

QUANTIFICAÇÃO DO SERVIÇO AMBIENTAL DO CARBONO NAS FLORESTAS AMAZÔNICAS BRASILEIRAS

Philip M. Fearnside^{1*}

¹ Instituto Nacional Pesquisas da Amazônia (INPA), Av. André Araújo, 2936, C.P. 478, Manaus-Amazonas, CEP: 69011-970, Brasil. Tel: (92) 3643-1822.

*E-mail: pmfearn@inpa.gov.br

RESUMO

Um dos serviços ambientais importantes da floresta amazônica é o armazenamento de carbono, que evita o aumento das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera e, conseqüentemente, o aquecimento global. Porém, a maneira como se contabiliza o carbono pode ter um grande efeito no valor atribuído a diferentes medidas de mitigação, tais como a criação de áreas protegidas, operações de “comando-e-controle” para inibir o desmatamento, e o plantio de árvores. Uma dessas diferenças é a contabilização baseada em estoques *versus* fluxos de carbono, mudanças nos fluxos sendo à base do critério de “adicionalidade” atualmente usado pelo Protocolo de Kyoto. Outra decisão fundamental é o valor atribuído ao tempo através de tais escolhas como o horizonte de tempo considerado e uma taxa de desconto sobre emissões de carbono. Uma controvérsia adicional abrange a questão de o quanto de incerteza deveria ser permitida nas estimativas de benefícios de carbono das diferentes opções de mitigação, incluindo o desmatamento evitado (também chamado de Redução de Emissões de Desmatamento e Degradação, ou “REDD”). Estimativas de estoques e fluxos de carbono na Amazônia têm níveis altos de incerteza, mas há progresso contínuo na redução disto. Negociações internacionais se passam por uma série de decisões críticas sobre compromissos globais para reduzir as emissões de carbono, e o papel futuro que este esforço de mitigação terá em ajudar o Brasil a reduzir as suas emissões oriundas de desmatamento amazônico. Esta opção precisa ser aproveitada ao máximo. Caso contrário, o Brasil corre um sério risco de perder a floresta amazônica para o desmatamento, incêndios florestais e mudanças climáticas, destruindo assim muitos dos serviços ambientais da floresta amazônica que são vitais ao futuro do País.

Palavras-chave: Aquecimento global, Carbono, Desmatamento, Desmatamento evitado, Efeito estufa, Floresta amazônica.

ABSTRACT

QUANTIFICATION OF THE ENVIRONMENTAL SERVICE OF THE CARBON IN BRAZIL'S AMAZON FORESTS. One of the important environmental services of Amazonian forest is carbon storage, which avoids increasing the concentrations of greenhouse gases in the atmosphere and consequent global warming. However, the way that carbon accounting is done can have a large effect on the value attributed to different mitigation measures, such as creation of protected areas, command-and-control operations to inhibit clearing, and planting trees. One difference is an accounting based on stocks versus one based on flows of carbon, such as the “additionality” criterion currently used by the Kyoto Protocol. Another key decision is the value attributed to time by such choices as the time horizon considered and a discount rate for carbon emissions. Additional controversy surrounds the question of how much uncertainty should be allowed in the estimates of carbon benefits from different mitigation options, including avoided deforestation (recently often called Reduced Emissions from Deforestation and Degradation, or “REDD”). Estimates of carbon stocks and flows in Amazonia carry considerable uncertainty, but steady progress is being made in reducing it. International negotiations are at a series of critical junctures regarding global commitments to reducing carbon emissions, and the future role of this mitigation effort in helping Brazil reduce its emissions from Amazonian deforestation. This option needs to be used to the maximum extent possible. Otherwise, Brazil runs a serious risk of losing the Amazon forest to deforestation, forest fires and climate change, thereby destroying many environmental services of Amazonian forest that are vital to the country's future.

Keywords: Amazon forest, Avoided deforestation, Carbon, Deforestation, Global warming, Greenhouse effect, REDD.

INTRODUÇÃO

A floresta amazônica brasileira fornece serviços ambientais à região amazônica, ao Brasil e ao mundo como um todo. Estes serviços podem ser agrupados em manutenção de biodiversidade, ciclo hidrológico e armazenamento de carbono. As perspectivas de gerar fluxos monetários significativos são mais imediatas no caso do papel da floresta em manter os padrões climáticos do que no caso da manutenção da biodiversidade. A ciclagem de água é importante para chuva e geração hidroelétrica na região centro-sul do Brasil e, portanto, deveria ser um motivo significativo para preocupação nacional sobre a manutenção da floresta amazônica. O armazenamento de carbono evita o efeito estufa e, por consequência, é de preocupação mundial. Devido ao fato que o desmatamento emite quantidades grandes de gases de efeito estufa, a capacidade do Brasil para evitar essas emissões representa um valioso recurso para mitigação do aquecimento global. Embora os serviços ambientais da floresta amazônica tenham grande valor, isto está apenas começando a ser traduzido em fluxos financeiros, sendo que o papel dos processos na região na mitigação do aquecimento global é aquele que está mais perto de gerar recursos em grande escala. O valor monetário dos serviços ambientais oferece a possibilidade de substituir a economia atual, quase toda baseada na destruição da floresta, por uma economia baseada na manutenção da floresta em pé. Para tornar este potencial uma realidade, é necessário muito trabalho para diminuir as incertezas na quantificação e atribuição dos serviços e na interpretação dos números em termos de políticas públicas e benefícios locais, nacionais e globais.

O aquecimento global ameaça o mundo inteiro, e conter isto requer ações sérias de todos os países. A própria floresta amazônica corre sério risco no atual século, devido a diferentes tipos de secas potencializadas pelo aquecimento global (Cox *et al.* 2000, 2004, 2008, Salazar *et al.* 2007). As concentrações atmosféricas de gases de efeito estufa continuam aumentando rapidamente, e estas concentrações hoje têm ou logo terão níveis aos quais vários ciclos viciosos começam a se movimentar, incluindo os que podem degradar e destruir a floresta amazônica. O Brasil precisa fazer uma série de mudanças nas suas políticas internas para reduzir

o desmatamento amazônico, que é a fonte de mais de 75% do impacto do País no efeito estufa (MCT 2004). Políticas que afetam o desmatamento são muito mais importantes do que medidas tais como a produção de biocombustíveis e o plantio de árvores. No cenário internacional, precisa-se urgentemente de compromissos para reduzir as emissões sem condições prévias. Muito mais informações sobre estes assuntos estão disponíveis em <http://philip.inpa.gov.br>.

ESTOQUES VERSUS FLUXOS

Desde o Protocolo de Kyoto, de dezembro de 1997, o foco das discussões sobre como contabilizar os benefícios de carbono tem sido em “adicionalidade”, significando uma mudança nos fluxos de carbono que pode ser atribuída aos efeitos de um determinado projeto de mitigação. O termo “adicionalidade” origina da exigência no Protocolo de Kyoto de que “reduções de emissões que sejam adicionais as que ocorreriam na ausência da atividade certificada de projeto” (UN-FCCC 1997, Artigo 12, Parag. 5c). Estabelecer se uma determinada redução de emissões é “adicional” requer a comparação das emissões observadas com as emissões que são calculadas como sendo o que teria acontecido na ausência do projeto. Isto requer uma concordância sobre um cenário hipotético de linha de base para representar o que “teria acontecido”. Também requer considerar o efeito de estabelecer os limites do projeto de mitigação e o efeito correspondente de “vazamento”, ou seja, as mudanças (aumentos ou diminuições) em emissões fora dos limites do projeto que são diretamente ou indiretamente provocadas pelo projeto. Uma vasta literatura se desenvolveu sobre todas estas questões (veja, por exemplo, Watson *et al.* 2000, Brown *et al.* 2007, Sathaye & Andrasko 2007).

