

EFEITO ESTUFA: A CONTRIBUIÇÃO DO DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA
BRASILEIRA

Philip M. Fearnside
Instituto Nacional de Pesquisas
da Amazônia - INPA
C.P. 478
69011-970 Manaus, Amazonas

01 de fevereiro de 1990
14 de maio de 1990
08 de agosto de 1991
13 de agosto de 1991
corr: 9 de outubro de 1996
10 de outubro de 1996

Transl de: Greenhouse Gas Contributions from Deforestation in
Brazilian Amazonia, pp. 92-105 In: J.S. Levine (compilador)
Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic, and Biospheric
Implications. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, E.U.A. 640 p.

RESUMO

A examinação das estimativas, muitas vezes conflitantes, sobre o ritmo e magnitude de desmatamento na Amazônia brasileira leva a uma "melhor estimativa" da área acumulada de floresta derrubada até 1988 de $345 \times 10^3 \text{ km}^2$ (inclusive de desmatamentos antigos), ou 8,2% dos $4 \times 10^6 \text{ km}^2$ que originalmente eram florestadas na região administrativa denominada "Amazônia Legal" ($5 \times 10^6 \text{ km}^2$). Desmatamentos recentes (pós-1960) de florestas primárias e secundárias antigas totalizaram $268 \times 10^3 \text{ km}^2$, ou 6,4%. A inclusão da alteração do cerrado aumenta o total de desmatamentos recentes para $460 \times 10^3 \text{ km}^2$, ou 9,6% da área originalmente sob floresta ou cerrado. A perda da floresta em 1988 estava prosseguindo em $20 \times 10^3 \text{ km}^2/\text{ano}$; inclusão das perdas do cerrado eleva o total para $39 \times 10^3 \text{ km}^2/\text{ano}$, uma área quase o tamanho da Holanda.

A biomassa média (peso seco, acima e abaixo do solo) está estimada em 211 toneladas/ha para áreas de floresta sendo derrubadas em 1988, e 247 toneladas/ha para as florestas da região como um todo (o conteúdo de carbono na biomassa é de 50%).

A biomassa média das pastagens é de 10,7 toneladas/ha. A liberação de carbono (C) do solo pela conversão da floresta em pastagens é 3,92 toneladas/ha dos 20 centímetros superficiais do solo. Se toda a floresta e cerrado fosse convertido em pastagens, 51 bilhões de toneladas (gigatoneladas = GT) de C seriam liberados. A taxa anual de perda de floresta e cerrado em 1988 estava liberando 270×10^6 toneladas de C quando convertido em pastagens. Levando em consideração as quantidades de dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4) liberadas, e o impacto relativamente maior de carbono na forma de metano sobre o efeito estufa, a liberação de carbono nestas duas formas na taxa de desmatamento de 1988 totaliza de 262 a 282 milhões de toneladas, dependendo das presunções sobre a produção de metano pelas queimadas e pelos cupins. Isto é quase três vezes a liberação anual de carbono oriundo do uso de combustíveis fósseis no Brasil, porém traz pouco benefício ao País.

I. INTRODUÇÃO

O efeito estufa é a somatória das ações absorventes de calor dos várias gases que são emitidas pelas atividades humanas e pelos processos naturais nas diferentes partes do mundo. Embora as emissões de dióxido de carbono pelos países industrializados represente o maior fator, outras fontes de gases provocadores do efeito estufa, tais como o desmatamento tropical, também fazem contribuições significantes. Políticas projetadas para controlar o aquecimento global precisam ser baseadas em um entendimento adequado da natureza e da magnitude das fontes de gases, os custos e a eficácia de possíveis mudanças de política, e os benefícios que estão sendo derivados das atividades que hoje estão liberando os gases do efeito estufa. A Amazônia brasileira, com a maior área remanescente de floresta tropical, é de importância central, não somente porque o desmatamento nesta região contribui à atmosfera com uma quantidade substancial de carbono, mas também porque controlar o desmatamento está amplamente justificado da perspectiva dos próprios interesses do Brasil, independente da questão de aquecimento global. Frear a perda da floresta é possível porque o processo de desmatamento no Brasil está sendo empurrado, em grande parte, por fatores que são sujeitos às decisões do governo. Discussões separadas têm sido publicadas sobre as causas do desmatamento no Brasil (Fearnside, 1988a), os seus benefícios minguados (Fearnside, 1986a, 1989a, s/d-a), pesados custos ambientais (Fearnside, 1985a, 1988b, s/d-b), e a sua irracionalidade quando vista da perspectiva dos interesses a longo prazo do País (Fearnside, 1989b,c, s/d-c). Medidas que ajudariam frear a perda de floresta na Amazônia brasileira têm sido revisadas da perspectiva de que o governo brasileiro poderia fazer (Fearnside, 1989d) e das possíveis contribuições de outros países (Fearnside, 1990a). O impacto em potencial do desmatamento sobre outros países faz com que isto seja um foco de preocupação mundial (Fearnside, 1989e).

A contribuição atual e potencial do desmatamento na Amazônia brasileira é incerta devido a pequena quantidade e a baixa confiabilidade de dados sobre vários componentes chaves no cálculo. A grande extensão da Amazônia brasileira (Figura 1), e a sua heterogeneidade, combinado com a carência de dados, fazem com que estas incertezas sejam um ponto fraco nos cálculos do balanço global de carbono.

[Figura 1]

A atual contribuição do desmatamento é uma função da taxa anual em que as florestas estão sendo cortadas, a biomassa das florestas, a divisão da biomassa em compartimentos acima e abaixo do solo, o conteúdo de carbono da vegetação, a fração do carbono acima e abaixo do solo, o conteúdo de carbono da vegetação, a fração do carbono acima do solo que é transferida para depósitos

de longa duração (tais como o carvão vegetal), a fração combustada da biomassa, as práticas de re-queimada das áreas (inclusive as transformações para e de os estoques de carvão vegetal), e a taxa de decomposição dos estoques de carbono no solo sob a vegetação original e sob a vegetação que substitui isto. As razões entre os gases liberadas pelo desmatamento afeta a contribuição ao efeito estufa. O cálculo da liberação potencial também exige o conhecimento da área total para cada tipo de vegetação presente. Todas estas quantidades são incertas. A incerteza do resultado como um todo depende tanto da incerteza de cada fator como da sensibilidade do resultado às mudanças naquele fator. Muitas das incertezas têm efeitos multiplicativos, assim rapidamente degradando a confiabilidade das liberações calculadas (Robinson, 1989). Apesar destas limitações, é essencial que a melhor estimativa possível seja feita dos dados disponíveis. Onde mensurações estão faltando para quantidades necessárias, tais como a biomassa de certos tipos de vegetação, então "chutes" ou presunções baseadas em vegetação semelhante em outros lugares precisam ser usadas. Uso de tais valores de baixa confiabilidade é preferível a extrapolar para a região a partir de algumas poucas medidas de biomassa de alta confiabilidade: é melhor ser aproximadamente correto do que ser precisamente errado. Apesar das diferenças de opinião e os dados conflitantes sobre tais fatores vitais como a biomassa da floresta e a taxa de desmatamento, a conclusão permanece inevitável de que o desmatamento na Amazônia faz uma contribuição significativa ao efeito estufa. Mais fundamental do que as discordâncias sobre a magnitude do desmatamento e da biomassa é a falta de consenso sobre como os resultados devem ser interpretados em termos de mudanças de políticas.

II. TAXAS DE DESMATAMENTO

Existem controvérsias à cerca das estimativas existentes da extensão e ritmo do desmatamento na Amazônia brasileira. Estas controvérsias são analisadas em outra parte deste trabalho e uma "melhor estimativa" foi derivada, e calcula que até 1988, 8,2% da área originalmente florestada da Amazônia Legal brasileira tinha sido desmatada (inclusive de desmatamentos antigos), com desmatamentos recentes na área florestada (virgem + secundária antiga) aumentando em $20 \times 10^3 \text{ km}^2/\text{ano}$ (Fearnside, 1990b).

Grande parte da literatura sobre a contribuição do desmatamento tropical para o aquecimento global tem sido baseada em estimativas de desmatamento da Organização de Alimentação e Agricultura (FAO), da Organização das Nações Unidas, para 1980 (Lanly, 1982). Este levantamento está ambos desatualizado e pouco provável a representar a verdadeira extensão do desmatamento mesmo para o período coberto por ele. As informações relatadas foram coletadas através de um questionário que foi enviado ao governo de cada país, ao invés de obter dados

de qualquer método independente de monitoramento, tal como o sensoriamento remoto. No caso do Brasil a tarefa de responder foi dada à Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM), o órgão responsável por subsidiar e promover grandes fazendas de pecuária na região. Muitas das informações disponíveis na época (revistas em Fearnside, 1982) não são refletidas no relatório.

A estimativa do desmatamento adotada aqui (Fearnside, 1990b) aproveita o máximo possível das medidas de imagens de LANDSAT-TM de 1988 feito pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (Brasil, INPE, 1989a,b). No Estado do Acre uma discrepância com resultados anteriores do Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF, hoje parte do Instituto do Meio-Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis--IBAMA), levou a usar uma projeção a partir de dados de 1985 e 1987 neste Estado. No Estado de Rondônia o valor absoluto de desmatamento foi derivado dos resultados de LANDSAT do INPE, mas um pulo não explicado em relação aos dados de LANDSAT do ano anterior de IBDF (1989) levou a usar uma estimativa da taxa de desmatamento neste Estado derivado de resultados de AVHRR (Malingreau & Tucker, 1988; J.P. Malingreau, comunicação pessoal, 1988; D. Skole, seminário do INPA, 1989; ver Fearnside, 1990b). Em todos os estados os dados do INPE (Brasil, INPE, 1989a,b) foram usado para estimar o desmatamento na área originalmente florestada, mas a alteração do cerrado foi estimada fazendo várias presunções sobre a proporcionalidade de alteração nos diferentes tipos de vegetação, ou continuação de tendências anteriores.

