

Contribuição da serrapilheira para recuperação de áreas degradadas e para manutenção da sustentabilidade de sistemas agroecológicos

*Alúcio Granato de Andrade¹
Sílvia Roberto de Lucena Tavares²
Heitor Luiz da Costa Coutinho³*

Resumo - A camada de serrapilheira responde pela maior parte dos nutrientes ciclados em ecossistemas florestais e agroflorestais tropicais. Esta camada orgânica é regulada pela quantidade de material que cai da parte aérea das plantas e pela taxa de decomposição. Parte dos elementos disponibilizados após a decomposição pode ser reabsorvida pelos organismos do solo e pelas plantas. Outra parte é perdida do sistema solo-planta e transferida para outros compartimentos (água e ar). A serrapilheira contribui para a recuperação e a conservação de áreas degradadas e para a manutenção da sustentabilidade de sistemas agroecológicos.

Palavras-chave: Deposição; Decomposição; Ciclagem de nutrientes; Sistemas florestais; Sistemas agroflorestais; Erosão.

INTRODUÇÃO

O aumento da produção de alimentos, fibras e energia em harmonia com a manutenção da fertilidade do solo e da biodiversidade é um dos maiores desafios para a ciência neste novo século. Nas áreas tropicais, a erosão acelerada, decorrente do mau uso dos solos, diminui o potencial produtivo das terras agricultáveis, provoca deslizamentos e o assoreamento de canais, rios e reservatórios, causando graves prejuízos, inclusive com perda de vidas. Para compensar a queda de produtividade dessas áreas, verificam-se, cada vez mais, uma maior aplicação de insumos e uma expansão da fronteira agrícola, ameaçando a sustentabilidade de ecossistemas naturais e cultivados.

Estima-se que, em todo o mundo, cer-

ca de 1,1 milhão de hectares de florestas tropicais, secundárias e energéticas sejam destruídas anualmente ou seriamente degradadas pela expansão agropecuária que, juntamente com as atividades de mineração e construção de barragens, estradas e ferrovias, é a principal responsável pela geração de áreas degradadas. Somente na faixa tropical, existem quase 2 bilhões de hectares em múltiplos estádios de degradação, em contraste com os 650 milhões de hectares de áreas cultivadas (JESUS, 1994).

Quantidades significativas de nutrientes podem retornar ao solo através da queda de componentes senescentes da parte aérea das plantas e sua posterior decomposição. Estes fragmentos orgânicos, ao caírem sobre o solo, formam uma camada denominada serrapilheira.

A formação e a decomposição da camada de serrapilheira sobre solos degradados são essenciais para reativação da ciclagem de nutrientes entre a planta e o solo, possibilitando a formação de um novo horizonte pedológico, com condições mais adequadas para o restabelecimento da vegetação.

Em sistemas produtivos, a serrapilheira também exerce função importante, protege o solo dos agentes erosivos, fornece matéria orgânica e nutrientes para os organismos do solo e para as plantas, acarretando a manutenção e/ou melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, e, conseqüentemente, na produção vegetal.

A degradação da serrapilheira é um dos principais mecanismos responsáveis pela

¹Eng^o Agr^o, D.Sc., Pesq. Embrapa Solos, R. Jardim Botânico, 1024, CEP 22041-070 Rio de Janeiro-RJ. Correio eletrônico: aluisio@cnps.embrapa.br

²Eng^o Agr^o, M.Sc., Pesq. Embrapa Solos, R. Jardim Botânico, 1024, CEP 22041-070 Rio de Janeiro-RJ. Correio eletrônico: stavares@cnps.embrapa.br

³Eng^o Agr^o, Ph.D., Pesq. Embrapa Solos, R. Jardim Botânico, 1024, CEP 22041-070 Rio de Janeiro-RJ. Correio eletrônico: heitor@cnps.embrapa.br

ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais e agroflorestais. Neste artigo, são apresentados alguns conceitos do processo de formação e decomposição da serrapilheira e sua contribuição para estabilização dos processos erosivos, recuperação da vegetação original e manutenção da sustentabilidade de agroecossistemas e de florestas naturais.

FORMAÇÃO DA CAMADA DE SERRAPILHEIRA

A formação da camada de serrapilheira, típica dos solos florestais, depende basicamente da quantidade de resíduos orgânicos despejada da parte aérea das plantas e da taxa de decomposição desses resíduos. Nesse sentido, é importante conhecer qual a quantidade produzida de material formador da serrapilheira (MFS), o seu teor em nutrientes e compostos orgânicos, e a sua velocidade de decomposição em sistemas agroflorestais e em povoamentos florestais, nativos e implantados, sob as variadas condições pedoambientais existentes.

A queda de folhas e outros componentes da parte aérea que irão formar a serrapilheira constitui-se num importante mecanismo de transferência de nutrientes da fitomassa vegetal para o solo. Este processo é causado pela senescência de partes da planta, devido a mudanças metabólicas associadas à fisiologia de cada espécie, e também por estímulos provenientes do ambiente, como o fotoperíodo, temperatura, estresse hídrico etc.

Vários fatores afetam a quantidade de resíduos que caem da parte aérea das plantas, dentre eles destacam-se: o clima, o solo, as características genéticas das plantas, a idade do povoamento florestal e a densidade das plantas (GONZALEZ; GALLARDO, 1982).

Das variáveis climáticas, a precipitação e a temperatura são as que exercem maior influência. Regiões que apresentam alto índice pluviométrico, em geral, produzem maior quantidade de materiais orgânicos que irão formar a serrapilheira do que locais com

baixo índice pluviométrico (GONZALEZ; GALLARDO, 1982). Além da precipitação total, a distribuição das chuvas ao longo do ano também influencia a taxa de deposição, sendo verificada com frequência uma maior taxa de deposição no período seco (SWAMY; PROCTOR, 1994).

