

PRODUÇÃO E DECOMPOSIÇÃO DE LITEIRA EM FLORESTA DE
TERRA FIRME DA AMAZÔNIA CENTRAL

LUIZAO, F.J.* e SCHUBART, H.O.R.*

RESUMO

Em três áreas distintas de florestas na região de Manaus (AM), foram estudados aspectos químicos e biológicos da *liteira* produzida e de sua decomposição sobre o solo. A *liteira* foi recolhida semanalmente durante três anos, usando-se coletores cônicos com 80 cm de boca, separada por componentes, pesada e analisada quanto aos seus constituintes minerais. A decomposição das folhas da *liteira* foi estudada através de experimento com sacos de malha de nylon, durante cinco meses e com repetições nas estações seca e chuvosa. A produção de *liteira* foi maior na época seca do ano, principalmente de junho a outubro, enquanto que a decomposição é muito mais acentuada na época chuvosa: na mata sobre platô, o material demoraria 216 dias para atingir metade do peso inicial, nas condições de estação seca, contra apenas 37 dias da estação chuvosa. Além de uma evidente lixiviação mais acentuada, neste período, houve uma forte influência das raízes finas que penetram nas folhas em decomposição e dos macro-artrópodos, especialmente cupins do gênero *Syntetemes*, que provocam rápida perda de peso e dos nutrientes mi-

* CNPq/INPA

nerais das folhas. Os cupins, durante a estação chuvosa, nas áreas de latossolo argiloso, foram responsáveis pela remoção de mais de 40% do total do material exposto sobre o solo. Assim, a atividade biológica aparece como a principal responsável pela perda de peso e da maioria dos constituintes minerais da *littera*, bem como pelo acúmulo de outros (Fe, Al e Zn) sobre o material em decomposição; a lixiviação seria a maior responsável pela perda de apenas alguns constituintes minerais mais solúveis, como K, B e Cu.

ABSTRACT - LITTER PRODUCTION AND DECOMPOSITION IN UPLAND RAIN FOREST OF CENTRAL AMAZON

Chemical and biological aspects of the litter production and decomposition were studied in three distinct areas of upland rain forest of Central Amazon. The litter production was measured during three years, employing the "litter trap" technique, using adapted conic collectors. Leaf litter decomposition was studied in a experiment over a five month period, with repetitions in the dry season and the wet season, using the "nylon mesh-bag" technique. The greatest litter production occurred during the drier period of the year, from June to October, while decomposition process was more accentuated in the wet season. For the plateau site, one half of the leaf litter disappeared, according to a mathematical model, in about 216 days under dry season conditions against 37 days in the wet season. In the rainy season, weight reduction and mineral losses of decomposing leaves occurred more rapidly due to the intense biological activity in this period. Particularly noticeable was the action of termites (gen. *systemes*) on organic matter fragmentation and mineral removal, being responsible for removal of more than 40% (dry weight) of the decomposing leaves. Root penetration into the decomposing leaves was also noticed causing a decrease in the concentration of some

minerals and an increase in others (zinc, iron and aluminum). In the rainy season leaching effects were quite noticeable for potassium, boron and copper.

INTRODUÇÃO

Nos ecossistemas florestais, a matéria orgânica representa um componente de importância vital para a maioria dos processos funcionais que ocorrem no solo (GOSZ et al, 1976), sendo que a maior contribuição para a formação das camadas húmicas do solo da floresta é dada pela liteira, ou seja, os detritos vegetais que caem da própria floresta sobre a superfície do solo.

O termo liteira, aqui usado, equivale ao inglês "litter" e ao francês "litière" e representa a matéria orgânica morta, predominantemente vegetal, que se acumula sobre a superfície do solo, constituída por folhas, flores, frutos, cascas, gravetos, galhos, etc. (VIEIRA, 1975; MARINO et al, 1980).

A liteira desempenha papel fundamental na circulação de nutrientes e nas transferências de energia entre as plantas e o solo (MEDWECKA-KORNAS, 1970), funcionando como combustível para os ciclos de nutrientes nos horizontes superiores do solo; é particularmente importante na nutrição de ecossistemas florestais sobre solos com baixo conteúdo de nutrientes, onde a vegetação depende em grande escala de reciclagem dos nutrientes contidos nos detritos vegetais (SINGH, 1968).

Apesar disto, ainda são poucos os trabalhos realizados sobre a dinâmica dos nutrientes na superfície do solo das florestas (GOSZ et al, 1976), devido à complexidade do estudo e ao fato de a maioria dos trabalhos até então realizados referirem-se apenas à produção da liteira e ao seu conteúdo químico, sem considerar a transformação da mesma em nutrientes para o solo e as plantas. Só em anos mais recen-

tes é que tem aumentado o número de trabalhos tratando da dinâmica do material morto em ecossistemas florestais, embora, na sua maioria referindo-se a florestas temperadas e/ou homogêneas. No que se refere a florestas tropicais, estudos mais recentes na Malásia, "Pasoh Forest" (KIRA, 1978), na América Central (EWEL, 1976; GOLLEY et al, 1978), na Venezuela, principalmente dentro do projeto "San Carlos do Rio Negro" (HERRERA et al, 1978; JORDAN, 1978; STARK & JORDAN, 1978; JORDAN et al, 1980; JORDAN & HERRERA, 1981; UHL & JORDAN, 1984), têm levado em conta a dinâmica dos nutrientes minerais no ecossistema florestal natural, bem como as alterações advindas do corte e queima da floresta pelo homem.

Na Amazônia brasileira, bem poucos são os trabalhos já realizados, destacando-se os de KLINGE & RODRIGUES (1968), FRANKEN et al (1979), SILVA (1982), SILVA & LOBO (1982), sobre a queda da liteira e seu conteúdo químico; KLINGE (1976, 1977a, 1977b) sobre a produção e decomposição da liteira. A partir de 1976, a aproximadamente oitenta quilômetros ao norte de Manaus, iniciaram-se os estudos do projeto "Bacia Modelo", em uma bacia hidrográfica intacta, com o objetivo de estudar todo o funcionamento do ecossistema de floresta tropical úmida de terra firme da Amazônia, incluindo trabalhos sobre a produção, decomposição e liberação dos nutrientes da liteira (LUIZÃO & SCHUBART, em andamento) e crescimento de raízes finas no material em decomposição (REIS, 1985).