Logo antes do Protocolo de Kyoto, este autor propôs uma maneira diferente para os cálculos de carbono baseado em estoques ao invés de fluxos (Fearnside 1997a). Isto trataria o estoque de carbono, por exemplo, na floresta amazônica, de uma forma semelhante ao saldo em uma conta bancária. Seria ganho juros anualmente como uma porcentagem do valor do estoque, em lugar de ser baseado na mudança do estoque. Obviamente, destruir o estoque sacrificaria as rendas futuras. A vantagem da abordagem baseada em estoques é que permite

crédito por manter floresta onde pouca destruição tem acontecido no passado. Se a linha de base para uma contabilidade baseada em fluxos for fundamentada em desmatamento histórico, como é a tendência em negociações sob a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UN-FCCC), então áreas com pouco ou nenhum desmatamento prévio não podem obter crédito e atores que têm destruído a floresta no passado são efetivamente recompensados pelo seu mau comportamento.

Um dos problemas com adicionalidade é sua recompensa a grandes desmatadores. Por exemplo, seriam ricamente recompensados os grandes fazendeiros em Mato Grosso, enquanto extrativistas tradicionais no Estado do Amazonas não receberiam quase nada. Além disso, o uso de linhas de base históricas pode resultar em premiação com crédito para o “hot air” [“ar quente”], ou seja, crédito de carbono sem qualquer real benefício climático (Viana & Campos 2007). O desmatamento em qualquer local acontece em três fases distintas. Na primeira fase, o processo de desmatamento está começando há pouco e nenhum desmatamento histórico prévio existe, assim significando que nenhum crédito pode ser ganho baseado em uma linha de base histórica. Na segunda fase, o desmatamento é rápido, houve uma quantidade significativa de desmatamento passado e ainda há bastante floresta disponível para desmatar; esta é a fase na qual a adicionalidade pode produzir resultados razoáveis. Na terceira fase, a velocidade do desmatamento está diminuindo porque a área de floresta disponível para desmatar está encolhendo. Neste caso, “ar quente” será produzido pelo critério de adicionalidade, já que o desmatamento forçadamente diminuirá para uma taxa abaixo dos níveis históricos sem qualquer ajuda do programa de mitigação.

O interesse na contabilidade baseada em estoques tem ressurgido recentemente no Estado do Amazonas onde a “Iniciativa de Amazonas”, do governo estadual, planeja recompensar os serviços ambientais em áreas protegidas onde a adicionalidade não indicaria um benefício climático. Os serviços ambientais incluem outras funções da floresta além do armazenamento de carbono, embora este seja inevitavelmente um dos principais benefícios de manter a floresta amazônica. Outro benefício é a ciclagem de água que mantém tanto o regime de chuva na Amazônia apropriado para uma floresta tropical, assim como o transporte de

vapor de água para o centro-sul brasileiro (Fearnside 2004, Marengo 2006). Uma terceira categoria de benefícios é a manutenção da biodiversidade, que tem formas de valor utilitárias e não utilitárias à sociedade humana (Fearnside 1999a).

ESTIMATIVAS DE ESTOQUES

O estoque de carbono em florestas primárias na Amazônia brasileira é enorme (Houghton 2003a), e, portanto, evitar a liberação deste carbono à atmosfera representa um serviço ambiental importante para impedir os impactos correspondentes de aquecimento global. O termo “primário” é usado aqui para florestas que estavam presentes desde o contato europeu. Elas não são “virgens” no sentido de serem livres de influência das populações indígenas que os habitaram durante milênios, nem são elas necessariamente livres de impacto da exploração seletiva de madeira e de incêndios florestais oriundos de influência humana recente.

Estimativas variam amplamente sobre as quantidades de biomassa e de carbono estocados em florestas primárias amazônicas. Porém, por causa de erros conhecidos em algumas das estimativas, a gama de incerteza genuína é muito menor que a gama de números que têm sido publicados ou divulgados. Parte disto origina de um valor extremamente baixo para a biomassa da floresta estimado por Brown e Lugo (1984), que calcularam que as florestas amazônicas têm uma biomassa viva média de apenas 155,1 Mg (megagramas = toneladas) por hectare, inclusive as raízes. Este é aproximadamente a metade da magnitude de estimativas atuais. Esta estimativa foi depois revisada (apenas para a biomassa acima do solo) para 162 Mg/ha dos levantamentos de volume de floresta pelo Projeto Radar na Amazônia-Brasil (RADAMBRASIL) e 268 Mg/ha (acima do solo) dos levantamentos de volume florestal feitos pela Organização de Agricultura e Alimentação das Nações Unidas (FAO) (Brown & Lugo 1992a), e posteriormente para 227 e 289 Mg/ha (acima do solo), respectivamente (Brown & Lugo 1992b). Estas estimativas eram o assunto de uma disputa acalorada (veja Brown & Lugo 1992c, Lugo & Brown 1986, Fearnside 1985, 1986, 1992, 1993). Embora Brown e Lugo já não usem mais as suas estimativas muito baixas de biomassa daquele período, o fantasma destes

números ainda está conosco até hoje, especialmente a notória estimativa de 155,1 Mg/ha. Isto é porque muitas discussões da biomassa amazônica se limitam a informar uma gama de valores publicados, de “X” até “Y” (por exemplo, Houghton 2003a,b, Houghton *et al.* 2000, 2001). Leitores pouco familiarizados com os detalhes das controvérsias normalmente presumem que o valor “real” se encontra no meio dessa faixa de valores. Isto é a “falácia de Cachinhos Dourados”, ou seja, assumir de antemão que o valor mediano é o “certinho”. Infelizmente, se as condições estão definidas da mesma maneira, pode haver só um valor correto para biomassa média da floresta amazônica. Este valor dependerá da qualidade e quantidade dos dados subjacentes e na validade da interpretação aplicada a estes números. Não há nenhum substituto para entender e avaliar os argumentos envolvidos.

A vasta área da Amazônia, tipos diversos de floresta na região, e a alta variabilidade da biomassa de um hectare para o próximo, dentro de qualquer determinado tipo de floresta, significam que um número grande de parcelas de amostra é exigido para representar adequadamente a biomassa da região. As fontes principais de dados são os levantamentos do RADAMBRASIL, com mais de 3.000 parcelas de um hectare onde as árvores foram medidas nos anos 1970 e no início dos anos 1980 (Brasil, Projeto RADAMBRASIL 1973-1983) e os 1.356 ha de parcelas dos levantamentos feitos pela FAO (Heinsdijk 1957, 1958, Glerum 1960, Glerum & Smit 1962). Estimativas baseadas em conjuntos muito menores de dados necessariamente terão um grau de incerteza substancial. Exemplos incluem as estimativas de Saatchi *et al.* (2007), baseado em 280 parcelas de florestas primárias (aproximadamente a metade das quais estavam no Brasil), e o estudo de Malhi *et al.* (2006), que interpolaram usando Krigagem (utilizando ajustes para os efeitos de várias variáveis ambientais) baseado em 226 parcelas, das quais apenas 81 estavam no Brasil, as parcelas sendo fortemente agrupadas nas áreas próximas a Manaus, Belém e Santarém. Uma estimativa (Achard *et al.* 2002) foi baseada em uma média de apenas dois valores, um dos quais (Brown 1997, pág. 24) era para uma única parcela localizada na Floresta Nacional de Tapajós, no Pará (FAO 1978) que não tinha nenhuma pretensão de representar a Amazônia como um todo (veja Fearnside & Laurance 2004). Houghton *et al.* (2000) derivaram uma

