



## O futuro da Amazônia: modelos para prever as consequências da infraestrutura futura nos planos plurianuais

### The future of Amazonia: models to predict the consequences of future infrastructure in brazil's multi-annual plans

*Philip M. Fearnside* – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). E-mail: pmfearn@inpa.gov.br

*William F. Laurance* – Centre for Tropical Environmental and Sustainability Science (TESS) and School of Marine and Tropical Biology, James Cook University, Austrália. E-mail: bill.laurance@jcu.edu.au

*Mark A. Cochrane* – Geographic Information Science Center of Excellence (GIScCE), EUA. E-mail: Mark.Cochrane@sdsstate.edu

*Scott Bergen* – Center for Environmental Literacy, Mt. Holyoke College, EUA. E-mail: scott\_bergen@hotmail.com

*Patrícia Delamônica Sampaio* – Center for Latin American Studies, University of Florida, EUA. E-mail: patdelamonica@yahoo.com,

*Christopher Barber* – Geographic Information Science Center of Excellence (GIScCE), EUA. E-mail: christopher.barber@sdsstate.edu

*Sammya D'Angelo* – Projeto Dinâmica Biológica de Fragmentos Florestais (PDBFF), Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). E-mail: sammya.agra@gmail.com

*Tito Fernandes* – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). E-mail: titofern@gmail.com

---

#### Resumo

Desde 1996 o planejamento de investimentos do governo brasileiro tem sido organizado em planos quadrianuais: Brasil em Ação (1996-1999), Avança Brasil (2000-2003), PPA [Plano Plurianual] (2004-2007), PAC [Programa de Aceleração do Crescimento] (2008-2011), e PAC-2 (2012-2015). Cada plano tem incluído uma longa lista de rodovias, barragens e outros grandes projetos de infraestrutura na Amazônia. Vários desses projetos têm sido incluídos em uma série de planos, pois restrições econômicas não permitiram a realização das obras no ritmo inicialmente imaginado. Este é o caso de obras como a hidrelétrica de Belo Monte e as rodovias BR-163 (Santarém-Cuiabá) e BR-319 (Manaus-Porto Velho). Estes projetos adiados estão hoje sendo realizados ou próximos à realização. Uma série de modelos tem sido elaborada por diferentes grupos para prever as consequências futuras, caso essas obras sejam realizadas. Diferentes modelos captam diferentes aspectos da problemática, e vários deles indicam grandes aumentos de desmatamento e degradação, com graves implicações ambientais e sociais. Um dos modelos parte da premissa de que as estradas teriam efeitos nulos ou até benéficos sobre total de desmatamento, mas essa suposição contradiz o que é observado no mundo real.

#### Palavras-chave

Amazônia. Desmatamento. Impacto Ambiental. Rodovias

#### Abstract

Since 1996 the planning of the Brazilian Government's investment has been organized into four-year plans: Brazil in Action (1996-1999), Advance Brazil (2000-2003), PPA [Multi-Annual Plan] (2004-2007), PAC [Program for the Acceleration of Growth] (2008-2011), and PAC-2 (2012-2015). Each plan has included a long list of roads, dams and other large infrastructure projects in the Amazon. Several of these projects have been included in a number of plans because economic constraints have prevented the completion of the projects at the pace initially imagined. This is the case with projects such as the Belo Monte Hydroelectric Dam and the BR-163 (Cuiabá-Santarém) and BR-319 (Manaus-Porto Velho) Highways. These delayed projects are now either under construction or about to start. Models have been developed by different groups to predict the future consequences if projects such as these are undertaken. Different models capture different aspects of the problem, and many of them indicate large increases in deforestation and degradation with serious environmental and social implications. One of the models takes as a point of departure the assumption that roads would have negligible or even beneficial effects on total deforestation, but this contradicts what is observed in the real world.

#### Keywords

Amazonia. Deforestation. Environmental impact. Highways

## INTRODUÇÃO: PLANOS PLURIANUAIS

Os planos, hoje conhecidos como “planos plurianuais” (PPAs) representam programas volumosos de construção de infraestrutura e de outras atividades, muitos dos quais localizados nos 5.000.000 km<sup>2</sup> da Amazônia Legal. Os pacotes de projetos são organizados em “eixos de desenvolvimento” (CONSÓRCIO BRASILIANA, 2000), que são projetados para estimular a atividade econômica em geral, além das atividades financiadas diretamente sob os programas (Tabela 1). Grande parte das verbas para a infraestrutura e outras atividades vem do setor privado, em geral fontes estrangeiras.

Tabela 1: Alguns tipos de projetos de infraestrutura do Programa Avança Brasil na Amazônia Legal<sup>(a)</sup>

Tipo de projeto	Número	Comprimento ou tamanho	Custo (US\$ milhões)
Pavimentação de rodovias	30	7.560 km	2.794
Melhoramento de trechos rodoviários	3		46
Melhoramento de estradas agrícolas	6	1.023 km	290
Ferrovias	4	1.625 km	1.749
Gasodutos	2	920 km	450
Hidroviás	2	1.057 km	55
Eclusas em hidrelétricas	2		254
Represas hidrelétricas	10	20,4 MW	11.942
Linhas de transmissão	12	4.830 km	651

(a) Informações de Consórcio Brasileira (2000).

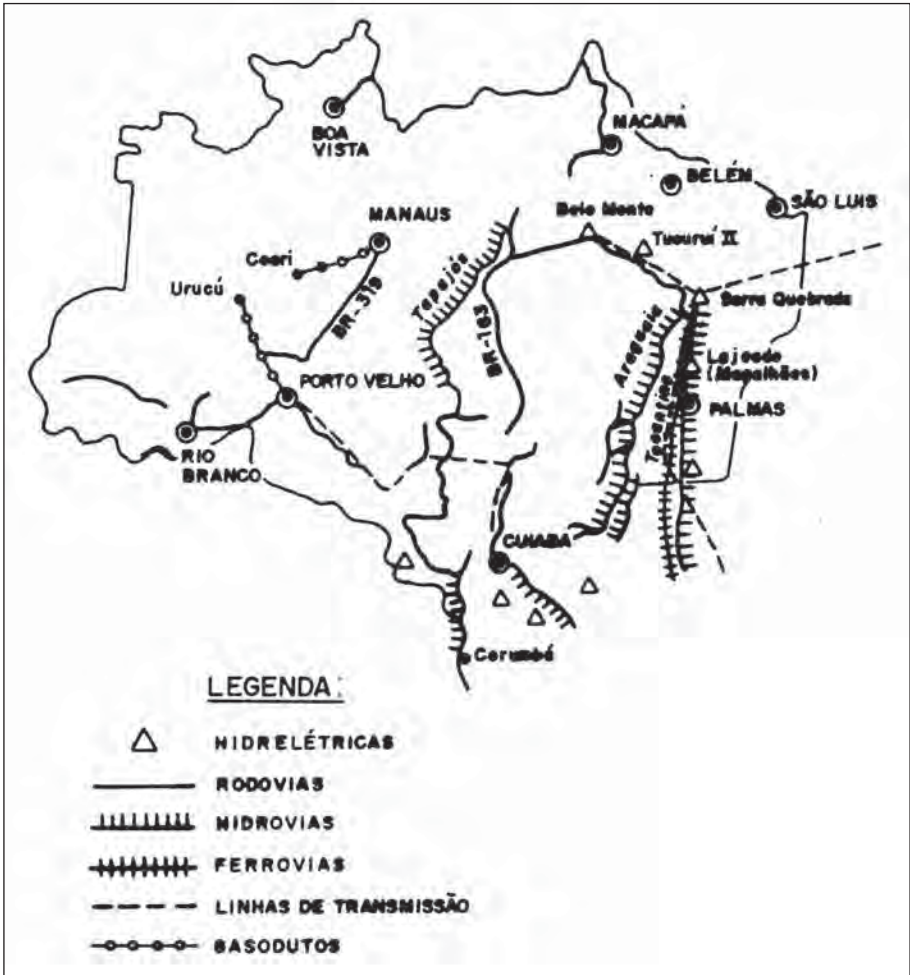
Os planos plurianuais (PPAs) estabelecerem procedimentos de planejamento que reorganizaram o orçamento federal em uma série de grandes projetos. Desde o início da série de planos, em 1996, foram exigidos dos proponentes dos projetos que ajustassem os seus pedidos em uma das áreas de atividades do programa global, e os fluxos financeiros e responsabilidade seguiriam a hierarquia de administração do plano plurianual, em lugar do sistema tradicional de governo municipal-estadual-federal. Durante o programa Brasil em Ação (1996-1999), um estudo de “eixos nacionais de integração e desenvolvimento” era comissionado (CONSÓRCIO BRASILIANA, 2000), formando a base para os PPAs do programa Avança Brasil em diante. Isto divide o país em uma série de “eixos”, que não correspondem a qualquer unidade geográfica existente, tais como os limites estaduais, as regiões do Brasil definidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) ou a Amazônia Legal (unidade territorial sobre