A maior parte dos dados que apresentaremos e discutiremos a seguir referem-se a estes estudos efetuados na "Bacia Modelo" do INPA e, especificamente, à tese de mestrado desenvolvida ali pelo primeiro autor (LUIZÃO, 1982), com o objetivo de estudar a dinâmica da produção e decomposição da liteira, incluindo os aspectos biológicos relacionados com a decomposição, bem como a velocidade da liberação ou desaparecimento dos nutrientes minerais da liteira, em duas áreas de florestas originais e uma capoeira jovem, com três anos de idade, comparando-se as estações seca e chuvosa. Das duas áreas de florestas originais estudadas, uma (área A),

situa-se sobre platô de latossolo amarelo argiloso e a outra (área B), num baixio de podzol hidromórfico, ambos tipos de solos muito comuns na bacia amazônica e, geralmente muito pobres em nutrientes (CAMARGO & FALESI, 1975; SANCHEZ, 1976), apesar de cobertos por exuberantes florestas que apresentam grande biomassa e alta diversidade de espécies (PIRES, 1974). A capoeira estudada (área C) com três anos de idade, corresponde a uma área de latossolo amarelo argiloso, similar ao da floresta primária da área "A", e que foi derrubada manualmente, queimada e usada para uma única cultura de subsistência, apresentando, na época de início do estudo uma vegetação com aproximadamente 8 m de altura e predominância do gênero *Cecropia*.

As coordenadas geográficas aproximadas das áreas estudadas na "Bacia Modelo" são: latitude $02^{\circ}34'S$ e longitude $60^{\circ}07'W$.

PRODUÇÃO DE LITEIRA

A liteira produzida pela vegetação foi coletada, por meio de quinze coletores cônicos com 80 cm de diâmetro de boca a 1 m de altura, em cada área, e retirada semanalmente para impedir ou diminuir sua decomposição; os detritos vegetais eram então secos, separados em folhas e outros componentes (agrupados), pesados e guardados para posterior análise química.

A maior produção obtida, nos três anos de estudo, ocorreu na floresta original de platô e a menor na capoeira jovem. Na Tab. 1 são apresentados os dados do total de liteira e de sua percentagem em relação ao peso total da liteira produzida, referentes ao primeiro ano de estudos (1979-1980). Pode-se observar que as folhas representam a maior parte da liteira produzida pela vegetação, especialmente na capoeira jovem, em fase de crescimento acelerado, para o qual precisa ter uma alta taxa fotossintética, conseguida

por meio de uma grande biomassa de folhas, que são rapidamente substituídas.

Tabela 1 - Produção anual de liteira (t/ha/a de material seco) nas três áreas estudadas.

Área	Total de liteira	Somente folhas	% das folhas em relação do total
A platô	7,42 (2,128)	4,41	59,5
B baixio	6,48 (1,625)	4,05	62,5
C capoeira	6,07 (2,927)	5,17	85,2

Os resultados obtidos, embora situando-se dentro da faixa de produção de outras florestas tropicais, são bem menores que as médias mundiais freqüentemente citadas (RODIN & BASILEVICH, 1967).

No que se refere à variação na produção de liteira ao longo do ano, observa-se uma maior produção no período mais seco do ano, especialmente no período de junho a outubro. Isto é mais visível na floresta de platô, com picos maiores em agosto e setembro, os meses mais secos do ano; a floresta de baixio, embora com produção relativamente alta no período seco, apresenta uma distribuição pouco variável na queda de detritos, enquanto que a capoeira jovem mostra uma grande irregularidade (Fig. 1). Picos secundários de produção de detritos podem ser observados nos meses de abril e dezembro, em todas as áreas; estes meses, bastante chuvosos, são subseqüentes a outros bem menos chuvosos ou relativamente secos, embora uma correlação direta entre a precipi

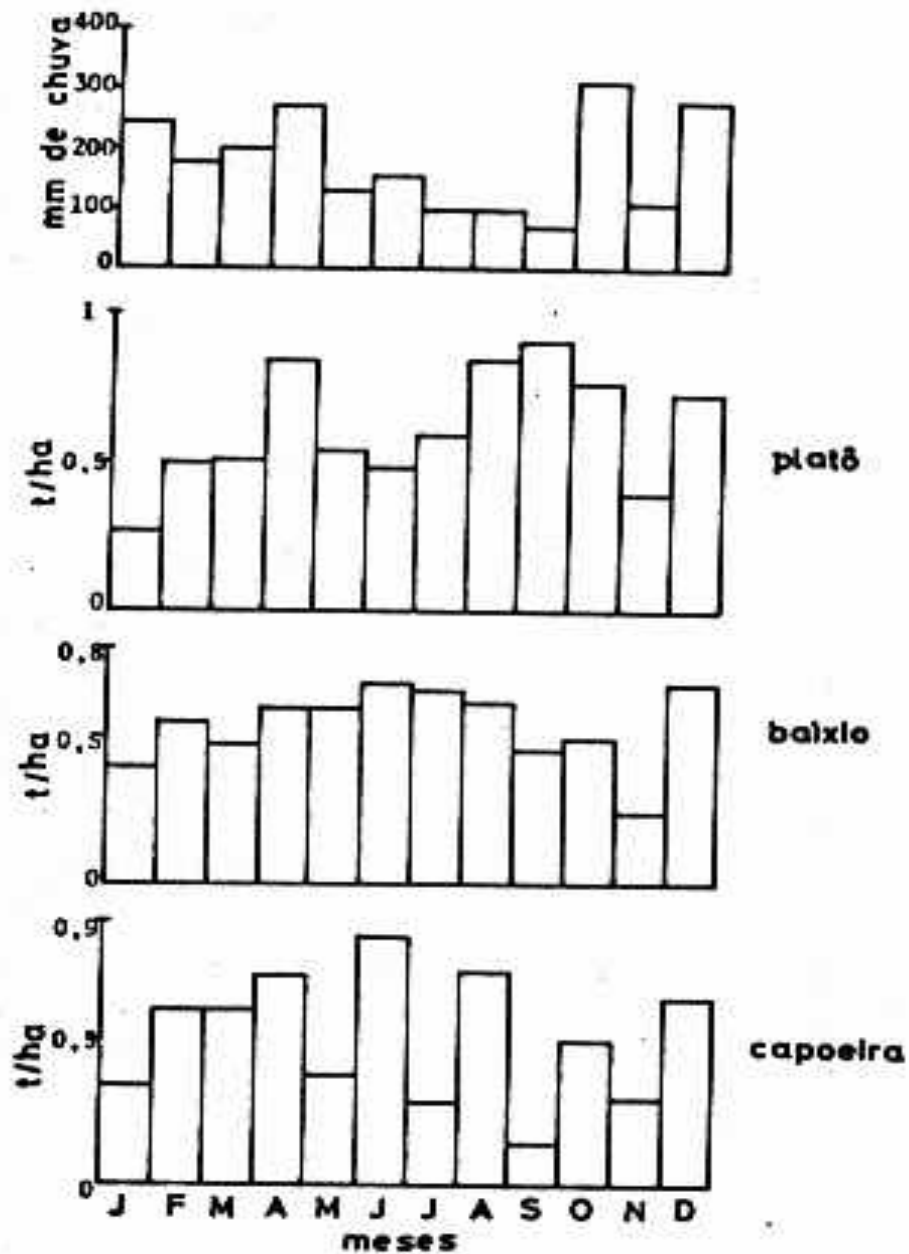


Figura 1 - Produção mensal de liteira (peso seco de material, em t/ha) ao longo do ano, nas três áreas estudadas e precipitação pluviométrica (mm de chuva) correspondente.

tação pluviométrica e a queda de detritos do mês correspondente ou mesmo do mês anterior não tenha sido obtida; isto talvez só possa ser verificado com coletas e tratamento dos dados semanais.