Pelo cálculo de "melhor estimativa" esboçado na Tabela 1, a área desmatada na Amazônia Legal totalizou $353 \times 10^3 \text{ km}^2$, $268 \times 10^3 \text{ km}^2$ (76%) da qual é floresta. Da cobertura vegetal original, 7,4% do total e 6,4% da floresta tinha sido desmatado até 1988. Estes valores não incluem "desmatamentos antigos" (desmatamentos feitos antes de 1960, que o estudo do INPE/Programa Nossa Natureza registrava como sendo 31.822 km^2 no Pará e 60.725 km^2 no Maranhão. Estas florestas secundárias antigas não foram distinguidas nos estudos anteriores de LANDSAT-MSS (ver Fearnside, 1982; 1986b), e, portanto, não podem ser usados no atual estudo com a finalidade de estabelecer tendências através de comparações com os dados anteriores. Os valores do estudo do INPE para floresta secundária antiga têm sido incluídos nos cálculos de biomassa e de liberação de carbono, pela consideração da floresta secundária antiga como um tipo separado de vegetação.

A área que tem perdido a sua cobertura florestal original, inclusive a área dos capoeirões antigos, é do tamanho da Finlândia: $345 \times 10^3 \text{ km}^2$, ou 8,2% da área florestal original.

[Tabela 1]

A taxa média de desmatamento pode ser estimada, de maneira conservadora, presumindo taxas constantes desde a última medida de satélite para área desmatada (Tabela 2). Este procedimento subestima a taxa atual de desmatamento, porque o cálculo faz uma média da derrubada ao longo do período entre as últimas duas medidas de satélite, enquanto todas as evidências indicam que as áreas desmatadas realmente têm, em geral, aumentadas a cada ano.

Uma exceção a esta tendência é 1989, principalmente devido às chuvas mais pesadas durante a época seca, em comparação com os dois anos anteriores. O aumento quase constante da taxa de desmatamento ao longo da última década deixa obsoleta a maioria dos cálculos sobre o efeito estufa, que têm sido baseados em estimativas de desmatamento referente a 1980 ou antes.

[Tabela 2]

III. LIBERAÇÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA

A. ESTIMATIVAS DISPONÍVEIS

Calcular a contribuição potencial do desmatamento ao efeito estufa exige a comparação dos estoques de carbono presentes antes e depois do desmatamento. As estimativas das emissões em potencial vêm se evoluindo na medida em que informações melhores se tornam disponíveis. Uma estimativa (Fearnside, 1985b), baseada em uma classificação de sete categorias para a vegetação feita por Braga (1979) e biomassa para floresta densa baseada na média de resultados dos estudos existentes com medidas diretas, concluiu que a conversão da Amazônia Legal em pastagens liberaria 62 bilhões de toneladas (gigatoneladas = GT) de carbono. A biomassa por hectare usada para a categoria "floresta densa de terra firme" era 361,5 toneladas de peso seco de biomassa total, incluindo biomassa viva acima do solo (251,7 toneladas/ha), abaixo do solo (86,3 toneladas/ha) e serrapilheira e a biomassa morta acima do solo (23,6 toneladas/ha). Este valor para biomassa a partir de medidas diretas é mais alto por um fator de dois do que o valor de 155,1 toneladas/ha para biomassa total derivado por Brown & Lugo (1984) usando levantamentos de volume madeireiro feito pela FAO para "florestas tropicais Americanas latifoliadas produtivas não perturbadas": um valor que tem sido usado em cálculos recentes do balanço global de carbono (e.g. Detwiler & Hall, 1988).

A estimativa de 155,1 toneladas/ha feita por Brown & Lugo (1984) é mais baixa do que valores para biomassa derivados utilizando a mesma metodologia para 15 dos 16 locais para os quais informações sobre volumes estão fornecidas nos relatórios da FAO, fazendo com que seja pouco provável que um valor médio tão baixo aplica às florestas densas da Amazônia brasileira (Fearnside, 1985b, 1986b). Fazendo uma alteração da estimativa,

principalmente pela inclusão na média para floresta densa as informações da FAO sobre volumes madeireiros, e pela utilização de valores para biomassa de pastagens baseados em monitoramento ao longo de um ciclo anual em Altamira (Pará) e Ouro Preto do Oeste (Rondônia) (Fearnside, 1989f), resulta em uma estimativa de 49,7 GT para a liberação em potencial provocada pela conversão em pastagens (Fearnside, 1987). Os cálculos de biomassa no atual trabalho resultam em um valor intermediário de 51 GT (Tabelas 3 e 4).

[Tabela 3]

[Tabela 4]

Os 16 locais no conjunto de dados da FAO têm como média da biomassa total (acima + abaixo do solo) 226,1 toneladas/ha se for calculada usando o fator derivado por Brown & Lugo (1984) para conversão do volume acima do solo em biomassa, e a relação entre biomassa acima e abaixo do solo medida por Klinge *et al.* (1975; ver Fearnside, 1987). Brown *et al.* (1989) recentemente derivaram fatores mais confiáveis para a conversão de volume em biomassa, elevando a estimativa deles para a média da biomassa acima do solo para florestas tropicais Americanas latifoliadas produtivas não perturbadas em 28-47%. A média da biomassa acima do solo de 169,68 toneladas/ha (Brown *et al.*, 1989: 898) está equivalente a 222,3 toneladas/ha de biomassa total, usando o fator de 1,31 de Klinge *et al.* (1975) para a conversão. Isto concorda bem com o valor de 226 toneladas/ha usado aqui para o Pará central (Tabela 3), onde os levantamentos da FAO eram concentrados. Ambos os valores, provavelmente, estão sub-estimativas: o valor usado na Tabela 3 (de Fearnside, 1987) por ter usado a conversão mais baixa (e menos confiável) baseado em Brown & Lugo (1984) e a estimativa mais recente (Brown *et al.*, 1989) por usar um método de ponderação por tipo florestal que resulta em uma média ponderada para volume mais baixo do que o valor encontrado em 15 dos 16 locais que formam a base do levantamento.

B. TRANSFORMAÇÕES DO USO DA TERRA

As pastagens que substituem a floresta duram aproximadamente uma década apenas, antes de parar de serem produtivas. A vegetação que sucede a pastagem tem uma biomassa maior, assim reduzindo a liberação líquida de carbono. No entanto, a degradação do solo sob pastagem, junto com as mudanças esperadas no regime pluviométrico, caso que a escala do desmatamento fosse aumentar bastante, são prováveis a tornar tipos de vegetação disclimax, de baixa biomassa, inclusive formações de gramíneas, a cobertura terrestre dominante numa Amazônia desmatada (Fearnside, 1990c).

A taxa de desmatamento, junto com a biomassa da floresta sendo derrubada, afeta a contribuição atual (distinto da contribuição em potencial) do desmatamento ao efeito estufa. A taxa de desmatamento foi calculada para cada estado (Tabela 6), porém esta precisa ser dividida entre os diferentes tipos de floresta dentro de cada estado. Isto foi feito presumindo-se que, dentro de cada estado, cada tipo de floresta é desmatado na proporção em que ocorra.

Tanto áreas presentes de diferentes tipos de floresta quanto a biomassa de cada tipo são quantidades incertas. Na Tabela 3, os valores relatados têm sido derivados a partir de várias fontes, e têm graus variados de incerteza. Os valores para áreas apresentados na Tabela 3 têm sido arredondados depois de serem feitos os cálculos de liberação de carbono.

O fator que influi mais na biomassa total presente é a floresta densa do Estado do Amazonas. Isto apresenta tanto a maior área quanto a maior biomassa por hectare de todos os tipos de floresta. Acontece que também é a unidade onde foi feito o maior número de mensurações diretas de biomassa. Esta área representa aproximadamente 37% da liberação total em potencial de carbono oriundo da conversão da Amazônia Legal em pastagens.

C. O DESTINO DOS ESTOQUES DE CARBONO

1.) Carbono de Biomassa

O carvão vegetal formado na queimada é um caminho para a transferência de carbono para estoques de longa duração que não pode entrar na atmosfera. Uma queimada de floresta sendo convertida em pastagem perto de Manaus resultou em 3,6% do carbono acima do solo ser convertido em carvão (Fearnside et al., s/d-a). Este valor é substancialmente mais baixo que os 20% presumido por Seiler & Crutzen (1980) quando estes autores identificaram o carvão vegetal como sendo um sumidouro importante para carbono. Utilizando na modelagem do ciclo global de carbono estas taxas mais altas de formação de carvão vegetal resulta na aparência de que o desmatamento tropical é menos importante para o efeito estufa do que seria o caso com as taxas mais baixas de transferência para estoques de longa duração (e.g. Goudriaan & Ketner, 1984).

O comportamento de queimada dos fazendeiros pode alterar a quantidade de carbono que passa para estoques de longa duração, tais como o carvão vegetal. Os cálculos do balanço do carbono geralmente presumem que a floresta está queimada apenas uma vez, e que toda a biomassa não queimada, decompõe subsequente (e.g. Bogdonoff et al., 1985). Isto não é um padrão típico nas pastagens para gado que predominam na Amazônia brasileira. Os fazendeiros queimam as pastagens em intervalos de 2-3 anos para

combater a invasão de vegetação lenhosa. Toras deitadas no chão quando são efetuadas estas re-queimadas muitas vezes são queimadas. Um pouco do carvão vegetal formado nas queimadas anteriores pode ser esperado a ser combustado também. Um cenário típico de três re-queimadas ao longo de um período de dez anos elevaria a percentagem de carbono acima do solo convertida em carvão vegetal de 3,6% para 4,6%, dado as presunções esboçadas na Figura 2 e na Tabela 5.

[Figura 2]
[Tabela 5]

O carbono remanescente seria liberado através da combustão e a decomposição; a importância relativa de cada afeta os gases liberadas. Em um cenário de apenas uma queimada, do carbono presente acima do solo antes da queimada, 27,5% seria liberada através da combustão e 68,9% através da decomposição, enquanto o cenário com três re-queimadas liberaria 40,6% através da combustão e 54,8% através da decomposição. Tanto a combustão quanto a decomposição liberam metano, que é 3,7 vezes mais potente por tonelada de carbono do que o dióxido de carbono em provocar o efeito estufa quando se considera a potencial para aquecimento global ao longo da vida esperada de cada gás, sem aplicação de uma taxa de desconto (Lashof & Ahuja, 1990).