A participação do solo neste processo reside na disponibilidade de água e nutrientes para a produção de fitomassa que, conseqüentemente, contribui para a deposição de resíduos orgânicos.

DEPOSIÇÃO DE MATERIAL FORMADOR DA SERRAPILHEIRA

Florestas em solos de baixa fertilidade geralmente retornam menor quantidade de MFS do que em solos férteis (Quadro 1), desenvolvendo mecanismos capazes de conservar nutrientes, como a absorção de nutrientes diretamente da serrapilheira através de interações entre fungos e raízes.

De acordo com o Quadro 1, verifica-se que as florestas tropicais apresentam grandes variações na produção de MFS, desde 3,6 até 12,4 mg ha⁻¹ ano⁻¹. Em média, sobre solos de baixa fertilidade, apresentaram cerca de 7,5 mg ha⁻¹ ano⁻¹ de matéria seca na forma de resíduos orgânicos formadores da serrapilheira, enquanto que, em solos de fertilidade média, essa produção foi de 10,5 mg ha⁻¹ ano⁻¹ e, nas áreas montanhosas, de 6,3 mg ha⁻¹ ano⁻¹.

A capacidade de produção de resíduos da parte aérea de cada espécie é outro fator importante, podendo variar principalmente em função das características genéticas da planta, de sua fase de desenvolvimento e das condições pedoambientais. Supõe-se que ocorram aumentos na produção desse material em função de aumentos da idade da floresta, até que atinja a maturidade ou o clímax (GONZALEZ; GALLARDO, 1982). Deposições crescentes de MFS, com o decorrer do tempo, foram observadas em povoamentos de *Paraserianthes falcataria* nas Filipinas, medidas por três anos consecutivos (BESANA; TOMENANG, 1991).

As práticas de manejo também afetam o fluxo de matéria orgânica e nutrientes através do MFS. Estudos da deposição de N e P, através da queda de acículas senescentes de *Pinus elliottii* var. *elliotti* e *Pinus taeda* com seis anos de idade na Flórida, mostraram que o tratamento que recebeu adubação anual e controle de invasoras aumentou em cerca de 6,3 vezes a deposição anual de N (de 2,5 para 15,8 kg ha⁻¹), para o *Pinus elliottii*, e em 13,3 vezes (de 1,5 para 19,9 kg ha⁻¹), para o *Pinus taeda*, em relação aos tratamentos testemunhas. Efeito similar foi observado para o P (TEA; JOKELA, 1994).

Avaliações em povoamentos homogêneos de *Mimosa caesalpiniiifolia*, *Acacia mangium* e *Acacia holosericea* com quatro anos de idade, em Seropédica (RJ), registraram uma deposição anual de MFS em torno de 9 a 10 mg ha, com 70% de folhas para a *Acacia mangium* e 64% para as outras leguminosas (ANDRADE et al., 2000).

Comparações da deposição de matéria seca e nutrientes, através da queda de folheto em povoamentos homogêneos de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, plantados próximo a Piracicaba e Agudos (SP), respectivamente, registraram uma maior deposição de matéria seca sob a cobertura de *Pinus*. Entretanto, a quantidade de nutrientes do folheto de *Pinus* foi superior a do *Eucalyptus* apenas para o N e o K, sendo similar para o P e inferior para o Ca e Mg (POGGIANI, 1985).

Estudos da deposição de nutrientes, através da queda de folheto em experimento de revegetação de área degradada pela mineração de xisto betuminoso, mostraram diferenças entre as espécies testadas, principalmente com relação ao nitrogênio, devido a uma das espécies ser fixadora de nitrogênio atmosférico. A leguminosa arbórea, mesmo sem receber nenhuma adubação, foi capaz de transferir, via deposição de folheto, em torno de 76% e 80% a mais de N, 71% e 29% a mais de P e 32% e 54% a mais de K, do que o *Pinus* e o *Eucalyptus*, respectivamente (POGGIANI et al., 1987). A introdução de nitrogênio no sistema, via

QUADRO 1 - Acúmulo de matéria seca e nutrientes no MFS de florestas tropicais

Local	MFS (mg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	N (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	P (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	K (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Ca (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Mg (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)
Solos de fertilidade média						
Gana	10,7	202	7,4	68	209	45
Zaire	12,4	224	7,0	48	105	53
Panamá	11,4	-	9,4	29	256	34
Panamá	11,1	195	15,0	47	212	26
Costa Rica	8,1	135	6,0	20	59	16
Guatemala	9,0	169	5,8	20	88	64
China	11,6	169	11,0	29	108	51
Sarawak	11,5	110	4,1	26	290	20
Austrália	9,0	134	12,0	64	226	29
Austrália	10,4	124	10,2	56	159	36
Solos de baixa fertilidade						
Colômbia (área plana)	12,0	141	4,2	17	90	20
Colômbia (área declivosa)	8,7	103	3,4	30	124	11
Brasil	9,9	156	4,1	17	33	27
Brasil	7,3	106	2,1	13	18	14
Brasil	7,9	114	2,2	18	42	14
Brasil	6,4	74	1,4	21	20	1
Áreas montanhosas						
Nova Guiné	7,6	90	5,0	28	95	19
Venezuela	7,0	69	4,0	33	43	14
Porto Rico	5,5	88	1,0	7	50	10
Filipinas	5,3	89	4,8	16	61	9
Sarawak	11,0	86	2,5	31	21	16
Sarawak	3,6	28	1,1	6	7	6
Jamaica	5,5	49	1,5	39	50	17
Jamaica	6,6	39	1,3	15	34	19
Hawai	5,2	37	2,1	12	84	10

FONTE: Vitousek e Sanford (1986).

