

USO DA TERRA NA AMAZÔNIA E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS

Philip M. Fearnside

Coordenação de Pesquisas em Ecologia-CPEC
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA
Av. André Araújo, 2936 C.P. 478 - 69011-970 Manaus-Amazonas

Fax: (92) 3642-8909 - Tel: (92) 3643-1822
e-mail: pmfearn@inpa.gov.br pmfearn@inpa.gov.br

RESUMO

Uso da terra e mudança do uso da terra na Amazônia contribuem para mudanças climáticas globais em diversas maneiras. No período 1981-1990, a emissão comprometida líquida de gases causadores do efeito estufa na Amazônia brasileira somaram 4% da emissão global de combustíveis fósseis e cimento. 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. 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 (CO_2) pelo crescimento da vegetação. Os gases traço, tais como metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), que não entram na fotossíntese, acumulam na atmosfera quando estes gases são liberados pelas queimadas, mesmo quando a biomassa se recuperar totalmente, por exemplo no caso do capim.

Outras mudanças climáticas afetadas pelo desmatamento incluem a diminuição de chuvas devido à diminuição da reciclagem de água, sobretudo na época seca. As queimadas também afetam a formação de nuvens, e afetam a química da atmosfera em 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, usaria a manutenção da floresta como gerador de fluxos monetários baseado nos serviços ambientais da floresta, ou seja, o valor de evitar os impactos que se seguem da destruição da floresta.

Palavra Chave: aquecimento global, carbono, desmatamento, efeito estufa, mudança de clima, serviços ambientais

INTRODUÇÃO

Uso da terra e mudanças de uso da terra na Amazônia afetam as mudanças climáticas globais de várias maneiras. O efeito estufa recebe contribuições de gases tais como gás carbônico (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) quando a floresta é desmatada,

tanto pela queimada quanto pela decomposição da biomassa que não queima. O “uso da terra”, ou seja, a continuação de um uso da terra sem ter uma mudança do tipo de uso, também pode causar fluxos de gases, por exemplo, pela exploração madeireira na floresta, pelo manejo das pastagens, e pelas queimadas recorrentes das savanas amazônicas.

Além do efeito estufa, a conversão de floresta amazônica em pastagens reduz a evapotranspiração, sobretudo na época seca, assim diminuindo o suprimento de água para a atmosfera (78; 94). Água reciclada pela floresta amazônica mantém as chuvas tanto na Amazônia quanto no restante do Brasil (e.g., 23; 90; 43). A falta de energia elétrica nas partes não amazônicas do Brasil no “apagão” de 2001, embora provocada neste caso por condições meteorológicas de origem não amazônica, deve levar a uma apreciação maior do valor do serviço ambiental da floresta em manter os padrões de precipitação e, portanto, a geração de energia por hidrelétricas.

Outros fatores climáticos afetados pela conversão de floresta em pastagens incluem o aumento do albedo da superfície, ou seja, a fração da radiação solar que é refletida (e.g., 65). Também, a queimada lança grandes quantidades de aerossóis na fumaça, que alteram o balanço de calor e o estoque de núcleos de condensação de nuvens (CCN) no ar. O excesso de núcleos de condensação resulta na formação de gotas de água que são pequenas demais para cair em forma de chuva, assim diminuindo a precipitação (87). As queimadas também liberam compostos quimicamente ativos (NO_x , N_2O , CO), diminuem a taxa de remoção dos poluentes (pela chuva e pela reação com OH), e aumentam a taxa de formação dos poluentes (pela ação de raios). Quando o ar contém teores altos de compostos de nitrogênio e oxigênio (NO_x) e ozônio (O_3), o mecanismo natural de limpeza da atmosfera é atrapalhado, levando a ainda mais poluição, enquanto na ausência de queimadas, o ar na Amazônia tem teores de NO_x e O_3 característica do “ar limpo” sobre os oceanos, e as radicais hidroxilas (OH) combinam com o CH_4 para formar água (H_2O), assim limpando o metano do ar (5; 72).

Um outro efeito da queimada é que as nuvens são mais altas, assim contendo gelo além de água em forma líquida (95). A produção de descargas elétricas em forma de raios é maior com a presença de gelo do que em nuvens formadas apenas de água líquida (tais como que caracterizam a Amazônia quando não há queimadas). O aumento da produção de raios leva a formação de N_2O . Isto é um gás de efeito estufa, além de ter outros efeitos indesejáveis na química atmosférica (inclusive destruição de O_3 na estratosfera). A mudança de nuvens baixas e úmidas para nuvens altas e frias também afeta a chuva: embora a quantidade de chuva

seria a mesma, cairia com maior intensidade, o que poderia levar a mais erosão do solo (95).

Além da queimada, o papel do solo na liberação de gases também muda com o desmatamento. Na floresta amazônica, NO_x (e N_2O) do solo sob a floresta é reciclado sob a floresta, causando a maior parte a ser liberada em forma de NO_2 (63; 101). Isto muda caso que a área esteja desmatada, com CH_4 e NO_x sendo liberados para a atmosfera (72).

O impacto climático mais conhecido provocado pelo uso da terra e a mudança do uso da terra é a contribuição ao efeito estufa através de emissões de gases. Gases são emitidos por desmatamento, queimadas recorrentes, exploração madeireira e inundações por hidrelétricas. A quantidade de emissões depende do ritmo do desmatamento e dos estoques de carbono, que, por sua vez, dependem da biomassa nas florestas originais e nas paisagens desmatadas, e os estoques de carbono nos solos.

II.) USO DA TERRA E O RÍTMO DAS MUDANÇAS

Em 1990, o ano de referência dos inventários nacionais sob a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança de Clima (UNFCCC), mudanças de uso da terra nos $5 \times 10^6 \text{ km}^2$ da Amazônia Legal incluíram $13,8 \times 10^3 \text{ km}^2$ de desmatamento, aproximadamente $5 \times 10^3 \text{ km}^2$ de corte de cerrado, que originalmente ocupou aproximadamente 20% da Amazônia Legal, $7 \times 10^2 \text{ km}^2$ em florestas secundárias “velhas” (pré-1970) e $19 \times 10^3 \text{ km}^2$ em florestas secundárias “jovens” (1970+); queimada de $40 \times 10^3 \text{ km}^2$ de pastagens produtivas (33% da área presente), e recrescimento em $121 \times 10^3 \text{ km}^2$ de florestas secundárias “jovens”. Nenhuma represa hidrelétrica nova foi criada em 1990, mas a decomposição continuou nas $4,8 \times 10^3 \text{ km}^2$ de reservatórios já existentes. Exploração madeireira de $24,6 \times 10^6 \text{ m}^3$ de toras foi presumida, a taxa oficial para 1988.

III.) ESTOQUES DE CARBONO

A.) BIOMASSA FLORESTAL

Estimativa da biomassa florestal é essencial para poder estimar a magnitude das emissões do desmatamento, as emissões sendo diretamente proporcionais a este parâmetro. A biomassa média

presente nas florestas primárias na Amazônia brasileira foi calculada baseado em análise de dados sobre volume de madeira publicados de 2.954 ha de inventários florestais distribuídos em toda região (atualizado de Fearnside, 1994 baseado em Fearnside & Laurance, 2004; 84; 85). Biomassa total média (inclusive os componentes mortos e debaixo do solo) é calculada em 416 t/ha para todas as florestas maduras, não exploradas para madeira, originalmente presentes na Amazônia Legal brasileira. A biomassa média acima do solo é 317 t/ha, dos quais 25 t/ha está morta; a média de biomassa debaixo do solo é calculada em 98 t/ha. 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 (31). As estimativas de 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 (Brasil, INPE, 2006). As biomassas são ajustadas por dados melhorados sobre densidade de madeira (84) e para reinterpretar os efeitos de fator de forma e árvores ocas (58).

As áreas protegidas e desprotegidas (até 1990) de cada tipo de vegetação em cada um dos nove estados na Amazônia Legal foram calculadas (52). Multiplicando a biomassa por hectare de cada tipo de floresta pela área desprotegida presente em cada estado, pode-se calcular a biomassa cortada, 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 389 t/ha, ou 6,5% abaixo da média para florestas sem exploração madeireira, presentes na Amazônia Legal como um todo (atualizado de Fearnside, 1997b). 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 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 cinco relatórios do período 1957-1960 (ver 26; 32); os dados do Projeto RADAMBRASIL são de Brasil, Projeto RADAMBRASIL (1973-1983). Há certas indicações que as equipes de inventário evitaram locais com muita exploração madeireira (99). 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 percentagem 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 (veja 27). Com ajuste para exploração madeireira, as áreas cortadas em 1990 tiveram uma biomassa total média de 364 t/ha, dos quais 224 t/ha eram biomassa viva acima do solo, 53 t/ha eram biomassa morta acima do solo e 88 t/ha foram biomassa debaixo do solo.