Se for aplicada uma taxa de desconto maior que zero, a importância do CH_4 relativa ao CO_2 aumentaria (e, portanto, a importância do desmatamento tropical relativa às emissões da queima de combustíveis fósseis). Em taxas de desconto de 1%, 2%, 3%, 4% e 5%, respectivamente, o impacto do CH_4 é aproximadamente 12, 17, 22, 25 e 28 vezes maior por molécula que CO_2 (Lashof & Ahuja, 1990). Um método alternativo de dar mais peso aos efeitos de curto prazo é considerar o potencial para aquecimento global sem desconto há um horizonte de planejamento, depois de que nenhum efeito está considerado (Arrhenius & Waltz, 1990). Curtos horizontes de planejamento aumentam o impacto relativo do metano: considerando somente os próximos 30 anos, ao invés dos 150 anos de vida média de uma molécula de CO_2 na atmosfera, aumenta o impacto relativo do CH_4 de aproximadamente 4 para 40 vezes em relação ao impacto do CO_2 .

Mensurações das razões de emissão de CH_4 a CO_2 (expressada como porcentagem de volume) com uma média geométrica de 1,1% variando de 0,5 a 2,3% para amostras coletadas do superfície perto a floresta sendo queimada na Amazônia brasileira (Greenberg *et al.*, 1984) e variando de 0,3-2,0%, com uma média geométrica de 0,8% quando amostrado de avião (Crutzen *et al.*, 1985: 242). A quantidade de metano liberada depende fortemente sobre a razão entre a combustão em brasas e a combustão em chamas: a combustão

em brasas libera substancialmente mais CH_4 . Amostragem a partir de aviões sobrevoando queimadas (na maioria de derrubada de floresta virgem) indica que uma fração substancial da combustão ocorre na forma de brasas (Andreae *et al.*, 1988). Toras consumidas pela re-queimada de pastagens são praticamente todas queimadas através de combustão em brasas ao invés de chamas (observação pessoal).

Cupins são um dos principais agentes de decomposição para madeira não queimada (Uhl & Saldarriaga, s/d). Não existem medidas da fração da biomassa ingerida pelos cupins amazônicos, e o principal especialista em cupins na região somente pode afirmar que "a maior parte" da biomassa remanescente acima do solo após a queimada é ingerida (Adelmar Bandeira, comunicação pessoal, 1990). Os cálculos do atual trabalho presumem que os cupins ingerem 75% da biomassa acima do solo (o ponto médio da variação de 50-100%) e nenhuma parte da biomassa abaixo do solo. Uma controvérsia animada existe sobre a questão de quanto metano é produzido pelos cupins (Collins & Wood, 1984; Fraser *et al.*, 1986; Rasmussen & Khalil, 1983; Zimmerman *et al.*, 1982, 1984). Apoio para a hipótese de emissões em potencial substanciais de cupins nas áreas desmatadas na Amazônia vem das altas densidades populacionais em roçadas no Pará onde a biomassa da floresta permanece (Bandeira & Torres, 1985), e emissões de metano de cupinzeiros perto de Manaus (Goreau & de Mello, 1987). As bilhões de toneladas de madeira que estes insetos devorariam na medida em que a Amazônia fica desmatada não pode deixar de ajudar na liberação de quantidades substanciais de metano, independente da taxa de produção que se mostra correta no final das contas.

A liberação de diferentes gases provocadoras do efeito estufa pode ser calculada baseada nas informações disponíveis de medidas no laboratório e no campo. Cenários de liberação alta e baixa de metano estão apresentados nas Tabelas 6-8, usando uma variação de valores disponíveis para liberação a partir da combustão e dos cupins.

[Tabela 6]

[Tabela 7]

[Tabela 8]

No cenário de baixa liberação de metano, 1.550 g de CO_2 por kg de combustível queimado estão produzidos de queimadas mistas de combustão em chamas e em brasas (*i.e.*, queimadas iniciais) e 1.400 g de CO_2 per kg de combustível em queimadas em brasas (*i.e.*, em re-queimadas) (ambos os valores calculados por Kaufman *et al.*, 1990, de Ward, 1986). Combustão mista produz 5 g de CH_4 /kg de combustível (calculado por Kaufman *et al.*, 1990, de Greenberg *et al.*, 1974). O conteúdo de carbono do combustível é

presumido a ser igual àquele da biomassa sendo cortada (0,50). Os cupins no cenário de liberação baixa de metano emitem como CH₄ 0,2% do carbono ingerido (Seiler et al., 1984, citado por Fraser et al., 1986). As transformações no cenário de liberação baixa de metano estão sumarizadas na Figura 3.

[Figura 3]

No cenário de alta liberação de metano, queimadas mistas e de brasas liberam as mesmas quantidades de dióxido de carbono como no cenário de baixa liberação de metano. O metano está produzido em uma taxa de 6 g/kg de combustível em queimadas mistas e 11 g/kg de combustível em queimadas em brasas (calculado por Kaufman et al., 1990, de Ward, 1986). Cupins liberam 7,8 X 10⁻³ moléculas de CH₄/molécula de CO₂ (Goreau & de Mello, 1987), ou 7,9 g de carbono de CH₄/kg de carbono de combustível, presumindo que todo o carbono está liberado ou como CO₂ ou como CH₄. A liberação de metano dos cupins no cenário de alta liberação de metano é aquela mensurada por Goreau & de Mello (1988) em emissões de cupinzeiros perto de Manaus: um valor um pouco menor que as emissões da espécie de cupins da zona temporada que levaram Zimmerman et al. (1982) a postular emissões maciças a partir de cupins em escala global.

O efeito do metano é de aumentar o impacto da liberação líquida de carbono do desmatamento amazônico em 8-16%, dependendo de se o cenário de baixa ou de alta liberação de metano está usado. O efeito é um pouco menor (7-15%) se a liberação bruta de carbono é considerada, já que a absorção de carbono pela vegetação que substitui a floresta no cálculo de liberação líquida afeta apenas o CO₂, sendo que o CH₄ não entra nas reações fotossintéticas.

Monóxido de carbono (CO) é também produzido pela queimada (Tabelas 6-8). Esta gás contribui indiretamente ao efeito estufa por impedir os processos naturais de limpeza na atmosfera que removam várias gases provocadoras do efeito estufa, inclusive o metano. O monóxido de carbono remove os radicais hidroxilos (OH), que reagem com o CH₄ e com outros gases, inclusive diversos clorofluorocarbonos (CFCs) que provocam a degradação de ozônio estratosférico, além de provocarem o efeito estufa.

Para combustão mista de chamas e de brasas no cenário de baixa liberação, 120 g de CO resultam per kg de combustível (calculado por Kaufman et al., 1990, de dados de Greenberg et al., 1984), enquanto no cenário de alta liberação o valor equivalente é 150 g (calculado por Kaufman et al., 1990, de dados de Crutzen et al., 1985). Presumindo 50% de carbono no combustível, estes valores são equivalentes a 0,096 e 0,12 kg de carbono de CO por kg de carbono de combustível.

Para combustão em brasas no cenário de baixa liberação, 220 g de CO é liberado por kg de combustível (Ward, 1986, citado por Kaufman *et al.*, 1990), enquanto no cenário de alta liberação o valor equivalente é 280 g (calculado por Kaufman *et al.*, 1990, de dados de Greenberg *et al.*, 1984 e Ward, 1986). Presumindo o mesmo conteúdo de carbono no combustível como antes, estes valores são equivalentes a 0,176 e 0,224 kg de carbono de CO por kg de carbono de combustível, respectivamente. Desmatamento completo da Amazônia Legal brasileira liberaria 5-8 GT de CO (Tabela 8). O potencial para aquecimento global de uma molécula de CO, relativa a uma de CO₂, é 1,4 sem desconto, e se eleva para aproximadamente 7 a uma taxa de desconto de 5% por ano (Lashof & Ahuja, 1990). Aqui como no caso de metano, os valores mais conservadores, sem desconto, têm sido usados para calcular os equivalentes de CO₂ (Tabela 6).

Pode-se calcular através da diferença a quantidade de carbono que deve ser liberada em outras formas, tais como hidrocarbonatos não-metanos (NMHCs) e carbono grafítico (fuligem). Os dados disponíveis não são suficientemente confiáveis para calcular as emissões de estes por médio da diferença. Da liberação de carbono da floresta na Tabela 4, pode-se calcular a liberação bruta a partir de biomassa de 105,6 toneladas/ha, enquanto a equivalente liberação bruta de carbono nas formas de CO₂, CH₄ e CO totaliza 103,1 toneladas/ha (da Tabela 6), implica uma diferença de 2,5 toneladas/ha (2,3%) que são presumidas a representar a liberação em outras formas. No entanto, incertezas, tais como o conteúdo de carbono no combustível, usado na derivação das relações para emissões de gases, faz com que esse número seja pouco confiável. A diferença implícita é maior que a liberação sugerida por as razões de emissões a partir de experimentos de laboratório sobre a queima de combustíveis de florestas na zona temperada. Utilizando as razões dos particulados a metano e a dos NMHCs adotados por Kaufman *et al.* (1990; baseado em Ward & Hardy, 1984 e Ward, 1986), os cenários de baixo e alto metano implicam liberações de NMHCs de 0,29 a 0,39 toneladas/ha e 0,22 a 0,29 toneladas/ha para combustão em chamas e em brasas, respectivamente, em um bosque de biomassa média (utilizando a eficiência de combustão de 0,275 de Fearnside *et al.*, s/d-a; ver Figura 2). As liberações comparáveis de particulados totais seriam 1,47 a 1,97 toneladas/ha e 0,73 a 0,98 toneladas/ha; considerando 7% dos particulados totais como carbono grafítico (a fração encontrada sobre fogos amazônicos por Andreae *et al.*, 1988), as liberações de carbono grafítico seriam 0,10 a 0,14 toneladas/ha e 0,05 a 0,07 toneladas/ha.

A queimada também libera o nitroso de oxigênio (N₂O), que contribui tanto ao efeito estufa quanto à degradação do ozônio estratosférico. Queimadas em ambientes não tropicais têm sido encontradas a estimular a liberação do N₂O de solos (Anderson *et*

al., 1988, citado por Kaufman et al., 1990). Um artefato de amostragem fez que as medições de antes de 1989 são inutilizáveis. Todavia, as quantidades produzidas por queima de biomassa são bastante menores do que foi pensado anteriormente. (Crutzen, 1990), fazendo com que ignorar o impacto da liberação de N₂O a partir das queimas não chegará a grandes vícios nos resultados. Uma fonte maior de erro pode ser ignorar a produção biológica de N₂O no solo, que pode ser estimulado pelo desmatamento. O N₂O também é liberado por solos em quantidades maiores nas pastagens de que na floresta (observações durante a época seca perto de Manaus feitos por Goreau et al., 1987; ver também Goreau & de Mello, 1988). As queimadas em ambientes não tropicais estimulam a liberação de N₂O de solos (Anderson et al., 1988, citado por Kaufman et al., 1990).