Outros estudos realizados nas regiões de Manaus (FRANKEN et al, 1979) e Belém (KLINGE, 1977b) mostraram uma produção maior de detritos vegetais (7,8-8,0 e 9,9 t/ha/a, respectivamente) e uma percentagem de folhas também mais elevada (entre 70 e 80% do total da liteira).

TRANSFERÊNCIA DE NUTRIENTES MINERAIS

Apesar da quantidade de liteira produzida ser menor que a de muitas outras florestas tropicais e apresentar uma qualidade nutricional relativamente baixa (HOWARD-WILLIAMS, 1974), os nutrientes que chegam ao chão da floresta pela queda de detritos representam uma quantidade bastante considerável em relação às existentes no solo; também as quantidades de minerais armazenadas na biomassa são muito grandes em comparação com as reservas do solo. A Tab. 2 dá uma boa idéia a respeito, mostrando a transferência de nutrientes minerais da vegetação para o solo por meio da queda de detritos, em relação às quantidades destes nutrientes no solo e na vegetação.

Além disso, há um aporte de minerais ao solo por meio de uma quantidade ainda desconhecida de troncos mortos, que se decompõem muito lentamente, e pela água de lavagem das folhas e dos caules em pé da vegetação.

Tabela 2 - Transferência de nutrientes minerais da vegetação para o solo através da queda de folhas e outros detritos vegetais finos (KLINGE & RODRIGUES, 1968), em relação às quantidades destes nutrientes no solo e nas partes aéreas da vegetação em floresta de terra firme em Manaus (KLINGE, 1976).

	P	K	Ca	Mg	Na
Transferência vegetação/solo (kg/ha/a)	2,2	12,7	18,4	12,6	5,0
Solo até 1 m de profundidade (kg/ha)	147	58	0	23	50
Vegetação (kg/ha)	59	434	424	202	193
X em relação ao solo	1,5	21,9	-	54,8	10,0
X em relação à vegetação	3,7	2,9	4,3	6,2	2,6

DECOMPOSIÇÃO DA LITEIRA

A decomposição da liteira (em sentido amplo, abrangendo lavagem, desintegração, remoção e mineralização do material) foi estudada pelo método do saco de malha de nylon (BOCOCK & GILBERT, 1957), usando-se apenas uma espécie de folhas para permitir um melhor acompanhamento da dinâmica dos nutrientes minerais contidos no material. Foram utilizados, em cada área estudada, sessenta sacos de nylon, com malha de 1 mm, medindo 20 x 24 cm, com várias perfurações laterais de 9-10 mm para permitir também a entrada da macrofauna do solo; cada saco continha aproximadamente vinte folhas de *Clitoria racemosa* Benth. (Leguminosae) com peso seco e conteúdo químico conhecidos. Estes sacos foram colocados na camada de liteira da floresta, afastando-se as folhas mais recentes desta camada, e retirados, dez por área, após 15, 30, 60, 90, 120 e 150 dias de permanência. Foram efetuadas duas repetições, uma na estação seca e a outra na chuvosa. O material em decomposição retirado do campo foi

observado quanto às atividades biológicas principais que sofrera e, após isso, seco, pesado, moído e analisado quimicamente para se determinar o teor atual de constituintes minerais presentes. Determinaram-se, então, a perda de peso das folhas e o conteúdo total dos constituintes minerais de cada amostra do material em decomposição. Conhecendo-se o conteúdo inicial da amostra, pôde-se determinar o percentual de desaparecimento (ou, em alguns casos, de incremento) de cada constituinte analisado. Foram analisados treze componentes: N, P, K, Ca, Mg, S (macroelementos, resultados em percentagem), Fe, Cu, Mn, Zn, B, Na e Al (microelementos, resultados em partes por milhão - ppm), nos laboratórios do CENA - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, em Piracicaba-SP.

A velocidade de perda de peso das folhas foi muito maior e mais rápida na estação chuvosa, para todas as áreas estudadas (Fig. 2). Observa-se também que, na estação chuvosa, a maior perda de peso foi registrada na capoeira jovem (área C), enquanto que na estação seca isto havia ocorrido na floresta de platô (área A); na floresta original de baixio (área B), a perda de peso foi a menor, tanto na estação chuvosa como na seca.

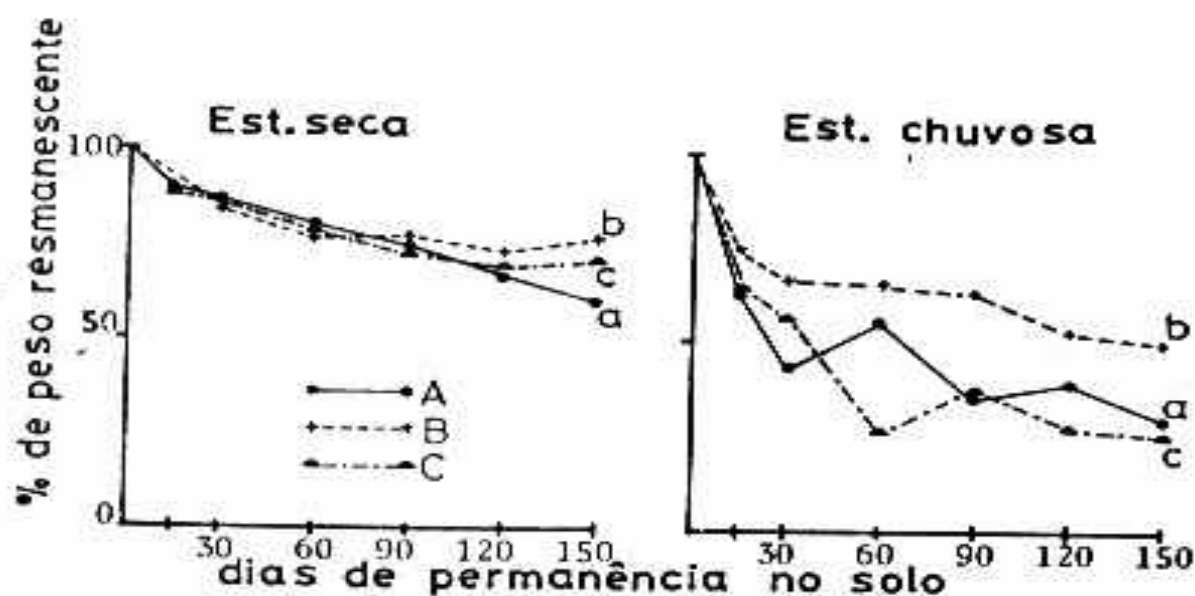


Figura 2 - Peso seco de material remanescente após cada etapa do experimento de decomposição, em relação ao peso seco inicial.

