

The text that follows is a REPRINT
O texto que segue é uma SEPARATA

Please cite as:

Favor citar como:

**Fearnside, P.M. 2022. Uso da terra na
Amazônia e as mudanças climáticas
globais. p. 21-38. In: Fearnside, P.M.
(ed.) *Destruição e Conservação da
Floresta Amazônica*. Editora do
INPA, Manaus. 356 p.**

ISBN: 978-85-211-0193-2.

Copyright: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)

The original publication is available from:
A publicação original está disponível de:

<https://bit.ly/3Bw8lnU>

Esta é uma republicação de:

Fearnside, P.M. 2007. Uso da terra na Amazônia e as mudanças climáticas globais. *Brazilian Journal of Ecology* 10(2): 83-100.

CAPÍTULO 2

Uso da terra na Amazônia e as mudanças climáticas globais

Philip M. Fearnside

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA).
Av. André Araújo, 2936, Manaus, Amazonas, Brasil. CEP: 69.067-375.
E-mail: pmfearn@inpa.gov.br

Publicação original:
Fearnside, P.M. 2007. Uso da terra na Amazônia e as mudanças climáticas globais. *Brazilian Journal of Ecology* 10(2): 83-100.

RESUMO

O uso da terra, e as mudanças no uso ao longo tempo, na Amazônia, contribuem para as mudanças climáticas globais de distintas formas. No período 1981-1990, a emissão líquida comprometida de gases causadores do efeito estufa na Amazônia brasileira corresponde à 4% da emissão global de combustíveis fósseis e produção de 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. Os incêndios florestais também emitem gases, mas não foram incluídos nos cálculos. A perda de um possível sumidouro de carbono no crescimento da floresta em pé também não está incluída.

A “emissão líquida comprometida” representa o saldo líquido, durante um longo período, das emissões e absorções de gases. O principal gás utilizado para aferir o saldo é o gás carbônico (CO_2), uma vez que é liberado na queima, e absorvido no crescimento vegetal. Gases traço, como metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), não entram na fotossíntese, e se acumulam na atmosfera mesmo quando a biomassa se recupera totalmente. Portanto, são menos utilizados (ou ausentes) no cálculo de emissão líquida comprometida.

Outras mudanças climáticas afetadas pelo desmatamento incluem a diminuição de chuvas devido à diminuição da reciclagem de água, sobretudo na época seca, alteram a química da atmosfera, afetando a formação de nuvens, e a química da atmosfera de diversas maneiras além do efeito estufa. Essas profundas alterações climáticas, junto com outras mudanças globais tais como a perda de biodiversidade, fundamentam a adoção de uma nova estratégia para sustentar a população da região. Ao invés de destruir a floresta para poder produzir algum tipo de mercadoria, como é o padrão atual, usariam 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.

PALAVRAS CHAVE: aquecimento global, carbono, desmatamento, efeito estufa, mudança de clima, serviços ambientais

INTRODUÇÃO

O uso da terra e as mudanças de uso da terra na Amazônia afetam as mudanças climáticas globais de várias maneiras. Uma das consequências, o efeito estufa, recebe contribuições de gases como gás carbônico (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) liberados no desflorestamento, seja por queima, ou pela decomposição da biomassa que não queima. Apesar da emissão de gases por supressão vegetal ser amplamente conhecido, o contínuo uso da terra, sem uma mudança no tipo de uso (e.g. exploração madeireira na floresta, manejo das pastagens), também contribui para a emissão e fluxo de gases do efeito estufa.

Além do efeito estufa, a conversão da floresta amazônica em pastagens reduz a evapotranspiração, sobretudo na época seca, diminuindo o suprimento de água para a atmosfera (Lean *et al.*, 1996; Shukla *et al.*, 1990). A água reciclada pela floresta amazônica mantém as chuvas na Amazônia e, também, no restante do Brasil (e.g., Eagleson, 1986; Salati & Vose, 1984; Fearnside, 2004a). A falta de energia elétrica nas partes não amazônicas do Brasil no “apagão” de 2001, embora provocada 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 da floresta em pastagens, incluem o aumento do albedo da superfície, ou seja, a fração da radiação solar que é refletida (e.g., Henderson-Sellers & Gornitz, 1984). A queimada também lança grandes quantidades de aerossóis no ar, que alteram o balanço de calor e o estoque de núcleos de condensação de nuvens 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, diminuindo a precipitação (Roberts *et al.*, 2003). As queimadas também liberam compostos quimicamente ativos como N_2O , óxidos de nitrogênio (NO_x) e monóxido de carbono (CO), diminuindo a taxa de remoção dos poluentes pela chuva

e pela reação com o radical hidroxilo (OH⁻). Quando o ar contém altos teores de NO_x e ozônio (O₃), o mecanismo natural de limpeza da atmosfera é atrapalhado, elevando o nível de poluição. Enquanto que, na ausência de queimadas, o ar na Amazônia tem teores de NO_x e O₃ característicos do “ar limpo” sobre os oceanos, e os radicais OH⁻ combinam com o CH₄ para formar água (H₂O), limpando o metano do ar (Andreae *et al.*, 2002; Kirkman *et al.*, 2002).

As queimadas, além de diminuem a taxa remoção de poluentes, aumentam a taxa de formação dos poluentes pela ação de raios. As nuvens mais altas e, além de água em forma líquida, contém gelo (Silva-Dias *et al.*, 2002). A produção de descargas elétricas em forma de raios é maior na presença de gelo do que em nuvens formadas apenas de água líquida (tais como as que caracterizam a Amazônia quando não há queimadas). O aumento da produção de raios leva a formação de N₂O que, além de ser um gás de efeito estufa, possui outros efeitos indesejáveis na química atmosférica, como a destruição de O₃ 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 (Silva-Dias *et al.*, 2002).

O papel do solo na liberação de gases também muda com o desmatamento. Em condições florestais, o NO_x (e N₂O) do solo é reciclado e retido sob a floresta, sendo liberado, na maior parte, em forma de NO₂ (Gut *et al.*, 2002; van Dijk *et al.*, 2002). Isto muda caso a área esteja desmatada, com CH₄ e NO_x sendo liberados para a atmosfera (Kirkman *et al.*, 2002).