2.) Carbono do Solo

O carbono do solo sob pastagem é considerado ser a quantidade existente em um perfil equivalente àquele que é compactado de um perfil de 20 cm sob floresta. Não seria justo comparar a quantidade de carbono nos 20 cm superiores do solo sob pastagem com os 20 cm superiores sob floresta, já que o solo sob pastagem sofre compactação quando exposto ao sol, chuva e ao pisoteio do gado. Quando os poros do solo são esmagados e a densidade do solo aumenta, a quantidade de carbono nos 20 cm superiores pode aumentar como resultado do artefato de ser incluído um peso maior de solo no perfil. O carbono nos 20 cm superiores do solo diminui de 0,91% a 0,56%, em termos de peso (ver Fearnside, 1985b), baseado em carbono do solo sob floresta e sob pastagens de 10 e 11 anos em Paragominas (Pará) amostradas por Falesi (1976: 31 e 42). Considerando a densidade do solo como sendo 0,56 g/cm³ sob floresta em Paragominas (Hecht, 1981: 95), a camada compactada dos 20 cm superiores de solo sob floresta libera 3,92 toneladas/ha de carbono.

A liberação de 3,92 toneladas/ha dos 20 cm superiores de solo representa 38% do carbono presente nesta camada antes da conversão em pastagens. Isto é mais alto que os 20% do carbono antes da conversão nos 40 cm superiores do solo que Detwiler (1986) concluiu que é liberado, em média, da conversão para pastagens (baseado em uma revisão da literatura). A diferença não é tão grande como pode aparecer: sendo que a liberação do carbono é maior mais perto do superfície, a consideração do solo até 40 cm de profundidade reduziria a percentagem liberada. Um fator que age para compensar para qualquer sobre-estimativa que possa ser causada pelo uso da percentagem mais alta é o erro sistemático no sentido oposto causado por ter considerado apenas os 20 cm superficiais do solo. Se é considerado o solo até um metro de profundidade (a prática normal), então a liberação seria aumentado em 9,33 toneladas/ha. O cálculo até um metro de profundidade considera que os 20 cm superiores do solo contem 42%

do carbono em um perfil de um metro (baseado em amostras perto de Manaus: Fearnside, 1987). Brown & Lugo (1982: 183) têm usado uma relação semelhante para estimar os estoques de carbono até uma profundidade de um metro a partir de amostras dos 20 cm superficiais, considerando que 45% do carbono em um perfil de um metro esteja localizado nos 20 cm superficiais.

A conversão de toda a floresta e cerrado na Amazônia Legal para pastagens liberaria 1,9 GT de carbono dos 20 cm superficiais do solo: aproximadamente 4% da liberação total da conversão da região em pastagens. Se fosse considerado o solo até a profundidade de um metro, e fosse feita a presunção de que a proporção de carbono liberado permanece constante com o aumento da profundidade, a liberação a partir do solo seria 4,5 GT, ou 8% do total. Considerando o solo até um metro de profundidade acrescentaria 0,014 GT/ano aos 0,010 GT/ano liberados dos 20 cm superficiais, dado a taxa e distribuição geográfica do desmatamento em 1988.

A liberação do carbono do solo seria esperada quando floresta está convertida em pastagens, porque a temperatura do solo aumenta quando a cobertura florestal está removida, assim deslocando o balanço entre a formação e a degradação de carbono orgânico para um nível de equilíbrio mais baixo (Cunningham, 1963; Nye & Greenland, 1960). Vários estudos têm encontrado estoques de carbono menores sob pastagens do que sob florestas (revisados em Fearnside, 1980). Por a mesma razão as gramíneas tropicais naturais também têm pequenas reservas de carbono do solo por hectare que do bosque (Post *et al.*, 1982). Lugo *et al.* (1986), no entanto, têm encontrado aumentos no armazenamento de carbono em solos sob pastagens em Puerto Rico, especialmente em locais mais secos, e sugerem que as pastagens tropicais podem ser sumidouros de carbono. O presente trabalho trata os solos como uma fonte de carbono quando florestas são convertidas em pastagens. Todo o carbono liberado dos solos é presumido ser na forma de CO₂.

D. CONTRIBUIÇÃO GLOBAL DO DESMATAMENTO TROPICAL

Emissões globais de carbono do desmatamento são incertas, em parte por causa da incerteza associada a contribuição grande ao total oriundo do Brasil. Uma estimativa coloca o total anual global em 1,67 GT, dos quais 0,80 GT são consideradas como vindo do Brasil (Goldemberg, 1989). A contribuição brasileira de mais que o dobro da presente estimativa de 0,27 GT se deve, provavelmente, ao uso de estimativas para queimadas do infravermelho de 1987 (Setzer *et al.*, 1988) como sendo a taxa de desmatamento. O total global implica que 0,87 GT de carbono são liberadas anualmente de desmatamentos não brasileiros, e que o total global usando a estimativa atual para Brasil seria 1,14 GT. A contribuição brasileira atual para o total global oriundo de

desmatamento seria 24%. Presumindo uma liberação global total anual de 5 GT da queima de combustíveis fósseis, o desmatamento na Amazônia brasileira contribui com 4,4% do total geral de combustíveis fósseis e desmatamento. Usando a liberação a partir de combustíveis fósseis como o padrão para comparação, como é a prática normal, a taxa anual de desmatamento na Amazônia brasileira representa 5,4% (Tabela 9). Usando as estimativas de emissões para gases individuais produz um resultado semelhante, já que a perda de uma parte do carbono em formas não provocadoras do efeito estufa esteja compensada pelo maior impacto do carbono em forma de metano. Usando a liberação de carbono em equivalentes de CO₂ de 0,262-0,282 GT (para os cenários de alta e de baixa liberação de metano na Tabela 6), a contribuição representa 5,2-5,7% do total global de combustíveis fósseis.

[Tabela 9]

VI. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Desmatamento na Amazônia brasileira já faz uma contribuição significativa ao efeito estufa, e a continuação das tendências de desmatamento pode levar a uma contribuição em potencial ainda maior para este problema mundial. Incertezas no que diz respeito à taxa de desmatamento, a biomassa e outros fatores não modificam a conclusão básica sobre a significação do desmatamento. Isto pode ser visualizado examinando uma série de exemplos hipotéticos (Tabela 9): se a biomassa média de 210,7 toneladas/ha fosse incorreta, os valores para biomassa tirados de outras fontes resultariam em contribuições que, expressas em termos de percentagens de uma liberação global total de 5 GT de carbono de combustíveis fósseis, variam desde 2,8% até 4,6% se apenas a floresta esteja considerada, ou 3,3% a 5,1% se considera-se a Amazônia Legal inteira. A conclusão de que o efeito é significativo é, portanto, bastante robusta.

O Brasil emite anualmente 100×10^6 toneladas de carbono através da queima de combustíveis fósseis (Goldemberg, 1989). Esta contribuição ao efeito estufa está contrabalançada pelos benefícios da indústria e transportes do País, movidos a petróleo e carvão, todo o uso doméstico de gás natural, etc. Em contraste, cada ano a corte de floresta e cerrado na Amazônia brasileira atualmente contribui à atmosfera 270×10^6 toneladas de carbono, ou quase três vezes mais que o uso brasileiro de combustíveis fósseis (Tabela 4). Os benefícios do desmatamento, no entanto, são mínimos, já que deixa por trás apenas florestas destruídas e pastagens degradadas.

O contraste entre os custos e benefícios da queimada da biomassa e o uso de combustíveis fósseis também é enorme na base de impacto per capita. A população brasileira de 140×10^6 pessoas emite 714 kg de carbono/pessoa/ano a partir de

combustíveis fósseis. Um único fazendeiro que desmate 2.000 ha de floresta (com uma biomassa média de 210,7 toneladas/ha, ver Tabela 3) emite a mesma quantidade de carbono que uma cidade de 280.000 pessoas queimando combustíveis fósseis (cálculo seguindo o de Brown, 1988). Mesmo um pequeno agricultor que desmate um hectare por ano está liberando 100 toneladas de carbono, o equivalente de 140 pessoas nas cidades do Brasil. O gulfo entre os custos e benefícios de desmatamento comparado ao uso de combustíveis fósseis faz com que frear a perda de floresta esteja um lugar óbvio para o Brasil começar a reduzir a sua contribuição ao aquecimento global.

Ação imediata será necessária para reduzir emissões de gases provocadoras do efeito estufa para minimizar o aquecimento global que seria causado pelas tendências atuais. Enquanto esforços de pesquisa e monitoramento precisam ser fortificados e continuados, bastante evidência científica já existe para justificar medidas fortes pelos governos no mundo inteiro. A redução da queima de combustíveis fósseis e a diminuição da taxa de desmatamento tropical são áreas que já podem ser identificados como alvos para medidas deste tipo. Governos não devem esperar a disponibilidade de mais resultados de pesquisa, nem devem esperar a aparência de mudanças observáveis de temperatura, antes de tomarem ações. Senão, a oportunidade seria perdida para evitar os impactos mais danosos do efeito estufa.

AGRADECIMENTOS

Os estudos sobre queimadas em Altamira foram financiados pela National Science Foundation: GS-422869 (1974-1976) e ATM-86-0921 (1986-1988), e em Manaus pelo World Wildlife Fund-US: US-331 (1983-1985). Uma versão em inglês foi publicado pelo MIT Press (Fearnside, 1991). Pelos comentários sobre o manuscrito agradeço a P.M.L.A. Graça, J.M. Robinson e S.V. Wilson.