NOTA: MFS - Material formador da serrapilheira.

fixação biológica, garante às leguminosas uma auto-suficiência neste elemento, facilitando o estabelecimento e o desenvolvimento dessas espécies em áreas degradadas.

A ocorrência de intempéries atípicas do clima da região de estudo, como estiagens prolongadas, tempestades, vendavais etc., pode modificar a deposição de MFS de um ano para outro, sendo importante considerar estes eventos para se obter valores mais precisos da quantidade desse material produzido anualmente. Além de fatores ambientais inesperados, que podem inter-

ferir na precisão dos resultados de queda de resíduos da parte aérea, a falta de uma metodologia padrão também acarreta diferenças nesses valores, dificultando a comparação de dados entre ecossistemas.

METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DA DEPOSIÇÃO DE MATERIAL FORMADOR DA SERRAPILHEIRA (MFS)

Alguns estudos consideram apenas as folhas para avaliação da deposição de MFS, enquanto outros incluem folhas, estruturas reprodutivas e galhos finos, e ainda existem

aqueles que, além de todos esses componentes, incluem galhos grossos, troncos e também restos e fezes de animais, o que prejudica a comparação desses estudos. Outra característica metodológica relevante é o número e o tamanho dos coletores de MFS. Devido à grande variação que pode existir entre a deposição de MFS de um ponto para outro, principalmente sob povoamentos heterogêneos, tem sido recomendada a utilização de no mínimo 20 coletores para cada unidade amostral. O que se observa é que muitos estudos utilizam um número menor, com coletores de

formas e dimensões variadas. O tempo entre coletas dos resíduos que irão formar a serrapilheira também influencia a qualidade dos resultados, podendo subestimar a matéria seca e o teor de nutrientes desse material, quando são adotados intervalos de coletas prolongados. Quanto maior for o intervalo, maior será o tempo de exposição do material ao ataque de organismos ou lavagem pela chuva (PROCTOR, 1983).

Diante das diferenças metodológicas apresentadas, é importante definir uma metodologia padrão para avaliar a deposição de MFS, possibilitando assim traçar comparações entre ecossistemas florestais. Em uma tentativa de padronizar esses estudos, Anderson e Ingran (1993) sugerem que sejam considerados como componentes da serrapilheira as seguintes frações: folhas, galhos com diâmetro menor que 2 cm, estruturas reprodutivas (flores e frutos) e refugo (fragmentos menores que 5 mm).

Além da mensuração da quantidade de matéria seca e nutrientes do MFS, é de interesse conhecer o percentual das estruturas da parte aérea que compõe este material, nas diferentes épocas do ano, e também a quantidade de matéria seca e elementos estocados na serrapilheira depositada sobre o solo, assim como a velocidade de decomposição.

DECOMPOSIÇÃO DA SERRAPILHEIRA

A decomposição da serrapilheira é uma das etapas mais importantes para a ciclagem dos nutrientes. Parte desses elementos é reabsorvida pelos organismos do solo e pelas plantas, e outra parte é perdida do sistema solo-planta, sendo transferida para outros compartimentos (água e ar).

A importância da serrapilheira para a ciclagem dos nutrientes, em sistemas agroflorestais e povoamentos florestais nativos ou implantados, já foi reconhecida desde o século passado, no qual se observou uma diminuição gradual da produtividade de florestas de coníferas, que tiveram sua serrapilheira freqüentemente removida para

uso como cama de animais, prática comum naquele século (PRITCHETT, 1979).

O acúmulo de serrapilheira na superfície do solo é regulado pela quantidade de material que cai da parte aérea das plantas e sua taxa de decomposição. Quanto maior a quantidade que cai desse material e quanto menor sua velocidade de decomposição, maior será a camada de serrapilheira. Para que se tenha uma mesma quantidade de serrapilheira sobre o solo ao longo do ano, é necessário que haja uma maior taxa de decomposição dessa camada quando houver uma maior taxa de deposição de material e vice-versa. Nesse contexto, é de grande importância entender os mecanismos que regulam esse processo dinâmico, em que a entrada de material, através da deposição, e a saída ou transformação, via decomposição, acontecem quase que simultaneamente.

A decomposição dessa camada possibilita que parte do carbono incorporado na fitomassa pela fotossíntese retorne à atmosfera como CO_2 , e os outros elementos absorvidos passem para uma forma novamente utilizável pelas plantas. Este mecanismo, segundo Lekha e Gupta (1989), é regulado principalmente por três grupos de variáveis:

- a) natureza da comunidade decompositora (os macro e microrganismos);
- b) características do material orgânico, que determinam sua degradabilidade (a qualidade do material);
- c) condições físico-químicas do meio ambiente, as quais são controladas pelo clima e pelas características do solo.

A degradação da serrapilheira é um processo contínuo, e pode ter início antes mesmo de o material atingir o solo. Algumas folhas verdes podem abrigar, ainda na própria árvore, microrganismos e insetos que já dão início ao processo de decomposição. As folhas também liberam continuamente, de acordo com a idade e o estado fitossanitário, carboidratos, ácidos orgânicos, aminoácidos e, sobretudo, potássio. Assim,

podem-se considerar as seguintes etapas no processo de decomposição: lavagem de compostos hidrossolúveis e colonização microbiana; ataque da mesofauna e de microrganismos, com fragmentação, transporte, mistura e biodegradação do material; e transformação húmica e mineral (GONZALEZ; GALLARDO, 1982). Em outras palavras, a decomposição da matéria orgânica pode ser dividida em três processos básicos que ocorrem simultaneamente: lixiviação (retirada de material solúvel pela ação da água da chuva); intemperismo (ruptura mecânica dos detritos); e ação biológica (fragmentação gradual e oxidação dos detritos pelos organismos vivos). Esses processos iniciam-se quando o tecido vegetal se forma e continuam durante toda a sua vida (HAAG, 1985).