Através do ajustamento de um modelo exponencial composto (LUIZÃO & SCHUBART, em preparação), puderam ser calculados os tempos de "vida média" das folhas nas condições de estação seca e o "tempo em que a quantidade inicial de material é reduzida à metade" nas condições da estação chuvosa, que são, respectivamente, os seguintes (Tab. 3).

Tabela 3 - Tempo de "vida" da liteira nas diferentes estações.

Áreas	Estação Seca	Estação Chuvosa
A (platô)	216 dias (0,59 anos)	37 dias (0,1 anos)
B (baixio)	853 dias (2,34 anos)	155 dias (0,42 anos)
C (capoeira)	440 dias (1,21 anos)	31 dias (0,08 anos)

A grande diferença observada entre as estações seca e chuvosa, com uma grande aceleração do processo de decomposição no período chuvoso, não parece, entretanto, dependente diretamente do total da precipitação pluviométrica: há uma correlação estatística muito baixa entre a percentagem de perda de peso em um determinado mês e o total de chuvas naquele mês. Então, o efeito é principalmente indireto: a estação chuvosa proporciona condições de umidade muito favoráveis a uma intensa atividade de organismos decompositores, tanto de micro-decompositores como, principalmente, dos macro-artrópodos que removem a liteira e que parecem ser mais afetados pelas condições adversas de umidade durante a estação seca ou parte dela (WALLWORK, 1970; FOURNIER & FOURNIER, 1977; AYRES & GUERRA, 1981). Além disso, estimula o crescimento de raízes finas superficiais, que penetram no material em decomposição (REIS, 1985).

A maior penetração de raízes finas e, principalmente,

a intensa atividade de remoção da matéria orgânica por macro-artrópodos, parecem ser os fatores determinantes da enorme diferença da perda de peso da liteira na época chuvosa em relação à seca: tanto as observações diretas da atividade biológica sobre as amostras como o ajustamento bastante satisfatório do modelo exponencial composto aos dados experimentais, indicam um papel muito importante dos macro-artrópodos, e especialmente dos cupins do gênero *Syntermes*, na dinâmica da matéria orgânica do solo, removendo quantidades consideráveis da liteira da superfície para horizontes inferiores do solo, sobretudo na época chuvosa. Nesta época, nas áreas de latossolo, calculamos um incremento na perda de peso da liteira, devido somente à ação dos cupins, da ordem de 40%, ou mais, cálculos estes também confirmados pelos índices obtidos nas curvas de ajustamento do modelo exponencial composto (LUIZÃO & SCHUBART, em preparação). Na região, os cupins são considerados como um dos maiores grupos da fauna de solo - o outro é o das formigas - e como os decompositores mais importantes (FITTKAU & KLINGE, 1973), estando, então, a perda de peso do material diretamente relacionada com a atividade dos cupins, que podem, inclusive fazer a degradação de substâncias de difícil degradação, como a lignina (BUTLER & BUCKERFIELD, 1979). Como os cupins grandes, do gênero *Syntermes*, são abundantes na região da Amazônia brasileira, caracterizando-se por cortar e carregar discos bem arredondados das folhas da liteira para o interior do solo, onde têm as suas galerias, provavelmente sejam os principais responsáveis pelo intenso transporte e concentração de matéria orgânica observados no perfil de solos da Amazônia Central (A. CHAUVEL, comunicação pessoal).

As raízes finas que penetram nos sacos de malha, entrelaçando-se com as folhas em decomposição, participam eficazmente na decomposição do material. Por mecanismos de exudação, absorção direta ou transferência através de micorrizas, as raízes retiram da liteira em decomposição vários nutrientes essenciais às plantas (WENT & STARK, 1968a,b; HER-

RERA et al, 1978). Em recente pesquisa realizada na Venezuela, foi constatado que a penetração de raízes do material pode acelerar em até 50% a velocidade de decomposição da littera contida em sacos de malha (E. MEDINA, comunicação pessoal). Em nosso estudo, a penetração de raízes no material em decomposição foi muito maior na estação chuvosa e mais acentuada nas áreas de solo argiloso, principalmente na floresta primária, onde as raízes superficiais ao solo são muito abundantes. De fato, nesta área, foi determinado que na superfície e nos primeiros 10 cm de solo encontram-se 84,8% das raízes com diâmetro menor que 2 mm e 65,9% das raízes com diâmetro entre 2 e 10 mm (CHAUVEL, GUILLAUMET & SCHUBART, não publicado) e que na estação chuvosa, tanto o crescimento como a produtividade de raízes sobre o solo são sensivelmente maiores (REIS, 1985).

Nas etapas finais do experimento de decomposição, o volume de raízes era às vezes superior ao das folhas remanescentes, embora o seu peso seco fosse geralmente bem menor.

Quanto às demais atividades biológicas observadas em relação às folhas em decomposição, as minhocas foram relativamente raras nas áreas estudadas, indicando uma participação pouco efetiva no processo de decomposição deste material; os enquitreídeos também apareceram com pouca frequência sobre o material e sua participação na decomposição das folhas foi bastante limitada. Já os micro-artrópodos e os microorganismos certamente tiveram uma maior participação no processo: na estação seca, quando a atividade de macro-artrópodos e a penetração de raízes no material foi muito pequena, boa parte da perda de peso das folhas em decomposição, embora num processo lento, deve ser creditada a eles. Na estação chuvosa, embora sua atividade tenha se intensificado, foram amplamente sobrepujados pela dos macro-artrópodos.

A lixiviação, principalmente pela água das chuvas, é outro fator determinante da velocidade da decomposição da

liteira; sua atuação é mais sentida no início do processo e, obviamente, na estação chuvosa (Fig. 2), embora não se apresente aqui como a grande responsável pela remoção da maioria dos constituintes minerais da liteira, como veremos a seguir.

DINÂMICA DOS NUTRIENTES MINERAIS DA LITEIRA

A partir das análises químicas inorgânicas das folhas utilizadas no experimento de decomposição, antes do início do experimento e após cada período de permanência sobre o solo, puderam ser acompanhados os conteúdos médios remanescentes de cada constituinte mineral analisado ao longo dos cinco meses de duração do experimento; também procurou-se verificar os principais mecanismos que influenciaram a remoção dos constituintes minerais das folhas. São, a seguir, mostrados dados referentes a vários destes constituintes na floresta de platô.

Alguns constituintes minerais, como o potássio (Fig. 3), o boro e, na estação chuvosa, o cobre e o sódio, mostraram-se muito sujeitos à lixiviação, desaparecendo, ou baixando a níveis mínimos no material, em muito pouco tempo, principalmente na estação chuvosa; destes, o potássio e o boro são os mais típicos exemplos de lixiviação mineral da liteira sobre o solo (BURGES & RAW, 1971; GOSZ et al, 1976), apesar de indicações aqui de alguma absorção biológica (raízes que penetram no material).