estimativa interpolada de 56 parcelas, e Houghton *et al.* (2001) produziram uma estimativa interpolada de 44 amostras das quais apenas 25 estavam em florestas de terra firme no Brasil; estes autores então calcularam a média de 192 MgC/ha com base em seis outras estimativas regionais para produzir a média de 177 MgC/ha para o estoque de carbono de biomassa usada por Ramankutty *et al.* (2007, pág. 64) para calcular as emissões. Isto também aplica aos estudos que fundamentaram os cálculos na estimativa de Houghton *et al.* (2000), tais como Soares-Filho *et al.* (2004, 2006) e DeFries *et al.* (2002). A interpolação a partir de um número pequeno de amostras usado nas estimativas por Houghton e colaboradores traz incerteza pelo efeito de um agrupamento pronunciado de locais de amostra que exacerba, ambos, a falta de cobertura na maior parte da região e revela a grande incerteza das estimativas baseadas em parcelas pequenas que exibem variabilidade alta entre locais mesmo próximos. O presente estudo usa 2.860 parcelas de 1 ha do levantamento de RADAMBRASIL e inclui a informação dos mapas de vegetação do RADAMBRASIL.

A localização das parcelas do RADAMBRASIL é altamente não aleatória, com as amostras fortemente concentradas ao longo de rios e estradas. A concentração de amostras perto de rios significa que a vegetação ribeirinha é proporcionalmente mais amostrada do que os planaltos dos interflúvios entre os rios. Simplesmente converter o volume de madeira publicado pelo RADAMBRASIL para biomassa e interpolar entre os locais sobre-enfatizará a vegetação de biomassa mais baixa, como a vegetação ribeirinha, e tenderá a subestimar a biomassa média da região (*i.e.*, as estimativas “RADAMBRASIL” em Houghton *et al.* 2001). A facilidade computacional de usar software de Sistemas de Informações Geográficas (GIS) para interpolar entre os pontos de amostragem usando técnicas de Krigagem produz mapas visualmente atraentes, mas descarta a imensa quantidade de trabalho que as equipes do projeto RADAMBRASIL investiram na classificação e mapeamento da vegetação.

Outra abordagem é de usar informações de sensoriamento remoto para uma variedade de parâmetros detectáveis a partir do espaço, e associar estes valores com a biomassa medida em uma série de pontos de referência no chão. Isto foi feito por Saatchi

et al. (2007) usando dados de 1km de resolução obtidos a partir de radares carregados por satélites orbitais, com base nos quais vários caracteres foram associados com os valores publicados para biomassa usando dados disponíveis de parcelas medidas desde 1990. A base muito maior, embora mais velha, de dados do projeto RADAMBRASIL e dos levantamentos de FAO não foi usada para calibração dos resultados de sensores orbitais, nem foi usado o mapeamento da vegetação que o projeto RADAMBRASIL derivou de imagens geradas por radar aerotransportado (com resolução bem mais alta do que radar orbital), junto com observações extensas de campo.

Utilizar o conjunto de dados do RADAMBRASIL requer um esforço considerável devido à confusão relativa aos tipos de vegetação nas legendas dos mapas. Entre os 23 volumes nos quais a cobertura da Amazônia brasileira é dividida, as legendas dos mapas de vegetação mudam de um volume para outro. O nível de detalhe nos códigos não é consistente ao longo do levantamento, alguns volumes usaram códigos de quatro dígitos e outros simplificaram o código para três dígitos. Na Amazônia brasileira há 145 tipos de vegetação na legenda dos mapas do RADAMBRASIL. Estes podem ser traduzidos nos 19 tipos de floresta usados em mapas em escala de 1:5.000.000 publicados pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e os mapas em escala de 1:2.500.000 publicados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), usando equivalências que mudam dependendo do volume de RADAMBRASIL.

Há muitas inconsistências no tipo de vegetação associado com cada parcela. Todos os volumes do levantamento RADAMBRASIL estão compostos de um volume principal de capa verde mais um pacote de mapas em escala de 1:1.000.000. Do Volume 8 em diante também há um volume de capa branca com dados em nível de parcela sobre volume de madeira por espécie e classe de diâmetro. Os capítulos nos volumes verdes até Volume 18 também contêm muitos mapas pequenos em escala de 250.000 mostrando os locais das parcelas e os tipos de vegetação. Aproximadamente a metade das 3.000 parcelas tem algum tipo de inconsistência onde o texto do volume de capa verde lista uma determinada parcela com um tipo de vegetação, o volume de capa branca lista outro, e/ou o mapa da vegetação em escala de 1:1.000.000

ou os mapas locais em escala de 1:250.000 mostra um tipo de vegetação diferente. Fearnside (1997b, 2000a, b) usou apenas os 1.500 pontos sem inconsistência na informação sobre o tipo de vegetação. Um esforço contínuo para clarificar estas inconsistências ampliou o número de parcelas utilizáveis.

Não são informados os dados árvore-por-árvore das parcelas nos volumes publicados do RADAMBRASIL. Estes dados aparentemente foram digitalizados duas vezes: uma vez pela FUNCATE (Fundação por Pesquisa Espacial, Aplicações e Tecnologia, uma empresa em São José dos Campos, São Paulo, que realizou trabalhos contratados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) na preparação dos dados para as estimativas de emissão de desmatamento incluídas na comunicação nacional do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UN-FCCC). Até onde pode ser determinado, este conjunto de dados foi perdido. Esforços repetidos por este autor e por Carlos Nobre têm sido malsucedidos em obter os dados originais árvore-por-árvore usados na comunicação nacional. A estimativa da comunicação nacional para as emissões do desmatamento (Brasil, MCT 2004, pág. 148, FUNCATE 2006, pág. 23) é baseado em uma “comunicação pessoal” de 2000, que nunca foi divulgada. Além de tornar impossível qualquer verificação dos cálculos, esta estimativa oficial ignora todo o trabalho feito nos cinco anos entre o início de 2000 e a publicação da comunicação nacional em dezembro de 2004.

Os dados de RADAMBRASIL foram digitalizados subsequenteiramente pelo IBGE. Um número grande de erros tipográficos é aparente, junto com a inclusão de savanas arborizadas, fazendo com que uma filtragem extensa seja necessária para usar os dados. É provável que erros semelhantes se apliquem à versão do conjunto de dados usado na comunicação nacional, mas não há nenhuma maneira de verificar isto.

Avanços recentes foram feitos por Nogueira *et al.* (2007, 2008a,b) em ajustar estimativas de biomassa pelo efeito da densidade mais baixa da madeira nas árvores no arco de desmatamento quando comparado à área da Amazônia central, onde haviam sido originados quase todos os dados anteriores. Ajustes adicionais corrigem por diferenças na altura das árvores entre estas partes da Amazônia (Nogueira *et al.* 2008c). Árvores da mesma espécie no arco

de desmatamento são mais curtas para qualquer determinado diâmetro do que na Amazônia central, e as árvores têm madeira de densidade mais leve e conteúdo de água mais alto. Estas correções têm o efeito de diminuir a biomassa média quando comparado às estimativas anteriores. As correções não solucionam as diferenças entre estas estimativas e as anteriores, pois todas as estimativas diminuiriam em paralelo. Para estimativas baseadas em dados árvore-por-árvore (ao invés de estimativas baseadas nos valores publicados do Projeto RADAMBRASIL para volume de madeira em parcelas de 1ha), também é necessário fazer correções para troncos irregulares e ocos (Nogueira *et al.* 2006). São necessárias correções adicionais à densidade da madeira pelo posicionamento da amostra dentro do tronco e, em alguns casos, pelo modo em que as amostras de madeira foram secadas (Nogueira *et al.* 2005).

