

The text that follows is a REPRINT
O texto que segue é um REPRINT.

Please cite as:

Favor citar como:

Fearnside, P.M. 1997. Roraima e o aquecimento global: balanço anual das emissões de gases do efeito estufa provenientes da mudança de uso da terra. pp. 337-359 In: R.I. Barbosa, E.J. Ferreira & E.G. Castellon (eds.) *Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia (INPA), Manaus, Amazonas. 613 pp.

Copyright: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia (INPA), Manaus, Amazonas, Brasil.

The original publication is available from:

A publicação original está disponível de:

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia (INPA), Manaus, Amazonas.
(<http://www.inpa.gov.br>)

1997. pp. 337-359 In: R.I. Barbosa, E.J.G. Ferreira & E.G. Castellón (eds.) Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, Amazonas, Brazil. 613 pp.

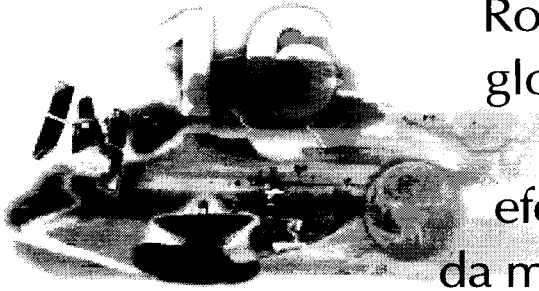
Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima

Editado por

Reinaldo I. Barbosa , Efrem J. G. Ferreira
e Eloy G. Castellón



Manaus - AM - 1997



Roraima e o aquecimento global: balanço anual das emissões de gases do efeito estufa provenientes da mudança de uso da terra

Philip Martin Fearnside ⁽¹⁾

Tipos de cálculos de emissões

O desmatamento na Amazônia brasileira libera quantidades de gases do efeito estufa¹ que são significativas em termos do impacto atual e, do potencial implicado para a contribuição a longo prazo ao aquecimento global pela continuação do desmatamento da vasta área de florestas remanescentes. O modo de se calcular as emissões pode ter um grande efeito no impacto atribuído ao desmatamento. Uma forma de cálculo enfoca as emissões líquidas comprometidas, que expressam a contribuição da transformação final da paisagem florestal em uma nova, utilizando como base de comparação o mosaico dos usos da terra que resultaria de uma condição de equilíbrio criada pela projeção das tendências atuais. Isto inclui emissões de decomposição ou de requeimas dos troncos que permanecem sem queimar quando a floresta é inicialmente derrubada (*emissões comprometidas*), e absorção de carbono pelas florestas secundárias crescendo em locais abandonados após o uso por agricultura e pecuária (*absorção comprometida*), assim resultando na estimativa das emissões líquidas comprometidas (Fearnside, 1992,1997a).

A outra forma do cálculo, assunto deste trabalho, visa o balanço da liberação anual e da absorção dos gases do efeito estufa em um determinado ano (Fearnside, 1996a). Estimativas do

⁽¹⁾ Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Coordenação de Pesquisas em Ecologia, Caixa Postal 478, 69011-970 Manaus/Amazonas.

¹ Os principais são o CO₂ (dióxido de carbono) e o CH₄ (metano)

balanço anual dos gases do efeito estufa são necessárias para regiões específicas a fim de entender os fluxos destes gases ao nível global.

É provável que o balanço anual seja a base para atribuir entre as nações do mundo as responsabilidades pelo aquecimento global. A Convenção Quadro sobre Mudanças do Clima (FCCC) que foi assinada em junho de 1992 por 155 países mais a União Européia na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (UNCED/ECO-92) no Rio de Janeiro, exige que cada país faça um inventário das fontes, dos sumidouros e dos reservatórios de gases do efeito estufa — indicando que o princípio básico para determinar o impacto será o fluxo líquido dos gases que entram e deixam a atmosfera.

O balanço anual representa uma medida instantânea dos fluxos dos gases do efeito estufa, dos quais o dióxido de carbono é o mais representativo. Às vezes, isto é chamado de balanço anual das emissões líquidas. Mesmo que os cálculos atuais sejam feitos em uma base anual, são denominados “instantâneos” aqui para enfatizar o fato de que não incluem futuras consequências do desmatamento e outras atividades que ocorrem no ano em questão. Deveria ser salientado que o balanço anual *não* é a melhor medida do impacto sobre o efeito estufa proveniente de desmatamento, e que deveriam ser incluídas liberações e retiradas futuras. Emissões líquidas comprometidas e emissões líquidas temporalmente ponderadas têm mais sentido para decisões políticas, sobretudo a última. As emissões líquidas temporalmente ponderadas calculam o fluxo líquido durante cada ano, permitindo a aplicação de um horizonte de tempo e uma ponderação pela preferência temporal (seja a aplicação de uma taxa de desconto ou um procedimento alternativo) para refletir os valores colocados pela sociedade sobre efeitos a curto prazo versus a longo prazo.

O desmatamento em Roraima

Roraima apresenta características únicas. Trata-se de um estado pequeno (em termos amazônicos) e, está longe do grande avanço da população e da pecuária ao longo do “arco de desmatamento” que se estende de Belém até Rondônia, em que se concentrou, por exemplo, cerca de 88% da atividade do desmatamento em 1994.

Apenas 3% da atividade de desmatamento na Amazônia, no período 1992-1994, foi feita em Roraima. Mesmo assim, o

percentual modesto do desmatamento brasileiro é engandador devido ao enorme tamanho das emissões brasileiras. As emissões de Roraima são maiores do que as emissões de muitos países que possuem inventários nacionais completos em curso, conforme determinação da FCCC. A área de floresta que ainda permanece em pé (e em risco de desmatamento) em Roraima também é maior do que em muitos países tropicais, apesar de áreas bem maiores presentes em estados amazônicos vizinhos.

Para se calcular taxas de desmatamento, são necessárias estimativas da extensão do desmatamento em dois momentos no tempo. No caso de Roraima, a taxa anual de desmatamento para o período 1978-1988 foi calculada a partir de estimativas da extensão em 1978 (derivada de imagens de Tardin *et al.*, 1980 e Skole & Tucker, 1993; ver Fearnside, 1993a) e em 1988 (Fearnside *et al.*, 1990), resultando num valor de $0,2 \times 10^3 \text{ km}^2 \text{ ano}^{-1}$. A taxa anual de desmatamento aumentou para $0,7 \times 10^3 \text{ km}^2$ entre 1988-1989 (em contraste com a tendência na Amazônia Legal como um todo, que experimentou um declínio de 1988 para 1989); a taxa então caiu para $0,2 \times 10^3 \text{ km}^2$ em 1989-1990, aumentando novamente para $0,4 \times 10^3 \text{ km}^2$ em 1990-1991 (Fearnside *et al.*, 1990; Fearnside, 1993b). Estimativas de desmatamento anunciadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em 25 de julho de 1996 indicam que a taxa anual em Roraima subseqüentemente declinou para $0,3 \times 10^3 \text{ km}^2$ para 1991-1992 e $0,2 \times 10^3 \text{ km}^2$ para 1992-1994 (em contraste com a tendência na Amazônia Legal como um todo, que apresentou um aumento da taxa no período 1991-1994). Em termos absolutos ($\text{km}^2 \times 10^3$), a área acumulada desmatada em Roraima era de 0,1 em 1978, 2,7 em 1988, 3,6 em 1989, 3,8 em 1990, 4,2 em 1991, 4,5 em 1992 e 5,0 em 1994. Até 1990 nenhuma área havia sido inundada por hidrelétricas em Roraima. A primeira foi a hidrelétrica de Jatapu (45 km^2), que encheu em abril de 1994.

