

# HOMEM E AMBIENTE NA AMAZÔNIA

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

Fax: (92) 642-8909  
Tel: (92) 643-1822  
e-mail [pmfearn@inpa.gov.br](mailto:pmfearn@inpa.gov.br)

31 de outubro de 2001  
Revisado: 21 de maio de 2002  
17 de junho de 2002

## ÍNDICE DE CONTEÚDO

RESUMO

PALAVRAS CHAVE

I.) HUMANOS NA AMAZÔNIA

II.) IMPACTOS DE ATIVIDADES HUMANAS

A.) ECOSSISTEMAS TERRESTRES

- 1.) Desmatamento
- 2.) Exploração madeireira
- 3.) Fogo

B.) ECOSSISTEMAS AQUÁTICOS

- 1.) Represas hidrelétricas
- 2.) Hidrovias
- 3.) Pesca
- 4.) Poluição

III.) IMPACTO DE MUDANÇA DE CLIMA EM ATIVIDADES HUMANAS

IV.) SERVIÇOS AMBIENTAIS

A.) BIODIVERSIDADE

B.) CICLAGEM D'ÁGUA

C.) ESTOQUES DE CARBONO.

V.) CONCLUSÕES

VI.) AGRADECIMENTOS

VII.) LITERATURA CITADA

## RESUMO

Populações humanas na Amazônia constituem uma parte dos ecossistemas nos quais elas vivem. A escala e intensidade crescentes das atividades humanas têm impactos significativos em outras partes destes ecossistemas, com efeitos locais, nacionais e globais. Impactos das atividades humanas sobre ecossistemas terrestres incluem os efeitos do desmatamento, da exploração madeireira, de queimadas e incêndios. Ecossistemas aquáticos são afetados através de represas hidrelétricas, hidrovias, sobre-exploração de recursos de pesqueiros e poluição de água por óleo e mercúrio.

Mudanças ambientais atuais e esperadas afetam negativamente os seres humanos na Amazônia e em outros locais. Estas mudanças incluem a perda da capacidade produtiva dos ecossistemas, redução de ciclagem d'água devido à perda de evapotranspiração (com perda conseqüente de precipitação, tanto na Amazônia como nas partes não-amazônicas do Brasil que atualmente sofrem de precipitação insuficiente e de escassez de eletricidade resultante), e contribuição ao efeito estufa.

A contribuição da perda de floresta a mudanças globais tais como mudanças climáticas e a perda de biodiversidade, fundamenta a adoção de uma estratégia nova para sustentar a população da região. Ao invés de destruir a floresta para poder produzir algum tipo de mercadoria, como é o padrão atual, se usaria a manutenção da floresta como gerador de fluxos monetários baseado nos serviços ambientais da floresta, ou seja, o valor de evitar os impactos que se seguem da destruição da floresta.

**PALAVRAS CHAVE:** biodiversidade, efeito estufa, mudança de clima, serviços ambientais

## I.) HUMANOS NA AMAZÔNIA

As relações de seres humanos com o resto do ecossistema na Amazônia dependem estritamente do grupo humano em questão, já que diferenças culturais e diferenças na riqueza e poder político de cada resultam em grandes diferenças no impacto ambiental das

atividades de cada grupo. Povos indígenas têm a melhor atuação na manutenção da floresta, embora é importante reconhecer que os seus padrões de comportamento podem mudar com o passar do tempo por força do contato com a economia maior. Extrativistas tradicionais (tais como seringueiros) e agricultores pequenos tradicionais (tais como caboclos ribeirinhos) tenham relativamente pequeno impacto comparado a outros grupos, tais como migrantes recentes, fazendeiros, madeireiros e operações de agroindústria.

O impacto da população humana mudou com o passar do tempo em função das mudanças no tamanho e na distribuição espacial dos diferentes grupos de atores, e a medida em que os seus níveis de atividade responderam a vários estímulos do mercado e do governo. Estes incluem atividades estimuladas por programas de incentivos fiscais, oportunidade para especulação imobiliária, sonegação tributária, lavagem de dinheiro, reforma agrária, programas de assentamento, crédito agrícola e financiamento de outras atividades, e grande projetos de infra-estrutura, tais como rodovias e barragens hidrelétricas. O meio ambiente pode afetar a população humana através de mudanças climáticas e pela degradação da capacidade produtiva dos sistemas, por exemplo, por degradação do solo, poluição da água, e perda de recursos bióticos tais como populações comercialmente valiosas de árvores e peixes. Atividades humanas têm uma larga gama de efeitos sobre o meio ambiente, e vice-versa, apenas alguns dos quais serão tratados no atual revisão.

## II.) IMPACTOS DE ATIVIDADES HUMANAS

### A.) ECOSSISTEMAS TERRESTRES

#### 1.) Desmatamento

O desmatamento é a atividade humana que afeta diretamente as maiores áreas na parte florestada da Amazônia brasileira. Dados do satélite LANDSAT, interpretados no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), indicam que a área desflorestada até 2000 totalizou  $583,3 \times 10^3 \text{ km}^2$ , incluindo aproximadamente  $100 \times 10^3 \text{ km}^2$  de desmatamento "antigo" (pré-1970) no Pará e Maranhão (Fig. 1). A área desmatada é maior que a França. Já que a área

originalmente florestada na Amazônia brasileira era do tamanho da Europa Ocidental, a "França" já desmatada dentro dessa "Europa" ilustra a sua dimensão relativa. A área desmatada representa 14,6% dos  $4 \times 10^6 \text{ km}^2$  originalmente florestados, entre os  $5 \times 10^6 \text{ km}^2$  da Amazônia Legal. Pelo menos 80% da área desmatada estão agora sob pastagens ou sob floresta secundária em pastagens que já foram degradadas e abandonadas (Fearnside, 1996).

[Figura 1 aqui]

A taxa de desmatamento variou ao longo do tempo e aumentado nos últimos anos. Ao longo do período 1978-1988, a floresta foi perdida a uma taxa média de  $20,4 \times 10^3 \text{ km}^2/\text{ano}$  (incluindo inundação por hidrelétricas); a taxa diminuiu (começando em 1987) até um ponto baixo alcançado em 1990-1991; aumentou no período 1992-1994, seguido por um pulo para  $29,1 \times 10^3 \text{ km}^2/\text{ano}$  em 1995, depois caiu até 1997, seguido por um novo aumento até 2000 e uma pequena diminuição em 2001 (Brasil, INPE, 2000, 2002).

Desmatamento tem impactos ambientais severos, inclusive perda de biodiversidade (Myers, 1992), exposição do solo à erosão (por exemplo, Barbosa & Fearnside, 2000), perda das funções da floresta na ciclagem d'água (Lean *et al.*, 1996) e armazenamento do carbono (Fearnside, 2000a). As queimadas também afetam a formação de nuvens e a química da atmosfera em diversas maneiras, além do efeito estufa. Evitar o desmatamento evita estes impactos, dando assim um valor significativo às atividades que resultam em desmatamento reduzido. A disponibilidade para pagar (WTP) pelos serviços ambientais providos pela floresta representa uma fonte potencial de renda que será discutida no final do presente trabalho. Além do desmatamento, outras atividades resultam também em impactos ambientais e conseqüentemente em perdas de serviços ambientais.

A contribuição da perda de floresta a estas mudanças fundamenta a adoção de uma estratégia nova para sustentar a população da região. Ao invés de destruir a floresta para poder produzir algum tipo de mercadoria, como é o padrão atual, se usaria a manutenção da floresta como gerador de fluxos

monetários baseados nos serviços ambientais da floresta, ou seja, o valor de evitar os impactos que se seguem da destruição da floresta (Fearnside, 1997c).

## 2.) Exploração madeireira

A exploração madeireira é uma atividade econômica sempre crescente na Amazônia brasileira, e tem sido assim ao longo das últimas duas décadas. É esperado que a taxa de exploração madeireira na Amazônia brasileira aumente bastante em médio prazo, por causa do tamanho considerável do recurso madeireiro quando comparado com outras florestas tropicais, e porque terão sido consumidas as florestas asiáticas que estão sendo usadas primeiro por causa da qualidade superior da madeira delas (Brasil, MMA, 1996). A participação do Brasil no volume total de madeira no comércio internacional era apenas 8% em 1995 (Higuchi, 1997: 18, 28). Maiores investimentos na exploração madeireira na Amazônia são prováveis a medida em que as florestas asiáticas se esgotam. Embora a crise financeira asiática que começou em 1998 tenha adiado os investimentos, é esperado que sejam investidos US\$600 milhões no futuro próximo para explorar mais de 1,2 milhões de ha de terra florestada na Amazônia brasileira, o preço da qual está num ponto baixo inédito (Gonçalves, 1998: 88). Desde 1993, a demanda para exportação de madeira brasileira variou inversamente com a oferta oriunda do resto do mundo, particularmente a Ásia, resultando na expectativa de que a pressão sobre florestas amazônicas aumentará dramaticamente no futuro próximo (Angelo, 1998: 107).