Outros constituintes, como o fósforo (Fig. 3) e o magnésio (Fig. 4), apresentam um comportamento que demonstra uma parte de sua remoção ocorrendo por lixiviação e o restante, bem significativo, por ação biológica (absorção por raízes associadas a micorrizas, atividade de microorganismos e artrópodos). Estes elementos desaparecem do material em decomposição sensivelmente mais rápido que a perda de peso do mesmo, fato já conhecido de outros trabalhos (KOELLING

& KUCERA, 1965; BURGES & RAW, 1971). Na estação chuvosa, a perda destes elementos foi muito rápida no início e, depois, lenta e gradativa, até chegar a níveis muito baixos no material.

O nitrogênio (Fig. 3) e o enxofre apresentaram oscilações sensíveis no seu conteúdo, principalmente na estação seca, inclusive apresentando um aumento acentuado nas etapas finais do experimento, neste período. Este aumento, já verificado em vários outros trabalhos, é geralmente decorrente da concentração dos compostos orgânicos produzidos, liberados e/ou excretados pelos micro-decompositores que atuam sobre o material (EPSTEIN, 1975; GOSZ et al, 1976). Na estação chuvosa, há uma perda acentuada de nitrogênio e enxofre, em especial nas primeiras etapas de decomposição, praticamente acompanhando a curva de perda da matéria orgânica total (Fig. 2). Isto significa que há uma ação conjunta da lixiviação e dos decompositores atuando intensamente sobre o material e removendo os nutrientes, durante o período chuvoso.

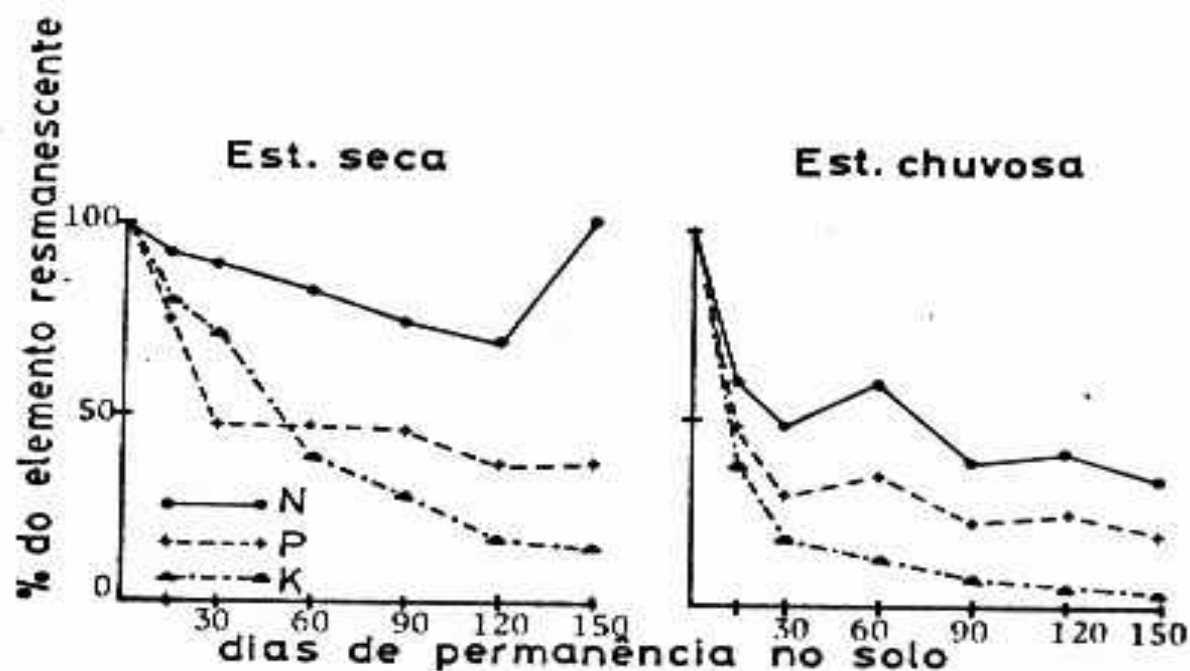


Figura 3 - Conteúdo de nitrogênio, fósforo e potássio remanescente nas folhas em decomposição, na floresta de platô.

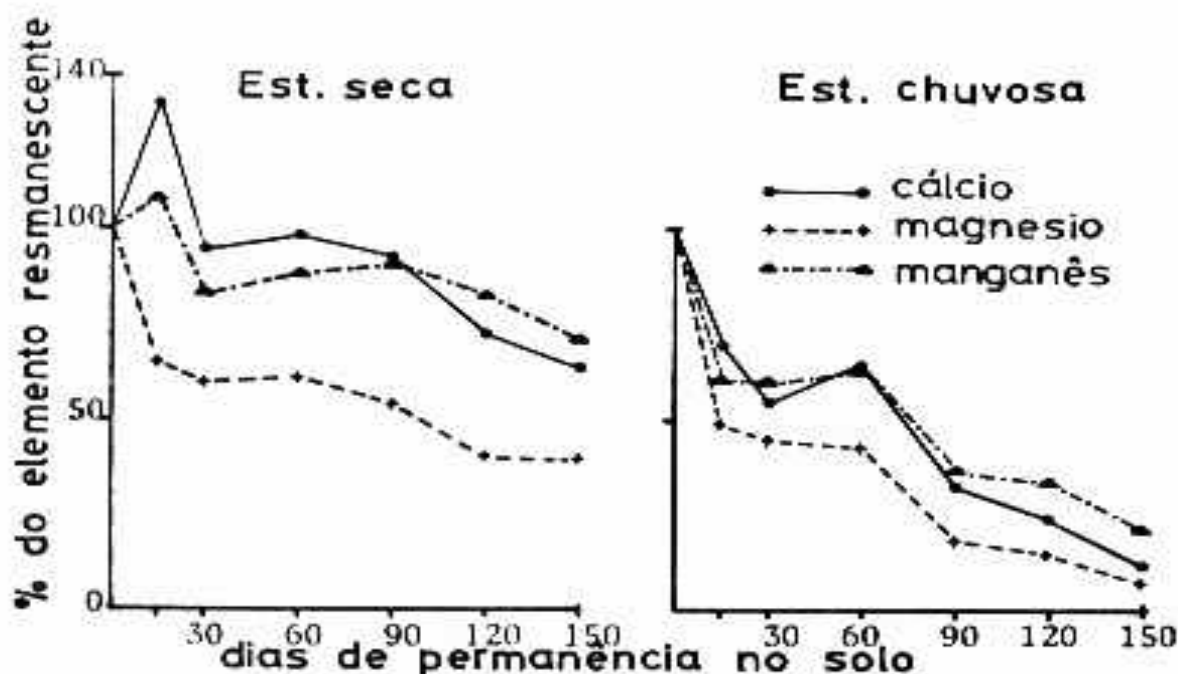


Figura 4 - Conteúdo de cálcio, magnésio e manganês remanescente nas folhas em decomposição, na floresta de platô.