Muitas estimativas existentes de biomassa de floresta amazônica são subestimadas por

deixar fora componentes da biomassa (ver 26). Estimativas de emissões que usam estes valores (e.g., 7 entre 8 cálculos feitos por Houghton *et al.*, 2000) chegam a resultados subestimados para a emissão de carbono. A grande gama de estimativas existentes da biomassa da floresta (68) explica parte da diferença entre estimativas, assim como as diferentes maneiras de contabilizar as emissões (58; 86). Muitas diferenças se devem à inclusão de elementos de emissões líquidas comprometidas (32) junto com elementos do balanço anual das emissões líquidas (30). Cada metodologia é válida por si só, mas as duas não podem ser misturadas. Isto afeta, inclusive, o Inventário Nacional Brasileiro, que calcula as emissões brutas por uma metodologia de emissões líquidas comprometidas e as absorções do crescimento de florestas secundárias baseado no balanço anual, assim apontando valores altos para as absorções e um saldo líquido menor do que seria o caso para uma estimativa de emissões líquidas comprometidas.

B.) PAISAGENS DESMATADAS

1.) 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 agricultores e fazendeiros permanece inalterado. As probabilidades de transição para agricultores pequenos foram derivadas usando os resultados de estudos de satélite em áreas de assentamento (80; 97). As probabilidades para fazendeiros foram derivadas do comportamento típico indicado por levantamentos por entrevista realizados por Uhl *et al.* (1988).

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 de agricultura, 28,1% floresta secundária “jovem” derivada de pastagens, e 17,4% floresta secundária “velha” (pré-1970). Esta paisagem chegaria a um equilíbrio de 4,0% áreas cultivadas, 43,8% pastagens produtivas, 5,2% pastagens degradadas, 2,0% floresta secundária derivada de agricultura, e 44,9% floresta secundária derivada de pastagens. Uma quantia 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) era 43,5 t/ha em 1990 nos 410×10^3 km² desmatados antes daquele ano para usos que não sejam represas hidrelétricas. A biomassa média em equilíbrio seria 28,5 t/ha em toda a área desmatada (excluindo represas) (29). Fontes oficiais alegaram 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.

Várias estimativas das emissões oriundas do desmatamento chegam a valores líquidos relativamente baixos devido, entre outros fatores, a presunções muito otimistas com relação ao estoque de carbono na paisagem de substituição. Por exemplo, Achard *et al.* (2002) se basearam nas presunções de Houghton *et al.* (2000) de que 70% da biomassa da floresta original seriam recuperados em 25 anos, o que corresponde a uma taxa de crescimento de aproximadamente o dobro do que tem sido observado em capoeiras nas pastagens abandonadas da Amazônia brasileira (ver 57; 58; ver respostas de 24 e 01).

2.) Taxas de Crescimento de Florestas Secundárias

A taxa de crescimento de 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. Na Amazônia brasileira, no entanto, a maior parte do desmatamento é para pastagens, e a agricultura itinerante desempenha um papel relativamente secundário (25). 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 praticamente todas de pousios de agricultura itinerante. Florestas secundárias em pastagens

abandonadas crescem mais lentamente (62; 100). Foram usadas estas informações sobre taxas de crescimento de vegetação secundária de origens diferentes para calcular a absorção pela paisagem em 1990 (55).

IV.) EMISSÕES DE GASES

A.) DESMATAMENTO

1.) Queimada Inicial

A eficiência de queimada (porcentagem do carbono pré-queima acima do solo que é presumida ser emitida como gases) foi, em média, 38,8% nas 10 medidas disponíveis em queimadas de florestas primárias na Amazônia brasileira (ver 23; 42). 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 pelo qual o carbono pode ser transferido para um estoque de longo prazo, sendo que este carbono não entra novamente na atmosfera. O carvão no solo é um estoque de longo prazo, considerado a ser seqüestrado permanentemente na análise. 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 (25; 34; 35; 40; 61).

O carbono grafitico particulado é outro sumidouro para o carbono que está queimado. Uma quantia 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 (74). 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 quantia de carbono que entra neste sumidouro é apenas 1/13 a quantia que entra no sumidouro de carvão.

A floresta secundária pré-1970 deve ser considerada separadamente da floresta primária, já que estas áreas não são incluídas na estimativa de taxa de desmatamento ($13,8 \times 10^3$ km²/ano em 1990). Uma estimativa grosseira de taxa derrubada é 713 km²/ano (30). Floresta secundária pré-1970 só é pertinente ao balanço anual, não à emissão líquida comprometida. A quantidade de gases do efeito estufa oriunda do corte de floresta secundária de

origem pré-1970 é muito pequena.

São calculadas as emissões e absorções de gases de efeito estufa para o cálculo de emissão líquida comprometida em um “cenário baixo de gases-traço” e um “cenário alto de gases-traço”. 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, 1997b). 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 246×10^6 t de gás de CO₂, ou 27% da emissão comprometida bruta de 901×10^6 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 CH₄ é 0,79-0,95 do total de $1,08-1,38 \times 10^6$ t (69-73%), a de CO é 19-24 do total de $27-34 \times 10^6$ t (70-71%) e a de N₂O é 0,05-0,13 do total de $0,06-0,16 \times 10^6$ t (81-83%). Para compostos de nitrogênio e oxigênio como NO e NO₂ (NO_x) e para hidrocarbonetos não-metanos (NMHC), se considerados aparte da perda de fontes nas florestas maduras representa, respectivamente, 0,60 do total de $0,73 \times 10^6$ t (82%) e 0,53-1,00 do total de $0,57-1,14 \times 10^6$ t (88-93%).

2.) Queimadas Subseqüentes

O comportamento dos fazendeiros com relação à queimada pode alterar a quantia 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 freqüentemente 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 (1997b: 337-338), com mudanças na biomassa, a fração da biomassa presente acima do solo, na eficiência de queimada, na formação de carvão e na liberação de carbono do solo sendo como especificado 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 CO₂, CO e CH₄, e para outras emissões de gases traço, também são apresentados em Fearnside (1997b: 341-344). Os cálculos são realizados por um programa chamado “DEFOREST”, mas melhor conhecido como “BIG CARBON”, composto de aproximadamente 150 planilhas eletrônicas interligadas.

3.) Decomposição de Remanescentes Não Queimados

A decomposição acima do solo de remanescentes não queimados é calculada usando os estudos disponíveis listados em Fearnside (1996b: 611). A decomposição faz uma contribuição significativa às emissões de gases de efeito estufa, e fica aparente que o grande interesse no assunto de queima de biomassa muitas vezes tende a levar as pesquisas a negligenciar as contribuições da decomposição. As estimativas de emissões de gases de efeito estufa do desmatamento divulgadas por fontes oficiais do governo brasileiro ao longo do período 1992-2002 (e.g., 10; 96) eram mais baixas que os cálculos no presente trabalho por um fator de três, principalmente porque elas ignoravam as emissões herdadas nas quais a decomposição desempenha um papel grande. O Inventário Nacional Brasileiro (Brasil, MCT, 2004) segue uma metodologia padronizada que obriga a inclusão da decomposição, embora a estimativa no Inventário Nacional também é mais baixa por diversas razões.

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 (79) são substancialmente menores que estimativas anteriores. 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 CH₄ por g de madeira seca consumida) também contribua para abaixar as emissões desta fonte, que são calculadas em um total de apenas $0,013 \times 10^6$ t/ano de gás de CH₄ nas áreas desmatadas da floresta original até 1990.

B.) QUEIMADAS RECORRENTES

Uma fonte de emissões em áreas desmatadas é a queimada das pastagens que predominam nas paisagens derivadas de florestas cortadas na Amazônia brasileira. O CO₂ oriundo da queima da biomassa de capim e de ervas daninhas ou de crescimento secundário jovem (“juquira”) nessas pastagens não representa uma contribuição líquida ao efeito estufa, já que a mesma quantidade de carbono seria removida da atmosfera no ano seguinte com o recrescimento do capim. Aproximadamente $21-22 \times 10^6$ t CO₂ ($5,7-6,0 \times 10^6$ t C) oscilam entre a biomassa nas pastagens e a atmosfera anualmente na Amazônia brasileira. Os gases traço liberados na queimada das pastagens não entram no processo de fotossíntese, e, portanto acumulam na atmosfera. Estas emissões tem sido estimadas considerando o destino de biomassa em pastagens em Roraima (07).

