

Capítulo 15

Fluxo de Nutrientes em Florestas Tropicais Manejadas

Luís Cláudio de Oliveira

Introdução

As florestas naturais são tidas muitas vezes como ecossistemas equilibrados, como se o fluxo total de entrada e saída de nutrientes fosse igual, fazendo com que o balanço seja nulo. Esta visão, entretanto, não corresponde à realidade, pois para cada nutriente em particular, o balanço pode ser positivo (indicando acúmulo), negativo (indicando perdas) ou nulo (indicando equilíbrio).

Em ecossistemas florestais, balanço de nutrientes consiste na avaliação das entradas e saídas por meio de processos naturais e antrópicos. Esse balanço pode ser feito para um ano, um período de anos ou para um ciclo inteiro de exploração, no caso de florestas manejadas. Embora sejam poderosas ferramentas de análise, alguns processos de entrada e saída de nutrientes são de difícil mensuração. Mesmo assim, o balanço de nutriente (ΔE) indicará as alterações sofridas em um determinado ecossistema em relação ao estoque total (E), ou seja, estará aumentando ($\Delta E > 0$), diminuindo ($\Delta E < 0$) ou permanecendo estável ($\Delta E = 0$).

O balanço de nutrientes pode ser determinado considerando-se as entradas e saídas de cada elemento no ecossistema, da seguinte maneira:

$\Delta E = \Sigma e - \Sigma s$, onde:

ΔE = balanço do nutriente, em $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$

Σe = somatório das entradas, em $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$

Σs = somatório das saídas, em $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$

O conhecimento do balanço de nutrientes em ecossistemas florestais pode ser utilizado como indicador de estresse, se adotado como característica de um ecossistema inteiro e não somente de uma comunidade de plantas. Neste sentido, uma baixa taxa de perdas e balanços positivos indicam que a floresta está em fase de construção, como ocorre durante a sucessão secundária (Vitousek & Reiners, 1975); enquanto uma alta taxa de perdas e balanço negativo irão sugerir que a floresta está em senescência ou estresse.

Em florestas manejadas, o balanço de nutrientes é útil para a determinação de perdas e restauração dos comportamentos cíclicos de nutrientes vitais, visando determinar a durabilidade de ciclos de exploração para que haja recuperação das quantidades exportadas pela retirada de madeira ou outros subprodutos florestais.

O balanço de nutrientes em florestas tropicais é também fundamental à compreensão de processos geoquímicos, bem como para desenvolver modelos comparando os efeitos da modificação da vegetação original pelo corte ou substituição completa por outra cobertura vegetal.

Nesse sentido, o objetivo deste capítulo é mostrar como o conhecimento dos fluxos de nutrientes em florestas tropicais pode ser útil para determinar o efeito de diferentes impactos sobre a cobertura florestal original, como também subsidiar o manejo florestal sustentável.

Balço de Nutrientes em Florestas Tropicais Úmidas

Os fluxos de nutrientes dentro e entre diferentes ecossistemas podem ser avaliados pelas transferências observadas entre a atmosfera, hidrosfera, crosta terrestre e a biosfera. Quando essas transferências concorrem para aumentar o estoque de um nutriente dentro de um dado ecossistema são denominadas de entrada; por outro lado, quando concorrem para diminuir o estoque de um dado nutriente, são chamadas de saída.

Existem diferentes classificações para tratar as transferências, também denominadas de ciclos de nutrientes, entre diversos compartimentos de um ecossistema ou entre este e sua vizinhança. De modo geral, contudo, são reconhecidas como principais vias de entrada de nutrientes as transferências a partir da atmosfera (fixação biológica e química de nitrogênio), do intemperismo e pela precipitação. Como saídas têm-se as transferências feitas pelo escoamento superficial (run-off), pela lixiviação, emissão de gases e partículas perdidas para a atmosfera (nutrientes perdidos por fogo e volatilização) e exploração de florestas.