VII. REFERÊNCIAS

- Anderson, I.C., J.S. Levine, M. Poth & P.J. Riggan. 1988. Enhanced emission of biogenic nitric oxide and nitrous oxide from semi-arid soils following surface biomass burning. Journal of Geophysical Research 93(D4): 3893-3898.
- Andreae, M.O., E.V. Browell, M. Garstang, G.L. Gregory, R.C. Harriss, G.F. Hill, D.J. Jacob, M.C. Pereira, G.W. Sachse, A.W. Setzer, P.L. Silva Dias, R.W. Talbot, A.L. Torres & S.C. Wofsy. 1988. Biomass-burning emissions and associated haze layers over Amazonia. Journal of Geophysical Research 93(D2): 1509-1527.
- Arrhenius, E.A. & T.W. Waltz. 1990. The greenhouse effect: Implications for economic development. World Bank Discussion Paper No. 78. International Bank for Reconstruction and Development, Washington, DC, E.U.A. 18 p.
- Bandeira, A.G. & M.F.P. Torres. 1985. Abundância e distribuição de invertebrados do solo em ecossistemas da Amazônia Oriental. O papel ecológico dos cupins. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi: Zoologia 2(1): 13-38.
- Blake, D.R. & F.S. Rowland. 1988. Continuing worldwide increase in tropospheric methane, 1978 to 1987. Science 239: 1129-1131.
- Bogdonoff, P., R.P. Detwiler & C.A.S. Hall. 1985. Land use change and carbon exchange in the tropics: III. Structure, basic equations, and sensitivity analysis of the model. Environmental Management 9(4): 345-354.
- Braga, P.I.S. 1979. Subdivisão fitogeográfica, tipos de vegetação, conservação e inventário florístico da floresta amazônica. Acta Amazonica 9(4) suplemento: 53-80.
- Brasil, Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). 1988. Região Norte. (Mosaico de imagens de LANDSAT-TM de 1986 e 1987). INPE, São José dos Campos, São Paulo.
- Brasil, Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). 1989a. Avaliação da Cobertura Florestal na Amazônia Legal Utilizando Sensoriamento Remoto Orbital. INPE, São José dos Campos, São Paulo. 54 p.
- Brasil, Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). 1989b. Avaliação da Cobertura Florestal na Amazônia Legal Utilizando Sensoriamento Remoto Orbital, 2a. edição. INPE, São José dos Campos, São Paulo. 45 p.
- Brasil, Ministério da Agricultura, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF). 1983a. Desenvolvimento

Florestal no Brasil. PNUD/FAO/BRA-82-008. Folha Informativa No. 5. IBDF, Brasília.

Brasil, Ministério da Agricultura, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF). 1989. Alteração da Cobertura Vegetal do Estado de Rondônia: Relatório Técnico. IBDF, Brasília. 77 p.

Brasil, Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), Projeto RADAMBRASIL. 1973-1983. Levantamento de Recursos Naturais, Vols. 1-23. DNPM, Rio de Janeiro.

Brasil, Secretaria de Planejamento (SEPLAN), Programa Grande Carajás (PGC), Companhia de Desenvolvimento de Barcarena (CODEBAR) & Ministério do Interior, Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM). 1986. Problemática do Carvão Vegetal na Área do Programa Grande Carajás. CODEBAR/SUDAM, Belém.

Brown, I.F. 1988. Bacias hidrográficas. Apresentação na 2a. Semana do Ambiente. 5-9 Dezembro 1988, Piracicaba, São Paulo.

Brown, S. & A.E. Lugo. 1982. The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle. Biotropica 14(3): 161-187.

Brown, S. & A.E. Lugo. 1984. Biomass of tropical forests: A new estimate based on forest volumes. Science 223: 1290-1293.

Cofer, W.R., J.S. Levine, P.H. Riggan, D.I. Sebacher, E.L. Winstead, E.F. Shaw, J.A. Brass & V.G. Ambrosia. 1988. Trace gas emissions from a mid-latitude prescribed chaparral fire. Journal of Geophysical Research 93: 1653-1658.

Collins, N.M. & T.G. Wood. 1984. Termites and atmospheric gas production. Science 224:84-85.

Crutzen, P.J., A.C. Delany, J. Greenberg, P. Haagenson, L. Heidt, R. Lueb, W. Pollock, W. Seiler, A. Wartburg & P. Zimmerman. 1985. Tropospheric chemical composition measurements in Brazil during the dry season. Journal of Atmospheric Chemistry 2: 233-256.

Detwiler, R.P. 1986. Land use change and the global carbon cycle: The role of tropical soils. Biogeochemistry 2: 67-93.

Detwiler, R.P. & C.A.S. Hall. 1988. Tropical forests and the global carbon cycle. Science 239: 42-47.

Falesi, I.C. 1976. Ecossistema de Pastagem Cultivada na Amazônia Brasileira. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido (CPATU), Belém. 193 p.

Fearnside, P.M. 1980. Os efeitos das pastagens sobre a fertilidade do solo na Amazônia Brasileira: conseqüências para a sustentabilidade de produção bovina. Acta Amazonica 10(1): 119-132.

Fearnside, P.M. 1982. Desmatamento na Amazônia Brasileira: Com que intensidade vem ocorrendo? Acta Amazonica 12(3): 579-590.

Fearnside, P.M. 1985a. Environmental change and deforestation in the Brazilian Amazon. p. 70-89 In: J. Hemming (compilador) Change in the Amazon Basin: Man's Impact on Forests and Rivers. Manchester University Press, Manchester, Reino Unido. 222 p.

Fearnside, P.M. 1985b. Brazil's Amazon forest and the global carbon problem. Interciencia 10(4): 179-186.

Fearnside, P.M. 1986a. Human Carrying Capacity of the Brazilian Rainforest. Columbia University Press, New York, E.U.A. 293 p.

Fearnside, P.M. 1986b. Brazil's Amazon forest and the global carbon problem: Reply to Lugo and Brown. Interciencia 11(2): 58-64.

Fearnside, P.M. 1987. Summary of progress in quantifying the potential contribution of Amazonian deforestation to the global carbon problem. p. 75-82 In: D. Athié, T.E. Lovejoy & P. de M. Oyens (compiladores) Proceedings of the Workshop on Biogeochemistry of Tropical Rain Forests: Problems for Research. Universidade de São Paulo, Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Piracicaba, São Paulo. 85 p.

Fearnside, P.M. 1988a. Causas de desmatamento na Amazônia brasileira. Pará Desenvolvimento 23: 24-33.

Fearnside, P.M. 1988b. An ecological analysis of predominant land uses in the Brazilian Amazon. The Environmentalist 8(4): 281-300.

Fearnside, P.M. 1989a. Agricultura na Amazônia. Tipos de Agricultura: Padrão e Tendências. Cadernos NAEA 10: 197-252. Núcleo de Altos Estudos Amazônicos (NAEA), Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém.

Fearnside, P.M. 1989b. Extractive reserves in Brazilian Amazonia: Opportunity to maintain tropical rain forest under sustainable use. BioScience 39(6): 387-393.

Fearnside, P.M. 1989c. Manejo florestal na Amazônia: Necessidade de novos critérios na avaliação de opções de desenvolvimento. Pará Desenvolvimento 25: 49-59.

Fearnside, P.M. 1989d. Como frear o desmatamento. tempo e presença 11(244/245): 8-12.

Fearnside, P.M. 1989e. Climate environment and international security: The case of deforestation in the Brazilian Amazon. p. 685-694 In: A. Berger, S. Schneider & J.-Cl. Duplessy (compiladores) Climate and Geo-Sciences: A Challenge for Science and Society in the 21st Century. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Países Baixos. 724 p.

Fearnside, P.M. 1989f. A Ocupação Humana de Rondônia: Impactos, Limites e Planejamento. Programa POLONOROESTE Relatório de Pesquisa No. 5. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Brasília. 76 p.

Fearnside, P.M. 1990a. Practical targets for sustainable development in Amazonia. p. 167-174 In: J. Burnett & N. Polunin (compiladores) Maintenance of the Biosphere: Proceedings of the Third International Conference on the Environmental Future. Edinburgh University Press, Edinburgh, Reino Unido. 224 p.

Fearnside, P.M. 1990b. The rate and extent of deforestation in Brazilian Amazonia. Environmental Conservation 17(3): 213-226.

Fearnside, P.M. 1990c. Fire in the tropical rain forest of the Amazon Basin. p. 106-116 In: J.G. Goldammer (compilador) Fire in the Tropical and Subtropical Biota. Springer-Verlag, Heidelberg, Alemanha. 490 p.

Fearnside, P.M. 1990d. Deforestation in Brazilian Amazonia. p. 211-238 In: G.M. Woodwell (compilador) The Earth in Transition: Patterns and Processes of Biotic Impoverishment. Cambridge University Press, New York, E.U.A. 530 p.

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, Boston, Massachusetts, E.U.A. (no prelo).

Fearnside, P.M. s/d-a. Capacidade de Suporte Humano da Floresta Amazônica. Editora da Universidade de São Paulo (EDUSP), São Paulo (no prelo).

Fearnside, P.M. s/d-b. Usos de terra predominantes na Amazônia brasileira. Capítulo 15 In: A.B. Anderson (compilador)

Alternativas para o Desmatamento. Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém (no prelo).

Fearnside, P.M. s/d-c. Reservas extrativistas na Amazônia brasileira: uma oportunidade para manter floresta tropical sob uso sustentado. Vida Silvestre Neotropical (no prelo).

Fearnside, P.M., M.M. Keller, N. Leal Filho & P.M. Fernandes. s/d-a. Rainforest burning and the global carbon budget: Biomass, combustion efficiency and charcoal formation in the Brazilian Amazon (em preparação).

Fearnside, P.M., N. Leal Filho, P.M.L.A. Graça, G.L. Ferreira, R.A. Custodio & F.J.A. Rodrigues. s/d-b. Pasture biomass and productivity in Brazilian Amazonia (em preparação).

Fearnside, P.M., N. Leal Filho, F.J.A. Rodrigues, P.M.L.A. Graça & J.M. Robinson. s/d-c. Tropical forest burning in Brazilian Amazonia: Measurements of biomass, combustion efficiency and charcoal formation at Altamira, Pará (em preparação).

Fraser, P.J., R.A. Rasmussen, J.W. Creffield, J.R. French & M.A.K. Khalil. 1986. Termites and global methane--another assessment. Journal of Atmospheric Chemistry 4: 295-310.

Goldemberg, J. 1989. A Amazônia e seu futuro. A Folha de São Paulo. 29 Janeiro 1989, p. A-3.

Goreau, T.J. & W.Z. de Mello. 1987. Effects of deforestation on sources and sinks of atmospheric carbon dioxide, nitrous oxide, and methane from central Amazonian soils and biota during the dry season: A preliminary study. p. 51-66 In: D. Athié, T.E. Lovejoy & P. de M. Oyens (compiladores) Proceedings of the Workshop on Biogeochemistry of Tropical Rain Forests: Problems for Research. Universidade de São Paulo, Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Piracicaba, São Paulo. 85 p.

Goreau, T.J. & W.Z. de Mello. 1988. Tropical deforestation: Some effects on atmospheric chemistry. Ambio 17(4): 275-281.