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.

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 do Clima (UNFCCC), as mudanças de uso da terra nos 5 × 10⁶ km² da Amazônia Legal incluíram 13,8 × 10³ km² de desmatamento, aproximadamente 5 × 10³ km² de corte de cerrado (que originalmente ocupou aproximadamente 20% da Amazônia Legal), corte de 7 × 10² km² de florestas secundárias “velhas” (pré-1970) e de 19 × 10³ km² em florestas secundárias “jovens” (1970+); queimada de 40 × 10³ km² de pastagens produtivas (33% da área presente), e recrescimento em 121 × 10³ km² de florestas secundárias “jovens”. Nenhuma represa hidrelétrica nova foi criada em 1990, mas a decomposição continuou em 4,8 × 10³ km² de reservatórios já existentes. A exploração madeireira de 24,6 × 10⁶ m³ de toras foi presumida, a taxa oficial de 1988.

ESTOQUES DE CARBONO

Biomassa florestal

A estimativa da biomassa florestal é essencial para poder estimar a magnitude das emissões do desmatamento, sendo as emissões diretamente proporcionais a este parâmetro. A biomassa média presente nas florestas primárias na Amazônia brasileira foi calculada baseada na análise de dados publicados sobre o volume de madeira de 2.954 ha de inventários florestais distribuídos em toda região (atualizado de Fearnside, 1994 baseado em Fearnside & Laurance, 2004; Nogueira *et al.*, 2005, 2006). A biomassa total média (incluindo os componentes mortos e debaixo do solo) foi calculada em 415 t/ha para todas as florestas maduras, não exploradas para madeira, originalmente presentes na Amazônia Legal brasileira. A biomassa média acima do solo foi 317 t/ha, dos quais 25 t/ha está morta, enquanto a média de biomassa debaixo do solo foi calculada em 98 t/ha. Estas estimativas incluíram a densidade de madeira

calculada separadamente para cada tipo de floresta, baseado no volume de cada espécie presente e nos dados publicados sobre densidade básica para 274 espécies (Fearnside, 1997a). As estimativas de biomassa total foram desagregadas por estado e por tipo de floresta, assim permitindo o uso dos dados junto com os dados sobre desmatamento baseados no satélite LANDSAT, divulgados para cada unidade federativa (Brasil, INPE, 2006). As biomassas foram ajustadas por dados melhorados sobre densidade da madeira (Nogueira *et al.*, 2005) e para reinterpretções dos efeitos de fator de forma e árvores ocas (Fearnside & Laurance, 2004).

Foram calculadas as extensões das áreas protegidas e desprotegidas (até 1990) de cada tipo de vegetação em cada um dos nove estados da Amazônia Legal (Fearnside & Ferraz, 1995). Multiplicando a biomassa por hectare de cada tipo de floresta pela área desprotegida presente em cada estado, pode-se calcular a biomassa cortada, presumindo que o desmatamento dentro de cada estado estava distribuído entre os diferentes tipos de vegetação na mesma proporção que os tipos de vegetação estavam 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, 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 leste 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 das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (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 Fearnside, 1994, 1997b); os dados são do Projeto RADAMBRASIL (Brasil, Projeto RADAMBRASIL, 1973-1983). Há certas indicações de que as equipes de inventário evitaram locais com muita exploração madeireira (Sombroek, 1992). Além disso, os danos de exploração madeireira eram muito menos difundidos na época dos inventários do que 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, a 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 e, portanto, acesso mais barato para madeireiros. Muito da redução de biomassa pela exploração madeireira resultará em liberação de gás semelhante às liberações que aconteceriam devido a 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. Além disso, pode ocorrer também a 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 Fearnside, 1995a). 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 foram subestimadas por deixar de fora alguns componentes da biomassa (ver Fearnside, 1994). 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 (Houghton, 2003) explica parte da diferença entre as estimativas, assim como as diferentes maneiras de contabilizar as emissões (Fearnside & Laurance, 2004; Ramakutty *et al.*, 2007). Muitas diferenças se devem à inclusão de elementos de emissões líquidas comprometidas (Fearnside, 1997b) junto com elementos do balanço anual das emissões líquidas (Fearnside, 1996b). 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 recrescimento de florestas secundárias baseado no balanço anual, assim apontando altos valores para as absorções e um saldo líquido menor do que seria o caso para uma estimativa de emissões líquidas comprometidas.

Paisagens desmatadas

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 pequenos agricultores foram derivadas usando os resultados de estudos de satélite em áreas de assentamento (Moran *et al.*, 1994; Skole *et al.*, 1994). As probabilidades para fazendeiros foram derivadas do comportamento típico indicado por levantamentos por entrevista realizados por Uhl *et al.* (1988).

A paisagem calculada para 1990 em áreas desmatadas foi 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 quantidade insignificante é “floresta regenerada” (definida como floresta secundária com mais de 100 anos). A biomassa total média (matéria seca, inclusive debaixo do solo e componentes mortos) foi 43,5 t/ha em 1990 nos 410×10^3 km² desmatados antes daquele ano para usos que não estejam represas hidrelétricas. A biomassa média em equilíbrio seria 28,5 t/ha em toda a área desmatada (excluindo represas) (Fearnside, 1996a). Fontes oficiais alegaram uma absorção maciça de C em “plantações”, com o resultando em as emissões líquidas por desmatamento iguais a zero (ISTOÉ, 1997). Esta alegação está completamente discrepante com os resultados apresentados no atual trabalho.

Várias estimativas de 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 seria recuperada 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 Fearnside & Laurance, 2003, 2004; ver respostas de Eva *et al.*, 2003 e Achard *et al.*, 2004).

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 à 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 (Fearnside, 1993). Florestas secundárias em pastagens degradadas crescem muito mais lentamente do que

em locais onde foram plantadas apenas culturas anuais após a derrubada inicial da floresta.

Brown & Lugo (1990) revisaram os dados disponíveis sobre crescimento de florestas secundárias tropicais. As informações disponíveis são praticamente todas de pousios de agricultura itinerante. As florestas secundárias em pastagens abandonadas crescem mais lentamente (Guimarães, 1993; Uhl *et al.*, 1988). Foram usadas estas informações sobre taxas de crescimento de vegetação secundária de origens diferentes para calcular a absorção pela paisagem em 1990 (Fearnside & Guimarães, 1996).