O intemperismo é o principal fator envolvido na disponibilização de nutrientes como cálcio, magnésio, potássio, ferro e fósforo, que são elementos constituintes dos minerais primários. Esses elementos podem circular através da vegetação florestal por muitos anos, mas são

perdidos eventualmente por escoamento superficial e/ou lixiviação.

Nos ecossistemas em que a biomassa está em sua fase de acumulação, as transferências para fora do ecossistema são menores para aqueles nutrientes em suprimentos menores, desde que estes estejam retidos mais fortemente do que outros imediatamente disponíveis (Tabela 1).

Alguns estudos, por questões metodológicas, têm assumido que a contribuição do suprimento de nutrientes a partir da intemperização é desprezível, dividindo então o ciclo geoquímico (capítulo 14) em dois ciclos principais: biológico e hidrológico.

O ciclo biológico apresenta a biomassa como seu maior compartimento para o estoque de nutrientes e, o ciclo hidrológico, o solo.

Dentro do ciclo hidrológico, a lixiviação representa a principal transferência, responsável pela maior parte das perdas do sistema, as quais também são possíveis como resultados da extração de biomassa ou por migração de animais.

Tabela 1. Entradas e saídas de elementos da Floresta Experimental de Hubbard Brook, New Hampshire.

Nutriente	Entradas (%)		Saídas
	Atmosfera	Intemperismo	% em relação às entradas
P	1	99	1
N	100	0	19
K	11	89	24
Fe	0	100	25
Ca	9	91	59
Cl	100	0	74
Mg	15	85	78
S	96	4	90
Na	22	78	98

Fonte: Likens et al. (1981).

Em florestas tropicais existem duas maneiras de minimizar perdas por drenagem de água: a) por meio de processos que venham a favorecer a evapotranspiração; b) minimizando a concentração de nutrientes na água drenada, evitando a sua transferência do ciclo biológico para o hidrológico.

A precipitação, por sua vez, representa uma das mais importantes transferências, responsável pela entrada de nutrientes no sistema, mesmo considerando que existe uma grande variação na composição da água da chuva sobre florestas tropicais. À exceção do potássio, as concentrações médias de nutrientes são normalmente altas e, quando considerado o índice pluviométrico, indicam valores relativamente elevados de entradas de nutrientes com a água da chuva, como o observado

para cálcio ($16 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ no Amapá e $14 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ na Malásia), embora valores muito menores também tenham sido observados, como a entrada de somente $4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em Manaus (Tabela 2).

Tabela 2. Entradas de nutrientes ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) por meio de chuvas, em diferentes florestas tropicais, em ordem decrescente para Ca.

Autor	País	Precip. anual (mm)	Ca	Mg	K	Na	P	N	Cl
Dalal (1979)	Trinidad	1.595	34,8	7,5	19,3	41,0	-	9,3	-
Jordan (1972)	Porto Rico	3.760	21,8	4,5	18,0	57,2	-	14,7	-
Poels (1989)	Suriname	2.143	15,9	2,6	13,7	9,4	0,8	-	18,9
Russel (1983)	Brasil (Amapá)	2.352	15,8	3,3	10,1	-	0,1	-	-
Kenworthy (1970)	Malásia	2.500	14,0	3,3	12,5	-	-	-	-
Nye (1961)	Ghana	1.850	12,8	11,3	17,6	-	0,4	16,3	-
Mathieu (1976)	Ivory Coast	1.320	11,9	11,9	5,3	5,3	-	13,2	13,2
Bruynzeel (1982)	Indonésia	4.768	10,0	4,3	9,5	13,4	-	-	-
Bruynzeel (1985)	Indonésia	4.670	9,8	4,2	14,5	13,1	0,9	15,4	15,4
Klinge/Fittkau (1972)	Brasil (Manaus)	2.545	3,8	3,1	-	-	0,1	87,3	87,3
Brasell (1980)	Austrália	2.520	2,8	2,8	4,5	20,9	-	-	-

Fonte: Adaptada de Poels (1989).

Nas florestas naturais manejadas, as perdas pela drenagem e as entradas pela precipitação são normalmente consideradas as principais transferências, facilitando assim a determinação do balanço de nutrientes de um sítio pela medida da deposição atmosférica e pelas perdas pelo deflúvio.