Goudriaan, J. & P. Ketner. 1984. A simulation study for the global carbon cycle, including man's impact on the biosphere. Climatic Change 6: 167-192.

Greenberg, J.P., P.R. Zimmerman, L. Heidt & W. Pollock. 1984. Hydrocarbon and carbon monoxide emissions from biomass burning in Brazil. Journal of Geophysical Research 89(D1): 1350-1354.

Hecht, S.B. 1981. Deforestation in the Amazon Basin: Magnitude, dynamics, and soil resource effects. Studies in Third World Societies 13: 61-108.

- Jordan, C.F. & C.E. Russell. 1983. Jari: Productividad de las plantaciones y perdida de nutrientes debido al corte y la quema. Interciencia 8(5): 294-297.
- Kaufman, Y.J., A. Setzer, C. Justice, C.J. Tucker & I. Fung. 1990. Remote sensing of biomass burning in the tropics. p. 371-399 In: J.G. Goldammer (compilador) Fire in the Tropical and Subtropical Biota. Springer-Verlag, Heidelberg, Alemanha. 490 p.
- Klinge, H. & W.A. Rodrigues. 1974. Phytomass estimation in a central Amazonian rain forest. p. 339-350 In: H.E. Young (compilador) IUFRO Biomass Studies. University Press, Orono, Maine, E.U.A.
- Klinge, H., W.A. Rodrigues, E. Brunig & E.J. Fittkau. 1975. Biomass and structure in a Central Amazonian rain forest. p. 115-122 In: F.B. Golley & E. Medina (compiladores) Tropical Ecological Systems: Trends in Terrestrial and Aquatic Research. Springer-Verlag, New York, E.U.A. 398 p.
- Lanly, J.P. 1982. Tropical Forest Resources. FAO Forestry Paper 30, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome. 106 p.
- Lashof, D.A. & D.R. Ahuja. 1990. Relative global warming potentials of greenhouse gas emissions. Nature 344: 529-531.
- Lugo, A.E., M.M. Sanchez & S. Brown. 1986. Land use and organic carbon content of some subtropical soils. Plant and Soil 96: 185-196.
- Malingreau, J.P. & C.J. Tucker. 1988. Large-scale deforestation in the southeastern Amazon basin of Brazil. Ambio 17(1): 49-55.
- Martinelli, L.A., I.F. Brown, R.L. Victoria, M.Z. Moreira, C.A.C. Ferreira & W.W. Thomas. s/d. Estimativa de biomassa e produção de CO₂ via desmatamento em floresta tropical úmida, Usina Hidroelétrica de Samuel, Rondônia (manuscrito não publicado).
- Pereira, M.C. 1987. Deteccção, Monitoramento e Análise de Alguns Efeitos Ambientais de Queimadas na Amazônia Através da Utilização de Imagens dos Satélites NOAA e LANDSAT, e Dados de Aeronave. Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) Pub. No. INPE-4503-TDL/326. (Tese de mestrado em sensoriamento remoto). INPE, São José dos Campos, São Paulo. 268 p.
- Rasmussen, R.A. & M.A.K. Khalil. 1983. Global production of methane by termites. Nature 301: 700-702.

Robinson, J.M. 1989. On uncertainty in the computation of global emissions from biomass burning. Climatic Change 14(3): 243-261.

Seiler, W. & P.J. Crutzen. 1980. Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and the atmosphere from biomass burning. Climatic Change 2: 207-247.

Setzer, A.W., M.C. Pereira, A.C. Pereira Júnior & S.A.O. Almeida. 1988. Relatório de Atividades do Projeto IBDF-INPE "SEQE" - Ano 1987. Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), Pub. No. INPE-4534-RPE/565. INPE, São José dos Campos, São Paulo. 48 p.

Stark, N. & M. Spratt. 1977. Biomass and nutrient storage in rainforest oxisols near San Carlos de Rio Negro. Tropical Ecology 18(1): 1-9.

Uhl, C. & J. Saldarriaga. s/d. The disappearance of wood mass following slash and burn agriculture in the Venezuelan Amazon (manuscrito não publicado).

Ward, D.E. 1986. Field scale measurements of emission from open fires. Trabalho técnico apresentado ao Defense Nuclear Agency Global Effects Review, Defense Nuclear Agency, Washington, D.C., E.U.A.

Zimmerman, P.R., J.P. Greenberg & J.P.E.C. Darlington. 1984. Termites and atmospheric gas production. Science 224: 86.

Zimmerman, P.R., J.P. Greenberg, S.O. Wandiga & P.J. Crutzen. 1982. Termites: A potentially large source of atmospheric methane, carbon dioxide, and molecular hydrogen. Science 218: 563-565.

TABELA 1: VEGETAÇÃO ORIGINAL E MELHOR ESTIMATIVA DAS ÁREAS NA AMAZÔNIA LEGAL BRASILEIRA DE 1960 ATÉ 1988

Estado	Vegetação original (km ²) ^(a)			Total da vegetação original	Área Floresta
	Floresta	Cerrado	Savana úmida		
Acre	152.589	0	0	152.589	8.634
Amapá	99.525	0	42.834	142.359	842
Amazonas	1.562.488	0	5.465	1.567.953	12.837
Maranhão	139.215	121.017	0	260.232	34.140
Mato Grosso	572.669	235.345	72.987 ^(c)	881.001	67.216
Pará	1.180.004	22.276	44.553	1.246.833	91.200
Rondônia	215.259	27.785	0	243.044	30.634
Roraima	173.282	0	51.735	225.017	2.187
Tocantins/ Goiás	100.629	169.282	0	269.911	20.279
Amazônia Legal	4.195.660	575.705	217.574	4.988.939	267.969

(Tabela 1, parte 2)

RECENTEMENTE DESMATADA

recentemente desmatada (km ²)		Percentagem recentemente desmatada (%)		Fonte
Cerrado ^(b)	Total	da floresta	de floresta + cerrado	
0	8.634	5,7	5,7	(d)
0	842	0,8	0,8	(e)
0	12.837	0,8	0,8	(e)
20.664	54.803	24,5	21,1	(e)
134.277	201.493	11,7	24,9	(e)
1.722	92.922	7,7	7,7	(e)
989 ^(f)	31.623	14,2	13,0	(e)
0	2.187	1,3	1,3	(e)
34.114	54.393	20,2	20,2	(e)
191.765	459.734	6,4	9,6	

NOTAS: TABELA 1

(a) Vegetação original de acordo com o mapa do INPE (Figura 1), com as áreas de savana divididas entre savana úmida e cerrado nas suas proporções aproximadas nas áreas de savana indicadas para cada estado. A floresta em Tocantins/Goiás tem sido aumentado por 68.573 km², presumidos a ter sido incluídos no levantamento do INPE mas não no mapa da vegetação original. "Floresta" inclui tanto a floresta primária ("virgem") como "capoeirões antigos" (de desmatamentos pré-1960 no Pará e Maranhão). Totais são as áreas das unidades políticas, inclusive superfícies de água, conforme utilizado nos relatórios do INPE e IBDF (tornando as percentagens sub-estimativas). A área de Tocantins/Goiás é aquela usado por Brasil, INPE, 1989a,b; isto não combina com a área de 235.793 km² usada nos relatórios anteriores do INPE (e.g., Tardin *et al.*, 1980) para a mesma área geográfica.

(b) Alteração do cerrado, que não foi medida no estudo do INPE (Brasil, INPE, 1989b), tem sido estimado presumindo que este tipo de vegetação é derrubado na mesma proporção que a floresta dentro de cada estado, com as exceções de Rondônia (onde a proporcionalidade é presumida excluindo as áreas de cerrado em reservas indígenas) e Mato Grosso (onde dados existem para corte do cerrado na parte ocidental do Estado em 1983, e a razão entre corte do cerrado e da floresta observada é presumida a ser constante no Estado como um todo até 1988).

(c) A área do pantanal (savana úmida de Mato Grosso) é de dados do IBGE reproduzidos em Benchimol (1989: 56). O restante da área de savana em Mato Grosso mostrada na Figura 1 (com correção para área estadual) é considerado como sendo cerrado.

(d) Projeção linear a partir dos últimos dois anos de dados disponíveis de satélite (ver Fearnside, 1990d).

(e) Brasil, INPE, 1989b, com correções para área estadual e corte do cerrado (ver texto).

(f) Corte do cerrado em Rondônia presume que 6.946 km² de cerrado (25% dos 27.785 km² de cerrado no Estado segundo o mapa do INPE) fica expostos a desmatamento. O restante está em reservas indígenas.

TABELA 2: TAXAS MÉDIAS DE DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA LEGAL

ESTADO	Penúltimo dado		Total des- matado (km ²)
	Ano	Fonte	
Acre	1987	IBDF, 1989b	8.133
Amapá	1978	Tardin <u>et al.</u> , 1980	171
Amazonas	1978	Tardin <u>et al.</u> , 1980	1.791
Maranhão	1980	IBDF, 1983a	10.671
Mato Grosso	1980	IBDF, 1982b	52.786
Pará	1986	IBDF, 1988	85.203 ^(a)
Rondônia	1987	IBDF, 1989a	22.913
Roraima	1981	IBDF, 1983b	1.170
Tocantins/Goiás	1980	IBDF, 1983a	9.120

Amazônia Legal			

(Tabela 2, parte 2)

BRASILEIRA

----- Total de desmat- amento até 1988 (km ²)	Taxa média de desmatamento em 1988 ----- (km ² /ano) -----		
	Floresta	Cerrado	Total
8.634	501	0	501
842	67	0	67
12.837	1.105	0	1.105
54.803	3.437 ^(a)	2.080	5.517
201.493	5.580	13.008	18.588
92.922	3.788	72	3.860
31.623	3.916 ^(b)	126	4.042
2.187	145	0	145
54.393	1.759	2.959	4.718
459.734	20.298	18.245	38.543

(NOTAS: Tabela 2)

(a) Desmatamento no Pará e Maranhão inclui o re-corte na área de capoeirões antigas (pré-1960). Zonas de florestas secundárias antigas totalizam 31.822 km² no Pará e 60.724 km² no Maranhão; destas, áreas estimadas em 2.225 km² e 2.459 km² foram cortadas até 1986 e 1988, respectivamente, no Pará e 10.369 km² até 1988 no Maranhão. Estimativas nestes Estados para anos anteriores a 1986 eram incapazes de distinguir as florestas secundárias antigas da floresta virgem, e a corte na região de floresta secundária antiga é, portanto, incluída sem correção. Para 1986 e 1988 no Pará e para 1988 no Maranhão o corte na área de floresta secundária antiga é presumido a ter ocorrido na mesma proporção que na floresta virgem.