a qual a maioria do planejamento e dos programas de desenvolvimento tem sido baseada na Amazônia). A intenção do novo sistema é de aumentar a integração ao longo de corredores de transportes, como rios, rodovias e estradas de ferro. Também tem o efeito de quebrar as linhas tradicionais de autoridade sobre os projetos.

Os planos foram concebidos e redigidos pelo Ministério do Planejamento e por empresas de consultoria contratadas pelo Ministério. Uma vez prontos, os planos são levados a outros ministérios e ao público através de uma apresentação em cada capital estadual. Estas apresentações não foram estruturadas como audiências públicas para gerar listas de alterações obrigatórias nos planos, porém, dão ao Ministério uma oportunidade para acrescentar ou modificar informações com base nas contribuições da plateia. O mesmo se aplicava às apresentações dos planos para os outros ministérios. No caso do Ministério do Meio Ambiente, o Ministério do Planejamento prevaleceu em sua posição de que o atual sistema de licenciamento no país cobre adequadamente qualquer impacto ambiental dos projetos, sem qualquer estudo ou audiência adicional.

A gama diversa de projetos de infraestrutura sob os planos plurianuais implica numa quantidade extensiva de impactos. Particularmente importante é a facilitação de acesso a áreas não perturbadas, especialmente pavimentando as rodovias BR-163 (Cuiabá-Santarém) e BR-319 (Manaus-Porto Velho) (FEARNSIDE, 2007, FEARNSIDE; GRAÇA, 2009) (Figura 1). Gasodutos planejados no coração do bloco não perturbado de floresta na Amazônia ocidental poderiam conduzir a efeitos semelhantes (e.g. FINER et al., 2008). A construção de gasodutos normalmente envolve uma estrada de acesso, pelo menos durante a fase de construção. Isto pode levar à entrada de migrantes, apesar da quantidade de placas e advertências. Invasão é especialmente provável no caso do gasoduto Urucu-Porto Velho, que ligaria ao foco de migração em Rondônia. O impacto esperado do gasoduto Urucu-Porto Velho é mais grave que um projeto planejado de forma semelhante (e hoje quase completo), que unirá Coari à cidade de Manaus. Um exemplo dessa situação é o Parque Nacional de Yasuni, no Equador, que foi cortado por um oleoduto, terminado em 1994, e pouco depois invadido por posseiros, apesar de placas, barreiras e promessas governamentais de que nenhuma entrada seria permitida ao longo da estrada de acesso (e.g. JOCHNICK, 1995). Isto é semelhante ao padrão no Brasil, como, por exemplo, a invasão da Reserva em Bloco de Urupá, em Rondônia (FEARNSIDE, 2000). Hidrovias e represas hidrelétricas teriam impactos severos sobre ecossistemas aquáticos e sobre populações indígenas (Figura 2).

Figura 1: Principais projetos planejados na Amazônia.





2001a, 2005a). Grande parte dos “projetos-chaves” continua nos planos, mas estes ainda não foram realizados, como as rodovias BR-163 (Santarém-Cuiabá), BR-319 (Manaus-Porto Velho) e a hidrelétrica de Belo Monte. Este modelo organiza as informações disponíveis em um sistema de informações geográficas (SIG) para calcular, em uma forma espacialmente explícita, as implicações da implantação das obras, presumindo, para fins de ilustração, que todas as obras anunciadas tivessem sido imediatamente implantadas no ano 2000. Além dos projetos previstos no Avança Brasil (incluindo seu horizonte de planejamento até 2007), nossa análise também incluiu vários projetos de infraestrutura que eram planejados para proceder até o ano 2020, tais como barragens no rio Xingu, a montante de Belo Monte, a ferrovia Cuiabá-Santarém, a ferrovia Cuiabá-Porto Velho, a estrada Aripuanã-Apuí-Novo Aripuanã (AM-174) e a rodovia Perimetral Norte (BR-210). As camadas de dados incorporadas no SIG são apresentadas na Tabela 2. Estas incluem a vegetação, os vários tipos de reservas, as redes hidrográficas e rodoviárias e a susceptibilidade das florestas a incêndios, além das informações sobre a infraestrutura planejada.

Tabela 2: Camadas de dados usadas nas análises de tendências de uso da terra na Amazônia brasileira.

Camada	Fontes de dados
Cobertura florestal atual e rios	Cobertura de floresta/não floresta produzida pela Administração Nacional Oceanográfica e Atmosférica dos EUA baseado em imagens de AVHRR de 1999
Rodovias pavimentadas e estradas não pavimentadas existentes	Mapa da Amazônia Legal brasileira de 1995 (escala 1:3.000.000) produzido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); atualizado a partir do mapa de áreas protegidas na Amazônia em 1999 (escala 1:4.000.000) do Instituto Socioambiental, São Paulo, imagens de radar JERS-1 para 1999, e conhecimento pessoal
Construção e melhoria de rodovias pavimentadas e de estradas não pavimentadas	Mapas e informações de Avança Brasil <sup>(a)</sup> , e Brasil em Ação <sup>(b)</sup> , e conhecimento pessoal
Projetos de infraestrutura	Mapa da Amazônia Legal brasileira de 1995 de IBGE existentes e conhecimento pessoal
Projetos de infraestrutura planejados	Mapas e informações de Avança Brasil <sup>(a)</sup> , Brasil em Ação <sup>(b)</sup> , ELETROBRÁS <sup>(c)</sup> , e conhecimento pessoal

Susceptibilidade das florestas a incêndios	Mapa de áreas com alta, média, e baixa vulnerabilidade a incêndios, baseado em análises de cobertura florestal, umidade sazonal do solo, atividade de exploração madeireira, e fogos recentes durante a estação seca de 1998 <sup>(d)</sup>
Exploração madeireira e mineração	Mapa do IBAMA de 1998 dos locais estimados de exploração madeireira legal e ilegal, garimpagem artesanal de ouro e mineração industrial.
Parques e reservas federais e estaduais, florestas nacionais, reservas extrativistas, e áreas e terras indígenas	Mapa do IBGE de 1995 da Amazônia Legal brasileira, completado pelo mapa de 1999 de áreas protegidas na Amazônia, e conhecimento pessoal

a.) Brasil, Programa Brasil em Ação (2000).

b.) Brasil, Ministério do Planejamento (1999, 2002); Consórcio Brasileira (2000).

c.) Brasil, ELETROBRÁS (1998a).

d.) Tem sido calculado que aproximadamente 200.000 km<sup>2</sup> de floresta amazônica brasileira são vulneráveis a incêndios durante anos normais, mas essa cifra pode chegar até 1,5 milhões de km<sup>2</sup> durante secas periódicas provocadas pelo fenômeno El Niño (NEPSTAD et al., 1998).