Estudos realizados com base nessas medidas têm apontado que a entrada de nutrientes através da chuva é o fator mais importante e parcialmente responsável pelas variações observadas no balanço de nutrientes (Tabela 3).

O balanço de nutrientes assim determinado pode ser positivo ou negativo, dependendo do nutriente avaliado. Assim, em um Latossolo da Venezuela, observou-se que, à exceção do nitrogênio, o balanço foi positivo, refletindo talvez uma flutuação temporal no balanço de nutrientes (Tabela 3). Em termos absolutos, representa um acúmulo de 6,9 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de potássio, 5,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de cálcio, 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Mg e 0,3 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de fosfato. Para nitrogênio (amônio e nitrato), é possível que o balanço negativo determinado pelo fluxo hidrológico seja compensado pela fixação química ou biológica, não medida neste estudo.

O balanço de nutrientes pode, entretanto, ser afetado pelo manejo da exploração florestal, conforme constatado em dois sítios florestais do Suriname, onde foram avaliados os fluxos de nutrientes em uma pequena bacia de 295 ha, dividida entre uma área manejada (bacia *Western Creek*, de 155 ha, na qual foram explorados 20 m³ ha⁻¹ de madeira e feito o envenenamento de árvores não-comerciais) e uma área com florestas intocadas (bacia de *Eastern Creek*, de 140 ha). As áreas da bacia cobertas por florestas intocadas acumulam anualmente cerca de 9 kg de cálcio, 12 kg de potássio e 0,5 kg de fósforo, perdendo anualmente

2 kg de magnésio e 9 kg de sódio, enquanto as áreas cobertas por florestas tratadas perdem, a mais, anualmente, 2 kg de cálcio, 0,5 kg de magnésio, 1 kg de potássio e 4 kg sódio por ha (Tabela 4).

Tabela 3. Média de entrada de nutrientes através da chuva e perda devido à lixiviação do solo em São Carlos, Venezuela*.

Nutriente	Entrada (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Lixiviação (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Varição anual (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)
Potássio	10,59	3,66	+ 6,93
Cálcio	8,83	3,48	+ 5,35
Magnésio	2,44	0,96	+ 1,48
Fosfato	0,25	0,00	+ 0,25
Amônio	5,39	7,28	- 1,89
Nitrato	0,74	4,28	- 3,54

*Dados, exceto fósforo, são médias de 7,79 (período de 15 de setembro de 1975 a 30 de junho de 1983, no qual a precipitação foi de 27.100 mm e a lixiviação de 13.250 mm. Para fósforo o período foi de 31 de julho de 1981 a 30 de junho de 1983, no qual a precipitação foi de 6.789 mm e 3.441 mm de lixiviação).

Fonte: Jordan (1989).

As saídas de sódio e magnésio do ecossistema foram maiores que as entradas por meio da chuva e contrastam com cálcio, potássio e fósforo. Isso sugere que o intemperismo do solo e substrato produzem mais sódio e magnésio do que é necessário pela vegetação, mas cálcio, potássio e fósforo insuficientes. Cálcio pode ter sido mais retido pelo ecossistema devido a sua escassez, fósforo devido a sua escassez e baixa mobilidade, e potássio provavelmente por ser muito demandado pela vegetação.

Dos elementos estudados, cálcio e fósforo apresentam-se em níveis mínimos. Considerando que a fixação de fósforo é provavelmente pequena nestes solos (em função dos baixos níveis de ferro e de argilas silicatadas de baixa atividade), a baixa disponibilidade desse elemento pode ser causada puramente pela sua ausência no solo.

É importante ressaltar que embora as perdas tenham sido maiores na área manejada, o fato de o balanço de nutrientes para a bacia de *Western Creek* ter mostrado acúmulo de cálcio, potássio e fósforo, durante todo o período, permite concluir que o tratamento silvicultural não resultou em perda dos principais nutrientes essenciais, embora tenham ocorrido perdas de magnésio e sódio (Tabela 5).