A estimativa do balanço anual no atual estudo considerou as taxas anuais de desmatamento indicadas acima, inclusive a taxa constante de $0,2 \times 10^3 \text{ km}^2 \text{ ano}^{-1}$ entre 1978 e 1988. No entanto, existem algumas outras informações sobre desmatamento em Roraima neste intervalo que, entretanto, também deixam dúvidas sobre como a taxa poderia ter variado no período. Por exemplo, a estimativa do INPE para o desmatamento da floresta até 1988 em Roraima é de 2.187 km^2 . As estimativas anteriores para Roraima,

apresentadas no gráfico do relatório do INPE para o crescimento da área desmatada (INPE, 1989: 48), omitem a estimativa derivada das imagens do satélite LANDSAT de 1981 feito pelo IBDF (1983). O relatório do IBDF (1983) usa 1982 como o ano nominal para a estimativa em Roraima, porém a maioria das imagens são de 1981. Levando em conta os 1.170 km² indicados pela estimativa do IBDF, parece ser improvável que apenas 1.017 km² fossem desmatados ao longo do período de sete anos, entre 1981 e 1988. Este foi o período durante o qual o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) acelerou o estabelecimento de uma série de projetos oficiais de colonização (por exemplo, Apiaú e Confiança), que são claramente visíveis nas imagens de 1986, no mosaico do INPE da Região Norte (INPE, 1988).

A biomassa das florestas de Roraima

A biomassa das florestas representa um dos fatores mais importantes determinando a quantidade de emissões de gases provocadores do efeito estufa liberados pelo desmatamento. Em média, 50% da biomassa seca das madeiras amazônicas é composta de carbono (Fearnside *et al.*, 1993). Este carbono é liberado pela queimada e/ou pela decomposição na forma de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e monóxido de carbono (CO), enquanto outros gases, como óxido nitroso (N₂O), também são liberados na proporção da quantidade de biomassa oxidada.

A biomassa média das florestas primárias presentes em Roraima foi calculada baseada na análise dos dados publicados sobre o volume de madeira a partir de 112 ha de inventários florestais distribuídas no Estado (Fearnside, s/d-b; ver Fearnside, 1994). A biomassa total média (incluindo componentes mortos e subterrâneos) foi calculada em 429 t ha⁻¹ para todas as florestas maduras não perturbadas originalmente presente em Roraima. A biomassa média acima do solo foi estabelecida em 328 t ha⁻¹, dos quais 26 t ha⁻¹ é matéria morta. A biomassa média subterrânea é de 101 t ha⁻¹. As avaliações de biomassa total são desagregadas pelo tipo florestal (Tab. 1). Estes usam as classificações da vegetação do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) (IBGE & IBDF, 1988).

As áreas de vegetação protegida e desprotegida de cada tipo no Estado foram calculadas (Fearnside & Ferraz, 1995). Pela

Tabela 1. Biomassa das florestas de Roraima.

Categoria	Código	Grupo	Sub-grupo	Classe	Área presente (km ²) ^a	Área protegida (ha) ^a	Densidade básica da madeira (g/ cm ³) ^b	Biomassa total (t/ha) ^c
Florestas densas								
	Da-0	Floresta ombrófila	floresta densa	amazônica aluvial	3.326	0	0,67	419
	Db-0	Floresta ombrófila	floresta densa	amazônica terras baixas	10.248	0	0,67	417
	Dm-0	Floresta ombrófila	floresta densa	amazônica montana	20.661	565	0,68	448
	Ds-0	Floresta ombrófila	floresta densa	amazônica submontana	83.692	5.384	0,71	429
	Sub-total: Florestas densas				117.927	5.949		431
Florestas não-densas								
	As-0	Floresta ombrófila	aberta	submontana	8.430	0	0,65	376
	Fs-0	Floresta estacional	semidecidual	submontana	1.041	0	0,66	424
	La-0	Veg. lenhosa oligotrófica e áreas arenosas		arbórea aberta	970	0	0,75	465
	Ld-0	Veg. lenhosa oligotrófica e áreas arenosas		arbórea densa	10.967	476	0,66	437
	Lg-0	Veg. lenhosa oligotrófica e áreas arenosas		gramíneo-lenhosa	9.767	0	0,66	437
	LO-0	Áreas de tensão ecológica e contato		vegetação lenhosa oligotrófica lig. dos pântanos e áreas arenosas–floresta ombrófila	30.184	1.581	0,68	437
	ON-0	Áreas de tensão ecológica e contato		floresta ombrófila--floresta estacional	3.045	0	0,72	409
	SN-0	Áreas de tensão ecológica e contato		savana--floresta estacional	904	0	0,75	336
	SO-0	Áreas de tensão ecológica e contato		savana--floresta ombrófila	4.286	0	0,71	404
	Sub-total: Florestas não densas				69.594	2.057		425
	Total: Florestas densas e não densas				187.521	8.006		429

(a) Fearnside & Ferraz, 1995. (b) Fearnside, 1987b. (c) Fearnside, s/d.

multiplicação da biomassa por hectare de cada tipo florestal pela área desprotegida presente, é possível estimar a biomassa derrubada se presumimos que o desmatamento é distribuído entre os diferentes tipos de vegetação em proporção à área desprotegida presente.

Emissões de gases do efeito estufa

Queimada inicial

As emissões e remoções de gases do efeito estufa estão tabuladas para um cenário de “baixo gases-traço” (Tab. 2) e para um cenário de “alto gases-traço” (Tab. 3). Estes dois cenários utilizam os altos e baixos valores que aparecem na literatura para os fatores de emissões para cada gás em tipos diferentes de queimada (revisado em Fearnside, 1991, 1992). Eles não refletem a dúvida referente a biomassa florestal, taxas de desmatamento, eficiência de queimada e outros fatores importantes.

A queima inicial representa $2,77 \times 10^6$ t de gás de CO_2 , ou 18% da emissão bruta de $15,69-15,71 \times 10^6$ t. A emissão bruta de um gás refere-se a todas as liberações do gás, mas não aos fluxos no sentido inverso (absorção). A contribuição de CH_4 na queima inicial é de $8,9-10,7$ entre um total de $18,5-23,4 \times 10^3$ t (46-48%), do CO é $214,1-267,7$ de $406,7-511,9 \times 10^3$ t (52-53%), e do N_2O é $0,6$ de $1,5-3,0 \times 10^3$ t (20-40%). Para NO_x (compostos de nitrogênio) e NMHC (hidrocarbonetos de forma não-metânica), se considerado à parte da perda de fontes de floresta madura, representam, respectivamente, $6,8$ de $15,9 \times 10^3$ t (43%) e $5,9-11,2$ de $9,3-17,9 \times 10^3$ t (63%).