A queimadas de florestas secundárias (capoeiras) contribuem com gases traço, na mesma forma que a queima das pastagens. Para o efeito sobre CO₂, diferente das pastagens, precisa calcular explicitamente os fluxos brutos, com estimativas da emissão e da absorção por recrescimento. Um total de 29×10^6 t de gás de CO₂ ($7,9 \times 10^6$ t C) foi reabsorvido pelas capoeiras em 1990. Estima-se que, sem contar as florestas secundárias pré-1970, a biomassa de capoeira exposta a fogo em 1990 liberou $40-52 \times 10^6$ t CO₂ ($11,0-14,2 \times 10^6$ t C) por combustão, e que a decomposição de biomassa não queimada de capoeira liberou $44-46 \times 10^6$ t CO₂ ($12,0-12,5 \times 10^6$ t C), assim tendo uma emissão líquida de $76-90 \times 10^6$ t CO₂ ($20,7-24,5 \times 10^6$ t C). Quase todo isto representa áreas que originalmente eram floresta.

C.) 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 de exploração madeireira não é tão direto quanto poderia parecer. A remoção dos fustes (troncos comerciais) das árvores grandes

aumentará a eficiência de queimada, assim como também aumentará 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 para 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 em curto prazo, e o efeito de exploração madeireira no impacto de desmatamento quando as áreas exploradas para madeira são desmatadas subsequentemente será reduzido mais ainda, já que os troncos grandes removidos teriam decomposição lenta se tivessem sido deixados para serem cortados no processo de desmatamento.

Estimativas da área explorada anualmente para madeira na Amazônia brasileira variam muito. Uma estimativa feita pelo INPE indica que são explorados apenas 2000 km²/ano na Amazônia Legal (73; 21; 22). Estimativas pelo Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM) indicam 10.000-15.000 km²/ano (Nepstad *et al.*, 1999a). A variação larga em estimativas da área explorada anualmente é, de fato, maior que a incerteza real, porque limitações metodológicas conhecidas explicam os resultados obtidos em alguns dos estudos, especialmente as estimativas muito baixas obtidas pelo INPE. cálculo do INPE está baseado em imagens de LANDSAT sem “verdade terrestre” (observações no chão). A explicação mais provável para as estimativas serem tais baixas é a inabilidade da técnica de interpretação das imagens de satélite de distinguir a perturbação resultante da exploração madeireira que não seja os pátios onde os troncos são temporariamente estocados antes de serem transportados. Os pátios de estocagem das toras têm um padrão característico de manchas circulares nas imagens. O cálculo do IPAM para a Amazônia Legal (83) está baseado no volume de madeira removido da região como um todo e na intensidade de exploração madeireira estimada com base em entrevistas.

A questão da área sendo explorada anualmente para madeira na Amazônia foi o tema de um “grande debate” realizado em 28 de junho de 2000 no Workshop Temático do Primeiro Congresso

Científico LBA, em Belém, Pará. O David Skole calculou taxas de exploração madeireira de 2.655 e 5.406 km²/ano, respectivamente, para 1992-1993 e 1996-1997 na cena de LANDSAT-TM (223/63) ao sul do pólo de exploração madeireira em Tailândia, Pará. Nestes mesmos anos, o cálculo do INPE, apresentado por Thelma Krug, indicou apenas 3.220 e 1.989 km²/ano, respectivamente, na Amazônia Legal inteira. Na cena LANDSAT adjacente, ao norte de Tailândia (223/62), Ane Alencar calculou uma taxa de exploração madeireira de 16% (aproximadamente 5.000 km²) por ano. O extenso trabalho de campo que fundamenta esta estimativa faz com que ela seja a mais segura. É impressionante que a área explorada anualmente na única cena de LANDSAT-TM estudada por Alencar é maior que a área calculada pelo INPE para exploração madeireira na Amazônia Legal inteira. A estimativa baixa do INPE para a área explorada anualmente deu origem à estimativa de apenas 2,4 × 10⁶ tC/ano de emissão apresentado no Inventário Nacional Brasileiro (Brasil, MCT, 2004).

Uma estimativa recente (06) para o período 1999-2002 estimou para cinco dos nove estados da Amazônia Legal que exploração madeireira atingiu 16,1-19,8 × 10³ km²/ano, colhendo 27-50 × 10⁶ m³/ano e emitindo 80 × 10⁶ tC/ano. Em declarações nos jornais, pesquisadores do INPE contestaram estes números, sugerindo que a emissão deve ser aproximadamente a metade, ou seja 40 × 10⁶ tC/ano. Esta faixa de 40-80 × 10⁶ tC/ano é consistente com a estimativa deste autor para o ano 1990 (36, 42). Para estimar a emissão por exploração madeireira em 1990, foi considerado a colheita de 24,6 × 10⁶ m³ de toras registrada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para 1988. A emissão é equivalente a 62-63 × 10⁶ t C, para os cenários de baixo e alto gases traço(36; 42). Isto é mais a quantia que o Brasil emitia em 1990 por queima de combustíveis fósseis, estimada em 50 × 10⁶ tC em 1987 (60).

A exploração madeireira aumenta em muito a frequência de incêndios florestais, com conseqüente degradação da floresta e emissões de carbono (18; 17; 82). Degradação e emissão também resultam de mudanças microclimáticas perto da borda das florestas remanescentes em paisagens fragmentadas (75).

D.) INCÊNDIOS FLORESTAIS

Incêndios florestais representam uma grande fonte adicional de emissões de gases de efeito estufa, não contada nos cálculos de emissões por desmatamento. No “Grande Incêndio de Roraima” durante o evento El Niño de 1997-1998, 38.144-40.678 km² queimaram em total, sendo 11.394-13.928 km² de florestas primárias (intactas, em pé) e, o restante, de savanas (22.583 km²), campinas / campinaranas (1.388 km²) e ambientes florestais já transformados como pastagens, áreas agrícolas e florestas secundárias (2.780 km²) (08). O total de carbono afetado pelos incêndios foi de $46,0 \times 10^6$ t, sendo que $19,1 \times 10^6$ t foram liberados por combustão, $26,4 \times 10^6$ t seguiram para a classe de decomposição e $0,5 \times 10^6$ t foram depositados nos sistemas na forma de carvão (estoque de longo prazo). A emissão bruta de gases do efeito estufa, em milhões de toneladas de gás, considerando apenas o emitido por combustão foi de 61.51 de CO₂, 0,18-0,22 de CH₄, 4,45-5,60 de CO, 0,001-0,003 de N₂O, 0,06-0,09 de NO_x e 0,69 de NMHC. O total de carbono equivalente a CO₂ emitido por combustão, quando considerado o potencial de aquecimento global (GWP) de cada gás em um horizonte de tempo de 100 anos utilizados pelo Protocolo de Quioto, oriundos do Segundo Relatório de Avaliação (SAR) do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) (92), foi de 17,9-18,3 $\times 10^6$ t, das quais 67% eram de floresta primária impactadas pelo fogo, ou 12,0-12,3 $\times 10^6$ t de C equivalente a CO₂ (08).

No Pará e Mato Grosso durante o mesmo evento El Niño de 1997-1998, incêndios atingiram 26.000 km², enquanto em um ano não El Niño (1995) a área de incêndio florestal na mesma região foi de 2.000 km² (03). Usando estimativas de mortalidade de biomassa acima do solo a partir da literatura (66; 18; 09), estimaram as emissões comprometidas dessas áreas em 24-165 $\times 10^6$ tC no ano El Niño e 1-11 $\times 10^6$ tC no ano não El Niño (04).