EMISSÕES DE GASES

Desmatamento

Queimada inicial

A eficiência da 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 Fearnside, 2000a, 2003). Ajustes para o efeito da exploração madeireira sobre a distribuição diamétrica das peças de biomassa deram 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 sequestrado 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 é convertido em carvão (Fearnside *et al.*, 1993, 1999, 2001; Graça *et al.*, 1999).

O carbono grafítico particulado é outro sumidouro para o carbono que está queimado. Uma quantia pequena de carbono elementar é formada como particulados grafíticos na fumaça; mais de 80% do carbono elementar formado permanece no local em forma de carvão (Kuhlbusch & Crutzen, 1995). O carbono

grafítico particulado é calculado por meio de fatores de emissão a partir da quantidade de madeira que passa pelo processo de combustão. A quantidade de carbono que entra neste sumidouro é apenas 1/13 da quantidade que entra no sumidouro de carvão.

A floresta secundária pré-1970 deve ser considerada separadamente da floresta primária, já que estas áreas não foram incluídas na estimativa de taxa de desmatamento ($13,8 \times 10^3$ km²/ano em 1990). Uma estimativa grosseira da taxa de derrubada foi 713 km²/ano (Fearnside, 1996b). A 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.

Foram 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 representou 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 suas liberações, mas não às absorções. A contribuição da queimada inicial de CH₄ foi 0,79-0,95 do total de $1,08-1,38 \times 10^6$ t (69-73%), a de CO foi 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-metano (NMHC), se considerados aparte da perda de fontes nas florestas maduras representou, 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%).

Queimadas subsequentes

O comportamento dos fazendeiros com relação à queimada pode alterar a quantidade

de carbono que passa para o estoque ao longo prazo na forma de carvão. Fazendeiros requeimam as pastagens em intervalos de 2-3 anos para combater a invasão de vegetação lenhosa não comestível. Quando essas requeimas acontecem, os troncos sobre o chão são frequentemente queimados. Pode ser esperado que algum carvão formado em queimadas anteriores também sofra combustão. Parâmetros para transformações dos estoques brutos de carbono foram determinados em Fearnside (1997b: 337-338), com mudanças na biomassa, na fração da biomassa presente acima do solo, na eficiência de queimada, na formação de carvão e na liberação de carbono do solo, 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 foram apresentados em Fearnside (1997b: 341-344). Os cálculos foram realizados por um programa chamado “DEFOREST”, mas melhor conhecido como “BIG CARBON”, composto de aproximadamente 150 planilhas eletrônicas interligadas.

Decomposição de remanescentes não queimados

A decomposição acima do solo de remanescentes não queimados foi 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., Borges, 1992; Silveira, 1992) eram apenas um terço dos valores calculados no presente trabalho por um fator de três, principalmente porque elas ignoravam as emissões herdadas nas quais a decomposição desempenha

um grande papel. O Inventário Nacional Brasileiro (Brasil, MCT, 2004) segue uma metodologia padronizada que obriga a inclusão da decomposição, embora a estimativa no Inventário Nacional também foi 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 (Martius *et al.*, 1996) 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. A produção mais baixa de metano (0,002 g CH₄ por g de madeira seca consumida) também contribuiu para abaixar as emissões desta fonte, que foram 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.

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, de ervas daninhas, ou de vegetação 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 anualmente entre a biomassa nas pastagens e a atmosfera na Amazônia brasileira. Os gases traço liberados na queimada das pastagens não entram no processo de fotossíntese e, portanto, são acumulados na atmosfera. Estas emissões têm sido estimadas considerando o destino da biomassa em pastagens de Roraima (Barbosa & Fearnside, 1996).

As queimadas de florestas secundárias (capoeiras) contribuem com gases traço, da mesma forma que a queima das pastagens.

Para o efeito sobre CO_2 , diferente das pastagens, é preciso calcular explicitamente os fluxos brutos, com estimativas da emissão e da absorção por recrescimento. Um total de 29×10^6 t de gás de CO_2 ($7,9 \times 10^6$ 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 $40\text{-}52 \times 10^6$ t CO_2 ($11,0\text{-}14,2 \times 10^6$ t C) por combustão, e que a decomposição de biomassa não queimada de capoeira liberou $44\text{-}46 \times 10^6$ t CO_2 ($12,0\text{-}12,5 \times 10^6$ t C), assim tendo uma emissão líquida de $76\text{-}90 \times 10^6$ t CO_2 ($20,7\text{-}24,5 \times 10^6$ t C). Quase tudo isto representa áreas que originalmente eram floresta.

Exploração madeireira

Em uma situação típica, as florestas acessíveis por terra ou por transporte fluvial são exploradas para madeira, reduzindo 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 da 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 a redução das emissões devido à menor biomassa. Em cálculos que incluem taxas de desconto ou ponderação por preferência temporal, é dada ênfase às emissões em curto prazo. O efeito de exploração madeireira no impacto do 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 Instituto

Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) indicou que foram explorados apenas 2000 km^2 /ano na Amazônia Legal (Krug, 2001; dos Santos *et al.*, 2001, 2002). Estimativas feitas pelo Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM) indicam 10.000-15.000 km^2 /ano (Nepstad *et al.*, 1999a). A grande variação nas 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. O cálculo do INPE está baseado em imagens de LANDSAT sem “verdade terrestre” (observações no chão). A explicação mais provável para as estimativas serem tão 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 (Nepstad *et al.*, 1999a) está baseado no volume de madeira removido da região como um todo e na intensidade da 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 (Experimento de Larga Escala na Biosfera-Atmosfera na Amazônia), em Belém, Pará. David Skole calculou taxas de exploração madeireira de 2.655 e 5.406 km^2 /ano, respectivamente, para 1992-1993 e 1996-1997 na cena de LANDSAT-TM (223/63) ao sul do polo de exploração madeireira em Tailândia, Pará. Nestes mesmos anos, o cálculo do INPE, apresentado por Thelma Krug, indicou apenas 3.220 e 1.989 km^2 /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 km^2) por ano. O extenso trabalho de campo que fundamentou 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 foi 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 $2,4 \times 10^6$ tC/ano de emissão apresentado no Inventário Nacional Brasileiro (Brasil, MCT, 2004).

