



Queimada inicial da floresta, predominantemente com queimadas em chamas, libera carbono principalmente em forma de CO<sub>2</sub>.

# EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA ORIUNDAS DA MUDANÇA DO USO DA TERRA NA AMAZÔNIA BRASILEIRA

## Capítulo 3

**RESUMO:** Uso da terra e mudança do uso da terra na Amazônia contribuem para mudanças climáticas globais de diversas maneiras. No período de 1981-1990, a emissão comprometida líquida de gases causadores do efeito estufa na Amazônia brasileira somaram 6,6% da emissão total antropogênica global, incluindo combustíveis fósseis e mudanças do uso da terra. Gases são liberados pelo desmatamento através da queima e decomposição da biomassa, pelos solos,



pela exploração madeireira, pelas hidrelétricas, pelo gado e pelas queimadas recorrentes de pastagens e de capoeiras. Incêndios florestais também emitem gases, mas não estão incluídos nos cálculos. A perda de um possível sumidouro de carbono no crescimento da floresta em pé também não está incluída. “Emissões líquidas comprometidas” representam o saldo líquido, ao longo de um período longo, das emissões e absorções de gases por sumidouros, principalmente a absorção de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) pelo crescimento da vegetação. Os gases-traço, tais como metano ( $\text{CH}_4$ ) e Óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), não entram na fotossíntese. Portanto, quando estes gases são liberados pelas queimadas, eles se acumulam na atmosfera mesmo quando a biomassa se recupera totalmente (por exemplo, no caso do capim). As emissões líquidas comprometidas em 1990, que é o ano padrão para inventários nacionais sob a Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (UN-FCCC), calculadas de desmatamento (não incluindo emissões da exploração madeireira ou do corte de cerrado) totalizaram  $934 \times 10^6$  t de  $\text{CO}_2$ ,  $1,3\text{-}1,5 \times 10^6$  t de  $\text{CH}_4$ ,  $30\text{-}37 \times 10^6$  t de CO, e  $0,07\text{-}0,18 \times 10^6$  t de  $\text{N}_2\text{O}$ . O impacto dos diferentes gases pode ser traduzido em equivalentes de  $\text{CO}_2$ , por exemplo, usando os potenciais de aquecimento global (GWPs) de 100 anos, derivados do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) e adotados pelo Protocolo de Kyoto. Estas emissões são equivalentes a  $267\text{-}278 \times 10^6$  t de carbono equivalente a carbono de  $\text{CO}_2$ . (t C). Emissões de  $\text{CO}_2$  incluem  $270 \times 10^6$  t de gás da queimada inicial,  $628 \times 10^6$  t de decomposição,  $57 \times 10^6$  t de queimadas subseqüentes de biomassa da floresta primária, e  $43 \times 10^6$  t de carbono do solo nos 8 m superiores. A longo prazo, a paisagem de substituição chega a armazenar  $65 \times 10^6$  t C, ou 6,5% da emissão total. As faixas de variação de emissões dadas acima se referem aos cenários de gases-traço baixo e alto, refletindo a gama de fatores de emissão que aparecem na literatura para diferentes processos de queima e de decomposição. Estes cenários não refletem a incerteza nos valores sobre taxa de desmatamento, biomassa de floresta, intensidade de exploração madeireira e outras entradas no cálculo. Algum carbono entra nos sumidouros através da conversão para carvão ( $5,0 \times 10^6$  t C) e para carbono de particulados grafiticos ( $0,42 \times 10^6$  t C).

Outras mudanças climáticas afetadas pelo desmatamento incluem a menor quantidade de chuvas devido à diminuição da reciclagem de água, sobretudo na época seca. As queimadas também afetam a formação de nuvens e alteram a química da atmosfera de diversas maneiras, além do efeito estufa. A contribuição da perda de floresta a estas mudanças climáticas, junto com outras mudanças globais, tais como a perda de biodiversidade, fundamenta a adoção de uma estratégia nova para sustentar a população da região. Ao invés de destruir a floresta para poder produzir algum tipo de mercadoria, como é o padrão atual, se usaria a manutenção da floresta como gerador de fluxos monetários, baseados nos serviços ambientais da floresta, ou seja, o valor de evitar os impactos que se seguem após sua destruição.

**Palavras chave:** Aquecimento global, carbono, desmatamento, efeito estufa, mudança de clima, serviços ambientais

## I. INTRODUÇÃO

O desmatamento na Amazônia brasileira libera quantidades de gases do efeito estufa que são significativas tanto em termos do impacto presente quanto do potencial para contribuição a longo prazo com a continuação do desmatamento da vasta área de florestas restante no Brasil. A forma em que são calculadas as emissões pode ter um grande efeito sobre o impacto atribuído ao desmatamento. Dois índices importantes para expressar o impacto do desmatamento sobre o efeito estufa são: emissões líquidas, comprometidas, e o balanço anual de emissão líquida (ou, mais simplesmente, o “balanço anual”).

Emissão líquida comprometida representa a contribuição em longo prazo para transformar a cobertura florestal em uma nova paisagem, usando como base de comparação, o mosaico de usos da terra, que seria o resultado de uma condição de equilíbrio criada por projeção das tendências atuais. Isto inclui emissões de decomposição e de requeimada dos troncos que não queimam quando a floresta é derrubada e queimada inicialmente (emissão comprometida), e absorção de carbono pelo crescimento de florestas secundárias em locais abandonados depois de uso em agricultura e em pecuária bovina (absorção comprometida) (Fearnside, 1997a).

Emissão líquida comprometida considera as emissões e absorções que acontecerão na medida em que a paisagem se aproxima de uma nova condição de equilíbrio em uma determinada área desmatada. Aqui a área considerada são os  $13,8 \times 10^3 \text{ km}^2$  da floresta amazônica que foram cortados no Brasil em 1990, o ano de referência para os inventários nacionais de gases do efeito estufa sob a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (UN-FCCC). As “emissões prontas” (emissões que entram na atmosfera no ano do desmatamento) são consideradas junto com as “emissões atrasadas” (emissões que entrarão na atmosfera em anos futuros), assim como também a absorção correspondente pelo recrescimento da vegetação de substituição nos locais desmatados. Não incluídas são as emissões de gases-traço da queima e decomposição de floresta secundária e da biomassa de pastagem na paisagem de substituição, embora sejam incluídos gases-traço e fluxos de gás carbônico para emissões oriundas de remanescentes da biomassa da floresta original, de perda de fontes e sumidouros de florestas intatas, e de estoques de carbono do solo. Emissão líquida comprometida é calculada como a diferença entre o carbono presente na floresta e na paisagem de substituição em equilíbrio, com fluxos de gases-traço calculados baseados nas frações da biomassa que queimam ou decompõem por diferentes processos.

Em contraste com a emissão líquida comprometida, o balanço anual considera as liberações e absorções dos gases do efeito estufa em um determinado ano (Fearnside, 1996a). O balanço anual considera a região inteira (não só a parte desmatada em um único ano), e considera os fluxos de gases entrando e deixando a região por emissões de áreas recentemente desmatadas e pelas emissões e absorções “herdadas” nos desmatamentos de idades diferentes na paisagem. Emissões e absorções herdadas são os fluxos que acontecem no ano em questão, que são os resultados dos desmatamentos feitos em anos anteriores, por exemplo, da decomposição ou da requeimada de biomassa remanescente da floresta original. O balanço anual também inclui gases-traço da queima e decomposição de floresta secundária e de pastagens.

O balanço anual representa uma medida instantânea dos fluxos de gases do efeito estufa, sendo o gás carbônico um deles. Embora os cálculos presentes sejam feitos em uma base anual, eles são chamados de “instantâneos” aqui para enfatizar o fato que eles não incluem as conseqüências futuras de desmatamento e de outras ações que acontecem durante o ano em questão.

O presente trabalho atualiza estimativas anteriores das emissões líquidas comprometidas (Fearnside, 1997a) e do balanço anual (Fearnside, 1996a) e incorpora informações adicionais sobre densidade de madeira (Fearnside, 1997b), biomassa debaixo do solo, biomassa de cerrado (Graça, 1997), liberação de carbono do solo (Fearnside & Barbosa, 1998), eficiências de queimada, formação de carvão e outros fatores.

## II. BIOMASSA FLORESTAL

A biomassa média presente nas florestas primárias na Amazônia brasileira foi calculada baseada em análise de dados sobre volume de madeira publicados de 2.954 ha de inventários florestais distribuídos em toda a região (atualizado de Fearnside, 1994). Biomassa total média





Re-queimada das áreas desmatadas para manter pastagens livres de invasoras lenhosas também queima troncos remanescentes da floresta original. Os troncos queimam sem chamas formando brasas, assim liberando  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$ , que são gases do efeito estufa mais potentes que o  $\text{CO}_2$  que predomina na queimada inicial.



(inclusive os componentes mortos e debaixo do solo) é calculada em  $463 \text{ t ha}^{-1}$  para todas as florestas maduras, não exploradas para madeira, originalmente presentes na Amazônia Legal brasileira. A biomassa média acima do solo é de  $354 \text{ t ha}^{-1}$ , dos quais  $28 \text{ t ha}^{-1}$  estão mortos; a média da biomassa debaixo do solo é calculada em  $109 \text{ t ha}^{-1}$ . Estas estimativas incluem a densidade de madeira calculada separadamente para cada tipo de floresta, baseado no volume de cada espécie presente e nos dados publicados sobre densidade básica para 274 espécies (Fearnside, 1997b). As estimativas da biomassa total são desagregadas por estado e por tipo de floresta, assim permitindo o uso dos dados junto com os dados sobre desmatamento baseados no satélite LANDSAT, que são divulgados para cada unidade federativa (Fearnside, 1993, 1997c).