O cálcio e o manganês (Fig. 4), apresentaram, durante a estação seca, uma ligeira elevação inicial no seu conteúdo, seguida de uma perda irregular, pequena e lenta, a partir dos 30 dias; na estação chuvosa ocorreram perdas bem acentuadas, inclusive maiores que a perda de peso do material em decomposição, no final do experimento. A elevação inicial do conteúdo de cálcio e manganês no material em decomposição, durante a estação seca, pode ser normalmente explicada pelo fato destes serem elementos de estrutura da folha, pouco ou nada afetados pela lixiviação inicial e pelo ataque dos micro-decompositores, que, neste período do ano, predominam; assim, há um aumento relativo dos elementos de estrutura no material em decomposição. Já na estação chuvosa, face à grande atividade dos macro-decompositores, e especialmente dos cupins do gênero *Syntermes*, que removem in-

distintamente lâmina e nervuras das folhas, nos discos que cortam, esta acumulação não ocorre: o cálcio e o manganês são removidos simultaneamente ao desaparecimento da matéria orgânica total, inclusive aparentando sofrer uma certa lixiviação nas etapas finais do experimento, quando as folhas já se encontram em adiantado estado de decomposição. Além disso, há indicação de que as raízes que penetram no material em decomposição tenham absorvido pequenas quantidades destes elementos, principalmente no período chuvoso do ano.

Zinco, ferro e alumínio (Fig. 5), foram os constituintes que apresentaram maiores acumulações no material em decomposição, especialmente durante a estação seca. No caso destes elevadíssimos aumentos no conteúdo total, principalmente de ferro e alumínio, não só contribui o fato destes três elementos acumularem-se nas partes de decomposição mais difícil das folhas, por também serem elementos de estrutura da folha, como a própria atividade dos decompositores sobre o material, além da lavagem da fitomassa aérea pela água das chuvas e das raízes que penetram nas folhas em decomposição. As raízes de plantas superiores podem, por exemplo, estar acumulando alumínio, para evitar a toxidez (EPSTEIN, 1975) e, então, depositá-lo sobre as folhas; também o zinco e o ferro podem estar sendo transportados do solo e das plantas para o material em decomposição, pelas raízes. A água das chuvas, após a lavagem da fitomassa aérea, chega, em parte, à camada de liteira: ao evaporar, mais rapidamente na estação seca, deixa sobre o material em decomposição certa quantidade de zinco, ferro, alumínio e outros elementos. No entanto, a maior contribuição para a grande elevação do conteúdo destes constituintes minerais é certamente dada pelos organismos decompositores, especialmente pelos macro-artrópodos que, ao atacar ou visitar o material em decomposição, levam para cima do mesmo uma considerável quantidade de resíduos do solo, muito rico nestes elementos, principalmente em ferro e alumínio (CHAUVEL, 1981). Na estação seca, a menor atividade dos artrópodos seria compensada por uma maior con

centração destes constituintes na superfície dos solos da região, devido à pouca lixiviação neste período (CAMARGO et al, 1980). Assim, a acumulação destes resíduos do solo sobre as folhas em decomposição podem provocar um grande aumento no conteúdo de zinco, ferro e alumínio, que aparecem com um teor de dez a vinte vezes maior nos resíduos isolados do que nas folhas em decomposição (LUIZÃO & SCHUBART, em preparação).

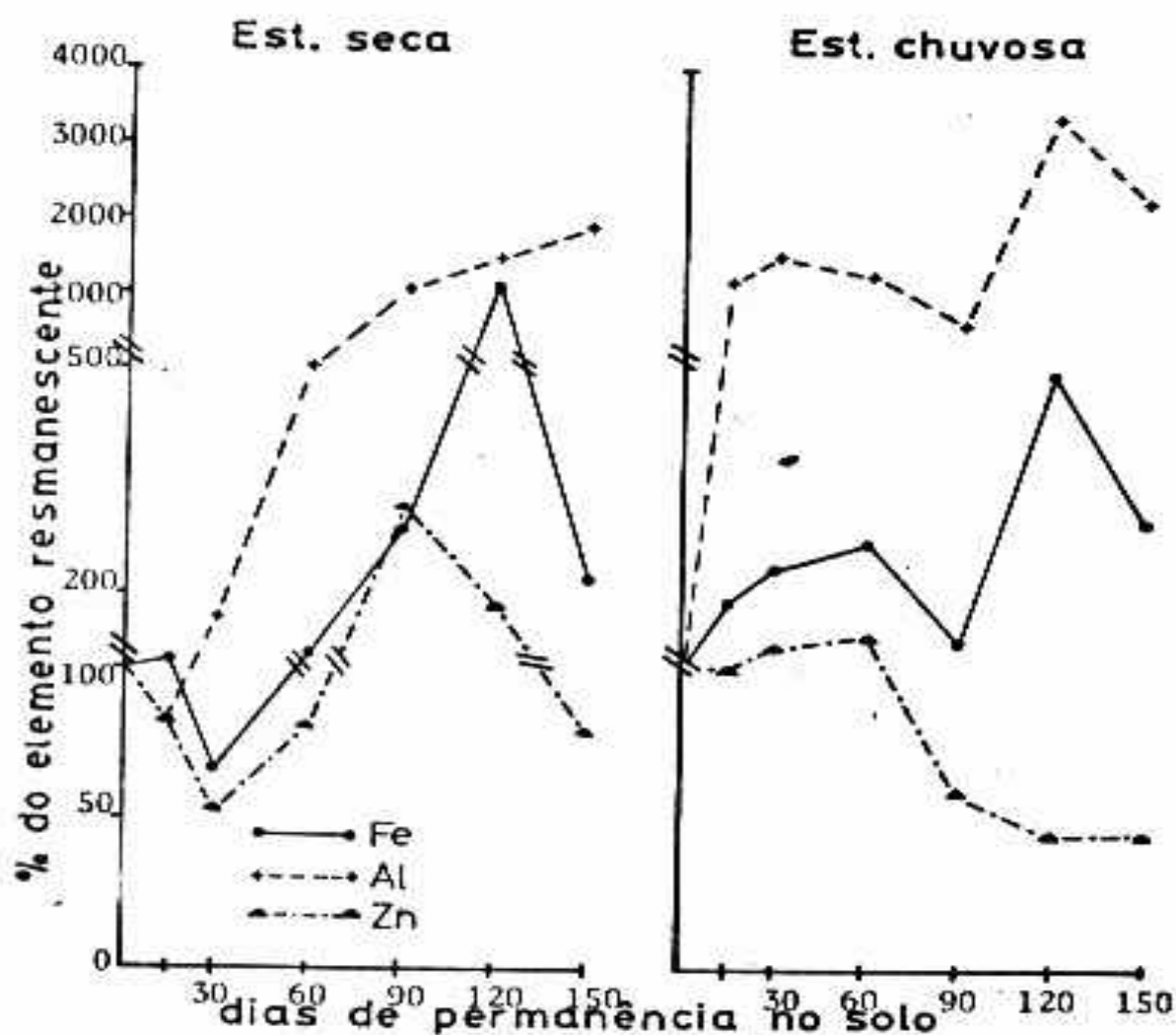


Figura 5 - Conteúdo de ferro, alumínio e zinco remanescente nas folhas em decomposição, na floresta de plátô.