O tempo de permanência dos nutrientes estocados na serrapilheira depende da velocidade de decomposição desse material, que varia de acordo com a latitude, altitude e o tipo de cobertura florestal.

Em geral, o K é o nutriente de mais rápida liberação da serrapilheira em todos os ecossistemas (GAMA-RODRIGUES, 1997).

Estudos em diferentes povoamentos florestais, sob as mesmas condições pedoambientais de Porto Rico, mostraram desde 5 até 27,2 mg ha⁻¹, com uma correlação negativa entre a acumulação de serrapilheira e os teores de elementos nesse material, indicando que as serrapilheiras com maior concentração de nutrientes apresentavam maior velocidade de decomposição. Esses estudos verificaram também que os teores de nutrientes aumentavam do material recém-depositado para a serrapilheira fragmentada, já em estágio avançado de decomposição, e a quantidade de nutrientes estocada na serrapilheira influenciava, na mesma ordem de magnitude, a quantidade de elementos disponível na camada de 0-10 cm de profundidade do solo. Sugeriu-se que, dependendo das características da camada de serrapilheira formada para cada espécie arbórea, haverá diferenças na concentração e na disponibilidade de nutrientes do solo (LUGO et al., 1990).

Dos componentes da serrapilheira, geralmente a maior proporção é de folhas que apresentam a maior taxa de decomposição. Porém, existe também uma fração de difícil decomposição, com muitas estruturas lignificadas, que representam em torno de 30% a 40% da serrapilheira (ANDERSON; SWIFT, 1983).

Sob as mesmas condições pedoambientais, a velocidade de decomposição da serrapilheira varia de acordo com a porcentagem de lignina, polifenóis, carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre, entre outros componentes. A relação entre algumas dessas substâncias tem sido usada para explicar as diferenças entre a velocidade de decomposição de materiais orgânicos.

De forma geral, os tecidos vegetais são compostos por uma ampla e complexa variedade de substâncias orgânicas, e podem ser divididos em seis grandes grupos de acordo com Waksman (1952):

- a) celulose: 15% a 60%;
- b) hemicelulose: 10% a 30%;
- c) lignina: 5% a 30%;
- d) fração solúvel em água: 5% a 30% (açúcares simples, aminoácidos e ácidos alifáticos);
- e) fração solúvel em éter ou em álcool: 1% a 15% (gorduras, óleos, ceras, resinas e alguns pigmentos);
- f) proteínas: 1% a 10%.

De acordo com a espécie vegetal e a idade da planta, esses teores variam. Plantas jovens são ricas em proteínas, enquanto, à medida que elas envelhecem, as frações celulose, hemicelulose e lignina aumentam (WAKSMAN, 1952).

INDICADORES DE DECOMPOSIÇÃO DA SERRAPILHEIRA

Os três principais índices que têm sido utilizados para medir a decomposição da camada de serrapilheira são: a respiração do solo; o valor *k*, relacionado com a quantidade de material que cai do dossel (MFS) e a que está depositada sobre o solo (serrapilheira); e as avaliações diretas, através de

medidas da perda de massa em sacos para o estudo da decomposição (ANDERSON; SWIFT, 1983).

O valor *k* tem sido amplamente utilizado para avaliar a taxa de decaimento da serrapilheira ou o tempo de renovação dessa camada. Algumas críticas a esse tipo de estudo têm sido atribuídas ao seu uso indiscriminado em ecossistemas que ainda não atingiram um equilíbrio entre o material que cai e o material que é decomposto. Em ecossistemas florestais tropicais, os valores de *k* geralmente são maiores que 1, sugerindo que o tempo de renovação desse material ocorre em um ano ou menos, enquanto em florestas de clima temperado os valores de *k* são menores que 1, indicando que o tempo de renovação da serrapilheira perdura por vários anos (ANDERSON; SWIFT, 1983).

Além das características climáticas, a velocidade de decomposição da serrapilheira vai depender da qualidade desses resíduos orgânicos, que varia com a espécie vegetal. Gama-Rodrigues (1997), avaliando nove coberturas florestais tropicais, encontrou um valor *k* de 1,62 a 0,41, o que dá uma amplitude de variação do tempo médio de residência da camada de serrapilheira de 7 a 29 meses. Andrade et al. (2000) encontraram um valor *k* e tempo de renovação de 1,22 e 10 meses para a *Mimosa caesalpinifolia*, 0,67 e 18 meses para a *Acacia mangium* e 1,04 e 12 meses para a *Acacia holosericea*.

A avaliação da decomposição, através da perda de massa em sacos para o estudo da decomposição, também possui alguns inconvenientes que podem prejudicar a precisão dos resultados. Sacos com tamanho de malha muito reduzido podem excluir importantes organismos que participam do processo de decomposição. Já os que possuem malhas muito grandes podem acarretar uma alta perda de material no momento da coleta ou também permitir a entrada de uma fração nova de material, que não havia sido considerada na época da instalação. Estudos da decomposição do folheto de *Leucaena leucocephala* e *Populus deltoides* em sacos com tamanho

de malha diferente, 2 mm e 95 µm, verificaram maiores velocidades de decomposição do material incubado em sacos de maior malha (LEKHA; GUPTA, 1989).

CICLAGEM DE NUTRIENTES PELA SERRAPILHEIRA

Estudos da concentração de minerais nos diferentes estratos (folhas, MFS, serrapilheira) de florestas tropicais mostraram uma maior concentração na serrapilheira para quase todos os elementos, com exceção do P e do K principalmente. O teor de P na serrapilheira encontrava-se bem abaixo do teor de P do MFS e do material coletado na planta nos dois locais analisados. A concentração de K apresentou-se maior na serrapilheira do que no MFS, porém nas folhas foi superior a dos outros dois componentes analisados em ambos os locais. A alta concentração de alguns elementos na serrapilheira pode ser devido a contaminações pelo solo através da atividade de microrganismos e borrifos de chuva (GOLLEY et al., 1978).