Uma parte grande, porém mal quantificada, da exploração madeireira na Amazônia era ilegal. Em 1998, a Secretaria de Assuntos Estratégicos (SAE) calculou que 80% do volume de toras cortadas eram ilegais (veja: Cotton & Romine, 1999). Isto aumenta o impacto da exploração madeireira porque o corte ilegal é feito sem qualquer medida para reduzir seu impacto ou aumentar a sua sustentabilidade, porque muito da madeira ilegal vem de áreas indígenas ou das unidades de conservação, e porque o grande volume de madeira ilegal no mercado torna investimentos em projetos legais de manejo florestal inviáveis economicamente.

Ao contrário da percepção popular, a grande maioria da madeira colhida na Amazônia é consumida no mercado interno, em vez de ser exportado para destinos internacionais. Em 1997, foi consumido dentro do País 86-90% da madeira colhida na Amazônia brasileira, e foi exportado apenas 10-14% (Smeraldi & Veríssimo, 1999: 16).

Mogno (*Swietenia spp.*) representa uma exceção importante a generalizações sobre o peso relativo de mercados domésticos e estrangeiros. Mogno está numa classe de preço à parte: US\$900/m<sup>3</sup> de madeira serrada no portão da serraria, ou 3-6 vezes o preço de outras espécies comerciais (Smeraldi & Veríssimo, 1999), e a maioria é exportada. As importações dos EUA representam 60% do comércio global; os EUA sozinhos importaram 120.000 m<sup>3</sup> da América Latina em 1998, equivalente a 57.000 árvores (Robbins, 2000). Devido ao fato que o mogno motiva a abertura de estradas por madeireiras em áreas remotas, esta espécie desempenha um papel catalítico no desmatamento na região (Fearnside, 1997b). O corte ilegal desta espécie também tem o maior impacto sobre indígenas e áreas protegidas.

Dentro do Brasil, a demanda para madeira de todos os tipos leva à pressão de exploração madeireira em florestas amazônicas. Ao contrário da crença popular, a madeira das florestas tropicais não é usada apenas, nem em grande parte, para produtos de alto valor, tais como mobília e instrumentos musicais. O Brasil usa madeira tropical para praticamente tudo, inclusive azimbre para concreto, paletas, caixotes, construção, aglomerados e compensados. Substituir esta demanda com madeira oriunda de plantações somente acontecerá se a madeira barata não for mais disponível da colheita destrutiva das florestas amazônicas. No momento, as áreas significativas de plantações do Brasil são quase todas manejadas para produção de celulose e carvão em vez de madeira serrada (Fearnside, 1998).

Estimativas da área explorada anualmente para madeira na Amazônia brasileira variam muito. Uma estimativa feita pelo INPE indica que são explorados apenas 2000 km<sup>2</sup>/ano na Amazônia Legal (Krug, 2001: 98). Estimativas feitas pelo Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM) indicam 10.000-15.000 km<sup>2</sup>/ano (Nepstad et al., 1999a). A grande variação nas

estimativas da área explorada anualmente é, de fato, maior que a incerteza sobre a área realmente explorada, porque limitações metodológicas conhecidas explicam os resultados obtidos em alguns dos estudos, especialmente as estimativas muito baixas obtidas pelo INPE.

O cálculo do INPE (Krug, 2000, 2001) está baseado em imagens de LANDSAT sem verdade terrestre. 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 são estocados os troncos temporariamente 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 de exploração madeireira estimada com base em entrevistas.

As estimativas de taxas mais altas de exploração madeireira ganham apoio dos resultados de estudos mais intensivos de áreas menores baseados em interpretação de imagens de satélite em combinação com "verdade terrestre" (verificação no chão) em cenas de LANDSAT-TM (185 X 185 km). Skole (2000) calculou taxas de exploração madeireira de 2.655 e 5.406 km<sup>2</sup>/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 (Krug, 2000) indicou apenas 3.220 e 1.989 km<sup>2</sup>/ano, respectivamente, na Amazônia Legal inteira. Na cena LANDSAT adjacente, ao norte de Tailândia (223/62), Alencar (2000) calculou uma taxa de exploração madeireira de 16% (aproximadamente 5.000 km<sup>2</sup>) por ano. O extenso trabalho de campo que fundamenta esta estimativa provavelmente faz com que ela seja a estimativa mais segura existente. É impressionante que a área explorada anualmente na única cena de LANDSAT-TM estudada por Alencar (2000) seja maior que a área calculada pelo INPE para exploração madeireira na Amazônia Legal inteira.

Entre os impactos da exploração madeireira está perda de biodiversidade, inclusive depleção da fauna pela caça (Robinson *et al.*, 1999). Por si só,

exploração madeireira é geralmente insuficiente para causar extinções de espécies de árvore (Johns, 1997). Operações de exploração madeireira também trazem uma variedade de riscos à saúde das pessoas que trabalham na exploração (Eve *et al.*, 2000).

A exploração madeireira libera carbono para a atmosfera em quantidades que excedem em muito o carbono nos troncos removidos. Isto ocorre porque muito da biomassa das árvores colhidas é deixado para trás na forma de galhos, tocos e raízes, e porque os danos colaterais para árvores não colhidas resultam na morte e decomposição de muitas outras árvores. Apesar do "sequestro" (captura e estocagem) temporário de algum carbono em produtos madeireiros, o impacto líquido da exploração madeireira é uma liberação de carbono; a liberação é particularmente grande se é dado valor ao tempo nos calculos dos benefícios climáticos (Fearnside, 1995a).

A exploração madeireira facilita o desmatamento porque o dinheiro proveniente da venda da madeira pode ser investido em desmatamento para pastagens (*e.g.*, Mattos & Uhl, 1994). O desmatamento também aumenta porque as estradas de exploração madeireira (especialmente para mogno) conduzem à entrada de colonos e porque os grandes proprietários às vezes desmatam para manter a posse da terra para poder vender a madeira.

Talvez o maior impacto da exploração madeireira é o seu efeito sobre fogos. A exploração madeireira aumenta muito a flamabilidade da floresta e o risco de entrada de fogo (Uhl & Bushbacher, 1985). A exploração madeireira deixa grandes quantidades de biomassa morta na floresta, fornecendo combustível para a entrada posterior de fogos. Também abre o dossel, que resulta em um microclima mais seco no chão da floresta. Uma vez que um fogo rasteiro entra em uma área de floresta, as bases das árvores estão queimadas, a mortalidade aumenta e começa-se um ciclo de retroalimentação positiva que conduz a fogos adicionais e degradação da floresta (Cochrane & Schultz, 1999; Cochrane *et al.*, 1999; Nepstad *et al.*, 1999a,b).

### 3.) Fogo

Incêndios florestais representam uma fonte de emissões de gases do efeito estufa. No "Grande Incêndio de Roraima" durante o evento El Niño de 1997-1998, queimaram 11.394-13.928 km<sup>2</sup> de florestas primárias (intactas, em pé) (Barbosa & Fearnside, 1999). O total de carbono equivalente a CO<sub>2</sub> emitido por combustão, quando considerado o potencial de aquecimento global de cada gás em um horizonte de tempo de 100 anos (Schimel *et al.*, 1996), foi de 17,9-18,3 X 10<sup>6</sup> t, das quais 67% eram de floresta primária impactadas pelo fogo, ou 12,0-12,3 x 10<sup>6</sup> t de C equivalente a CO<sub>2</sub> (Barbosa & Fearnside, 1999).

Além do Grande Incêndio de Roraima, o evento El Niño de 1997-1998 levou a incêndios florestais no "arco de desmatamento" que têm sido estimados em 15 X 10<sup>3</sup> km<sup>2</sup> (Nepstad *et al.*, 2000). Incêndios significativos em florestas também aconteceram em áreas de exploração madeireira perto de Tailândia, Pará (Cochrane *et al.*, 1999) e no Estado do Amazonas (Nelson, 2001).