A eficiência de queima (percentagem de carbono da pré-queima presumivelmente emitido como gases) foi, em média, de 32,6% nos estudos usados no cálculo: 27,6% em uma queimada de 1984 e 28,3% em uma queimada de 1990 estudadas perto de Manaus (Fearnside *et al.*, 1993, s/d-a); e 42,0% em três queimadas em 1986 estudadas em Altamira, Pará (Fearnside *et al.*, s/d-b). Os ajustes para o efeito da exploração madeireira na distribuição diamétrica da biomassa resultam em uma eficiência de 33,2%. Estudos recentes de queimadas iniciais realizados por Kauffman *et al.* (1995) resultam em eficiências de queima maiores. Com este, são sete estudos atualmente disponíveis de queimadas iniciais em florestas originais, com eficiências de queima variando de 27,6% a

Tabela 2. Balanço anual das emissões líquidas por fonte nas áreas originalmente florestadas de Roraima: cenário de baixo gases-traço.

Fonte	Emissões (peso de gas)					Sumidouros (peso de carbono)		
	CO ₂ (10 ⁶ t)	CH ₄ (10 ³ t)	CO (10 ³ t)	N ₂ O _x (10 ³ t)	NO _x (10 ³ t)	NMHC (10 ³ t)	Carbono de carvão vegetal (10 ³ t)	Partículas de carbono grafítico (10 ³ t)
Biomassa da Floresta Original^a								
Queimada inicial	2,77	8,92	214,13	0,55	6,78	5,95	50,78	2,08
Requeimadas	1,00	5,00	157,15	0,20	7,89	2,50	16,81	1,17
Decomposição acima do solo por cupins	0,19	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Outros tipos de decomposição acima do solo	6,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Decomposição abaixo do solo	3,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Biomassa da Floresta Secundária								
Queimadas ^b	0,29	0,95	22,82	0,06	0,32	0,63	0,05	0,22
Decomposição acima do solo por cupins	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Outros tipos de decomposição acima do solo	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Decomposição abaixo do solo	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cupins na floresta secundária	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Queimada das Pastagens	... ^c	0,52	12,58	0,03	0,88	0,35	0,02	0,12
Outras Fontes								
Gado	0,00	2,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Solos em pastagens	0,00	0,00	0,00	0,69	0,00	0,00	0,00	0,00
Perda de fontes e sumidouros na floresta intacta	0,00	0,16	0,00	0,00	-3,687	-4,04	0,00	0,00
Perda de cupins na floresta natural	0,00	-0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Carbono do solo (20 cm superiores)	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total das Emissões	15,69	18,48	406,67	1,53	-21,00	5,39	67,67	3,59
Absorção	-0,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Emissões Líquidas	14,82	18,48	406,67	1,53	-2,100	5,39	67,67	3,59

^a A taxa de desmatamento na área originalmente florestada era 16.100 ha ano⁻¹ em 1990.

^b A queimada das florestas secundárias inclui tanto as queimadas iniciais e subsequentes para florestas secundárias derivadas da agricultura e das pastagens, e para pastagens degradadas que são cortadas e recuperadas.

^c CO₂ das queimadas para manutenção das pastagens não é contado, já que este é re-assimilada anualmente na medida em que as pastagens recrescem, fazendo com que o fluxo líquido seja igual a zero. O fluxo bruto estimado para 1990 a fonte foi 0,173 X 10⁶ t de gás de CO₂.

Tabela 3. Balanço anual das emissões líquidas por fonte nas áreas originalmente florestadas de Roraima: cenário de alto gases-traço.

Fonte	Emissões (peso de gás)						Sumidouros (peso de carbono)	
	CO ₂ (10 ⁶ t)	CH ₄ (10 ³ t)	CO (10 ³ t)	N ₂ O (10 ³ t)	NO _x (10 ³ t)	NMHC (10 ³ t)	Carbono de carvão vegetal (10 ³ t)	Partículas de carbono gráfico (10 ³ t)
Biomassa de Floresta Original^a								
Queimada inicial	2,77	10,71	267,66	0,55	6,78	11,23	50,78	2,08
Requeimadas	1,00	7,86	200,01	1,68	7,89	4,85	16,81	1,17
Decomposição acima do solo por cupins	0,21	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Outros tipos de decomposição acima do solo	6,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Decomposição em baixo do solo	3,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Biomassa de Floresta Secundária								
Queimadas ^b	0,29	1,14	28,52	0,06	0,32	1,20	0,05	0,22
Decomposição acima do solo por cupins	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Outros tipos de decomposição acima do solo	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Decomposição em baixo do solo	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cupins em floresta secundária	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Queimadas das Pastagens	— ^c	0,63	15,72	0,03	0,88	0,66	0,02	0,12
Outras Fontes								
Gado	0,00	2,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Solo da pastagem	0,00	0,00	0,00	0,69	0,00	0,00	0,00	0,00
Perda de fontes e sumidouros da floresta intacta	0,00	0,16	0,00	0,00	-36,87	-4,04	0,00	0,00
Perda de cupins da floresta natural	0,00	-0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Carbono do solo (20 cm superiores)	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total das Emissões	15,71	23,41	511,91	3,01	-21,00	13,89	67,67	3,59
Absorção	-0,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Emissões Líquidas	14,84	23,41	511,91	3,01	-21,00	13,89	67,67	3,59

^a A taxa de desmatamento na área originalmente florestada era 16.100 ha ano⁻¹ em 1990.

^b A queimada das florestas secundárias inclui tanto as queimadas iniciais e subsequentes para florestas secundárias derivadas da agricultura e das pastagens, e para pastagens degradadas que são cortadas e recuperadas.

^c CO₂ das queimadas para manutenção das pastagens não é contado, já que este é re-assimilada anualmente na medida em que as pastagens crescem, fazendo com que o fluxo líquido seja igual a zero. O fluxo bruto estimado para 1990 a fonte foi 0,173 X 10⁶ t de gás de CO₂.

56,9%, com média de 44,0%. A sequência completa de queimadas eleva a eficiência total para 56,5%.

A formação de carvão vegetal fez uma média de 2,7% e 1,8%, relativo ao carbono acima do solo antes da queimada em Manaus (Fearnside *et al.*, 1993) e de 1,3% em Altamira (Fearnside *et al.*, s/d-b). O valor utilizado no cálculo atual foi a média de 1,9%.

As partículas gráficas de carbono são outro sumidouro para o carbono que é queimado. Isto é calculado a partir dos fatores de emissão, e da quantidade de madeira queimada. O montante de carbono que entra neste depósito é apenas 1/20 do total que entra no depósito de carvão (Tabs. 2 e 3).

Queimadas subsequentes (requeimas)

Queimadas subsequentes fazem com que os restos da floresta original e da biomassa florestal secundária entrem em combustão. Em estudos realizados na Colônia do Apiaú, Roraima, os restos florestais originais de uma floresta secundária queimaram a uma eficiência de combustão de 28,0% (Fearnside *et al.*, s/d-c), enquanto que na queima de pastagens na mesma região, foi calculado que 12,3% do carbono da pré-queima nos restos florestais originais foi consumido (Barbosa, 1994; Barbosa & Fearnside, 1996a). A média dos resultados dos dois estudos (20,1%) é utilizada no cálculo atual.