As áreas protegidas e desprotegidas de cada tipo de vegetação em cada um dos nove estados na Amazônia Legal foram calculadas (Fearnside & Ferraz, 1995). Multiplicando a biomassa por hectare de cada tipo de floresta pela área desprotegida presente em cada estado, pode-se calcular a biomassa cortada, caso que presumindo que o desmatamento dentro de cada estado esteja distribuído entre os diferentes tipos de vegetação na mesma proporção que os tipos de vegetação são presentes na área desprotegida do estado. Através de ponderação da média da biomassa pela taxa de desmatamento em cada estado, o total médio de biomassa sem exploração madeireira em áreas cortadas em 1990 foi calculado em  $433 \text{ t ha}^{-1}$ , ou 6,5% abaixo da média para florestas sem exploração madeireira, presentes na Amazônia Legal como um todo (veja Fearnside, 1997a). A diferença se deve à concentração da atividade de desmatamento ao longo dos limites sul e oriental da floresta, onde a biomassa por hectare é mais baixa que nas áreas de desmatamento mais lento nas partes central e norte da região.

Os valores para a biomassa de floresta “não explorada para madeira” representam as melhores estimativas para cada tipo de floresta na época em que foi inventariada, ou seja, nos anos 1950 no caso dos inventários florestais feitos pela Organização de Alimentação e Agricultura das Nações Unidas (FAO), que representam 10% dos dados, e no início da década de 1970 no caso dos dados do Projeto RADAMBRASIL, que compõem os 90% restantes dos dados. Os dados da FAO são de Heinsdijk (1957, 1958a,b,c) e Glerum (1960); os dados do Projeto RADAMBRASIL são de Brasil, Projeto RADAMBRASIL (1973-1983). Há certos indícios para acreditar que as equipes de inventário evitaram locais com muita exploração madeireira (Sombroek, 1992). Além disso, os danos de exploração madeireira eram muito menos difundidos na época dos inventários do que é o caso atualmente. A exploração madeireira está progredindo rapidamente, já que a porcentagem das áreas desmatadas que foram antes exploradas para madeira aumentou rapidamente, nos meados da década de 1970, quando o acesso rodoviário melhorou na região. Além disso, madeira para carvão e lenha, às vezes, é cortada e vendida *depois* da queimada.

A redução da biomassa devido à exploração madeireira em áreas que são derrubadas é muito mais alta que a redução da biomassa média para a floresta como um todo, já que as áreas que estão sendo derrubadas geralmente têm o melhor acesso viário. Muito da redução de biomassa pela exploração madeireira resultará em liberação de gás semelhante às liberações que aconteceriam por causa de uma derrubada. Isso ocorre pela decomposição dos resíduos florestais e do número significativo de árvores não-comerciais que são mortas ou danificadas durante o processo de exploração madeireira; e/ou da decomposição e queima dos resíduos descartados no processo de beneficiamento, mais os gases liberados pela decomposição mais lenta dos produtos florestais feitos das toras colhidas (Fearnside, 1995a). Com o ajuste para exploração madeireira, as áreas cortadas em 1990 tiveram uma biomassa total média de  $406 \text{ t ha}^{-1}$ , dos quais  $249 \text{ t ha}^{-1}$  eram de biomassa viva acima do solo,  $59 \text{ t ha}^{-1}$  de biomassa morta acima do solo e  $98 \text{ t ha}^{-1}$  de biomassa debaixo do solo.

### III. EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA

#### a. Queimada inicial

A eficiência da queimada, ou seja, a porcentagem do carbono pré-queima (antes da queima) acima do solo que se supõe ser emitida como gases, foi, em média, 38,8% nas 10 medidas disponíveis em queimadas de florestas primárias na Amazônia brasileira (Tabela 1). Ajustes para o efeito da exploração madeireira sobre a distribuição diamétrica das peças de biomassa dão uma eficiência de 39,4%.

O carvão vegetal formado na queimada é uma maneira pela qual o carbono pode ser transferido para um estoque de longo prazo, e não pode entrar novamente na atmosfera. O carvão no solo é um estoque de longo prazo, que a análise considera como sendo seqüestrado permanentemente. A média das quatro medidas disponíveis de formação de carvão em queimadas em florestas primárias na Amazônia brasileira indica que 2,2% do carbono acima do solo são convertidos em carvão (Tabela 1).

O carbono grafitico particulado é outro sumidouro para o carbono que está queimado. Uma quantidade pequena de carbono elementar é formada como particulados grafiticos na fumaça; mais de 80% do carbono elementar formado permanece no local em forma de carvão (Kuhlbusch & Crutzen, 1995). O carbono grafitico particulado é calculado por meio de fatores de emissão a partir da quantia de madeira que passa pelo processo de combustão. A quantidade de carbono que entra neste sumidouro é apenas 1/13 da que entra no sumidouro de carvão.

A floresta secundária pre-1970 deve ser considerada separadamente da floresta primária, já que estas áreas não são incluídas na estimativa da taxa de desmatamento ( $13,8 \times 10^6 \text{ km}^2 \text{ ano}^{-1}$  em 1990). Uma estimativa grosseira da taxa derrubada da floresta secundária pré-1970 é  $713 \text{ km}^2 \text{ ano}^{-1}$  (Fearnside, 1996a). Floresta secundária pré-1970 só é pertinente ao balanço anual, não à emissão líquida comprometida. A quantidade de gases do efeito estufa assumida do corte de floresta secundária de origem pré-1970 é muito pequena.

São tabuladas emissões e absorções de gases do efeito estufa para o cálculo de emissão líquida comprometida e em um "cenário de gases-traço baixo" (Tabela 2) e um "cenário de gases-traço alto" (Tabela 3). Estes dois cenários usam valores altos e baixos tirados da literatura para os fatores de emissão para cada gás nos diferentes tipos de queimada (revisão da literatura em Fearnside, 1997a). Eles não refletem a incerteza com relação à biomassa de floresta, taxa de desmatamento, eficiência de queimada e outros fatores importantes.

A queimada inicial representa  $270 \times 10^6 \text{ t}$  de gás de  $\text{CO}_2$ , ou 27% da emissão comprometida bruta de  $999 \times 10^6 \text{ t}$ . A emissão bruta de um gás se refere a todas as liberações do gás, mas não às absorções. A contribuição da queimada inicial de  $\text{CH}_4$  é  $0,87\text{-}1,05 \times 10^6 \text{ t}$  do total de  $1,18\text{-}1,51 \times 10^6 \text{ t}$  (70-74%), a de  $\text{CO}_2$  é  $21\text{-}26 \times 10^6 \text{ t}$  do total de  $30\text{-}37 \times 10^6 \text{ t}$  (68-70%) e a de  $\text{N}_2\text{O}$  é  $0,05\text{-}0,14 \times 10^6 \text{ t}$  do total de  $0,07\text{-}0,18 \times 10^6 \text{ t}$  (71-78%). Para compostos de nitrogênio e oxigênio, como  $\text{NO}$  e  $\text{NO}_2$  ( $\text{NO}_x$ ) e para hidrocarbonetos não-metanos (NMHC), se considerados aparte da perda de fontes nas florestas maduras representa, respectivamente,  $0,66 \times 10^6 \text{ t}$  do total de  $0,81 \times 10^6 \text{ t}$  (81%) e  $0,8\text{-}1,10 \times 10^6 \text{ t}$  do total de  $0,63\text{-}1,26 \times 10^6 \text{ t}$  (87-92%).

#### b. Queimadas subsequentes

O comportamento dos fazendeiros com relação à queimada pode alterar a quantidade de carbono que passa para o estoque em longo prazo em forma de carvão. Fazendeiros requeimam as pastagens em intervalos de 2-3 anos para combater a invasão de vegetação lenhosa não comestível. Quando essas requeimas acontecem, os troncos sobre o chão são

frequentemente queimados. Pode ser esperado que algum carvão formado em queimadas anteriores também sofra combustão. Parâmetros para transformações dos estoques brutos de carbono são determinados em Fearnside (1997a: 337-338), com atualizações nos valores para biomassa, fração da biomassa presente acima do solo, eficiência de queimada, formação de carvão e liberação de carbono do solo. Os valores atualizados são especificados em outras partes do atual trabalho. Um cenário típico de três requeimadas ao longo de um período de 10 anos elevaria a porcentagem de C acima do solo que é convertida em carvão para 2,2% a 2,9%. Parâmetros para emissões de carbono por caminhos diferentes, tais como na forma de CO<sub>2</sub>, CO e CH<sub>4</sub>, e para outras emissões de gases-traço, também são apresentados em Fearnside (1997a: 341-344). Os cálculos são realizados por um programa chamado "DEFOREST", mas melhor conhecido como "BIG CARBON", composto de aproximadamente 150 planilhas eletrônicas interligadas.

Tabela 1 - Estudos de combustão e de formação de carvão no Brasil.