## B.) ECOSSISTEMAS AQUÁTICOS

### 1.) Represas hidrelétricas

Construção de barragens hidrelétricas é uma das atividades mais controversas que afetará o rumo do desenvolvimento na Amazônia brasileira nas próximas décadas. A lista completa de 79 barragens planejadas na região, independente da data prevista de construção, inundaria aproximadamente 3% da floresta da Amazônia brasileira diretamente (Brasil, ELETROBRÁS, 1987: 150; veja Fearnside, 1995b). Decisões sobre projetos hidrelétricos futuros provocam cadeias de eventos com impactos com alcance muito além da vizinhança imediata das barragens e reservatórios.

Em maio de 2001, o Brasil entrou em uma "crise de energia", começando com blecautes descontrolados em grandes cidades tais como São Paulo e Rio de Janeiro, seguido por uma série de medidas de emergência para reduzir o consumo de eletricidade. A "crise" era um resultado combinado de mau planejamento da infraestrutura de geração de eletricidade, subsídios do governo de produtos de exportação intensivos de energia, tais como o alumínio, o uso doméstico e industrial ineficiente da eletricidade, e pouca chuva

nas bacias hidrográficas das usinas hidrelétricas. Entre as medidas implementadas, entrou em vigor em 18 de maio de 2001 uma abreviação do processo de revisão ambiental para barragens hidrelétricas novas e para outras infra-estruturas relacionadas à energia (veja: *Gazeta Mercantil*, 2001).

Cada uma das barragens existentes causou impactos ambientais e sociais significantes. O reservatório de 72 km<sup>2</sup> de Curuá-Una, formado em 1977, foi a primeira "grande" represa na Amazônia brasileiro (Junk & Mello, 1987), seguida pelo reservatório de 2.430 km<sup>2</sup> de Tucuruí em 1984 (Fearnside, 1999a, 2001a), o de 2.360 km<sup>2</sup> de Balbina em 1987 (Fearnside, 1989a) e o de 540 km<sup>2</sup> de Samuel em 1988.

Emissões de gases do efeito estufa de represas hidrelétricas podem ser significativas. No caso de Balbina, as emissões excedem o que teria sido emitido gerando a mesma quantidade de energia a partir de combustíveis fósseis (Fearnside, 1995b). No entanto, Balbina não é um exemplo típico das represas futuras porque a topografia plana e a baixa vazão no local resultam em uma área de reservatório extraordinariamente grande por unidade de eletricidade gerada. Tucuruí tem 1,86 Watts (W) de capacidade instalada por m<sup>2</sup> de área de reservatório, fazendo com que ela seja melhor que a média de 1,0 W/m<sup>2</sup> para as represas planejadas. Tucuruí emite uma quantidade grande de gases do efeito estufa, embora seja menos que combustíveis fósseis. Em 1990 Tucuruí emitiu uma quantidade estimada em 7-10 X 10<sup>6</sup> t de C equivalente ao C de CO<sub>2</sub>, ou mais que a cidade de São Paulo (Fearnside, 2002). Estas estimativas são uma ordem de grandeza mais altas do que os números oficiais atuais (Brasil, MCT, 2001) porque os números oficiais omitem as fontes principais de emissões de represas hidrelétricas: CH<sub>4</sub> liberada pela água que atravessa as turbinas e o vertedouro, e CO<sub>2</sub> liberada da decomposição das árvores que projetam fora da água.

## 2.) Hidrovias

Hidrovia tem impactos ambientais severos (Fearnside, 2001b). Projetos de infra-estrutura já construídos ou em construção incluem a hidrovia do rio Madeira. Projetos ainda não construídos incluem a

hidrovia do Araguaia-Tocantins, a hidrovia Teles Pires-Tapajós, a hidrovia do rio Capim, a hidrovia Paraguai-Paraná ("hidrovia do Pantanal") e uma hidrovia nos rios Mamoré e Guaporé. Em 1999, o governador do Estado do Amazonas propôs a construção de uma hidrovia para conectar esse Estado com a bacia do rio Orinoco, na Venezuela (*Amazonas em Tempo*, 15 de setembro de 1999). Uma hidrovia no rio Branco é indicada como planejada pelo Ministério dos Transportes (Brasil, Ministério dos Transportes, 1999).

### 3.) Exploração pesqueira

A exploração pesqueira na Amazônia tradicionalmente tem sido feita com pouca consideração pela sustentabilidade, e a pressão continuamente crescente sobre estes recursos tem conduzido a declínios de várias espécies comerciais (Barthem, 1992). Um sinal de esperança é o recente advento de movimentos sociais para organizar as populações locais para fazer manejo comunitário de lagos de várzea (McGrath, 2000). Isto envolve o fechamento de alguns dos lagos contra a entrada dos grandes barcos de pesca provenientes dos centros urbanos, e exige apoio oficial para evitar conflitos violentos.

### 4.) Poluição

#### A.) Poluição do ar

Vários tipos de poluição resultam das atividades humanas na Amazônia, com efeitos diretos na população residente. A poluição do ar pela queima de biomassa é um problema regular durante a estação seca (por exemplo, Watson *et al.*, 1991). Níveis de poluentes, tais como monóxido de carbono, alcançam níveis ainda mais altos do que ocorre nos piores dias nas grandes cidades, tais como São Paulo e Rio de Janeiro. Problemas respiratórios e outros problemas de saúde são comuns no arco de desmatamento na Amazônia. Aeroportos freqüentemente estão fechados devido à fumaça.

#### b.) Poluição por óleo

Poluição da água por derramamentos de petróleo pode causar impactos severos onde acontece. A exploração de petróleo teve impactos desastrosos no

Peru e no Equador (Kimmerling, 2000). Na Amazônia brasileira, a exploração de petróleo é relativamente recente e é limitada em escala, embora alguns derramamentos tenham acontecido. Um poliduto (duto híbrido de petróleo e gás) de Urucu para Coarí foi completado em 1998, e o petróleo atualmente é trazido de Coarí para Manaus por barcaça. Em 1999 um oleoduto quebrou entre o porto e a refinaria em Manaus, resultando em um derramamento no igarapé de Cururú. Um igarapé foi contaminado pelo vazamento de um oleoduto no campo petrolífero de Urucú em 2001. A ameaça de vazamento de óleo está limitada pela pequena quantidade de óleo conhecida na região. A reserva de Urucu deveria ser esgotada comercialmente até aproximadamente 2005. No Urucú há também gás natural, que se espera durar aproximadamente 20 anos, depois de que seria puxado gás de um campo de gás maior (sem qualquer óleo associado) em Juruá. Vazamentos de petróleo das barcaças entre Coarí e Manaus, e dos transportes fluviais em geral, têm causado uma sucessão de eventos pequenos de poluição de óleo. A poluição por óleo seria especialmente danosa se fosse afetar as florestas de várzea, onde muitas espécies de peixe da região procriam.

#### c.) Poluição por mercúrio

A poluição pelo mercúrio usado por garimpeiros já é famosa (por exemplo, Pfeiffer & Lacerda, 1988; Pfeiffer *et al.*, 1991). A liberação de mercúrio é proporcional à quantidade de ouro minada, sendo tipicamente 1,3 kg de Hg por kg de ouro (Pfeiffer *et al.*, 1989). Porque o preço internacional de ouro varia amplamente, a quantidade de ouro explorada (e a conseqüente poluição de mercúrio) também varia. O preço de ouro estava num ponto alto nos anos oitenta, e começou a diminuir em 1989. Calculou-se que 1.500-3.000 t de Hg foram liberadas no ambiente entre 1976 e 1991 (Pfeiffer *et al.*, 1993). Em 2001 o preço de ouro está baixo, fazendo com que as taxas de liberação de mercúrio sejam mais baixas do que nos anos oitenta.

Menos famosa é a quantia grande de mercúrio que não vem da garimpagem. Isto também chega até os humanos por consumo de peixe. Solos amazônicos contêm quantidades significativas de mercúrio oriundo de fontes naturais, porque o solo na região tem milhões de

anos de idade e têm acumulado mercúrio gradualmente por meio de deposição na chuva de poeira oriunda de erupções vulcânicas e de outras fontes ao redor do mundo. O fator limitando a entrada de mercúrio na cadeia alimentícia que conduz aos humanos é o ambiente apropriado para conversão do mercúrio elementar em sua forma tóxico (metil mercúrio). Isto pode acontecer sob condições naturais em rios onde as características químicas da água são apropriadas, especialmente nos rios de água preta (Roulet & Lucotte, 1995; Silva-Forsberg *et al.*, 1999). As concentrações de mercúrio nos peixes e nos residentes humanos ribeirinhos nestas áreas são mais altas do que as concentrações permitidas pelos padrões internacionais (Silva-Forsberg *et al.*, 1999).