D.) HIDRELÉTRICAS

Emissões de gases de efeito estufa de represas são freqüentemente retratadas pela indústria hidrelétrica como sendo inexistentes (por exemplo, 20), e, geralmente, tem sido ignoradas

em cálculos globais das emissões das mudanças de uso da terra. A Balbina emite mais gases que a geração da mesma quantidade de energia por termoelétricas (28), mas representa um caso extremo devido à topografia plana do local do reservatório e a vazão pequena do rio Uatumã. A represa de Tucuruí apresenta um exemplo mais otimista, já que, do ponto de vista de densidade energética (Watts de capacidade instalada por m² de superfície de reservatório) e, conseqüentemente, das emissões de gases de efeito estufa por unidade de eletricidade, do que a média para represas existentes na Amazônia. Também é melhor que a média para as represas planejadas que, se todas foram construídas, inundariam 3% da floresta na Amazônia brasileira (Brasil, ELETROBRÁS, 1987: 150). A emissão de gases de efeito estufa de Tucuruí em 1990 é equivalente a 7,0-10,1 $\times 10^6$ toneladas de carbono equivalente a CO₂, uma quantia substancialmente maior que a emissão de combustível fóssil da cidade de São Paulo. Emissões precisam ser pesadas corretamente em decisões sobre construção de barragens. Embora se espera que muitas hidrelétricas propostas na Amazônia tenham balanços positivos em comparação com combustíveis fósseis, as emissões reduzem os benefícios atribuídos às represas planejadas (41; 44) As estimativas oficiais brasileiras de emissões de gases por hidrelétricas (Brasil, MCT, 2004; ver também Rosa *et al.*, 2004, 2006) ainda omitiam as principais fontes de gases (a água que passa pelas turbinas e pelo vertedouro), resultando em subestimativas por um fator de 10 ou mais (45; 46; 49). Estimativas subseqüentes para outras represas confirmam emissões uma ordem de grandeza acima dos incluídos no Inventário (47; 19).

IV.) ÍNDICES DE IMPACTO SOBRE MUDANÇA CLIMÁTICA

A.) EMISSÕES LÍQUIDAS COMPROMETIDAS

As emissões líquidas comprometidas (as quantias líquidas de gases de efeito estufa que serão emitidos ao longo prazo como resultado do desmatamento feito em um determinado ano) de desmatamento feito em 1990 (não incluindo emissões da exploração madeireira ou da corte de cerrado) totalizaram 836 $\times 10^6$ t de CO₂, 1,1-1,4 $\times 10^6$ t de CH₄, 27-34 $\times 10^6$ t de CO, e 0,06-0,16 \times

10^6 t de N_2O . Estas emissões são equivalentes a $267-278 \times 10^6$ t de carbono equivalente a carbono de CO_2 , usando os GWPs de 100 anos do SAR. Emissões de CO_2 incluem 246×10^6 t de gás da queimada inicial, 561×10^6 t de decomposição, 51×10^6 t de queimadas subsequentes de biomassa da floresta primária, e 43×10^6 t C de carbono do solo nos 8 m superiores. Em longo prazo, a paisagem de substituição chega a armazenar 65×10^6 C, ou 7,2% 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 em 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).

Inclusão de gases traço aumenta o impacto da emissão líquida comprometida em 5-9%, comparado com valores que consideram apenas o CO_2 . O SAR reconhece alguns efeitos indiretos do CH_4 , mas nenhum do CO que é um componente importante das emissões da queima de biomassa. O terceiro relatório de avaliação (TAR) aumenta o GWP de metano de 21 para 23 (um aumento de 10%) devido a uma revisão do modelo global de carbono, mas não muda os efeitos indiretos incluídos no cálculo do SAR (67). É provável que os impactos de 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 (93), mas não usados nos relatórios subsequentes enquanto não há acordo, o balanço anual seria aumentado pelo equivalente de $54-68 \times 10^6$ t de gás de CO_2 ($15-19 \times 10^6$ t C), enquanto a inclusão do efeito adicional de CO em estender a vida atmosférica de CH_4 devido à remoção dos radicais OH (93) aumentaria este impacto ainda mais. Somente os efeitos representados no GWP de 2, aplicados à emissão de desmatamento, são equivalentes a até a metade da emissão anual brasileira da queima de combustíveis fósseis.

O Brasil escolheu o intervalo 1988-1994 para seu primeiro inventário sob a UN-FCCC, ao invés do padrão mundial de 1990. Durante este intervalo a taxa média anual de desmatamento era $15,4 \times 10^3$ km², ou 11,6% a mais que a taxa em 1990. O inventário (Brasil, MCT, 2004) calcula uma emissão anual de 117×10^6 tC de desmatamento na Amazônia. A metodologia para emissões de desmatamento nos inventários nacionais (IPCC, 1997) é equivalente a emissões líquidas comprometidas. Algumas partes da emissão considerada aqui como parte das emissões líquidas comprometidas do desmatamento, como as do solo e do gado, são consideradas em outras partes do inventário que não o desmatamento. Tirando essas emissões, o atual estudo indica uma emissão de $215,9 \times 10^6$ tC em 1990, considerando apenas o CO_2 (i.e., sem os efeitos dos gases traços) para ser comparável com o inventário. Ajustando isto pela taxa de desmatamento no intervalo 1988-1994 indica uma emissão anual de $240,9 \times 10^6$ tC, o dobro do número oficial. Já que na época do inventário não havia os recentes ajustes aos valores para densidade de madeira (Nogueira *et al.*, 2005, 2006), que reduzem os valores de biomassa da floresta usados no atual cálculo em 5,3%, a discrepância é maior ainda. A diferença se deve principalmente à omissão de várias componentes de biomassa do inventário, tais como as raízes das árvores, as árvores mortas e as palmeiras, e a presunção de um recrescimento de capoeiras muito mais rápido do que o observado em capoeiras na região, que geralmente são em pastagens degradadas onde o crescimento é lento.

B.) BALANÇO ANUAL DAS EMISSÕES LÍQUIDAS

O balanço anual de emissões líquidas em 1990 (fluxos líquidos em um único ano na região como um todo) incluiu $1.113-1.128 \times 10^6$ t de CO_2 , $3,2-3,5 \times 10^6$ t de CH_4 , $34,5-42,1 \times 10^6$ t de CO, e $0,15-0,23 \times 10^6$ t de N_2O . Emissões de CO_2 incluem 270×10^6 t de gás da queimada inicial, $618-619 \times 10^6$ t de decomposição, 59×10^6 t de queimadas subsequentes de biomassa de floresta primária, e $46-58 \times 10^6$ t de queimada de biomassa de floresta secundária de todas as idades, $52-54$ de decomposição de florestas secundárias, $54-57 \times 10^6$ t CO_2 de liberações líquidas de carbono do solo até 8 m de profundidade (primeiros 15 anos apenas),

224 × 10⁶ t de exploração madeireira e 36 × 10⁶ t de reservatórios hidrelétricos. Pastagens liberam através da queimada (e assimila através do crescimento) 21-22 × 10⁶ t de gás de CO₂, não contadas nos cálculos. O efeito de desmatamento no balanço anual é uma emissão líquida equivalente a 330-335 × 10⁶ t de carbono equivalente a carbono de CO₂.

Considerando somente o CO₂, 1.113-1.128 × 10⁶ t de gás foram emitidas (emissão bruta) através do desmatamento (não incluindo emissões da exploração madeireira). Subtraindo a absorção de 29 × 10⁶ t de gás de CO₂ rende uma emissão líquida de 1.084-1.099 × 10⁶ t de CO₂, ou 296-300 × 10⁶ t de carbono. Portanto, o recrescimento de floresta secundária em 1990 absorveu apenas 2,6% da emissão total, excluindo hidrelétricas e emissões de pastagens. Acrescentando os efeitos de gases traço, usando os GWPs de 100 anos do SAR, os impactos aumentam para 330-335 × 10⁶ t de carbono equivalente de carbono de CO₂. O efeito dos gases traço eleva o balanço anual em 10-14%. Consideração de mais efeitos indiretos dos gases traço elevaria estes valores substancialmente.

Em termos de CO₂ da biomassa da floresta original apenas 27% da emissão (antes de subtrair as absorções) no balanço anual era de emissões prontas (imediatas) de desmatamento naquele ano, e 73% eram de emissões herdadas da decomposição e requeimada 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 30-32% se só é considerado o CO₂, e em 35-38% se também são incluídos os equivalentes de CO₂ 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.

VI. PAPEL DO USO DA TERRA NO COMBATE AO EFEITO ESTUFA

Uso e mudança de uso da terra na Amazônia brasileira em 1990 representou 4% das 6 GtC de emissões globais anuais de gases de efeito estufa na época oriundas de combustível fóssil e fabricação de cimento (37). Portanto, a redução dessas emissões

faria uma contribuição aos esforços mundiais de combate ao aquecimento global, embora é claro que não poderá controlar o aquecimento global sem também ter uma redução grande das emissões oriundas da queima de combustíveis fósseis, principalmente pelos países industrializados.