Resultados desse tipo não podem ser facilmente generalizados, uma vez que os fluxos de nutrientes variam entre sítios, como é o caso do balanço de cálcio em diferentes locais, que pode ser tanto positivo como negativo (Tabela 6). Isso significa que pode haver grandes diferenças no balanço de um único nutriente entre diferentes tipos de florestas ou condições edafoclimáticas.

Ainda, o balanço negativo não deve ser interpretado como evidência definitiva de que essas florestas estavam sob estresse, uma vez que a permanência do balanço negativo por um longo período de tempo talvez ocasionasse uma pressão de seleção natural, o que poderia favorecer as espécies mais adaptadas e, assim, alterar o próprio balanço dos nutrientes.

Tabela 4. Precipitação e deflúvio e fluxo de nutrientes correspondente na área do projeto para o período 1979–1984, Suriname.

Ano (nov.-out.)	Precip. (mm)	Deflúvio (mm)	Bacia	Ca	Mg	K	Na	P
(kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)								
1979/80	1.967	-	-	14,3	2,1	12,5	8,5	0,7
	-	296	Intocada	5,2	3,2	1,5	12,2	0,2
	-	296	Manejada	5,6	3,2	1,7	14,0	0,2
1980/81	2.467	-	-	18,8	2,8	17,1	11,7	1,0
	-	601	Intocada	7,9	4,9	2,7	21,5	0,3
	-	601	Manejada	9,5	5,5	3,7	32,3	0,5
1981/82	2.351	-	-	17,9	2,6	15,8	11,5	0,9
	-	864	Intocada	12,4	6,9	3,7	32,3	0,5
	-	864	Manejada	16,5	7,7	6,0	39,8	0,5
1982/83	1.788	-	-	13,7	2,0	12,0	8,9	0,7
	-	294	Intocada	4,7	2,7	1,6	12,4	0,2
	-	294	Manejada	6,5	3,0	2,0	15,0	0,2
1983/84	1.667	-	-	12,1	1,8	10,6	7,4	0,6
	-	164	Intocada	2,5	1,5	1,1	6,5	0,1
	-	-	Manejada	3,0	1,7	1,3	7,8	0,1

Continua...

Tabela 4. Continuação.

Ano (nov.-out.)	Precip. (mm)	Deflúvio (mm)	Bacia	Ca	Mg	K	Na	P
(kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)								
Média	2.143	-	-	16,2	2,4	14,4	10,2	0,8
	-	514	Intocada	7,6	4,4	2,4	19,6	0,3
	-	514	Manejada	9,5	4,9	3,4	23,6	0,3
Balanço	1.629	-	Intocada	8,6	-2,0	12,0	-9,4	0,5
	1.629	-	Manejada	6,7	-2,5	11,1	-13,4	0,5

Fonte: Poels (1989).

Tabela 5. Balanço de nutrientes da área Western Creek, Suriname*.

Ano (nov.-out.)	Ca	Mg	K	Na	P
1979/80	8,7	-1,1	10,8	-5,5	0,5
1980/81	9,3	-2,7	13,4	-13,7	0,7
1981/82	1,4	-5,1	9,8	-28,3	0,4
1982/83	7,2	-1,0	10,0	-6,1	0,5
1983/84	9,1	0,1	9,3	-0,4	0,5

*Entrada por chuva menos lixiviação ($\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$).

Fonte: Poels (1989).

Tabela 6. Balanço de cálcio em vários ecossistemas.

Formação, associação e localização	Cálcio ($\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)			Autor
	Saída (R)	Entrada (A)	A - R	
Rain forest, Amazon Basin Spodosol	2,8	16,0	+ 13,2	Herrera (1979)
Tropical rainforest, Malaysia	2,1	14,0	+ 11,9	Kenworthy (1971)
Tropical rainforest, Suriname, Ultisols	7,6	16,2	+ 8,6	Poels (1987)
Rain forest, Amazon, Basin Oxisol	3,5	8,8	+ 5,3	Jordan (1989)
Evergreen forest, Ivory Cost	3,8	1,9	-1,9	Bernhard-Reversat (1975)
Montane tropical rain forest, Puerto Rico	43,1	21,8	-21,3	Jordan et al. (1972)
Tropical rain forest, New Guinea	24,8	0,0	-24,8	Turvey (1974)
Tropical moist forest, Panamá	163,2	29,3	-133,9	Golley et al. (1975)

Fonte: Adaptada de Jordan (1989).