Uma grande fonte de poluição de mercúrio são os solos inundados por represas hidrelétricas, e espera-se que o plano ambicioso para construção de barragens nas próximas décadas vai exacerbar em muito este problema. A condição anóxica no fundo de um reservatório fornece o ambiente necessário para metilização do mercúrio, aumentando a concentração por um fator de aproximadamente dez com cada elo na cadeia alimentícia desde plâncton para pescado até as pessoas que comem o peixe. Na represa de Tucuruí, foram encontradas concentrações de mercúrio altas no cabelo de residentes na beira do lago (Leino & Lodenius, 1995; Porvari, 1995; veja Fearnside, 1999a). Em Balbina, mudanças na concentração de mercúrio nos cabelos de mulheres foram datadas através de amostras de fios de cabelo de mulheres com cabelos compridos, assim revelando um nível baixo de mercúrio antes de encher o reservatório, seguido por uma elevação abrupta após o enchimento do reservatório, seguido por uma diminuição gradual na medida em que a quantidade de peixe capturada no reservatório diminuiu como resultado da diminuição da fertilidade da água, assim forçando os residentes a comer frango, peixe criado em piscicultura e carne de boi, no lugar de peixe do reservatório (Kehring, 1998).

### III.) IMPACTOS DA MUDANÇA CLIMÁTICA SOBRE ATIVIDADES HUMANAS

Muitas das mudanças climáticas esperadas durante o próximo século terão impactos sobre atividades humanas na Amazônia. É esperado que o efeito estufa resulte em um aumento de temperatura de 1-6 °C na região (Carter &

Hulme, 2000). Mudanças de precipitação modeladas variam muito entre modelos de circulação global (GCMs) e entre cenários de emissões (Giorgi *et al.*, 2001). Secamento foi predito pela maioria dos modelos (por exemplo, Mitchell *et al.*, 1995). Algumas das combinações resultam em chuva aumentada (Carter & Hulme, 2000; veja Nobre, 2001). Temperatura mais alta aumenta as exigências das plantas para água, portanto aumentando o estresse hídrico resultante da perda de precipitação. A perda de chuva devido à redução da evapotranspiração seria adicional às reduções de precipitação devido ao efeito estufa. Embora menos certo do que as mudanças nos valores médios de temperatura e chuva, a variância destes parâmetros pode aumentar também devido a eventos extremos mais freqüentes, tais como El Niño. Isto aumentaria o estresse na vegetação e o perigo de acontecer grandes incêndios na floresta em pé.

É esperado que a mudança climática tenha impactos significativos na floresta em pé na Amazônia (Fearnside, 1995c; Mata *et al.*, 2000). As mudanças devido ao efeito estufa sozinho (sem considerar os outros fatores, tais como a perda de evapotranspiração devido à substituição da floresta por pastagens) foram preditos com o modelo HAD-3 (do Centro Hadley, da Agência Meteorológica do Reino Unido) para resultar na morte da maior parte da floresta amazônica a leste de Manaus antes do ano 2050 (Cox *et al.*, 2000; mas vê crítica por Niles, 2000).

Um das conseqüências do efeito estufa é redução da vazão no rio Amazonas, especialmente durante o período de água baixa (Nijssen *et al.*, 2001: 155). Remoção da cobertura florestal pela continuação do desmatamento também reduziria a vazão no período de água baixa, mas contribuiria a picos mais altos logo após as chuvas. A variação nos estágios de rio também aumentaria. Estas mudanças acrescentariam dificuldade à agricultura na várzea, além dos seus efeitos sobre transporte fluvial, pesca e erosão dos leitos dos rios.

#### IV.) SERVIÇOS AMBIENTAIS

##### A.) BIODIVERSIDADE

A floresta da Amazônia brasileira é conhecida por abrigar uma tremenda diversidade de espécies, incluindo muitas que são endêmicas. Porque áreas grandes de floresta amazônica ainda permanecem em pé, análises de "hotspots" globais de biodiversidade freqüentemente rebaixam a ênfase dada à Amazônia para dar prioridade às áreas mais ameaçadas, tais como o cerrado brasileiro e a mata atlântica (Dinerstein *et al.*, 1995; Myers *et al.*, 2000). Embora o número de espécies endêmicas seja mais baixo na Amazônia que em algumas áreas, tais como as encostas orientais dos Andes e a mata atlântica, a vasta área da Amazônia confere a esta região um lugar importante no estoque global de biodiversidade.

Biodiversidade é perdida quando florestas amazônicas são cortadas e convertidas em pastagens, o uso da terra dominante em áreas desmatadas hoje (Fearnside, 1996). Fragmentação e efeitos de borda reduzem a biodiversidade ainda mais nas florestas remanescentes que permanecem na paisagem (Laurance & Bierregaard, 1997). Estes impactos atualmente têm pouca influência sobre as decisões com relação à conversão de floresta ao nível local. Aos níveis nacionais e globais, no entanto, a grande biodiversidade da Amazônia é uma razão primária para o interesse público e oficial na redução da velocidade da destruição.

Os muitos usos da biodiversidade, atuais e em potencial, oferecem justificativas para esforços no sentido de evitar a perda de biodiversidade. Na escala da Amazônia, no entanto, o valor marginal de cada hectare adicional de perda de floresta é insuficiente para alterar o processo, pelo menos até que se chegue aos últimos hectares de floresta restante. Outras razões para manter a biodiversidade, tais como valores de existência e de opção, desempenham um papel significativo nas discussões sobre a Amazônia (por exemplo, Pearce & Myers, 1990). Talvez a coisa mais importante que se percebe nos debates sobre se são economicamente justificados investimentos na manutenção da biodiversidade amazônica é que não precisamos convencer ninguém de que a biodiversidade tem valor. Pode-se economizar muito tempo simplesmente evitando estas discussões. Do ponto-de-vista da biodiversidade ter um valor como serviço ambiental baseado na disponibilidade vontade para pagar (WTP), é suficiente

perceber que existe no mundo um número significativo de pessoas que acreditam que a manutenção da biodiversidade é importante, e que isto se traduz em um fluxo financeiro potencialmente significativo (Fearnside, 1999b).

A manutenção da biodiversidade representa um serviço ambiental para o qual espera-se que aumente a disponibilidade para pagar (WTP). No entanto, a Convenção sobre Diversidade Biológica (CBD, 1992) está mais atrasada do que a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (UN-FCCC, 1992) em termos de desenvolvimento de mecanismos que poderiam criar fluxos monetários significativos para manter florestas tropicais.

Maximizar a biodiversidade mantida na paisagem requer o estabelecimento e defesa das áreas protegidas que contém amostras de cada tipo de vegetação (Fearnside & Ferraz, 1995; Ferreira, 2001). A maior oportunidade para manter áreas significativas de floresta se encontra na negociação com os povos indígenas cujas áreas representam uma parte grande da floresta restante em muitas áreas, e de quem as qualificações como guardiães da floresta são muito melhores do que no caso de outros atores na região.

#### B.) CICLAGEM D'ÁGUA

A floresta amazônica tem um papel fundamental na ciclagem d'água na região, a metade da chuva sendo atribuída à água reciclada através das árvores. A transformação de áreas grandes de floresta tropical para pastagens poderia ter efeitos importantes em ciclagem de água e precipitação na região. Considerando que a evapotranspiração é proporcional à área foliar, a quantidade de água reciclada pela floresta é muito maior que a quantidade reciclada pela pastagem, especialmente na estação seca quando a pastagem fica seca enquanto a floresta permanece verde. Isto é agravado pelo maior escoamento sob pastagem. Aumentos no escoamento superficial de uma ordem de grandeza têm sido medidos em séries de quadras pequenas perto de Manaus (Amazonas), Altamira (Pará), Ouro Preto do Oeste (Rondônia) e Apiaú (Roraima) (Barbosa & Fearnside, 2000; Fearnside, 1989b). Solo sob pastagens é altamente compactado, inibindo assim a infiltração de água da

chuva. A chuva que cai em solo compactado escoar rapidamente pela superfície, ficando assim indisponível para liberação posterior para a atmosfera pela transpiração. Pastagens e capoeiras (florestas secundárias) têm sistemas radiculares mais rasos do que os de floresta primária, impedindo a retirada de água durante estiagens (Cochrane *et al.*, 1999; Nepstad *et al.*, 1994, 1999b).