Decomposição dos restos não-queimados

A decomposição acima do solo dos restos não-queimados está calculada em função dos estudos disponíveis apresentados na Tab. 4. A decomposição faz uma contribuição significativa para emissões de gases do efeito estufa e, é aparente que o grande interesse de pesquisadores na queima de biomassa conduza muitas vezes para a negligência das contribuições da decomposição.

As emissões de metano dos cupins na decomposição de biomassa não-queimada (Martius *et al.*, 1996) são substancialmente mais baixas que as avaliações anteriores (Fearnside, 1991, 1992). Isto é devido principalmente ao fato que as avaliações dos números de cupins em áreas desmatadas indicam que as populações são insuficientes para consumir a quantidade de madeira que havia sido previamente presumido. O *Nasutitermes macrocephalus*, a única espécie de cupim da Amazônia em que as medições se

Tabela 4. Decomposição acima do solo em roças de agricultura de corte e queima.

A.) Estudos existentes sobre decomposição.

Fonte	Tipo de biomassa	Idade da biomassa em decomposição (anos)	Ponto médio da idade (anos)	Biomassa acima do solo, peso seco (t/ha)	Intervalo (anos)	Tempo decorrido no intervalo (anos)	Taxa de decomposição ("k")
Uhl & Saldarriaga, sd,	Floresta madura	0	0	188 ^a			
		3-4	3,5	97,3	0-3,5	3,5	-0,188
		6-7	6,5	56	3,5-6,5	3	-0,184
		8-10	9	45,3	6,5-9	2,5	-0,085
		12-20	16	22,7	9-16	7	-0,099
Buschbacher, 1984: 72	Floresta madura	0,5	0,5	279			
		2,5	2,5	208	0,5-2,5	2	-0,147
	Floresta secundária	0,5	0,5	17,7			
		2,5	2,5	14,2	0,5-2,5	2	-0,110

B.) Taxas médias de decomposição de restos de florestas maduras e secundárias em intervalos entre queimadas.

Intervalo	Tempo decorrido no intervalo (anos)	Floresta madura		Floresta secundária	
		Taxa anual	Fração que sobrevive e decomposição no intervalo	Taxa anual	Fração que sobrevive e decomposição no intervalo
0-4 anos	5	-0,168	0,400	-0,110	0,558
5-7 anos	3	-0,184	0,543	-0,110	0,705
8-10 anos	3	-0,085	0,767	-0,110	0,705
Após 10 anos	infinito	-0,099	0,000	-0,110	0,000

^a Calculado usando a biomassa inicial de 290 t/ha de Stark & Spratt, 1977, menos a perda para a combustão com uma eficiência de 0,327 e a formação da fração de carvão de 0,019 (média de medidas de Fearnside *et al.*, 1993, s/d-b,c).

encontram disponíveis, consome 49 mg da madeira seca por g de cupins por dia (Martius, 1989). Emissões mais baixas de metano ($0,002 \text{ g CH}_4$ por g da madeira seca consumida) também contribuem para menores emissões desta fonte, calculada para totalizar apenas $0,02 \times 10^6 \text{ t}$ de gás de CH_4 da floresta original na área desmatada em 1990 (Tabs. 2 e 3).

Solos

Para calcular as emissões de CO_2 dos solos, devemos considerar a camada de solo do uso da terra de substituição (como pastagem, por exemplo) — que é compactada a uma dada profundidade do solo florestal (ver Fearnside, 1980). A emissão calculada aqui ($0,32 \times 10^6 \text{ t}$ de CO_2) considera apenas os 20 cm superiores do solo florestal (considerando que as emissões aproximadamente duplicariam a uma profundidade de 1 m). Conversão de floresta em pastagens libera $3,96 \text{ t C ha}^{-1}$ dos 20 cm superiores do solo florestal (ver Fearnside, 1991, 1992). O solo de pastagem também emite N_2O (Luizão *et al.*, 1989).

Remoção das fontes e sumidouros da paisagem pré-desmatamento

Sumidouro no solo para CH_4

O solo florestal tropical fornece um sumidouro natural para metano, removendo 0,0004 tonelada de carbono por hectare por ano (Keller *et al.*, 1986). Derrubar a floresta elimina este sumidouro, tendo assim, um efeito igual a criação de uma fonte de mesmo valor. Em 1990 as florestas que haviam sido desmatadas em Roraima somaram $0,2 \times 10^3 \text{ t}$ de gás CH_4 (Tabs. 2 e 3).

Fonte florestal de NO_x e NMHC

As folhas da floresta liberam $0,0131 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de NO_x (Kaplan *et al.*, 1988; ver Keller *et al.*, 1991) e $0,12 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de NMHC (Rasmussen & Khalil, 1988: 1420). Nenhuma informação encontra-se disponível sobre a liberação destes gases da vegetação de substituição. Supondo que não houve nenhuma liberação da agricultura e de pastagens produtivas e degradadas, e que as liberações de florestas secundárias foram iguais àqueles das florestas primárias, a paisagem em 1990 em Roraima implicou em um fluxo negativo de $21,0 \times 10^3 \text{ t ano}^{-1}$ de NO_x e um fluxo positivo de $5,4\text{-}13,9 \times 10^6 \text{ t}$ de NMHC (Tabs. 2 e 3).

Liberação de CH₄ por cupins

Cupins na floresta madura liberam metano produzido por bactérias que digerem celulose sob condições anaeróbicas no abdomen dos insetos. Estas emissões serão perdidas quando a floresta for desmatada mas, por um longo tempo, após este fato, as emissões estarão mais do que compensadas pelos cupins que ingerem a biomassa não-queimada após o desmatamento. No cálculo de emissões por cupins na floresta, o item de interesse é a quantidade de biomassa absoluta que decompõe anualmente (em $t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$), em vez da taxa (fração) de decomposição por ano. Para litter fino, o montante pode ser conhecido diretamente dos dados sobre taxas de queda de litter, já que pode ser presumido que tudo que cai decompõe e que o nível do estoque esteja em equilíbrio. Para o litter grosso tais dados não são disponíveis, e a quantidade que decompõe deve ser calculada a partir de informações sobre o estoque e a taxa de decomposição. Árvores mortas em uma floresta tropical podem decompor muito rapidamente. A constante de decomposição (k) para a decomposição de troncos no Panamá foi calculada em $0,461\ ano^{-1}$ para árvores com DAP (diâmetro a altura do peito) $> 10\ cm$, baseados em observações após um intervalo de 10 anos (Lang & Knight, 1979). Contudo, no atual estudo, taxas mais baixas de decomposição medidas em roças de corte-e-queima (Tab. 4) são utilizadas para toda a biomassa grossa. Os montantes de litter fino e grosso são calculados dos estudos disponíveis apresentados nas Tabelas 5 e 6.

Exploração madeireira

Em uma situação típica, as florestas acessíveis pelo transporte terrestre ou fluvial são exploradas para madeira, diminuindo a sua biomassa pela remoção de madeira e mediante a morte ou danificação de muitas árvores não colhidas. Posteriormente, esta floresta já explorada é desmatada para agricultura ou pecuária. Imagens de satélite do sensor de cor falsa LANDSAT-TM mostram os pequenos pontos vermelhos que aparecem em uma faixa em torno de algumas áreas desmatadas; no próximo ano as áreas com os pontos vermelhos acabam sendo desmatados de maneira normal (L. Gylvan Meira Filho, comunicação pessoal, 1993). Os pontos vermelhos indicam, provavelmente, a perturbação dos níveis pesados de exploração seletiva no ano antes da derrubada.