ESTIMATIVAS DE FLUXOS

A emissão líquida representa o fluxo de carbono de ou para a atmosfera. Isto pode ser expresso ou como “emissões líquidas comprometidas” ou como o “balanço anual de emissões líquidas”, mais conhecido, simplesmente, como o “balanço anual”. As emissões líquidas comprometidas são a emissão que será provocada pelo desmatamento, não só incluindo a emissão “pronta” da queimada na hora de desmatar, mas também as emissões “atrasadas” que acontecerão a partir da decomposição da madeira, liberação do carbono do solo, e liberação de gases-traço pelas queimadas periódicas de pastagem e das florestas secundárias no local; deve ser deduzido destas emissões o gás carbônico que será absorvido pela paisagem de substituição, na medida em que está se aproxima a um equilíbrio em longo prazo (Fearnside 1997b). São calculadas as emissões líquidas comprometidas para a área que é desmatada em um determinado ano, diferentemente do balanço anual que é calculado para a região inteira, inclusive a paisagem desmatada que foi criada pelas derrubadas em anos anteriores. O balanço anual calcula todos os fluxos de gases de efeito estufa dentro e fora desta paisagem, mas só durante um único ano (quer dizer, não inclui as emissões e absorções comprometidas que acontecerão em anos futuros) (Fearnside 1996). O balanço anual exige

mais informações porque o momento das emissões e das absorções precisa ser conhecido.

A localização do desmatamento, e não só a sua extensão total, deve ser conhecida para calcular tanto as emissões líquidas comprometidas como o balanço anual. Até agora, o desmatamento esteve concentrado dentro do “arco de desmatamento” ao longo das bordas sul e leste da floresta, onde a biomassa é mais baixa do que a média para a Amazônia como um todo. Na medida em que o desmatamento avança, a biomassa de cada hectare desmatado aumentará, assim como aumentará a emissão de carbono. É essencial ter estimativas do efeito de cada projeto de desenvolvimento sobre o desmatamento e sobre as emissões para poder quantificar as perdas que implica cada decisão. Quantificação deste tipo é necessária para possibilitar decisões racionais que ponderam o valor das perdas contra os benefícios de projetos propostos e contra os custos e benefícios de outras alternativas, sempre incluindo a alternativa “sem projeto”.

Simulações do avanço de desmatamento e as emissões conseqüentes têm usado cálculos não espacializados do total de desmatamento, e, em um passo seguinte, a área desmatada é distribuída sobre a paisagem simulada de acordo com a probabilidade calculada de desmatar em cada local (por exemplo, Soares-Filho *et al.* 2006). Recentes avanços objetivam fazer com que o cálculo do desmatamento total seja feita de forma intercalada com as mudanças espaciais, de forma que há uma retroalimentação que faz com que o total de desmatamento responda aos projetos de desenvolvimento, tais como a construção de rodovias e a criação de áreas protegidas, começando com a Rodovia BR-319 (Manaus-Porto Velho) (Fearnside *et al.* s/d).

O PAPEL DO TEMPO

Uma das áreas de controvérsia a respeito da contribuição dos benefícios climáticos de evitar o desmatamento é a questão de como o tempo é incluído nos cálculos. Apesar da tendência difundida de tentar evitar isto, não há nenhuma maneira de escapar deste assunto, sendo que a omissão de um ajuste pelo valor de tempo é simplesmente uma decisão para adotar uma taxa de desconto de zero. Taxas de desconto são uma maneira normal de incluir o tempo em cálculos

econômicos que envolvem dinheiro. Isto ajusta o valor presente de qualquer futuro fluxo (renda ou despesa) de dinheiro aplicando um ajuste por uma porcentagem constante, tais como uma determinada porcentagem ao ano, ao longo do período de tempo em questão. Foram desenvolvidas várias modificações e alternativas para este procedimento, mas todas têm o mesmo resultado de traduzir valores monetários futuros em equivalente presente para propósitos de comparações. No caso de fluxos de gases de efeito estufa por desmatamento, as emissões e absorções acontecem ao longo de um período estendido de tempo, alguns são liberados imediatamente pela queimada, outros depois pela decomposição, e emissões e absorções adicionais que acontecem quando a paisagem evolui na área desmatada. Contando todos estes fluxos como se eles estivessem acontecendo instantaneamente sem qualquer ajuste pelo tempo representa uma distorção séria do real efeito do desmatamento. Isto é especialmente verdadeiro para impactos a longo prazo, tais como a liberação do carbono do solo, e para benefícios a longo prazo, tais como a acumulação de carbono em produtos madeireiros de florestas manejadas.

Além de ajuste para o valor de tempo, como pela aplicação de uma taxa de desconto, a seleção de um horizonte de tempo para o cálculo tem efeitos importantes no valor atribuído a ações diferentes, sendo que essas provocam ou evitam desmatamento e outras mudanças de uso da terra. No caso das comparações entre diferentes gases de efeito estufa, por exemplo, o horizonte de tempo é a ferramenta que foi escolhida pelo Painel Intergovernmental sobre Mudanças do Clima (IPCC) em seus “Potenciais de Aquecimento Global” (GWPs) para expressar o efeito de cada gás em comparação com o CO₂. Por exemplo, o metano tem um forçamento radiativo (efeito de bloquear o calor) alto enquanto permanece na atmosfera, mas uma molécula, em média, só permanece durante aproximadamente 10 anos, diferente do gás carbônico, que tem um forçamento radiativo muito mais baixo mas dura na atmosfera durante aproximadamente 120 anos sob condições atuais. Atualmente o Protocolo de Kyoto usa valores de GWP referentes a um horizonte de tempo de 100 anos, sem aplicar uma taxa de desconto ao longo do curso do horizonte de tempo. Isto é aproximadamente equivalente a uma taxa de desconto anual de 2% (veja

Fearnside 2002a). Tem sido argumentado que isto coloca muito peso relativo sobre gases de vida curta, tais como o metano, caso o critério para julgamento for o nível ao qual temperatura global estabilizará (por exemplo, 2°C acima da média pré-industrial), e que a taxa de desconto efetiva deveria ser reduzida por um fator de dois ou mais (Quiggin 2008).

No debate sobre crédito por desmatamento evitado, a questão do tempo tem sido usada freqüentemente como um artifício para tornar inviável a manutenção da floresta, uma posição adotada, em muitos casos, para motivos ulteriores que não têm nada a ver com preocupação com a mudança de clima (veja Fearnside 2001). Como alcançar um acordo sobre taxas de desconto é difícil, a questão do valor do tempo foi repetidamente evitada em discussões de contabilidade de carbono. Até mesmo a adoção pelo IPCC de um horizonte de tempo sem considerar uma taxa de desconto como o meio de comparar os diferentes gases foi feito devido à dificuldade percebida de explicar uma taxa de desconto ao público geral (R.T. Watson, declaração pública 1992). A necessidade de atribuição de valor ao tempo deve ser enfrentado explicitamente para poder avaliar racionalmente os fluxos de carbono do desmatamento e da manutenção de floresta tropical (Fearnside 2002b, Fearnside *et al.* 2000).