Reposição Natural das Perdas Devidas à Exploração Florestal

A exploração de madeiras e outros produtos florestais concorrem para intensificar as perdas de nutrientes, tornando muitas vezes o balanço de nutrientes negativo.

Estas perdas (exploração + lixiviação) podem ser compensadas pelas entradas que ocorrem pela precipitação, o que torna possível estimar o tempo necessário para que os estoques dos nutrientes se recuperem, auxiliando na estimativa do ciclo de rotação da floresta.

O ciclo de exploração assim determinado será variável em relação ao sítio e ao nutriente avaliado (Tabela 7): para cálcio, potássio e nitrogênio esses tempos foram calculados em 54, 8 e 63 anos respectivamente, nas condições de florestas da Costa Rica. Já nas florestas do Suriname, o tempo correspondente, para cálcio, potássio e fósforo foi de 11, 3 e 3 anos, respectivamente.

Embora outros fatores devam ser considerados na determinação do ciclo de exploração, se esta for de alta intensidade (houver a retirada de grandes volumes de madeira), pode ser importante para a sustentabilidade futura do ecossistema que o tempo de recuperação não considere apenas os aspectos relativos à dinâmica populacional das espécies exploradas, mas também o balanço de nutrientes e o tempo necessário para recuperar os estoques anteriores à intervenção antrópica. Os resíduos da

exploração, copas danificadas e derrubadas permanecem na área explorada (Jonkers & Schimidt, 1984), contendo nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) na ordem de 650 e 1.550 kg ha⁻¹, para a exploração de 15 e 46 m³ ha⁻¹, e uma vez que são compostos em 90% por galhos finos e grossos, decompõe-se de forma lenta, liberando anualmente quantidades de nutrientes entre 75 e 175 kg ha⁻¹. Esses valores são baixos comparados com os nutrientes liberados da liteira em florestas intocadas, mas suficientes para terem efeito significativo no crescimento das árvores remanescentes (Jonkers, 1987).

Tabela 7. Utilização do balanço de nutrientes para estimar os tempos de retornos em função de perdas de nutrientes como resultado da exploração madeireira na Costa Rica e Suriname.

Local/processo	N	P	K	Ca	Referência
Costa Rica (floresta tropical úmida)	-	-	-	-	Ewel et al. (1981); Lewis (1981)
Perdas (kg ha ⁻¹)	-	-	-	-	
Exploração	111	4,0	-	96	
Escoamento	329	11,0	-	392	
Total	440	15,0	-	488	
Entrada precipitação (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	7	2,0	4	9	
Tempo de retorno em anos	63	8,0	-	54	
Suriname (floresta tropical alta)	-	-	-	-	Poels (1989)
Perdas (kg ha ⁻¹)	-	-	-	-	
Exploração	30	1,0	25	60	
Escoamento	-	0,3	3	10	
Total	-	1,3	29	70	
Entrada precipitação (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	-	0,8	14	16	
Tempo de retorno em anos	-	3,0	3	11	

Ciclagem de Nutrientes por meio de Liteira

Estudos de fluxos de nutrientes em florestas tropicais envolvem a medida dos principais estoques na vegetação e o solo e os fluxos entre eles, sendo os mais freqüentemente avaliados a queda de liteira, decomposição, biomassa e seu estoque de nutrientes. A queda de liteira é o mais importante fator na transferência de matéria orgânica e elementos químicos da vegetação para a superfície do solo em ecossistemas florestais (Ogawa, 1978; Proctor, 1984; Proctor et al., 1983b). Estima-se que totaliza 83% do N, 85% do P, 41% do K, 71% do Ca e 60% do Mg retornados para o solo através da copa (Cole & Rapp, 1981).