Uma estimativa recente (Asner *et al.*, 2005) para o período 1999-2002 calculou para cinco dos nove estados da Amazônia Legal que a exploração madeireira atingiu $16,1-19,8 \times 10^3$ km²/ano, colhendo $27-50 \times 10^6$ m³/ano e emitindo 80×10^6 tC/ano. Em declarações nos jornais, pesquisadores do INPE contestaram estes números, sugerindo que a emissão deve ser aproximadamente a metade, ou seja 40×10^6 tC/ano. Esta faixa de $40-80 \times 10^6$ tC/ano foi consistente com a estimativa deste autor para o ano 1990 (Fearnside, 2000a, 2003). Para estimar a emissão por exploração madeireira em 1990, foi considerada a colheita de $24,6 \times 10^6$ m³ de toras registrada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para 1988. A emissão foi equivalente a $62-63 \times 10^6$ tC, para os cenários de baixo e alto gases traço (Fearnside, 2000a, 2003). Isto é mais que a quantidade que o Brasil emitia em 1990 por queima de combustíveis fósseis, estimada em 50×10^6 tC em 1987 (Flavin, 1989: 26).

A exploração madeireira aumenta em muito a frequência de incêndios florestais, com conseqüente degradação da floresta e emissões de carbono (Cochrane & Shulze, 1999; Cochrane *et al.*, 1999; Nepstad *et al.*, 1999b). Degradação e emissão também resultam de mudanças microclimáticas perto da borda das florestas remanescentes em paisagens fragmentadas (Laurance *et al.*, 1997).

Incêndios florestais

Os 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 no 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) (Barbosa & Fearnside, 1999). 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 sobre Mudanças Climáticas (IPCC) (Schimel *et al.*, 1996), 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 (Barbosa & Fearnside, 1999).

No Pará e Mato Grosso durante o mesmo evento El Niño de 1997-1998, incêndios atingiram 26.000 km², enquanto em um ano sem El Niño (1995) a área de incêndio florestal na mesma região foi de 2.000 km² (Alencar *et al.*, 2006). Usando estimativas de mortalidade de biomassa acima do solo a partir da literatura (Holdsworth & Uhl, 1997; Cochrane & Schultz, 1999; Barlow *et al.*, 2002), estima-se as emissões comprometidas dessas áreas em $24-165 \times 10^6$ tC no ano com El Niño e $1-11 \times 10^6$ tC no ano sem El Niño (Alencar *et al.*, 2005).

Hidrelétricas

Emissões de gases de efeito estufa de represas são frequentemente retratadas pela indústria hidrelétrica como sendo inexistentes (por exemplo, de Souza, 1996), e, geralmente, têm sido ignoradas em cálculos globais de emissões das mudanças de uso da terra. A represa

de Balbina emite mais gases que a geração da mesma quantidade de energia por termelétricas (Fearnside, 1995b), mas representa um caso extremo devido à topografia plana do local do reservatório e a pequena vazão 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, é menor do que a média para represas existentes na Amazônia. Também é melhor do que a média para as represas planejadas que, se todas fossem construídas, inundariam 3% da floresta na Amazônia brasileira (Brasil, ELETROBRÁS, 1987: 150). A emissão de gases de efeito estufa de Tucuruí em 1990 foi equivalente a $7,0-10,1 \times 10^6$ toneladas de carbono equivalente a CO₂, uma quantidade substancialmente maior que a emissão de combustível fóssil da cidade de São Paulo. As emissões precisam ser pesadas corretamente em decisões sobre construção de barragens. Embora se espere que muitas hidrelétricas propostas na Amazônia tenham balanços positivos em comparação com combustíveis fósseis, as emissões reduzem os benefícios atribuídos às represas planejadas (Fearnside, 2002, 2004b). 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 (1.000%) ou mais (Fearnside, 2004c, 2005a, 2006a). Estimativas subsequentes para outras represas confirmam emissões uma ordem de grandeza acima dos incluídos no Inventário (Fearnside, 2005b; Delmas *et al.*, 2005).

ÍNDICES DE IMPACTO SOBRE MUDANÇA CLIMÁTICA

Emissões líquidas comprometidas

As emissões líquidas comprometidas (quantidades líquidas de gases de efeito estufa que serão emitidos em longo prazo como resultado do desmatamento feito em

um determinado ano) de desmatamento feito em 1990 (não incluindo emissões da exploração madeireira ou de corte do cerrado) totalizaram 836×10^6 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 N₂O. Estas emissões foram equivalentes a $267-278 \times 10^6$ t de carbono equivalente a carbono de CO₂, usando os GWPs de 100 anos do SAR. Emissões de CO₂ incluíram 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. A 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 gráficos ($0,42 \times 10^6$ t C).

A inclusão de gases traço no cálculo das emissões aumentou o impacto da emissão líquida comprometida em 5-9%, comparada com valores que consideram apenas o CO₂. O SAR reconhece alguns efeitos indiretos do CH₄, mas nenhum do CO, que é um componente importante das emissões da queima de biomassa. O terceiro relatório de avaliação (TAR) aumentou o GWP de metano de 21 para 23 (um aumento de 10%) devido a uma revisão do modelo global de carbono, mas não mudou os efeitos indiretos incluídos no cálculo do SAR (Houghton *et al.*, 2001). [Obs.: no sexto relatório de avaliação (AR6), de 2021, o GWP de metano para 100 anos, comparável a esses números, é de 27,2, e o de 20 anos, que é mais relevante ao compromisso de limitar o aquecimento global em 1,5 °C, é de 80,8]. 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 (Shine *et al.*, 1990: 60), mas não usados nos relatórios subsequentes enquanto não há acordo, o balanço anual seria aumentado o equivalente a $54-68 \times 10^6$ t de gás de CO₂ ($15-19 \times 10^6$ t C). Enquanto a inclusão do efeito adicional de CO em estender a vida atmosférica do CH₄ devido à remoção dos radicais OH (Shine *et al.*, 1990: 59) aumentaria este impacto ainda mais. Somente os efeitos representados no GWP de 2, aplicados à emissão de desmatamento, equivalem 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 UNFCCC, 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) calculou 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, foram 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 CO₂ (i.e., sem os efeitos dos gases traços) para ser comparável com o inventário. Ajustando isto pela taxa de desmatamento no intervalo 1988-1994 indicou 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 ainda maior. A diferença se deve principalmente à omissão de vários componentes de biomassa do inventário, tais como as raízes das árvores, as árvores mortas e as palmeiras, e a presunção de uma regeneração de capoeiras muito mais

rápido do que o observado em capoeiras na região, que geralmente são em pastagens degradadas onde o crescimento é lento.