Tabela 5. Produção de litter fino em florestas amazônicas.

País	Local	Estado	Tipo floresta	Produção anual (peso seco, t ha ⁻¹)								Referência	
				Litter, folhas	Madeira <20 mm de Ø	Madeira <25 mm de Ø	Madeira de Ø não notado	Flores & frutas	Outro litter fino	Total de litter fino reportada	Total de de litter fino <20 ou 25 mm		
Brasil	Manaus (Res. Egler)	AM	Terra firme	5,60			1,35	0,35			7,30		Klinge & Rodrigues, 1968: 295
	Manaus (Bacia Modelo)	AM	Terra firme (Platô)	5,42		1,56		0,42	0,79	8,19	8,19		Luizão, 1989: 410
	Manaus (Bacia Modelo)	AM	Terra firme (Baixio)	4,69		1,17		0,43	1,12	7,41	7,41		Luizão, 1989: 410
	Manaus (Res. Ducke)	AM	Terra firme	6,34			1,03	0,47			7,90		Franken <i>et al.</i> , 1979: 227
	Capitão Poço	PA	Terra firme								8,04		Dantas & Phillipson, 1989
	Belém	PA	Terra firme	8,0							9,9		Klinge, 1977
	Belém (Mocambo)	PA	Terra firme	6,1			0,88	0,31			7,3		Silva & Lobo, 1982
	Tucuruí	PA	Terra firme	4,76							6,65		Silva, 1984
	Apiiaú	RR	Terra firme	5,73							9,15		Barbosa & Fearnside, 1996b
Guiana Francesa	Maracá	RR	Terra firme	6,30	1,34			1,21	0,42	9,3	9,3		Scott <i>et al.</i> , 1992
	Piste de Saint-Elie		Terra firme	5,67			1,44	0,72			7,83		Puig & Delobelle, 1988: 8
Venezuela	San Carlos de Río Negro		Terra firme	7,56							10,25		Cuevas & Medina, 1988
Média				6,02	1,34	1,37	1,18	0,56	0,78	8,27	8,30		

Ø = Diâmetro

Tabela 6. Estoques de biomassa morta grossa em florestas não perturbadas da terra firme.

País	Local	Madeira caída (peso seco, t ha ⁻¹)			Madeira morta em pó (t ha ⁻¹)	Total biomassa grossa morta (t ha ⁻¹)	Referência
		Peças pequenas	Troncos	Total			
Brasil	Manaus, AM			18,02	7,60	25,62	Klinge, 1973
	Maracá, RR	1,72	2,38	4,10	0,98	5,08	Scott <i>et al.</i> , 1992
Guiana Francesa	Piste de Sainte-Elie	3,60	11,42	15,02	3,49	18,51	Puig & Delobelle, 1988: 12
Média				12,38	4,02	16,40	

O efeito da exploração madeireira não é tão simples como pode parecer. Mediante a remoção dos troncos das árvores grandes, a eficiência de queimada aumentará, assim como a taxa de decomposição média da biomassa não-queimada. Isto é porque os galhos de diâmetro pequeno queimam melhor e decompõem mais rapidamente que grandes troncos.

Os valores para a biomassa da floresta não explorada, para madeira (Fearnside, *sd*)(Tab. 1), representam as melhores avaliações para cada tipo florestal no tempo em que foi levantado pelo Projeto RADAMBRASIL (1973-1983). Há razão para crer que as equipes de avaliação evitaram locais já pesadamente explorados para madeira (Sombroek, 1992). Além disso, danos de exploração madeireira eram muito menos amplos no tempo dos levantamentos do que são no presente. A exploração madeireira está progredindo rapidamente, com a fração das áreas desmatadas que são exploradas para madeira antes da derrubada incrementando visivelmente desde meados dos anos 70, na medida em que o acesso pelas estradas tem melhorado. O número de serrarias que compram madeira explodiu, e os preços da madeira aumentaram (cf. Veríssimo *et al.*, 1992). Além disso, os troncos e a madeira para o carvão vegetal e lenha são às vezes vendidos *após* a queimada.

A redução da biomassa devido a exploração madeireira nas áreas derrubadas é muito mais alta que a redução da biomassa média sobre a floresta como um todo, já que as áreas derrubadas geralmente têm o melhor acesso por estrada. Muito da redução de biomassa da exploração madeireira resultará em liberações de gases similares àquelas que ocorreriam através da derrubada: (1)

decomposição dos resíduos e de um número substancial de árvores não comerciais que são mortas ou danificadas durante o processo de extração; e, (2) decomposição e/ou queima das sobras geradas no processo de serragem, somados a uma decomposição mais lentados produtos feitos da madeira colhida (ver Fearnside, 1995a). Com ajustes para exploração madeireira, as áreas desmatadas em 1990 em Roraima tiveram uma biomassa total média de 427 t ha^{-1} , dos quais 295 t ha^{-1} eram biomassa viva acima do solo, 31 t ha^{-1} morta acima do solo e 101 t ha^{-1} subterrâneas (abaixo do solo).

Em Roraima, dados oficiais indicam uma intensidade atipicamente baixa de exploração madeireira em relação à área desmatada anualmente. Segundo os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 1989 foram explorados 56.003 m^3 de madeira em tora em Roraima (IBGE, 1990). Considerando a taxa de desmatamento de $16.100 \text{ ha ano}^{-1}$ para 1989-1990, a intensidade de exploração teria sido apenas $3,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, presumindo que toda a madeira explorada fosse oriunda de áreas sendo desmatadas naquele ano. Para fins do cálculo atual, foi feita essa presunção; portanto, a intensidade nas áreas de floresta não desmatada é zero. Considerando que uma parte da exploração madeireira provavelmente foi feita nestas florestas remanescentes, as emissões calculadas, tanto para desmatamento quanto para exploração madeireira, são subestimadas.

Interpretação das emissões históricas

O balanço anual não deveria ser confundido com a *mudança* no balanço anual. Muitos componentes do balanço, tais como os fluxos de solos, cupins e vegetação florestal nativa que são perdidos quando a conversão ocorre, não mudarão muito com a passagem do tempo. A questão de quanto as emissões históricas pesarão nas negociações internacionais ainda está aberta. Os países industrializados foram os emissores principais de gases no passado, sobretudo de CO_2 e, qualquer ponderação para emissões históricas por país indubitavelmente refletiria isto.

A área considerada para calcular a perda de fontes e sumidouros em florestas intactas é presumida aqui como todo o montante de 380.200 ha desmatados até 1990 em Roraima, independentemente de quanto tempo se passou desde que a floresta original foi desmatada. Quase todo o desmatamento em Roraima foi feito dentro do atual século.

O tratamento das emissões históricas é importante para estabelecer a maneira como a responsabilidade pelo aquecimento global é compartilhada entre os países. Saber a magnitude das emissões históricas não é necessário, contudo, para o balanço anual (e os seus componentes separados) ser útil na compreensão dos balanços biogeoquímicos globais dos gases envolvidos, é necessário entender: (1) a magnitude das *mudanças* no balanço anual durante os próximos anos na medida em que os dados do inventário nacional são compilados, e (2) a eficácia em potencial das diferentes opções de combate ao efeito estufa na alteração do balanço anual dos gases.