Local	Estado	Quei- mada	Biomassa pre- queima acima do solo		Eficiência de queimada % C pre- queima	Formação líquida de carvão		Fonte
			Peso seco (t ha-1)	Carbono (t ha-1)		(t C ha <sup>-1</sup> )	% do C da biomassa pre- queima	
<i>Floresta original (queimada inicial)</i>								
Manaus	Amazonas	1984	264,6	130,2	27,6	3,5	2,7	Fearnside <i>et al.</i> (1993)
Altamira	Pará	1986	263	129,9	41,9	1,6	1,3	Fearnside <i>et al.</i> (1999)
Manaus	Amazonas	1990	368,5	181,7	28,3	3,4	1,8	Fearnside <i>et al.</i> (2001)
Jacundá	Pará	1990	292,4	147,6	51,5			Kauffman <i>et al.</i> (1995)
Marabá	Pará	1991	434,6	218,2	51,3			Kauffman <i>et al.</i> (1995)
Santa Barbara	Rondônia	1992	290,2	142,1	40,5			Kauffman <i>et al.</i> (1995)
	Rondônia		361,2	178,9	56,1			Kauffman <i>et al.</i> (1995)
Jamarí	Rondônia	1992	424,4	203,5	25,1			Carvalho <i>et al.</i> (1995)
Manaus	Amazonas	1992	214,2	96,2	21,9			Araújo (1995)
Tomé Açu	Pará	1993	306,5	142,3	34,6	4,1	2,9	Graça (1997)
Nova Vida	Rondônia	1994	321,9	157	39,0	3,2	2,2	
Média								
<i>Remanescentes da floresta original (queimadas subsequentes)</i>								
Apaiú	Roraima	1991	101,2	48,4	30,1	0,6	1,3	Fearnside <i>et al.</i> (s/d)
Apaiú	Roraima	1993	96,3	46,1	13,2	0,3	0,7	Barbosa & Fearnside
Média			98,7	47,2	21,6	0,5	1,0	(1996)
<i>Floresta secundária (não incluindo remanescentes da floresta original)</i>								
Altamira	Pará	1991	26,1	11,3	25,9	0,1	1,1	Guimarães (1993)
Apiaú	Roraima	1991	41,5	17,8	66,5	0,2	1,2	Fearnside <i>et al.</i> (s/d)
Apiaú	Roraima	1993	6,2	2,8	69,1	0,02	0,8	Barbosa & Fearnside
Média			24,6	10,7	53,6	0,1	1	(1996)
<i>Pastagem</i>								
Apaiú	Roraima	1993	8,0	3,4	93,4	0,04	1,1	Barbosa & Fearnside
(1996)								

Tabela 2 - Emissões líquidas comprometidas de gás de estufa por cada fonte para o desmatamento de 1990 na Amazônia Legal: cenário de gases traço baixo.

Fonte	Área afetada (10 <sup>3</sup> km <sup>2</sup> )	Emissões (milhões de t de gás)					
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>	NMHC
<i>Floresta</i>							
Queimada inicial	13,8	270	0,87	20,9	0,05	0,66	0,55
Requeimadas	13,8	57	0,28	8,89	0,01	0,15	0,14
Decomposição acima do solo por térmitas	13,8	17	0,014				
Outra decomposição acima do solo	13,8	365					
Decomposição debaixo do solo	13,8	247	0,01				
Gado (a)	6,1				0,002		
Solo sob pastagem (a)	6,1		0,0003			-0,01	-0,09
Perda de fontes e sumidouros da floresta intata (a)	7,3						
Carbono do solo (8 m superiores)	13,8	43					
Recrescimento de floresta secundária	13,8	-65					
Subtotal para florestas		934	1,18	29,79	0,07	0,81	0,63
<i>Cerrado</i>							
Queimada inicial	5,0	11	0,04	0,85	0,002	0,03	0,02
Requeimadas	5,0	1	0,01	0,18	0,01	0,003	0,003
Decomposição acima do solo por térmitas	5,0	0,1	0,0001				
Outra decomposição acima do solo	5,0	2					
Decomposição debaixo do solo	5,0	9					
Gado (a)	5,0		0,008				
Solo sob pastagem (a)	5,0				0,002		
Perda de fontes e sumidouros de cerrado intato (a) (b)	5,0		0,0002			-0,0004	-0,004
Carbono do solo (8 m superiores)	5,0	16					
Recrescimento de floresta secundária	5,0	-9					
Subtotal para cerrado		31	0,05	1,03	0,004	0,03	0,02
Total para a Amazônia Legal		964	1,23	30,83	0,07	0,83	0,66

(a) Efeitos periódicos (metano de gado, sumidouro de metano no solo da floresta, N<sub>2</sub>O do solo da pastagem), somado ao longo de um período de 100 anos para consistência com os cálculos da IPCC para um horizonte de tempo de 100 anos.

(b) fontes de cerrado intato para NO<sub>x</sub> e NMHC foram derivadas da emissão por hectare de floresta, presumindo que a emissão é proporcional ao peso seco da biomassa foliar das árvores em cada ecossistema. Para cerrado, biomassa seca de folhas de árvores (estação seca) = 0,756 t ha<sup>-1</sup> (dos Santos, 1989: 194); floresta (em Tucuruí, Pará) = 12,94 t ha<sup>-1</sup> (Revilla Cardenas *et al.*, 1982).



Tabela 3 - Emissão líquida comprometida de gás de efeito estufa por cada fonte do desmatamento de 1990 na Amazônia Legal: cenário de gases traço alto.

Fonte	Área afetada (10 <sup>3</sup> km <sup>2</sup> )	Emissões (milhões de t de gás)					
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>	NMHC
<i>Floresta</i>							
Queimada inicial	13,8	270	1,05	26,13	0,14	0,66	1,10
Requeimadas	13,8	57	0,44	11,32	0,03	0,15	0,25
Decomposição acima do solo por térmitas	13,8	17	0,014				
Outra decomposição acima do solo	13,8	365					
Decomposição debaixo do solo	13,8	247	0,01				
Gado (a)	6,1				0,002		
Solo sob pastagem (a)	6,1		0,0003			-0,01	-0,09
Perda de fontes e sumidouros da floresta intata (a)	7,3						
Carbono do solo (8 m superiores)	13,8	43					
Recrescimento de floresta secundária	13,8	-65					
Subtotal para florestas		934	1,51	37,45	0,18	0,81	1,26
<i>Cerrado</i>							
Queimada inicial	5,0	11	0,04	1,07	0,006	0,027	0,04
Requeimadas	5,0	1	0,01	0,36	0,001	0,005	0,01
Decomposição acima do solo por térmitas	5,0	0,1	0,0001				
Outra decomposição acima do solo	5,0	2					
Decomposição debaixo do solo	5,0	15					
Gado (a)	5,0		0,01				
Solo sob pastagem (a)	5,0				0,002		
Perda de fontes e sumidouros de cerrado intato (a) (b)	5,0		0,0002			-0,0004	-0,004
Carbono do solo (8 m superiores)	5,0	16					
Recrescimento de floresta secundária	5,0	-9					
Subtotal para cerrado		37	0,07	1,43	0,009	0,03	0,05
Total para a Amazônia Legal		971	1,88	38,87	0,18	0,84	1,31

(a) Efeitos periódicos (metano de gado, sumidouro de metano no solo da floresta, N<sub>2</sub>O do solo da pastagem, metano das hidrelétricas), somado ao longo de um período de 100 anos para consistência com cálculo do IPCC para um horizonte de tempo de 100 anos.

(b) fontes de cerrado intato para NO<sub>x</sub> e NMHC foram derivadas da emissão por hectare de floresta, presumindo que a emissão é proporcional ao peso seco da biomassa foliar das árvores em cada ecossistema. Para cerrado, biomassa seca de folhas de árvores (estação seca) = 0,756 t ha<sup>-1</sup> (dos Santos, 1989: 194); floresta (em Tucuruí, Pará) = 12,94 t ha<sup>-1</sup> (Revilla Cardenas *et al.*, 1982).





Após a queimada inicial, aproximadamente 70% da biomassa aérea da floresta permanecem não queimados. De 1992 até 2002, o carbono nesta biomassa foi omitido dos números oficiais sobre emissões por desmatamento na Amazônia brasileira, assim grosseiramente subestimando o impacto climático do desmatamento. No entanto, este carbono acaba sendo liberado para a atmosfera, ou pela decomposição ou pelas requeimadas.

### **c. Decomposição de remanescentes não queimados**

A decomposição acima do solo de remanescentes não queimados é calculada usando os estudos disponíveis listados em Fearnside (1996a: 611). A decomposição faz uma contribuição significativa às emissões de gases do efeito estufa, e fica aparente que o grande interesse no assunto da queima da biomassa muitas vezes tende a levar as pesquisas a negligenciar as contribuições da decomposição. As estimativas de emissões de gases do efeito estufa do desmatamento, que tem sido divulgadas por fontes oficiais do governo brasileiro (Borges, 1992; Silveira, 1992), são mais baixas que os cálculos no presente trabalho por um fator de três, principalmente porque elas ignoram as emissões herdadas, nas quais a decomposição desempenha um papel grande.

A decomposição bacteriana e a atividade de térmitas acontecem em grande parte durante a primeira década. Emissões de metano por térmitas oriundas da decomposição de biomassa que não queima (Martius *et al.*, 1996) são substancialmente menores que estimativas anteriores (Fearnside, 1991, 1992). Isto ocorre principalmente porque as estimativas do número de térmitas em áreas desflorestadas indicam que as populações são insuficientes para consumir a quantidade de madeira que tinha sido presumida anteriormente. Produção mais baixa de metano (0,002 g CH<sub>4</sub> por g de madeira seca consumida) também contribui para



diminuir as emissões desta fonte, que são calculadas em um total de apenas  $0,014 \times 10^6 \text{ t ano}^{-1}$  de gás de  $\text{CH}_4$  nas áreas desmatadas da floresta original até 1990 (Tabelas 2 e 3).