O PAPEL DE INCERTEZA

A incerteza de estimativas de estoques e fluxos de carbono amazônico é alta, e a maneira em que este aspecto é tratado na contabilidade de carbono é crítico em relação à quanto de crédito que pode ser ganho evitando o desmatamento. Muitos dos cálculos para determinar a quantidade de emissões de carbono que vem do desmatamento são multiplicativos, assim resultando em uma multiplicação rápida dos erros associados (Robinson 1989).

A noção de que deveriam ser exigidos níveis muito altos de certeza como uma condição prévia para qualquer crédito de carbono é contraproducente do ponto de vista de maximizar os impactos esperados dos investimentos em mitigação nos níveis de gases de efeito estufa na atmosfera. Como em qualquer investimento, o “valor monetário esperado” (EMV) é igual à soma do valor líquido de todos os possíveis resultados multiplicado pelas suas probabilidades

respectivas de ocorrência. Neste caso, a possibilidade de uma recompensa muito grande caso que reduções significativas em desmatamento realmente aconteçam significa que mesmo níveis substanciais de incerteza não resultam no valor esperado se tornar negativo (Fearnside 2000c). Insistir em níveis altos de certeza é equivalente a insistir em níveis muito altos de probabilidade com relação ao erro Tipo I na estatística, mas com o resultado perverso de que o erro Tipo II é ignorado e, por conseguinte, as relações de maior importância freqüentemente escapam de ser percebidas. A tendência atual para requerer um máximo de 10% de incerteza em todos os números relativo ao crédito de carbono parece conduzir a este resultado perverso.

NEGOCIAÇÕES INTERNACIONAIS

Negociações internacionais estão avançando e várias decisões afetarão se e quanto crédito será dado para carbono em florestas amazônicas. Capturar o valor completo dos serviços da floresta exigirá que o Brasil assuma um compromisso sobre o limite nacional de emissões, unindo Anexo I da UN-FCCC e Anexo B do Protocolo de Kyoto. Isto permitiria crédito para toda a redução abaixo da emissão no período de referência da comunicação nacional. Para avaliar o crédito até 2012 a linha de base é normalmente o ano de 1990, mas no caso do Brasil a média para os anos 1988-1994 foi escolhida para o inventário na comunicação nacional. A opção está aberta para se juntar aos Anexos I e b com o objetivo de ganhar crédito sem esperar pelo começo do segundo período de compromisso do Protocolo de Kyoto, nem tampouco para um protocolo sucessor em 2013 (Fearnside 1999b). Durante o período de referência de 1988 a 1994, a taxa média de desmatamento era 15.228km²/ano, ou seja, mais que os 11.224km²/ano em 2007 (Brasil, INPE 2008). No entanto, o desmatamento aumentou no final de 2007, presumivelmente devido aos preços ascendentes de soja e de carne bovina (Fearnside 2008a). Manter o desmatamento abaixo do nível de referência está dentro da capacidade do País se houver a vontade política para fazer isto (Fearnside 2003, Fearnside & Barbosa 2003).

Foram propostas outras opções para limites nacionais que poderiam ser aceitos por alguns países em desenvolvimento como o Brasil. A proposta

de reduções compensadas (Santilli *et al.* 2005) pede uma linha de base (cenário de referência) fixa baseado em emissões históricas médias, por exemplo, durante a década dos anos 1990. O fato que a taxa de desmatamento atual na Amazônia é mais baixa do que era durante este período despertou preocupação sobre a possibilidade de gerar “ar quente tropical”, ou seja, crédito sem um real benefício climático (Persson & Azar 2007). Um modo de evitar isto é ter uma meta baseada em dois limites, como proposto por Schlamadinger *et al.* (2005). Nesta proposta haveria um limiar superior e outro mais baixo, entre os quais uma escala relativa de crédito seria aplicada para uma faixa desde uma quantia pesadamente descontada, se a redução de desmatamento observada for apenas abaixo do limiar superior, aumentando até a quantia integral se o limiar inferior for alcançado. A vantagem disto é que haveria pelo menos algum incentivo para limitar o desmatamento a todos os níveis plausíveis de sucesso na redução da taxa.

Uma proposta que ganhou apoio considerável entre os países tropicais é a da Coalizão das Nações de Floresta Tropical (Papua-New Guinea & Costa Rica 2005; veja também Laurance 2007). Este grupo de 41 países, aos que o Brasil não se juntou, propõe crédito para desmatamento reduzido baseado em metas obrigatórias. O Brasil lançou uma proposta concorrente nas conferências das partes da UN-FCCC em Nairobi em 2006 e em Bali em 2007 (Brasil 2006). A proposta brasileira não teria nenhuma meta obrigatória e, ao invés disso, encorajaria contribuições voluntárias a um fundo a ser usado para ajudar a diminuir o desmatamento; a proposta recebeu pouco apoio, mas teve o efeito positivo de iniciar um diálogo com diplomatas brasileiros sobre um assunto que previamente tinha sido tabu. Como as contribuições ao fundo proposto não resultariam em crédito de carbono válido contra os compromissos de redução das emissões dos países industrializados, a vontade para contribuir seria muito mais baixa do que seria o caso se crédito fosse permitido.

Por outro lado, se não houver nenhum limite nacional sobre as emissões, as opções são para medidas ao nível de projeto (como sob o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Kyoto, ou CDM) de 2013 em diante (uma decisão em 2001 impediu crédito para o desmatamento evitado sob o CDM antes de 2013). Medidas em nível de projeto

têm muito menos potencial para ganhar crédito porque apenas reduções de emissões que podem ser atribuídas ao efeito de um determinado projeto de mitigação são elegíveis, e esta causalidade é difícil de estabelecer em muitos casos. O efeito de vazamento é inerentemente muito maior ao nível de projeto do que ao nível nacional. A linha de base nacional proposta por Santilli *et al.* (2005) é projetada para minimizar este efeito, embora ainda haja possibilidade de que um pouco de vazamento pudesse acontecer por meio do deslocamento de demanda por produtos (veja revisão por Sathaye & Andrasko 2007).

A compensação por reduzir emissões fora do Protocolo de Kyoto já está disponível em mercados “voluntários”, tais como as bolsas de “commodities” em Chicago e Londres. Este carbono não é válido contra compromissos internacionais, mas pode ser usado, por exemplo, por companhias que querem fazer propaganda dizendo que os seus produtos são “neutros de carbono”. Os mercados para este carbono são, em grande parte, sem regulamentação, e, portanto há grande variedade nos tipos de projetos que são aceitos e no modo em que o carbono que é vendido, calculado e monitorado, e a realidade do benefício climático representado por cada tonelada de carbono. Progresso está sendo feito em padronizar estas características. O preço de cada tonelada de carbono é inevitavelmente muito mais baixo nestes mercados voluntários do que é para carbono que é válido contra compromissos nacionais obrigatórios.

Avanços na inclusão de crédito de carbono de Redução das Emissões de Desmatamento e Degradação (REDD) nas negociações internacionais é importante porque o volume de demanda e o preço por tonelada de carbono são potencialmente muito maiores do que para mercados voluntários. O preço depende do equilíbrio entre oferta e demanda, assim como é o caso para qualquer produto. Em negociações internacionais, um argumento freqüentemente usado contra a inclusão plena de carbono de floresta tropical é que este carbono “inundaria” o mercado com carbono barato, baixando o preço ao ponto em que os países industrializados deixariam de investir na eficiência energética e nas tecnologias de energia limpa para reduzir as suas emissões de combustível fóssil. Porém, este argumento presume que a demanda para reduções de emissões é fixa, mas, na realidade, os compromissos nacionais para reduções de emissões estão atualmente sob nego-

ciação simultaneamente com o estabelecimento das regras do jogo para assuntos tais como o crédito para florestas tropicais. A demanda seria suficiente para manter o carbono atraente se os países do mundo se comprometessem a reduções suficientes para trazer o efeito estufa sob controle. Por exemplo, na conferência das partes do UN-FCCC, em Bali, mais de 200 cientistas assinaram uma declaração que pede limites obrigatórios sobre emissões até 2050 de pelo menos 50% abaixo dos níveis de 1990 (Kintisch 2007). Tais cortes volumosos requerem a utilização ao máximo possível de todas as opções para mitigação, inclusive tanto a redução das emissões de combustível fóssil como as de desmatamento.