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 CO₂, $3,2-3,5 \times 10^6$ t de CH₄, $34,5-42,1 \times 10^6$ t de CO, e $0,15-0,23 \times 10^6$ t de N₂O. As emissões de CO₂ incluíram 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, $46-58 \times 10^6$ t de queimada de biomassa de floresta secundária de todas as idades, $52-54$ de decomposição das florestas secundárias, $54-57 \times 10^6$ t CO₂ de liberações líquidas de carbono do solo até 8 m de profundidade (primeiros 15 anos apenas), 224×10^6 t de exploração madeireira e 36×10^6 t de reservatórios hidrelétricos. Pastagens liberaram através da queimada (e assimilaram através do crescimento) $21-22 \times 10^6$ t de gás de CO₂, não contadas nos cálculos. O efeito do desmatamento no balanço anual foi uma emissão líquida equivalente a $330-335 \times 10^6$ t de carbono equivalente a carbono de CO₂.

Considerando somente o CO₂, $1.113-1.128 \times 10^6$ t de gás foram emitidas (emissão bruta) através do desmatamento (não incluindo emissões da exploração madeireira). Subtraindo a absorção de 29×10^6 t de gás de CO₂ rende uma emissão líquida de $1.084-1.099 \times 10^6$ t de CO₂, ou $296-300 \times 10^6$ 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 aumentaram para $330-335 \times 10^6$ t de carbono equivalente de carbono de CO₂. O efeito dos gases traço elevou 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 considerado o CO₂, e em 35-38% se também são incluídos os equivalentes de CO₂ dos outros gases. As emissões líquidas comprometidas seriam iguais ao balanço anual se o desmatamento fosse proceder a uma taxa constante ao longo de um período prolongado.

PAPEL DO USO DA TERRA NO COMBATE AO EFEITO ESTUFA

O uso e a mudança de uso da terra na Amazônia brasileira em 1990 representaram 4% das 6 GtC de emissões globais anuais de gases de efeito estufa na época oriundas de combustível fóssil e fabricação de cimento (atualizado de Fearnside, 2000b). 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 da exploração madeireira predatória por exploração de baixo impacto, e algumas medidas com plantações silviculturais e agroflorestas (Fearnside, 1999a, 2000c). Entre estas opções, evitar o desmatamento tem, de longe, o maior potencial para contribuir com a luta contra o efeito estufa. O sequestro de carbono no solo de pastagens também é muito menos promissor como medida de mitigação do que o desmatamento evitado (Fearnside & Barbosa, 1998). 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 (Fearnside, 1995a). Uma das

maneiras de diminuir o desmatamento é não fazer rodovias e outras obras de infraestrutura que estimulem o desmatamento em áreas ainda pouco perturbadas. Muito da infraestrutura anunciada no Programa Avança Brasil (2000-2002) e no Plano Plurianual (PPA) (2003-2007) oferece um bom exemplo.

Planos para construção de infraestrutura implicam em um aumento substancial nas taxas de desmatamento e na degradação de florestas em pé. Um estudo (Nepstad *et al.*, 2000; Carvalho *et al.*, 2001) estimou que a porção rodoviária da infraestrutura planejada sob o programa Avança Brasil provocaria 120.000 a 270.000 km² de desmatamento adicional ao longo de 20-30 anos (400.000-1.350.000 ha/ano) que liberaria $6-11 \times 10^9$ t C apenas do desmatamento ($200-550 \times 10^6$ 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 da infraestrutura planejada, mais a conversão de $1,53-2,37 \times 10^6$ 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 $52,2-98,2 \times 10^6$ 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 foi 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) implicaria 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 viabilizou a ratificação do Protocolo representou 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 europeias se opuseram à inclusão do desmatamento evitado, mas a consideração que melhor explica esse posicionamento depende de circunstâncias que aplicaram 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 a 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 (Fearnside, 2001, 2003). 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 paralisia em relação ao futuro do Protocolo, e aumentou o atrativo de investimentos a 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 uso futuro do desmatamento evitado no MDL, definido no Artigo 12 do Protocolo de Quioto, depende de negociações sobre

os vários pontos críticos. Um destes pontos, ainda a ser definido, se refere às linhas de base (“*baselines*”). Um acordo sobre as linhas de base é necessário, uma vez que possuem implicações importantes tanto para a quantidade de crédito alcançável como também para o potencial para incentivos perversos (Watson *et al.*, 2000; Hardner *et al.*, 2000). Entre as diversas considerações sobre o valor atribuído ao desmatamento evitado são de grande importância as exigências relativas à certeza (Fearnside, 2000d), permanência (o tempo ao longo de que o carbono seria mantido fora da atmosfera) (Fearnside *et al.*, 2000), 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, somente é permitido o uso das taxas de desmatamento históricas como linha de base, a partir da qual o crédito de carbono seria dado. Desta forma, a maneira de agir seria “cercando” (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 potencial para desmatamento no Avanço Brasil e sua continuação no Plano Plurianual (PPA) ilustra por que vale a pena achar maneiras para fazer com que o crédito para desmatamento seja aplicado não só às áreas que já foram muito desmatadas, mas também às novas fronteiras. O que torna os planos de construção de infraestrutura tão danosos ao meio ambiente, inclusive 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 (Fearnside, 1999b). Outra possibilidade importante é a proposta de “redução compensada” de emissões (Santilli *et al.*, 2005). Isto também concederia crédito com base na redução 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 “banciar” dados de um período de compromisso para outro sob o Protocolo de Quioto, o que poderia possibilitar que ações realizadas no primeiro período de compromisso para reduzir o desmatamento resultassem em créditos no segundo período de compromisso.