A existência de diferentes tipos de reservas, inclusive áreas indígenas, são fatores importantes na determinação da evolução de desmatamento, a partir de rodovias ou outras obras. As atividades legalmente permitidas em cada tipo de reserva são apresentadas na Tabela 3. Presunções sobre o quanto destas exigências legais são efetivamente cumpridas teria importantes implicações sobre o destino das florestas em longo prazo.

Tabela 3: Atividades legalmente permitidas dentro de áreas protegidas e semiprotegidas na Amazônia brasileira<sup>(a)</sup>.

Tipo de Área	Recreação & Turismo	Agropecuária	Exploração madeireira	Extrativismo de produtos não madeireiras	Caça	Mineração
<i>Áreas nominalmente com proteção alta</i>						
Parques nacionais e estaduais	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
Reservas ecológicas	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
Reservas biológicas	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Estações ecológicas	Não	Não	Não	Não	Não	Não
<i>Áreas com proteção moderada</i>						
Florestas nacionais e estaduais	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim <sup>(b)</sup>	Não
Res. de florestas nacionais	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim <sup>(b)</sup>	Não
Reservas extrativistas	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim <sup>(b)</sup>	Não

Reservas extrativistas estaduais	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim <sup>(b)</sup>	Não
Florestas de uso sustentável	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim <sup>(b)</sup>	Não
Reservas de desenvolvimento sustentável	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim <sup>(b)</sup>	Não
Áreas de proteção ambiental	Sim	Sim <sup>(c)</sup>	Sim <sup>(c)</sup>	Sim <sup>(c)</sup>	Não	Sim <sup>(c)</sup>
Áreas de relevante interesse ecológico	Sim	Sim <sup>(c)</sup>	Não	Sim <sup>(c)</sup>	Não	Não
<i>Áreas com proteção incerta</i>						
Terras e áreas indígenas	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Não

a.) Fontes: Silva (1996), Olmos et al. (1998), Rylands e Pinto (1998), Borges et al. (2001), Brasil, IBAMA (2000), Brasil, IBGE (2000), Luciene Pohl e Fundação Nacional do Índio-FUNAI (comunicação pessoal, 2000)

b) Caça é permitida em algumas áreas; para outras, informações não eram disponíveis

c.) Estas atividades não são permitidas expressamente, mas já que são permitidas que as pessoas moram nessas reservas, as atividades certamente acontecerão, pelo menos em escala limitada.

O modelo considerou não apenas o desmatamento, mas também a degradação da floresta por exploração madeireira, incêndios florestais e outros impactos. Os quatro níveis de degradação usados nos cálculos são definidos na Tabela 4.

Tabela 4: Definições dos níveis de degradação.

Nível	Denominação	Descrição
1.	“Áreas primitivas”	Cobertura de floresta primária intacta, mas podem ter alguma atividade de caça, pesca, e agricultura itinerante por comunidades indígenas tradicionais.
2.	“Áreas de impacto leve”	Cobertura de floresta primária >95% intacta, mas podem experimentar garimpagem ilegal de ouro, agricultura em pequena escala, caça, exploração manual de madeira, e extração de recursos de não madeiras, tais como seringa.
3.	“Áreas de impacto moderado”	Cobertura de floresta primária >85% intacta, mas contém clareiras localizadas na floresta e algumas estradas, e podem ser afetadas por exploração madeireira, mineração, caça, e exploração de petróleo e gás.
4.	“Áreas de impacto pesado”	Nenhuma ou pouca cobertura de floresta primária, e são pesadamente fragmentadas. Tais áreas sofrem efeitos de borda, incêndios e exploração madeireira.

O modelo foi usado para gerar dois cenários, com presunções diferentes sobre desmatamento e degradação em diferentes tipos de reservas e a diferentes distâncias das obras. Os cenários foram denominados “Otimista” e



“Não otimista”, refletindo as presunções apresentadas na Tabela 5. A rapidez do aumento do desmatamento a partir de estradas não asfaltadas e rodovias asfaltadas é um fator-chave na evolução simulada da paisagem. Os dados usados (Figura 3) indicam rápida expansão de desmatamento, sobretudo quando as rodovias são pavimentadas.

Figura 3: Percentagem de floresta primária destruída até 1992 em função da distância de rodovias asfaltadas e de todas as estradas na Amazônia Legal.

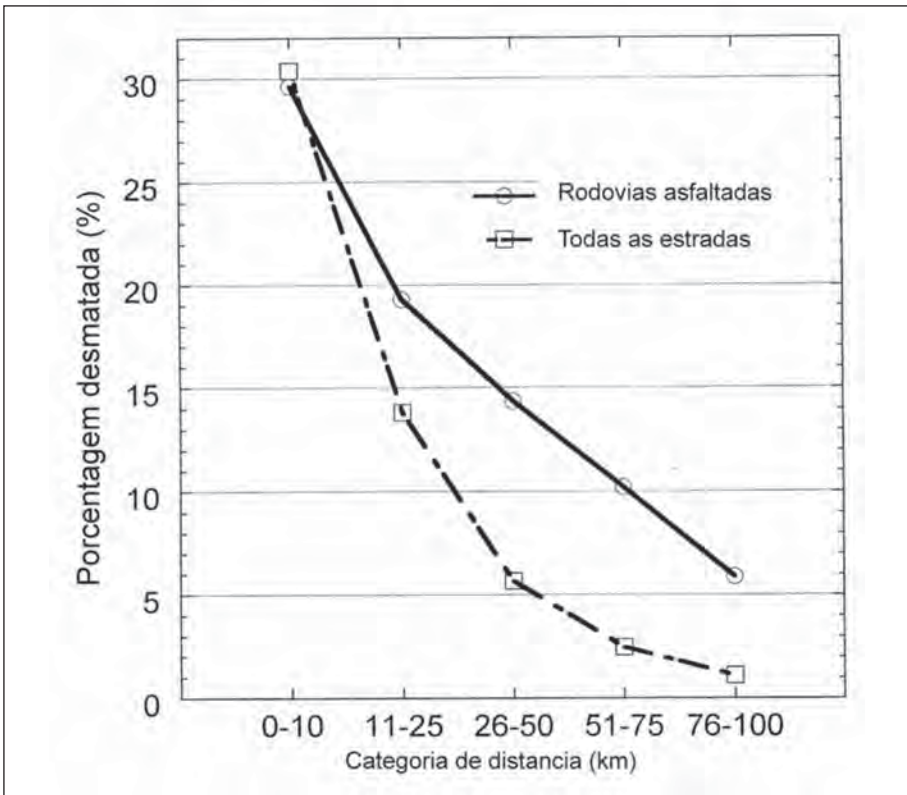


Tabela 5: Presunções dos dois cenários

Fator	Cenário Otimista	Cenário Não Otimista
Tampões de rodovias asfaltadas	25, 50 e 75 km	50, 100 e 200 km
Tampões de estradas não asfaltadas e outra infraestrutura	10, 25 e 50 km	25, 50 e 100 km
Áreas de exploração madeireira fora dos tampões	Degradação moderada	Degradação moderada
Áreas de garimpagem fora dos tampões	Degradação leve	Degradação leve
Áreas propensas a incêndios dentro dos tampões	Degradação moderada	Degradação forte
Áreas de uso indireto e reservas indígenas dentro dos tampões	Degradação leve	Degradação moderada
Áreas de uso indireto e reservas indígenas fora dos tampões	Permanecem intactas	Degradação leve
Parques nacionais dentro dos tampões	Permanecem intactas	Degradação leve
Parques nacionais fora dos tampões	Permanecem intactas	Permanecem intactas

Os aumentos indicados no desmatamento e na degradação até 2020 variam muito em diferentes partes da região (Figura 4). A Amazônia oriental fica quase totalmente desprovida de floresta original (Tabela 6).