(b) A taxa de desmatamento em Rondônia presumida a seguir a tendência de 1985-1987 mostrado por AVHRR. Valores não corrigidos para desmatamento: 27.658 km² até 1985 (Malingreau & Tucker, 1988); 36.900 km² até 1987 (Jean-Paul Malingreau, comunicação pessoal, 1988); valores corrigidos para os efeitos de cerrado e 18% ajuste para efeito do tamanho do pixel: 24.195 km² até 1985 e 32.280 km² até 1987.

TABELA 3: BIOMASSA APROXIMADA E ÁREA DE FLORESTA POR ESTADO

Estado	Tipo de floresta	Área aproximada (km ² X 10 ³)	Biomassa aproximada (toneladas/ha)
Acre	Bambu	30	20
	Outros de baixa biomassa	31	209
	Densa	92	418
Amapá	Mangue	1	200
	Densa	99	354
Amazonas	Várzea	30	216
	Juruá/Purus	400	149
	Amazonas ocidental	200	119
	Bambu	30	20
	Outros de baixa biomassa	226	232
	Densa	677	464
Maranhão	Capoeirão antigo	61	100
	Outros	78	175
Mato Grosso	Norte	100	143

	Transição	473	83
Pará	Capoeirão antigo	32	100
	Central	465	226
	Oeste	249	356
	Norte	158	354
	Cipoal/baixa biomassa	277	175
Rondônia	Densa (Samuel)	215	418
Roraima	Montana	26	266
	Outros	147	119
Tocantins/ Goiás	Transição	101	83
Amazônia Legal	Todas as florestas	4,196	247
			211
	Cerrado	576	70,70

(Tabela 3, parte 2)

Fonte para área	Fonte para biomassa
<p>W.G. Sombroek, com. pess., 1989 (25% do restante) (75% do restante) Braga, 1979 Restante</p>	<p>Suposição Jordan & Russell, 1983 para Jari</p>
Suposição	<p>Volume comercial 100 m³/ha, W.G. Sombroek, com. pess., 1989</p>
<p>25% da floresta sobre solos "frágeis" W.G. Sombroek, com. pess., 1989</p>	<p>Presumido 50% da floresta densa</p>
	<p>Média de quatro locais na área de Manaus: Fazenda Dimona (327,7 toneladas/ha) Fearnside <u>et al.</u>, s/d-a; Fazenda Porto Alegre Fearnside <u>et al.</u>, s/d-a; Reserva Ducke e environs (367,5 toneladas/ha, ver Fearnside, 1987b, Klinge & Rodrigues, 1974; Reserva Egler (507,5 toneladas/ha) Klinge <u>et al.</u>, 1975</p>
Brasil, INPE, 1989a,b	<p>Suposição Suposição baseada no volume de troncos de 144,7 m³/ha para florestas na região de Grande Carajas Brasil, SEPLAN/CODEBAR/SUDAM, Baseado em 120 m³/ha de volume comercial encontrado por Jaime Antonio Ubially e Edezio</p>
Suposição	

	Cardoso Carvalho, W.G. Sombroek, com. pess., 1989
Suposição	Baseado em 70 m ³ /ha volume comercial encontrado por Jaime Antonio Ubially e Edezio Cardoso Carvalho W. Sombroek, com. pess., 1989
Brasil, INPE, 1989a,b Suposição	Suposição Volume florestal dos levantamentos da FAO (média de 16 locais: ver revisão em Fearnside, 1986c, 1987b
Suposição	Reservatório de Tucuruí Cardenas <i>et al.</i> , 1982
Suposição	Projeto Jari: Jordan & Russell, 1983
Suposição	Presumido 25% da floresta densa
Brasil, INPE, 1989a,b	300 toneladas/ha biomassa acima do solo reservatório de Samuel (Brown, 1990; Martinelli <i>et al.</i> , s/d)
Braga, 1979	Seiler & Crutzen, 1980 para floresta montana (geral)
Florestas remanescentes	Presumido o mesmo que o Amazonas ocidental
Presumido que toda a floresta relatado em Brasil, INPE, 1989a,b	Presumido mesmo que é de transição floresta no Mato Grosso
-----	-----
(média ponderada pela área presente)	
(média ponderada pela taxa de desmatamento)	

TABELA 4: LIBERAÇÃO APROXIMADA DO DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA
LEGAL BRASILEIRA

	Liberação se toda a área fosse convertida em pastagens (GT)	Liberação com a taxa atual de desmatamento (GT/ano)
Floresta (biomassa)	47,3	0,196
Cerrado (biomassa)	1,9	0,059
Solo (20 cm superiores)	1,9	0,015
Total	51,0	0,270

TABELA 5: LISTA DOS PARÂMETROS PARA AS TRANSFORMAÇÕES

Parâmetro	Valor	Unidades	Fonte
Biomassa total	210,67	toneladas/ha peso seco	Tabela 2
Conteúdo da biomassa	0,50	fração do peso seco	Brown & Lugo, 1984
Fração acima do solo	0,76		Klinge <i>et al.</i> , 1975
Eficiência de combustão na queimada inicial	0,28	fração do C liberado	Fearnside <i>et al.</i> , s/d-a
Fração do carbono em carvão na queimada inicial	0,04		Fearnside <i>et al.</i> , s/d-a
Fração do carvão na biomassa após a queimada inicial	0,89		Dados preliminares de Fearnside <i>et al.</i> , s/d-b
Fração de transferência do carbono em carvão exposto durante o primeiro intervalo	0,30		Suposição
Fração sobrevivendo a decomposição no primeiro intervalo	0,41		Calculado de Uhl & Saldarriaga, s/d ^(a)
Eficiência de combustão na primeira re-queimada	0,275	fração do C	Presumida igual à liberação na queimada inicial
Fração convertida em carvão na primeira re-queimada	0,036		Presumido igual à queimada inicial
Fração de combustão de carbono em carvão na primeira re-queimada	0,20		Suposição
Fração sobrevivendo a decomposição no segundo intervalo	0,57		Calculada de Uhl & Saldarriaga, s/d ^(b)

Eficiência de combustão na segunda re-queimada	0,28	fração do C liberado	Presumido igual à queimada inicial
Fração do C convertida para carvão na segunda re-queimada	0,04		Presumido igual à queimada inicial
Fração do carvão na biomassa após a primeira re-queimada	0,89		Presumido igual à queimada inicial
Fração de transferência do carbono do carvão exposto para o solo durante o segundo intervalo	0,30		Suposição
Fração de combustão do carbono em carvão na segunda re-queimada	0,20		Suposição
Fração do carvão na biomassa após a segunda re-queimada	0,89		Presumido igual à queimada inicial
Fração de transferência do carbono do carvão exposto para o solo durante o terceiro intervalo	0,30		Suposição
Fração sobrevivendo a decomposição no terceiro intervalo	0,77		Calculada de Uhl & Saldarriaga, s/d ^(b)
Eficiência de combustão na terceira re-queimada	0,28	fração do C da madeira liberado	Presumido igual à queimada inicial
Fração do C convertida para carvão na terceira re-queimada	0,04		Presumido igual à queimada inicial
Fração de combustão do carbono em carvão na terceira re-queimada	0,20		Suposição

Liberação de carbono dos 20 cm superiores do solo	3,92 toneladas/ha	Fearnside, 1985c, 1987b
Biomassa da vegetação que substitui a floresta	10,67 toneladas/ha	Fearnside <u>et al.</u> , s/d-c; Fearnside, 1989d

(Tabela 5, parte 2)

Comentários

Média ponderada para
áreas sendo desmatadas
em 1988

Perto de Manaus, Amazonas

Perto de Manaus, Amazonas

Perto de Manaus, Amazonas

Perto de Altamira, Pará

Primeiro intervalo = 4 anos

Segundo intervalo = 3 anos

Terceiro intervalo = 3 anos

Pastagem: biomassa média
ao longo do ano em
Ouro Preto do Oeste, Rondônia

(NOTAS: Tabela 5)

(a) Uhl & Saldarriaga (s/d) relatam uma média de 97,3 toneladas/ha de peso seco de biomassa acima do solo permanecendo 3-4 anos após o desmatamento de uma floresta venezuelano cuja biomassa acima do solo era aproximadamente 290 toneladas/ha, baseado em estimativas na área feitas por Stark & Spratt (1977).

Presumindo que a eficiência de combustão (0,275) e a fração de formação de carvão vegetal (0,036) medidas no Brasil (Fearnside et al., s/d-a), a biomassa acima do solo pós-queimada que foi exposta à decomposição na Venezuela teria sido reduzido a 200 toneladas/ha. A perda para decomposição ao longo do intervalo de 3,5 anos (usando o ponto médio da variação das idades dos locais) seria portanto 51%. A perda no intervalo de 4 anos seguindo a queimada inicial seria 59%.

(b) Uhl & Saldarriaga (s/d) relatam a biomassa média como sendo 56 toneladas/ha para locais de idade de 6-7 anos; 45,3 toneladas/ha para locais com 8-10 anos, 22,7 toneladas/ha para locais com 12-20 anos e 7 toneladas/ha para locais com 30-40 anos. Presumindo um declínio na massa de madeira dentro de cada intervalo de idade (e utilizando os pontos médios das variações das idades como os limites dos intervalos), a perda anual como percentagem da massa de madeira no início de cada intervalo seria 14,7% para 0-3,5 anos, 14,2% para 3,5-6,5 anos, 7,6% para 6,5-9 anos, 7,2% para 9-16 anos e 3,6% para 16-35 anos. Estas taxas de perdas têm sido usadas para calcular os valores para perdas nos intervalos utilizados no presente cálculo (0-4 anos, 4-7 anos e 7-10 anos).