Se a extensão do desmatamento se expandir para áreas substancialmente maiores, a evapotranspiração reduzida conduziria à chuva reduzida durante períodos secos na Amazônia. Diminuições na Amazônia seriam aproximadamente constantes em termos absolutos ao longo do ano, mas em termos percentuais eles aumentariam substancialmente durante a estação seca (Lean *et al.*, 1996). Embora o total de chuva anual diminuísse em apenas 7% pela conversão da floresta em pastagem, no mês de agosto a chuva média diminuiria de 2,2 mm/dia com floresta para 1,5 mm/dia com pastagem, o que implica em uma diminuição de 32% (Lean *et al.*, 1996: 560-561).

Com conversão de floresta amazônica em pastagens, a chuva também seria reduzida nas regiões Centro-Oeste, Centro-Sul e Sul do Brasil (Eagleson, 1986; Salati & Vose, 1984). Estudos recentes indicam que 20-30% da água é reciclada dentro da bacia amazônica (Pedro Silva Dias, declaração pública, 2002), porcentagem menor que a tradicionalmente aceita de 50% (e.g., Eltahir & Brás, 1994; Salati *et al.*, 1979). Embora poderia parecer uma boa notícia, indicando que o impacto hidrológico do desmatamento seria menor do que se pensava, na realidade é o oposto. O fato que aproximadamente 50% da chuva que cai na Bacia sai pelo rio Amazonas implica que os outros 50% seriam reciclados, presumindo que o vapor d'água ficaria dentro da Bacia. Na realidade, um pouco do vapor d'água escapa para o Pacífico, passando por cima do Andes, especialmente no canto noroeste da Bacia na Colômbia. Mais importante é o transporte de água para as regiões sul e sul-central do Brasil, para o Paraguai, Uruguai e Argentina, além de cruzar o oceano Atlântico, para a parte sul da África. Este transporte de água para outras bacias, especialmente a bacia do rio de la Plata, dá ao desmatamento amazônico um impacto que tem sido pouco apreciado ao nível de política.

Os principais centros populacionais do Brasil, tais como Rio de Janeiro e São Paulo, estavam sujeitos a blecautes repetidos em 2001, seguido por racionamento de eletricidade como resultado dos baixos níveis de água nos reservatórios hidrelétricos na porção não-amazônica do País. O papel do vapor d'água amazônico no suprimento de chuva para esta região deveria ressaltar a importância da conservação da floresta amazônica. Água é fornecida ao centro-sul brasileiro chega via correntes de ar (jatos de baixo altitude) vindo da Bolívia e da parte ocidental da Amazônia brasileira (Rondônia ocidental, Acre e Amazonas ocidental). A conservação de florestas nestas áreas implica em uma maior provisão de vapor de água para a região Centro-Sul.

O suprimento de vapor d'água para o centro-sul tem magnitudes diferentes e importância diferenciada dependendo da estação do ano. Durante o período de transição da época seca para chuvosa (setembro-outubro) na parte sudoeste da Amazônia, o suprimento de vapor d'água é particularmente importante para evitar um prolongamento da estação seca no Estado de São Paulo. Isto é crítico para a agricultura nas regiões agrícolas mais produtivas do Brasil. Por outro lado, a capacidade de geração hidrelétrica é particularmente dependente da chuva no verão austral (dezembro) que corresponde à estação chuvosa na parte sudoeste da Amazônia quando a diferença entre o comportamento hidrológico de áreas florestadas e desmatadas é menor. Aproximadamente 70% da chuva no Estado de São Paulo durante este período vem de vapor d'água amazônico, de acordo com estimativas preliminares por Pedro Silva Dias, da Universidade de São Paulo (declaração pública, 2002).

Além da manutenção da precipitação na bacia amazônica e o transporte de água por longas distâncias, o desmatamento produz também efeitos em media escala. Observações recentes de um pequeno aumento (aproximadamente 5%) na precipitação na área pesadamente desflorestada de Ji-Paraná, Rondônia, junto com observações de satélite que mostram a formação de nuvens preferencialmente em cima de desmatamentos de apenas 5 km em diâmetro, confirmam os resultados teóricos preliminares sobre os efeitos de media escala do desmatamento (Ronnie Avissar, declaração pública,

2002). O efeito do desmatamento em aumentar a precipitação local através da provocação de subidas convectivas de ar que servem de gatilho para a formação de nuvens poderia levar a acreditar que o desmatamento não é tão ruim. A melhoria temporária é enganosa, pois quando o desmatamento avança, é provável que seja seguido por um declínio rápido na chuva, à medida que o desmatamento passa de um limiar. Além disso, o aumento na chuva em cima de uma área desmatada significa que a chuva foi, efetivamente, "roubada" de outro lugar. Isto inclui tanto os destinos distantes de transporte de vapor d'água como a bordas da floresta próximas do desmatamento. Bordas de floresta sofreriam porque as celas de convecção que se formam em cima de desmatamentos não só levam ar úmido para cima para provocar chuva, mas também criam uma corrente de ar de cima para baixo sobre a floresta vizinha, trazendo ar seco para baixo que inibirá a chuva e secará a floresta perto da borda da área desmatada (talvez em uma faixa de 20 km de largura, presumindo que os ventos prevaletentes não estão soprando). Esta dissecação das bordas leva a uma retroalimentação adicional que reforça a degradação das margens da floresta por fogo e estresse hídrico.

A importância da chuva para a agricultura implica em um valor monetário substancial para o país em manter um nível de precipitação adequada e estável nas principais zonas agrícolas brasileiras na região Centro-Sul. A "crise" energética nas partes não amazônicas do Brasil em 2001 tem aumentado o entendimento público da importância da chuva, já que grande parte da geração de energia elétrica é por hidrelétricas. Infelizmente, pouco entendimento tem resultado desta "crise" sobre a importância da manutenção da floresta amazônica para manter a capacidade geradora do País no futuro.

A manutenção da ciclagem de água é fortemente no interesse nacional brasileiro, mas, diferente de manter a biodiversidade e evitar o efeito estufa, não impacta diretamente os países da Europa, América do Norte e Ásia. Portanto, não tem o mesmo potencial para gerar fluxos monetários internacionais. No entanto, pela lógica, a importância da água amazônica para o Brasil deveria, no mínimo, contribuir para motivar o governo a aceitar fluxos monetários internacionais para manter

floresta amazônica com base nos outros serviços ambientais, sobretudo, os ligados ao efeito estufa.

### C.) ESTOQUES DE CARBONO

O desmatamento tropical mundial libera quase 30% da emissão antropogênica líquida total de gases do efeito estufa. Embora nenhum plano para controlar o efeito estufa possa ter êxito sem alcançar uma redução dos outros 70% das emissões globais, especialmente as da queima dos combustíveis fósseis, também é verdade que a contribuição do desmatamento tropical é significativa e não deveria ser omitida dos planos de mitigação.

O uso da terra e mudança do uso da terra na Amazônia brasileira no período 1981-1990 contribuiu com 6,6% da emissão total mundial comprometida líquida de gases causadores do efeito estufa, incluindo combustíveis fósseis e mudanças do uso da terra. As emissões comprometidas líquidas em 1990 eram equivalentes a  $267-278 \times 10^6$  t de carbono equivalente a carbono de CO<sub>2</sub> (Fearnside, 2000a). Gases são liberados pelo desmatamento através da queima e decomposição da biomassa, pelos solos, pela exploração madeireira, pelas hidrelétricas, pelo gado e pelas queimadas recorrentes de pastagens e de capoeiras. Incêndios florestais também emitem gases, mas não estão incluídos nos cálculos. A perda de um possível sumidouro de carbono no crescimento da floresta em pé também não está incluído.

"Emissões líquidas comprometidas" representam o saldo líquido, ao longo de um período longo, das emissões e absorções de gases por sumidouros, principalmente a absorção de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) pelo crescimento da vegetação (Fearnside, 1997c). Os gases-traço, tais como metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), não entram na fotossíntese. Portanto, quando estes gases são liberados pelas queimadas eles se acumulam na atmosfera mesmo quando a biomassa se recupera totalmente (por exemplo, no caso do capim).