A quantidade de carbono de floresta tropical que é comercializada pode ser limitada pela definição de porcentagens do compromisso de mitigação de cada país, que podem ser satisfeitas deste modo, ou através de outros mecanismos para manter o preço do carbono. Várias propostas incluem limitações deste tipo na quantidade de carbono que pode ser comercializado (por exemplo, Hare & Macey 2008, Moutinho *et al.* 2005). Embora estas limitações propostas ajudem a suavizar o temor de que os países industrializados escaparão da necessidade para reformar as suas tecnologias de energia e padrões de consumo, este autor tem argumentado que, ao invés disso, a ênfase deveria estar em maximizar o compromisso global para reduzir emissões. Ninguém quer que os países ricos, e os segmentos ricos da população dentro dos países mais pobres, continuem usando grandes carrões consumindo combustíveis fósseis além da capacidade limitada da Terra para absorver gases de efeito estufa. Devem ser reduzidos drasticamente tanto o desmatamento como a queima de combustível fóssil, e isto só ocorrerá por meio de compromissos internacionais com metas muito mais ambiciosas do que as contempladas no passado. A batalha para estas metas está apenas começando, e limitar o crédito para carbono de floresta seria um erro estratégico. Limitar este crédito é essencialmente aceitar a derrota antes de a batalha começar.

A questão de uma meta nacional para as emissões brasileiras de gases de efeito estufa está no cerne de ambos, o esforço para confrontar o aquecimento global e a transformação da economia rural na Amazônia baseada em serviços ambientais em lugar de ser baseada em destruição da floresta. Porém, cedo ou tarde o Brasil terá que fazer um compromisso, e

este autor argumenta que o risco que uma demora adicional causaria à floresta amazônica faz com que a melhor opção para o interesse nacional brasileiro é que este seja feito o mais cedo possível.

Transformar os serviços ambientais em um alicerce alternativo para o “desenvolvimento sustentável” na Amazônia requer um grande espectro de avanços na alteração do sistema econômico para recompensar estes serviços, assim como na criação de instituições para este propósito e para assegurar que os fluxos monetários resultantes tenham os efeitos desejados tanto em manter a floresta com os seus serviços como em manter a população humana nas áreas de floresta (Fearnside 1997a). Houve progresso considerável ao longo de mais de duas décadas em que este autor tem argumentado para esta transformação, particularmente na área de recompensar o papel da floresta em evitar o efeito estufa (Fearnside 2006, 2008b). O termo “serviços ambientais” é hoje um termo de uso comum. Porém, as ameaças à floresta cresceram mais rápido que o esforço para defendê-la, e a necessidade para uma mudança radical na maneira em que os serviços da floresta são avaliados e recompensados é mais urgente do que nunca.

CONCLUSÕES

Manter a floresta amazônica tem múltiplos benefícios ambientais e sociais. Evitar o aquecimento global é o benefício com a maior probabilidade de trazer fluxos financeiros apreciáveis em uma escala de tempo que afeta as decisões atuais sobre o desenvolvimento na Amazônia. A maneira em que a contabilidade é feita para os estoques e fluxos de carbono é crítica ao valor atribuído a diferentes medidas de mitigação, tais como a criação de reservas em áreas atualmente longes da fronteira de desmatamento, versus investimentos em repressão de desmatamento ilegal na fronteira. Métodos diferentes de contabilidade são necessários para três fases distintas no processo do desmatamento: áreas com pequeno ou nenhum desmatamento no passado, áreas com desmatamento em andamento onde também há áreas significativas de floresta ainda disponível para derrubar, e áreas onde a floresta disponível está se aproximando do seu fim. A contabilidade baseada em estoques será melhor para casos do primeiro e do terceiro tipo, enquanto a contabilidade baseada em

fluxos, como a que é usada pelo Protocolo de Kyoto, será melhor em casos do segundo tipo. Critérios sobre a incerteza e o valor atribuído ao tempo têm efeitos fortes no valor atribuído ao carbono. Outros assuntos sob negociação incluem a definição de níveis “perigosos” de gases de efeito estufa na atmosfera que, por sua vez, determinam a magnitude da redução de emissão que os vários países terão que alcançar. Esta decisão determinará tanto se a floresta amazônica pode resistir às mudanças de temperatura que resultariam dos níveis de gases permitidas pela, assim como também se as reduções nas emissões criarão uma demanda para carbono suficiente tanto para motivar um esforço de grande porte para reduzir a velocidade do desmatamento como para motivar esforços no mundo inteiro para diminuir o uso total de energia e aumentar a eficiência do seu uso.

Tanto os formuladores de políticas internas como os responsáveis por negociações internacionais precisam acordar para a importância de manter a floresta amazônica para os próprios interesses nacionais do País. O ciclo de água (incluindo o abastecimento de água e de energia elétrica a centros populacionais como São Paulo), a estabilização do aquecimento global e a manutenção da biodiversidade dependem de manter a floresta amazônica. A floresta pode ser perdida tanto diretamente por desmatamento como indiretamente por mudança climática e incêndios, ou ambos. Os esforços atuais para diminuir o desmatamento estão limitados principalmente ao aparato de fiscalização e controle, precisando ser ampliados para as decisões sobre infra-estrutura, política fundiária e outros fatores que atingem as causas subjacentes do desmatamento.

AGRADECIMENTOS: Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq: Proc. 306031/2004-3, 557152/2005-4, 420199/2005-5, 474548/2006-6, 305880/2007-1), a Rede GEOMA e o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA: PRJ02.12) contribuíram no apoio financeiro. P.M.L.A. Graça e um revisor anônimo fizeram comentários úteis sobre o manuscrito. Trabalho abreviado de uma apresentação no II Seminário Internacional Amazônia: Dinâmicas do Carbono e Impactos Sócio-Econômicos e Ambientais. 27 a 29 de agosto de 2008, Boa Vista-Roraima.

REFERÊNCIAS

- ACHARD, F.; EVA, H.D.; STIBIG, H.J.; MAYAUX, P.; GALLEGU, J.; RICHARDS, T. & MALINGREAU, J-P. 2002. Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests. *Science*, 297: 999-1002.