O setor florestal brasileiro pode ajudar na redução das emissões líquidas globais com medidas para evitar o desmatamento, com a substituição de exploração madeireira predatório por exploração de baixo impacto, e algumas medidas com plantações silviculturais e agroflorestas (35; 38). Entre estas opções, evitar o desmatamento tem, de longe, o maior potencial para contribuir com a luta contra o efeito estufa. Seqüestro de carbono no solo de pastagens também é muito menos promissor como medida de mitigação do que o desmatamento evitado (51). Evitar desmatamento pode ser feito de várias maneiras, desde proteção de áreas específicas até mudanças de políticas públicas que afetam a taxa de desmatamento, este último tendo o maior potencial (27). Uma das maneiras de diminuir o desmatamento é de não fazer rodovias e outras obras de infra-estrutura que estimulariam o desmatamento em áreas ainda pouco perturbadas. Muito da infra-estrutura anunciada no Programa Avança Brasil (2000-2002) e no Plano Plurianual (PPA) (2003-2007) oferece um bom exemplo.

Planos para construção de infra-estrutura implicam em aumentos substanciais nas taxas de desmatamento e na degradação de florestas em pé. Um estudo (81; 16) estimou que a porção rodoviária da infra-estrutura planejada sob o programa Avança Brasil provocaria 120.000-270.000 km² de desmatamento adicional ao longo de 20-30 anos (400.000-1.350.000 ha/ano) que liberaria 6-11 × 10⁹ tC apenas do desmatamento (200-550 × 10⁶ t C/ano). Em uma estimativa mais conservadora, Laurance *et al.* (2001a,b) estimaram que as obras anunciadas de todos os tipos levariam, ao longo do período 2000-2020, a 269.000 a 506.000 ha/ano de desmatamento adicional como resultado de infra-estrutura planejada, mais a conversão de 1,53-2,37 × 10⁶ ha/ano de floresta das duas categorias menos degradadas (primitiva ou ligeiramente degradada) para as duas categorias mais degradadas (moderadamente ou pesadamente degradada). O desmatamento por si só resultaria em um aumento de emissões de carbono de 52,2-98,2 × 10⁶ de t C/ano.

Soares-Filho *et al.* (2006) estimaram 26 GtC de emissões com desmatamento de 1.750.000 km² na Amazônia brasileira entre 2004 e 2050 (*i.e.*, 37.234 km²/ano). Isto representa $553,2 \times 10^6$ t C/ano, em média, e corresponde a uma emissão de 148,6 tC/ha desmatada sob um cenário de “negócios como sempre” (*i.e.*, sem mitigação do efeito estufa). No entanto, esta estimativa é baixa por ter usado estimativas baixas da biomassa (incluindo omissão da biomassa abaixo do solo), junto com presunções altas com relação ao crescimento das florestas secundárias (baseados em Houghton *et al.*, 2000). O desmatamento até 2050 simulado por Soares-Filho *et al.* (2006) implica na emissão de 30,3-31,6 GtC, ou 644,8-1.214,8 $\times 10^6$ de tC/ano baseado nas informações apresentadas no atual trabalho.

Considerando que as estimativas de Soares-Filho *et al.* (2006) não incluíram gases traços as estimativas são razoavelmente próximas. No entanto, o atual estudo indica uma emissão líquida comprometida por hectare de 173,2-180,5 tC equivalente a CO₂ (incluindo gases traços), ou 16,6-21,5% mais alto que os valores usados por Soares-Filho *et al.* (2006).

O acordo alcançado na segunda rodada da Sexta Conferência das Partes (COP-6-bis) da UN-FCCC, realizada em Bonn, Alemanha em julho de 2001, excluiu o desmatamento evitado do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no primeiro período de compromisso (2008-2012). A chegada a um acordo que viabiliza a ratificação do Protocolo representa um grande avanço, e já modifica o quadro para investimentos em manutenção de floresta na Amazônia, mesmo sem ter crédito pelo MDL antes de 2013. Os países e ONGs europeus se opuseram à inclusão do desmatamento evitado, mas a consideração que melhor explica esse posicionamento depende de circunstâncias que aplicam apenas ao primeiro período de compromisso. Isto é o fato que as “quantidades atribuídas” (cotas nacionais de emissão de carbono) foram fixas em Quioto em 1997 para o primeiro período de compromisso, ou seja, antes de chegar em um acordo sobre as regras do jogo, tais como a inclusão de florestas. Esta circunstância abriu a possibilidade de forçar os E.U.A. a aumentarem o preço de combustíveis

fósseis (41; 42). Já no segundo período de compromisso as quantidades atribuídas serão renegociadas para cada país e, portanto, a inclusão de desmatamento evitado levaria os países a aceitarem cotas maiores do que sem florestas. O acordo em Bonn quebrou a paralise em relação ao futuro do Protocolo, e aumenta o atrativo de investimentos ao longo prazo visando benefícios de carbono. Por exemplo, planos de manejo florestal na Amazônia brasileira, que obrigatoriamente têm pelo menos 30 anos de duração, provavelmente levariam em conta possíveis benefícios de carbono ao final do ciclo.

O futuro uso de desmatamento evitado no MDL, definido no Artigo 12 do Protocolo de Quioto, depende de negociações sobre vários pontos críticos. Como seriam definidas as linhas de base (“baselines”) permanece uma pergunta aberta, com implicações importantes tanto para a quantia de crédito alcançável como também para o potencial para incentivos perversos (102; 64). Importante entre estas considerações são exigências relativas à certeza (39), permanência (o tempo ao longo de que o carbono seria mantido fora da atmosfera) (36), e várias formas de “vazamento” (efeitos do projeto, tais como a expulsão de população ou de atividade de desmatamento, que depois continuaria fora dos limites físicos ou conceituais do projeto), que podem resultar na negação da mitigação esperada (Fearnside, 1999a).

No contexto brasileiro, se só é permitido o uso das taxas de desmatamento históricas como a linha de base, a partir de que o crédito de carbono seria dado, então a maneira de agir seria de “cercar” (figurativamente) remanescentes de floresta em partes do Brasil que já tenham passado por um pesado desmatamento antes de 1990, e, por outro lado, não teria nenhum crédito para evitar a abertura futura de áreas atualmente intactas. O exemplo de Avança Brasil e sua continuação no Plano Plurianual (PPA) ilustra por que vale a pena achar maneiras para fazer com que o crédito para desmatamento evitado aplique também às novas fronteiras. O que torna os planos de construção de infra-estrutura tão danos ao meio ambiente, inclusive o seu papel como fonte de emissões de carbono, é que estes planos abrem vastas áreas “virgens” para desmatamento, exploração madeireira e incêndios florestais.

Vale a pena notar que o MDL não é o único meio pelo qual o Brasil poderia obter crédito por evitar desmatamento sob o Protocolo de Quioto. Caso o Brasil fosse entrar no Anexo B do Protocolo, o Artigo 3.7 do Protocolo garante que as emissões volumosas do desmatamento no País em 1990 seriam incluídas na “quantidade atribuída” do Brasil, e que qualquer redução em emissões futuras abaixo dos níveis de 1990 poderia ser usada para comércio de emissões sob o Artigo 17 (35). Uma outra possibilidade importante é a proposta de “redução compensada” de emissões (91). Isto também concederia crédito na base do total das emissões nacionais, ao invés de se basear nos resultados de projetos individuais como seria o caso se o crédito fosse concedido por meio do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Uma provisão importante é a possibilidade de “banca” dados de um período de compromisso para outro sob o Protocolo de Quioto, o que poderia possibilitar ações realizadas agora para reduzir o desmatamento resultar em créditos no segundo período de compromisso, que inicie em 2013.

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, usaria a manutenção da floresta como gerador de fluxos monetário baseado nos serviços ambientais da floresta, ou seja, o valor de evitar os impactos que se seguem da destruição da floresta (33; 48; 50).

CONCLUSÕES

Em 1990, o ano para a linha de base dos inventários nacionais sob a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança de Clima, a biomassa total média nas áreas sendo desmatadas era 364 t/ha em áreas de florestas originais (ajustado para a distribuição espacial do desmatamento e para a exploração madeireira). Desse total, 277 t/ha era biomassa (viva e morta) acima do solo, exposta à queimada inicial. Além de emissões da queimada inicial, os remanescentes de desmatamentos em anos anteriores emitiram gases por decomposição

e por combustão em requeimadas. Desmatamento mais rápido nos anos que precederem 1990 faz com que as emissões herdadas estejam maiores do que teria sido o caso se a taxa de desmatamento fosse constante ao nível de 1990.

As emissões líquidas comprometidas (as quantias líquidas de gases de efeito estufa que serão emitidos ao longo prazo como resultado do desmatamento feito em um determinado ano) de desmatamento feito em 1990 (não incluindo emissões da exploração madeireira ou da corte de cerrado) são equivalentes a $239-249 \times 10^6$ t de carbono equivalente a carbono de CO_2 . O efeito de desmatamento no balanço anual de emissões líquidas em 1990 (fluxos líquidos em um único ano na região como um todo) é uma emissão líquida equivalente a $330-335 \times 10^6$ t de carbono equivalente a carbono de CO_2 , enquanto a exploração madeireira acrescenta 62×10^6 t de carbono equivalente ao carbono de CO_2 .