#### **d. Solo**

A conversão de floresta natural para a paisagem de substituição resultará em um novo equilíbrio de estoques de carbono do solo. Mudanças sob pastagens são particularmente importantes por causa do domínio de pastagens e de florestas secundárias derivadas de pastagens na paisagem que substituiu a floresta. Mudanças na camada superficial do solo (0-20 cm de profundidade de solo sob floresta) são importantes por causa das concentrações mais altas de carbono nesta camada e porque as mudanças acontecem mais rapidamente do que em camadas mais profundas. Um ajuste deve ser feito para a compactação do solo de superfície: é necessário considerar a camada de solo no uso de terra de substituição que é compactado a partir da camada de 0-20 cm do solo sob floresta (Fearnside, 1980). A emissão calculada aqui ( $43 \times 10^6 \text{ t CO}_2$ ) considera os 8 m superiores de solo na floresta, mas apenas considera as emissões nos primeiros 15 anos (Fearnside & Barbosa, 1998). A camada de 1-8 m de profundidade contém um estoque grande de carbono (Nepstad *et al.*, 1994; Trumbore *et al.*, 1995); infelizmente, dados sobre carbono do solo na camada de 1-8 m de profundidade estão disponíveis para apenas um local (Paragominas, Pará). O estoque de carbono no solo profundo pode ser diminuído até um novo nível de equilíbrio mais baixo no decorrer de um longo período de tempo, porque as raízes profundas de árvores na floresta natural são uma fonte de entrada de carbono para esta camada do solo, e pode ser esperado que a substituição da floresta por pastagem e outros tipos de vegetação de raízes pouco profundas mude o equilíbrio entre as entradas de carbono e a oxidação na camada de solo profundo. Transformação de floresta para a paisagem de equilíbrio resulta em uma emissão de  $8,5 \text{ t ha}^{-1}$  de C dos 8 m superiores de solo,  $7,9 \text{ t ha}^{-1}$  das quais provêm do 1 m superior (Fearnside & Barbosa, 1998).

#### **e. Remoção de fontes e sumidouros na paisagem antes do desmatamento**

##### ***1. Sumidouro no solo para $\text{CH}_4$***

O solo em florestas tropicais é um sumidouro natural para metano, removendo  $0,0004 \text{ t C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (Keller *et al.*, 1986). A derrubada da floresta elimina este sumidouro, portanto tendo um efeito igual à criação de uma fonte da mesma magnitude.

##### ***2. Fontes florestais de $\text{NO}_x$ e NMHC***

As folhas da floresta liberam  $0,0131 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de  $\text{NO}_x$  (Kaplan *et al.*, 1988; Keller *et al.*, 1991) e  $0,12 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de hidrocarbonetos não-metanos (NMHC) (Rasmussen & Khalil, 1988: 1420). Não há informações disponíveis sobre as liberações destes gases pela vegetação de substituição. Presumindo que não há nenhuma liberação desses gases das áreas cultivadas e de pastagens produtivas e degradadas, e que as emissões das florestas secundárias são iguais àquelas das florestas primárias, a área desmatada em 1990 implica na perda de fluxos de  $0,01 \times 10^6 \text{ t de NO}_x \text{ ano}^{-1}$  e  $0,09 \times 10^6 \text{ t de NMHC ano}^{-1}$  (Tabelas 2 e 3).

##### ***3. Liberação de $\text{CH}_4$ por térmitas***

Os térmitas na floresta madura liberam metano produzido por bactérias que digerem a celulose sob condições anaeróbicas nos abdômes dos insetos. Estas emissões serão perdidas quando a

floresta é derrubada, mas por muito tempo depois estas emissões serão mais do que compensadas pelos térmitas que ingerem a biomassa que não queima depois do desmatamento. Para calcular as emissões de térmitas na floresta, a informação mais importante é a quantidade absoluta de biomassa que se decompõe anualmente (em  $t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ ), não a taxa (fração) de decomposição por ano. Para liteira fina a quantia pode ser conhecida diretamente a partir de dados sobre as taxas de queda da liteira, já que tudo que cai decompõe e pode ser preesumido que o nível do estoque está em equilíbrio. Para liteira grossa tais dados são indisponíveis, e a quantia que decompõe precisa ser calculada a partir de informações sobre o estoque e a taxa de decomposição. É notável que árvores mortas em uma floresta tropical podem se deteriorar rapidamente. A constante de decomposição ( $k$ ) para a decomposição de troncos no Panamá foi calculado em  $0,461\ ano^{-1}$  para árvores  $>10\ cm$  de diâmetro à altura do peito (DAP=diâmetro a 1,3 m acima do chão), baseado em observações depois de um intervalo de 10 anos (Lang & Knight, 1979). No atual trabalho, no entanto, as taxas mais baixas de decomposição medidas em roças de corte e queima são usadas para toda a biomassa grossa. São calculadas as quantidades de liteira fina e grossa a partir dos estudos disponíveis (Fearnside, 1997a).

#### 4. Possível sumidouro de carbono em floresta em pé

Um possível sumidouro de carbono em floresta em pé não perturbada não é considerado no cálculo presente. Trabalhos de correlação de remansos (“eddy correlation”, ou seja, estudos de movimentos de gás em fluxos de ar dentro e imediatamente acima da floresta) feitos em um local em Rondônia indicaram uma absorção de  $1,0\ 0,2\ t\ C\ ha^{-1}\ ano^{-1}$  (Grace *et al.*, 1995). Isto implica na absorção anual de  $366\ X\ 10^6\ t\ C$  pelos  $358,5\ X\ 10^6\ ha$  de floresta que estavam em pé em 1990 na Amazônia Legal brasileira, e uma perda da absorção anual de  $1,4\ X\ 10^6\ t\ C$  por causa dos  $1,38\ X\ 10^6\ ha$  de desmatamento feito em 1990. Malhi *et al.* (1996, citado por Higuchi *et al.*, 1997: 99) calcularam uma absorção de  $1,6\ t\ 5,6\ t\ C\ ha^{-1}\ ano^{-1}$  baseado em medidas de correlação de remanso perto de Manaus. Higuchi *et al.* (1997: 99) calcularam uma absorção de  $1,2\ t\ C\ ha^{-1}\ ano^{-1}$  em 3 ha de medidas de crescimento de floresta ao longo do período de 1986-1996 perto de Manaus. Por outro lado, medidas de crescimento da floresta ao longo de intervalos de 10-16 anos no período 1980-1997 em 32 parcelas de 1 ha cada localizadas  $>300\ m$  da borda mais próxima da floresta em outro local perto de Manaus não indicam nenhum crescimento líquido (W.F. Laurance, comunicação pessoal, 1997; também veja os mesmos dados em 36 parcelas de testemunho de 1 ha cada, localizadas  $>100\ m$  da borda mais próxima da floresta: Laurance *et al.*, 1997).

Interesse em pesquisas sobre um possível sumidouro de carbono em florestas em pé é intenso, e avaliações de dados de inventário estão em andamento para ver se a área basal muda em parcelas de floresta sob monitoramento em longo prazo, assim como esforços para estender os estudos de correlação de remanso, o que pode indicar a existência de um sumidouro. Dado a vasta área de floresta ainda em pé, até mesmo uma absorção pequena por hectare faria uma contribuição significativa ao balanço de carbono global. Uma cobertura geográfica grande é necessária para tirar conclusões, já que a absorção em um local pode ser contrabalanceada por emissões em outros locais. A escala de tempo indubitavelmente também é importante: em longo prazo, a floresta “madura” não pode continuar crescendo em biomassa, muito embora desequilíbrios ao longo de períodos de anos ou décadas ainda sejam importantes para entender a dinâmica de carbono global, inclusive o esclarecimento do chamado “sumidouro faltante”. Uma absorção aumentaria o impacto do desmatamento, eliminando parte do sumidouro. Por exemplo, se o sumidouro fosse  $0,45\ t\ C\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ , os  $1,38\ X\ 10^6\ ha$  de desmatamento feito em 1990 eliminariam um sumidouro anual de  $0,621\ X\ 10^6\ t\ C$ , enquanto a perda anual atribuível aos  $41,6\ X\ 10^6\ ha$  que tinham sido perdidos até 1990 somaria  $18,72\ X\ 10^6\ t\ C$ . Embora a quantia de perda de sumidouro pelo desmatamento de um único ano pode parecer modesta comparada



às emissões de biomassa de floresta causadas pelo desmatamento, o fato de que a perda do sumidouro representa um fluxo anual, ao invés de uma emissão de uma vez só, significa que este teria conseqüências significativas no decorrer do tempo se o sumidouro tiver uma duração de décadas ou mais.

#### **f. Represas hidrelétricas**

Um dos impactos de represas hidrelétricas na Amazônia é a emissão de gases do efeito estufa. Represas hidrelétricas existentes na Amazônia brasileira emitiram aproximadamente  $0,27 \times 10^6$  t de metano e  $37 \times 10^6$  t de gás carbônico em 1990. O fluxo de  $\text{CO}_2$  em 1990 inclui parte do grande pico de liberação de carbono pela decomposição acima da água, das árvores que foram deixadas em pé nos reservatórios de Tucuruí (criado em 1984), Balbina (criado em 1987) e Samuel (criado em 1988). A maioria da liberação de  $\text{CO}_2$  acontece na primeira década depois de completar a barragem. As emissões de metano representam uma adição permanente aos fluxos dos gases do efeito estufa da região, ao invés de uma única liberação de uma vez só. A área total de reservatórios planejados na região é aproximadamente 20 vezes a área que existia em 1990, portanto, implicando uma liberação anual em potencial de metano de cerca de  $5,2 \times 10^6$  t. Aproximadamente 40% dessa liberação calculada são de decomposição subaquática da biomassa florestal, que é o mais incerto dos componentes no cálculo. Metano também é liberado de água aberta, tapetes de macrófitas, e da decomposição da biomassa florestal acima da água (Fearnside, 1995b, 1997d). Aumentos significativos nas estimativas de emissões de metano por represas hidrelétricas, devido à liberação desse gás da água que passa pelas turbinas e pelo vertedouro (Galy-Lacaux *et al.*, 1999; Fearnside, 2002) não estão incluídos ainda nos valores apresentados acima.

