solo (ciclos biogeoquímicos) com ganhos através da decomposição da matéria orgânica, da deposição pela atividade dos animais, pela lavagem da copa das árvores por ação da chuva e pelo uso de fertilizantes. As perdas se dão através da absorção pelos organismos, remoção pela colheita e através da queima. Dentro da planta, o metabolismo interno constitui um ciclo bioquímico (Landsberg, 1986).

A adoção de práticas agrícolas interfere em cada um desses ciclos, modificando-os. A substituição da vegetação nativa por extensas monoculturas, sem levar em conta fatores ecológicos e sócio-econômicos, acarretou na degradação dos recursos naturais. Isso tem ocorrido nas últimas décadas, com a expansão da fronteira agrícola, especialmente no cerrado, onde os solos são ácidos, apresentam elevada saturação por alumínio e baixa reserva de nutrientes (Queiroz Neto, 1982).

A extrema simplificação dos agroecossistemas, tornou-os frágeis e sujeitos ao desenvolvimento incontrolado de pragas e doenças; o que levou ao uso intensivo de insumos de origem industrial, solicitando, portanto, alta demanda energética. O manejo

inadequado do agroecossistema trouxe como consequência, a perda da capacidade produtiva do solo, além da contaminação ambiental.

Essa situação exige a busca de alternativas tecnoecológicas, que permitam o equilíbrio entre a produção de alimentos e a conservação dos recursos naturais. Faz-se necessário a adaptação de agrossistemas com maior diversidade de espécies e maior estabilidade de produção, intensificando a reciclagem de nutrientes e minimizando perdas ao proteger o solo contra erosão. A redução da necessidade de insumos externos através da integração de diferentes atividades na propriedade, com produtos diversos, pode minimizar os riscos, do ponto de vista econômico e ambiental.

No passado, grande parte das pesquisas desenvolvidas no cerrado buscaram superar a limitação mineral dos solos, porém, sem maximizar o aproveitamento dos fertilizantes e evitar a perda da matéria orgânica. Hoje, diversas práticas alternativas têm sido propostas, tais como adubação verde, cobertura morta, rotação e associação de culturas e plantio direto (Goedert, 1985).

Estudos têm revelado que as formas de cultivo que associam espécies arbóreas e/ou perenes e culturas agrícolas (sistemas agroflorestais), colaboram na manutenção da capacidade produtiva dos solos, possibilitando o cultivo contínuo das terras (Lundgren & Nair, 1985).

Um tipo de sistema agroflorestal praticado atualmente é o cultivo em aléias, que consiste no aproveitamento agrícola do espaço formado entre linhas implantadas (renques) com espécies arbustivas ou arbóreas. Estas plantas, geralmente leguminosas, são periodicamente podadas durante a época de cultivo. A fitomassa arbórea proveniente da poda é espalhada sobre o solo e a sua decomposição colabora no suprimento de nutrientes para as espécies anuais. O uso de leguminosas ajudaria, ainda, a aumentar o aporte de nitrogênio através da fixação simbiótica (Kang et al., 1981).

Essa prática de adubação verde tende a minimizar o uso de insumos provenientes de fora da propriedade, resultando em vantagem econômica, especialmente para agricultores descapitalizados. Além disso, a associação de diferentes espécies em uma mesma área proporcionaria, também, maior diversidade no ambiente assemelhando-se aos ecossistemas naturais. A maior biodiversidade diminuiria o risco de crescimento

desordenado de organismos patogênicos ou pragas. Com o sistema agroflorestal obtém-se ainda, uma maior cobertura do solo, reduzindo perdas por erosão e o aparecimento de plantas invasoras (Lundgren & Nair, 1985).

Embora freqüentemente descrito como sistema de produção de baixo consumo de insumos, o cultivo em aléias não é limitado a essas situações, sendo aplicável em condições de alta tecnologia, com fertilização mineral e irrigação (Ssekabembe, 1985).

O sucesso desse sistema depende, sobretudo, da escolha das espécies arbóreas, com preferência para as de crescimento rápido, com potencial de fixação de nitrogênio, rebrote vigoroso e adaptação às condições edafoclimáticas. A leucena (*Leucaena leucocephala*), uma leguminosa arbustiva perene, originária do Peru, foi avaliada, sob cultivo em aléias, em Botucatu, SP (Bertalot et al., 1993). Mostrou resistência à seca, produção satisfatória de fitomassa, boa aceitação pelos bovinos e rebrote mesmo após períodos de frio e geadas leves.

No Brasil, um dos primeiros estudos com cultivo em aléias no cerrado, revelou potencial de uso (Chagas et al., 1981). O plantio de leucena foi feito em fileiras distantes entre si de 5 e 3 m, entre as quais era cultivado o feijão. A fitomassa dos arbustos atingiu 7 a 10 t ha⁻¹ de matéria seca. Neste sistema, a cultura intercalar (feijão), recebendo apenas a adubação verde incorporada na faixa de cultivo, teve rendimento de 2220 kg ha⁻¹, equivalente ao tratamento que recebeu adubação mineral.

Resultados como esses, têm motivado o estudo das interações ecológicas, atmosféricas e edáficas, entre as culturas e as espécies arbóreas e/ou arbustivas. Tais interações interferem na dinâmica dos nutrientes no sistema, podendo ser manejadas, de forma a intensificar o aproveitamento pela culturas (Ong et al., 1991).

2.1. Interações atmosféricas.

Como interações atmosféricas, devem ser considerados o sombreamento, a velocidade do vento, temperatura, umidade do ar e interceptação da chuva. Em um alfissol na Nigéria, observou-se que o conteúdo de água na camada superficial do solo (0-5 cm) foi superior no cultivo em aléias, em relação ao monocultivo em solo arado ou com plantio direto. Isso se deveu ao aumento do

sombreamento e ao efeito de quebra-vento dos renques, reduzindo a evaporação (Lal, 1989a).

A competição por água, luz e nutrientes, entre as árvores e as culturas, especialmente em clima seco, pode ocasionar redução no rendimento. Contudo, um efeito benéfico dessa interação pode manifestar-se na diminuição do crescimento das plantas daninhas, devido ao maior sombreamento (Singh et al., 1989).

Uma possível estratégia de manejo em sistemas agroflorestais, pode ser a combinação de plantas com diferentes ciclos fotossintéticos. Plantas C3 suportam melhor o sombreamento proporcionado pelos renques. As plantas C4, por outro lado, apresentam maior competição com as árvores (Ong et al., 1991).

A fileira de árvores pode funcionar como uma armadilha para a poeira, o que pode ser benéfico, principalmente quando o pó for mais rico em nutrientes que o solo original. Além disso, o cordão vegetal intercepta também, parte da chuva, reduzindo a desagregação e a erosão, mantendo assim, a fertilidade do solo (Szott et al., 1991a).

2.2. Interações edáficas.

A adição de nutrientes pela fitomassa varia em função das espécies envolvidas e da proporção relativa entre folhas e caule do material podado. Para uma mesma espécie, o "input" mineral depende da fertilidade do solo, clima, idade da planta e frequência de podas (Palm, 1995). No caso da leucena, a adição de nutrientes pela fitomassa a cada poda pode variar de 20 a 100 kg ha⁻¹ de N, 2 a 5 kg ha⁻¹ de P, 10 a 90 kg ha⁻¹ de K, 1 a 10 kg ha⁻¹ de Mg e 2 a 25 kg ha⁻¹ de Ca (Fernandes et al., 1993).

Além do aporte de minerais, os sistemas agroflorestais podem fornecer ao solo 3 a 15 t ha⁻¹ ano⁻¹ de carbono, com um adicional de 1,3 a 6,5 t ha⁻¹ ano⁻¹ de C através das raízes (Sanchez, 1995).

A presença de raízes profundas das árvores dos sistemas agroflorestais, minimiza a perda de nutrientes por lixiviação, em comparação ao monocultivo. A associação de espécies pode melhorar o enraizamento das plantas anuais, a partir da atividade das minhocas e das raízes mortas, criando canais. Além disso, a liberação dos

exsudatos radiculares e dos compostos orgânicos durante a decomposição dos tecidos mortos, auxilia na redução da toxidez de alumínio em subsuperfície (Schroth, 1995).

A dinâmica do nitrogênio também tem sido objeto de investigação em sistemas agroflorestais. A fixação biológica aparece como um dos principais efeitos benéficos das espécies arbóreas. No caso da leucena em cultivo em aléias, num solo aluvial e pobre em nutrientes da Tanzânia, a fixação biológica foi de $110 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de nitrogênio (Högberg e Kuarnström, 1982).

Desse total, porém, somente uma parte é aproveitada pelas culturas. Estudos com uso do isótopo ^{15}N , mostraram que a absorção do N pelo milho, cultivado após a incorporação da fitomassa, foi de apenas 9 % do total aos 90 dias após a semeadura (Xu et al., 1993). Essa baixa disponibilidade estava relacionada ao alto teor de polifenóis, que atrasaram a decomposição microbiana. Outro trabalho, com milho, revelou que o aproveitamento do nitrogênio proveniente da leucena, variou de 28 % no primeiro cultivo até 70 % nos cultivos subsequentes (Haggar et al., 1993). A fração restante ficou imobilizada pelos microrganismos do solo, em moléculas orgânicas, ou então, foi perdida.

Com manejo adequado do solo (plantio em nível, manutenção dos restos culturais sobre o solo, não realização da queima), as perdas de N no sistema, são inferiores a 20 % (Palm, 1995). Os processos de perda são a denitrificação, o escoamento superficial e a lixiviação.

Com relação ao fósforo, elemento mais limitante na produção vegetal em solos tropicais, observou-se uma absorção até 60 % maior, pelas culturas nas aléias, com adição do material podado, em comparação às parcelas onde a fitomassa foi removida (Haggar et al., 1991). Isto foi atribuído à maior capacidade de absorção da leucena, pelo sistema radicular profundo, perene e possivelmente com sistema micorrízico mais eficiente. Outro efeito sugerido foi advindo do aumento da matéria orgânica na camada superficial do solo, diminuindo a fixação do P pelos minerais e aumentando a disponibilidade a partir de formas orgânicas.

Sob cultivo em aléias, os nutrientes catiônicos (Ca, Mg e K) normalmente acumulam-se na camada superficial. A razão apontada é a reciclagem dos cátions a partir de camadas mais profundas do solo e a consequente liberação através da

decomposição das raízes, serapilheira e resíduos culturais. Quando é feita a remoção contínua da fitomassa sobre o solo ou, ainda, quando ocorre erosão, pode haver diminuição dos teores destes elementos no solo (Lal, 1989b)

Além do fornecimento de nutrientes, a adição de fitomassa intervém favoravelmente sobre outras propriedades do solo. O cultivo em aléias durante cinco anos num alfissol, em Ibadan, Nigéria, aumentou a capacidade de troca catiônica (CTC), na camada de 0-10 cm de profundidade, quando comparado ao monocultivo (Lal, 1989c). Este aumento esteve relacionado à variação no teor de carbono orgânico.

A conservação da matéria orgânica é um dos aspectos mais importantes na manutenção da capacidade produtiva dos solos, especialmente nas condições de cerrado. Entre os principais benefícios estão a maior disponibilidade de nutrientes e melhoria das propriedades físicas e biológicas do solo (Pereira & Peres, 1985). Outro efeito observado é a complexação do alumínio, pelos ácidos orgânicos e polissacarídeos liberados durante a decomposição dos resíduos (Szott et al., 1991a).

Com relação as propriedades físicas do solo, observou-se que o cultivo em aléias em um oxissol, aumentou o diâmetro médio dos agregados, em comparação ao monocultivo (Yamoah et al., 1986). Notou-se também a diminuição da densidade do solo e o aumento da capacidade de armazenamento de água, devido ao aporte de matéria orgânica. A conservação da água no solo também é favorecida pela cobertura, que minimiza a evaporação (Ingram, 1990). Tais efeitos podem, provavelmente, reduzir a erodibilidade do solo.

As alterações provocadas pelo manejo do solo sobre os atributos biológicos têm sido relacionados, cada vez mais, à disponibilidade de nutrientes. Num experimento com aplicação da fitomassa podada, notou-se aumento da atividade microbiana, com a duplicação da mineralização de N em comparação ao monocultivo (Haggar et al., 1993).

Em termos de potencial produtivo, o sistema de cultivo em aléias tem dado resultados animadores. Em um experimento de maior duração, conduzido num alfissol no Zaire, verificou-se que o rendimento de milho associado à leucena plantada em aléias, foi de até 2000 kg ha⁻¹, mesmo sem fertilizantes. Tal sistema substituiu com vantagem o

sistema de cultivo solteiro com fertilizantes, embora as respostas em rendimento, somente ocorreram a partir do 5º ano. Notou-se também menor flutuação de produção, principalmente nos anos mais desfavoráveis ao crescimento da cultura (Shannon et al., 1994). Sabe-se, porém, que esses resultados são variáveis conforme as condições edafoclimáticas e de manejo adotadas.

Assim sendo, os sistemas agroflorestais apresentam grande potencial para produzir alimentos, além de manter a fertilidade de solos ácidos e inférteis. A eficiência de tais práticas, em termos de ciclagem de nutrientes, tem sido estudada parcialmente, dando-se pouca ênfase às propriedades do solo (Sanchez, 1995). De maneira geral, poucos são os trabalhos que comparam a dinâmica dos elementos minerais em sistemas agrícolas e em ecossistemas naturais.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área experimental.

O experimento localiza-se em Botucatu, SP (22°57'S, 48°25'O, altitude de 900 m). O solo corresponde um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, A moderado, textura média, ácido, derivado de arenito do Grupo Bauru (Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1981). A vegetação natural da área era de cerrado.

O clima é do tipo Cfa: mesotérmico úmido com verão quente, segundo a classificação de Köppen. A temperatura média anual é de 20 °C e a pluviosidade média é de 1350 mm ano⁻¹. A estação seca se desenvolve de junho a agosto (Setzer, 1966). A temperatura média mínima anual é de 15,8 °C e a média máxima anual é de 25,1 °C. A umidade relativa do ar média anual é de 75 % (Nascimento & Pereira).

3.2. Manejo das culturas e do solo.

A espécie arbórea foi a leucena (*Leucaena leucocephala* var. Peru), plantada em 1987, com espaçamento de 6 m entre renques e 0,4 m entre plantas. Não foi feita inoculação das sementes. O manejo da leucena consistiu na poda anual a 60 cm de altura do solo, realizada antes da semeadura da cultura de verão. Na safra 93/94 não se podou em função da ocorrência de geada, sendo a fitomassa obtida em 1995 equivalente a 24 meses de crescimento vegetativo. Esses ramos e folhas foram distribuídos sobre o solo, nas faixas de cultivo.