TABELA 6: LIBERAÇÕES DE CARBONO NA AMAZÔNIA LEGAL BRASILEIRA^(a)
 CENÁRIO DE BAIXO METANO

	Desmatamento completo da Amazônia Legal (GT)			
	Carbono de dióxido de carbono	Carbono de metano	Carbono de monóxido de carbono	Carbono total
Floresta	45,40	0,19	1,97	47,56
Cerrado	1,73	0,01	0,08	1,82
Total	47,13	0,20	2,05	49,37

CENÁRIO DE ALTO METANO

	Desmatamento completo da Amazônia Legal (GT)			
	Carbono de dióxido de carbono	Carbono de metano	Carbono de monóxido de carbono	Carbono total
Floresta	45,25	0,39	2,49	48,13
Cerrado	1,72	0,02	0,10	1,84
Total	46,97	0,40	2,59	49,97

(Tabela 6, parte 2)

Liberação líquida anual em 1988 (GT/ano)				
Carbono equivalente ao do CO ₂	Carbono de dióxido de carbono	Carbono de metano	Carbono de monóxido de carbono	Carbono total
48,86	0,187	0,001	0,008	0,196
1,88	0,054	0,000	0,002	0,056
50,74	0,241	0,001	0,011	0,253

Liberação líquida anual em 1988 (GT/ano)				
Carbono equivalente ao do CO ₂	Carbono de dióxido de carbono	Carbono de metano	Carbono de monóxido de carbono	Carbono total
50,18	0,187	0,002	0,010	0,198
1,93	0,055	0,000	0,003	0,058
52,11	0,242	0,002	0,013	0,256

(Tabela 6, parte 3)

Liberação bruta por hectare (toneladas de carbono/ha desmatada) para desmatamento completo da Amazônia Legal			
----- Carbono equivalente ao do CO ₂ -----	CH ₄	CO ₂	CO
0,202	0,45	113,54	4,71
0,057	0,13	35,35	1,35
0,259			

Liberação bruta por hectare (toneladas de carbono/ha desmatada) para desmatamento completo da Amazônia Legal			
----- Carbono equivalente ao do CO ₂ -----	CH ₄	CO ₂	CO
0,208	0,92	113,18	5,93
0,059	0,26	35,25	1,70
0,267			

(Tabela 6, parte 4)

Liberação bruta por hectare
(toneladas/ha desmatada)
para desmatamentos em 1988

CH ₄	CO ₂	CO
0,38	97,58	4,02
0,13	35,35	1,35

Liberação bruta por hectare
(toneladas/ha desmatada)
para desmatamentos em 1988

CH ₄	CO ₂	CO
0,79	97,27	5,07
0,26	35,25	1,70

(Tabela 6, notas)

(a) Liberação líquida a partir de biomassa e de solos. Liberações brutas aumentariam o CO₂ em 5,34 toneladas/ha, porém não afetariam outros gases. Para os cenários de alto e de baixo metano, respectivamente, a liberação bruta de carbono equivalente ao do CO₂ seria 53,58 e 57,54 GT para o desmatamento da Amazônia Legal, ou 0,283 e 0,341 GT/ano para a taxa de liberação anual em 1988.

TABELA 7: EMISSÕES PROVOCADORAS DO EFEITO ESTUFA ORIUNDAS DO DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA LEGAL BRASILEIRA (toneladas/ha)^(a)

		CH ₄ -----
CENÁRIO DE BAIXO METANO		
FLORESTA		
	Queimada	0,
	Total	0,
CERRADO		
	Queimada	0,
	Total	0,
CENÁRIO DE ALTO METANO		
FLORESTA		
	Queimada	0,
	Total	1,
CERRADO		
	Queimada	0,
	Total	0,

(a) Calculado usando a biomassa média para

(Tabela 7, parte 2)

	CO ₂	CO
44	115,45	11,77
60	454,16	11,77
12	33,10	3,37
17	141,41	3,37

59	115,45	14,83
23	452,73	14,83
17	33,10	4,25
35	140,99	4,25

florestas na Amazônia Legal.

TABELA 8: EMISSÕES DE GASES PROVOCADORAS DO EFEITO ESTUFA DO DESMATAMENTO COMPLETO DA AMAZÔNIA LEGAL BRASILEIRA (GT DE GÁS)

	CH ₄

CENÁRIO DE BAIXO METANO	
FLORESTA	0,
CERRADO	0,
TOTAL	0,
CENÁRIO DE ALTO METANO	
FLORESTA	0,
CERRADO	0,
TOTAL	0,

(Tabela 8, parte 2)

	CO ₂	CO
25	190,55	4,94
01	8,14	0,19
26	198,69	5,13
51	189,95	6,22
15	59,16	1,78
66	249,11	8,01

TABELA 9: CENÁRIOS PARA LIBERAÇÃO DE CARBONO PELO RITMO ATUAL DE DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA DADO DIFERENTES PRESUNÇÕES SOBRE A BIOMASSA MÉDIA DA FLORESTA

Biomassa média da floresta (toneladas/ha)	Liberação de carbono de biomassa ^(a) (toneladas/ha)	Liberação do desmatamento da floresta (GT/ano)	Contribuição como percentagem de liberação global (5 GT) por combustíveis fósseis ^(b)
262,60 ^(d)	120,1	0,252	5,0
252,00	115,2	0,242	4,8
225,00	102,9	0,217	4,3
222,50	101,7	0,214	4,3
200,00	91,5	0,194	3,9
174,00	79,6	0,169	3,4
155,10 ^(e)	70,9	0,152	3,0

(Tabela 9, parte 2)

Liberação de carbono

Total da Amazônia Legal ^(c) (GT/ano)	Contribuição como porcentagem da liberação global (5 GT) por combustíveis fósseis
0,318	6,4
0,308	6,2
0,283	5,7
0,281	5,6
0,260	5,2
0,236	4,7
0,218	4,4

(Notas Tabela 9)

(a) Presupõe-se que a vegetação que substitui a floresta é pastagem (10,67 toneladas/ha de peso seco de biomassa; ver Fearnside, 1987b: 79); conteúdo de carbono na vegetação = 0,50 (segundo Brown & Lugo, 1982, 1984).

(b) Inclui 3,92 toneladas/ha de liberação de carbono dos 20 cm superiores do solo.

(c) Inclui liberação do cerrado (biomassa média = 70,7 toneladas/ha) e para solos, presumido igual a liberação na floresta. A liberação de carbono no cerrado, no ritmo atual de desmatamento, é 0,059 GT/ano (exclusivo da liberação a partir do solo).

(d) Valor derivado de estimativas feitas pelo FAO de volume da floresta e das mensurações diretas disponíveis (Fearnside, 1987b).

(e) Valor derivado das estimativas feitas pelo FAO do volume da floresta para florestas produtivas fechadas latifólias nos trópicos Americanos (Brown & Lugo, 1984).

LEGENDAS DAS FIGURAS

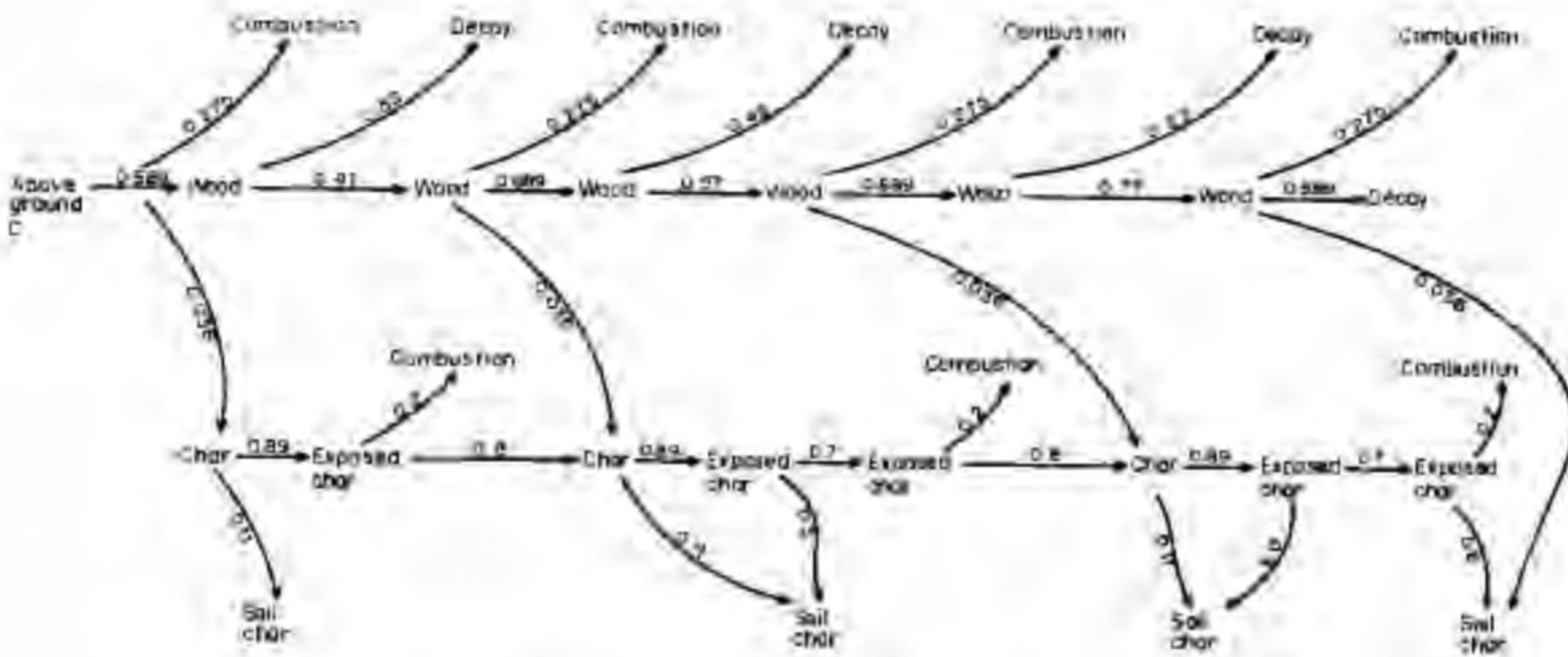
Figura 1. Floresta e savana na Amazônia Legal brasileira (re-desenhado de Brasil, INPE, 1989a).

Figura 2. Transformações de carbono numa seqüência típica de queimada e re-queimada em pastagens na Amazônia. Ver Tabela 5 para as justificativas dos parâmetros.

Figura 3. O destino de carbono de biomassa e a sua contribuição ao efeito estufa (cenário de baixa liberação de metano). A primeira ramificação no diagrama sumariza os resultados da Figura 2. Ver texto para justificativas dos parâmetros.



- Forest
- ▨ Savanna



	First interval		Second interval		Third interval	
Initial burn		First return		Second return		Third return
(Year 0)		(Year 1)		(Year 2)		(Year 3)