A negociação sobre regulamentação do Protocolo de Kyoto (UN-FCCC, 1997) tem levado a algumas reviravoltas das posições de diferentes países e organizações não governamentais (ONGs). Os países europeus e as ONGs

internacionais sediadas na Europa têm se posicionados contra a inclusão de desmatamento evitado no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), que é definido no Artigo 12 do Protocolo de Kyoto, enquanto os EUA e ONGs sediadas nos EUA tem apoiado a inclusão. Isto se deve ao fato que o preço dos combustíveis fósseis na Europa é o dobro do preço nos EUA (ver: Sheehan, 2001: 48), e tanto os governos como os integrantes das ONGs avançariam em outras agendas (não relacionadas ao clima) se fosse possível obrigar os EUA a aumentar em muito o preço dos combustíveis (Fearnside, 2001c). No caso do Brasil, o Ministério das Relações Exteriores se opõe à inclusão do desmatamento evitado devido a preocupações geopolíticas (Council on Foreign Relations, 2001; Fearnside, 2000b), enquanto a maioria das ONGs apoiam a inclusão ("Manifestação...", 2000).

O acordo alcançado na segunda rodada da Sexta Conferência das Partes (COP-6-bis), da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (UN-FCCC), realizada em Bonn, Alemanha em julho de 2001, exclui o desmatamento evitado do MDL no primeiro período de compromisso (2008-2012). Mesmo assim, chegar a um acordo que viabilize a ratificação do Protocolo representa um grande avanço, e já modifica o quadro para investimentos em manutenção de floresta na Amazônia, mesmo sem ter crédito pelo MDL antes de 2013. A oposição dos países e ONGs europeus à inclusão do desmatamento evitado depende de circunstâncias que se aplicam apenas ao primeiro período de compromisso. Isto se deve ao fato que as "quantidades atribuídas" (cotas nacionais de emissão de carbono) foram fixas em Kyoto 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 EUA a aumentar o preço dos combustíveis fósseis se fosse fechada a porta para comprar grandes quantidades de créditos gerados em outros países (Fearnside, 2001c). Já no segundo período de compromisso as quantidades atribuídas serão renegociadas para cada país e, portanto, a inclusão do desmatamento evitado levaria os países a aceitarem cotas maiores do que seria o caso sem a inclusão de florestas no MDL.

O acordo em Bonn quebrou a paralização em relação ao futuro do Protocolo, e aumentou o atrativo de

investimentos ao longo prazo visando benefícios de carbono. Por exemplo, planos de manejo florestal, que obrigatoriamente tem pelo menos 30 anos de duração no Brasil, provavelmente levariam em conta possíveis benefícios de carbono ao final do ciclo.

O futuro uso do desmatamento evitado no MDL depende de negociações sobre vários pontos críticos. Estes incluem como seriam definidas as linhas de base ("baselines"), com 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). Importante entre estas considerações são exigências relativas à certeza (Fearnside, 2000c), 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 negar a mitigação esperada (Fearnside, 1999c).

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 Kyoto. 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, 1999d). Diferente do Artigo 12, a elegibilidade de florestas para estes créditos não requer negociação adicional.

#### IV.) CONCLUSÕES

Populações humanas na Amazônia formam uma parte dos ecossistemas nos quais elas vivem. A crescente escala e intensidade das atividades humanas tem impactos significativos sobre outras partes destes ecossistemas, com efeitos locais, nacionais e globais. Impactos incluem a perda da capacidade produtiva dos ecossistemas e a perda de manutenção da biodiversidade, ciclagem d'água e armazenamento de carbono na Amazônia.

Mudanças ambientais atuais e esperadas afetam os seres humanos negativamente na Amazônia e em outros locais.

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, se usaria a manutenção da floresta como gerador de fluxos monetários baseado nos serviços ambientais da floresta, ou seja, o valor de evitar os impactos que se seguem da destruição da floresta.

#### V.) AGRADECIMENTOS

Trabalho apresentado no IX Simpósio brasileiro de geografia física Aplicada sobre "Construindo a Geografia para o Século XXI", 14-18 de novembro de 2001, Recife. Agradeço ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA (PPI 1-3160) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq (AI 350230/97-8; AI 465819/00-1; EU 470765/2001-1) pelo apoio financeiro. Agradeço a R.A. Rocha, M.S. Moura e R.B. Matos pela revisão do português. Todas as opiniões expressadas são do autor.

#### VI.) LITERATURA CITADA

Alencar, A.A. 2000. Forest degradation by logging and fire. Thematic Workshop presentation at the LBA First Scientific Conference. 28 June 2000, Belém, Pará.

*Amazonas em Tempo* [Manaus]. 15 de setembro de 1999. 'Amazonino quer discutir zoneamento da Amazônia'. p. B-7.

Angelo, H. 1998. As Exportações Brasileiras de Madeiras Tropicais. Tese de Ph.D. em ciências florestais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná. 129 p.

Barbosa, R.I. & P.M. Fearnside. 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.

Barbosa, R.I. & P.M. Fearnside. 2000. Erosão do solo na Amazônia: Estudo de caso na região do Apiaú, Roraima, Brasil. *Acta Amazonica* 30(4): 601-613.

Barthem, R.B. 1992. Desenvolvimento da pesca comercial na bacia amazônica e conseqüências para os estoques pesqueiros e a pesca de subsistência. p. 489-522 In: L.E. Aragón (ed.) *Desenvolvimento Sustentável nos Trópicos Úmidos*. (Série Cooperação Amazônica, Vol. 13) Associação de Universidades Amazônicas (UNAMAZ)/Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém, Pará. 634 p.

Brasil, ELETROBRÁS (Centrais Elétricas do Brasil). 1987. *Plano 2010: Relatório Geral. Plano Nacional de Energia Elétrica 1987/2010 (Dezembro de 1987)*. ELETROBRÁS, Brasília, DF. 269 p.

Brasil, INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). 2000. Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite/Monitoring of the Brazilian Amazon Forest by Satellite: 1998-1999. INPE, São José dos Campos, SP. (<http://www.inpe.br>).

Brasil, INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). 2002. Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite/Monitoring of the Brazilian Amazon Forest by Satellite: 2000-2001. INPE: São José dos Campos, SP. [disponível em: <http://www.inpe.br> ]

Brasil, MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia). 2001. Emissões de gases do efeito estufa derivados de reservatórios hidrelétricos. ([http://www.mct.gov.br/clima/comunic\\_old/methid.htm](http://www.mct.gov.br/clima/comunic_old/methid.htm)).

Brasil, MMA (Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal). 1996. *Ecossistemas Brasileiros e os principais macrovetores de desenvolvimento: Subsídios ao planejamento e da gestão Ambiental*. MMA, Secretaria de Coordenação dos Assuntos do Meio Ambiente (SCAMA), Programa Nacional do Meio Ambiente (PNMA), Brasília, DF. 188 p.

Brasil, Ministério dos Transportes. 1999. Hidrovia Tocantins-Araguaia. (<http://www.transportes.gov.br/STA/DHI/tocara.htm>).

Carter, Y. & M. Hulme. 2000. Interim characterizations of regional climate and related changes up to 2100 associated with the provisional SRES marker emissions scenarios. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Secretariat, World Meteorological Organization, Geneva, Suíça.

CBD (Convention on Biological Diversity). 1992. International convention on biological diversity. (<http://www.biodiv.org/>)

Cochrane, M.A., A.A. Alencar, M.D. Schulze, C.M. Souza, D.C. Nepstad, P. Lefebvre, & E.A. Davidson. 1999. Positive feedbacks in the fire dynamic of closed canopy tropical forests. *Science* 284: 1.832-1.835.

Cochrane, M.A. & M.D. Schulze. 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.

Cotton, C. & T. Romine. 1999. Facing destruction: A Greenpeace briefing on the timber industry in the Brazilian Amazon. Greenpeace International, Amsterdam, Países Baixos. 21 p.

Council on Foreign Relations Independent Task Force. 2001. A letter to the President and a memorandum on U.S. policy toward Brazil. Council on Foreign Relations, New York, E.U.A. 13 p. (disponível em: <http://www.cfr.org>).

Cox, P.M., R.A. Betts, C.D. Jones, S.A. Spall & I.J. Totterdell. 2000. Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature* 408: 184-187.

Dinerstein, E., D.M. Olson, D.J. Graham, A.L. Webster, S.A. Primm, M.P. Bookbinder & G. Ledec. 1995. *A Conservation Assessment of the Terrestrial Ecoregions of Latin America and the Caribbean*. The World Bank, Washington, DC, E.U.A. 129 p.