A contribuição da perda de floresta às 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 (Fearnside, 1997c, 2005c, 2006b).

CONCLUSÕES

Em 1990, o ano para a linha de base dos inventários nacionais sob a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima, a biomassa total média nas áreas de floresta original desmatadas era 364 t/ha (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. O desmatamento mais rápido nos anos que precederem 1990 faz com que as emissões herdadas estejam maiores do que

teriam sido se a taxa de desmatamento fosse constante ao nível de 1990.

As emissões líquidas comprometidas (as quantidades líquidas de gases de efeito estufa que serão emitidos a 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) foram 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) foi uma emissão líquida equivalente a $330-335 \times 10^6$ t de carbono equivalente a carbono de CO_2 , enquanto a exploração madeireira acrescentou 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 indicam 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 nas políticas públicas? 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.

LITERATURA CITADA

Achard, F., Eva, H.D., Mayeux, P., Stibig, H.-J., Belward, A. 2004. Improved estimates of emissions from land cover change in the tropics for the 1990s. *Global Biogeochemical Cycles* 18(GB2008): 1-11. <https://doi.org/10.1029/2003GB002142>

- Achard, F., Eva, H.D., Stibig, H.J., Mayaux, P., Gallego, J., Richards, T., Malingreau, J.-P. 2002. Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests. *Science* 297: 999-1002.
- Alencar, A., Nepstad, D., Diaz, M.C.V. 2006. 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.
- Alencar, A., Nepstad, D., Moutinho, P. 2005. 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., p. 23-33.
- 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. 2002. Biogeochemical cycling of carbon, water, energy, trace gases and aerosols in Amazonia: The LBA-EUSTACH experiments. *Journal of Geophysical Research* 107, D20, 8066-8091 <https://doi.org/10.1029/2001JD000524>
- Asner, G.P., Knapp, D.E., Broadbent, E.N., Oliveira, P.J.C., Keller, M., Silva, J.N. 2005. Selective logging in the Brazilian Amazon. *Science* 310: 480-482.
- Barbosa, R.I., Fearnside, P.M. 1996. Pasture burning in Amazonia: Dynamics of residual biomass and the storage and release of aboveground carbon. *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)* 101(D20): 25.847-25.857
- Barbosa, R.I., Fearnside, P.M. 1999. 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
- Barlow, J., Haugaasen, T., Peres, C.A. 2002. Effects of ground fires on understory bird assemblages in Amazonian forests. *Biological Conservation* 105(1): 157-169.
- Borges, L. 1992. Desmatamento emite só 1,4% de carbono, diz Inpe". *O Estado de São Paulo*, 10 de abril de 1992, p. 13.
- Brasil, ELETROBRÁS. 1987. *Plano 2010: Relatório Geral. Plano Nacional de Energia Elétrica 1987/2010 (Dezembro de 1987)*, Centrais Elétricas do Brasil (ELETROBRÁS), Brasília, DF, 269 p.
- Brasil, INPE. 2006. Estimativas Anuais desde 1988: Taxa de desmatamento anual (km²/ano). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, SP. http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes_1988_2005.htm
- Brasil, MCT. 2004. *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, 271 p.
- Brasil, Projeto RADAMBRASIL. 1973-1983. *Levantamento de Recursos Naturais*, Vols. 1-23. Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), Rio de Janeiro, Brasil.
- Brown, S., Lugo, A.E. 1990. Tropical secondary forests. *Journal of Tropical Ecology* 6: 1-32.
- Carvalho, G., Barros, A.C., Moutinho, P., Nepstad, D. 2001. Sensitive development could protect Amazonia instead of destroying it. *Nature* 409: 131.
- Cochrane, M.A., Alencar, A.A., Schulze, M.D., Souza, C.M., Nepstad, D.C., Lefebvre, P., Davidson, E.A. 1999. Positive feedbacks in the fire dynamic of closed canopy tropical forests. *Science* 284: 1832-1835.
- Cochrane, M.A., Schulze, M.D. 1999. 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.
- Delmas, R., Richard, S., Guérin, F., Abril, G., Galy-Lacaux, C., Delon, C., Grégoire, A. 2005. 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, p. 293-312.
- de Souza, J.A.M. 1996. 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, Áustria, p. 19-21.
- dos Santos, J.R., Krug, T., Araújo, L.S., Meira Filho, G., Almeida, C.A. 2001. Dados multitemporais TM/Landsat aplicados ao estudo da dinâmica de exploração madeireira na Amazônia. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto No, Foz do Iguaçu. Anais. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos-SP. (CD-ROM) (disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2001>).
- dos Santos, J.R., Krug, T., Araújo, L.S., Meira Filho, G., Almeida, C.A. 2002. Corte de árvores visto do espaço. *Ciência Hoje* 30(179): 67-69.
- Eagleson, P.S. 1986. The emergence of global-scale hydrology. *Water Resources Research* 22(9): 6s14s.
- Eva, H.D., Achard, F., Stibig, H.-J., Mayaux, P. 2003. Response to comment on "Determination of deforestation rates of the World's humid tropical forests." *Science* 299: 1015b.