As espécies anuais nas faixas de cultivo eram plantadas no inverno e verão, consorciando-se gramíneas e leguminosas (Tabela 1). Em maio de 1995 iniciou-se o período de avaliação, com a incorporação da fitomassa de milho consorciado com mucuna preta (*Mucuna aterrima*) e lablab (*Dolichos lablab*). Seguiu-se, durante o inverno, com centeio (*Secale cereale*) e aveia (*Avena sativa*) consorciados, semeados a

lanço, em 23/05/1995. A fitomassa foi incorporada ao solo como adubo verde em 10/10/1995. As culturas de verão foram o milho e o feijão adzuki (*Vigna umbellata*) consorciados, semeados em linhas, em 11/10/1995. Cada faixa tinha 5 linhas de milho, com 35.000 plantas ha⁻¹ e 4 linhas de feijão, com 150.000 plantas ha⁻¹. As sementes utilizadas foram de variedades locais.

Tabela 1. Sequência de cultivos anuais nas faixas entre os renques.

CULTURAS	SEMEADURA	COLHEITA
Centeio, aveia, ervilhaca	mar/abr. 1988 a 1994	set/out. 1988 a 1994
Milho, soja, feijão, mucuna preta	set/out. 1987 a 1993	mar/abr. 1988 a 1994
Milho + mucuna preta + lablab	out. 1994	20/maio/1995
Centeio + aveia	23/maio/1995	08/out./1995
Milho + feijão adzuki	10/out./1995	25/jan./1996 (Feijão) 29/abr./1996 (Milho)

Observação: em destaque o período de condução do experimento.

O solo foi corrigido por ocasião do plantio da leucena, com calcário dolomítico (2400 kg ha⁻¹) e com termofosfato (20 kg ha⁻¹ de P). O preparo do solo empregado era a roçada da cultura anterior, seguida de gradagem. Não foi realizada adubação mineral de manutenção nas culturas.

3.3. Delineamento experimental.

O delineamento foi inteiramente casualizado, com dois tratamentos (sistema agroflorestal e cerrado) e dez repetições. Na área de cerrado foi delimitada uma área de 30 x 30 m. No sistema agroflorestal foram estudadas duas faixas de cultivo, tendo cada uma 22 x 8 m (Figura 1).

3.4. Avaliações.

Estimou-se a densidade de plantas de leucena e a composição florística no cerrado em 4 parcelas de 10 x 10 m. Separou-se as plantas em classes de

altura, em arbustos pequenos (até 1 m), arbustos de 1 a 3 m e arvoretas (mais de 3 m). A vegetação rasteira foi quantificada em quatro parcelas de 3 x 3 m, contando-se o número de plantas e separou-se os indivíduos da família Gramineae.

Figura 1. Distribuição das parcelas no campo.

Fez-se a descrição morfológica dos solos, avaliando a cor, estrutura, distribuição de raízes, textura, porosidade e consistência dos horizontes (Lemos & Santos, 1976). Coletou-se amostras nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20; 20-40; 100-110 e 150-160 cm, para análise granulométrica pelo método do densímetro (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1979). As análises químicas seguiram a metodologia descrita por Raij & Quaggio, (1983). O teor de N total foi analisado pelo método de Kjeldahl; o P foi extraído por resina e determinado por colorimetria; o K, Ca e Mg foram extraídos por resina e determinados por espectrofotometria de absorção atômica e o C orgânico foi analisado pelo método de Walkley-Black. Foram analisados ainda, o pH em solução salina (CaCl_2 0,01 M) e a acidez potencial, extraída por solução SMP. Calculou-se a soma de bases, a capacidade de troca de cátions e a saturação por bases (V%).

Para estimativa do balanço de nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) foram distinguidos os componentes hídricos, vegetais e edáficos (Langkamp et al., 1982). O

período de coleta foi de junho de 1995 a maio de 1996, separando-se em estação seca, com o cultivo de inverno (jun./1995 a out./1995) e estação chuvosa, com o cultivo de verão (nov./1995 a maio/1996).

3.4.1. Componentes hídricos.

Os componentes hídricos avaliados foram a precipitação incidente, o gotejamento de copa, o fluxo de caule, a enxurrada e a lixiviação.

A precipitação incidente foi o mecanismo de entrada de nutrientes externo ao sistema (ciclo geoquímico), sendo considerada a chuva livre, fora da área de ação da copa das plantas. O gotejamento de copa e o fluxo de caule foram os componentes responsáveis pela reciclagem interna do sistema (ciclo biogeoquímico), coletados sob a copa das plantas. São formados a partir da chuva livre, que solubiliza nutrientes na vegetação e os devolve ao solo, juntamente com o processo de lavagem da poeira captada na copa das plantas. Essa divisão permite identificar a participação da vegetação na interceptação da chuva, que é fração retida na copa das plantas. A parte restante (líquida) consiste na chuva que atinge o solo (Painter, 1976). O cálculo baseia-se nas seguintes relações:

Interceptação = Precipitação incidente - (Gotejamento da copa + Fluxo de caule).

Precipitação líquida = Gotejamento da copa + Fluxo de caule.

A enxurrada e a lixiviação foram os mecanismos de perda de nutrientes do sistema (ciclo geoquímico). A enxurrada corresponde à ação da erosão, arrastando nutrientes nos sedimentos e solúveis, pelo escoamento superficial. Na lixiviação, os nutrientes são levados em solução, com o movimento de percolação.

Esses componentes hídricos foram medidos semanalmente, coletando-se alíquotas proporcionais ao volume total, conservadas sob refrigeração e acidificadas até pH 2,0 (H_2SO_4). Efetuou-se análise ao final de cada estação para N, P, K, Ca e Mg, de acordo com Tedesco et al., (1985). Calculou-se a altura da lâmina de água coletada, em mm. A concentração média anual foi calculada pela média ponderada das concentrações em cada safra, considerando a altura coletada em cada período. As quantidades de nutrientes foram agrupadas a cada mês.

a) Precipitação incidente.

Consistiu na chuva livre, sem interceptação. Foi obtida em dois pluviômetros de PVC, de 8,0 cm de diâmetro, instalados a 80 cm de altura do solo, sem a cobertura das árvores. Representou a contribuição de nutrientes a partir da atmosfera.

b) Gotejamento de copa.

Compreende a fração da precipitação livre (incidente) que atinge a copa das plantas e respinga posteriormente para o solo. Neste processo a solução é enriquecida por nutrientes solúveis do tecido vegetal e presentes nas partículas sólidas sobre as folhas. O gotejamento de copa foi cotetado em 10 pluviômetros de PVC com 8,0 cm de diâmetro, instalados de forma sistemática no cultivo em aléias, em dois alinhamentos transversais ao renques. Assim, foi possível coletar a fração da chuva que era interceptada pela leucena e posteriormente respingava para o solo. No cerrado foram dispostos 10 pluviômetros, aleatoriamente a uma altura de 80 cm do solo. A chuva foi armazenada em recipiente plástico de 1 L (Figura 2a), com tela para impedir a entrada de insetos e folhas.

Os valores (alturas) do gotejamento da copa que foram superiores à precipitação livre foram substituídos pela média desta, nos cálculos. Isto ocorre quando há maior concentração de gotas em alguns pontos, devido ao efeito do vento e à cobertura foliar sobre o coletor, cuja área de coleta é pequena ($50,3 \text{ cm}^2$).

c) Fluxo de caule.

Considera-se o fluxo de caule como a porção da precipitação livre que chega à copa da planta e desce para o solo pelo caule. Foram postos anéis de plástico, convergindo a solução para recipientes de 5 L (Figura 2b). Foi medido em 10 plantas de cada tratamento.

Salienta-se que a adição de nutrientes pelo fluxo de caule e gotejamento de copa, foi calculada, descontando-se o teor médio presente na precipitação incidente.

d) Enxurrada.

Delimitou-se uma parcela de 3,5 x 5,0 m por tratamento. A maior dimensão foi disposta no sentido do declive (Figura 2c). A declividade média era de 11

%. Determinou-se as perdas de solo, água e nutrientes por escoamento superficial, acumulados nas caixas coletoras (Figura 2d).

e) Lixiviação.

Como lixiviação considerou-se o volume de solução percolado no solo até uma profundidade de 1,6 m. Em cada tratamento usou-se um lisímetro de drenagem.

Os lisímetros tinham 0,8 m de diâmetro e 1,6 m de profundidade. No fundo havia uma camada de 10 cm de brita (2 a 3 cm de diâmetro) e 5 cm de areia grossa, para facilitar a drenagem até o recipiente armazenador (Figura 3a). Os cilindros foram construídos em chapa galvanizada, revestida com tinta betuminosa. No sistema agroflorestal foi feita a semeadura das culturas na superfície do lisímetro e no cerrado deixou-se as ervas crescerem, simulando a condição local de cobertura do solo.

3.4.2. Componentes vegetais.

Os componentes vegetais avaliados foram a serapilheira, a fitomassa da poda da leucena e a produção das culturas (matéria seca da parte aérea e grãos colhidos). Com exceção dos grãos, esses componentes contribuem com a reciclagem de nutrientes da planta ao solo (ciclo biogeoquímico). Os grãos foram um mecanismo de perda de nutrientes no sistema agroflorestal.

A fitomassa dos componentes vegetais foi determinada após secagem em estufa à 65 °C, até peso constante. Em subamostras de tecido vegetal digerido foram analisados o N total, pelo método semi-micro Kjeldahl, o P por colorimetria e o K, Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica (Malavolta et al., 1989).

a) Serapilheira.

Constitui nos fragmentos vegetais caídos sobre o solo, coletados em 10 bandejas de 0,5 m², com tela plástica de 1,0 mm no fundo (Figura 3b), dispostas a 50 cm de altura do solo, de forma sistemática, em alinhamentos transversais aos renques. Assim, foi possível avaliar o gradiente de produção conforme a distância da leucena. No cerrado foram distribuídas 10 bandejas de forma aleatória. A coleta do material foi quinzenal.

Figura 2. Pluviômetro (a); Coletor de fluxo de caule (b); Parcela coletora de enxurrada (c); Caixa coletora de enxurrada (d).

b) Fitomassa da poda.

A fitomassa proveniente da poda da leucena foi amostrada em 10 plantas, escolhidas ao acaso. O material foi separado em folhas e ramos (com diâmetro superior a 0,5 cm).

c) Produção das culturas.

Quantificou-se os grãos e os resíduos da parte aérea em 16 amostras de $1,0\text{ m}^2$, coletadas de forma sistemática, conforme a distância dos renques.

3.4.3. Componentes edáficos.

Foi avaliada a reserva de nutrientes do solo na camada de 0-160 cm de profundidade e a perda de nitrogênio por volatilização na forma de amônia.

a) Nutrientes no solo.

O teor de nutrientes no solo foi determinado em duas amostras compostas (25 subamostras), na profundidade de 0-20 cm., coletadas a cada 3 meses, totalizando 10 amostras por tratamento. Na profundidade de 20 a 160 cm utilizou-se os dados obtidos na descrição dos solos nas trincheiras. Analisou-se os teores de C orgânico, N, P, K, Ca e Mg, conforme metodologia de Raij & Quaggio (1983).

b) Volatilização de nitrogênio.

Foram instalados cinco coletores semi-abertos estáticos, por tratamento (Figura 3c). Os cilindros de PVC transparente, continham espumas, embebidas em solução de ácido sulfúrico (15 ml L^{-1}) e glicerina (30 ml L^{-1}). As amostragens eram feitas a cada 12 dias, de outubro de 1995 (poda da leucena) até março de 1996, num total de 11 coletas. A amônia retida na espuma foi extraída com água destilada, posteriormente destilada e determinada por titulometria (Lara Cabezas & Trivelin, 1990).

3.4.4. Estimativa do balanço de nutrientes.

Estimou-se as perdas e ganhos anuais de nutrientes (kg ha^{-1}), obtendo-se o saldo (entradas - saídas). Calculou-se a reciclagem de nutrientes entre a planta e solo, estimando assim a disponibilidade para as plantas.

Figura 3. Coletores de lixiviação (a); Bandeja coletora de serapilheira (b); Coletor de volatilização de nitrogênio (c).

a) Área de cerrado: os componentes considerados foram:

- Entrada = precipitação incidente;
- Ciclo planta-solo = gotejamento de copa + fluxo de caule + serapilheira;
- Saídas = enxurrada + lixiviação.

b) Área do cultivo em aléias:

- Entrada = precipitação incidente;
- Ciclo planta-solo = gotejamento de copa + fluxo de caule + serapilheira + fitomassa podada + resíduos da parte aérea;
- Saídas = enxurrada + lixiviação + volatilização de N + remoção pela colheita.

3.5. Análise dos resultados.

A remoção de nutrientes nos grãos, a fitomassa e a adição de nutrientes pela poda da leucena e pelas culturas no sistema agroflorestal foram descritas pela média $\pm$ intervalo de confiança de 95%, calculado pelo teste t.

O fluxo de caule, a lixiviação, a enxurrada, a volatilização de amônia, o teor de nutrientes no solo (camada de 0-20 cm) e a produção de feijão na linha central e lateral da faixa de cultivo, foram submetidos à análise da variância pelo teste F, com 5% de significância (Tabela 2).

A produção média de serapilheira e os nutrientes na precipitação e lavagem de copa em cada transecto (conjunto de 3 coletores: junto ao renque, em posição intermediária e no centro da faixa de cultivo) foram comparados com os valores do cerrado. Aplicou-se o teste t para dados não emparelhados, com variâncias populacionais desconhecidas e supostamente distintas, com 5% de significância.

Calculou-se a correlação entre a chuva e o gotejamento de copa, fluxo de caule e interceptação. Verificou-se também a correlação para o fluxo de caule e o diâmetro e altura das plantas. Nos casos onde o coeficiente de correlação foi significativo, realizou-se a análise de regressão. Esta também foi empregada para a produção de serapilheira da leucena e para o rendimento de grãos do milho, conforme a distância dos renques.

Tabela 2. Esquema de análise da variância.

ATRIBUTO ANALISADO	CAUSA DE VARIAÇÃO	GRAUS LIBERDADE
Fluxo de caule	Local	1
	Resíduo	18
	Total	19
Lixiviação e enxurrada	Local	1
	Época	7
	Resíduo	7
	Total	15
Volatilização de amônia	Local	1
	Resíduo A	8
	Parcelas	9
	Épocas	10
	Local * Época	10
	Resíduo B	80
	Total	109
Nutrientes no solo	Local	1
	Época	3
	Local*Época	3
	Resíduo	8
	Total	15
Produção nas linhas de feijão	Linha	1
	Resíduo	14
	Total	15

A volatilização de amônia foi corrigida conforme a eficiência dos coletores (Lara Cabezas & Trivelin, 1990). A perda média no sistema agroflorestal a cada época, foi descontada dos valores obtidos no cerrado, eliminando a contribuição do nitrogênio liberado pela decomposição das espumas absorvedoras, obtendo-se a volatilização líquida proveniente da fitomassa podada da leucena. Posteriormente, fez-se a análise de regressão para a perda total de nitrogênio acumulada a cada coleta.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A apresentação inicia com a descrição das áreas trabalhadas, quanto a vegetação e solo. Posteriormente, são detalhadas separadamente as entradas e saídas de nutrientes em cada sistema, resultando no balanço.