Retirada de carbono pela vegetação de substituição

A paisagem de substituição

Uma Matriz de Markov de probabilidades de transição anual foi construída para calcular a composição da paisagem que substituiu a floresta primária em 1990 e, projetar as mudanças futuras, presumindo que o comportamento dos agricultores e fazendeiros permanecerá inalterado. As probabilidades de transição para pequenos agricultores são derivadas de estudos por satélites das áreas de assentamento do governo (Moran *et al.*, 1994; Skole *et al.*, 1994). As probabilidades para fazendeiros são derivadas do comportamento típico indicado em levantamentos feitos em entrevistas por Uhl *et al.* (1988). Seis usos da terra são considerados, os quais, quando divididos para refletir a estrutura etária, resultam em uma matriz de 98 fileiras e colunas.

A paisagem substituta calculada para 1990 para a Amazônia Legal como um todo foi 5,4% de agricultura, 44,8% de pastagem produtiva, 2,2% de pasto degradado, 2,1% de floresta secundária “jovem” (1970 ou depois) derivada da agricultura, 28,1% de floresta secundária “jovem” derivada de pastagem, e 17,4% de floresta secundária “antiga” (pré-1970).

Já que Roraima não possui áreas significativas de florestas secundárias “antigas” (pré-1970), a adoção para Roraima das demais probabilidades derivadas para a Amazônia Legal levaria às seguintes percentagens de uso da terra nos 380.200 ha desmatadas no estado até 1990: 6,6% de agricultura, 54,3% de pastagens produtivas, 2,7% de pastagens degradadas, 2,5% de floresta secundária “jovem” derivada de agricultura e 34,0% de floresta secundária “jovem” derivada de pastagem.



Figura 1. Pastagem formada em área de floresta derrubada na Colônia Apiaú, Roraima. O carbono contido nos troncos remanescentes da floresta original vai ser transformado em gases de efeito estufa através de combustão quando a pastagem for queimada, ou através da decomposição.

A paisagem substituída eventualmente se aproximaria de um equilíbrio para o estado em 4,0% de agricultura, 43,8% de pastagem produtiva, 5,2% de pastagem degradada, 2,0% de floresta secundária derivada da agricultura e 44,9% de floresta secundária derivada de pastagem, além de um montante insignificante de “floresta” regenerada (definido aqui como floresta secundária com mais de 100 anos). A biomassa total média (peso seco, incluindo componentes subterrâneos e mortos) foi de $43,5 \text{ t ha}^{-1}$ em 1990 nos $410 \times 10^3 \text{ km}^2$ na Amazônia Legal desmatadas nesse ano para usos não-hidrelétricos. Isto representa uma sobre-estimativa para Roraima devido à inexistência de florestas secundárias “antigas”. Em condições de equilíbrio, a biomassa média seria de $28,5 \text{ t ha}^{-1}$ para todas as áreas desmatadas (excluindo hidrelétricas) — e florestas secundárias “antigas” teriam deixado de existir (Fearnside, 1996b).

Taxas de crescimento de florestas secundárias

A taxa de crescimento de florestas secundárias é crítica na determinação da absorção ou retirada de carbono da paisagem de substituição. A maioria das discussões da absorção por florestas secundárias tem presumido que estas crescerão a taxas rápidas que

caracterizam o pousio da agricultura migratória (e.g. Lugo & Brown, 1981; 1982). No entanto, na Amazônia brasileira a maioria dos desmatamentos é para pastagens, com a agricultura migratória possuindo um papel relativamente insignificante (Fearnside, 1993b; 1995b). Florestas secundárias sob pastagens degradadas crescem mais lentamente do que em locais onde apenas culturas anuais haviam sido plantadas depois da derrubada inicial da floresta.

Brown & Lugo (1990) revisaram os dados disponíveis sobre o crescimento das florestas secundárias tropicais. Praticamente toda a informação disponível é de pousios da agricultura migratória. Brown & Lugo (1990:17) traçam um gráfico a mão-livre dos dados disponíveis para florestas secundárias cujas idades variam de 1 a 80 anos, incluindo biomassa para madeira (galhos, gravetos e troncos: 13 pontos de dados), folhas (10 pontos de dados), e raízes (12 pontos de dados). Isto tem sido utilizado para estimar a taxa de crescimento e a razão raiz/caule para pousios em agricultura migratória de diferentes idades. Florestas secundárias em pastagens abandonadas crescem mais lentamente (Guimarães, 1993; Uhl *et al.*, 1988). Estas informações sobre a taxa de crescimento da vegetação secundária de origens diferentes vêm sendo usadas para calcular a absorção de carbono na paisagem em 1990 (Fearnside & Guimarães, 1996).

Emissões líquidas anuais

Considerando apenas o CO_2 , $15,7 \times 10^6$ t de gases foram emitidos (emissão bruta) pelo desmatamento em Roraima (não incluindo emissões da exploração madeireira). A subtração da absorção de 874×10^3 t de CO_2 resulta em uma emissão líquida de $14,8 \times 10^6$ t de CO_2 , ou $4,0 \times 10^6$ t de carbono. Acrescentando os efeitos dos gases-traço, pela utilização dos potenciais de aquecimento global (GWPs) do IPCC de 1995 para um horizonte de tempo de 100 anos (Albritton *et al.*, 1995), os impactos aumentam em 6-10%, ou seja, uma emissão de $4,3-4,4 \times 10^6$ t de carbono equivalente ao carbono do CO_2 para todo o estado. A exploração madeireira acrescenta $0,009 \times 10^6$ t de carbono em forma de CO_2 e, os gases-traço, elevam o impacto para $0,010-0,011 \times 10^6$ t do carbono equivalente ao carbono do CO_2 .

Conclusões

O balanço anual das emissões de gases do efeito estufa provenientes de mudanças de uso da terra em Roraima em 1990 foi

dominado pelo desmatamento. Em termos apenas do dióxido de carbono, aproximadamente 23% foi de emissões imediatas do desmatamento nesse ano, e 77% foi de emissões herdadas principalmente da decomposição e de queimas de biomassa não-queimada deixada do desmatamento de anos anteriores. Devido à taxa de desmatamento ter diminuído de 0,7 para $0,2 \times 10^3 \text{ km}^2 \text{ ano}^{-1}$ entre 1989 e 1990, o balanço anual proveniente do desmatamento (*i.e.*, excluindo a exploração madeireira) é maior que as emissões líquidas comprometidas, ou somas líquidas de gases do efeito estufa que serão finalmente emitidos em consequência do desmatamento feito em 1990. O balanço anual é mais alto em 31% se apenas o CO_2 for levado em conta, e em 35-36% se também for incluído o impacto em termos de equivalentes de CO_2 de outros gases. As emissões líquidas comprometidas seriam iguais ao balanço anual que prevaleceria se o desmatamento continuasse em uma taxa constante durante um período longo.