Tabela 6: Aumentos esperados nas taxas de desmatamento total, anual, e percentual na Amazônia brasileira, ao longo dos próximos 20 anos, como resultado de rodovias e outros projetos de infraestrutura planejados.

Área de Estudo	Aumento total (ha)		Aumento Anual (ha/ano)		Aumento percentual <sup>(a)</sup>	
	Otimista	Não otimista	Otimista	Não otimista	Otimista	Não otimista
Rondônia/BR-364	5.658.598	9.902.779	282.930	495.139	15,0	26,2
Amazônia oriental (a leste de 50° Oeste)	7.055.033	12.871.555	352.752	643.578	18,7	34,1
Amazônia inteira	3.429.200	7.576.400	171.460	378.820	9,1	20,0
Média	5.380.944	10.116.911	269.047	505.846	14,3	26,8

a.) O “aumento porcentual” é relativo à taxa de desmatamento média atual (1,89 milhões de ha/ano para o período 1995-1999). São apresentadas estimativas para dois cenários de desenvolvimento (otimista e não otimista), baseado em avaliações de desmatamento passado em três áreas de estudo diferentes (Rondônia/Rodovia BR-364; Amazônia oriental; Amazônia brasileira inteira). O valor médio dos três cenários foi usado neste estudo.

O modelo de Laurance et al. (2001a) fez projeções até 2020, indicando 269.000 a 506.000 ha/ano de desmatamento adicional, como resultado da infraestrutura planejada, mais conversão de 1,53-2,37 milhões de ha/ano de floresta das duas categorias menos degradadas (pristina ou ligeiramente degradada) para as duas categorias mais degradadas (moderadamente ou pesadamente degradada)<sup>(1)</sup>. Considerando somente o desmatamento (sem a degradação das outras áreas), a infraestrutura planejada resultaria em um aumento nas emissões de carbono de 52,2-98,2 milhões de t C/ano (Tabela 7). Somente como ilustração, ao preço esperado de carbono de US\$20/t C que foi usado no planejamento orçamentário dos E.U.A., o valor perdido deste carbono somaria a US \$1,04-1,96 bilhões/ano.

Tabela 7: Impacto de infraestrutura até 2020.

Impactos	Cenário	
	Otimista	Não-otimista
Aumento em desmatamento devido à infraestrutura (mil ha/ano)	269	506
Aumento de degradação (milhões de ha/ano)	1,53	2,37
Aumento de emissão de carbono de desmatamento (milhões de t C/ano)	52,2	98,2
Valor perdido a US\$20/t C (US\$ bilhões/ano)	1,04	1,96

O modelo de Laurance et al. (2001a) provocou uma forte reação do Ministro da Ciência e Tecnologia e na diplomacia brasileira, que não mediram esforços para desqualificar o estudo (ver revisão em FEARNSSIDE; LAURANCE, 2012). Também provocou uma “briga na *Science*” (LOPES, 2005) com o diretor do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), cuja opinião minimizava a importância de estradas em provocar desmatamento (CÂMARA et al., 2005; LAURANCE et al., 2004, 2005b).

## COMPARAÇÃO COM OUTROS MODELOS

### Modelo de Nepstad et al. (2000, 2001)

As presunções dos nossos resultados podem ser comparados com as de outros grupos de modelagem que fizeram projeções dos impactos dos Planos Plurianuais (Tabela 8). O grupo do Instituto de Pesquisas da Amazônia-IPAM (BARROS et al., 2001; CARVALHO et al., 2001, 2002; NEPSTAD et al., 2000, 2001) consideraram apenas as rodovias projetadas, enquanto nossos resultados

também incluem o impacto de outros tipos de infraestrutura. O grupo de IPAM se restringiu ao desmatamento, enquanto nós modelamos também a degradação de floresta através de transferências entre quatro classes de degradação. Ambos os grupos chegaram a conclusões semelhantes, indicando grandes aumentos no desmatamento até 2020.

Tabela 8: Comparação de presunções de estudos modelagem com GIS de infraestrutura na Amazônia brasileira.

Autores	Largura do tampão para desmatamento	Largura do tampão para degradação	Impactos considerados	Base para desmatamento nos tampões	Efeito de áreas protegidas
Laurance et al., 2001a	50 km	200 km	Estradas, ferrovias, gasodutos, linhas de transmissão, hidrovias, hidrelétricas	Todas as rodovias existentes	Inibe desmatamento e degradação dependendo do tipo e da distância
Nepstad et al., 2000, 2001	50 km	Não considerado	Somente estradas	PA-150, BR-010, BR-364	Não considerado
Aguiar, 2006	Não aplicável	Não aplicável	Estradas, centros urbanos	Não aplicável	Inibe dentro da reserva mas desloca para outros locais
Soares-Filho et al., 2006	Não usado, mas dividido em 32 sub-regiões	Não aplicável	Somente estradas	Não aplicável	Inibe desmatamento
Soares-Filho et al., 2010	Não usado, mas dividido em 32 sub-regiões	Não aplicável	Somente estradas	Não aplicável	Inibe desmatamento

Os modelos não são simples extrapolações de tendências passadas, mas especificam um tampão (“buffer”) ao redor de cada projeto de infraestrutura, representando a distância ao longo da qual o projeto conduz a transformações entre as várias classes de degradação, inclusive o processo de desmatamento. Apesar de nossa análise considerar mais obras de infraestrutura do que a análise do IPAM, nossos resultados indicam menos desmatamento. Isto se deve a duas diferenças entre os dois modelos. Primeiro, no nosso modelo, as transformações dentro dos tampões são modificadas pela existência de várias categorias de áreas protegidas e semiprotégidas, tais como parques nacionais, florestas nacionais

(para manejo florestal visando produção de madeira), reservas extrativistas (para produtos florestais não madeireiras) e terras indígenas, enquanto este efeito não foi considerado no modelo do IPAM. A segunda diferença importante é a base de dados para calcular a taxa de aumento de áreas desmatadas a partir das obras. O grupo de IPAM se baseou na história das taxas de desmatamento dentro dos tampões ao longo de três rodovias principais onde houve expansão rápida das áreas desmatadas, enquanto nosso modelo se baseou em observações sobre todas as estradas existentes na Amazônia, inclusive aquelas com pouco desmatamento.

A diferença do modelo de Laurance et al. (2001a) ter incluído tipos de obras além de rodovias, tais como gasodutos e linhas de transmissão elétrica reflete uma diferença básica de filosofia de ciência. Por não existir dados sobre os efeitos destes outros tipos de obras, eles não foram incluídos nos modelos de Nepstad et al. (2000, 2001) e outros. No entanto, essas obras figuram plenamente nos planos plurianuais, e fazer projeções para o futuro do desmatamento sem essas obras equivale a presumir que seus efeitos é zero, sendo que é altamente provável que tenha um efeito sobre desmatamento, consideramos melhor usar algum tipo de *proxy* para representar este impacto, neste caso, estradas não pavimentadas. Isto evita a síndrome de ser “precisamente errado” ao invés de “aproximadamente certo”. Sem dúvida, atualmente serão necessários meios mais sofisticados para calcular melhor a abrangência destas influências, e valores diferentes dos parâmetros que foram usados poderiam melhorar as estimativas.