4.1. Composição florística.

No sistema agroflorestal, a leucena tinha densidade de 3833 plantas ha^{-1} , com espaçamento médio de 42 cm entre plantas no renque. Além do número de plantas, o aporte de nutrientes depende da produção individual de fitomassa. Verificou-se que as plantas tinham diâmetro médio de caule (60 cm de altura) de 5,5 cm e a altura variava de 3,0 a 4,0 m, com sistema radicular profundo (+ de 2 m).

A vegetação do cerrado mostrou-se heterogênea em termos de espécies, com maior abundância de indivíduos das famílias Asteraceae, Mirtaceae, Fabaceae e Araliaceae. Havia vegetação rasteira fechada, composta por gramíneas e outras ervas.

A diversidade de espécies é uma característica marcante desse tipo de vegetação, comprovada numa avaliação fitossociológica detalhada de um cerrado da região de Botucatu, SP. Descreveu-se 54 espécies vegetais entre árvores e arbustos. Na classe de árvores foram consideradas as plantas com mais de 3 m de altura, totalizando 1179 indivíduos por hectare. Os arbustos com menos de 3 m de altura e mais de 10 cm de circunferência de caule, medidos a 30 cm de altura do solo, totalizaram 3018 plantas por hectare (Gottsberger & Eiten, 1983).

O porte das plantas caracterizou-se pela predominância de arbustos pequenos (Tabela 3). Notou-se ainda, abundância de vegetação rasteira e de serapilheira

sobre o solo. Essa cobertura vegetal protege o solo do impacto da chuva, diminuindo a erosão. Além disso, sua decomposição permite a manutenção de uma camada superficial de solo mais rica em nutrientes.

Tabela 3. População dos diferentes estratos de plantas no cerrado.

Estratos de plantas	Altura (m)	Número ha ⁻¹
Arvoretas	> 3	500
Arbustos	1 a 3	767
Arbustos pequenos	< 1	6467
Gramíneas	--	49722
Outras ervas	--	84167

No solo, verificou-se a presença de sistema radicular profundo, atingindo mais de 2,5 m de profundidade. As raízes eram espessas, contribuindo para reserva de água e nutrientes. Nesse tipo de vegetação, as raízes representam importante proporção da fitomassa total da planta. A avaliação em um campo cerrado em Pirassununga, SP, indicou que o material vegetal sob o solo, nos primeiros 36 cm de profundidade, equivalia a massa presente no extrato subarbuscivo-herbáceo acima do solo (Delitti et al., 1986). A fitomassa seca das raízes quantificada no campo cerrado em Mogi-Guaçu, SP, atingiu 12400 kg ha⁻¹ (Pompéia, 1989).

4.2. Atributos morfológicos e físico-químicos dos solos.

Os perfis de solo dos dois tratamentos (sistema agroflorestal e cerrado) eram semelhantes morfológicamente (Tabela 4).

Os solos apresentaram cores bruno avermelhado escura e vermelho amarela, textura média, estrutura fraca a moderada em blocos subangulares em superfície e forte muito pequena (microagregados) em profundidade. A consistência do solo quando seco, nos horizontes superficiais era dura a ligeiramente dura no sistema agroflorestal e ligeiramente dura a macia no cerrado. Em profundidade, era macia em ambos os perfis. A porosidade, tubular e intergranular, era forte. As raízes eram

abundantes em superfície, muitas em subsuperfície e comuns em profundidade. Tais solos, apresentaram atração magnética muito fraca ou ausente. Podem ser classificados como Latossolo Vermelho Amarelo textura média.

Tabela 4. Características morfológicas dos solos estudados.

Horizonte	Prof. (cm)	Cor ⁽¹⁾ (úmido)	Textura ⁽²⁾	Estrutura ⁽³⁾ G / C / T	Consistência ⁽⁴⁾ S / U / M
Sistema Agroflorestal					
Ap	0-10	5YR3/3	md - arg.	Mo / BS / G	LD / MF / LP, LPe
AB	11-31	5YR3/4	md - arg.	Mo / BS / G	D / MF / LP, LPe
Bw ₁	32-58	5YR3/4	md - arg.	Fr / BS / M	Ma / MF / P, Pe
Bw ₂	59-117	2,5YR4/4	md - arg.	Fo / Gr / MP	Ma / F / P, Pe
Bw ₃	118 -+	2,5YR4/4	arg.	Fo / Gr / MP	Ma / MF / P, Pe
Cerrado					
A	0-15	2,5YR3/4	md - arg.	Fr / BS / M	Ma / F / LP, LPe
BA	16-49	5YR4/8	md - arg.	Fr / BS / M	LD / F / LP, LPe
Bw ₁	50-77	5YR4/8	md - arg.	Fr / BS / M	Ma / MF / LP, LPe
Bw ₂	78- +	5YR4/8	arg.	Fo / Gr / MP	Ma / MF / LP, LPe

Legenda:

1. Cor: 5YR3/3, 3/4 e 4/4; 2,5YR 3/4: bruno avermelhado escuro; 5YR 4/8: vermelho amarelo.
2. Textura: md - arg: média-argilosa; arg.: argilosa
3. Estrutura: (G = grau) Mo: moderada; Fo: forte; Fr: fraca; (C=classe) BS: blocos subangulares; Gr: granular. (T=tamanho) G: grande; M: média; MP: muito pequena.
4. Consistência: (S = seco) LD: ligeiramente duro; D: duro; Ma: macio; (U=úmido) F: friável; MF: muito friável; (M=molhado) P: plástico; LP: ligeiramente plástico; Pe: pegajoso; Lpe: ligeiramente pegajoso.

Os perfis em ambos tratamentos apresentavam, portanto, boa agregação e porosidade, garantindo boa aeração e infiltração da água. Apesar disso, observou-se ligeira compactação no solo sob cultivo em aléias na camada entre 10 e 15

cm. Isso foi resultante da movimentação excessiva de máquinas e da operação de gradagem.

A análise granulométrica evidenciou uniformidade textural nos perfis, com ligeiro gradiente. A quantidade de argila aumenta progressivamente com a profundidade (Tabela 5). A textura média em superfície pode implicar em maior suscetibilidade à erosão, especialmente nos locais de maior declive e sem cobertura de solo. No sistema agroflorestal, embora haja preparo de solo, deixando a superfície descoberta em parte do ano, não foram observados sinais de erosão (laminar e em sulcos). Isso em função da agregação do solo e da proteção oferecida pela leucena.

Tabela 5. Composição granulométrica dos solos em g kg^{-1} .

Profundidade		Areia			Silte	Argila
Horizonte	(cm)	Grossa	Fina	Total		
Sistema agroflorestal						
Ap	0-10	240	400	640	60	300
BA	11-31	230	410	640	60	300
Bw ₁	32-58	220	390	610	50	340
Bw ₂	59-117	200	400	600	60	340
Bw ₃	118-200	100	500	600	40	360
Cerrado						
A	0-15	220	440	680	60	240
AB	16-49	180	510	690	60	270
Bw ₁	50-77	160	490	650	40	300
Bw ₂	78-200	160	440	600	80	350

Do ponto de vista químico, os solos eram ácidos e de baixa fertilidade. O pH era baixo em ambos os perfis, mas na camada superficial (0 a 10 cm), havia ligeira elevação, devido à adição contínua de resíduos orgânicos e, eventualmente, pelo efeito residual da calagem no cultivo em aléias, realizada em 1987 (Tabela 6). O teor de Al trocável era alto, exceto na camada superficial do sistema agroflorestal.

Apesar do conteúdo de argila ser médio (até 360 g kg⁻¹), a reserva de nutrientes era baixa em função do predomínio de argilas de baixa atividade.

Observou-se maiores teores de matéria orgânica nos primeiros 40 cm do solo, passando de 13 à 19 g kg⁻¹ no cerrado, para 22 à 29 g kg⁻¹ no sistema agroflorestal. Este incremento pode ser explicado pelo maior aporte anual de carbono, a partir da fitomassa da leucena (poda), serapilheira e dos restos culturais. Conjuntamente com os teores de carbono orgânico, notou-se elevação da CTC no solo sob cultivo em aléias. Do ponto de vista agrônômico, tais fatores contribuem para maior disponibilidade de nutrientes para as plantas, além da redução das perdas.

Tabela 6. Atributos químicos dos solos no sistema agroflorestal e cerrado.

Prof. (cm)	pH CaCl ₂	MO	N	P	K	Ca	Mg	Al	CTC	V
		---g kg ⁻¹ ---		µg cm ⁻³			-----mmol _c dm ⁻³ -----			(%)
Sistema agroflorestal										
0-5	4,6	29	1,2	10	0,6	24	12	2	65	57
5-10	4,7	28	1,4	9	0,5	25	12	2	72	53
10-20	4,4	22	1,2	3	0,8	17	10	4	62	45
20-40	4,0	19	2,3	2	0,6	5	4	4	48	21
100-110	4,4	13	1,0	3	0,6	3	3	6	35	20
150-160	4,3	9	0,7	1	0,4	2	2	6	29	14
Cerrado										
0-5	3,8	19	0,9	3	0,8	4	2	8	49	14
5-10	3,8	13	0,8	2	0,7	2	1	6	35	11
10-20	3,9	13	0,7	1	0,4	1	1	7	36	6
20-40	4,2	14	0,4	1	0,3	1	1	8	24	8
100-110	3,9	17	0,4	1	0,5	1	1	8	41	7
150-160	3,7	8	0,4	2	0,5	1	1	6	21	14

A matéria orgânica no solo de cerrado acumulou-se na camada superficial (0-5 cm), devido à queda da serapilheira.

Constou-se, ainda, no sistema agroflorestal, maiores teores de nitrogênio total (0-40 cm de profundidade). Possivelmente, devido à fixação simbiótica através da leucena e das leguminosas usadas como adubo verde. O potássio apresentava teores semelhantes aos do cerrado, em função da maior exportação através dos grãos colhidos e perdas por erosão e lixiviação.

Verifica-se nove anos da implantação do sistema agroflorestal, teores de nutrientes no solo superiores ao cerrado. Isso se deve, além da aplicação de insumos, à capacidade de reciclagem da leucena e as culturas usadas como adubo verde. Esse sistema proporciona ainda, maior fixação de nitrogênio e maior aporte de carbono orgânico ao solo. Contudo, os teores de P, K, Mg e Ca mantiveram-se em níveis baixos a muito baixos, exceto para o Mg na camada superficial.

4.3. Componentes hídricos.

A precipitação incidente contém nutrientes solúveis, na forma de poeira e cinzas suspensas na atmosfera, constituindo a entrada externa ao sistema. O gotejamento de copa e o fluxo de caule auxiliam na reciclagem interna entre a planta e o solo. A água da chuva atinge a copa e dissolve os nutrientes nos tecidos vegetais e lava a poeira retida nas folhas, transferindo-os ao solo.

4.3.1. Precipitação incidente.

A precipitação total anual foi de 1447 mm, sendo 361 mm durante a estação seca (jun-out./1995) e 1086 mm no período das águas (nov./1995 a maio/1996).

A distribuição mensal da chuva (Figura 4) indica um período seco de abril a agosto. O período mais chuvoso foi de outubro a março, com 1159 mm, ou seja, 80,1% do total anual. As maiores precipitações ocorreram em dezembro e março com 263 e 248 mm, respectivamente.

A concentração média de nutrientes na precipitação foi de 1,09 mg L⁻¹ de N, 0,19 mg L⁻¹ de P, 0,37 mg L⁻¹ de K, 0,90 mg L⁻¹ de Ca e 0,17 mg L⁻¹ de Mg (Tabela 7). O maior teor de nutrientes ocorreu no período seco, havendo uma relação

inversa com a altura de chuva. Este fato já foi observado em São Paulo (Meguro et al., 1979) e Mogi-Guaçu, SP (Meguro & Delitti, 1985).

Figura 4. Variação mensal da precipitação em Botucatu.

Tabela 7. Concentração de nutrientes (mg L^{-1}) na precipitação incidente.

Período	N	P	K	Ca	Mg
Inverno	2,48	0,36	0,88	0,82	0,31
Verão	0,63	0,14	0,20	0,92	0,12
Média	1,09	0,19	0,37	0,90	0,17

A adição total de nutrientes pela chuva foi de $15,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, $2,82 \text{ kg ha}^{-1}$ de P, $5,35 \text{ kg ha}^{-1}$ de K, $13,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de Ca e $2,42 \text{ kg ha}^{-1}$ de Mg (Tabela 8). Tais valores são similares aos valores médios anuais observados em áreas de florestas tropicais úmidas: $10,9 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, $3,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de P, $7,7 \text{ kg ha}^{-1}$ de K, $11,9 \text{ kg ha}^{-1}$ de Ca e $4,7 \text{ kg ha}^{-1}$ de Mg (Vitousek & Sanford, 1991).

4.3.2. Gotejamento de copa.

O total anual foi de 1330 mm no cerrado e 1333 mm no sistema agroflorestal. Observou-se uma relação direta entre a precipitação incidente e o gotejamento de copa, que em média nas duas áreas, representou 92 % da chuva (Figura 5). Para a intensidade de chuva ou época do ano, não houve correlação significativa.

Tabela 8. Altura precipitada (mm) e nutrientes adicionados (kg ha⁻¹) pela chuva.

Atributo	Inverno	Verão	Total
Altura	361	1086	1447
N	8,96	6,52	15,47
P	1,30	1,52	2,82
K	3,18	2,17	5,35
Ca	2,96	9,99	12,95
Mg	1,12	1,30	2,42

Figura 5. Relação entre precipitação incidente e gotejamento de copa.

O gotejamento de copa varia com a densidade da cobertura vegetal. Em floresta densa na China, com índice de área foliar de 8,4 e biomassa de 290 t ha⁻¹, representou de 70 a 95 % da chuva total (Wang et al., 1994). Já num campo cerrado em Mogi-Guaçu (SP), teve-se uma proporção de 89 % da chuva total (Pompéia, 1989).

A concentração média no gotejamento de copa foi de 1,49 mg L⁻¹ de N, 0,42 mg L⁻¹ de P, 0,61 mg L⁻¹ de K, 2,03 mg L⁻¹ de Ca e 0,21 mg L⁻¹ de Mg no cerrado. No sistema agroflorestal os valores obtidos foram 1,49 mg L⁻¹ de N, 0,46 mg L⁻¹ de P, 0,73 mg L⁻¹ de K, 2,23 mg L⁻¹ de Ca e 0,37 mg L⁻¹ de Mg (Tabela 9).

Tabela 9. Concentração de nutrientes (mg L⁻¹) na solução do gotejamento de copa.

Nutrientes	Cerrado			Sistema agroflorestal		
	Inverno ⁽¹⁾	Verão	Média ⁽²⁾	Inverno ⁽¹⁾	Verão	Média ⁽²⁾
N	3,56	0,82	1,49 ± 0,15	3,14	0,93	1,49 ± 0,12
P	1,16	0,18	0,42 ± 0,10	1,20	0,21	0,46 ± 0,11
K	1,73	0,24	0,61 ± 0,15	1,91	0,33	0,73 ± 0,18
Ca	2,38 *	1,90	2,03 ± 0,48	3,81 *	1,70	2,23 ± 0,20
Mg	0,47 **	0,27	0,21 ± 0,02	1,13 **	0,12	0,37 ± 0,09

1. * = significativo com 95 % de confiança; ** = significativo com 99 % de confiança;

2. Intervalo de confiança com 5 % de significância.

Os teores de Ca e Mg no gotejamento de copa no inverno, foram significativamente maiores no cultivo em aléias, em função da maior concentração de nutrientes na fitomassa da leucena.