Em termos de ecossistema, a ciclagem de nutrientes é determinada pela quantidade de nutrientes que entra, pela quantidade retida na fitomassa, pelas taxas de decomposição dos diferentes componentes da serrapilheira e da matéria orgânica do solo, pelas taxas de imobilização e mineralização de nutrientes e pela absorção dos nutrientes (CUEVAS; MEDINA, 1996).

O padrão de ciclagem de nutrientes nos trópicos, em especial nos trópicos úmidos, é bem diferente do padrão da zona temperada. Nas regiões frias, uma grande parcela da matéria orgânica e dos nutrientes disponíveis permanece o tempo todo no solo ou no sedimento. Nos trópicos, uma porcentagem muito maior está na fitomassa, sendo reciclada dentro da estrutura orgânica do sistema, com o auxílio de várias adaptações biológicas que conservam nutrientes, inclusive simbioses mutualísticas entre organismos e plantas.

Com a retirada da cobertura florestal, os nutrientes podem ser lixiviados rapidamente sob condições de altas temperaturas

e chuvas intensas, principalmente em solos de baixa fertilidade natural. Comparações da distribuição da matéria orgânica entre uma floresta temperada e uma tropical revelaram quantidades similares de carbono orgânico total. Porém, na floresta de clima temperado, mais da metade do carbono estava na serrapilheira e no solo, enquanto que na tropical, mais de três quartos estavam na fitomassa (ODUM, 1983).

A distribuição da matéria orgânica e dos nutrientes nos diferentes compartimentos (vegetação, serrapilheira e solo) de um ecossistema florestal ou agroflorestal também varia bastante, dependendo das condições ambientais e/ou do manejo. Nos trópicos, a maior parte da matéria orgânica encontra-se na vegetação. Já em zonas temperadas, é o solo que armazena a maior quantidade de matéria orgânica (FASSBENDER, 1993).

As formações ecológicas, clímax de áreas tropicais, encontram-se geralmente em estado de equilíbrio, ou seja, a produção de nova fitomassa está associada à deposição e à decomposição de restos vegetais (FASSBENDER, 1993).

Analisando o ciclo dos elementos individualmente, observa-se que o N contido na serrapilheira necessita ser mineralizado para ser aproveitado novamente pelos componentes do sistema. Este processo, também denominado amonificação, consiste na conversão do N orgânico à amônia pelos microrganismos heterotróficos, podendo ainda sofrer nitrificação (transformação para nitrato). Nessas formas, o N pode ser absorvido pelas raízes, imobilizado pelos microrganismos, ou pelas argilas, ou perdido por desnitrificação, lixiviação ou erosão (SIQUEIRA; FRANCO, 1988). A quantidade acumulada e a distribuição do N nos diferentes compartimentos de ecossistemas florestais variam muito (ODUM, 1983). Avaliações em uma floresta tropical mostraram que 58% do N total está na fitomassa, 2% na serrapilheira e 40% no solo, enquanto que, em uma floresta de pinheiros de clima temperado, apenas 6% estão retidos na fitomassa, 5% na serrapilheira, e

a maior parte, cerca de 89%, no solo. Outras comparações da distribuição de N em duas florestas tropicais, uma em região de baixa altitude em Manaus, no Brasil, e outra localizada em área de maior altitude, na cidade de Carare, na Colômbia, mostram grandes diferenças, dando indicações que florestas tropicais localizadas em regiões de altitude elevada, com clima frio, possuem comportamento similar ao de florestas de clima temperado, armazenando a maior parte do N no solo (ODUM, 1983).

Os restos vegetais que compõem a serrapilheira são também importantes fontes de S no solo. Assim como o N, a conversão do S orgânico a SO_4^{-2} , forma disponível para as plantas, depende de processos bioquímicos. O S orgânico do solo ocorre em duas frações distintas: uma em que está diretamente ligado ao C, principalmente aos aminoácidos, e outra, na forma de ésteres. Ambas sofrem mineralização, produzindo SO_4^{-2} , que pode ser imobilizado pelos microrganismos, absorvido pelas raízes, lixiviado ou adsorvido às partículas do solo (SIQUEIRA; FRANCO, 1988).

O P orgânico contido na serrapilheira também requer a ação de microrganismos decompositores para se tornar disponível. A mineralização do P no solo ocorre simultaneamente com a do C, através de microrganismos heterotróficos comuns, que produzem enzimas do tipo fosfatase e fitase, que atacam o material orgânico liberando PO_4^{-3} para a solução. Este processo é influenciado pelas condições ambientais e pela mineralogia do solo. Em geral, o P liberado é imediatamente fixado na fração mineral, ao contrário do que acontece com o N. É muito pouco provável que o processo mineralização/imobilização resulte em imobilização líquida de P da solução (SIQUEIRA; FRANCO, 1988).

A ciclagem dos outros elementos como K, Ca, Mg e micronutrientes é, em parte, dependente da decomposição da serrapilheira pelos microrganismos decompositores, sendo liberadas grandes quantidades destes elementos, em forma iônica, pela simples destruição física dos materiais em

decomposição. Isso se deve ao fato de esses elementos possuírem formas mono ou divalentes. Por isso não estão fortemente ligados aos compostos orgânicos vegetais, e também não sofrem reações de oxirredução, como ocorre com o N, P e S. O K, por exemplo, possui apenas 1/3 da quantidade encontrada nos restos vegetais, dependente de ataque microbiano para ser liberado, sendo os 2/3 restantes prontamente solúveis em água, necessitando apenas de transformações físicas para ser liberados para o solo (SIQUEIRA; FRANCO, 1988).