- Eagleson, P.S. 1986. The emergence of global-scale hydrology. *Water Resources Research* 22(9): 6s-14s.
- Eltahir, E.A.B. & R.L. Brás. 1994. Precipitation recycling in the Amazon Basin. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 120: 861-880.
- Eve, E., F.A. Arguelles & P.M. Fearnside. 2000. How well does Brazil's environmental law work in practice? Environmental impact assessment and the case of the Itapiranga private sustainable logging plan. *Environmental Management* 26(3): 251-267.
- Fearnside, P.M. 1989a. Brazil's Balbina Dam: Environment versus the legacy of the pharaohs in Amazonia. *Environmental Management* 13(4): 401-423.
- Fearnside, P.M. 1989b. *Ocupação Humana de Rondônia: Impactos, Limites e Planejamento*. Relatórios de Pesquisa No. 5, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Brasília, DF. 76 p.
- Fearnside, P.M. 1993. Desmatamento na Amazônia: Quem tem razão-- o INPE ou a NASA? *Ciência Hoje* 16(96): 6-8.
- Fearnside, P.M. 1995a. Global warming response options in Brazil's forest sector: Comparison of project-level costs and benefits. *Biomass and Bioenergy* 8(5): 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. 1995c. Potential impacts of climatic change on natural forests and forestry in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management* 78: 51-70.
- Fearnside, P.M. 1996. Amazonian deforestation and global warming: Carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest. *Forest Ecology and Management* 80(1-3): 21-34.
- 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. Protection of mahogany: A catalytic species in the destruction of rain forests in the American tropics. *Environmental Conservation* 24(4): 303-306.

Fearnside, P.M. 1997c. Greenhouse gases from deforestation in Brazilian Amazonia: Net committed emissions. *Climatic Change* 35(3): 321-360.

Fearnside, P.M. 1998. Plantation forestry in Brazil: Projections to 2050. *Biomass and Bioenergy* 15(6): 437-450.

Fearnside, P.M. 1999a. Social Impacts of Brazil's Tucuruí Dam. *Environmental Management* 24(4): 485-495.

Fearnside, P.M. 1999b. Biodiversity as an environmental service in Brazil's Amazonian forests: Risks, value and conservation. *Environmental Conservation* 26(4): 305-321.

Fearnside, P.M. 1999c. 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(3): 171-189.

Fearnside, P.M. 1999d. 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. 438 p.

Fearnside, P.M. 2000b. O Potencial do Setor Florestal Brasileiro para a Mitigação do Efeito Estufa sob o "Mecanismo de Desenvolvimento Limpo" do Protocolo de Kyoto. p. 59-74 In: A.G. Moreira & S. Schwartzman (eds.) *As Mudanças Climáticas Globais e os Ecossistemas Brasileiros*. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM), Brasília, DF. 165 p.

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. 2001a. Environmental impacts of Brazil's Tucuruí Dam: Unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia. *Environmental Management* 27(3): 377-396.
- Fearnside, P.M. 2001b. Soybean cultivation as a threat to the environment in Brazil. *Environmental Conservation* 28(1): 23-38.
- Fearnside, P.M. 2001c. Saving tropical forests as a global warming countermeasure: An issue that divides the environmental movement. *Ecological Economics* 39(2): 167b-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* 133(1-4): 69-96.
- Fearnside, P.M. & J. Ferraz. 1995. A conservation gap analysis of Brazil's Amazonian vegetation. *Conservation Biology* 9(5): 1134-1147.
- Fearnside, P.M., D.A. Lashof & P. Moura-Costa. 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.
- Ferreira, L.V. 2001. A representação das Unidades de Conservação no Brasil e a Identificação de Áreas Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade nas Ecorregiões do Bioma Amazônia. Tese de Ph.D. em ecologia, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia & Universidade do Amazonas, Manaus, Amazonas. 203 p.
- Gazeta Mercantil* [Brasília]. 2001. "Energia: MP fixa prazos para licenças ambientais." 15 de maio de 2001. (<http://www.gazetamercantil.com.br>).
- Giorgi, F. & 58 outros. 2001. Regional climate simulation-Evolution and projections. Capítulo 10 In: Houghton, J.T., Y. Ding, D.G. Griggs, M. Noguer, R.J. Van der Linden & D. Xiausu (eds.) 2001. *Climate Change*

2001: *The Scientific Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 944 p.

Gonçalves, S.L.F. 1998. Análise da indústria do segmento laminados e compensados no Estado do Amazonas, 1996. Dissertação de mestrado em ciências florestais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná. 107 p.

Hardner, J.J., P.C. Frumhoff & D.C. Goetz. 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.

Higuchi, N. 1997. Exploração seletiva de madeira na Amazônia brasileira: Sua relação com o desmatamento e o mercado internacional de madeira dura tropical. P. 13-30 In: N. Higuchi, J.B.S. Ferraz, L. Anthony, F. Luizão, R. Luizão, Y. Biot, I. Hunter, J. Proctor & S. Ross (eds.) *Bionte: Biomassa e Nutrientes Florestais*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia (INPA), Manaus, Amazonas. 345 p.

Johns, A.G. 1997. *Timber Production and Biodiversity Conservation in Tropical Rain Forests*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 225 p.

Junk W.J. & J.A.S. de Mello. 1987. Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira. p. 367-385 In: G. Kohlhepp & A. Schrader (eds.) *Homem e Natureza na Amazônia*. Tübinger Geographische Studien 95 (Tübinger Beiträge zur Geographischen Lateinamerika-Forschung 3). Geographisches Institut, Universität Tübingen, Tübingen, Alemanha. 507 p.

Kehring, H.A., O. Malm, H. Akagi, J.R.D. Guimarães & J.P.M. Torres. 1998. Methylmercury in fish and hair samples from the Balbina Reservoir, Brazilian Amazon. *Environmental Research* 77: 84-90.

Kimmerling, J. 2000. Oil development in Ecuador and Peru: Law, politics and the environment. p. 73-96. In: A. Hall (ed.) *Amazonia at the Crossroads: The Challenge of Sustainable Development*. Institute of Latin American

Studies (ILAS), University of London, London, Reino Unido. 257 p.

Krug, T. 2000. Forest degradation by logging and fire. Thematic Workshop presentation at the LBA First Scientific Conference. 28 de junho de 2000, Belém, Pará.

Krug, T. 2001. O quadro do desflorestamento da Amazônia. pp: 91-98 In: V. Fleischresser (ed.) *Causas e Dinâmica do Desmatamento na Amazônia*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF. 436 p.

Laurance, W.F. & R.O. Bierregaard, Jr. (eds.) 1997. *Tropical Forest Remnants: Ecology, Management and Conservation of Fragmented Communities*. University of Chicago Press, Chicago, E.U.A. 616 p.

Lean, J., C.B. Bunton, C.A. Nobre & P.R. Rowntree. 1996. The simulated impact of Amazonian deforestation on climate using measured ABRACOS vegetation characteristics. p. 549-576 In: J.H.C. Gash, C.A. Nobre, J.M. Roberts & R.L. Victoria (eds.) *Amazonian Deforestation and Climate*. Wiley, Chichester, Reino Unido. 611 p.

Leino, T. & M. Lodenius. 1995. Human hair mercury levels in Tucuruí area, state of Pará, Brazil. *The Science of the Total Environment* 175: 119-125.

"Manifestação da sociedade civil brasileira sobre as relações entre florestas e mudanças climáticas e as expectativas para a COP-6, Belém, 24 de outubro de 2000." 2000. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM), Belém, Pará. 2 p. (disponível em: <http://www.ipam.org.br/polamb/manbelem.htm>).

Mata, L.J. & 26 outros. 2001. Latin America. p. 693-734 In: J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken & K.S. White (eds.) *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 1032 p.

Mattos, M.M. & C. Uhl. 1994. Economic and ecological perspectives on ranching in the Eastern Amazon. *World Development* 22: 145-58.