Estes valores indicam que o desmatamento na Amazônia brasileira faz uma contribuição significativa ao efeito estufa, e indica a alta prioridade que deveria ser dada à melhoria das estimativas destas emissões e das incertezas contidas nelas. As medidas que teriam o maior potencial para reduzir a emissão líquida de gases de efeito estufa da Amazônia seriam mudanças de política para reduzir a taxa de desmatamento.

AGRADECIMENTOS

Atualizado do trabalho apresentado na sessão “Dinâmica da Matéria Orgânica do Solo e Mudanças Climáticas Globais” (org. Sâmia Tauk-Tornisielo), V Congresso Brasileiro de Ecologia, Porto Alegre, RS, 04-09 de novembro de 2001. Agradeço ao INPA (PPI 1-3160; PRJ05.57) e ao CNPq (350230/97-8; 465819/00-1; 470765/2001-1; 306031/2004-3; 557152/2005-4; 420199/2005-5) pelo apoio financeiro. Todas as opiniões expressadas são do autor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - Achard, F., Eva, H.D., Mayeux, P., Stibig, H-J., Belward, A. Improved estimates of emissions from land cover change in the tropics for

- the 1990s. *Global Biogeochemical Cycles* 18(GB2008): 1-11. doi 10.1029/2003 GB002142, 2004.
- 2 - Achard, F., Eva, H.D., Stibig, H.J., Mayaux, P., Gallego, J., Richards, T., Malingreau, J.-P. Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests. *Science* 297: 999-1002, 2002.
 - 3 - Alencar, A., Nepstad, D., Diaz, M.C.V. Forest understory fire in the Brazilian Amazon in ENSO and non-ENSO years: Area burned and committed emissions. *Earth Interactions* 10, Paper 6, p. 1-17, 2006.
 - 4 - Alencar, A., Nepstad, D., Moutinho, P. Carbon emissions associated with forest fires in Brazil. In: Moutinho, P.; Schwartzman, S. (eds). *Tropical Deforestation and Climate Change*. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM), Belém, Pará, Brasil & Environmental Defense (EDF), Washington, DC, E.U.A., 2005, p. 23-33.
 - 5 - Andreae, M.O., Artaxo, P., Brandao, C., Carswell, F.E., Ciccioli, P., da Costa, A.L., Culf, A.D., Esteves, J.L., Gash, J.H.C., Grace, J., Kabat, P., Lelieveld, J., Malhi, Y., Manzi, A.O., Meixner, F.X., Nobre, A.D., Nobre, C., Ruivo, M.D.L.P., Silva-Dias, M.A., Stefani, P., Valentini, R., von Jouanne, J., Waterloo, M.J. Biogeochemical cycling of carbon, water, energy, trace gases and aerosols in Amazonia: The LBA-EUSTACH experiments. *Journal of Geophysical Research* 107, D20, 8066-8091 DOI: 10.1029/2001JD000524, 2002.
 - 6 - Asner, G.P., Knapp, D.E., Broadbent, E.N., Oliveira, P.J.C., Keller, M., Silva, J.N. Selective logging in the Brazilian Amazon. *Science* 310: 480-482, 2005.
 - 7 - Barbosa, R.I., Fearnside, P.M. 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, 1996.
 - 8 - Barbosa, R.I., Fearnside, P.M. Incêndios na Amazônia brasileira: Estimativa da emissão de gases do efeito estufa pela queima de diferentes ecossistemas de Roraima na passagem do evento "El Niño" (1997/98). *Acta Amazonica* 29(4): 513-534, 1999.
 - 9 - Barlow, J., Haugaasen, T., Peres, C.A. Effects of ground fires on understory bird assemblages in Amazonian forests. *Biological Conservation* 105(1): 157-169, 2002.
 - 10 - Borges, L. "Desmatamento emite só 1,4% de carbono, diz Inpe". *O Estado de São Paulo*, 10 de abril de 1992, p. 13, 1992.
 - 11 - Brasil, ELETROBRÁS. *Plano 2010: Relatório Geral. Plano Nacional de Energia Elétrica 1987/2010 (Dezembro de 1987)*, Centrais Elétricas do Brasil (ELETROBRÁS), Brasília, DF, Brasil, 1987, 269 p.
 - 12 - Brasil, INPE. Estimativas Anuais desde 1988: Taxa de desmatamento anual (km²/ano). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, SP, Brasil. http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes_1988_2005.htm, 2006.
 - 13 - Brasil, MCT. *Comunicação Nacional Inicial do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima*. Coordenação Geral de Mudanças Globais de Clima, Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), Brasília, DF, Brasil, 2004, 271 p.
 - 14 - Brasil, Projeto RADAMBRASIL. *Levantamento de Recursos Naturais*, Vols. 1-23. Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), Rio de Janeiro, Brasil, 1973-1983.
 - 15 - Brown, S., Lugo, A.E. Tropical secondary forests. *Journal of Tropical Ecology* 6: 1-32, 1990.
 - 16 - Carvalho, G., Barros, A.C., Moutinho, P., Nepstad, D. Sensitive development could protect Amazonia instead of destroying it. *Nature* 409: 131, 2001.
 - 17 - Cochrane, M.A., Alencar, A.A., Schulze, M.D., Souza, C.M., Nepstad, D.C., Lefebvre, P., Davidson, E.A. Positive feedbacks in the fire dynamic of closed canopy tropical forests. *Science* 284: 1832-1835, 1999.
 - 18 - Cochrane, M.A., Schulze, M.D. Fire as a recurrent event in tropical forests of the eastern Amazon: Effects on forest structure, biomass, and species composition. *Biotropica* 31(1): 2-16, 1999.
 - 19 - Delmas, R., Richard, S., Guérin, F., Abril, G., Galy-Lacaux, C., Delon, C., Grégoire, A. Long term greenhouse gas emissions from the

- hydroelectric reservoir of Petit Saut (French Guiana) and potential impacts. In: Tremblay, A., Varfalvy, L., Roehm, C. & M. Garneau (eds.) *Greenhouse Gas Emissions: Fluxes and Processes. Hydroelectric Reservoirs and Natural Environments*. Environmental Science Series, Springer-Verlag, Heidelberg, Alemanha, 2005, p. 293-312.
- 20 - de Souza, J.A.M. Brazil and the UN Framework Convention on Climate Change. In: International Atomic Energy Agency (IAEA). *Comparison of Energy Sources in Terms of their Full-Chain Emission Factors: Proceedings of an IAEA Advisory Group Meeting/Workshop held in Beijing, China, 4-7 October 1994*. IAEA-TECDOC-892. IAEA, Vienna, Austria, 1996, p. 19-21.
- 21 - dos Santos, J.R., Krug, T., Araújo, L.S., Meira Filho, G., Almeida, C.A. Dados multitemporais TM/Landsat aplicados ao estudo da dinâmica de exploração madeireira na Amazônia. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto No, Foz do Igauçu. Anais. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos-SP. (CD-ROM) (disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2001>), 2001.
- 22 - dos Santos, J.R., Krug, T., Araujo, L.S., Meira Filho, G., Almeida, C.A. Corte de árvores visto do espaço. *Ciência Hoje* 30(179): 67-69, 2002.
- 23 - Eagleson, P.S. The emergence of global-scale hydrology. *Water Resources Research* 22(9): 6s-14s, 1986.
- 24 - Eva, H.D., Achard, F., Stibig, H-J., Mayaux, P. Response to comment on "Determination of deforestation rates of the World's humid tropical forests." *Science* 299: 1015b, 2003.
- 25 - Fearnside, P.M. Deforestation in Brazilian Amazonia: The effect of population and land tenure. *Ambio* 22: 537-545, 1993.
- 26 - Fearnside, P.M. Biomassa das florestas Amazônicas brasileiras. In: *Anais do Seminário Emissão X Seqüestro de CO₂*. Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), Rio de Janeiro, 1994, p. 95-124.
- 27 - Fearnside, P.M. Global warming response options in Brazil's forest sector: Comparison of project-level costs and benefits. *Biomass and Bioenergy* 8:309-322, 1995a.
- 28 - Fearnside, P.M. Hydroelectric dams in the Brazilian Amazon as sources of 'greenhouse' gases. *Environmental Conservation* 22(1): 7-19, 1995b.
- 29 - Fearnside, P.M. Amazonian deforestation and global warming: Carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest. *Forest Ecology and Management* 80: 21-34, 1996a.
- 30 - Fearnside, P.M. Amazonia and global warming: Annual balance of greenhouse gas emissions from land-use change in Brazil's Amazon region. In: Levine, J. (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., 1996b, p. 606-617.
- 31 - Fearnside, P.M. Wood density for estimating forest biomass in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management* 90: 59-89, 1997a.
- 32 - Fearnside, P.M. Greenhouse gases from deforestation in Brazilian Amazonia: Net committed emissions. *Climatic Change* 35: 321-360, 1997b.
- 33 - Fearnside, P.M. Environmental services as a strategy for sustainable development in rural Amazonia. *Ecological Economics* 20(1): 53-70, 1997c.
- 34 - Fearnside, P.M. Forests and global warming mitigation in Brazil: Opportunities in the Brazilian forest sector for responses to global warming under the "Clean Development Mechanism". *Biomass and Bioenergy* 16: 171-189, 1999a.
- 35 - Fearnside, P.M. Como o efeito estufa pode render dinheiro para o Brasil. *Ciência Hoje* 26(155): 41-43, 1999b.
- 36 - Fearnside, P.M. Greenhouse gas emissions from land use change in Brazil's Amazon region. In: Lal, R.; Kimble, J.M.; Stewart, B.A. (eds). *Global Climate Change and Tropical Ecosystems*. Advances in Soil Science. CRC Press, Boca Raton, Florida, E.U.A., 2000a, p. 231-249.
- 37 - Fearnside, P.M. Global warming and tropical land-use change: Greenhouse gas emissions from biomass burning, decomposition and soils in forest conversion, shifting cultivation and