#### **g. Exploração madeireira**

Em uma situação típica, as florestas acessíveis por terra ou por transporte fluvial são exploradas para madeira, reduzindo assim a biomassa tanto pela remoção de madeira como por matar ou danificar muitas árvores não colhidas. Essa floresta já degradada pela exploração madeireira é derrubada posteriormente para agricultura ou pecuária bovina.

O efeito da exploração madeireira não é tão direto quanto poderia parecer. A remoção dos fustes das árvores grandes aumenta a eficiência de queimada, assim como também aumenta a taxa de decomposição média da biomassa não queimada. Isto é porque os galhos de diâmetro pequeno queimam melhor e se decompõem mais rapidamente do que os grandes troncos. Estas mudanças compensarão parcialmente a redução nas emissões devido à biomassa menor. Em cálculos que incluem taxas de desconto ou ponderação por preferência temporal, é dada ênfase às emissões no curto prazo, e o efeito de exploração madeireira no impacto de desmatamento quando as áreas exploradas para madeira são desmatadas; subseqüentemente será reduzido mais ainda, já que os troncos grandes removidos teriam decomposição lenta se tivessem sido deixados para serem cortados no processo de desmatamento.

### **IV. ABSORÇÃO PELA VEGETAÇÃO DE SUBSTITUIÇÃO**

#### **a. A Paisagem de substituição**

Uma matriz de Markov de probabilidades anuais de transição foi construída para calcular a composição da paisagem em 1990 e para projetar mudanças futuras, presumindo que o comportamento dos fazendeiros permanece inalterado. As probabilidades de transição para agricultores pequenos foram derivadas usando os resultados de estudos de satélite em áreas de

assentamento (Moran *et al.*, 1994; Skole *et al.*, 1994). As probabilidades para fazendeiros foram derivadas do comportamento típico indicado por levantamentos através de entrevistas realizadas por Uhl *et al.* (1988). São considerados seis usos da terra, que, quando divididas para refletir a estrutura etária das parcelas, resulta em uma matriz de 98 fileiras e colunas.

A paisagem calculada para 1990 em áreas desmatadas era composta de 5,4% áreas cultivadas, 44,8% pastagens produtivas, 2,2% pastagens degradadas, 2,1% floresta secundária “jovem” (1970 ou depois) derivada da agricultura, 28,1% floresta secundária “jovem” derivada das pastagens, e 17,4% floresta secundária “velha” (pré-1970). Esta paisagem chegaria a um equilíbrio de 4,0% para áreas cultivadas, 43,8% para pastagens produtivas, 5,2% para pastagens degradadas, 2,0% para floresta secundária derivada de agricultura, e 44,9% para floresta secundária derivada de pastagens. Uma quantidade insignificante é “floresta regenerada” (definida como floresta secundária com mais de 100 anos). A biomassa total média (matéria seca, inclusive debaixo do solo e componentes mortos) foi de 43,5 t ha<sup>-1</sup> em 1990 nos 410 X 10<sup>3</sup> km<sup>2</sup> desmatados antes daquele ano para usos que não sejam represas hidrelétricas. A biomassa média em equilíbrio seria 28,5 t ha<sup>-1</sup> em toda a área desmatada (excluindo represas) (Fearnside, 1996b). Fontes oficiais alegam uma absorção maciça de C em “plantações”, com o resultado que as emissões líquidas do desmatamento seriam zero (ISTOÉ, 1997). Esta alegação está completamente discrepante com os resultados apresentados no atual trabalho.

Uma quantificação melhor dos sumidouros de carbono, tais como florestas secundárias, é importante por razões científicas e diplomáticas. Do ponto de vista científico, são melhores avaliações dos fluxos de carbono para estes sumidouros para ter estimativas melhores das emissões líquidas, e, por conseguinte, estimativas melhores de quantidades tais como o “sumidouro faltante”. No lado diplomático, são criticados freqüentemente os cientistas que trabalham com o efeito estufa por gastar quase todo o tempo e dinheiro deles medindo emissões de carbono em vez de sumidouros, com a implicação de que é, portanto, pouco surpreendente que os pesquisadores concluam que as emissões de carbono representam um problema grave. Investigação completa de todos os possíveis sumidouros impediria o uso de tais argumentos por aqueles que estão à procura de desculpas para recusar tomar medidas contra o efeito estufa.

## **b. Taxas de crescimento de florestas secundárias**

A taxa de crescimento das florestas secundárias é crítica na determinação da absorção de carbono pela paisagem de substituição. A maioria das discussões de absorção através de florestas secundárias presume que estas crescerão às taxas rápidas que caracterizam os pousios de agricultura itinerante (por exemplo, Lugo & Brown, 1981, 1982). Na Amazônia brasileira, no entanto, a maioria do desmatamento é para pastagens, e a agricultura itinerante desempenha um papel relativamente secundário (Fearnside, 1993). Florestas secundárias em pastagens degradadas crescem muito mais lentamente do que em locais onde foram plantadas apenas culturas anuais após a derrubada inicial da floresta.

Brown & Lugo (1990) revisaram os dados disponíveis sobre crescimento de florestas secundárias tropicais. As informações disponíveis são virtualmente todas de pousios de agricultura itinerante. Brown & Lugo (1990: 17) desenharam, à mão livre, um gráfico dos dados disponíveis para florestas secundárias que variaram em idade de 1 a 80 anos, inclusive biomassa de madeira (gravetos, galhos e talos: 13 pontos de dados), folhas (10 pontos de dados), e raízes (12 pontos de dados). Isto foi usado para calcular a taxa de crescimento e a razão das partes subterrâneas às partes aéreas (razão raiz/broto) para pousios de agricultura itinerante de idades diferentes. Florestas secundárias em pastagens abandonadas crescem mais lentamente (Guimarães, 1993; Uhl *et al.*, 1988). Foram usadas estas informações sobre



taxas de crescimento de vegetação secundária de origens diferentes para calcular a absorção pela paisagem em 1990 (Fearnside & Guimarães, 1996).

## V. BALANÇO ANUAL DE EMISSÕES LÍQUIDAS

São apresentadas na Tabela 4 as fontes das emissões e absorções de gases do efeito estufa para o balanço anual em 1990 para o cenário de gases traço baixo, e na Tabela 5, o cenário de gases traço alto. Considerando somente o CO<sub>2</sub>, 1.218-1.233 X 10<sup>6</sup> t de gás foram emitidas (emissão bruta) através do desmatamento (não incluindo emissões da exploração madeireira). Subtraindo a absorção de 29 X 10<sup>6</sup> t de gás de CO<sub>2</sub> rende uma emissão líquida de 1.189-1.204 X 10<sup>6</sup> t de CO<sub>2</sub>, ou 324-328 X 10<sup>6</sup> t de carbono. Acrescentando os efeitos de gases-traço, usando os potenciais de aquecimento global (GWPs) do Segundo Relatório de Avaliação (SAR), do IPCC, para um horizonte de tempo de 100 anos, os impactos aumentam para 353-359 X 10<sup>6</sup> t de carbono equivalente de carbono de CO<sub>2</sub>. Consideração de mais efeitos indiretos dos gases traço elevaria estes valores substancialmente: o SAR reconhece alguns efeitos indiretos do CH<sub>4</sub>, mas nenhum do CO<sub>2</sub>, que é um componente importante das emissões da queima de biomassa. Exploração madeireira acrescentaria 224 X 10<sup>6</sup> t de gás de CO<sub>2</sub>, mais gases traço que elevariam o impacto para 228-229 X 10<sup>6</sup> t de gás equivalente de CO<sub>2</sub> (63 X 10<sup>6</sup> t de carbono equivalente a carbono de CO<sub>2</sub>).

Em termos de gás carbônico da biomassa da floresta original, apenas 27% da emissão (antes de subtrair as absorções) no balanço anual foi de emissões prontas de desmatamento naquele ano, e 73% foram de emissões herdadas da decomposição e queimada de biomassa não queimada oriunda de derrubadas feitas em anos anteriores. Por causa das emissões herdadas mais altas nas áreas desmatadas nos anos de desmatamento mais rápido que precederam o ano 1990, o balanço anual é mais alto que as emissões líquidas comprometidas em 27-29% se só é considerado o CO<sub>2</sub>, e em 29-32% se também são incluídos os equivalentes de CO<sub>2</sub> dos outros gases. Emissões líquidas comprometidas seriam iguais ao balanço anual se o desmatamento fosse proceder a uma taxa constante ao longo de um período prolongado.

A emissão líquida comprometida e o balanço anual são comparados na Tabela 6, para os cenários de gases-traço baixo e alto, ambos considerando apenas o CO<sub>2</sub> e considerando os equivalentes de CO<sub>2</sub> calculados com os potenciais de aquecimento global (GWPs) usados pelo Segundo Relatório de Avaliação (SAR) da IPCC com 100 anos de integração. Também são tabuladas as emissões de exploração madeireira. Inclusão de gases traço (usando os GWPs do SAR para 100 anos) aumenta o impacto da emissão líquida comprometida em 5-9%, e do balanço anual em 8-11%. É provável que os impactos dos gases traço aumentem quando a IPCC chegar a um acordo sobre os efeitos indiretos adicionais dos gases. Por exemplo, se o impacto de CO fosse calculado usando o potencial de aquecimento global de 2 que foi adotado no relatório da IPCC de 1990 (Shine *et al.*, 1990: 60), mas não usados nos relatórios subsequentes enquanto não há acordo, o balanço anual seria aumentado pelo equivalente de 75-92 X 10<sup>6</sup> t de gás de CO<sub>2</sub>, enquanto a inclusão do efeito adicional de CO em estender a vida atmosférica de CH<sub>4</sub> devido à remoção dos radicais OH (Shine *et al.*, 1990: 59) aumentaria este impacto ainda mais.