- Fearnside, P.M. 1993. Deforestation in Brazilian Amazonia: The effect of population and land tenure. *Ambio* 22: 537-545.
- Fearnside, P.M. 1994. Biomassa das florestas Amazônicas brasileiras. In: *Anais do Seminário Emissão X Seqüestro de CO₂*. Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), Rio de Janeiro, p. 95-124.
- Fearnside, P.M. 1995a. Global warming response options in Brazil's forest sector: Comparison of project-level costs and benefits. *Biomass and Bioenergy* 8:309-322.
- Fearnside, P.M. 1995b. Hydroelectric dams in the Brazilian Amazon as sources of 'greenhouse' gases. *Environmental Conservation* 22(1): 7-19.
- Fearnside, P.M. 1996a. Amazonian deforestation and global warming: Carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest. *Forest Ecology and Management* 80: 21-34.
- Fearnside, P.M. 1996b. 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., p. 606-617.
- Fearnside, P.M. 1997a. Wood density for estimating forest biomass in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management* 90: 59-89.
- Fearnside, P.M. 1997b. Greenhouse gases from deforestation in Brazilian Amazonia: Net committed emissions. *Climatic Change* 35: 321-360.
- Fearnside, P.M. 1997c. Environmental services as a strategy for sustainable development in rural Amazonia. *Ecological Economics* 20(1): 53-70.
- Fearnside, P.M. 1999a. 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.
- Fearnside, P.M. 1999b. Como o efeito estufa pode render dinheiro para o Brasil. *Ciência Hoje* 26(155): 41-43.
- Fearnside, P.M. 2000a. 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., p. 231-249.
- Fearnside, P.M. 2000b. 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.
- Fearnside, P.M. 2000c. 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, p. 59-74.
- Fearnside, P.M. 2000d. 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.
- Fearnside, P.M. 2001. Saving tropical forests as a global warming countermeasure: An issue that divides the environmental movement. *Ecological Economics* 39(2): 167-184.
- Fearnside, P.M. 2002. Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil's Tucuruí Dam) and the energy policy implications. *Water, Air and Soil Pollution* 39(2): 167-184.
- Fearnside, P.M. 2003. *A Floresta Amazônica nas Mudanças Globais*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA, Manaus, Amazonas, 134 p.
- Fearnside, P.M. 2004a. A água de São Paulo e a floresta amazônica. *Ciência Hoje* 34(203): 63-65.
- Fearnside, P.M. 2004b. Gases de efeito estufa em hidrelétricas da Amazônia. *Ciência Hoje* 36(211): 41-44.
- Fearnside, P.M. 2004c. Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams: Controversies provide a springboard for rethinking a supposedly "clean" energy source. *Climatic Change* 66(1-2): 1-8.
- Fearnside, P.M. 2005a. 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.
- Fearnside, P.M. 2005b. 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-mô: Alertas sobre as conseqüências dos projetos hidrelétricos no rio Xingu, Pará, Brasil*", International Rivers Network, São Paulo, p. 204-241.
- Fearnside, P.M. 2005c. 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, p. 36-64.
- Fearnside, P.M. Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams: Reply to Rosa et al. *Climatic Change* 75(1-2): 103-109, 2006a.
- Fearnside, P.M. 2006b. 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., p. 353-375.
- Fearnside, P.M., Barbosa, R.I. 1998. Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management* 108: 147-166.

- Fearnside, P.M., Ferraz, J. 1995. A conservation gap analysis of Brazil's Amazonian vegetation. *Conservation Biology* 9: 1134-1147.
- Fearnside, P.M., Graça, P.M.L.A., Leal Filho, N., Rodrigues, F.J.A., Robinson, J.M. 1999. Tropical forest burning in Brazilian Amazonia: Measurements of biomass loading, burning efficiency and charcoal formation at Altamira, Pará. *Forest Ecology and Management* 123(1): 65-79.
- Fearnside, P.M., Graça, P.M.L.A., Rodrigues, F.J.A. 2001. Burning of Amazonian rainforests: burning efficiency and charcoal formation in forest cleared for cattle pasture near Manaus, Brazil. *Forest Ecology and Management* 146(1-3): 115-128.
- Fearnside, P.M., Guimarães, W.M. 1996. Carbon uptake by secondary forests in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management* 80: 35-46.
- Fearnside, P.M., Lashof, D.A., Moura-Costa, P. 2000. Accounting for time in mitigating global warming through land-use change and forestry. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 5(3): 239-270.
- Fearnside, P.M., Laurance, W.F. 2003. Comment on "Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests" *Science* 299: 1015a.
- Fearnside, P.M., Laurance, W.F. 2004. Tropical deforestation and greenhouse gas emissions. *Ecological Applications* 14(4): 982-986.
- Fearnside, P.M., Leal Filho, N., Fernandes, F.M. 1993. Rainforest burning and the global carbon budget: Biomass, combustion efficiency and charcoal formation in the Brazilian Amazon. *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)* 98(D9): 16.733-16.743.
- Flavin, C. 1989. Slowing global warming: A worldwide strategy. *Worldwatch Paper 91*. Worldwatch Institute, Washington, DC, E.U.A. 94 p.
- Graça, P.M.L.A., Fearnside, P.M., Cerri, C.C. 1999. Burning of Amazonian forest in Ariquemes, Rondônia, Brazil: Biomass, charcoal formation and burning efficiency. *Forest Ecology and Management* 120(1-3): 179-191.
- Guimarães, W.M. 1993. *Liberação de carbono e mudanças nos estoques dos nutrientes contidos na biomassa aérea e no solo resultante de queimadas de florestas secundárias em áreas de pastagens abandonadas, em Altamira, Pará*. Dissertação de mestrado em ecologia, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade do Amazônia (INPA/FUA), Manaus, Amazonas, 69 p.
- 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. 2002. NO emission from an Amazonian rain forest soil: Continuous measurements of NO flux and soil concentration. *Journal of Geophysical Research* 107, D20, <https://doi.org/10.1029/2001JD000521>
- Hardner, J.J., Frumhoff, P.C., Goetz, D.C. 2000. 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.
- Henderson-Sellers, A., Gornitz, V. 1984. Possible climatic impacts of land cover transformations, with particular emphasis on tropical deforestation. *Climatic Change* 6: 231-257.
- Holdsworth, A.R., Uhl, C. 1997. Fire in eastern Amazonian logged rain forest and the potential for fire reduction. *Ecological Applications* 7(2): 713-725.
- Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.G., Noguer, M., Van der Linden, R.J., Xiaosu, D. (eds.). 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, 944 p.
- Houghton, R.A. 2003. Why are estimates of the terrestrial carbon balance so different? *Global Change Biology* 9: 500-509.
- Houghton, R.J.A., Skole, D.L., Nobre, C.A., Hackler, J.L., Lawrence, K.T., Chomentowski, W.H. 2000. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. *Nature* 403: 301-304.
- IPCC. 1997. *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Workbook (Volume 2)*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Genebra, Suíça.
- ISTOÉ. 1997. A Versão do Brasil. ISTOÉ [São Paulo] 15 de outubro de 1997, p. 98.
- Kirkman, G.A., Gut, A., Ammann, C., Gatti, L.V., Cordova, A.M., Moura, M.A.L., Andreae, M.O., Meixner, F.X. 2002. Surface exchange of nitric oxide, nitrogen dioxide, and ozone at a cattle pasture in Rondônia, Brazil. *Journal of Geophysical Research* 107, D20, <https://doi.org/10.1029/2001JD000523>
- Krug, T. 2001. O quadro do desflorestamento da Amazônia. In: V. Fleischesser (ed.) *Causas e Dinâmica do Desmatamento na Amazônia*, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF, p. 91-98.
- Kuhlbusch, T.A.J., Crutzen, P.J. 1995. 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.
- Laurance, W.F., Laurance, S.G., Ferreira, L.V., Rankin-de-Merona, J.M., Gascon, C., Lovejoy, T.E. 1997. Biomass collapse in Amazonian forest fragments. *Science* 278: 1117-1118.
- Laurance, W.F., Cochrane, M.A., Bergen, S., Fearnside, P.M., Delamônica, P., Barber, C., D'Angelo, S., Fernandes, T. 2001a. The Future of the Brazilian Amazon. *Science* 291: 438-439.
- Laurance, W.F., Cochrane, M.A., Bergen, S., Fearnside, P.M., Delamônica, P., Barber, C., D'Angelo, S., Fernandes, T. 2001b. The Future of the Brazilian