Os montantes de emissões líquidas (excluindo a exploração madeireira) são calculados para cenários de baixo e alto gases-traço, expressando a gama de estimativas disponíveis para os valores dos fatores de emissão, mas não a gama de dúvidas para estimativas de biomassa e das taxas de desmatamento. As emissões líquidas calculadas para Roraima em 1990, expressadas em milhares de toneladas de gás foram: CO_2 : 14.815-14.836; CH_4 : 18,5-23,2; CO: 40,7-51,2; N_2O : 1,5-3,0; NO_x : -21,0; NMHC: 13,9. A exploração madeireira liberou $33 \times 10^3 \text{ t}$ adicionais de gás de CO_2 , e os gases-traço adicionaram mais $4,3\text{-}8,0 \times 10^6 \text{ t}$ de CO_2 equivalente.

Agradecimentos

O *Pew Scholars Program in Conservation and the Environment* forneceu apoio financeiro. S. V. Wilson fez comentários úteis sobre o manuscrito. R. I. Barbosa ajudou na tradução para o português.

Bibliografia

- Albritton, D.L.; Derwent, R.G.; Isaksen, I.S.A.; Lal, M. & Wuebbles, D.J. (1995). Trace gas radiative forcing indices. In: J.T. Houghton; L. G. Meira Filho; J. Bruce; Hoesung Lee; B. A. Callander; E. Haites; N. Harris & K. Maskell (compiladores) *Climate Change 1994: Radiative Forcing of Climate Change and An Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios*. Cambridge University Press, Cambridge, Inglaterra. pp. 205-231.

- Barbosa, R.I. (1994). *Efeito Estufa na Amazônia: Estimativa da Biomassa e a Quantificação do Estoque e Liberação de Carbono na Queima de Pastagens Convertidas de Florestas Tropicais em Roraima, Brasil*. Dissertação de Mestrado em Ecologia, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) & Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Manaus. 85 p.
- Barbosa, R.I. & Fearnside, P.M. (1996a). Pasture burning in Amazonia: Dynamics of residual biomass and the storage and release of aboveground carbon. *Journal of Geophysical Research* 101 (p.20).
- Barbosa, R.I. & Fearnside, P.M. (1996b). Carbon and nutrient flows in an amazonian forest: fine litter production and composition Colônia do Apiaú, Roraima. *Tropical Ecology* 37(1):115-125.
- Brown, S. & Lugo, A.E. (1990). Tropical secondary forests. *Journal of Tropical Ecology*, 6: 1-32.
- Buschbacher, R.J. (1984). *Changes in Productivity and Nutrient Cycling following Conversion of Amazon Rainforest to Pasture*. Tese de Doutorado (PhD. em Ecologia), University of Georgia, Athens, Georgia, E.U.A.
- Cuevas, E. & Medina, E. (1988). Nutrient dynamics within Amazonian forests. II. Fine root growth, nutrient availability and leaf litter decomposition. *Oecologia*, 76: 222-235.
- Dantas, M. & Phillipson, J. (1989). Litterfall and litter nutrient content in primary and secondary Amazonian 'terra firme' rain forest. *Journal of Tropical Ecology*, 5: 27-36.
- Fearnside, P.M. (1980). The effects of cattle pastures on soil fertility in the Brazilian Amazon: consequences for beef production sustainability. *Tropical Ecology*, 21(1): 125-137.
- Fearnside, P.M. (1991). Greenhouse gas contributions from deforestation in Brazilian Amazonia. In: J. S. Levine (compilador) *Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, E.U.A. pp. 92-105.
- Fearnside, P.M. (1992). *Greenhouse Gas Emissions from Deforestation in the Brazilian Amazon*. Carbon Emissions and Sequestration in Forests: Case Studies from Developing Countries. Volume 2. LBL-32758, UC-402. Climate Change Division, Environmental Protection Agency, Washington, DC & Energy and Environment Division, Lawrence Berkeley Laboratory (LBL), University of California (UC), Berkeley, California, E.U.A. 73 p.
- Fearnside, P.M. (1993a). Desmatamento na Amazônia: Quem tem razão - o INPE ou a NASA? *Ciência Hoje*, 16(96): 6-8.
- Fearnside, P.M. (1993b). Deforestation in Brazilian Amazonia: The effect of population and land tenure. *Ambio*, 22(8): 537-545.
- Fearnside, P.M. (1994). Biomassa das florestas amazônicas brasileiras. In: *Anais do Seminário Emissão x Sequestro de CO₂*. Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), Rio de Janeiro. pp. 95-124.
- Fearnside, P.M. (1995a). Global warming response options in Brazil's forest sector: Comparison of project-level costs and benefits. *Biomass and Bioenergy*, 8(5): 309-322.
- Fearnside, P.M. (1995b). Quem desmata a Amazônia: Os pobres ou os ricos? *Ciência Hoje*, 19(113): 26-33.

- Fearnside, P.M. (1996a). Amazonia and global warming: Annual balance of greenhouse gas emissions from land use change in Brazil's Amazon region. In: J. Levine (compilador) *Biomass Burning and Global Change*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, E.U.A. (no prelo).
- Fearnside, P.M. (1996b). Amazonian deforestation and global warming: Carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest. *Forest Ecology and Management*, 80(1-3): 21-34.
- Fearnside, P.M. (1997a). Greenhouse gases from deforestation in Brazilian Amazonia: Net committed emissions. *Climatic Change* 35 (3).
- Fearnside, P.M. (1997b). Wood density for estimating forest biomass in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management* 90(1): 59-89.
- Fearnside, P.M. (s/d). Biomass of Brazil's Amazonian forests (em preparação).
- Fearnside, P.M. & Guimarães, W.M. (1996). Carbon uptake by secondary forests in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 80(1-3): 35-46.
- Fearnside, P.M. & Ferraz, J. (1995). A conservation gap analysis of Brazil's Amazonian vegetation. *Conservation Biology*, 9(5): 1134-1147.
- Fearnside, P.M.; Graça, P.M.L.A. & Rodrigues, F.J.A. (s/d-a). Burning of Amazonian rainforests: Burning efficiency and charcoal formation in forest cleared for cattle pasture near Manaus, Brazil (em preparação).
- Fearnside, P.M., Graça, P.M.L.A.; Leal Filho, N.; Rodrigues, F.J.A. & Robinson, J.M. (s/d-b). Tropical forest burning in Brazilian Amazonia: Measurements of biomass, combustion efficiency and charcoal formation at Altamira, Pará (em preparação).
- Fearnside, P.M.; Barbosa, R.I. & Graça, P.M.L.A. (s/d-c). Burning of secondary forest in Amazonia: Biomass, combustion efficiency and charcoal formation during land preparation for agriculture in Roraima, Brazil (em preparação).
- Fearnside, P.M.; Tardin, A.T. & Meira Filho, L.G. (1990). Deforestation rate in Brazilian Amazonia. Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, São Paulo. 8 p.
- Fearnside, P.M.; Leal Filho, N. & Fernandes, P.M. (1993). Rainforest burning and the global carbon budget: Biomass, combustion efficiency and charcoal formation in the Brazilian Amazon. *Journal of Geophysical Research*, 98(D9): 16.733-16.743.
- Franken, M.; Irmiler, U. & Klinge, H. (1979). Litterfall inundation, riverine and terra firme forests of Central Amazonia. *Tropical Ecology*, 20(2): 225-235.
- Guimarães, W.M. (1993). *Liberção de carbono e mudanças nos estoques dos nutrientes contidos na biomassa aérea e no solo resultante de queimadas de florestas secundárias em áreas de pastagens abandonadas, em Altamira, Pará*. Dissertação de Mestrado em Ecologia, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade do Amazonas (INPA/FUA), Manaus. 69 p.
- IBDF (Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal) (1983). *Alteração da Cobertura Vegetal Natural do Território de Roraima: Anexo Relatório Técnico*. Ministério da Agricultura, IBDF, Brasília. 79 p.
- IBDF (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) (1990). *Anuário Estatístico do Brasil 1990*. Vol. 50. IBDF, Rio de Janeiro.