## VI. CONCLUSÕES

1. Em 1990, o ano para a linha de base dos inventários nacionais sob a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima, mudanças de uso da terra nos 5 X 10<sup>6</sup> km<sup>2</sup> da Amazônia Legal incluíram 13,8 X 10<sup>3</sup> km<sup>2</sup> de desmatamento, aproximadamente 5 X 10<sup>3</sup> km<sup>2</sup> de

Tabela 4 - Balanço anual em 1990 de emissões líquidas por fonte na área originalmente florestada da Amazônia Legal brasileira (a): cenário de gases traço baixo.

Fonte	Emissões (milhões de t de gás)						Sumidouro (milhões de t de carbono)	
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>	NMHC	Carbono de carvão vegetal	Carbono Grafítico
<i>Biomassa da Floresta</i>								
<i>Original</i>								
Queimada inicial	269,97	0,87	20,96	0,05	0,66	0,66	3,52	0,2
Requeimadas	65,95	0,32	10,21	0,01	0,51	0,16	1,05	0,08
Decomposição acima do solo por térmitas	14,6	0,02						
Outra decomposição acima do solo	357,08							
Decomposição debaixo do solo	321,55							
<i>Biomassa da Floresta</i>								
<i>Secundária</i>								
Queimada (b)	52,06	0,17	4,03	0,01	0,06	0,11	0,25	0,04
Decomposição acima do solo por térmitas	0,98	0,001						
Outra decomposição acima do solo	21,29							
Decomposição debaixo do solo	23,6							
Térmitas na floresta secundária		0,003						
<i>Biomassa de floresta secundária pré-1970</i>								
Queimada inicial	5,34	0,017	0,419	0,001	0,013	0,012	0,069	0,004
Requeimadas	0,85	0,004	0,135	2E-04	0,007	0,002	0,014	0,001
Decomposição acima do solo por térmitas	0,21	2E-04						
Outra decomposição acima do solo	5,21							
Decomposição debaixo do solo	3,03							
Térmitas na floresta secundária pré-1970		0,004						



Tabela 4 (continuação).

Fonte	Emissões (milhões de t de gás)						Sumidouro (milhões de t de carbono)	
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>	NMHC	Carbono de carvão vegetal	Carbono Grafítico
<i>Queimada de pastagens</i>	(c)	0,07	1,69	0,004	0,12	0,05	0,08	0,02
<i>Represas hidrelétricas</i>								
Biomassa florestal	35,75	0,12						
Água		0,11						
Macrófitas		0,04						
<i>Outras fontes</i>								
Gado		0,31						
Solo sob pastagens				0,07				
Perda de fontes e sumidouros de floresta intacta		0,02			-4,24	-0,46		
Perda de térmitas de floresta natural		-0,03						
Carbono do solo (8 m superiores)	56,65							
<i>Emissões totais</i>	1233,4	2,04	37,37	0,16	-2,87	0,45	4,98	0,34
<i>Absorção</i>	-28,98							
<i>Emissões líquidas</i>	1204,1	2,04	37,37	0,16	-2,87	0,45	4,98	0,34

(a) Desmatamento na área originalmente florestada em 1990 foi 1.381.800 ha.

(b) A queimada de floresta secundária inclui tanto a inicial quanto as queimadas subseqüentes para floresta secundária derivada de ambos agricultura e pastagem, e para pastagens degradadas que estão cortadas e recuperadas.

(c) O CO<sub>2</sub> das queimadas para manutenção de pastagens não é contado, já que isto é re-assimilado anualmente com o recrescimento das pastagens, fazendo com que o fluxo líquido seja igual a zero. O fluxo bruto em 1990 desta fonte é calculado em 22 milhões de t de gás de CO<sub>2</sub>.

corte de cerrado, que originalmente ocupou aproximadamente 20% da Amazônia Legal, 7 X 10<sup>2</sup> km<sup>2</sup> em florestas secundárias "velhas" (pre-1970) e 19 X 10<sup>3</sup> km<sup>2</sup> em florestas secundárias "jovens" (1970+); queimada de 40 X 10<sup>3</sup> km<sup>2</sup> de pastagens produtivas (33% da área presente), e recrescimento em 121 X 10<sup>3</sup> km<sup>2</sup> de florestas secundárias "jovens". Nenhuma represa hidrelétrica nova foi criada em 1990, mas a decomposição continuou nos 4,8 X 10<sup>3</sup> km<sup>2</sup> de reservatórios já existentes. O ritmo anual de exploração madeireira na região foi presumida ser 24,6 X 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> de toras, a taxa oficial para 1988.

2. A biomassa total média sem exploração madeireira para florestas originais na

Tabela 5 - Balanço anual de emissões líquidas em 1990 por fonte na área originalmente florestada da Amazônia Legal brasileira (a): cenário de gases traço alto.

Fonte	Emissões (milhões de t de gás)						Sumidouro (milhões de t de carbono)	
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>	NMHC	Carbono de carvão vegetal	Carbono Grafítico
<i>Biomassa da Floresta Original</i>								
Queimada inicial	269,97	1,05	26,13	0,05	0,66	1,1	3,52	0,24
Requeimadas	64,95	0,51	12,99	0,1	0,51	0,31	1,05	0,12
Decomposição acima do solo por térmitas	16,02	0,02						
Outra decomposição acima do solo	357,09							
Decomposição debaixo do solo	321,53							
<i>Biomassa da Floresta Secundária</i>								
Queimada (b)	40,24	0,16	3,89	0,008	0,04	0,16	0,23	0,04
Decomposição acima do solo por térmitas	0,93	0,0007						
Outra decomposição acima do solo	20,25							
Decomposição debaixo do solo	22,49							
Térmitas na floresta secundária		0,003						
<i>Biomassa de floresta secundária pré-1970</i>								
Queimada inicial	5,34	0,021	0,516	0,001	0,013	0,022	0,069	0,005
Requeimadas	0,85	0,007	0,17	0,001	0,007	0,004	0,014	0,002
Decomposição acima do solo por térmitas	0,23	0,0002						
Outra decomposição acima do solo	5,31							
Decomposição debaixo do solo	3,03							
Térmitas na floresta secundária pré-1970		0,0027						



Tabela 5 (continuação).

Fonte	Emissões (milhões de t de gás)						Sumidouro (milhões de t de carbono)	
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>	NMHC	Carbono de carvão vegetal	Carbono Grafítico
<i>Queimada de pastagens</i>	(c)	0,08	2,02	0,004	0,11	0,08	0,08	0,02
<i>Represas hidrelétricas</i>								
Biomassa florestal	35,75	0,12						
Água		0,11						
Macrófitas		0,04						
<i>Outras fontes</i>								
Gado		0,29						
Solo sob pastagens				0,07				
Perda de fontes e sumidouros de floresta intacta		0,02			-4,06	-0,44		
Perda de térmitas de floresta natural		-						
		0,03						
Carbono do solo (8 m superiores)	54,43							
<i>Emissões totais</i>	1218,4	2,39	45,72	0,25	-2,71	1,23	4,96	0,42
<i>Absorção</i>	-28,98							
<i>Emissões líquidas</i>	1189,4	2,39	45,72	0,25	-2,31	1,23	4,96	0,42

(a) Desmatamento na área originalmente florestada em 1990 foi 1.381.800 ha.

(b) A queimada de floresta secundária inclui tanto a queimada inicial quanto as queimadas subsequentes para floresta secundária derivada de ambos agricultura e pastagem, e para pastagens degradadas que estão cortadas e recuperadas.

(c) O CO<sub>2</sub> das queimadas para manutenção de pastagens não é contado, já que isto é re-assimilado anualmente pelo recrescimento das pastagens, fazendo com que o fluxo líquido seja igual a zero. O fluxo bruto em 1990 desta fonte é calculado em 21 milhões de t de gás de CO<sub>2</sub>.

Amazônia brasileira é calculada em 463 toneladas por hectare (t ha<sup>-1</sup>), inclusive dos componentes mortos e debaixo do solo. Ajustes para a distribuição espacial do desmatamento e para a exploração madeireira indicam uma biomassa total média desmatada em 1990 de 406 t ha<sup>-1</sup> em áreas de florestas originais, 309 t ha<sup>-1</sup> das quais são acima do solo (expostas à queimada inicial). Além de emissões da queimada inicial, os remanescentes de desmatamentos em anos anteriores emitiram gases por decomposição e por combustão em queimadas.

O Desmatamento mais rápido nos anos que precederem 1990 faz com que as emissões herdadas sejam maiores do que teria sido o caso se a taxa de desmatamento fosse constante ao nível de 1990.

Tabela 6 - Comparação de métodos para calcular o impacto sobre o efeito estufa do desmatamento feito em 1990 em áreas originalmente florestadas na Amazônia brasileira em milhões de toneladas de carbono equivalente a carbono de CO<sub>2</sub>.