### **Modelo de Aguiar (2006)**

O estudo de Aguiar (2006) usou o software CLUE (KOK et al., 2001) para simular o desmatamento na Amazônia brasileira até 2020. O CLUE usa regressões logísticas para relacionar as transições de uso da terra aos seus fatores determinantes, e simula a distribuição espacial das transições. A resolução espacial é bastante grosseira quando áreas extensas são simuladas, e Aguiar (2006) usou um tamanho de célula de grade de 25 km × 25 km. O programa não inclui meios para calcular a área total de desmatamento que ocorre em cada ano, e a falta desta capacidade leva à presunção de que o desmatamento anual segue uma trajetória fixa, podendo permanecer constante a um determinado nível, aumentando linearmente por uma quantia fixa a cada ano, ou aumentar exponencialmente por uma porcentagem fixa anualmente. Isto impede que sejam representados os efeitos de decisões como a construção de estradas e a criação de reservas, porque o desmatamento total anual será o mesmo: ainda que estradas ou reservas sejam criadas, isto só mudará a distribuição espacial do desmatamento, e não a sua extensão total (FEARNSIDE et al., 2009). Aguiar (2006, p. 99) fez uma simulação

base presumindo que o desmatamento continuaria numa taxa histórica constante até 2020, e fez uma simulação alta e outra baixa com a taxa ou aumentando ou diminuindo, comparado à simulação base, por uma quantidade arbitrária especificada para cada intervalo de anos. O resultado indicando zero aumento do desmatamento total sendo provocado pela construção ou reconstrução de estradas discorda com os outros modelos (Tabela 9).

Tabela 9: Comparação de modelos de desmatamento na Amazônia brasileira

Autores	Taxa média de desmatamento adicional estimulado por infraestrutura até 2020 (mil ha/ano)	Área aproximada do desmatamento total acumulado (mil km <sup>2</sup> )	
		até 2020	até 2050
Laurance et al., 2001a	269-506	1.002-1.048 <sup>(1)</sup>	--
Nepstad et al., 2000, 2001	400-1.350	1.028-1.218 <sup>(1)</sup>	--
Aguiar, 2006	0	1.063 <sup>(2)</sup> (968-1.158)	--
Soares-Filho et al., 2006	393 <sup>(3)</sup>	1.185 <sup>(4)</sup>	1.731 <sup>(3)</sup>
Soares-Filho et al., 2010	--	--	1.070

1) Soma do desmatamento adicional, o desmatamento até 2000 pelo PRODES (583.269 km<sup>2</sup>), e o desmatamento no ritmo sem obras (a taxa pelo PRODES em 2000: 18.226 km<sup>2</sup>/ano).

2) Baseado em Aguiar (2006, p. 99).

3) Baseado em Soares-Filho et al. (2006, Fig. S7).

4) Baseado em Soares-Filho et al. (2006, Fig. S6).

Aguiar (2006, p. 424-425) alegou que as novas rodovias não aumentam o desmatamento total, mas apenas mudam a localização do desmatamento, que teria ocorrido de qualquer forma, atraindo esta atividade de derrubada para as margens da estrada. Evidentemente, isto não é a visão dos outros grupos.

O desmatamento tem um componente que é propulsionado por demanda (“*demand driven*”), ou seja, que responde aos preços de commodities como soja e carne, com a taxa de desmatamento aumentando e diminuindo de acordo com os preços, que, por sua vez, representam o equilíbrio entre oferta e demanda na economia. Estes fatores são mais importantes nas áreas “consolidadas”, como nas partes do arco de desmatamento onde predominam o agronegócio de soja (e.g. MORTON et al., 2006) e de pastagens bem estabelecidas, como na região de São Félix do Xingu, Pará (e.g. MARGULIS, 2003; MERTENS et al., 2002). Nas fronteiras abertas por novas rodovias ou por rodovias reconstruídas no interior da Amazônia, no entanto, há outros fatores importantes, tais como o papel do desmatamento em estabelecer a posse da terra (FEARNSIDE, 1979,

2001a, 2010) e a especulação imobiliária (CARRERO; FEARNSSIDE, 2011; FEARNSSIDE, 1988; HECHT, 1993; HECHT et al., 1988; RAZERA, 2005). Existem outros motivos para o desmatamento em áreas de fronteira, tais como a lavagem de dinheiro oriundo de fontes ilícitas, como tráfico de drogas, corrupção e sonegação de impostos (FEARNSSIDE, 2005, 2007, 2008a). As áreas abertas por todos esses motivos, não diretamente ligados à venda de produção agropecuária, são somadas àqueles impulsionadas pela economia “normal”.

Mesmo para o desmatamento feito exclusivamente para a produção agropecuária, a abertura de estradas permite o aumento de áreas em produção, para atender aos mercados globalizados, que são capazes de absorver a produção de todas essas novas áreas, sem provocar uma queda significativa nos preços das commodities. A lógica de a demanda limitar a expansão total das áreas em produção, resultando em 100% do desmatamento que ocorre ao longo das novas estradas ser o resultado do deslocamento de atividade a partir de outras partes da floresta amazônica, corresponde a uma situação pouco realista no contexto amazônico. Funcionaria assim se o Brasil fosse isolado dos mercados globais e se aumentos da demanda interna do país fossem apenas atendidos por desmatamento na Amazônia, sem a contribuição da expansão e, sobretudo, a intensificação da agricultura brasileira fora da Amazônia.

O resultado da presunção de desmatamento dentro da Amazônia brasileira ser limitado por uma demanda fixa não é só que estradas podem ser construídas sem aumentar o desmatamento total, mas também que áreas protegidas não teriam nenhum efeito sobre desmatamento, com 100% de “vazamento” dos benefícios, sendo que o desmatamento que teria acontecido nas reservas migra para outros locais. Isto é contestado por outros grupos de modelagem (e.g. FEARNSSIDE et al., 2009) e vários estudos tem demonstrado a eficácia de reservas (e.g. FERREIRA et al., 2005; NEPSTAD et al., 2006; SCHWARTZMAN et al., 2000). O vazamento é um fator importante em uma escala de tempo de algumas décadas: no caso da Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Juma, no estado do Amazonas, durante pelo menos 42 anos (YANAI et al., 2011), embora em uma escala de tempo mais longa, as perdas seriam recuperadas (FEARNSSIDE, 2009). O modelo de Soares-Filho et al. (2010) indica pouco efeito de vazamento em diminuir a eficácia de reservas.

Apesar dos problemas técnicos com o estudo de Aguiar (2006), como ferramenta para prever o impacto de rodovias sobre o total do desmatamento, os resultados têm uma importância prática. Por se tratar de uma tese que foi apresentada à Casa Civil (CÂMARA, 2007; REDE TEMÁTICA GEOMA, 2006), o estudo tem o efeito de servir como uma espécie de aval para a Rodovia

BR-319. Ao contrário da conclusão do estudo, a reconstrução dessa rodovia teria graves consequências para o desmatamento (BARNI et al., 2009; FEARNSIDE; GRAÇA, 2009; FEARNSIDE et al., 2009).