O gotejamento de copa foi 1,4 a 2,4 vezes mais concentrado em nutrientes que a chuva (precipitação) incidente. Este enriquecimento se deve a solubilização dos nutrientes presentes nas folhas e a lavagem da poeira depositada na copa. A vegetação age como um filtro para as partículas em suspensão na atmosfera, que são colóides orgânicos e inorgânicos e cinzas, provenientes das queimadas realizadas na região, os quais são ricos em nutrientes.

Esse fenômeno já foi verificado em uma mata tropical subcaducifolia em Fênix (PR), onde o gotejamento de copa foi 2 a 11 vezes mais rico em nutrientes que a precipitação incidente (Santos & Rodrigues, 1992).

A adição de nutrientes pelo gotejamento de copa no cerrado atingiu $5,30 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, $3,01 \text{ kg ha}^{-1}$ de P, $3,18 \text{ kg ha}^{-1}$ de K, $14,93 \text{ kg ha}^{-1}$ de Ca e $2,03 \text{ kg ha}^{-1}$ de Mg. No sistema agroflorestal contribuiu com $5,20 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, $2,91 \text{ kg ha}^{-1}$ de P, $4,74 \text{ kg ha}^{-1}$ de K, $17,77 \text{ kg ha}^{-1}$ de Ca e $2,84 \text{ kg ha}^{-1}$ de Mg (Tabela 10).

Os valores médios encontrados em outras florestas tropicais, ocorrendo em solos pobres em nutrientes, são de $18,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, $2,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de P, $43,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de K, $13,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de Ca e $17,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de Mg (Vitousek & Sanford, 1986).

4.3.3. Fluxo de caule.

O fluxo de caule acumulado durante o ano atingiu 31 mm no cerrado, representando 2,1 % da precipitação incidente. Isso foi significativamente superior ao sistema agroflorestal, onde escoaram 12 mm anuais, ou seja, 0,8 % da precipitação (Figura 6).

Não houve correlação significativa entre a precipitação incidente e o fluxo de caule conforme a época do ano. Outro aspecto relevante, foi a reduzida participação em relação ao total precipitado. Isso também foi notado, mesmo em florestas densas como a amazônica, em que essa proporção não excedeu a 8 % da chuva total (Jordan & Heuveldop, 1981). Em outro trabalho, numa floresta tropical na China, com índice de área foliar de 8,4 e biomassa de 290 t ha^{-1} , o valor médio encontrado foi menor que 5 % da precipitação incidente (Wang et al., 1994).

Houve correlação significativa (99 % de confiança) entre a chuva e o fluxo de caule nas duas áreas, o que não ocorreu para as características de planta (diâmetro à 60 cm de altura e altura; Tabela 11). Em uma floresta subcaducifolia (Fênix, PR), notou-se também a ausência de correlação entre o fluxo de caule e o diâmetro das árvores. Contudo, verificou-se que as plantas de copa densa e casca lisa apresentaram maior volume de fluxo de caule (Santos, 1988).

Tabela 10. Altura (mm) e adição de nutrientes (kg ha⁻¹) pelo gotejamento de copa.

Mês	Altura (mm)	N	P	K	Ca	Mg
Cerrado						
Jun	17,0	0,18	0,14	0,14	0,27	0,03
Jul	72,0	0,75	0,58	0,61	1,12	0,12
Set	98,2	1,02	0,79	0,83	1,53	0,16
Out	139,2	1,45	1,11	1,18	2,17	0,22
Nov	181,5	0,34	0,07	0,07	1,78	0,27
Dez	250,6	0,48	0,10	0,10	2,46	0,38
Jan	70,1	0,13	0,03	0,03	0,69	0,11
Fev	199,1	0,38	0,08	0,08	1,95	0,30
Mar	244,5	0,46	0,10	0,10	2,40	0,37
Abr	34,9	0,07	0,01	0,01	0,34	0,05
Maio	23,3	0,04	0,01	0,01	0,23	0,03
SOMA	1330,40	5,30	3,01	3,18	14,93	2,03
Sistema agroflorestal						
Jun	17,5	0,116	0,147	0,180	0,523	0,144
Jul	77,9	0,514	0,654	0,802	2,328	0,638
Set	99,4	0,656	0,835	1,024	2,971	0,815
Out	139,3	0,919	1,170	1,434	4,164	1,142
Nov	173,1	0,519	0,017	0,225	1,350	0,017
Dez	247,2	0,742	0,025	0,321	1,928	0,025
Jan	72,7	0,218	0,007	0,095	0,567	0,007
Fev	197,0	0,591	0,020	0,256	1,537	0,020
Mar	245,7	0,737	0,025	0,319	1,916	0,025
Abr	34,8	0,104	0,003	0,045	0,271	0,003
Maio	27,7	0,083	0,003	0,036	0,216	0,003
SOMA	1333,0	5,20	2,91	4,74	17,77	2,84

Figura 6. Relação entre precipitação incidente e fluxo de caule.

Tabela 11. Coeficientes de correlação (r) para o fluxo de caule.

Atributo	Cerrado	Sistema agroflorestal
Precipitação incidente	0,76 **	0,94 **
Diâmetro de plantas	0,50	0,00
Altura de plantas	0,46	0,58

** = significativo com 99 % de confiança.

A concentração média de nutrientes no fluxo de caule do cerrado foi de 1,86 mg L⁻¹ de N, 0,85 mg L⁻¹ de P, 2,00 mg L⁻¹ de K, 1,39 mg L⁻¹ de Ca e 0,46 mg L⁻¹ de Mg. No sistema agroflorestal encontrou-se valores médios de 2,03 mg L⁻¹ de N, 1,17 mg L⁻¹ de P, 8,62 mg L⁻¹ de K, 1,69 mg L⁻¹ de Ca e 1,70 mg L⁻¹ de Mg (Tabela 12). As diferenças significativas entre as áreas ocorreram com o P, K, Ca e Mg no inverno e K e Mg no verão, sendo mais concentrada a solução colhida no cultivo em aléias.

Tabela 12. Concentração de nutrientes (mg L^{-1}) na solução do fluxo de caule.

Nutrientes	Cerrado			Sistema agroflorestal		
	Inverno ⁽¹⁾	Verão ⁽¹⁾	Média ⁽²⁾	Inverno ⁽¹⁾	Verão ⁽¹⁾	Média ⁽²⁾
N	4,64	0,87	$1,86 \pm 0,20$	4,17	1,05	$2,03 \pm 0,33$
P	0,84 **	0,86	$0,85 \pm 0,26$	2,22 **	0,69	$1,17 \pm 0,30$
K	3,57 **	1,44 **	$2,00 \pm 0,55$	14,76 **	5,81 **	$8,62 \pm 1,65$
Ca	1,47 **	1,08	$1,39 \pm 0,57$	2,04 **	1,53	$1,69 \pm 0,24$
Mg	0,91 **	0,30 **	$0,46 \pm 0,14$	2,08 **	1,53 **	$1,70 \pm 0,50$

1. * significativo ($\alpha=0,05$); ** significativo ($\alpha=0,01$); 2. Intervalo de confiança a 5 %.

Em relação à chuva incidente, houve um enriquecimento em nutrientes de 1,7 a 23,2 vezes na solução escoada pelo caule. Numa floresta tropical subcaducifólia, em Fênix, PR, essa relação foi de 5 a 16 vezes (Santos & Rodrigues, 1992).

A adição total de nutrientes pelo fluxo de caule foi de $0,23 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, $0,21 \text{ kg ha}^{-1}$ de P, $0,51 \text{ kg ha}^{-1}$ de K, $0,09 \text{ kg ha}^{-1}$ de Ca e $0,11 \text{ kg ha}^{-1}$ de Mg no cerrado. No sistema agroflorestal representou $0,10 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, $0,12 \text{ kg ha}^{-1}$ de P, $1,00 \text{ kg ha}^{-1}$ de K, $0,10 \text{ kg ha}^{-1}$ de Ca e $0,19 \text{ kg ha}^{-1}$ de Mg (Tabela 13).

A adição anual de N foi maior no cerrado em função do maior volume escoado. Para o K e Mg, observou-se maior contribuição no sistema agroflorestal, devido à maior concentração na solução.

4.4.4. Interceptação.

A fração da chuva que ficou retida na copa da vegetação foi de 86 mm no cerrado, representando 5,9 % da precipitação incidente. No sistema agroflorestal, a interceptação totalizou 102 mm, ou 7,0 % da chuva total.

Não foi encontrada correlação significativa (95 % de confiança) entre a precipitação incidente e interceptação. A variabilidade foi provocada pela intensidade de chuva e pelo efeito do vento.

Tabela 13. Altura (mm) e nutrientes adicionados (kg ha⁻¹) pelo fluxo de caule.

Mês	Altura (mm)	N	P	K	Ca	Mg
Cerrado						
Jun	0,38	0,008	0,002	0,010	0,002	0,002
Jul	2,21	0,048	0,011	0,059	0,014	0,013
Set	2,31	0,050	0,011	0,062	0,015	0,014
Out	3,39	0,073	0,016	0,091	0,022	0,020
Nov	4,34	0,010	0,031	0,054	0,007	0,008
Dez	5,59	0,013	0,040	0,069	0,009	0,017
Jan	1,48	0,004	0,011	0,018	0,002	0,004
Fev	4,03	0,010	0,029	0,050	0,006	0,012
Mar	6,69	0,016	0,048	0,083	0,011	0,020
Abr	0,46	0,001	0,003	0,006	0,001	0,001
Maio	0,29	0,001	0,002	0,004	0,000	0,001
SOMA	31,18	0,234	0,205	0,507	0,091	0,113
Sistema agroflorestal						
Jun	0,18	0,003	0,003	0,025	0,002	0,003
Jul	1,34	0,023	0,025	0,185	0,016	0,024
Set	1,58	0,027	0,029	0,219	0,019	0,028
Out	0,74	0,013	0,014	0,103	0,009	0,013
Nov	0,68	0,003	0,004	0,038	0,004	0,010
Dez	1,74	0,007	0,010	0,098	0,011	0,025
Jan	0,67	0,003	0,004	0,038	0,004	0,009
Fev	2,13	0,009	0,012	0,120	0,013	0,030
Mar	2,61	0,011	0,014	0,147	0,016	0,037
Abr	0,26	0,001	0,001	0,014	0,002	0,004
Maio	0,17	0,001	0,001	0,010	0,001	0,003
SOMA	12,12	0,100	0,117	0,997	0,097	0,185

A quantidade de chuva interceptada depende da densidade e continuidade do dossel, porte e arquitetura arbórea e estratificação da floresta (Langkamp et al., 1982). Na floresta amazônica verificou-se que a interceptação variou de forma inversa com a altura de chuva. Para eventos com até 5 mm, encontrou-se até 100 % de interceptação (Jordan & Heuveldop, 1981).

4.4.5. Enxurrada.

A perda anual de água por enxurrada atingiu 31 mm no cerrado e 7 mm no sistema agroflorestal, perfazendo 2,1 % e 0,5 % da chuva, respectivamente.

A concentração média de nutrientes na enxurrada do cerrado foi de 5,97 mg L⁻¹ de N, 1,65 mg L⁻¹ de P, 8,52 mg L⁻¹ de K, 12,8 mg L⁻¹ de Ca e 0,78 mg L⁻¹ de Mg. No sistema agroflorestal, os valores médios foram de 8,71 mg L⁻¹ de N, 3,03 mg L⁻¹ de P, 22,26 mg L⁻¹ de K, 6,68 mg L⁻¹ de Ca e 3,62 mg L⁻¹ de Mg (Tabela 14).

Tabela 14. Concentração de nutrientes (mg L⁻¹) na enxurrada.

Nutrientes	Cerrado			Sistema agroflorestal		
	Inverno	Verão	Média	Inverno	Verão	Média
N	7,92	4,01	5,79	11,22	6,20	8,71
P	2,30	1,00	1,65	3,80	2,26	3,03
K	11,70	5,33	8,52	35,49	9,04	22,26
Ca	14,79	10,74	12,77	5,41	7,96	6,68
Mg	1,04	0,53	0,78	4,25	2,99	3,62

A remoção total de nutrientes pela enxurrada foi de 1,38 kg ha⁻¹ de N, 0,36 kg ha⁻¹ de P, 1,88 kg ha⁻¹ de K, 3,48 kg ha⁻¹ de Ca e 0,18 kg ha⁻¹ de Mg no cerrado. No sistema agroflorestal, representou 0,49 kg ha⁻¹ de N, 0,17 kg ha⁻¹ de P, 0,93 kg ha⁻¹ de K, 0,52 kg ha⁻¹ de Ca e 0,22 kg ha⁻¹ de Mg (Tabela 15). As perdas de N, P, K e Ca foram maiores no cerrado, devido ao maior volume de enxurrada.

A intensidade da erosão nos tratamentos estudados foi bem menor em relação a sistemas agrícolas com maior movimentação do solo e baixa densidade de cobertura vegetal, evidenciando o potencial das árvores de reduzirem a erosão.

Tabela 15. Perdas mensais de água (mm) e nutrientes (kg ha⁻¹) por enxurrada.

Mês	Altura (mm)	N	P	K	Ca	Mg
Cerrado						
Jun	0,12	0,010	0,003	0,014	0,018	0,001
Set	0,57	0,045	0,013	0,067	0,085	0,006
Out	2,81	0,223	0,065	0,329	0,416	0,029
Nov	3,75	0,150	0,037	0,200	0,403	0,020
Dez	3,11	0,125	0,031	0,166	0,334	0,016
Jan	0,31	0,012	0,003	0,016	0,033	0,002
Fev	5,57	0,223	0,056	0,297	0,598	0,030
Mar	14,85	0,595	0,148	0,791	1,594	0,079
SOMA	31,08	1,383	0,356	1,880	3,480	0,183
Sistema agroflorestal						
Jun	0,04	0,004	0,001	0,013	0,002	0,002
Set	0,28	0,031	0,011	0,098	0,015	0,012
Out	0,81	0,091	0,031	0,288	0,044	0,034
Nov	2,62	0,163	0,059	0,237	0,209	0,078
Dez	1,08	0,067	0,025	0,098	0,086	0,032
Jan	0,36	0,023	0,008	0,033	0,029	0,011
Fev	0,56	0,035	0,013	0,051	0,045	0,017
Mar	1,18	0,073	0,027	0,107	0,094	0,035
SOMA	6,94	0,487	0,174	0,925	0,524	0,222

A quantidade de solo erodido foi de 1202 kg ha⁻¹ no cerrado e 614 kg ha⁻¹ no sistema agroflorestal. No sedimento foram perdidos 0,82 kg ha⁻¹ de N, 0,01 kg ha⁻¹ de P, 0,02 kg ha⁻¹ de K, 0,29 kg ha⁻¹ de Ca e 0,04 kg ha⁻¹ de Mg no cerrado. No

sistema agroflorestal perdeu-se 0,37 kg ha⁻¹ de N, 0,02 kg ha⁻¹ de P, 0,03 kg ha⁻¹ de K, 0,35 kg ha⁻¹ de Ca e 0,06 kg ha⁻¹ de Mg (Tabela 16). Essas quantidades foram proporcionais ao volume de escoamento superficial.