Gases incluídos	Emissões líquidas comprometidas (Apenas desmatamento)	Balanço anual		
		Apenas desmatamento	Exploração madeira	Desmatamento + exploração madeira
<i>Cenário de gases traço baixo</i>				
CO <sub>2</sub> apenas	255	328	61	390
CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O	267	353	62	415
<i>Cenário de gases traço alto</i>				
CO <sub>2</sub> apenas	255	324	61	386
CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O	278	359	63	422

3. Emissões líquidas comprometidas (as quantias líquidas de gases do efeito estufa que serão emitidos ao longo prazo como resultado do desmatamento feito em um determinado ano) de desmatamento (não incluindo emissões da exploração madeira ou do corte de cerrado) totalizaram 934 X 10<sup>6</sup> t de CO<sub>2</sub>, 1,3-1,5 X 10<sup>6</sup> t de CH<sub>4</sub>, 30-37 X 10<sup>6</sup> t de CO, e 0,07-0,18 X 10<sup>6</sup> t de N<sub>2</sub>O. Estas emissões são equivalentes a 267-278 X 10<sup>6</sup> t de carbono equivalente a carbono de CO<sub>2</sub>, usando os GWPs de 100 anos do SAR da IPCC. Emissões de CO<sub>2</sub> incluem 270 X 10<sup>6</sup> t de gás da queimada inicial, 628 X 10<sup>6</sup> t de decomposição, 57 X 10<sup>6</sup> t de queimadas subsequentes de biomassa da floresta primária, e 43 X 10<sup>6</sup> t C de carbono do solo nos 8 m superiores. No longo prazo, a paisagem de substituição chega a armazenar 65 X 10<sup>6</sup> C, ou 6,5% da emissão total. As faixas de variação de emissões dadas acima se referem aos cenários de gases traço baixo e alto, refletindo a gama de fatores de emissão que aparecem na literatura para diferentes processos de queima e de decomposição. Estes cenários não refletem a incerteza nos valores sobre a taxa de desmatamento, biomassa de floresta, intensidade de exploração madeira e outras entradas no cálculo. Algum carbono entra em sumidouros através da conversão para carvão (5,0 X 10<sup>6</sup> t C) e para carbono de particulados grafiticos (0,42 X 10<sup>6</sup> t C).

4. O balanço anual de emissões líquidas em 1990 (fluxos líquidos em um único ano na região como um todo) incluiu 1189-1204 X 10<sup>6</sup> t de CO<sub>2</sub>, 2,1-2,4 X 10<sup>6</sup> t de CH<sub>4</sub>, 37,4-45,7 X 10<sup>6</sup> t de CO, e 0,16-0,25 X 10<sup>6</sup> t de N<sub>2</sub>O. Emissões de CO<sub>2</sub> incluem 270 X 10<sup>6</sup> t de gás da queimada inicial, 693-695 X 10<sup>6</sup> t de decomposição, 65-66 X 10<sup>6</sup> t de queimadas subsequentes de biomassa de floresta primária, e 46-58 X 10<sup>6</sup> t de queimada de biomassa de floresta secundária de todas as idades, 54-57 X 10<sup>6</sup> t CO<sub>2</sub> de liberações líquidas de carbono do solo até 8 m de profundidade (primeiros 15 anos apenas), 224 X 10<sup>6</sup> t de exploração madeira e 36 X 10<sup>6</sup> t de reservatórios hidrelétricos. Recrescimento de floresta secundária em 1990 absorveu 29,0 X 10<sup>6</sup> t de gás de CO<sub>2</sub> (apenas 2,4% da emissão total, excluindo hidrelétricas e emissões de pastagens). Pastagens liberam através da queimada (e assimila através do crescimento) 21-22 X 10<sup>6</sup> t de gás de CO<sub>2</sub>, não contadas nos cálculos. O efeito de desmatamento no balanço anual é uma emissão líquida equivalente a 353-359 X 10<sup>6</sup> t de carbono equivalente a carbono de CO<sub>2</sub>, enquanto a exploração madeira acrescenta 62 X 10<sup>6</sup> t de carbono equivalente ao carbono de CO<sub>2</sub>.



5. A emissão líquida comprometida e o balanço anual de emissões líquidas de mudança do uso da terra na Amazônia brasileira em 1990 foram dominados pelo desmatamento. Devido às taxas de desmatamento terem diminuído nos três anos que precedem 1990, o balanço anual de desmatamento (*i.e.*, excluindo a exploração madeireira) foi mais alto que a emissão líquida comprometida.

6. Estes resultados indicam que o desmatamento na Amazônia brasileira contribuiu significativamente para o efeito estufa, e indica a alta prioridade que deveria ser dada à melhoria das estimativas destas emissões e das incertezas contidas nelas. Mudanças no manejo na paisagem desmatada só podem compensar para uma fração pequena deste impacto. Portanto, as medidas que teriam maior potencial para reduzir a emissão líquida de gases do efeito estufa da Amazônia seriam mudanças de política para reduzir a taxa de desmatamento.

## VII. AGRADECIMENTOS

Este é uma tradução atualizada de Fearnside (2000) publicada pelo CRC Press. Uma versão anterior foi apresentada na 7ª Reunião Especial da SBPC: Amazônia no Brasil e no Mundo, Manaus-Amazonas, 25-27 de abril de 2001 (Fearnside, 2001). Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq AI 350230/97-98; AI 465819/00-1; EU 470765/2001-1) e ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA PPIs 5-3150 e 1-3160) para apoio financeiro. R.I. Barbosa e dois revisores anônimos fizeram comentários úteis sobre o manuscrito. Agradeço a N. Hamada, R.B. Matos, M.S. Moura e S.V. Wilson pela correção do português.

## VIII. LITERATURA CITADA

- Araújo, T.M., J.A. Carvalho Jr., N. Higuchi, A.C.P. Brasil Jr. & A.L.A. Mesquita. 1997. Estimativa de taxas de liberação de carbono em experimento de queimada no Estado do Pará. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 69: 575-585.
- Barbosa, R.I. & P.M. Fearnside. 1996. Pasture burning in Amazonia: Dynamics of residual biomass and the storage and release of aboveground carbon. *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)* 101(D20): 25.847-25.857.
- Borges, L. 1992. "Desmatamento emite só 1,4% de carbono, diz Inpe." O Estado de São Paulo, 10 de abril de 1992, p. 13.
- Brasil, 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.
- Brown, S. & A.E. Lugo. 1990. Tropical secondary forests. *Journal of Tropical Ecology* 6: 1-32.
- Carvalho, Jr., J.A., J.M. Santos, J.C. Santos, M.M. Leitão & N. Higuchi. 1995. A tropical rainforest clearing experiment by biomass burning in the Manaus region. *Atmospheric Environment* 29(17): 2301-2309.
- dos Santos, J.R. 1989. Estimativa da biomassa foliar das savanas brasileiras: Uma abordagem por sensoriamento remoto. p. 190-199 In: IV Simpósio Latinoamericano em Percepção Remota, IX Reunião plenária SELPER, 19 al 24 de novembro de 1989, Bariloche, Argentina, Tomo 1. SELPER, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São Paulo.
- Fearnside, P.M. 1980. The effects of cattle pastures on soil fertility in the Brazilian Amazon: Consequences for beef production sustainability. *Tropical Ecology* 21: 125-137.
- Fearnside, P.M. 1991. Greenhouse gas contributions from deforestation in Brazilian Amazonia. p. 92-105 In: J.S. Levine (ed.), *Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications*. MIT Press, Boston, Massachusetts, E.U.A.
- 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. 1993. Deforestation in Brazilian Amazonia: The effect of population and land tenure. *Ambio* 22: 537-545.
- Fearnside, P.M. 1994. Biomassa das florestas Amazônicas brasileiras. p. 95-124 In: Anais do Seminário Emissão X Seqüestro de CO<sub>2</sub>. Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), Rio de Janeiro.
- Fearnside, P.M. 1995a. Global warming response options in Brazil's forest sector: Comparison of project-level costs and benefits. *Biomass and Bioenergy* 8: 309-322.
- Fearnside, P.M. 1995b. Hydroelectric dams in the Brazilian Amazon as sources of 'greenhouse' gases. *Environmental Conservation* 22: 7-19.
- Fearnside, P.M. 1996a. Amazonia and global warming: Annual balance of greenhouse gas emissions from land-use change in Brazil's Amazon region. p. 606-617 In: J. Levine (ed.), *Biomass Burning and Global Change. Volume 2: Biomass Burning in South America, Southeast Asia and Temperate and Boreal Ecosystems and the Oil Fires of Kuwait*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, E.U.A.
- Fearnside, P.M. 1996b. Amazonian deforestation and global warming: Carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest. *Forest Ecology and Management* 80: 21-34.
- Fearnside, P.M. 1997a. Greenhouse gases from deforestation in Brazilian Amazonia: Net committed emissions. *Climatic Change* 35: 321-360.
- Fearnside, P.M. 1997b. Wood density for estimating forest biomass in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management* 90: 59-89.
- Fearnside, P.M. 1997c. Monitoring needs to transform Amazonian forest maintenance into a global warming mitigation option. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 2: 285-302.
- Fearnside, P.M. 1997d. Greenhouse-gas emissions from Amazonian hydroelectric reservoirs: The example of Brazil's Tucuruí Dam as compared to fossil fuel alternatives. *Environmental Conservation* 24: 64-75.
- Fearnside, P.M. 2000. Greenhouse gas emissions from land use change in Brazil's Amazon region. p. 231-249. In: R. Lal, J.M. Kimble & B.A. Stewart (eds). *Global Climate Change and Tropical Ecosystems*. Advances in Soil Science. CRC Press, Boca Raton, Florida, E.U.A. 438 p.
- Fearnside, P.M. 2001. Emissões de Gases de Efeito Estufa Oriundas da Mudança do Uso da Terra na Amazônia Brasileira. In: 7<sup>ª</sup> Reunião Especial da SBPC: Amazônia no Brasil e no Mundo, Manaus-Amazonas, 25-27 de abril de 2001. SBPC, São Paulo. (CD-ROM).
- Fearnside, P.M. 2002. Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil's Tucuruí Dam) and the energy policy implications. *Water, Air and Soil Pollution* 133(1-4): 69-96.
- Fearnside, P.M. & R.I. Barbosa. 1998. Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management* 108: 147-166.
- Fearnside, P.M. & J. Ferraz. 1995. A conservation gap analysis of Brazil's Amazonian vegetation. *Conservation Biology* 9: 1134-1147.
- Fearnside, P.M. & W.M. Guimarães. 1996. Carbon uptake by secondary forests in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology*