- secondary vegetation. *Climatic Change* 46(1/2): 115-158, 2000b.
- 38 - Fearnside, P.M. O potencial do setor florestal brasileiro para a mitigação do efeito estufa sob o “Mecanismo de Desenvolvimento Limpo” do Protocolo de Kyoto. In: Moreira, A.G.; Schwartzman, S. (eds.) *As Mudanças Climáticas Globais e os Ecossistemas Brasileiros*. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM), Brasília, DF, Brasil, 2000c, p. 59-74.
- 39 - Fearnside, P.M. Uncertainty in land-use change and forestry sector mitigation options for global warming: plantation silviculture versus avoided deforestation. *Biomass and Bioenergy* 18(6): 457-468, 2000d.
- 40 - Fearnside, P.M. Saving tropical forests as a global warming countermeasure: An issue that divides the environmental movement. *Ecological Economics* 39(2): 167-184, 2001.
- 41 - Fearnside, P.M. Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil’s Tucuruí Dam) and the energy policy implications. *Water, Air and Soil Pollution* 39(2): 167-184, 2002.
- 42 - Fearnside, P.M. *A Floresta Amazônica nas Mudanças Globais*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA, Manaus, Amazonas, Brasil, 2003, 134 p
- 43 - Fearnside, P.M. A água de São Paulo e a floresta amazônica. *Ciência Hoje* 34(203): 63-65, 2004a.
- 44 - Fearnside, P.M. Gases de efeito estufa em hidrelétricas da Amazônia. *Ciência Hoje* 36(211): 41-44, 2004b.
- 45 - Fearnside, P.M. Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams: Controversies provide a springboard for rethinking a supposedly “clean” energy source, *Climatic Change* 66(1-2): 1-8, 2004c.
- 46 - Fearnside, P.M. Do hydroelectric dams mitigate global warming? The case of Brazil’s Curuá-Una Dam. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 10(4): 675-691, 2005a.
- 47 - Fearnside, P.M. Hidrelétricas planejadas no rio Xingu como fontes de gases do efeito estufa: Belo Monte (Kararaô) e Altamira (Babaquara). In: Sevá Filho, A.O. (ed.) *Tenotã-mõ: Alertas sobre as conseqüências dos projetos hidrelétricos no rio Xingu, Pará, Brasil*”, International Rivers Network, São Paulo, Brasil, 2005b, p. 204-241.
- 48 - Fearnside, P.M. Global implications of Amazon frontier settlement: Carbon, Kyoto and the role of Amazonian deforestation. In: Hall, A. (ed.) *Global Impact, Local Action: New Environmental Policy in Latin America*. University of London, School of Advanced Studies, Institute for the Study of the Americas, London, Reino Unido, 2005c, p. 36-64.
- 49 - Fearnside, P.M. Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams: Reply to Rosa *et al.* *Climatic Change* 75(1-2): 103-109, 2006a.
- 50 - Fearnside, P.M. Mitigation of climatic change in the Amazon. In: Laurance, W.F.; Peres, C.A. (eds.) *Emerging Threats to Tropical Forests*. University of Chicago Press, Chicago, Illinois, E.U.A., 2006b, p. 353-375.
- 51 - Fearnside, P.M., Barbosa, R.I. Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management* 108: 147-166, 1998.
- 52 - Fearnside, P.M., Ferraz, J. A conservation gap analysis of Brazil’s Amazonian vegetation. *Conservation Biology* 9: 1134-1147, 1995.
- 53 - Fearnside, P.M., Graça, P.M.L.A., Leal Filho, N., Rodrigues, F.J.A., Robinson, J.M. 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, 1999.
- 54 - Fearnside, P.M., Graça, P.M.L.A., Rodrigues, F.J.A. 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, 2001.
- 55 - Fearnside, P.M., Guimarães, W.M. Carbon uptake by secondary forests in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management* 80: 35-46, 1996.
- 56 - Fearnside, P.M., Lashof, D.A., Moura-Costa, P. Accounting for time in mitigating global warming through land-use change and forestry. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 5(3): 239-270, 2000.
- 57 - Fearnside, P.M., Laurance, W.F. Comment on “Determination of deforestation rates of the world’s humid tropical forests” *Science* 299:

- 1015a, 2003.
- 58 - Fearnside, P.M., Laurance, W.F. Tropical deforestation and greenhouse gas emissions. *Ecological Applications* 14(4): 982-986, 2004.
- 59 - Fearnside, P.M., Leal Filho, N., Fernandes, F.M. 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, 1993.
- 60 - Flavin, C. 1989. Slowing global warming: A worldwide strategy. *Worldwatch Paper 91*. Worldwatch Institute, Washington, DC, E.U.A. 94 p.
- 61 - Graça, P.M.L.A., Fearnside, P.M., Cerri, C.C. Burning of Amazonian forest in Ariquemes, Rondônia, Brazil: Biomass, charcoal formation and burning efficiency. *Forest Ecology and Management* 120(1-3): 179-191, 1999.
- 62 - Guimarães, W.M. *Liberção de carbono e mudanças nos estoques dos nutrientes contidos na biomassa aérea e no solo resultante de queimadas de florestas secundárias em áreas de pastagens abandonadas, em Altamira, Pará*. Masters thesis in ecology, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade do Amazonas (INPA/FUA), Manaus, Amazonas, Brasil, 1993, 69 p.
- 63 - Gut, A., van Dijk, S.M., Scheibe, M., Rummel, U., Welling, M., Ammann, C., Meixner, F.X., Kirkman, G.A., Andreae, M.O., Lehmann, B.E. NO emission from an Amazonian rain forest soil: Continuous measurements of NO flux and soil concentration. *Journal of Geophysical Research* 107, D20, DOI: 10.1029/2001JD000521, 2002.
- 64 - Hardner, J.J., Frumhoff, P.C., Goetz, D.C. Prospects for mitigating carbon, conserving biodiversity, and promoting socioeconomic development through the Clean Development Mechanism. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 5: 61-80, 2000.
- 65 - Henderson-Sellers, A., Gornitz, V. Possible climatic impacts of land cover transformations, with particular emphasis on tropical deforestation. *Climatic Change* 6: 231-257, 1984.
- 66 - Holdsworth, A.R., Uhl, C. Fire in eastern Amazonian logged rain forest and the potential for fire reduction. *Ecological Applications* 7(2): 713-725, 1997.
- 67 - Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.G., Nogueir, M., Van der Linden, R.J., Xiausu, D. (eds.) *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, 2001, 944 p.
- 68 - Houghton, R.A. Why are estimates of the terrestrial carbon balance so different? *Global Change Biology* 9: 500-509, 2003.
- 69 - Houghton, R.J.A., Skole, D.L., Nobre, C.A., Hackler, J.L., Lawrence, K.T., Chomentowski, W.H. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. *Nature* 403: 301-304, 2000.
- 70 - IPCC. 1997. *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Workbook (Volume 2)*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Genebra, Suíça.
- 71 - ISTOÉ. A Versão do Brasil. *ISTOÉ* [São Paulo] 15 de outubro de 1997, p. 98, 1997.
- 72 - Kirkman, G.A., Gut, A., Ammann, C., Gatti, L.V., Cordova, A.M., Moura, M.A.L., Andreae, M.O., Meixner, F.X. Surface exchange of nitric oxide, nitrogen dioxide, and ozone at a cattle pasture in Rondonia, Brazil. *Journal of Geophysical Research* 107, D20, DOI: 10.1029/2001JD000523, 2002.
- 73 - Krug, T. O quadro do desflorestamento da Amazônia. pp: 91-98 In: V. Fleischresser (ed.) *Causas e Dinâmica do Desmatamento na Amazônia*, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF, Brasil, 2001, 436 p.
- 74 - Kuhlbusch, T.A.J., Crutzen, P.J. A global estimate of black carbon in residues of vegetation fires representing a sink of atmospheric CO₂ and a source of O₂. *Global Biogeochemical Cycles* 9: 491-501, 1995.
- 75 - Laurance, W.F., Laurance, S.G., Ferreira, L.V., Rankin-de-Merona, J.M., Gascon, C., Lovejoy, T.E. Biomass collapse in Amazonian forest fragments. *Science* 278: 1117-1118, 1997.
- 76 - Laurance, W.F., Cochrane, M.A., Bergen, S., Fearnside, P.M., Delamônica, P., Barber, C., D'Angelo, S., Fernandes, T. The Future of the Brazilian Amazon. *Science* 291: 438-439, 2001a.
- 77 - Laurance, W.F., Cochrane, M.A., Bergen, S., Fearnside, P.M., Delamônica, P., Barber, C.,