Tabela 16. Solo erodido (kg ha⁻¹) e concentração de nutrientes (mg kg⁻¹) no sedimento.

Atributo	Cerrado		Sistema agroflorestal	
	Concentração	Perda anual	Concentração	Perda anual
Solo	---	1202	---	614
N	682,2	0,82	602,6	0,37
P	8,3	0,01	32,6	0,02
K	16,6	0,02	48,9	0,03
Ca	241,3	0,29	570,0	0,35
Mg	33,3	0,04	97,7	0,06

Lal (1989a) quantificou a erosão em um cultivo em aléias sobre um alfissol, na Nigéria, com declividade média de 7 %. As perdas de água e solo foram reduzidas em até 76 % e 92 %, respectivamente, em comparação ao solo descoberto. Justificou que os renques controlam a erosão por duas maneiras: reduzindo a velocidade da enxurrada, diminuindo assim a capacidade de transporte de sedimentos e, por impedir a desagregação do solo pelo impacto da chuva, pois há maior cobertura. As perdas anuais de nutrientes foram inferiores a 1,0 kg ha⁻¹ de N, P e Mg, e de até 7 kg ha⁻¹ de Ca e K.

Em outro experimento conduzido em Yurimaguas, Peru, em solo com declive de 20 %, a perda anual de solo em cultivo em aléias foi menor que 1000 kg ha⁻¹ (Szott et al., 1991a).

4.3.6. Lixiviação.

A lixiviação anual em profundidade maior do que 160 cm, atingiu 209 mm no cerrado (14,4 % da chuva total) e 149 mm no sistema agroflorestal (10,3 % da chuva).

A concentração média de nutrientes na lixiviação foi de 2,26 mg L⁻¹ de N, 0,52 mg L⁻¹ de P, 1,33 mg L⁻¹ de K, 11,8 mg L⁻¹ de Ca e 2,24 mg L⁻¹ de Mg no cerrado. No sistema agroflorestal, os valores obtidos foram 1,72 mg L⁻¹ de N, 1,34 mg L⁻¹ de P, 3,98 mg L⁻¹ de K, 23,3 mg L⁻¹ de Ca e 2,99 mg L⁻¹ de Mg (Tabela 17).

Tabela 17. Concentração de nutrientes (mg L⁻¹) na lixiviação.

Nutrientes	Cerrado			Sistema agroflorestal		
	Inverno	Verão	Média	Inverno	Verão	Média
N	1,22	2,40	2,26	1,34	1,78	1,72
P	0,73	0,49	0,52	0,82	1,42	1,34
K	0,78	1,41	1,33	0,78	4,45	3,98
Ca	14,89	11,36	11,78	36,72	21,29	23,26
Mg	2,92	2,15	2,24	2,79	3,03	2,99

A perda de nutrientes pela lixiviação no cerrado foi de 4,73 kg ha⁻¹ de N, 1,09 kg ha⁻¹ de P, 2,79 kg ha⁻¹ de K, 24,66 kg ha⁻¹ de Ca e 4,69 kg ha⁻¹ de Mg. No sistema agroflorestal atingiu 2,56 kg ha⁻¹ de N, 2,00 kg ha⁻¹ de P, 5,92 kg ha⁻¹ de K, 34,58 kg ha⁻¹ de Ca e 4,46 kg ha⁻¹ de Mg (Tabela 18). A diferença somente foi significativa para o N no cerrado, com maior perda devido à maior altura percolada.

Esses valores devem ser interpretados com cautela, pois o solo adicionado ao lisímetro foi destorreado, alterando sua estrutura e, conseqüentemente, a velocidade de percolação e o equilíbrio dos nutrientes na solução. Além disso, não teve a presença das raízes das plantas, como no solo natural.

As perdas de nutrientes por lixiviação em solos tropicais pobres em nutrientes não tem sido altas. O estudo com oxissolos cultivados e recebendo adubação, revelou que as perdas anuais de P e Mg foram inferiores a 1,6 kg ha⁻¹. Para o N, K e Ca, os totais atingiram 7, 36 e 32 kg ha⁻¹, respectivamente (Lal, 1980). Para o nitrogênio, a lixiviação em solos africanos, em precipitações médias de 1000 mm ano⁻¹, e com aplicação de até 300 kg ha⁻¹ de N, tem sido em torno de 6 a 30 kg ha⁻¹ (Greenland, 1980).

Tabela 18. Perdas mensais de água (mm) e nutrientes (kg ha⁻¹) por lixiviação.

Mês	Altura (mm)	N	P	K	Ca	Mg
Cerrado						
Out	19,46	0,24	0,14	0,15	2,90	0,57
Nov	5,65	0,07	0,04	0,04	0,84	0,16
Dez	41,70	1,00	0,20	0,59	4,74	0,90
Jan	15,38	0,37	0,08	0,22	1,75	0,33
Fev	42,61	1,02	0,21	0,60	4,84	0,92
Mar	84,49	2,03	0,41	1,19	9,60	1,82
SOMA	209,29	4,73	1,09	2,79	24,66	4,69
Sistema agroflorestral						
Out	14,56	0,20	0,12	0,11	5,35	0,41
Nov	4,41	0,06	0,04	0,03	1,62	0,12
Dez	51,41	0,92	0,73	2,29	10,94	1,56
Jan	8,23	0,15	0,12	0,37	1,75	0,25
Fev	21,95	0,39	0,31	0,98	4,67	0,67
Mar	48,11	0,86	0,68	2,14	10,24	1,46
SOMA	148,67	2,56	2,00	5,92	34,58	4,46

Nota-se que esse componente é influenciado pelo tipo de solo, clima e pela presença da vegetação. Em condições de solos ricos em nutrientes, a lixiviação pode representar uma perda significativa. Em uma Terra Roxa Estruturada eutrófica coberta com mata nativa, a perda anual foi de 297 kg ha⁻¹ de N, 1,4 kg ha⁻¹ de P, 50 kg ha⁻¹ de K, 277 kg ha⁻¹ de Ca e 78 kg ha⁻¹ de Mg (Santos & Rodrigues, 1992).

Um trabalho desenvolvido na Costa Rica, comparou a lixiviação em um monocultivo de milho, com um sistema agroflorestral com bananeira e cacauieiro. Obteve-se perdas individuais dos nutrientes inferiores a 3 kg ha⁻¹, atribuídas à presença das plantas perenes e à imobilização microbiana. No monocultivo, as perdas mais evidentes foram o N, Mg e Ca, com 57, 43 e 21 kg ha⁻¹, respectivamente (Seyfried & Rao, 1991).

Outro comportamento referente a lixiviação é a movimentação diferenciada da solução e dos nutrientes, ao longo da frente de percolação. Observou-se, especialmente para o nitrato, movimento mais lento do que o da água. Justificou-se devido a descida rápida da água pelos poros grandes, não havendo equilíbrio significativo com os eletrólitos nos poros finos (Van Noordwijk et al., 1991).

4.4. Componentes vegetais.

As plantas estão intimamente relacionadas com a dinâmica dos nutrientes nos ecossistemas. Durante o seu crescimento, absorvem os nutrientes, que são convertidos em biomassa. Participam da reciclagem interna no sistema, pela serapilheira ou através da poda como é feito no cultivo em aléias.

4.4.1. Serapilheira.

A fitomassa total produzida anualmente atingiu 2176 kg ha^{-1} no cerrado e 2398 kg ha^{-1} na leucena. Desse total, a produção acumulada no sistema agroflorestal durante o verão foi significativamente superior à do cerrado.

A produção mensal de serapilheira comportou-se de maneira distinta nas duas áreas, sendo mais uniforme ao longo do ano no cerrado, com concentração em agosto e setembro. Nestes meses, acumulou-se 766 kg ha^{-1} , correspondendo a 35 % do total anual (Figura 7). Isso coincidiu com o período de seca. As plantas aí adaptadas perdem parte das folhas nessa época, retornando ao pleno crescimento vegetativo no início da estação chuvosa (outubro).

Em trabalho anterior, realizado no cerrado em Goiânia, também foi observada maior queda de folhas no período seco, tendo um pico em setembro (Rizzo et al., 1971). No cerrado em Mogi-Guaçu, SP, coletou-se 2990 kg ha^{-1} de serapilheira ao ano, sendo o período de abril a junho o mais produtivo (Pompéia, 1989).

A produção de serapilheira varia especialmente em função da densidade da cobertura vegetal. Um estudo comparativo de diversas formações vegetais da região tropical, demonstrou que a fitomassa anual produzida varia de $2,0 \text{ t ha}^{-1}$ em savanas até $12,6 \text{ t ha}^{-1}$ em florestas (Vitousek, 1984). Para a região de cerrado em

Brasília, DF, verificou-se a mesma tendência. Produziu-se anualmente 7,8 t ha⁻¹ de serapilheira no cerradão e 2,1 t ha⁻¹ no cerrado (Peres et al., 1983).

Figura 7. Produção mensal de serapilheira.

A maior produção de serapilheira no sistema agroflorestal ocorreu em março, coincidindo com a fase de reprodução da leucena. O acúmulo de serapilheira da leucena foi baixo no período após a poda (outubro a janeiro), pois estava com intenso crescimento vegetativo. Observou-se também maior produção perto dos renques, atingindo 4897 kg ha⁻¹ a 0,85 m da leucena e somente 609 kg ha⁻¹ no meio da faixa de cultivo (Figura 8).

A serapilheira é uma forma importante de reciclagem da matéria orgânica e dos nutrientes. O estudo em uma área de reflorestamento com leucena, de 2 anos de idade na Índia, demonstrou uma produção anual de 10 t ha⁻¹ de fitomassa seca. Observou-se também, sua decomposição acelerada, restando somente 20 % do N na fitomassa indecomposta, após 1 ano (Sandhu et al., 1990).

Figura 8. Produção de serapilheira da leucena conforme a distância dos renques.

A concentração média de nutrientes na serapilheira foi de 12,9 g kg⁻¹ de N; 0,52 g kg⁻¹ de P; 3,41 g kg⁻¹ de K; 6,28 g kg⁻¹ de Ca e 1,72 g kg⁻¹ de Mg no cerrado. No sistema agroflorestal, os teores atingiram 22,8 g kg⁻¹ de N; 1,28 g kg⁻¹ de P; 5,52 g kg⁻¹ de K; 15,9 g kg⁻¹ de Ca e 5,38 g kg⁻¹ de Mg (Tabela 19).

Tabela 19. Concentração de nutrientes (g kg⁻¹) na serapilheira.

Nutriente	Cerrado			Sistema agroflorestal		
	Inverno ⁽¹⁾	Verão ⁽¹⁾	Média ⁽²⁾	Inverno ⁽¹⁾	Verão ⁽¹⁾	Média ⁽²⁾
N	12,59 **	13,28 **	12,94 ± 1,38	25,77 **	19,78 **	22,78 ± 1,15
P	0,67 **	0,36 **	0,52 ± 0,20	1,77 **	0,78 **	1,28 ± 0,17
K	3,01 **	3,80	3,41 ± 0,66	6,41 **	4,62	5,52 ± 0,92
Ca	7,40 **	5,15 **	6,28 ± 1,13	14,81 **	16,93 **	15,87 ± 1,32
Mg	1,68 **	1,75 **	1,72 ± 0,24	4,22 **	6,54 **	5,38 ± 0,32

1. ** significativo ($\alpha=0,01$); 2. Média ± Intervalo de confiança a 5 %.

Os teores de nutrientes na serapilheira do sistema agroflorestal foram superiores aos do cerrado, exceto para o K no verão. No cerrado, a serapilheira era mais fibrosa e pobre em nutrientes, tornando o material mais resistente à decomposição. Isso é vantajoso, pois protege o solo da erosão. Em estudo no cerrado da região de Corumbataí, SP, obteve-se uma taxa de decomposição anual da serapilheira de 34 a 38 % ao ano (Santos & Rodrigues, 1982).

As quantidades de nutrientes adicionadas anualmente no cerrado pela serapilheira foram de 27,84 kg ha⁻¹ de N; 1,08 kg ha⁻¹ de P; 7,17 kg ha⁻¹ de K; 13,23 kg ha⁻¹ de Ca e 3,65 kg ha⁻¹ de Mg (Tabela 20).

Tabela 20. Fitomassa seca e nutrientes adicionados (kg ha⁻¹) pela serapilheira.

Atributo	Cerrado ⁽¹⁾			Sistema agroflorestal ⁽¹⁾		
	Inverno	Verão	Total	Inverno	Verão	Total
Matéria seca	1228,9	947,3 **	2176,2	884,3	1513,5 **	2397,8
N	15,15	12,69	27,84 *	23,36	29,97 **	52,33 *
P	0,71 *	0,37	1,08 **	1,48 *	1,20 **	2,68 **
K	3,16	4,01	7,17	5,97	6,77	12,74
Ca	8,31	4,92	13,23 **	13,41	26,94 **	40,35 **
Mg	2,02	1,63	3,65 **	3,85	10,33 **	14,18 **

1. * = significativo com 95 % de confiança; ** = significativo com 99 % de confiança.

A leucena, apesar de ocorrer em menor densidade de plantas em relação ao cerrado, adicionou pela serapilheira 52,3 kg ha⁻¹ de N; 2,68 kg ha⁻¹ de P; 12,74 kg ha⁻¹ de K; 40,35 kg ha⁻¹ de Ca e 14,18 kg ha⁻¹ de Mg.

A leucena contribuiu significativamente com maior quantidade de N, P, Ca e Mg, em relação ao cerrado. Isso se deveu à maior concentração, que foi aproximadamente o dobro para todos os nutrientes.

A adição de nutrientes pela serapilheira no cerrado varia conforme as condições edafoclimáticas e com a densidade vegetal. Em Mogi-Guaçu, SP, sob cerrado, o aporte anual foi de 43,7 kg ha⁻¹ de N, 1,5 kg ha⁻¹ de P, 6,3 kg ha⁻¹ de K, 24,8 kg ha⁻¹ de

Ca e $5,7 \text{ kg ha}^{-1}$ de Mg (Pompéia, 1989). Para um cerrado em Brasília, obteve-se uma adição de $17,8 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, $1,3 \text{ kg ha}^{-1}$ de P, $3,3 \text{ kg ha}^{-1}$ de K, $6,7 \text{ kg ha}^{-1}$ de Ca e $2,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de Mg (Peres et al., 1983).

4.4.2 - Fitomassa da poda.