O transporte dos resíduos do solo, ricos em ferro, alumínio e zinco, juntamente com o aumento relativo dos elementos de estrutura da folha, como cálcio, manganês e zinco, e a deposição dos produtos de metabolismo ou excreção dos microorganismos e da fauna de solo, produzindo consideráveis acumulações de nitrogênio e enxofre, provocaram aumentos do conteúdo na soma dos treze constituintes minerais analisados, principalmente na estação seca (Fig. 6).

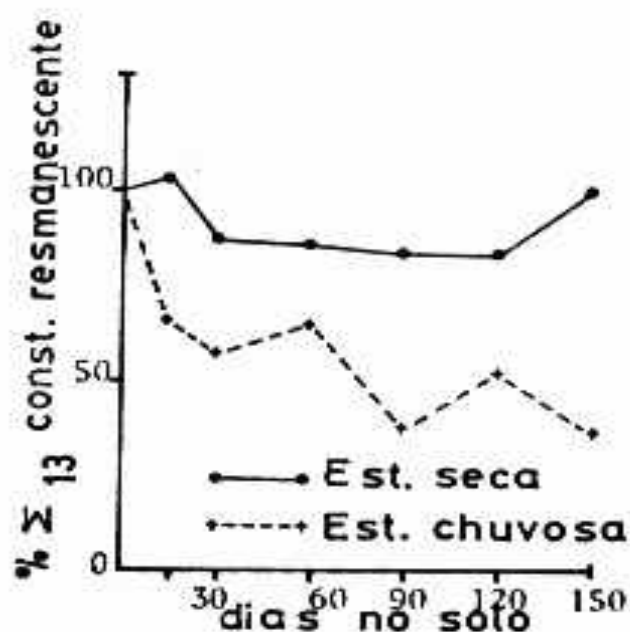


Figura 6 - Somatório dos conteúdos dos treze constituintes minerais analisados no material remanescente, na floresta de platô.

Estes aumentos chegam mesmo a produzir, durante a seca, somas, no material remanescente, iguais ou maiores que a inicial, mostrando claramente que está havendo um acúmulo real de alguns elementos minerais do meio circundante sobre o material em decomposição na camada de liteira.

De modo geral, tomando-se em conta a soma total dos

constituintes minerais presentes no início de cada experimento e após as várias etapas estudadas, observou-se uma notável diferença entre as estações seca e chuvosa. Na estação seca, após um pequeno decréscimo inicial, decorrente da lixiviação dos elementos mais solúveis e da decomposição dos compostos de carbono, há um visível aumento no conteúdo total dos constituintes minerais, no material em decomposição. Na estação chuvosa, há uma sensível diminuição no conteúdo total dos constituintes minerais, praticamente acompanhando a perda de peso das folhas em decomposição, ou seja, acompanhando o desaparecimento da matéria orgânica; inicialmente a perda é muito rápida, tornando-se depois lenta e gradativa, embora as perdas totais mostrem-se sempre um pouco menores que a perda de peso do material, indicação de que, mesmo na estação chuvosa há um acúmulo ainda considerável de alguns constituintes minerais sobre as folhas em decomposição, como é o caso do ferro e do alumínio.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sendo a produção de liteira maior no período mais seco do ano, quando o processo de decomposição é relativamente lento, há, neste período um espessamento na camada de liteira; no período chuvoso ocorre o inverso. É então, na estação chuvosa do ano que o processo de decomposição tem maior significado quanto ao desaparecimento da matéria orgânica e à liberação ou remoção dos nutrientes da camada de liteira.

Na estação seca, após a lixiviação inicial dos materiais solúveis das folhas, tanto orgânicos como inorgânicos (WITKAMP, 1971), e a decomposição por microrganismos no início do processo, houve muito pouca atividade de macro-artrópodos e uma pequena penetração de raízes, sendo então a decomposição feita predominantemente pelos microrganismos, de forma muito lenta.

Na estação chuvosa, além da lixiviação inicial ser bem mais intensa, o que também deve ocorrer com relação ao ataque inicial dos microorganismos, há uma rápida e eficiente ação dos macro-artrópodos, principalmente dos cupins, removendo grande parte do material em decomposição; há também a penetração de um grande volume de raízes finas no material em decomposição. As raízes e, principalmente, os macro-artrópodos removem consideráveis quantidades de nutrientes da liteira; por outro lado, podem também depositar sobre o material em decomposição alguns constituintes minerais provenientes do solo ou das plantas, como nitrogênio, enxofre, zinco e, principalmente, ferro e alumínio.

Assim, a lixiviação aparece como a maior responsável pela perda de apenas alguns elementos mais solúveis como o potássio e o boro, ao passo que a atividade biológica, com destaque para os macro-artrópodos, seria a principal responsável pela remoção da maioria dos demais constituintes minerais das folhas. Portanto, o ciclo de minerais na floresta de terra firme é bastante complexa e dependente, em alto grau, da atividade biológica para a decomposição da matéria orgânica e a liberação dos nutrientes nela contidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AYRES, I. & GUERRA, R.A.T. Água como fator limitante na distribuição das minhocas (Annelida, Oligochaeta) da Amazônia Central. Acta Amaz., 11(1): 77-86, 1981.
- BOCOCK, K.L. & GILBERT, O.J.W. Changes in the amount of nitrogen in decomposing leaf litter under different woodland conditions. Plant and Soil, 9: 179-85, 1957.
- BURGES, A. & RAW, F. Biologia del Suelo. Barcelona, Omega, 1971. 596p.