### **Modelo de Soares-Filho et al. (2006, 2010)**

Os modelos de Soares-Filho et al. (2006, 2010) utilizam os softwares DINAMICA e DINAMICA-EGO, desenvolvidos na Universidade Federal de Minas Gerais (RODRIGUES et al., 2007; SOARES-FILHO et al., 2002, 2009). As quantidades totais de desmatamento podem ser calculadas em uma simulação não espacial executada no software Vensim (VENTANA SYSTEMS INC., 2007) e repassadas ao DINAMICA ou nas versões aprimoradas mais recentes (DINAMICA-EGO), esses cálculos podem ser feitos dentro do próprio DINAMICA. O DINAMICA ou DINAMICA-EGO determina onde a alocação do desmatamento acontecerá, baseada em pesos de evidência que gera a probabilidade relativa que cada célula na grade representa a probabilidade da paisagem ser convertida para desmatamento. Estes pesos são derivados de relações calculadas a partir de variáveis direcionadoras do desmatamento e os dados cartográficos resultantes são usados para fazer cálculos da probabilidade bayesiana de desmatar a diferentes distâncias de estradas, considerando a influência de áreas protegidas, qualidade do solo, distância dos mercados, distância do desmatamento existente e outras características.

O modelo do Vensim usado por Soares-Filho et al. (2006) calcula o vetor de taxas de desmatamento, ou seja, de “demanda” para desmatamento, para o período inteiro da simulação (2001-2050) separadamente do modelo espacial do DINAMICA. Posteriormente, repassa este vetor para que o DINAMICA possa determinar onde este desmatamento ocorre. Não há uma retroalimentação anual entre os dois modelos, que seria necessária para que as características espaciais possam influenciar na taxa de desmatamento no ano seguinte (ver FEARNSIDE et al., 2009). No entanto, a criação de reservas e construção ou asfaltamento de grandes rodovias em anos predeterminados pode mudar o desmatamento previsto para cada uma das 32 sub-regiões em que a Amazônia brasileira foi subdividida.

Soares-Filho et al. (2006) simularam um cenário de governança, representando o que aconteceria se regulamentos como o Código Florestal Brasileiro de 1965 (**Brasil**, 1965) fossem respeitados, combinado com uma diminuição do desmatamento total por uma quantidade presumida (e.g. CARVALHO et al., 2001, 2002). Estes cenários de governança estão baseados em suposições relativas à quantidade global de desmatamento, ao invés



de serem derivados de cálculos baseados em dados sobre como o comportamento do desmatamento responde a medidas específicas de política. Os cenários não deveriam ser confundidos com um cenário “com projeto” para um determinado conjunto de medidas de governança, tais como o Programa “BR-163 Sustentável” (ver: ALENCAR et al., 2004, 2005), no caso da Rodovia Santarém-Cuiabá (ver FEARNSSIDE, 2007).

### **Cenários de “governança”**

A confecção e uso de “cenários de governança” é um foco de debate, pois essa prática tem funcionado para justificar o licenciamento de obras ambientalmente danosas, com base em um cenário pouco provável de ser concretizado. Um estudo de modelagem de desmatamento na rodovia BR-163 simulou um cenário “convencional” e outro de “governança” (NEPSTAD et al., 2000; SOARES-FILHO et al., 2004). Os responsáveis pelo plano plurianual consideravam que a situação ambiental na área da BR-163 e de outras obras seria plenamente controlada, evitando assim os impactos sobre o desmatamento representado nas simulações do nosso grupo (SILVEIRA, 2001; ver resposta: LAURANCE et al., 2001b). A ideia de que a governança levaria, de fato, a uma contenção efetiva do desmatamento foi defendida pelos autores da simulação (NEPSTAD et al., 2002a,b), e contestada com base no caos evidente na área intersectada pela rodovia (LAURANCE; FEARNSSIDE, 2002). Nessa discussão, dois dos autores do atual trabalho foram descritos como “ambientalistas confrontacionistas” (NEPSTAD, 2002; ver resposta: FEARNSSIDE, 2002a).

Evidentemente, o cenário simulado de governança indicava muito menos desmatamento. Os responsáveis pelo programa Brasil em Ação, que depois foi sucedido pelos programas Avança Brasil, PPA (Plano Plurianual), e hoje o PAC, argumentavam que a reconstrução e asfaltamento da estrada seriam acompanhados por um nível de governança que evitaria qualquer impacto sobre o desmatamento (SILVEIRA, 2001), um cenário que foi logo contestado (LAURANCE et al., 2001b). De fato, a história da área, desde 2000, tem revelado um espalhamento de desmatamento ainda mais rápido do que aquele previsto no cenário “convencional”, mesmo sem ter a estrada reconstruída (BRASIL, INPE, 2011; FEARNSSIDE, 2007). Um evento marcante foi o aparecimento, em 2004, de uma clareira de 6.239 ha, conhecida como o “revolver”, devido à sua forma, em parte da Terra do Meio, uma área que fica a leste da rodovia BR-163 (VENTURIERI et al., 2004, p. 5). O papel de grileiros (grandes apropriadores ilegais de terras) é fundamental na dinâmica de desmatamento na região da BR-163 (ESCADA et al., 2005; FEARNSSIDE, 2005, 2008a).

Quando um planejador é apresentado com os mapas de dois cenários, um “convencional” e outro de “governança”, é lógico que a escolha será pela “governança”. Acaba sendo tratado de maneira semelhante a uma pessoa optando por alimentos num buffet, sem maiores consequências se opta por um item ou por outro. No caso de uma escolha entre cenários de desmatamento, no entanto, há uma enorme diferença entre um cenário e outro, em termos de que o nível de atuação seria necessário para fazer o cenário ser realizado na prática. Endossar um cenário de “governança” pouco realista como o cenário oficial serve para justificar o licenciamento da obra, mas não leva esta a ser o futuro da área na realidade. O exemplo mais extremo disso é o licenciamento da rodovia BR-319, onde o exemplo apresentado no Estudo de Impacto Ambiental (EIA) de “governança ambiental forte” era o Parque Nacional de Yellowstone, nos EUA (ver FEARNSSIDE; GRAÇA, 2009).

### **Modelos não espaciais**

Outros tipos de modelagem, especialmente modelos econométricos, têm sido aplicados ao desmatamento amazônico. Geralmente estes se aplicam a uma escala maior, representando, por exemplo, a Amazônia brasileira como um todo, sem ser detalhados em termos espaciais. Os dados geralmente vêm de censos ao nível de município, ou então de unidades de censo, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Exemplos incluem as equações desenvolvidas por Reis e Margulis (1991) e Reis e Guzmán (1994), para associar a taxa de desmatamento com dados sobre população, percentagem de área em cultivos agrícolas, densidade de bovinos por km<sup>2</sup>, intensidade de exploração madeireira em m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>, comprimento de estradas por km<sup>2</sup>, distância do capital do estado, e uma variável *dummy* para representar diferenças entre estados. Nestes modelos, as estradas são consideradas como uma determinante significativa do desmatamento. O custo de transporte, que depende diretamente da disponibilidade e qualidade das estradas, tem se mostrado como uma determinante chave do desmatamento: uma redução de 20% no custo de transporte resulta em um aumento no desmatamento na Amazônia de 29-32% (CATTANO, 2001, p. 230). Em uma análise por Chomitz e Thomas (2003) desenhada para testar o efeito da pluviosidade sobre taxas de desmatamento, foi demonstrado que as estradas aumentam o desmatamento, mas a magnitude do aumento depende do controle de outras variáveis, tais como o impacto do desmatamento preexistente, que tem um efeito mesclado com o das estradas.