A produção total de matéria seca, em 2 anos, foi de 8932 kg ha^{-1} , sendo 2781 kg ha^{-1} de folhas e 6150 kg ha^{-1} de ramos. Tais valores foram relativamente altos se for considerada a baixa fertilidade do solo. O predomínio dos ramos na fitomassa podada esteve relacionado ao porte das plantas, que tinham em média 3 a 4 m de altura e 5,5 cm de diâmetro de caule a 60 cm do solo.

A concentração de nutrientes foi diferenciada conforme a parte da planta. As folhas foram o material mais rico com $33,58 \text{ g kg}^{-1}$ de N, $2,10 \text{ g kg}^{-1}$ de P, $11,61 \text{ g kg}^{-1}$ de K, $11,23 \text{ g kg}^{-1}$ de Ca e $4,67 \text{ g kg}^{-1}$ de Mg. Os ramos continham $5,19 \text{ g kg}^{-1}$ de N, $0,36 \text{ g kg}^{-1}$ de P, $2,41 \text{ g kg}^{-1}$ de K, $2,79 \text{ g kg}^{-1}$ de Ca e $0,81 \text{ g kg}^{-1}$ de Mg (Tabela 21).

Tabela 21. Concentração de nutrientes (g kg^{-1}) nas folhas e ramos da leucena.

Nutriente ⁽¹⁾	Folhas	Ramos	Ramos + Folhas
N	$33,58 \pm 3,81$	$5,19 \pm 0,90$	$14,98 \pm 2,99$
P	$2,10 \pm 0,42$	$0,36 \pm 0,14$	$0,95 \pm 0,20$
K	$11,61 \pm 3,22$	$2,41 \pm 0,58$	$5,75 \pm 1,86$
Ca	$11,23 \pm 2,22$	$2,79 \pm 0,48$	$5,72 \pm 1,17$
Mg	$4,67 \pm 1,01$	$0,81 \pm 0,34$	$2,04 \pm 0,37$

1. Médias $\pm$ intervalo de confiança com 95 % de confiança.

Esses teores foram semelhantes aos relatados na literatura, variando de $28,8$ a $34,8 \text{ g kg}^{-1}$ de N, $1,1$ a $1,5 \text{ g kg}^{-1}$ de P, $13,8$ a $20,5 \text{ g kg}^{-1}$ de K, $6,7$ a $26,5 \text{ g kg}^{-1}$ de Ca e $2,8$ a $4,6 \text{ g kg}^{-1}$ de Mg (Lulandala & Hall, 1990; Nyathi & Campbell, 1994).

Os teores de carbono orgânico e micronutrientes também diferiram para as partes da planta. Os ramos foram mais ricos em Cu, Zn e Fe, com teores de 22,

215 e 86 mg kg⁻¹, respectivamente. As folhas tiveram mais Mn, com 38 mg kg⁻¹. O carbono orgânico esteve na concentração de 449 g kg⁻¹ (Tabela 22).

Tabela 22. Concentração carbono orgânico (g kg⁻¹) e micronutrientes (mg kg⁻¹) nas folhas e ramos da leucena (médias de 3 repetições).

Parte analisada	C org.	Cu	Mn	Zn	Fe
Ramos	415	22	19	215	86
Folhas	483	15	38	22	56

O aporte total de nutrientes foi de 125,0 kg ha⁻¹ de N; 7,57 kg ha⁻¹ de P; 45,23 kg ha⁻¹ de K; 47,76 kg ha⁻¹ de Ca e 17,16 kg ha⁻¹ de Mg (Tabela 23). Tais quantidades foram relativamente altas em comparação à exigência das culturas agrícolas, exceto para o caso do P e Mg.

Tabela 23. Fitomassa seca e aporte de nutrientes (kg ha⁻¹) da leucena.

Atributo ⁽¹⁾	Folhas	Ramos	Total
Matéria seca	2781 ± 776	6149 ± 3.369	8930 ± 3.835
N	94,60 ± 29,71	30,41 ± 16,42	125,01 ± 40,6
P	5,41 ± 1,15	2,16 ± 1,40	7,57 ± 2,3
K	30,50 ± 8,40	14,73 ± 10,54	45,23 ± 15,1
Ca	31,71 ± 10,42	16,05 ± 8,02	47,76 ± 15,6
Mg	12,85 ± 4,23	4,31 ± 2,34	17,16 ± 5,7

1. Médias ± intervalo de confiança com 95 % de confiança.

Notou-se, também, adição diferenciada de nutrientes, conforme a parte da planta. As folhas contribuíram com 31 % da matéria seca total, mas, forneceram 76 % do N; 73 % do P; 67 % do K; 63 % do Ca e 75 % do Mg. Além disso, os nutrientes presentes nos ramos têm baixa disponibilidade, pela lenta decomposição desse material.

Normalmente a relação de ramos e folhas da fitomassa é aumentada com práticas de manejo que permitem o crescimento vegetativo, como podas pouco frequentes. Em um experimento no Havaí, com duas cultivares de leucena plantadas em

monocultivo, verificou-se menor produção de fitomassa nos cortes mais frequentes. Porém, a proporção de folhas e ramos era menor. O espaçamento entre plantas na linha não teve efeito significativo nessa relação (Guevarra et al., 1978; Ferraris, 1979). Na Indonésia, o uso de podas menos frequentes manteve constante a produção de folhas da leucena, mas houve aumento significativo do crescimento dos ramos (Catchpoole & Blair, 1990).

Em outro trabalho com leucena em cultivo em aléias, na Nigéria, obteve-se maior produção de fitomassa e acúmulo de N em intervalo de cortes semestral, em relação aos cortes mensais. Apesar desse aumento, a fitomassa tornou-se mais lenhosa (mais ramos), observando nos brotos novos (podas mensais), maior concentração de nitrogênio. Nos cortes mais frequentes, apesar do menor aporte de fitomassa e N, a produção das culturas associadas (milho e feijão miúdo) aumentou. Isso ocorreu em função da menor competição exercida pela leucena (Duguma et al., 1988). Em virtude desses resultados, espera-se liberação mais rápida de nutrientes para as culturas intercalares em manejos agrossilvoculturais que favorecem o desenvolvimento de folhas.

Essa proporção é modificada ainda, conforme a idade da planta. Um trabalho com *Leucaena leucocephala* PR, com densidade de plantio de 2500 plantas ha⁻¹ e com poda somente no 5º ano após o plantio, mostrou uma proporção de folhas de 22 % da matéria seca total (Wang et al., 1991).

4.4.3. Produção das culturas.

A adubação verde do milho consorciado com leguminosas produziu 5486 kg ha⁻¹ de fitomassa seca. Com centeio e aveia, obteve-se 923 kg ha⁻¹. Foram ainda incorporados ao solo, os resíduos culturais do feijão e do milho, que contribuíram com 438 e 2812 kg ha⁻¹, respectivamente (Tabela 24). A baixa produção de fitomassa do centeio e aveia foi ocasionada pela falta de água durante a estação de crescimento.

A adição total de fitomassa foi de 9659 kg ha⁻¹, contribuindo significativamente com a reciclagem de nutrientes. Essa produção foi relativamente alta, considerando a baixa fertilidade do solo.

Tabela 24. Fitomassa seca e nutrientes (kg ha⁻¹) adicionados pelas culturas.

Atributo ⁽¹⁾	Adubos verdes		Restos culturais		Total
	Milho + leg.	Cent. + aveia	Feijão	Milho	
Massa seca	5486 ± 975	923 ± 149	438 ± 43	2812 ± 472	9659
N	89,67 ± 20,67	11,58 ± 2,99	6,94 ± 1,02	15,72 ± 2,67	123,91
P	8,10 ± 2,66	0,96 ± 0,24	0,54 ± 0,24	1,41 ± 0,48	11,01
K	44,60 ± 8,91	9,16 ± 2,29	5,70 ± 0,90	19,79 ± 4,40	79,25
Ca	37,48 ± 8,94	2,58 ± 0,88	4,63 ± 0,92	3,73 ± 0,74	48,42
Mg	19,79 ± 4,05	1,11 ± 0,17	2,60 ± 0,42	4,58 ± 1,26	28,08

1. Médias ± intervalo de confiança (95 %).

O aporte total de nutrientes pelas culturas foi de 123,9 kg ha⁻¹ de N; 11,01 kg ha⁻¹ de P; 79,25 kg ha⁻¹ de K; 48,42 kg ha⁻¹ de Ca e 28,08 kg ha⁻¹ de Mg. A maior adição foi obtida com o milho + leguminosa, em virtude da maior fitomassa. Esta cultura teve um ciclo maior (8 meses) e não foi feita a colheita dos grãos.

Os resíduos do milho tiveram baixa concentração de nutrientes na fitomassa com 5,84 g kg⁻¹ de N, 0,51 g kg⁻¹ de P, 6,82 g kg⁻¹ de K, 1,32 g kg⁻¹ de Ca e 1,55 g kg⁻¹ de Mg. O resíduo de feijão adzuki (leguminosa), apresentou os maiores teores de Ca e Mg, com 10,36 e 5,93 g kg⁻¹, respectivamente (Tabela 25).

Tabela 25. Concentração de nutrientes (g kg⁻¹) na fitomassa seca das culturas.

Nutriente ⁽¹⁾	Adubos verdes		Restos culturais	
	Milho + legum.	Centeio + aveia	Feijão	Milho
N	16,53 ± 2,35	12,36 ± 1,75	15,68 ± 1,17	5,84 ± 0,61
P	1,45 ± 0,29	1,06 ± 0,21	1,24 ± 0,52	0,51 ± 0,14
K	8,26 ± 1,12	10,17 ± 2,38	13,36 ± 1,85	6,82 ± 0,84
Ca	6,93 ± 1,49	2,74 ± 0,72	10,36 ± 1,02	1,32 ± 0,09
Mg	3,67 ± 0,63	1,22 ± 0,08	5,93 ± 0,55	1,55 ± 0,26

1. Médias ± intervalo de confiança (95 %).

A produção de grãos no cultivo em aléias foi baixa. Para o feijão adzuki, o rendimento médio (peso seco) foi de $174,9 \text{ kg ha}^{-1} \pm 20,7 \text{ kg}$ (intervalo de confiança 95%). O milho teve rendimento médio de 1210 kg ha^{-1} .

A produção baixa das culturas anuais foi ocasionada, em parte, pela competição exercida pela leucena. No feijão, observou-se produção de $148,3 \text{ kg ha}^{-1}$ nas linhas distantes 1,5 m dos renques, o que foi significativamente menor (5% de significância), do que a 2,5 m, onde obteve-se $201,5 \text{ kg ha}^{-1}$. No milho, a análise de regressão entre a produção e a distância dos renques foi significativa ($P < 0,05$). A 1 m da leucena, produziu 604 kg ha^{-1} , aumentando para 1700 kg ha^{-1} no centro da faixa de cultivo (Figura 9). Outra causa foi a menor densidade de plantio para o milho, em comparação ao monocultivo, tendo-se apenas $35.000 \text{ plantas ha}^{-1}$.

Figura 9. Produtividade do milho conforme a distância dos renques.

A redução do rendimento das culturas no cultivo em aléias foi estudada em diversas condições. Singh et al. (1989) e Fernandes et al. (1993)

demonstram competição mais severa em solos pobres e com deficiência hídrica. As causas foram a competição por luz, água e nutrientes exercida pela leucena.

Os teores de nutrientes nos grãos variaram de 36,1 g kg⁻¹ de N e 3,43 g kg⁻¹ de P para o feijão adzuki e 14,24 g kg⁻¹ de N e 2,29 g kg⁻¹ de P, no milho (Tabela 26). A concentração, especialmente de N e P nos grãos, foi alta, removendo 22,7 kg ha⁻¹ de N, 3,27 kg ha⁻¹ de P, 6,38 kg ha⁻¹ de K, 0,72 kg ha⁻¹ de Ca e 1,35 kg ha⁻¹ de Mg.

Tabela 26. Concentração (g kg⁻¹) e remoção (kg ha⁻¹) de nutrientes nos grãos.

Nutriente	Feijão adzuki		Milho		Total
	Teor	Remoção ⁽¹⁾	Teor	Remoção ⁽¹⁾	
N	36,06	6,15 ± 0,78	14,24	16,53 ± 2,74	22,68
P	3,43	0,60 ± 0,07	2,29	2,67 ± 0,49	3,27
K	16,83	2,94 ± 0,34	2,92	3,44 ± 0,69	6,38
Ca	2,64	0,46 ± 0,06	0,23	0,26 ± 0,04	0,72
Mg	1,88	0,33 ± 0,04	0,92	1,02 ± 0,18	1,35

1. Média ± Intervalo de confiança, com 5 % de significância.

4.5. Componentes edáficos.

As alterações nas características químicas do solo são importantes para compreender o efeito do cultivo em aléias sobre a reserva de nutrientes, em comparação à condição original do solo. Observou-se também a perda de N por volatilização, a partir da aplicação da fitomassa da leucena sobre o solo.

4.5.1. Nutrientes no solo.

Os teores de matéria orgânica (MO), N, P, Ca e Mg, na camada superficial (0-20 cm), foram maiores no sistema agroflorestal. As concentrações foram de 26,00 g kg⁻¹, 1,33 g kg⁻¹, 11,25 mg kg⁻¹, 18,63 mmol_c dm⁻³ e 9,50 mmol_c dm⁻³, respectivamente. No cerrado, os teores foram de 18,23 g kg⁻¹ de MO, 0,90 g kg⁻¹ de N, 4,25 mg kg⁻¹ de P, 2,38 mmol_c dm⁻³ de Ca e 1,63 mmol_c dm⁻³ de Mg (Tabela 27).

Tabela 27. Teores de matéria orgânica e nutrientes no solo, na profundidade de 0-20 cm.

Atributo	Cerrado			Sistema agroflorestal		
	Inverno	Verão	Média ⁽¹⁾	Inverno	Verão	Média ⁽¹⁾
MO (g kg ⁻¹)	14,50	21,75	18,13 **	20,50	31,50	26,00 **
N (g kg ⁻¹)	0,93	0,88	0,90 **	1,70	0,95	1,33 **
P (mg kg ⁻¹)	3,50	5,75	4,25 **	10,00	12,50	11,25 **
K (mmol _c dm ⁻³)	0,68	0,53	0,60	0,45	0,58	0,51
Ca (mmol _c dm ⁻³)	2,50	2,25	2,38 **	19,50	17,75	18,63 **
Mg (mmol _c dm ⁻³)	1,00	2,25	1,63 **	10,50	8,50	9,50 **

1. ** = significativo com 99 % de confiança.

Esses resultados, obtidos em amostragens trimestrais, foram similares aos obtidos nas trincheiras. O aumento no teor de carbono orgânico do solo em função do suprimento contínuo de fitomassa também foi observado em outros locais. Em Ibadan, Nigéria, o cultivo em aléias em um alfissol, utilizando *Cassia* sp., resultou em maior teor desse elemento na camada superficial do solo (0-15 cm), em comparação ao solo original (Yamoah et al., 1986). Neste mesmo local, 6 anos após um cultivo em aléias com leucena, aumentou os teores de C orgânico, N, K e Mg no solo (Lal, 1989c). Contudo, na Costa do Marfim, em 3 anos de cultivo em aléias com *Gliricidia sepium*, apesar de ter havido enriquecimento em carbono na camada superficial, houve diminuição nos teores de N, Mg e K no subsolo. As causas relatadas foram as perdas por lixiviação, remoção pelas colheitas e imobilização pelas plantas nos renques (Schroth et al., 1995).