Em condições naturais, os principais fatores que interferem na ciclagem de nutrientes são o clima, a composição das espécies vegetais, o *status* sucessional da floresta (tempo após alguma perturbação) e a fertilidade do solo (VITOUSEK; SANFORD, 1986). Em geral, a manutenção destes ecossistemas ocorre através da ciclagem de nutrientes. As perdas de elementos são pequenas. Qualquer intervenção na dinâmica deste processo pode modificar a sincronia entre a disponibilidade de nutrientes oriundos da decomposição dos resíduos vegetais e a demanda nutricional das plantas, gerando, na maioria das vezes, uma maior perda de nutrientes do solo (MYERS et al., 1994).

Em síntese, o conhecimento da ciclagem de nutrientes em florestas nativas ou implantadas e em sistemas agroflorestais é de extrema importância para que se possam manejar adequadamente estes sistemas para fins de conservação, recuperação ou produção. Portanto, faz-se necessário compreender cada um dos fatores envolvidos, desde o acúmulo de nutrientes pela fitomassa, a translocação interna de nutrientes entre tecidos jovens e senescentes, até a transferência desses elementos da fitomassa para o ambiente (solo, água e ar). O desenvolvimento de estudos nessa linha pode auxiliar bastante, não apenas no manejo da fitomassa, mas também no manejo do solo, uma vez que ambos estão estreitamente relacionados dentro do processo de ciclagem de nutrientes. Este ciclo com-

preende, principalmente, os seguintes mecanismos: absorção dos nutrientes pelas plantas, retenção na fitomassa, translocação interna na planta, queda de resíduos da parte aérea que irão formar a serrapilheira (MFS) e decomposição desse material (Fig. 1).

A eficiência da ciclagem de nutrientes depende da interação desses processos no decorrer do tempo com sincronia entre a disponibilidade de nutrientes e a exigência das plantas (MYERS et al., 1994). Esse sincronismo é uma característica de florestas clímax. Quando ocorre alguma intervenção nesses ecossistemas, o processo de sucessão tenta restabelecer esse equilíbrio dinâmico (CUEVAS; MEDINA, 1996). Com base nesses princípios, é importante adotar práticas de manejo nos sistemas produtivos e/ou em áreas que necessitem de recuperação.

MANEJO DA SERRAPILHEIRA PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS E PARA MANUTENÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS

A escolha das técnicas para recuperar áreas degradadas depende, principalmente, do estado de degradação do solo, dos recursos disponíveis e do objetivo do

projeto. Quando se pretende retornar o ecossistema original, têm-se adotado desde o isolamento e manutenção da área sob pousio, até um conjunto de alternativas que requerem mais investimentos, mas podem acelerar o processo de sucessão vegetal.

Áreas com avançado processo de degradação, que apresentam o subsolo exposto, onde os horizontes superficiais foram removidos, seja pela erosão ou por explorações minerais, necessitam de um rápido recobrimento do solo. Dentre as técnicas utilizadas para revegetação de áreas degradadas com ênfase no manejo da serrapilheira, pode-se destacar a extração de serrapilheira de remanescentes florestais e posterior colocação sobre o sítio degradado. Dessa forma, busca-se recobrir a superfície erodida o mais rápido possível, minimizando os estragos causados pela enxurrada, e também incorporar propágulos que ficam adormecidos nesta camada e que podem vir a se estabelecer, dependendo das condições do ambiente. Os inconvenientes desta técnica são a necessidade de se retirar e transportar a serrapilheira, o que pode causar o empobrecimento do fragmento florestal utilizado como fonte, e o custo do transporte, que vai depender da distância entre a fonte e a área que se deseja recuperar. Outra questão é a fixação

dessa serrapilheira sobre a área degradada. Dependendo da inclinação do terreno e da força da enxurrada, fica difícil manter o material orgânico no local, até que ele cumpra as funções de proteção da superfície, fornecimento de matéria orgânica, nutrientes e propágulos da vegetação original, cuja quantidade e viabilidade dependem do estágio sucessional da fonte (remanescente da vegetação original). Algumas alternativas têm sido avaliadas para fixação inicial da serrapilheira, como a colocação desse material dentro de sacos de rafia para posterior implantação sobre a superfície erodida.

Algumas espécies de leguminosas arbóreas noduladas e micorrizadas, por se desenvolverem em solos cuja fertilidade é fator limitante para a maioria das espécies vegetais, têm sido empregadas com o objetivo de fornecer nutrientes para espécies em consórcio ou para recuperar os níveis de matéria orgânica de solos degradados (FRANCO; FARIA, 1997). Esta técnica tem sido empregada como alternativa de baixo custo para revegetar e formar uma camada de serrapilheira sobre a área degradada. Ao invés da extração e transporte da serrapilheira para a área degradada, utiliza-se a alta capacidade de produção de material vegetal dessas espécies, que, além de recobrir o solo com a parte aérea, produz grande quantidade de serrapilheira em um curto espaço de tempo, melhora a capacidade de infiltração de água através da malha radicular e adiciona matéria orgânica rica em nitrogênio, condições essenciais para a recuperação dessas áreas. Em geral, espécies arbóreas proporcionam aumentos na fertilidade da camada superficial do solo, absorvendo nutrientes de camadas profundas e transferindo-os para a superfície via decomposição da serrapilheira.