No contexto da produção de liteira, plantas em habitats pobres em nutrientes produzem menos e com menor concentração de nutrientes do que plantas em habitats ricos. Fertilização com N, P, ou N e P aumentou a produção de liteira em florestas tropicais em Kalimantan (Mirmanto et al., 1999) e na Venezuela (Tanner et al., 1992). N, P e K mostram um padrão semelhante em diferentes florestas tropicais e Mg mostra quantidades menores (Tabela 8). Em termos de manejo florestal é importante notar que os nutrientes retornados pela liteira, apesar da baixa concentração, não limitam a produtividade do sítio, uma vez que as espécies que ocorrem estão adaptadas ou evoluíram nessas condições.

Tabela 8. Comparação de nutrientes retornados na liteira entre florestas tropicais.

País e local	Floresta	Liteira (Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	N (mg g ⁻¹)	P (mg g ⁻¹)	K (mg g ⁻¹)	Ca (mg g ⁻¹)	Mg (mg g ⁻¹)	Autores
Cameroon, Korup NP	Semidecídua (Ectomicorrizica)	5,6	17,1	0,640	4,9	12,9	2,4	Chuyong et al. (2000)
Cameroon, Korup NP	Semidecídua	5,0	17,1	0,680	4,3	11,9	2,5	Chuyong et al. (2000)
Costa do Marfim, Banco (platô)	Sempre verde	8,7	15,0	0,690	2,2	5,6	4,6	Bernhard (1970)
Costa do Marfim, Banco (vale)	Sempre verde	7,9	18,0	1,600	9,1	9,5	4,1	Bernhard (1970)
Costa do Marfim, Yapo (vale)	Sempre verde	6,4	14,0	0,500	2,8	13,2	2,9	Bernhard (1970)
Costa do Marfim, Yapo (vale)	Sempre verde	5,9	14,0	0,530	4,9	13,6	3,2	Bernhard (1970)
Brasil, Manaus	Igapó	5,3	15,0	0,240	2,9	5,3	1,3	Adis et al. (1979)
Brasil, Manaus	Terra firme	6,4	15,0	0,260	2,1	4,8	1,8	Franken et al. (1979)
Brasil, Manaus	Várzea	4,3	13,0	0,280	2,6	3,5	0,2	Franken et al. (1979)

Continua...

Tabela 8. Continuação.

País e local	Floresta	Liteira (Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	N (mg g ⁻¹)	P (mg g ⁻¹)	K (mg g ⁻¹)	Ca (mg g ⁻¹)	Mg (mg g ⁻¹)	Autores
Brasil, Manaus	Terra firme	5,6	15,0	0,300	1,8	2,2	1,8	Klinge & Rodriguez (1968a,b)
Brasil, Belém	Terra firme	8,0	17,0	0,410	1,7	3,1	2,8	Klinge (1977)
Brasil, Belém	Várzea	7,5	12,0	0,360	2,6	8,7	3,0	Klinge (1977)
Brasil, Belém	Igapó	6,7	12,0	0,360	3,2	8,0	3,8	Klinge (1977)
Brasil, Ilha de Maracá	Sempre verde	6,3	13,0	0,580	4,7	7,4	2,7	Scott et al. (1993)
Venezuela, San Carlos	Oxisol	7,9	16,0	0,320	2,4	1,7	0,7	Medina & Cuevas (1989)
Venezuela, San Carlos	Caatinga	5,6	7,0	0,500	2,1	7,7	3,1	Medina & Cuevas (1989)

Continua...

Tabela 8. Continuação.