- BRASIL. 2006. *The 12th Conference of the Parties of the UNFCCC, Nairobi, Kenya. Positive incentives for voluntary action in developing countries to address climate change: Brazilian perspective on reducing emissions from deforestation*. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), Bonn, Alemanha. 4p. (http://unfccc.int/files/meetings/dialogue/application/pdf/wp_21_braz.pdf).
- INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). 2008. Projeto PRODES: Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite. INPE, São José dos Campos, São Paulo, Brasil. (Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/>).
- MCT (Ministério de Ciência e Tecnologia). 2004. *Brazil's Initial National Communication to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Ministry of Science and Technology (MCT), Brasília, DF, Brasil. 271p.
- 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, RJ, Brasil.
- BROWN, S. 1997. *Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: A Primer*. FAO Forestry Paper 134. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Roma, Itália. 55p.
- BROWN, S.; HALL, M.; ANDRASKO, K.; RUIZ, F.; MARZOLI, W.; GUERRERO, G.; MASERA, O.; DUSHKU, A.; DEJONG, B. & CORNELL, J. 2007. Baselines for land-use change in the tropics: application to avoided deforestation projects. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12: 1001-1026.
- BROWN, S. & LUGO, A.E. 1984. Biomass of tropical forests: A new estimate based on forest volumes. *Science*, 223: 1290-1293.
- BROWN, S. & LUGO, A.E. 1992a. Aboveground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon. Pp. 46-52. In: Forest '90: Anais do Primeiro Simpósio Internacional de Estudos Ambientais em Florestas Tropicais Úmidas. Sociedade Brasileira para a Valorização do Meio Ambiente (Biosfera), Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 508p.
- BROWN, S. & LUGO, A.E. 1992b. Aboveground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon. *Interciencia*, 17(1): 8-18.
- BROWN, S. & LUGO, A.E. 1992c. Biomass of Brazilian Amazonian forests: The need for good science. *Interciencia*, 17(4): 201-203.
- COX, P.M.; BETTS, R.A.; COLLINS, M.; HARRIS, P.P.; HUNTINGFORD, C. & JONES, C.D. 2004. Amazonian forest dieback under climate-carbon cycle projections for the 21st century. *Theoretical and Applied Climatology*, 78: 137-156.
- COX, P.M.; BETTS, R.A.; JONES, C.D.; SPALL, S.A. & TOTTERDELL, I.J. 2000. Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature*, 408: 184-187.
- COX, P.M.; HARRIS, P.P.; HUNTINGFORD, C.; BETTS, R.A.; COLLINS, M.; JONES, C.D.; JUPP, T.E.; MARENGO, J.A. & NOBRE, C.A. 2008. Increasing risk of Amazonian drought due to decreasing aerosol pollution. *Nature*, 453: 212-215.
- De FRIES, R.S.; HOUGHTON, R.A.; HANSEN, M.C.; FIELD, C.B.; SKOLE, D. & TOWNSEND, J. 2002. Carbon emissions from tropical deforestation and regrowth based on satellite observations for the 1980s and 1990s. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(22): 14,256-14,261.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1978. *Metodologia e Procedimentos Operacionais para o Inventário de Pré-investimento na Floresta Nacional do Tapajós*. Projeto de Desenvolvimento e Pesquisa Florestal. PNUP/FAO/IBDF/BRA/76/027. Ministério da Agricultura, Brasília, DF, Brasil.
- FEARNSIDE, P.M. 1985. Brazil's Amazon forest and the global carbon problem. *Interciencia*, 10(4): 179-186.
- FEARNSIDE, P.M. 1986. Brazil's Amazon forest and the global carbon problem: Reply to Lugo and Brown. *Interciencia*, 11(2): 58-64.
- FEARNSIDE, P.M. 1992. Forest biomass in Brazilian Amazonia: Comments on the estimate by Brown and Lugo. *Interciencia*, 17(1): 19-27.
- FEARNSIDE, P.M. 1993. Biomass of Brazil's Amazonian forests: Reply to Brown and Lugo revisited. *Interciencia*, 18(1): 5-7.
- FEARNSIDE, P.M. 1996. Amazonia and global warming: Annual balance of greenhouse gas emissions from land-use change in Brazil's Amazon region. pp. 606-617 In: J. Levine (ed.). Biomass Burning and Global Change. Volume 2: Biomass Burning in South America, Southeast Asia and Temperate and Boreal Ecosystems and the Oil Fires of Kuwait. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, E.U.A. 902p.
- FEARNSIDE, P.M. 1997a. Environmental services as a strategy for sustainable development in rural Amazonia. *Ecological Economics*, 20(1): 53-70.
- FEARNSIDE, P.M. 1997b. Greenhouse gases from deforestation in Brazilian Amazonia: Net committed emissions. *Climatic Change*, 35(3): 321-360.
- FEARNSIDE, P.M. 1999a. Biodiversity as an environmental service in Brazil's Amazonian forests: Risks, value and conservation. *Environmental Conservation*, 26(4): 305-321.

- 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. p. 231-249. In: R. Lal, J.M. Kimble & B.A. Stewart (eds.). *Global Climate Change and Tropical Ecosystems. Advances in Soil Science*. CRC Press, Boca Raton, Florida, E.U.A. 438p.
- 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. 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. 2002a. Why a 100-year time horizon should be used for global warming mitigation calculations. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 7(1): 19-30.
- FEARNSIDE, P.M. 2002b. Time preference in global warming calculations: A proposal for a unified index. *Ecological Economics*, 41(1): 21-31.
- FEARNSIDE, P.M. 2003. Deforestation control in Mato Grosso: A new model for slowing the loss of Brazil's Amazon forest. *Ambio*, 32(5): 343-345.
- FEARNSIDE, P.M. 2004. A água de São Paulo e a floresta amazônica. *Ciência Hoje*, 34(203): 63-65.
- FEARNSIDE, P.M. 2006. Mitigation of climatic change in the Amazon. p. 353-375 In: W.F. Laurance & C.A. Peres (eds.). *Emerging Threats to Tropical Forests*. University of Chicago Press, Chicago, Illinois, E.U.A. 563p.
- FEARNSIDE, P.M. 2008a. The roles and movements of actors in the deforestation of Brazilian Amazonia. *Ecology and Society*, 13(1): 23. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol13/iss1/art23/>
- FEARNSIDE, P.M. 2008b. Amazon forest maintenance as a source of environmental services. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 80(1): 101-114.
- FEARNSIDE, P.M. & BARBOSA, R.I. 2003. Avoided deforestation in Amazonia as a global warming mitigation measure: The case of Mato Grosso. *World Resource Review*, 15(3): 352-361.
- 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. 2004. Tropical deforestation and greenhouse gas emissions. *Ecological Applications*, 14(4): 982-986.
- FEARNSIDE, P.M.; GRAÇA, P.M.L.A.; KEIZER, E.W.H.; MALDONADO, F.D.; BARBOSA, R.I. & NOGUEIRA, E.M. s/d. Modelagem de desmatamento e emissões de gases de efeito estufa na região sob influência da Rodovia Manaus-Porto Velho (BR-319) (manuscrito).
- FUNCATE (Fundação por Pesquisa Espacial, Aplicações e Tecnologia). 2006. *Carbon Dioxide Emissions and Removals from Forest Conversion and Abandonment of Managed Lands*. First Brazilian Inventory of Anthropogenic Greenhouse Gas Emissions Background Reports. Ministério de Ciência e Tecnologia, Brasília, DF, Brasil. 92p. http://www.mct.gov.br/upd_blob/0022/22472.pdf
- GLERUM, B.B. 1960. *Report to the Government of Brazil on a forest inventory in the Amazon Valley. Part 5: Region between Rio Caete and Rio Maracassume*. Expanded Technical Assistance Program, FAO Report no. 1250. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, Itália. 67p.
- GLERUM, B.B. & SMIT, G. 1962. *Report to the Government of Brazil on a combined forestry-soil survey along the road BR-14 from São Miguel do Guama to Imperatriz*. Expanded Program of Technical Assistance Report no. 1483. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, Itália. 137p.
- HARE, B. & MACEY, K. 2008. Tropical deforestation emission reduction mechanism (TDERM): A discussion paper. Greenpeace, Amsterdam, Países Baixos. 52p.
- HEINSDIJK, D. 1957. *Report to the Government of Brazil on a forest inventory in the Amazon Valley (Region between Rio Tapajós and Rio Xingu)*. Expanded Technical Assistance Program FAO Report no. 601600. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, Itália. 135p.
- HEINSDIJK, D. 1958. *Report to the Government of Brazil on a forest inventory in the Amazon Valley. Part 3: Region between Rio Tapajós and Rio Madeira. FAO Report n° 969 & Part 4: Region between Rio Tocantins and Rios Guama and Capin*, FAO Report n° 992. Expanded Technical Assistance Program (FAO/58/10/8131), Food and Agriculture Organization, Roma, Itália. 83p.
- HOUGHTON, R.A. 2003a. Why are estimates of the terrestrial carbon balance so different? *Global Change Biology*, 9: 500-509.
- HOUGHTON, R.A. 2003b. Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use and