- D'Angelo, S., Fernandes, T. The Future of the Brazilian Amazon: Supplementary Material. *Science Online* (<http://www.sciencemag.org/cgi/content/full/291/5503/438/DC1>), 2001b.
- 78 - Lean, J., Bunton, C.B., Nobre, C.A., Rowntree, P.R. The simulated impact of Amazonian deforestation on climate using measured ABRACOS vegetation characteristics. In: Gash, J.H.C.; Nobre, C.A. Roberts, J.M.; Victoria, R.L. (eds.) *Amazonian Deforestation and Climate*. Wiley, Chichester, Reino Unido, 1996, p. 549-576.
- 79 - Martius, C., Fearnside, P.M., Bandeira, A.G., Wassmann, R. Deforestation and methane release from termites in Amazonia. *Chemosphere* 33: 517-536, 1996.
- 80 - Moran, E.F., Brondizio, E., Mausel, P., Wo, Y. Integrating Amazonian vegetation, land-use, and satellite data. *BioScience* 44: 329-338, 1994.
- 81 - Nepstad, D., Capobianco, J.P., Barros, A.C., Carvalho, G., Moutinho, P., Lopes, U., Lefebvre, P. *Avança Brasil: Os Custos Ambientais para Amazônia*. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM), Belém, Pará, Brasil. 24 p. (disponível em <http://www.ipam.org.br/avanca/politicas.htm>), 2000.
- 82 - Nepstad, D.C., Moreira, A.G., Alencar, A.A. *A Floresta em Chamas: Origens, Impactos e Prevenção de Fogo na Amazônia*. Banco Mundial, Brasília, DF, Brasil, 1999b, 172 p.
- 83 - Nepstad, D.C., Veríssimo, A., Alencar, A.A., Nobre, C.A., Lima, E., Lefebvre, P., Schlesinger, P., Potter, C., Moutinho, P., Mendoza, E., Cochrane, M., Brooks, V. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. *Nature* 398: 505-508, 1999a.
- 84 - Nogueira, E.M., Nelson, B.W., Fearnside, P.M. Wood density in dense forest in central Amazonia, Brazil. *Forest Ecology and Management* 208(1-3): 261-286, 2005.
- 85 - Nogueira, E.M., Nelson, B.W., Fearnside, P.M. Volume and biomass of trees in central Amazonia: Influence of irregularly shaped and hollow trunks. *Forest Ecology and Management* 227(1-2): 14-21, 2006.
- 86 - Ramakutty, N., Gibbs, H.K., Achard, F., De Fries, R., Foley, J.A., Houghton, R.A. Challenges to estimating carbon emissions from tropical deforestation. *Global Change Biology* (no prelo) DOI: 10.1111/j.1365-2486.2006.01272.x, 2006.
- 87 - Roberts, G.C., Nenes, A., Seinfeld, J.H., Andreae, M.O. Impact of biomass burning on cloud properties in the Amazon Basin. *Journal of Geophysical Research* 108, D2, DOI: 10.1029/2001JD000985, 2003.
- 88 - Rosa, L.P., dos Santos, M.A., Matvienko, B., dos Santos, E.O., Sikar, E. 2004. Greenhouse gases emissions by hydroelectric reservoirs in tropical regions. *Climatic Change* 66(1-2): 9-21.
- 89 - Rosa, L. P., dos Santos, M. A., Matvienko, B., Sikar, E., dos Santos, E.O. Scientific errors in the Fearnside comments on greenhouse gas emissions (GHG) from hydroelectric dams and response to his political claiming. *Climatic Change* 75(1-2): 91-102, 2006.
- 90 - Salati, E., Vose, P.B. Amazon Basin: A system in equilibrium. *Science* 225: 129-138, 1984.
- 91 - Santilli, M., Moutinho, P., Schwartzman, S., Nepstad, D.C., Curran, L., Nobre, C. Tropical deforestation and the Kyoto Protocol. *Climatic Change* 71: 267-276, 2005.
- 92 - Schimel, D. & 75 outros. Radiative forcing of climate change. In: Houghton, J.T.; Meira Filho, L.G.; Callander, B.A.; Harris, N.; Kattenberg, A.; Maskell, K. (eds.) *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, 1996, p. 65-131.
- 93 - Shine, K.P., Derwent, R.G., Wuebbles D.J., Morcrette, J-J. Radiative forcing of climate. In: Houghton, J.T.; Jenkins, G.J.; Ephraums, J.J. (eds.) *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, 1990, p. 41-68.
- 94 - Shukla, J., Nobre C.A., Sellers, P. Amazon deforestation and climate change. *Science* 247: 1322-1325, 1990.
- 95 - Silva-Dias, M.A.F., Rutledge, S., Kabat, P., Silva Dias, P.L., Nobre, C., Fisch, G., Dolman, A.J., Zipser, E., Garstang, M., Manzi, A.O., Fuentes, J.D., Rocha, H.R., Marengo, J., Plana-Fattori, A., Sá, L.D.A., Alvalá, R.C.S., Andreae, M.O., Artaxo, P., Gielow, R., Gatti, L. Cloud and rain processes in a biosphere-atmosphere interaction context in the Amazon Region. *Journal of Geophysical Research* 107, D20,



- DOI: 10.1029/2001JD000335, 2002.
- 96 - Silveira, V. "Amazônia poluí com apenas 1,4%". *Gazeta Mercantil* [São Paulo] 29 de maio de 1992, p. 2 & 6, 1992.
- 97 - Skole, D.L., Chomentowski, W.H., Salas, W.A., Nobre, A.D. Physical and human dimensions of deforestation in Amazonia. *BioScience* 44(5): 314-322, 1994.
- 98 - Soares-Filho, B.S., Nepstad, D.C., Curran, L.M., Cerqueira, G.C., Garcia, R.A., Ramos, C.A., Voll, E., McDonald, A., Lefebvre, P., Schlesinger, P. Modelling conservation in the Amazon basin. *Nature* 440: 520-523, 2006.
- 99 - Sombroek, W.G. Biomass and carbon storage in the Amazon ecosystems. *Interciencia* 17: 269-272, 1992.
- 100 - Uhl, C., Buschbacher, R., Serrão, E.A.S. Abandoned pastures in Eastern Amazonia. I. Patterns of plant succession. *Journal of Ecology* 76: 663-681, 1988.
- 101 - van Dijk, S.M., Gut, A., Kirkman, G.A., Gomes, B.M., Meixner, F.X., Andreae, M.O. Biogenic NO emissions from forest and pasture soils: Relating laboratory studies to field measurements. *Journal of Geophysical Research* 107, D20, DOI: 10.1029/2001JD000358, 2002.
- 102 - Watson, R.T., Noble, I.R., Bolin, B., Ravindranath, N.H., Verardo, D.J., Dokken, D.J. (eds.). *IPCC Special Report on Land Use, Land-Use Change, and Forestry*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, 2000, 377 p.