País e local	Floresta	Liteira (Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	N (mg g ⁻¹)	P (mg g ⁻¹)	K (mg g ⁻¹)	Ca (mg g ⁻¹)	Mg (mg g ⁻¹)	Autores
Venezuela, San Carlos	Cerrado	6,1	16,0	1,500	7,4	21,0	4,0	Franco (1989)
Malásia, Pasoh	Dipterocarp	6,4	12,0	0,300	3,8	7,0	2,2	Lim (1978)
Sarawak, Gunung Mulu, NP	Alluvial	6,6	9,0	0,267	2,6	24,0	2,0	Proctor et al. (1983b)
Sarawak, Gunung Mulu, NP	Dipterocarp	5,4	9,5	0,105	4,5	1,5	1,1	Proctor et al. (1983b)
Sarawak, Gunung Mulu, NP	Dipterocarp	6,7	10,0	0,170	4,3	5,1	1,2	Proctor et al. (1983b)

Fonte: Proctor (1984); Scott et al. (1993).

Considerações Finais

Estudos de fluxos de nutrientes em florestas naturais manejadas podem ser importantes para determinar a capacidade de exploração dos sítios florestais.

A reposição dos nutrientes exportados via fertilização é uma prática desaconselhável sob o ponto de vista operacional e, assim, os mecanismos naturais de entrada de nutrientes no sistema devem ser considerados na determinação dos ciclos de exploração, com o intuito de não permitir que os ecossistemas manejados mais intensamente apresentem perda de nutrientes e, portanto, possam entrar em estresse, o que poderia comprometer sua rápida recuperação.

Em muitos solos do Estado do Acre a contribuição do intemperismo poderá ser significativamente superior na reposição das perdas, em relação a outros ecossistemas amazônicos, sugerindo que mais estudos sejam feitos nesse sentido. Uma vez comprovada a maior contribuição do intemperismo para a entrada de nutrientes nos ecossistemas florestais do Estado, poder-se-á promover uma exploração florestal mais intensa, sem riscos de comprometimento da capacidade produtiva do sítio.

Para alguns nutrientes, entretanto, como é o caso do fósforo, as reservas minerais são muito baixas também nos solos do Acre e, nesse caso, a contribuição do intemperismo pode ser desprezível, o que torna outras fontes de entrada mais importantes para a manutenção do estoque desse nutriente nas florestas naturais manejadas.

Referências Bibliográficas

BORMANN, F. H. & LIKENS, G. E. Nutrient cycling. **Science**, v. 155, p. 424-429, 1967.

BRASELL, H. M. & GILMOUR, D. A. The cation composition of precipitation at four sites in far north Queensland. **Australian Journal of Ecology**, v. 5, p. 397-405, 1980.

BRUIJNZEEL, L. A. Hydrological and biogeochemical aspects of man-made forests in South - Central Java, Indonesia. The Netherlands: Free University of Amsterdam, 1982. Tese.

BRUIJNZEEL, L. A. **Biogeochemical aspects of coniferous plantations in Central Java, Indonesia, I.** Composition of bulk precipitation. *Malayan Forester*, 1985.

CHUYONG, C. B.; NEWBERRY, D. M.; SONGWE, N. C. Litter nutrients and retranslocation in a central African rain forest dominated by ectormycorrhizal trees. **New Phytologist**, v. 148, p. 493-510, 2000.

COLE, D. W.; RAPP, M. Elemental cycling in forest ecosystems. In: REICHLE, D. H., ed. **Dynamic principles of forest ecosystems**. Cambridge, University Press, 1981. p. 341-409.

DALAL, R. C. Composition of trinidad rainfall. **Water Resources Research**, v. 15, n. 5, p. 1217-1223, 1979.

EWEL, J.; BERISH, C.; BROWN, B.; PRICE, N.; RAICH, J. Slash and burn impacts on a Costa Rican wet forest site. **Ecology**, v. 62, p. 816-829, 1981.

HOLDRIDGE, L. R. **Life zone ecology**. San José, Costa Rica: Tropical Science Center, 1967.

JONKERS, W. B. J.; SHIMIDT, P. Ecology and timber production in tropical rain forest in Suriname. **Interciencia**, v. 9, p. 290-298. 1984.

JONKERS, W. B. J. Vegetation structure, damage, and silviculture in a tropical rain forest in Suriname. Wageningen: Agricultural University, 1987, 171 p.