- BUTLER, J.H.A. & BUCKERFIELD, J.C. Digestion of lignin by termites. Soil Biol. Biochem., 11: 507-13, 1979.
- CAMARGO, M.N. & FALESI, I.C. Soils of the central plateau and Transamazonic Highway of Brazil. In: BORNEMIZA, E. & ALVARADO, A., ed. Soil management in tropical America, s.l., North Carolina State Univ., 1975. p. 25-45.
- CAMARGO, W.V.A.; FERNANDES, N.S.; SANTIAGO, A.M.H. Estudos de elementos minerais de interesse pecuário em regiões da Amazônia Legal. Arg. Inst. Biol. São Paulo, 47(4): 83-111, 1980.
- CHAUVEL, A. Contribuição para o estudo da evolução dos latossolos amarelos, distróficos, argilosos, na borda do platô na região de Manaus: mecanismos de gibbsitização. Acta Amaz., 11(2): 227-45, 1981.
- EPSTEIN, E. Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas. São Paulo, EDUSP, 1975. 344p.
- EWEL, J.J. Litter fall and leaf decomposition in a tropical forest succession in eastern Guatemala. J. Ecol., 64: 293-308, 1976.
- FITTKAU, E.J. & KLINGE, H. On biomass and trophic structure of the Central Amazonian rain forest. Biotropica 5(1): 2-14, 1973.
- FOURNIER, M.E.H. & FOURNIER, L.A. Producción, descomposición y invertebrados del mantillo en varias etapas de la sucesión en Ciudad Cónon, Costa Rica. Rev. Biol. Trop., 25(2): 275-88, 1977.
- FRANKEN, M.; IRMLER, U.; KLINGE, H. Litterfall in inundation, riverine and terra firme forest of Central Amazonia. Trop. Ecol., 20(2): 225-35, 1979.

- GOLLEY, F.B.; MCGINNIS, J.T.; CLEMENTS, R.G.; CHILD, G.I.; DUEVER, M.J. Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta tropical úmida. São Paulo, EPU/EDUSP, 1978. 256p.
- GOSZ, J.R.; LIKENS, G.E.; BORMANN, F.H. Organic matter and nutrient dynamics of the forest and forest floor in the Hubbard Brook forest. Oecologia, Berlin, 22: 305-20, 1976.
- HERRERA, R.; JORDAN, C.F.; KLINGE, H.; MEDINA, E. Amazon ecosystems: their structure and functioning with particular emphasis on nutrients. Interciencia, 3: 223-32, 1978.
- HOWARD-WILLIAMS, C. Nutritional quality and calorific value of Amazonian forest litter. Amazoniana, 5: 67-75, 1974.
- JORDAN, C.F. Stem flow and nutrient transfer in a tropical rain forest. Oikos, 31: 257-63, 1978.
- JORDAN, C.F.; GOLLEY, F.B.; HALL, J.; HALL, J. Nutrient scavenging of rainfall by the canopy of an Amazonian rain forest. Biotropica, 12: 61-6, 1980.
- JORDAN, C.F. & HERRERA, R. Les forêts ombrophiles tropicales: les éléments nutritifs, sont-ils réellement un facteur critique? Nat. et Ressour., 17(2): 8-15, 1981.
- KIRA, T. Community architecture and organic matter dynamics in tropical lowland rain forests of Southeast Asia with special reference to Pasoh Forest, West Malaysia. In: TOMLINSON, P.B. & ZIMMERMANN, M.H., ed. Tropical trees as living systems. Cambridge. Cambridge University Press, 1978. p. 561-90.
- KLINGE, H. Bilanzierung von Hauptnährstoffen im Ökosystem

- tropischer Regenwald (Manaus) - Vorläufige Daten. Bio-geographica, 7: 59-77, 1976.
- KLINGE, H. Fine litter production and nutrient return to the soil in three natural forest stands in eastern Amazonia. Geol. Ecol. Trop., 1: 159-67, 1977.
- KLINGE, H. Preliminary data on nutrient release from decomposing leaf litter in a neotropical rain forest. Amazoniana, 6(2): 196-202, 1977.
- KLINGE, H. & RODRIGUES, W.A. Litter production in an area of Amazonian terra firme forest. Parts I, II. Amazoniana, 1(4): 287-310, 1968.
- KOELLING, M.R. & KUCERA, C.L. Dry matter losses and mineral leaching in bluestem standing crop and litter. Ecology, 46(4): 529-32, 1965.
- LUIZÃO, F.J. Produção e decomposição da liteira em floresta de terra firme da Amazônia Central. Aspectos químicos e biológicos da lixiviação e remoção de nutrientes da liteira. Manaus, INPA/FUA, 1982. 107p. Tese Mestrado
- MARINO, M.C.; FURTADO, J.S.; DE VUONO, Y.S. Glossário de termos usuais em Ecologia. São Paulo. Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 1980. p. 97-138. (Publicação, 24)
- MEDWECKA-KORNAS, A. Litter production. In: PHILLIPSON, J. ed. Methods of study in soil ecology. Gêneve, UNESCO/IBP, 1970. p. 139-43.
- PIRES, J.M. A diversificação florística da mata amazônica. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 25, Mossorô, RN, 1974. Anais... Mossorô, RN, 1974. p. 241-43.

- REIS, M.J.O. Estudo preliminar sobre o crescimento de raízes superficiais em uma floresta de terra firme da Amazônia Central, relacionando com a precipitação e a queda de liteira. Manaus, INPA/FUA, 1985. 71p. Tese Mestrado.
- RODIN, L.E. & BASILEVICH, N.I. Production and mineral cycling in terrestrial vegetation. London, Oliver and Boyd, 1967. 288p.
- SANCHEZ, P.A. Properties and management of soils in the tropics. New York, John Wiley, 1976. 618p.
- SILVA, M.F.F. Produção anual de serrapilheira e seu conteúdo mineralógico em mata tropical de terra firme na área do rio Tocantins - Pará. Manaus, INPA/FUA, 1982. 78p. Tese Mestrado
- SILVA, M.F.F. & LOBO, A.M.G. Nota sobre a deposição de matéria orgânica em floresta de terra firme, várzea e igapó. B. Mus. Paran. Emilio Goeldi Bot., 56(28): 1-13, 1982.
- SINGH, K.P. Litter production and nutrient turnover in deciduous forest of Varanasi. Proc. Symp. Recent. Adv. Trop. Ecol. 655-65, 1968.
- STARK, N. & JORDAN, C.F. Nutrient retention in the root mat of an Amazonian rain forest. Ecology, 59(3): 434-7, 1978.
- UHL, C. & JORDAN, C.F. Succession and nutrient dynamics following forest cutting and burning in Amazonia. Ecology, 65(5): 1476-90, 1984.
- VIEIRA, L.S. Manual de Ciência do Solo. São Paulo, Ceres, 1975. p. 103-5.

WALLWORK, J.A. Ecology of soil animals. New York, McGraw-Hill, 1970. 283p.

WENT, F.W. & STARK, N. Mycorrhiza. Bioscience, 18: 1035-9, 1968.

_____. The biological and mechanical role of soil fungi. Proc. Nat. Acad. Sci., 60: 497-504, 1968.

WITKAMP, M. Soils as components of ecosystems. An. R. Ecol. Syst., 2: 85-110, 1971.

ENDEREÇO DOS AUTORES

LUIZÃO, F.J. e SCHUBART, H.O.R.
Departamento de Ecologia
Instituto Nacional de Pesquisas do Amazonas
Caixa Postal, 478
69000 Manaus - AM