Algumas espécies arbóreas produzem serrapilheira que possui compostos alelopáticos, ou seja, compostos que inibem a germinação ou o desenvolvimento de propágulos de outras espécies. Assim, deve-se utilizar o maior número de espécies possível, pois, além de minimizar esses efeitos,

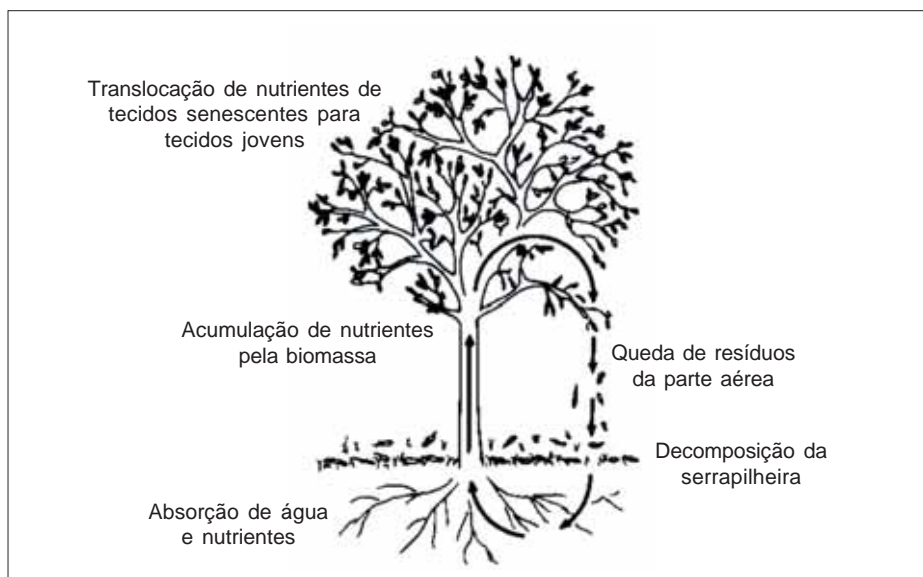


Figura 1 - Mecanismos envolvidos na ciclagem de nutrientes via serrapilheira

enriquece o ambiente com uma maior biodiversidade e conseqüentemente uma maior diversidade qualitativa das serrapilheiras produzidas.

Dentre os nutrientes essenciais ao crescimento vegetal, o nitrogênio e o fósforo são os mais limitantes, pelos baixos teores geralmente encontrados nos solos tropicais. Assim, a revegetação de áreas degradadas tem requerido aplicações elevadas desses elementos e/ou matéria orgânica, muitas vezes às custas da transferência da camada fértil de outros solos (FRANCO et al., 1992).

Através da fixação biológica do nitrogênio (N_2), essas plantas tornam-se auto-suficientes neste elemento e, com a colonização de fungos micorrízicos, suas raízes aumentam a área de contato com o solo, promovendo uma maior absorção de água e de nutrientes, principalmente o fósforo, e facilitando o estabelecimento e o desenvolvimento vegetal.

Os benefícios provenientes da camada de serrapilheira para o solo e para as plantas também devem ser estendidos para sistemas produtivos, através da preservação e do manejo de fragmentos florestais e da introdução de árvores de interesse econômico e/ou ambiental no sistema de produção. Neste sentido, os sistemas de pousio e agroflorestais podem ser manejados de forma que se obtenham todos os benefícios abordados anteriormente.

Com relação ao manejo com pousio, é importante avaliar o tempo de pousio e a fonte de propágulos do sítio e da vizinhança. É importante que o tempo de pousio seja suficiente para formar uma capoeira e, conseqüentemente, produzir a serrapilheira. Esse tempo vai depender do estado de conservação ou degradação do solo, da forma de manejo que a área vem recebendo e da disponibilidade de propágulos. O simples fato de não se realizar o destocamento da área que vai entrar em produção pode garantir um rápido desenvolvimento da capoeira na fase do pousio, uma vez que, ao invés de a planta passar pelas fases de germinação, estabelecimento e desenvolvimento, esta

vai-se iniciar de uma brotação, muitas vezes sob um vigoroso sistema radicular.

Os sistemas agroflorestais adotam uma estratégia de consórcio de plantas de diferentes portes e estádios sucessionais e, em alguns casos, de animais, objetivando a maximização da eficiência entre os nutrientes provenientes da decomposição da serrapilheira e a exigência nutricional das culturas. Dessa forma, a seleção de plantas para compor os sistemas agroflorestais deve considerar, entre outros aspectos, a quantidade de material formador da serrapilheira, sua velocidade de decomposição e substâncias alelopáticas que podem inibir ou comprometer o desenvolvimento de algumas espécies vegetais.

Os princípios e benefícios observados na camada de serrapilheira devem ser reaplicados para a agricultura agroecológica, buscando-se alternativas para manter sempre o solo coberto, seja com cobertura viva, seja com cobertura morta. Para isso, além da preservação e introdução de árvores no sistema, é necessário adotar intensa reciclagem de resíduos e formas de manejo que os mantenham sobre o solo, procurando imitar uma estratégia que a natureza já desenvolveu há milhões de anos.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, J.M.; INGRAM, J.S.I. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. 2.ed. Wallingford: CAB International, 1993. 221p.
- _____; SWIFT, M.J. Decomposition in tropical forests. In: SUTTON, S.L.; WHITMORE, T. C.; CHADWICK, A.C. **Tropical rain forest: ecology and management**. Oxford: Blackwell Scientific, 1983. p.287-309. (British Ecological Society. Special Publications, 3).
- ANDRADE, A.G.; COSTA, G.S.; FARIA, S.M. Deposição e decomposição da serrapilheira em povoamento de *Mimosa caesalpinifolia*, *Acacia mangium* e *Acacia holosericea*, com quatro anos de idade em Planossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.24, n.4, p.777-785, out./dez. 2000.
- BESANA, J. C.; TOMENANG, A. A. Amont

and composition of litterfall from a falcata (*Paresianthes falcataria*) plantations in the Philippines. **Nitrogen Fixing Tree Research Reports**, Honolulu, v.9, p.90-91, 1991.