Análises no nível municipal indicam que estradas aumentam o desmatamento em locais onde muito da floresta permanece intacta (como é o caso

ao longo da Rodovia BR-319), mas, em locais onde o processo de desmatamento já esteja bem avançado, a construção de estradas adicionais aparentam, neste nível grosseiro de detalhe, diminuir o desmatamento (ANDERSEN et al., 2002; REIS; WEINHOLD, 2004). No entanto, estudos subsequentes das mesmas bases de dados do IBGE, mas usando dados ao nível de unidades de censo (*i.e.*, com aproximadamente 20 vezes mais dados), indicam que estradas são propulsoras do desmatamento em todas as fases do processo (PFAFF et al., 2007). Aguiar (2006, p. 25) havia usado os resultados ao nível municipal (ANDERSEN et al., 2002) como base do seu argumento para uma importância nula ou até benéfica de estradas. A partir de Andersen et al. (2002), Aguiar (2006, p. 25) afirma que “resultados de modelagem indicam que a infraestrutura planejada encorajará a intensificação agrícola e o crescimento urbano, e reduzirá a área total derrubada, quando comparada com a situação sem a implantação do plano” (AGUIAR, 2006, p. 25). Tanto os efeitos da intensificação como os da urbanização têm sido contestados como freios eficazes ao desmatamento no contexto amazônico (FEARNSIDE, 1990, 2002b, 2008b). Os resultados de Paff et al. (2007), entre outros, jogam por terra a teoria de que as estradas dos planos plurianuais diminuirão o total de desmatamento.

Recentemente, um modelo econométrico de Assunção et al. (2012), usando dados ao nível de município, mostrou que a metade da queda na taxa de desmatamento entre 2004 e 2011 se deve a fatores econômicos, como mudanças nos preços de commodities, a outra metade presumivelmente sendo devido à ação mais eficaz de repressão por órgãos governamentais. A primeira parte da queda se explica em função dos preços, mas depois as tendências divergem, com as quedas maiores nos municípios com maior gasto governamental na repressão (BARRETO et al., 2011).

## CONCLUSÕES

De acordo com as tendências atuais verificadas, a Amazônia será drasticamente alterada nos próximos anos, como consequência da implantação das obras anunciadas. Iniciativas de conservação na Amazônia têm grandes chances de serem “esmagadas” pelos investimentos em projetos de rodovias e outra infraestrutura. As estradas e outros tipos de infraestrutura têm o papel de estimular um aumento na taxa regional de desmatamento, e não apenas o efeito de estradas sobre a localização da atividade de desmate dentro da região. Modelos que reconhecem o papel de rodovias de aumentar o desmatamento indicam

grandes perdas de floresta, decorrentes dos planos plurianuais. Há um perigo em simular cenários de “governança” devido à pouca probabilidade destes serem transformados em realidade e o padrão repetido de usar cenários irrealistas deste tipo como justificativa para o licenciamento de obras danosas.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho inclui material atualizado e traduzido de diversos trabalhos dos autores (FEARNSIDE, 2002b, 2012; FEARNSIDE et al., 2009; LAURANCE et al., 2001a). Uma versão anterior de Fearnside (2002c) foi apresentada no Seminário Nacional sobre o Desenvolvimento da Amazônia: Um debate sobre o Programa Avanço Brasil, Senado Federal, Brasília 9-10 de abril de 2001 (FEARNSIDE, 2001b). Contribuíram com apoio financeiro o programa LBA da NASA, Andrew W. Mellon Foundation, World Wildlife Fund-US, McArthur Foundation, Smithsonian Institution, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq: Proc. 523980/96-6, 304020/2010-9, 610042/2009-2, 575853/2008-5), e Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA: PRJ13.03). Agradecemos a P. M. L. A. Graça, M. S. Moura e N. Hamada pelos comentários.

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A. P. D. **Modeling land use change in the Brazilian Amazon: Exploring intraregional heterogeneity**. 2006. 153p. Tese (Doutorado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2006/08.10.18.21>>.
- ALENCAR, A.; NEPSTAD, D. C.; McGRATH, D.; MOUTINHO, P.; PACHECO, P.; DIAZ, M. DEL C. V.; SOARES-FILHO, B. **Desmatamento na Amazônia: indo além da Emergência Crônica**. Belém: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, 2004. 87p.
- ALENCAR, A.; MICOL, L.; REID, J.; AMEND, M.; OLIVEIRA, M.; ZEIDEMANN, V.; DE SOUSA, W. C. A pavimentação da BR-163 e os desafios à sustentabilidade: uma análise econômica, social e ambiental. **Instituto Centro de Vida (ICV)**, Cuiabá, 2005. 25 p. Disponível em: <<http://www.estacaovida.org.br/pdf/pavimentacaobr163.pdf>>.

ANDERSEN L. E.; GRANGER, C. W. J.; REIS, E. J.; WEINHOLD, D.; WUNDER, S. **The Dynamics of Deforestation and Economic Development in the Brazilian Amazon**. Cambridge: Cambridge University Press, 2002.

ASSUNÇÃO, J.; GANDOUR, C. C.; ROCHA, R. **Deforestation Slowdown in the Legal Amazon: Prices or Policies?** Climate Policy Initiative (CPI) Working Paper. Rio de Janeiro: PUC/RJ, 2012. 37p. Disponível em: <<http://climatepolicyinitiative.org/publication/deforestation-slowdown-in-the-legal-amazon-prices-or-policie/>>.

BARNI, P. E.; FEARNSTIDE, P. M.; GRAÇA, P. M. L. A. Deforestation and carbon emissions in Amazonia: Simulating the impact of connecting Brazil's state of Roraima to the "arc of deforestation" by reconstructing the BR-319 (Manaus-Porto Velho) Highway. In: WORLD FORESTRY CONGRESS, 12. 2009, Buenos Aires. **Proceedings...** Roma: UN-FAO, 2009.

BARRETO, P.; BRANDÃO JR., A.; MARTINS, H.; SILVA, D.; SOUZA JR., C.; SALES, M.; FEITOSA, T. **Risco de Desmatamento Associado à Hidrelétrica de Belo Monte**. Belém: IMAZON, 2011. 98p. Disponível em: <[http://www.imazon.org.br/publicacoes/livros/risco-de-desmatamento-associado-a-hidreletrica-de-belo-monte/at\\_download/file](http://www.imazon.org.br/publicacoes/livros/risco-de-desmatamento-associado-a-hidreletrica-de-belo-monte/at_download/file)>.

BARROS, A. C.; NEPSTAD, D.; CAPOBIANCO, J. P.; CARVALHO, G.; MOUTINHO, P.; LOPES, U.; LEFEBVRE, P. Os custos ambientais do programa Avançar Brasil. **Cadernos Adenauer**, v.2, n.4, p.51-77. 2001.

BRASIL. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o Novo Código Florestal. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/Referencia\\_Legislativa/L4771ref\\_leg.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/Referencia_Legislativa/L4771ref_leg.htm)>.

BRASIL. INPE-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Projeto PRODES: Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite**. São José dos Campos: INPE, 2011. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/>>.

CÂMARA, G. **Developments in Land Change Modelling in Amazonia: Governance and Public Policies**. Global Land Project. Apresentação PPT. Copenhagen: Scientific Steering Committee Meeting, Oct. 2007. 38p. Disponível em: <[http://www.dpi.inpe.br/gilberto/present/camara\\_glp\\_oct\\_2007.ppt](http://www.dpi.inpe.br/gilberto/present/camara_glp_oct_2007.ppt)>.