- land management 1850-2000. *Tellus Series B Chemical and Physical Meteorology*, 55(2): 378-390.
- HOUGHTON, R.A., LAWRENCE, K.T., HACKLER, J.L. & BROWN, S. 2001. The spatial distribution of forest biomass in the Brazilian Amazon: A comparison of estimates. *Global Change Biology*, 7: 731-746.
- HOUGHTON, R.A.; SKOLE, D.L.; NOBRE, C.A.; HACKLER, K.T.; LAWRENCE, J.L. & CHOMENTOWSKI, W.H. 2000. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. *Nature*, 403: 301-304.
- KINTISCH, E. 2007. Researchers: Folly in Bali. *Science*, 318: 1855.
- LAURANCE, W.F. 2007. A new initiative to use carbon trading for tropical forest conservation. *Biotropica*, 39(1): 20-24.
- LUGO, A.E. & BROWN, S. 1986. Brazil's Amazon forest and the global carbon problem. *Interciencia*, 11(2): 57-58.
- MALHI, Y.; WOOD, D.; BAKER, T.R.; WRIGHT, J.; PHILLIPS, O.L.; COCHRANE, T.; MEIR, P.; CHAVE, J.; ALMEIDA, S.; ARROYO, L.; HIGUCHI, N.; KILLEEN, T.; LAURANCE, S.G.; LAURANCE, W.F.; LEWIS, S.L.; MONTEAGUDO, A.; NEILL, D.A.; VARGAS, P.N.; PITMAN, N.C.A.; QUESADA, C.A.; SALOMÃO, R.; SILVA, J.N.M.; LEZAMA, A.T.; TERBORGH, J.; MARTÍNEZ, R.V. & VINCETI, B. 2006. The regional variation of aboveground live biomass in old-growth Amazonian forests. *Global Change Biology*, 12: 1107-1138.
- MARENCO, J.A. 2006. On the hydrological cycle of the Amazon Basin: A historical review and current state-of-the-art. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 21(3a): 1-19.
- MOUTINHO, P.; SCHWARTZMAN, S. & SANTILLI, M. 2005. Introduction. Pp. 7-9 In: MOUTINHO, P. & SCHWARTZMAN, S. (eds). *Tropical Deforestation and Climate Change*. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM), Belém, Pará, Brazil & Environmental Defense (EDF), Washington, DC, E.U.A. 131p.
- NOGUEIRA, E.M.; FEARNESIDE, P.M. & NELSON, B.W. 2008a. Normalization of the wood density data used in estimates of above-ground live biomass in Amazon forests. *Forest Ecology and Management*, 256(5): 990-996.
- NOGUEIRA, E.M.; FEARNESIDE, P.M.; NELSON, B.W. & FRANÇA, M.B. 2007. Wood density in forests of Brazil's 'arc of deforestation': Implications for biomass and flux of carbon from land-use change in Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 248(3): 119-135.
- NOGUEIRA, E.M.; FEARNESIDE, P.M.; NELSON, B.W.; BARBOSA, R.I. & KEIZER, E.W.H. 2008b. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. *Forest Ecology and Management*, 256(11): 1853-1857.
- NOGUEIRA, E.M.; NELSON, B.W. & FEARNESIDE, 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. & FEARNESIDE, 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.
- NOGUEIRA, E.M.; NELSON, B.W.; FEARNESIDE, P.M.; FRANÇA, M.B. & DE OLIVEIRA, Á.C.A. 2008C. Tree height in Brazil's "arc of deforestation": Shorter trees in south and southwest Amazonia imply lower biomass. *Forest Ecology and Management*, 255: 2963-2972.
- PAPUA NEW GUINEA & COSTA RICA. 2005. *Submission by the Governments of Papua New Guinea and Costa Rica: Reducing Emissions from Deforestation in Developing Countries: Approaches to Stimulate Action*. Eleventh Conference of the Parties of the UNFCCC, Agenda Item No. 6. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), Bonn, Alemanha. 23p. (<http://www.rainforestcoalition.org/documents/COP-11AgendaItem6-isc.Doc.FINAL.pdf>)
- PERSSON, U.M. & AZAR, C. 2007. Tropical deforestation in a future international climate policy regime—lessons from the Brazilian Amazon. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12(7): 1277-1304.
- QUIGGIN, J. 2008. Stern and its critics on discounting and climate change: An editorial essay. *Climatic Change*, 89(3-4): 195-205.
- RAMANKUTTY, 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. doi:10.1111/j.1365-2486.2006.01272.x
- ROBINSON, J.M. 1989. On uncertainty in the computation of global emissions from biomass burning. *Climatic Change*, 14: 243-262.
- SAATCHI, S.S.; HOUGHTON, R.A.; DOS SANTOS ALVALA, R.C.; SOARES, J.V. & YU, Y. 2007. Distribution of aboveground live biomass in the Amazon Basin. *Global Change Biology*, 13: 816-837.
- SALAZAR, L.F.; NOBRE, C.A. & OYAMA, M.D. 2007. Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. *Geophysical Research Letters*, 34: L09708, doi:10.1029/2007GL029695.
- SANTILLI, M.; MOUTINHO, P.; SCHWARTZMAN, S.; NEPSTAD, D.; CURRAN, L. & NOBRE, C. 2005.

- Tropical deforestation and the Kyoto Protocol. *Climatic Change*, 71: 267-276.
- SATHAYE, J.A. & ANDRASKO, K. 2007. Land use change and forestry climate project regional baselines: A review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12(6): 971-1000.
- SCHLAMADINGER, B.; CICCARESE, L.; DUTSCHKE, M.; FEARNSIDE, P.M.; BROWN, S. & MUDIYARSO, D. 2005. Should we include avoidance of deforestation in the international response to climate change? Pp. 675-691. *In*: P. Moutinho and S. Schwartzman (eds.). *Tropical Deforestation and Climate Change*. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM), Belém, Pará, Brazil & Environmental Defense (EDF), Washington, DC, E.U.A. 131p.
- SOARES-FILHO, B.S.; ALENCAR, A.A.; NEPSTAD, D.C.; CERQUEIRA, G.C.; DIAZ, M. del C.V.; RIVERO, S.; SOLÓRZANO, L. & VOLL, E. 2004. Simulating the response of land-cover changes to road paving and governance along a major Amazon highway: The Santarém-Cuiabá corridor. *Global Change Biology*, 10(5): 745-764.
- 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.
- UN-FCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). 1997. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change, Document FCCC/CP/1997/7/Add1 (Disponível em inglês em: <http://www.unfccc.de> e em português em: <http://www.mct.gov.br/clima>).
- VIANA, V. & CAMPOS, M.T. 2007. *Bolsa Floresta: Recompensa para Quem Conserva a Floresta em Pé*. Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SDS), Manaus, Amazonas, Brasil. 13p.
- 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. 377p.

Submetido em 15/11/2008.

Aceito em 15/12/2008.