JORDAN, C. F.; KLINE, J. R.; SASSCER, D. S. Relative stability of mineral cycles in forest ecosystems. **American Naturalist**, v. 106, p. 237-254, 1972.

JORDAN, C. F. **An Amazonian rain forest: the structure and function of a nutrient stressed ecosystem and the impact of slash- and- burn agriculture**. Georgia, USA: Unesco, 1989.

KLINGE, H. & FITTKAU, E. J. Filterfunktionen im ökosystem des zentralamazonischen regenwaldes. **Mitteilungen Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft**, v. 16, p. 130-135, 1972.

KENWORTHY, J. B. Water and nutrient cycling in a tropical forest. In: FLENLY, J. R., ed. **The water relations of malaysian forests, First Aberdeen-Hull Symposium on Malayan Ecology**. England: Hull, 1970. p. 49-59.

LIKENS, G. E.; BORMANN, F. H.; JOHNSON, N. M. Interactions between major biogeochemical cycles in terrestrial ecosystems. In: LIKENS, G. E., ed. **Some Perspectives of the major Biogeochemical Cycles**. New York: Wiley, 1981. p. 93-112.

MANOKARAN, N. Nutrient concentration in precipitation, through fall and stemflow in a lowland tropical rainforest in peninsular Malaysia. *Malay. Nature Journal*, v. 30, p. 423-432, 1978.

MATHIEU, P. Influence des apports atmosphériques et du pluviollessivage forestier sur la qualité des eaux de deux bassins versants en Côte d'Ivoire. *Cahiers ORSTOM. Série Géologique*, v. 8, n. 1, p. 11-32, 1976.

MIRMANTO, E.; PROCTOR, J.; GREEN, J.; NAGY, L. Suriantata. Effects of nitrogen and phosphorus fertilization in a lowland evergreen rainforest. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, v. 354, p. 1825-1859, 1999.

NYE, P. H. Organic matter and nutrient cycles under moist tropical forest. *Plant Soil*, v. 13, n. 4, p. 333-346, 1961.

OGAWA, H. Litter production and carbon cycling in Pasoh forest. *The Malayan Nature Journal*, v. 30, p. 367-373, 1978.

POELS, R. L. H. **Soils, water and nutrients in a forest ecosystem in Suriname**. Agricultural University, Wageningen. 1989.

PROCTOR, J. Tropical forest litterfall: the data set. In "Tropical rainforest: The Leeds symposium. In: CHADWICK, A. C.; SUTTON, S. L., eds. **Leeds Philosophical Natural History Society**. Leeds. 1984. 276 p.

PROCTOR, J.; ANDERSON, J. M.; FOGDEN, S. C. L.; VALLACK, H. W. Ecological studies in four contrasting lowland rain forests in Gunung Mulu National Park, Sarawak. II. Litterfall, litter standing crop and preliminary observations on herbivory. **Journal of Ecology**, v. 71, p. 261-283, 1983b.

RUSSELL, C. E. Nutrient cycling and productivity of native and plantation forests at Jari Florestal, Para, Brasil. Athens, USA: University of Georgia, 1983. Tese.

SCOTT, D. A.; PROCTOR, J.; THOMPSON, J. Ecological studies on a lowland evergreen rain forest on Maraca Island, Roraima, Brasil: II litter and nutrient cycling. **Journal of Ecology**, v. 80, p. 705-717, 1993.

WARING, R. H.; ROGERS, J. J.; SWANK, W. T. Water relations and hydrologic cycles. In: REICHLE, D. E., ed. **Dynamic properties of forest ecosystems**. Cambridge, University Press, 1981b. p. 205-264.

VITOUSEK, P. M. and REINERS, W. A. Ecosystem succession and nutrient retention: a hypothesis. **BioScience**, v. 25, p. 376-381, 1975.

TANNER, E. V. J.; KAPOV, V.; FRANCO, W. Nitrogen and phosphorus fertilisation effects on Venezuelan montane forest trunk growth and litterfall. **Ecology**, v. 73, n. 1, p. 78-86, 1992.