- McGrath, D.G. 2000. Avoiding a tragedy of the commons: Recent developments in the management of Amazonian fisheries. p. 171-187 In: A. Hall (ed.) *Amazonia at the Crossroads: The Challenge of Sustainable Development*. Institute of Latin American Studies (ILAS), University of London, London, Reino Unido. 257 p.
- Mitchell, J.F.B., R.A. Davis, W.J. Ingram & C.A. Senior. 1995. On surface temperature, greenhouse gases and aerosols: Models and observations. *Journal of Climate* 10: 2.364-2.386.
- Myers, N. 1992. *The Primary Source: Tropical Forests and our Future*, 2nd ed., W.W. Norton, New York, NY, E.U.A. 416 p.
- Myers, N., R.A. Mittermeier, C.G. Mittermeier, G.A.B. da Fonseca & J. Kent. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.
- Nelson, B.W. 2001. Fogo em florestas da Amazônia Central. In: *Anais, X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Foz do Iguaçu, Brazil 21-26 April*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, São Paulo. (CD-ROM).
- Nepstad, D.C., J.P. Capobianco, A.C. Barros, G. Carvalho, P. Moutinho, U. Lopes & P. Lefebvre. 2000. Avança Brasil: Os Custos Ambientais para Amazônia. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM), Belém, Pará. 24 p. (disponível em: <http://www.ipam.org.br/avanca/politicas.htm>).
- Nepstad, D.C., G. Carvalho, A.C. Barros, A.A. Alencar, J.P. Capobianco, J. Bishop, P. Moutinho, P. Lefebvre & U.L. Silva, Jr. & E. Prins 2001. Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon forests. *Forest Ecology and Management* 154(3): 395-407.
- Nepstad, D.C., C.R. Carvalho, E.A. Davidson, P.H. Jipp, P.A. Lefebvre, G.H. Negreiros, E.D. Silva, T.A. Stone, S.E. Trumbore & S. Vieira. 1994. The role of deep roots in the hydrological cycles of Amazonian forests and pastures. *Nature* 372: 666-669.

Nepstad, D.C., A.G. Moreira & A.A. Alencar. 1999b. A Floresta em Chamas: Origens, Impactos e Prevenção de Fogo na Amazônia. Banco Mundial, Brasília, DF. 172 p.

Nepstad, D.C., A. Veríssimo, A.A. Alencar, C.A. Nobre, E. Lima, P. Lefebvre, P. Schlesinger, C. Potter, P. Moutinho, E. Mendoza, M. Cochrane & V. Brooks. 1999a. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. *Nature* 398: 505-508.

Nijssen, B., G.M. O'Donnell, A.F. Hamlet & D.P. Lettenmaier. 2001. Hydrologic sensitivity of global rivers to climate change. *Climatic Change* 59(1-2): 143-175.

Niles, J.O. 2000. Additional benefits of reducing carbon emissions from tropical deforestation. Morrison Institute for Population and Resource Studies Working Paper No. 84, Stanford University, Stanford, California, E.U.A. 26 p.

Nobre, C.A. 2001. Amazônia: Fonte ou sumidouro de carbono? p. 197-224 In: : V. Fleischesser (ed.) *Causas e Dinâmica do Desmatamento na Amazônia*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF. 436 p.

Pearce, D. & N. Myers. 1990. Economic values and the environment of Amazonia. p. 383-404 In: D. Goodman & A. Hall (eds.) *The Future of Amazonia: Destruction or Sustainable Development?* Macmillan, London, Reino Unido 419 p.

Pfeiffer, W.C. & L.D. de Lacerda. 1988. Mercury inputs into the Amazon Region, Brazil. *Environmental Technology Letters* 9: 325-330.

Pfeiffer, W.C., L.D. de Lacerda, O. Malm, C.M.M. Souza, E.G. Silveira & W.R. Bastos. 1989. Mercury concentrations in inland waters of goldmining areas in Rondônia, Brazil. *Science of the Total Environment* 87/88: 233-240.

Pfeiffer, W.C., L.D. de Lacerda, W. Solomons & O. Malm. 1993. Environmental fate of mercury from gold mining in the Brazilian Amazon. *Environmental Review* 1: 26-37.

- Pfeiffer, W.C., O. Malm, C.M.M. Souza, L.D. de Lacerda, E.G. Silveira & W.R. Bastos. 1991. Mercury in the Madeira River Ecosystem, Rondônia, Brazil. *Forest Ecology and Management* 38: 239-245.
- Porvari, P. 1995. Mercury levels of fish in Tucuruí hydroelectric reservoir and river Mojú in Amazonian, in the state of Pará, Brazil. *The Science of the Total Environment* 175: 109-117.
- Robbins, C.F. 2000. *Mahogany Matters: The U.S. Market for Big-leafed Mahogany and its Implications for the Conservation of the Species*. TRAFFIC-North America, Washington, DC, E.U.A. 58 p. (disponível em: <http://www.worldwildlife.org/forests/attachments/mahogany.pdf>)
- Robinson, J.G., K.H. Redford & E.L. Bennett. 1999. Wildlife harvest in logged tropical forests. *Science* 284: 595-596.
- Roulet, M. & M. Lucotte. 1995. Geochemistry of mercury in pristine and flooded ferralitic soils of a tropical rain forest in French Guiana, South America. *Water, Air, and Soil Pollution* 80: 1.079-1.088.
- Salati, E., A. Dall'Olio, E. Matusi & J.R. Gat. 1979. Recycling of water in the Brazilian Amazon Basin: An isotopic study. *Water Resources Research* 15: 1.250-1.258.
- Salati, E. & P.B. Vose. 1984. Amazon Basin: A system in equilibrium. *Science* 225: 129-138.
- Schimel, D. & 75 outros. 1996. Radiative forcing of climate change. p. 65-131 In: J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg & K. Maskell (eds.) *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 572 p.
- Sheehan, M.O'M. 2001. City limits: Putting the brakes on urban sprawl. Worldwatch Paper 156, Worldwatch Institute, Washington, DC, E.U.A. 85 p.

Silva-Forsberg, M.C., B.R. Forsberg & V.K. Zeidemann. 1999. Mercury contamination in humans linked to river chemistry in the Amazon Basin. *Ambio* 28(6): 519-521.

Skole, D. 2000. Forest degradation by logging and fire. Thematic Workshop presentation at the LBA First Scientific Conference. 28 de junho de 2000, Belém, Pará.

Smeraldi, R. & A. Veríssimo. 1999. *Acertando o Alvo: Consumo de Madeira no Mercado Interno Brasileiro e Promoção da Certificação Florestal*. Amigos da Terra-Programa Amazônia, São Paulo, Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola (IMAFLOA), Piracicaba & Instituto para o Homem e o Meio Ambiente na Amazônia (IMAZON), Belém, Pará. 41 p.

Uhl, C. & R. Buschbacher. 1985. A Disturbing Synergism Between Cattle-Ranch Burning Practices and Selective Tree Harvesting in the Eastern Amazon. *Biotropica* 17(4): 265-268.

UN-FCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). 1992. United Nations Framework Convention on Climate Change. (disponível em inglês em: <http://www.unfccc.de> e em português em: <http://www.mct.gov.br>).

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>).

Watson, C.E., J. Fishman, G.L. Gregory & G.W. Sachse. 1991. A comparison of wet and dry season ozone and CO over Brazil using in situ and satellite measurements. p. 115-121. In: J.S. Levine (ed.) *Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications*. MIT Press, Boston, Massachusetts, E.U.A. 640 p.

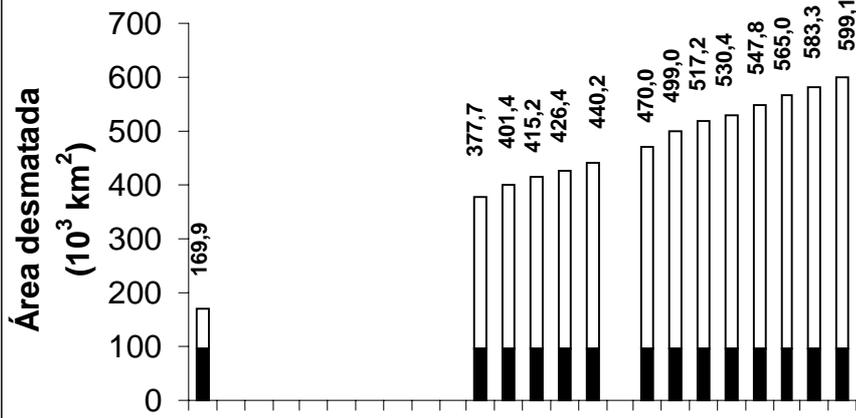
Watson, R.T., I.R. Noble, B. Bolin, N.H. Ravindranath, D.J. Verardo & D.J. Dokken (eds.) 2000. *IPCC Special Report on Land Use, Land-Use Change, and Forestry*.

Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.  
377 p.

## LEGENDA DE FIGURA

Figura 1 - **A.)** Área acumulada de desmatamento na Amazônia Legal brasileira, a partir de imagens LANDSAT interpretadas pelo INPE (Brasil, INPE, 2002). Área para 1978 é ajustada (Fearnside, 1993). A parte cheia das barras representa desmatamento "antigo" (pré-1970). **B.)** Taxa anual de desmatamento. Barras para anos sem imagens interpretadas (1979-1987; 1993) representam médias ao longo desses intervalos. Valores para 2001 são preliminares.

### A. Desmatamento acumulado



### B. Taxa anual de desmatamento