- and Management 80: 35-46.
- Fearnside, P.M., N. Leal Filho & F.M. Fernandes. 1993. Rainforest burning and the global carbon budget: Biomass, combustion efficiency and charcoal formation in the Brazilian Amazon. *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)* 98(D9): 16.733-16.743.
- Fearnside, P.M., P.M.L.A. Graça, N. Leal Filho, F.J.A. Rodrigues, & J.M. Robinson. 1999. Tropical forest burning in Brazilian Amazonia: Measurements of biomass loading, burning efficiency and charcoal formation at Altamira, Pará. *Forest Ecology and Management* 123(1): 65-79.
- Fearnside, P.M., P.M.L.A. Graça & F.J.A. Rodrigues. 2001. Burning of Amazonian rainforests: Burning efficiency and charcoal formation in forest cleared for cattle pasture near Manaus, Brazil. *Forest Ecology and Management* 146(1-3): 115-128.
- Fearnside, P.M., R.I. Barbosa & P.M.L.A. Graça. s/d. Burning of secondary forest in Amazonia: Biomass, burning efficiency and charcoal formation during land preparation for agriculture in Apiaú, Roraima, Brazil. (Manuscrito).
- Galy-Lacaux, C., R. Delmas, J. Kouadio, S. Richard & P. Gosse. 1999. Long-term greenhouse gas emissions from hydroelectric reservoirs in tropical forest regions. *Global Biogeochemical Cycles* 13(2): 503-517.
- Glerum, B.B. 1960. Report to the Government of Brazil on a Forestry Inventory in the Amazon Valley (Part Five) (Region between Rio Caete and Rio Maracassume), FAO Report No. 1250, Project No. BRA/FO, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Roma, Itália. 67 p.
- Graça, P.M.L.A. 1997. Conteúdo de Carbono na Biomassa Florestal da Amazônia e Alterações após à Queima. Masters thesis in forest sciences, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo. 105 p.
- Graça, P.M.L.A., P.M. Fearnside, & C.C. Cerri. 1999. Burning of Amazonian forest in Ariquemes, Rondônia, Brazil: Biomass, charcoal formation and burning efficiency. *Forest Ecology and Management* 120(1-3): 179-191.
- Grace, J., J. Lloyd, J. McIntyre, A.C. Miranda, P. Meir, H.S. Miranda, C. Nobre, J. Moncrieff, J. Massheder, Y. Malhi, I. Wright & J. Gash. 1995. Carbon dioxide uptake by an undisturbed tropical rain forest in southwest Amazonia, 1992 to 1993. *Science* 270: 778-780.
- Guimarães, W.M. 1993. Liberação 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. Masters thesis in ecology, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade do Amazônia (INPA/FUA), Manaus. 69 p.
- Heinsdijk, D. 1957. Report to the Government of Brazil on a Forest Inventory in the Amazon Valley (Region between Rio Tapajós and Rio Xingu). FAO Report No. 601, Project No. BRA/FO, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Roma, Itália. 135 p.
- Heinsdijk, D. 1958a. Report to the Government of Brazil on a Forest Inventory in the Amazon Valley (Part Three) (Region between Rio Tapajós and Rio Madeira). FAO Report No. 969, Project No. BRA/FO, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Roma, Itália. 83 p.
- Heinsdijk, D. 1958b. Report to the Government of Brazil on a Forest Inventory in the Amazon Valley (Part Four) (Region between Rio Tocantins and Rios Guamá and Capim). FAO Report No. 992, Project No. BRA/FO, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Roma, Itália. 72 p.
- Heinsdijk, D. 1958c. Report to the Government of Brazil on a Forestry Inventory in the Amazon Valley (Part Two) (Region between Rio Xingu and Rio Tocantins), FAO Report No. 949, Project No. BRA/FO, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Roma, Itália. 94 p.
- Higuchi, N., J. dos Santos, R.J. Ribeiro, J.V. de Freitas, G. Vieira, A. Cöic & L.J. Minette. 1997. Crescimento e incremento de uma floresta amazônica de terra-firme manejada experimentalmente. p. 87-132 In: N. Higuchi, J.B.S. Ferraz, L. Antony, F. Luizão, R. Luizão, Y. Biot, I. Hunter, J. Proctor & S. Ross (eds.), Bionte: Biomassa e Nutrientes Florestais, Relatório Final. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, Amazonas. *ISTOÉ*. 1997. A Versão do Brasil. *ISTOÉ* [São Paulo] 15 de outubro de 1997. 98 p.
- Kaplan, W.A., S.C. Wofsy, M. Keller & J.M. da Costa. 1988. Emission of NO and deposition of O<sub>3</sub> in a tropical forest system. *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)* 93: 1389-1395.
- Kauffman, J.B., D.L. Cummings, D.E. Ward, & R. Babbitt. 1995. Fire in the Brazilian Amazon. 1. Biomass, nutrient pools, and losses in slashed primary forests. *Oecologia* 104: 397-408.
- Keller, M., D.J. Jacob, S.C. Wofsy & R.C. Harriss. 1991. Effects of tropical deforestation on global and regional atmospheric chemistry. *Climatic Change* 19: 139-158.
- Keller, M., W.A. Kaplan & S.C. Wofsy. 1986. Emissions of N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> from tropical forest soils. *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)* 91: 11.791-11.802.
- Kuhlbusch, T.A.J. & P.J. Crutzen. 1995. A global estimate of black carbon in residues of vegetation fires representing a sink of atmospheric CO<sub>2</sub> and a source of O<sub>3</sub>. *Global Biogeochemical Cycles* 9: 491-501.
- Lang, G.E. & D.H. Knight. 1979. Decay rates of boles for tropical trees in Panama. *Biotropica* 11: 316-317.
- Laurance, W.F., S.G. Laurance, L.V. Ferreira, J.M. Rankin-de-Merona, C. Gascon & T.E. Lovejoy. 1997. Biomass collapse in Amazonian forest fragments. *Science* 278: 1.117-1.118.
- Lugo, A.E. & S. Brown. 1981. Tropical lands: Popular misconceptions. *Mazingira* 5: 10-19.
- Lugo, A.E. & S. Brown. 1982. Conversion of tropical moist forests: A critique. *Interciencia* 7: 89-93.
- Malhi, Y., N. Higuchi, A.D. Nobre, J. Grace, R.J. Ribeiro, M. Pereira, A. Marques Filho, A. Culf, J. Massheder, S. Scott

- & J. Moncrief. 1996. Direct measurements of carbon uptake by Amazonian rain forest. Relatório não publicado.
- Martius, C., P.M. Fearnside, A.G. Bandeira, & R. Wässmann. 1996. Deforestation and methane release from termites in Amazonia. *Chemosphere* 33: 517-536.
- Moran, E.F., E. Brondizio, P. Mausell & Y. Wo. 1994. Integrating Amazonian vegetation, land-use, and satellite data. *BioScience* 44: 329-338.
- Nepstad, D.C., C.R. Carvalho, E.A. Davidson, P.H. Jipp, P.A. Lefebvre, G.H. Negreiros, E.D. Silva, T.A. Stone, S.E. Trumbore & S. Vieira. 1994. The role of deep roots in the hydrological cycles of Amazonian forests and pastures. *Nature* 372: 666-669.
- Rasmussen, R.A. & M.A.K. Khalil. 1988. Isoprene over the Amazon Basin. *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)* 93: 1.417-1.421.
- Revilla Cardenas, J.D., F.L. Kahn & J.L. Guillaumet. 1982. Estimativa da Fitomassa do Reservatório da UHE de Tucuruí. p. 1-11 In: Brasil, Presidência da República, Ministério das Minas e Energia, Centrais Elétricas do Norte S.A. (ELETRONORTE) & Brasil, Secretaria do Planejamento, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (SEPLAN-CNPq-INPA), Projeto Tucuruí, Relatório Semestral Jan.-Jun. 1982, Vol. 2: Limnologia, Macrófitas, Fitomassa, Degradação de Fitomassa, Doenças Endêmicas, Solos. INPA, Manaus, Amazonas. 32 p.
- Shine, K.P., R.G. Derwent, D.J. Wuebbles & J.-J. Morcrette. 1990. Radiative forcing of climate. p. 41-68 In: J.T. Houghton, G.J. Jenkins & J.J. Ephraums (eds.), *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 365 p.
- Silveira, V. 1992. "Amazônia polui com apenas 1,4%". *Gazeta Mercantil* [São Paulo] 29 de maio de 1992. p. 2 & 6.
- Skole, D.L., W.H. Chomentowski, W.A. Salas & A.D. Nobre. 1994. Physical and human dimensions of deforestation in Amazonia. *BioScience* 44: 314-322.
- Sombroek, W.G. 1992. Biomass and carbon storage in the Amazon ecosystems. *Interciencia* 17: 269-272.
- Trumbore, S.E., E.A. Davidson, P.B. Camargo, D.C. Nepstad & L.A. Martinelli. 1995. Below-ground cycling of carbon in forests and pastures of eastern Amazonia. *Global Biogeochemical Cycles* 9: 515-528.
- Uhl, C., R. Buschbacher & E.A.S. Serrão. 1988. Abandoned pastures in Eastern Amazonia. I. Patterns of plant succession. *Journal of Ecology* 76: 663-681.