- Amazon: Supplementary Material. *Science Online* (<http://www.sciencemag.org/cgi/content/full/291/5503/438/DC1>).
- Lean, J., Bunton, C.B., Nobre, C.A., Rowntree, P.R. 1996. 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, p. 549-576.
- Martius, C., Fearnside, P.M., Bandeira, A.G., Wassmann, R. 1996. Deforestation and methane release from termites in Amazonia. *Chemosphere* 33: 517-536.
- Moran, E.F., Brondizio, E., Mausel, P., Wo, Y. 1994. Integrating Amazonian vegetation, land-use, and satellite data. *BioScience* 44: 329-338.
- Nepstad, D., Capobianco, J.P., Barros, A.C., Carvalho, G., Moutinho, P., Lopes, U., Lefebvre, P. 2000. Avanço 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>).
- Nepstad, D.C., Moreira, A.G., Alencar, A.A. 1999b. *A Floresta em Chamas: Origens, Impactos e Prevenção de Fogo na Amazônia*. Banco Mundial, Brasília, DF, 172 p.
- 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. 1999a. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. *Nature* 398: 505-508.
- Nogueira, E.M., Nelson, B.W., Fearnside, P.M. 2005. Wood density in dense forest in central Amazonia, Brazil. *Forest Ecology and Management* 208(1-3): 261-286.
- Nogueira, E.M., Nelson, B.W., Fearnside, P.M. 2006. Volume and biomass of trees in central Amazonia: Influence of irregularly shaped and hollow trunks. *Forest Ecology and Management* 227(1-2): 14-21.
- Ramakutty, N., Gibbs, H.K., Achard, F., De Fries, R., Foley, J.A., Houghton, R.A. 2007. Challenges to estimating carbon emissions from tropical deforestation. *Global Change Biology* 13(1): 51-66. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01272.x>
- Roberts, G.C., Nenes, A., Seinfeld, J.H., Andreae, M.O. 2003. Impact of biomass burning on cloud properties in the Amazon Basin. *Journal of Geophysical Research* 108, D2, <https://doi.org/10.1029/2001JD000985>
- 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.
- Rosa, L. P., dos Santos, M. A., Matvienko, B., Sikar, E., dos Santos, E.O. 2006. 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.
- Salati, E., Vose, P.B. 1984. Amazon Basin: A system in equilibrium. *Science* 225: 1291-138.
- Santilli, M., Moutinho, P., Schwartzman, S., Nepstad, D.C., Curran, L., Nobre, C. 2005. Tropical deforestation and the Kyoto Protocol. *Climatic Change* 71: 267-276.
- Schimel, D. & 75 outros. 1996. 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, p. 65-131.
- Shine, K.P., Derwent, R.G., Wuebbles D.J., Morcrette, J.-J. 1990. 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, p. 41-68.
- Shukla, J., Nobre C.A., Sellers, P. 1990. Amazon deforestation and climate change. *Science* 247: 1322-1325.
- 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. 2002. Cloud and rain processes in a biosphere-atmosphere interaction context in the Amazon Region. *Journal of Geophysical Research* 107, D20, <https://doi.org/10.1029/2001JD000335>
- Silveira, V. 1992. Amazônia poluí com apenas 1,4%. *Gazeta Mercantil* [São Paulo] 29 de maio de 1992, p. 2 & 6.
- Skole, D.L., Chomentowski, W.H., Salas, W.A., Nobre, A.D. 1994. Physical and human dimensions of deforestation in Amazonia. *BioScience* 44(5): 314-322.
- 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. 2006. Modelling conservation in the Amazon basin. *Nature* 440: 520-523.
- Sombroek, W.G. 1992. Biomass and carbon storage in the Amazon ecosystems. *Interciencia* 17: 269-272.
- Uhl, C., Buschbacher, R., Serrão, E.A.S. 1988. Abandoned pastures in Eastern Amazonia. I. Patterns of plant succession. *Journal of Ecology* 76: 663-681.
- van Dijk, S.M., Gut, A., Kirkman, G.A., Gomes, B.M., Meixner, F.X., Andreae, M.O. 2002. Biogenic NO emissions from forest and pasture soils: Relating laboratory studies to field measurements. *Journal of Geophysical Research* 107, D20, <https://doi.org/10.1029/2001JD000358>
- Watson, R.T., Noble, I.R., Bolin, B., Ravindranath, N.H., Verardo, D.J., Dokken, D.J. (eds.). 2000. *IPCC Special Report on Land Use, Land-Use Change, and Forestry*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido 377 p.