O teor de nutrientes no solo sob cultivo em aléias, manteve-se em níveis relativamente constantes ao longo do ano, não havendo alterações significativas, mesmo após a aplicação da fitomassa das culturas e da leucena. Somente o fósforo e a matéria orgânica tiveram ligeiro acréscimo durante o verão. Esse fenômeno também foi relatado por Szott et al., (1991b), justificando-o à baixa quantidade de fitomassa aplicada e à permanência dos elementos em formas orgânicas ou inorgânicas não

detectáveis pelas técnicas rotineiras de análise. Seria necessário um tempo maior para modificar os níveis de nutrientes no solo.

Por outro lado, o uso de métodos, tais como bolsas com fitomassa e a incubação no solo, em condições controladas, seria mais eficiente no estudo da liberação de nutrientes da fitomassa ao solo, em curto período de tempo (Constantinides & Fownes, 1994).

A reserva de minerais no solo disponíveis para as plantas na profundidade de 0-160 cm e considerando a densidade de $1,0 \text{ g cm}^{-3}$, seguiu a mesma tendência dos teores de nutrientes. Obteve-se no sistema agroflorestal 17700 kg ha^{-1} de N, $52,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de P, 329 kg ha^{-1} de K, 1568 kg ha^{-1} de Ca e 705 kg ha^{-1} de Mg. No cerrado, teve 7400 kg ha^{-1} de N, $27,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de P, 305 kg ha^{-1} de K, 376 kg ha^{-1} de Ca e 210 kg ha^{-1} de Mg (Tabela 28).

Tabela 28. Reserva de nutrientes no solo (kg ha^{-1}), na profundidade de 0-160 cm.

Local	N	P	K	Ca	Mg
Cerrado	7400 **	27,5 **	305	376 **	210 **
Sistema agroflorestal	17700 **	52,5 **	329	1568 **	705 **

1. ** = significativo com 99 % de confiança.

O sistema agroflorestal apresentou em média, 2,4 vezes mais N e 1,9 vezes mais P do que o cerrado. As maiores diferenças ocorreram com o Ca e Mg, cuja reserva foi de 4,2 e 3,4 vezes superior, respectivamente.

O nutriente com maior reserva foi de nitrogênio. Considerando que este elemento é encontrado predominantemente na forma orgânica e assumindo uma taxa de mineralização entre 1 e 3%, pode-se ter um suprimento razoável às culturas. Contudo, nem sempre há boa correlação entre a quantidade total e a disponibilidade às plantas. Esta é dependente da estabilidade da matéria orgânica, tipo de solo, perdas por erosão e lixiviação, clima e cultura (Cantarella et al., 1992).

O nutriente com menor reserva no solo foi o fósforo, apresentando 52,5 kg ha⁻¹ no agroflorestal e 27,5 kg ha⁻¹ e no cerrado. Provavelmente foi o elemento mais limitante ao crescimento vegetal.

4.5.2. Volatilização de nitrogênio

A perda de nitrogênio na forma de amônia, durante o período após a aplicação da fitomassa podada da leucena (150 dias), atingiu 46,67 kg ha⁻¹ no sistema agroflorestal. Isso foi significativamente maior (99 % de confiança) do que o encontrado no cerrado, que totalizou 44,47 kg ha⁻¹.

Contudo, esses valores absolutos não foram considerados, pois as análises da espuma coletora tratada com ácido, (prova em branco sem exposição no campo), apresentaram teores de amônia variáveis conforme o tempo de reação. Observou-se liberação de 1,43 mg de N com 12 dias e 0,73 mg de N com 8 dias de tratamento, o que foi atribuído à decomposição da espuma. Isto poderia ser evitado pelo uso de espumas brancas (sem tingimento) e diminuição do intervalo entre coletas.

Para contornar esse problema, os valores encontrados no cerrado foram utilizados como brancos, ou seja, indicaram a decomposição média da espuma onde não foi aplicada fitomassa. Consequentemente, a liberação líquida de amônia a partir da leucena foi obtida pela diferença entre o N volatilizado no sistema agroflorestal e no cerrado. Isso resultou em 2,20 kg ha⁻¹ de N, equivalendo à 1,8 % do N total aplicado.

A volatilização depende da quantidade e qualidade da fitomassa. Normalmente em materiais ricos em nitrogênio e menos lignificados, aplicados sobre o solo, pode-se perder até 20 % como amônia (Palm, 1995). Para fitomassa de lentilha, aplicada sobre o solo, perdeu-se 14 % do N adicionado, havendo maior volatilização na primeira semana de tratamento (Janzen & McGinn, 1991). Além disso, esse processo é dependente de fatores edáficos e climáticos. Nas condições avaliadas, com pH ácido e boa drenagem, a volatilização tende a ser inibida. Outro aspecto, foi a elevada proporção de material lenhoso, de decomposição lenta, havendo imobilização do nitrogênio a medida que ia sendo mineralizado.

As maiores taxas de liberação ocorreram até 80 dias após a aplicação da fitomassa, com máximo em torno de 34 dias (Figura 10). Neste período a perda diária atingiu até 24 g ha⁻¹ de nitrogênio. A eficiência do coletor variou de 5,4 a 12,0 %.

Figura 10. Volatilização de nitrogênio após a aplicação da fitomassa da leucena.

4.6. Balanço de nutrientes.

Foi obtido pela diferença entre a entrada externa de nutrientes (precipitação) e as saídas (lixiviação, enxurrada, colheita dos grãos e volatilização). Contabilizou-se ainda a reciclagem interna nos componentes hídricos e vegetais.

A precipitação incidente adicionou anualmente 15,5 kg ha⁻¹ de N, 2,8 kg ha⁻¹ de P, 5,4 kg ha⁻¹ de K, 13,0 kg ha⁻¹ de Ca e 2,4 kg ha⁻¹ de Mg (Tabela 29).

As saídas anuais de nutrientes no cerrado totalizaram 6,9 kg ha⁻¹ de N, 1,5 kg ha⁻¹ de P, 4,7 kg ha⁻¹ de K, 28,4 kg ha⁻¹ de Ca e 4,9 kg ha⁻¹ de Mg. Já no sistema agroflorestal, foram perdidos 28,3 kg ha⁻¹ de N, 5,5 kg ha⁻¹ de P, 13,3 kg ha⁻¹ de K, 36,2 kg ha⁻¹ de Ca e 6,1 kg ha⁻¹ de Mg.

Tabela 29. Balanço anual de nutrientes (kg ha^{-1}) no cerrado e sistema agroflorestal.

COMPONENTES⁽¹⁾	N	P	K	Ca	Mg
Cerrado					
Precipitação (Entrada)	15,47	2,82	5,35	12,95	2,42
Gotejamento de copa	5,30	3,01	3,18	14,93	2,03
Fluxo de caule	0,23 *	0,21	0,51**	0,09	0,11
Serapilheira	27,84 *	1,08 **	7,17	13,23 **	3,65 **
Soma do ciclo planta-solo:	33,37	4,30	10,86	28,25	5,79
Erosão	2,20 *	0,37	1,90	3,77 *	0,22
Lixiviação	4,73 *	1,09	2,79	24,66	4,69
Soma das saídas:	6,93	1,46	4,69	28,43	4,91
SALDO:	8,54	1,36	0,66	-15,49	-2,49
Sistema agroflorestal					
Precipitação (Entrada)	15,47	2,82	5,35	12,95	2,42
Gotejamento de copa	5,20	2,91	4,74	17,77	2,84
Fluxo de caule	0,10 *	0,12	1,00 **	0,10	0,19
Serapilheira	52,33 *	2,68 **	12,74	40,35 **	14,18 **
Fitomassa podada	62,51	3,79	22,62	23,88	8,58
Restos de cultura	34,24	2,91	34,65	10,94	8,29
Soma do ciclo planta-solo:	154,38	12,41	75,75	93,04	34,08
Erosão	0,86 *	0,19	0,96	0,87 *	0,28
Lixiviação	2,56 *	2,00	5,92	34,58	4,46
Grãos colhidos	22,68	3,27	6,38	0,72	1,35
Volatilização	2,20	---	---	---	---
Soma das saídas:	28,30	5,46	13,26	36,17	6,09
SALDO:	-12,83	-2,64	-7,91	-23,25	-3,67

1. * = significativo com 95 % de confiança; ** = significativo com 99 % de confiança.

A lixiviação foi o processo que mais removeu nutrientes catiônicos, contribuindo em 46 a 96 % das perdas. Os grãos foram importantes na saída de N e P. A enxurrada contribuiu pouco em virtude da cobertura permanente do solo.

As perdas por lixiviação foram superestimadas em função da metodologia empregada. Tais valores resultam da alteração na movimentação da água e no equilíbrio com os solutos, em função da modificação na estrutura do solo dos lisímetros. Nota-se também a importância das raízes das árvores na reciclagem dos minerais, evitando a perda para camadas mais profundas. Isso foi evidenciado por Pompéia (1989), que obteve concentração muito baixa de nutrientes na solução percolada em solo de cerrado vegetado e sem revolvimento.

As perdas de nutrientes no sistema agroflorestal foram maiores em relação ao cerrado, chegando a 3,7 vezes superior para o P e 4,1 vezes para o N, o que esteve relacionado à maior reserva daquele solo e a colheita dos grãos sem reposição na forma de fertilizantes.

A partir desses resultados, obteve-se no cerrado, um saldo anual de nutrientes no solo de 8,54 kg ha⁻¹ de N, 1,36 kg ha⁻¹ de P, 0,66 kg ha⁻¹ de K, -15,49 kg ha⁻¹ de Ca e -2,49 kg ha⁻¹ de Mg. Os valores negativos resultam no empobrecimento contínuo do solo, diminuindo a disponibilidade de nutrientes para a vegetação, uma vez que seus teores eram baixos a muito baixos, exceto para o nitrogênio.

A sobrevivência da vegetação nestas condições está ligada ao armazenamento dos minerais, especialmente no caso do N, P e Ca, nos quais a reserva na fitomassa é superior à do solo (Pompéia, 1989).

O saldo anual de nutrientes no cultivo em aléias totalizou -12,83 kg ha⁻¹ de N, -2,64 kg ha⁻¹ de P, -7,91 kg ha⁻¹ de K, -23,25 kg ha⁻¹ de Ca e -3,67 kg ha⁻¹ de Mg. Foi menor ao cerrado para todos nutrientes em função das maiores perdas.

A reciclagem anual de nutrientes no ciclo planta-solo no cerrado, atingiu 33,4 kg ha⁻¹ de N, 4,3 kg ha⁻¹ de P, 10,9 kg ha⁻¹ de K, 28,3 kg ha⁻¹ de Ca e 5,8 kg ha⁻¹ de Mg. A serapilheira foi a forma mais importante para o N, K, Ca e Mg, participando com 47 a 83 % do total. Somente para o P, houve maior importância do gotejamento de copa. Isso demonstra a eficiente reciclagem de nutrientes da vegetação,

que é uma adaptação para sua sobrevivência, especialmente no ambiente tropical (Vitousek, 1984).

No sistema agroflorestal, a reciclagem anual de nutrientes entre planta e solo foi de 154,4 kg ha⁻¹ de N, 12,4 kg ha⁻¹ de P, 75,8 kg ha⁻¹ de K, 93,0 kg ha⁻¹ de Ca e 34,0 kg ha⁻¹ de Mg. Os componentes vegetais foram mais importantes, pois participaram com 76 a 97 % desse total. A reciclagem de N, Ca e Mg nesse sistema foi superior à adubação mineral recomendada nessas condições, para expectativa de produtividade média de grãos (Instituto Agronômico de Campinas, 1995). Salienta-se ainda, que esses valores foram 2,9 a 7,0 vezes superior ao cerrado.

A reciclagem de nutrientes foi subestimada, uma vez que não foi levado em conta a ação da fauna do solo. Os animais, principalmente os cupins, formigas e minhocas, movimentam grande quantidade de solo, trazendo para superfície os nutrientes, junto com o material do subsolo (Hole, 1981).

O P e o K foram os elementos menos disponíveis para a vegetação pois tinham teores baixos a muito baixos no solo, além de serem significativamente removidos pela colheita.

Salienta-se ainda, a adição subestimada do nitrogênio nos dois sistemas, pois não foi contabilizada a fixação biológica. No caso da leucena, este processo pode representar 40 % do elemento presente na fitomassa (Mulongoy & Meersch, 1989).

5. CONCLUSÃO

As perdas de nutrientes no cerrado foram baixas, sendo a lixiviação o mecanismo mais importante para os cátions, representando 46 a 96 % do total. Esta perda foi superestimada, principalmente devido à ausência de raízes das árvores nos lisímetros. No sistema agroflorestal, a remoção através dos grãos foi o principal mecanismo de perda de nutrientes. Notou-se baixo escoamento superficial nos dois tratamentos, em função da cobertura permanente do solo.

A reciclagem interna de nutrientes ocorreu principalmente através dos componentes vegetais. A serapilheira no cerrado produziu $2176 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de fitomassa seca. No sistema agroflorestal, acumulou-se $11039 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de matéria seca, sendo 40 % proveniente da fitomassa podada, 38 % dos restos culturais e 22 % da serapilheira. Como resultado, teve-se uma reciclagem 2,9 a 7,0 vezes superior ao cerrado.

O balanço anual de nutrientes no cerrado foi de $8,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, $1,4 \text{ kg ha}^{-1}$ de P, $0,7 \text{ kg ha}^{-1}$ de K, $-15,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de Ca e $-2,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de Mg. Os valores negativos representam perda contínua de cátions no sistema, resultando no empobrecimento do solo. Excetuando-se o nitrogênio, os demais nutrientes tiveram teores baixos a muito baixos no solo, sendo uma das principais limitações ao desenvolvimento da vegetação.

No sistema agroflorestal, o saldo anual de nutrientes atingiu $-12,8 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, $-2,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de P, $-7,9 \text{ kg ha}^{-1}$ de K, $-23,3 \text{ kg ha}^{-1}$ de Ca e $-3,7 \text{ kg ha}^{-1}$ de Mg. As perdas de nutrientes foram maiores que no cerrado devido a remoção através dos grãos. Além disso, a adição de nitrogênio foi subestimada, pois não foi avaliada a fixação biológica.

O principal benefício do cultivo em aléias foi o aumento nos teores de matéria orgânica, N, P, Ca e Mg na camada superficial do solo (0-20 cm), em comparação ao cerrado, devido à reciclagem contínua através da fitomassa.

Apesar da melhoria de tais atributos, a produtividade das culturas foi baixa, sendo 1210 kg ha⁻¹ de milho e 175 kg ha⁻¹ de feijão. Isso foi atribuído à competição exercida pela leucena e à baixa disponibilidade de nutrientes no solo.