- IBDF & IBDF (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística & Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal) (1988). Mapa de Vegetação do Brasil. Escala 1:5.000.000. IBDF, Rio de Janeiro.
- INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) (1988). Região Norte. (Mosaico de imagens de LANDSAT-TM de 1986 e 1987). INPE, São José dos Campos, São Paulo.
- INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) (1989). *Avaliação da Cobertura Florestal na Amazônia Legal Utilizando Sensoriamento Remoto Orbital*. INPE, São José dos Campos, São Paulo. 54 p.
- Kaplan, W.A.; Wofsy, S.C.; Keller, M. & da Costa, J.M. (1988). Emission of NO and deposition of O₃ in a tropical forest system. *Journal of Geophysical Research*, 93: 1389-1395.
- Kauffman, J.B.; Cummings, D.L.; Ward, D.E. & Babbitt, R. (1995). Fire in the Brazilian Amazon: Biomass, nutrient pools, and losses in slashed primary forest. *Oecologia*, 104: 397-408.
- Keller, M.; Jacob, D.J.; Wofsy, S.C. & Harriss, R.C. (1991). Effects of tropical deforestation on global and regional atmospheric chemistry. *Climatic Change*, 19(1-2): 139-158.
- Keller, M.; Kaplan, W.A. & Wofsy, S.C. (1986). Emissions of N₂O, CH₄ and CO₂ from tropical forest soils. *Journal of Geophysical Research*, 91: 11.791-11.802.
- Klinge, H. (1973). Biomassa y materia orgánica del suelo en el ecosistema de la pluviselva centro-amazónica. *Acta Científica Venezolana*, 24(5): 174-181.
- Klinge, H. (1977). Fine litter production and nutrient return to the soil in three natural forest stands of Eastern Amazonia. *Geo-Eco-Trop*, 1(2): 159-167.
- Klinge, H. & Rodrigues, W.A. (1968). Litter production in an area of Amazonian terra firme forest. Part I. Litter-fall, organic carbon and total nitrogen contents of litter. *Amazoniana*, 1(4): 287-302.
- Lang, G.E. & Knight, D.H. (1979). Decay rates of boles for tropical trees in Panama. *Biotropica*, 11(4): 316-317.
- Lugo, A.E. & Brown, S. (1981). Tropical lands: popular misconceptions. *Mazingira*, 5(2): 10-19.
- Lugo, A.E. & Brown, S. (1982). Conversion of tropical moist forests: a critique. *Interciencia*, 7(2): 89-93.
- Luizão, F.J. (1989). Litter production and mineral element input to the forest floor in a Central Amazonian forest. *Geo-Journal*, 19(4): 407-417.
- Martius, C. (1989). *Untersuchungen zur Ökologie des Holzabbaus durch Termiten (Isoptera) in zentralamazonischen Überschwemmungswäldern (Várzea)*. AFRA-Verlag, Frankfurt am Main, Alemanha. 285 p.
- Martius, C.; Fearnside, P.M.; Bandeira, A.G. & Wassmann, R. (1996). Deforestation and methane release from termites in Amazonia. *Chemosphere*, 33(3): 517-536.
- Moran, E.F.; Brondizio, E.; Mausel, P. & Wo, Y. (1994). Integrating Amazonian vegetation, land-use, and satellite data. *BioScience*, 44(5): 329-338.

- Projeto RADAMBRASIL (1973-1983). *Levantamento de Recursos Naturais, Vols. 1-23*. Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), Rio de Janeiro.
- Puig,H. & Delobelle,J.P. (1988). Production de litière, nécromasse, apports minéraux au sol par la litière en forêt Guyanaise. *Revue Ecologie (Terre Vie)*, 43: 3-22.
- Rasmussen,R.A. & Khalil,M.A.K. (1988). Isoprene over the Amazon Basin. *Journal of Geophysical Research*, 93: 1417-1421.
- Scott,D.A.; Proctor,J. & Thompson,J. (1992). Ecological studies on a lowland evergreen rain forest on Maracá Island, Roraima, Brazil. II . Litter and nutrient cycling. *Journal of Ecology*, 80: 705-717.
- Silva,M.F.F. (1984). Produção anual de serrapilheira e seu conteúdo mineralógico em mata tropical de terra firme, Tucuruí-PA. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Botânica*, 1(1/2): 111-158.
- Silva,M.F.F. & Lobo,M.G.A. (1982). Nota sobre deposição da matéria orgânica em floresta de terra firme, várzea e igapó. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, 56: 1-13.
- Skole,D.L.; Chomentowski,W.H.; Salas,W.A. & Nobre,A.D. (1994). Physical and human dimensions of deforestation in Amazonia. *BioScience*, 44(5): 314-322.
- Skole,D. & Tucker,C. (1993). Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: Satellite data from 1978 to 1988. *Science*, 260: 1905-1910.
- Sombroek,W.G. (1992). Biomass and carbon storage in the Amazon ecosystems. *Interciencia*, 17(5): 269-272.
- Stark,N. & Spratt,M. (1977). Biomass and nutrient storage in rainforest oxisols near San Carlos de Rio Negro. *Tropical Ecology*, 18(1): 1-9.
- Tardin,A.T.; Lee,D.C.L.; Santos,R.J.R.; de Assis,O.R.; dos Santos Barbosa,M.P.; de Lourdes Moreira,M.; Pereira,M.T.; Silva,D. & dos Santos Filho,C.P. (1980). *Subprojeto Desmatamento, Convênio IBDF/CNPq-INPE 1979*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) Relatório No. INPE-1649-RPE/103. INPE, São José dos Campos, São Paulo. 44 p.
- Uhl,C. & Saldarriaga,J. (sd). The disappearance of wood mass following slash and burn agriculture in the Venezuelan Amazon. (manuscrito não publicado).
- Uhl,C.; Buschbacher,R. & Serrão,E.A.S. (1988). Abandoned pastures in Eastern Amazonia. I . Patterns of plant succession. *Journal of Ecology*, 76: 663-681.
- Veríssimo,A.; Barreto,P.; Mattos,M.; Tarifa,R. & Uhl,C. (1992). Logging impacts and prospects for sustainable forest management in an old Amazonian frontier: The case of Paragominas. *Forest Ecology and Management*, 55: 169-199.



Philip Martin Fearnside é PhD em Ciências Biológicas (Depto. de Ecologia e Biologia Evolucionária) pela Universidade de Michigan e Pesquisador Titular do INPA. Há mais de 20 anos dedica seus estudos à região Amazônica. Seu campo de investigação são os agroecossistemas amazônicos, com interesse particular pelos impactos regionais e globais provocados pela troca do uso da terra na região.