CUEVAS, E.; MEDINA, E. Nutrient cycling in the conservation of soil fertility in the Tropics. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 1.; SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 4.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 6.; REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 11., 1996, Águas de Lindóia. **Solo Suelo** 96. Águas de Lindóia: USP/SLCS/SBCS, 1996. 1 CD-ROM. Comissão 10: Solos florestais.

FASSBENDER, H.W. **Modelos edafológicos de sistemas agroflorestais**. 2.ed. Turrialba: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 1993. 491p.

FRANCO, A.A.; CAMPELO, E.F.; SILVA, E.M.R. da; FARIA, S.M. de. Revegetação de solos degradados. Seropédica: EMBRAPA-UAPNPBS, 1992. 9p. (EMBRAPA/UAPNPBS. Comunicado Técnico, 9).

_____; FARIA, S.M. de. The contribution of N_2 – fixing tree legumes to land reclamation and sustainability in the tropics. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.29, n.5/6, p.897-903, 1997.

GAMA-RODRIGUES, A.C. da. **Ciclagem de nutrientes por espécies florestais em povoa-mentos puros e mistos, em solos de tabuleiro da Bahia, Brasil**. 1997. 107f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

GOLLEY, F.B.; MCGINNIS, J.T.; CLEMENTS, R. G.; CHILD, C. I.; DUEVER, J. **Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta tropical úmida**. São Paulo: USP, 1978. 256p.

GONZALEZ, M.I.M.; GALLARDO, J.F. El efecto hojarasca: una revision. **Anales de Edafologia y Agrobiologia**, Madrid, v.41, n.5/6, p.1129-1157, 1982.

HAAG, H.P. **Ciclagem de nutrientes em florestas tropicais**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 144p.

JESUS, R.M. Revegetação - da teoria a prática:

técnicas de implantação. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO, 1.; SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2., Foz do Iguaçu, 1994. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1994. p.123-134.

LEKHA, A.; GUPTA, S.R. Decomposition of *Populus* and *Leucaena* leaf litter in an agroforestry system. **Environmental Science and Forestry**, Syracuse, v.15, p.97-108, 1989.

LUGO, A.E.; CUEVAS, E.; SANCHEZ, M. J. Nutrients and mass in litter and top soil of ten tropical tree plantations. **Plant and Soil**, Dordrecht, Netherlands, v.125, n.2, p.263-280, July 1990.

MYERS, R.J.K.; PALM, C.A.; CUEVAS, E.; GUNATILEKE, I.U.N.; BROSSARD, M. The synchronisation of nutrient mineralisation and plant nutrient demand. In: WOOPER, P.L.; SWIFT, P.L. (Ed.). **The biological management of tropical soil fertility**. New York: J. Wiley, 1994. p.81-116.

ODUM, E.P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1983. Cap. 4, p.133-136.

POGGIANI, F. Nutrient cycling in *Eucalyptus* and *Pinus* plantations ecosystems, silvicultural implications. **IPEF**, Piracicaba, v.31, p.33-40, 1985.

_____; ZAMBERLAN, E.; MONTEIRO JUNIOR, E.; GAVA, I.C. Quantificação da deposição de folhedo em talhões experimentais de *Pinus taeda*, *Eucalyptus viminalis* e *Mimosa scabrella* plantados em uma área degradada pela mineração do xisto betuminoso. **IPEF**, Piracicaba, v.37, p.21-29, dez. 1987.

PRITCHETT, W.L. **Properties and management of forest soils**. New York: J. Wiley, 1979. 500p.

PROCTOR, J. Tropical forest litterfall – I: problems of data comparison. In: SUTTON, S.L.; WHITMORE, T.C.; CHADWICK, A.C. (Ed.). **Tropical rain forest: ecology and management**.

Oxford: Blackwell, 1983. p.267-273. (British Ecological Society. Special Publications, 3).

SIQUEIRA, J.O.; FRANCO, A.A. **Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas**. Brasília: MEC/ESAL/FAEPE/ABEAS, 1988. 236p.

SWAMY, H. R.; PROCTOR, J. Litterfall and nutrient cycling in four rain forests in the Sringeri area of the Indian Western Ghats. **Global Ecology and Biogeography Letters**, Osney Mead, v.4, p.155-165, 1994.

TEA, D.F.; JOKELA, E.J. Needlefall returns and resorption rates of nutrients in young intensively managed slash and loblolly pine stands. **Forest Science**, Bethesda, v.40, n.4, p.650-652, 1994.

VITOUSEK, P.M.; SANFORD JUNIOR, R.L. Nutrient cycling in moist tropical forest. **Annual Review Ecology Science**, v.17, p.137-167, 1986.

WAKSMAN, S. **Principles of soil microbiology**. 2.ed. Baltimore: Williams, 1952. 894p.

Portal EPAMIG - Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - Microsoft Internet Explorer

Arquivo Editar Exibir Favoritos Ferramentas Ajuda

Endereço <http://www.epamig.br>

EPAMIG - EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS

A EPAMIG
Instituição
Diretoria Executiva
Missão/Negócio
Unidades
Biblioteca
Herbário
Pesquisadores da EPAMIG
Programas & Projetos
Produtos & Serviços
Sementes
Mudas
Matrizes / Reprodutores
Publicações
Análises Laboratoriais
Emissão Técnico
Eventos & Feiras
Fale Conosco
E-mails Úteis
Links Úteis
EPAMIG Notícias
Difundindo Conhecimentos
Downloads
Webmail
Mapa do Site

Selo Balanço Social Ibase/Betinho

Publicações da EPAMIG

Neste site tem tecnologia EPAMIG