A adubação complementar, principalmente com fósforo e potássio poderia aumentar a produtividade das culturas e reverter o balanço de nutrientes. A adoção de podas mais frequentes iria diminuir a competição entre a leucena e as culturas, além de produzir uma fitomassa mais rica em nutrientes.

O cultivo em aléias pode ser recomendado para produção de alimentos sem a aplicação rotineira de fertilizantes, possibilitando economia de insumos para o agricultor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERTALOT, M.; PIAMONTE, R.; HARKALY, A. Sistema agrossilvopastoril no Instituto Biodinâmico. **Agricultura Biodinâmica**, v.10, p.4-7, 1993.
- BROWN, S.; ANDERSON, J.M.; WOOMER, P.L.; SWIFT, M.J.; BARRIOS, E. Soil biological processes in tropical ecosystems. In: WOOMER, P.L.; SWIFT, M.J. **The biological management of tropical soil fertility**. Chichester: John Wiley & Sons, 1994. cap. 2, p.17-46.
- CANTARELLA, H.; ABREU, C.A.; BERTON, R.S. Fornecimento de nutrientes pela matéria orgânica do solo: problemas e soluções. In: GUERRINI, I.A.; BÜLL, L.T. **Encontro sobre matéria orgânica do solo: problemas e soluções**, Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas/UNESP, 1992. p. 63-122.
- CATCHPOOLE, D.W.; BLAIR, G. Forage tree legumes. I. Productivity and N economy of *Leucaena*, *Gliricidia*, *Calliandra* and *Sesbania* tree/green panic mixtures. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.41, n.3, p.521-30, 1990.
- CHAGAS, J.M.; KLUTHCOUSKI, J.; AQUINO, A.R.L. *Leucaena leucocephala* como adubo verde para a cultura de feijão em cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.16, n.6, p.809-14, 1981.
- CONSTANTINIDES, M.; FOWNES, J.H. Nitrogen mineralization from leaves and litter of tropical plants: relationship to nitrogen, lignin and soluble polyphenol concentrations. **Soil Biology and Biochemistry**, v.26, p.49-55, 1994.
- DELITTI, W.B.C.; SANTOS, A.L.P.; GARBER, V.R. Biomassa hipogéia da vegetação do cerrado. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 38., Curitiba, 1986. Resumos. **Ciência e Cultura**, Suplemento, v.38, n.7, p.697-8.
- DUGUMA, B.; KANG, B.T.; OKALI, D.U.U. Effect of pruning intensities of three woody leguminous species grown in alley cropping with maize and cowpea on an alfisol. **Agroforestry systems**, v.6, p.19-35, 1988.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: 1979. v.1.
- 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. **ASA Special Publication**, v.56, p.77-96, 1993.
- FERRARIS, R. Productivity of *Leucaena leucocephala* in the wet tropics of North Queensland. **Tropical Grasslands**, v.13, n.1, p.20-7, 1979.
- GOEDERT, W.J. **Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. São Paulo: Nobel; Brasília: EMBRAPA/CPAC, 1985. 422p.
- GOTTSBERGER, I.S.; EITEN, G. Fitossociologia de um hectare de cerrado. **Brasil Florestal**. v.54, p.55-70, 1983.
- GREENLAND, D.J. The nitrogen cycle in West Africa. Agronomic considerations. In: ROSSWALL, T. **Nitrogen cycling in West African Ecosystems**. Stockholm: SCOPE/UNEP, 1980. p.73-81.
- GUEVARRA, A.B.; WHITNEY, A.S.; THOMPSON, J.R. Influence of intra-row spacing and cutting regimes on the growth and yield of *Leucaena*. **Agronomy Journal**, v.70, p.1033-7, 1978.
- HAGGAR, J.P.; WARREN, G.P.; BEER, J.W.; KASS, D. Phosphorus availability under alley cropping and mulched sole cropping systems in Costa Rica. **Plant and Soil**, v.137, p.275-83, 1991.
- HAGGAR, J.P.; TANNER, E.V.J.; BEER, J.W.; KASS, D.C.L. Nitrogen dynamics of tropical agroforestry and annual cropping systems. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, n.10, p.1363-78, 1993.
- HÖGBERG, P.; KUARNSTRÖM, M. Nitrogen fixation by woody legume *Leucaena leucocephala* in Tanzania. **Plant and Soil**, v.66, p.21-8, 1982.
- HOLE, F.D. Effects of animals on soil. **Geoderma**, v.25, p.75-112, 1981.
- INGRAM, J. The role of trees in maintaining and improving soil productivity. In: PRINSLEY, R.T. **Agroforestry for sustainable production: economic implications**. London: Commonwealth Science Council, 1990. cap. 2, p.243-303.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Instruções agrícolas para o Estado de São Paulo**. Campinas: 1995. 231p. (IAC, Boletim Técnico, 200).

- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapa geológico do Estado de São Paulo.** São Paulo: IPT/Divisão de Minas e Geologia Aplicada, 1981. v.1.
- JANZEN, H.H.; MCGINN, S.M. Volatile loss of nitrogen during decomposition of legume green manure. **Soil Biology and Biochemistry**, v.23, n.3, p.291-7, 1991.
- JORDAN, C.F.; HEUVELDOP, J. The water budget of an amazonian rain forest. **Acta Amazonica**, v.11, n.1, p.87-92, 1981.
- KANG, B.T.; WILSON, G.F.; SIPKENS, L. Alley cropping maize and leucaena in Southern Nigeria. **Plant and Soil**, v.63, p.165-79, 1981.
- LAL, R. Losses of plant nutrients in runoff and eroded soil. In: ROSSWALL, T. **Nitrogen cycling in West African Ecosystems**. Stockholm: SCOPE/UNEP, 1980. p.31-8.
- LAL, R. Agroforestry systems and soil surface management of a tropical alfisol: I: Soil moisture and crop yields. **Agroforestry systems**, n.8, p.7-29, 1989a.
- LAL, R. Agroforestry systems and soil surface management of a tropical alfisol: II: Water runoff, soil erosion and nutrient loss. **Agroforestry systems**, v.8, p.97-111, 1989b.
- LAL, R. Agroforestry systems and soil surface management of a tropical alfisol: III: Changes in soil chemical properties. **Agroforestry systems**, n.8, p.113-32, 1989c.
- LANDSBERG, J.J. Nutrient dynamics and tree growth. In: LANDSBERG, J.J. **Physiological ecology of forest production**. London: Academic Press, 1986. p.111-32.
- LANGKAMP, P.J.; FARNELL, G.K.; DALLING, M.J. Nutrient cycling in a stand of *Acacia holosericea* A. Cunn. ex G. Don. I. Measurement of precipitation, interception, seasonal acetylene reduction, plant growth and nitrogen requirement. **Australian Journal of Botany**, v.30, p.87-106, 1982.
- LARA CABEZAS, W.A.R.C.; TRIVELIN, P.C.O. Eficiência de um coletor semi-aberto estático na quantificação de N-NH₃ volatilizado da uréia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.345-52, 1990.
- LEMOES, R.C.; SANTOS, R.D. **Manual de método de trabalho de campo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1976, 36 p.

- LULANDALA, L.L.L.; HALL, J.B. Nutrient removals in harvesting of *Leucaena* hedgerows at Mafiga, Morogo, Tanzania. **Forest Ecology and Management**, v.35, p.207-16, 1990.
- LUNDGREN, B.; NAIR, P.K.R. Agroforest for soil conservation. In: EL-SWAIFY, S.A.; MOLDENHAUER, W.C.; LO, A. **Soil erosion and conservation**. Ankeny: Soil Conservation Society of America, 1985. p. 703-717.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: Associação Brasileira de Pesquisa da Potassa e Fósforo, 1989, 201p.
- MEGURO, M.; DELITTI, W.B.C. O papel da precipitação na ciclagem de nutrientes minerais no campo cerrado de Mogi-Guaçu-SP. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 37., Belo Horizonte, 1985. Resumos. **Ciência e Cultura**, Suplemento, v.37, n.7, p.561.
- MEGURO, M.; VINUEZA, G.N.; DELITTI, W.B.C. Ciclagem de nutrientes minerais na mata mesófila secundária. São Paulo. II. O papel da precipitação na importação e transferência do potássio e fósforo. **Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo**. v.7, p.61-7, 1979.
- MULUNGOY, K.; MEERSCH, M.K. Nitrogen contribution by leucaena (*Leucaena leucocephala*) prunings to maize in an alley cropping system. **Biology and Fertility of Soils**, v.6, p.282-5, 1988.
- NASCIMENTO, C.M.; PEREIRA, M.A.M.G. **Atlas climatológico do Estado de São Paulo (1977-1988)**. Campinas: Fundação Cargill, 1988, 93p.
- NYATHI, P.; CAMPBELL, B. Leaf quality of *Sesbania sesban*, *Leucaena leucocephala* and *Brachystegia spiciformis*: potential agroforestry species. **Forest Ecology and Management**, v.64, p.259-64, 1994.
- ONG, C.K.; CORLETT, J.E.; SINGH, R.P.; BLACK, C.R. Above and below ground interactions in agroforestry systems. **Forest Ecology and Management**, v.45, p.45-57, 1991.
- PAINTER, R.B. Climatology and environmental measurement. In: CHAPMAN, S.B. **Methods in plant ecology**. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1976. p.369-410.
- PALM, C.A. Contribution of agroforestry trees to nutrient requirements of intercropped plants. **Agroforestry systems**, v.30, p.105-24, 1995.

- PEREIRA, J.; PERES, J.R.R. Manejo da matéria orgânica. In: GOEDERT, W.J. **Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. São Paulo: Nobel; Brasília: EMBRAPA/CPAC, 1985. cap.10, p.261-84.
- PERES, J.R.R.; SUEHT, A.R.; VARGAS, M.A.T.; DROZDOWICZ, A. Litter production in areas of brazilian cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.18, n.9, p.1037-43, 1983.
- POMPÉIA, S.L. Aspectos da dinâmica dos nutrientes minerais em solo sob vegetação de campo-cerrado (Mogi-Guaçu-SP). São Paulo, 1989. 137p. Dissertação (M.S). Instituto de Biociências da USP.
- QUEIROZ NETO, J.P. Solos da região dos cerrados e suas interpretações. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.6, n.1, p.11-2, 1982.
- RAIJ, B.; QUAGGIO, J.A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1983. 42p. (IAC, Boletim Técnico, 81).
- RIZZO, J.A.; CENTENO, A.J.; LOUZA, J.S.; FILGUEIRAS, T.S. Levantamento de dados em áreas de cerrado e floresta caducifólia tropical do planalto Centro-oeste. In: FERRI, M.G. **Simpósio sobre o cerrado**. São Paulo: Editora Edgar Blücher, 1971. p.103-9.
- SANCHEZ, P.A. Science in agroforestry. **Agroforestry systems**, v.30, p.5-55, 1995.
- SANDHU, J.; SINHA, M.; AMBASHT, R.S. Nitrogen release from decomposing litter of *Leucaena leucocephala* in the dry tropics. **Soil Biology and Biochemistry**, v.22, n.6, p.850-63, 1990.
- SANTOS, P.F. Água de escoamento dos troncos e arquitetura arbórea. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 40., 1988. Resumos. **Ciência e Cultura**, Suplemento, v.40, n.7, p.646.
- SANTOS, P.F.; RODRIGUES, G.S. Avaliação de métodos para estimativa da decomposição do folheto em ecossistema de cerrado (Corumbataí-SP). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 34., Campinas, 1982. Resumos. **Ciência e Cultura**, Suplemento, v.34, n.7, p.559.
- SANTOS, P.F.; RODRIGUES, G.S. Aporte de nutrientes minerais via precipitação pluviométrica em mata tropical subcaducifólia dos Planaltos do Paraná. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 44., São Paulo, 1992. Resumos. **Ciência e Cultura**, Suplemento, v.44, n.7, p.647-8.

- SETZER, J. **Atlas climatológico e ecológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Comissão Interestadual da Bacia Paraná, 1966.
- SCHROTH, G. Tree root characteristics as criteria for species selection and systems design in agroforestry. **Agroforestry systems**, v.30, p.125-43, 1995.
- 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. **Agroforestry systems**, v.32, p.261-76, 1995.
- SEYFRIED, M.S.; RAO, P.S.C. Nutrient leaching loss from two contrasting cropping systems in the humid tropics. **Tropical Agriculture**. v.68, n.1, p.9-18, 1991.
- SHANNON, D.A.; VOGEL, W.O.; KABALVAPA, K.N. The effects of alley cropping and fertilizer application on continuously cropped maize. **Tropical Agriculture**, v.71, n.3, p.163-9, 1994.
- SINGH, R.P.; ONG, C.K.; SAHARAN, N. Above and below ground interactions in alley-cropping in semi-arid India. **Agroforestry systems**, v.9, p.259-74, 1989.
- SSEKABEMBE, C.K. Perspectives hedgerow intercropping. **Agroforestry Systems**, v.3, n.4, p.339-56, 1985.
- SZOTT, L.T.; FERNANDES, E.C.M.; SANCHEZ, P.A. Soil-plant interactions in agroforestry systems. **Forest Ecology and Management**, v.45, p.127-52, 1991a.
- SZOTT, L.T.; PALM, C.A.; SANCHEZ, P.A. Agroforestry in acid soils of the humid tropics. **Advances in Agronomy**, v.45, p.275-301, 1991b.
- TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. **Análise de solos, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1985. (Boletim técnico, 5).
- VAN NOORDWIJK, M.; HEINEN, M.; HAIRIAH, K. Old tree root channels in acid soils in the humid tropics: Important for crop root penetration, water infiltration and nitrogen management. **Plant and Soil**, v.134, p.37-44, 1991.
- VITOUSEK, P.M. Litterfall, nutrient cycling and nutrient limitation in tropical forest. **Ecology**, v.65, n.1, p.285-98, 1984.
- VITOUSEK, P.M.; SANFORD, R.L. Nutrient cycling in moist tropical forest. **Annual Review of Ecology and Systematics**. v.17, p.137-67, 1986.

- WANG, D.; BORMANN, F.H.; LUGO, A.E.; BOWDEN, R.D. Comparison of nutrient-use efficiency and biomass production in five tropical tree taxa. **Forest Ecology and Management**, v.46, p.1-21, 1991.
- WANG, I.J.; HSIA, Y.J.; HWANG, J.L.; KING, H.B. Long-term ecological research in Fushan forest. Hydrochemical cycles. In: PENG, C.I.; CHOU, C.H. **Biodiversity and terrestrial ecosystems**. Taipei: Academia Sinica, 1994. p.362-71. (Monograph series, No 14).
- XU, Z.H.; SAFFIGNA, P.G.; MYERS, R.J.K.; CHAPMAN, A.L. Nitrogen cycling in leucaena (*Leucaena leucocephala*) alley cropping in semi-arid tropics. **Plant and Soil**, v.148, p.63-82, 1993.
- 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. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.18, p.167-77, 1986.