CÂMARA, G.; AGUIAR, A. P. D.; ESCADA, M. I.; AMARAL, S.; CARNEIRO, T.; MONTEIRO, A. M. V.; ARAÚJO, R.; VIEIRA, I.; BECKER, B. Amazonian Deforestation Models. **Science**, v. 307, p.1043-1044, 2005. doi: 0.1126/science.307.5712.1043c

CARRERO, G. C.; FEARNSIDE, P. M. Forest clearing dynamics and the expansion of land holdings in Apuí, a deforestation hotspot on Brazil's Transamazon Highway. **Ecology and Society**, v.16, n.2, p.26, 2011. Disponível em: <<http://www.ecologyandsociety.org/vol16/iss2/art26/>>

CARVALHO, G.; BARROS, A.C.; MOUTINHO, P.; NEPSTAD, D. Sensitive development could protect Amazonia instead of destroying it. **Nature**, v.409, p.131, 2001.

CARVALHO, G. O.; NEPSTAD, D.; MCGRATH, D.; DIAZ, M. C. V.; SANTILLI, M.; BARROS, A. C. Frontier expansion in the Amazon: Balancing development and sustainability. **Environment**, v.44, n.3, p.34-45, 2002.

CATTEANO, A. Deforestation in the Brazilian Amazon: comparing the impacts of macroeconomic shocks, land tenure, and technological change. **Land Economics**, v.77, p.219-240, 2001.

CHOMITZ, K. M.; THOMAS, T. S. Determinants of land use in Amazônia: A fine-scale spatial analysis. **American Journal of Agricultural Economics**, 85, p.1016-1028, 2003.

CONSÓRCIO BRASILIANA. Programa Brasil em Ação: eixos nacionais de integração e desenvolvimento. **Relatório Final do Marco Inicial**. Brasília: BNDES; Consórcio Brasiliana, 2000. 3 v.

ESCADA, M. I. S.; VIEIRA, I. C. G.; AMARAL, S.; ARAÚJO, R.; DA VEIGA, J. B.; AGUIAR, A. P. D.; VEIGA, I.; OLIVEIRA, M.; GAVINA, J.; CARNEIRO FILHO, A.; FEARNSIDE, P. M.; VENTURIERI, A.; CARRIELO, F.; THALES, M.; CARNEIRO, T. S.; MONTEIRO, A. M. V.; CÂMARA, G. Padrões e processos de ocupação nas novas fronteiras da Amazônia: O Interflúvio do Xingu/Iriri. **Estudos Avançados**, v.19, n.54, p.9-23, 2005. doi: 10.1590/S0103-40142005000200002 ISSN 0103-4014.

FEARNSIDE, P. M. The development of the Amazon rain forest: Priority problems for the formulation of guidelines. **Interciência**, v.4, n.6, p.338-343, 1979.

FEARNSIDE, P. M. Causas de desmatamento na Amazônia brasileira. **Pará Desenvolvimento**, v.23, p.2433, 1988.

FEARNSIDE, P. M. Reconsideração do cultivo contínuo na Amazônia. **Revista Brasileira de Biologia**, v.50, n.4, p.833-840, 1990.

FEARNSIDE, P. M. Código florestal: O perigo de abrir brechas. **Ciência Hoje**, v.28, n.163, p.62-63, 2000.

FEARNSIDE, P. M. Land-tenure issues as factors in environmental destruction in Brazilian Amazonia: The case of southern Pará. **World Development**, v.29, n.8, p.1361-1372, 2001a. doi: 10.1016/S0305-750X(01)00039-0

FEARNSIDE, P. M. Avança Brasil: Conseqüências ambientais e sociais na Amazônia brasileira. **Cadernos Adenauer**, v.2, n.4, 101-124, 2001b.

FEARNSIDE, P. M. Dear Dan. (email não publicado a D.C. Nepstad), 2002a. Disponível em: <[http://philip.inpa.gov.br/publ\\_livres/Other%20side-outro%20lado/Nepstad%20governance/unpublished%20emails/Reply%20to%20Nepstad.pdf](http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/Other%20side-outro%20lado/Nepstad%20governance/unpublished%20emails/Reply%20to%20Nepstad.pdf)>

FEARNSIDE, P. M. Can pasture intensification discourage deforestation in the Amazon and Pantanal regions of Brazil? In: WOOD, C. H.; PORRO, R. (Eds.) **Deforestation and Land Use in the Amazon**. Gainesville: University of Florida Press, 2002b. p.299-314.

FEARNSIDE, P. M. Avança Brasil: environmental and social consequences of Brazil's planned infrastructure in Amazonia. **Environmental Management**, v.30, n.6, p.748-763, 2002c.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia brasileira: História, índices e conseqüências. **Megadiversidade**, v.1, n.4, p.113-123, 2005.

FEARNSIDE, P. M. Brazil's Cuiabá-Santarém (BR-163) Highway: The environmental cost of paving a soybean corridor through the Amazon. **Environmental Management**, v.39, n.5, p.601-614, 2007. doi: 10.1007/s00267-006-0149-2

FEARNSIDE, P. M. The roles and movements of actors in the deforestation of Brazilian Amazonia. **Ecology and Society**, v.13, n.1, p.23. Disponível em: <<http://www.ecologyandsociety.org/vol13/iss1/art23/>>, 2008a.

FEARNSIDE, P. M. Will urbanization cause deforested areas to be abandoned in Brazilian Amazonia? **Environmental Conservation**, v.35, n.3, p. 197-199, 2008b. doi: 10.1017/S0376892908004906

FEARNSIDE, P. M. Carbon benefits from Amazonian forest reserves: Leakage accounting and the value of time. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v.14, n.6, p.557-567, 2009. doi: 10.1007/s11027-009-9174-9

FEARNSIDE, P. M. Sul do Pará. In: GORAYEB, I. S. (Ed.). **Amazônia 2**. Belém: ORM; Vale, 2010. p. 185-239.

FEARNSIDE, P. M. A tomada de decisão sobre grandes estradas amazônicas. In: BAGER, A. (Ed.). **Ecologia de Estradas: Tendências e Pesquisas**. Lavras: Editora da Universidade Federal de Lavras, 2012. p. 59-76.

FEARNSIDE, P. M.; GRAÇA, P. M. L. A. BR-319: A rodovia Manaus-Porto Velho e o impacto potencial de conectar o arco de desmatamento à Amazônia central. **Novos Cadernos NAEA**, v.12, n.1, p.19-50, 2009.

FEARNSIDE, P. M., GRAÇA, P. M. L. A.; KEIZER, E. W. H.; MALDONADO, F. D.; BARBOSA, R. I.; NOGUEIRA, E. M. Modelagem de desmatamento e emissões de gases de efeito estufa na região sob influência da Rodovia Manaus-Porto Velho (BR-319). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, n.2, p.208-233, 2009. Disponível em: [http://www.rbmet.org.br/port/revista/revista\\_artigo.php?id\\_artigo=940](http://www.rbmet.org.br/port/revista/revista_artigo.php?id_artigo=940).

FEARNSIDE, P. M.; LAURANCE, W. F. O futuro da Amazônia: Os impactos do Programa Avança Brasil. **Ciência Hoje**, v.31, n.182, p.61-65, 2002.

FEARNSIDE, P. M.; LAURANCE, W. F. Infraestrutura na Amazônia: As lições dos planos plurianuais. **Caderno CRH**, 2012. No prelo.

FERREIRA, L. V.; VENTICINQUE, E.; ALMEIDA, S. O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. **Estudos avançados**, v.19, n.53, p.157-166, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ea/v19n53/24086.pdf>.

FINER, M.; JENKINS, C. N.; PIMM, S. L.; KEANE; ROSS, C. Oil and Gas Projects in the Western Amazon: Threats to Wilderness, Biodiversity, and Indigenous Peoples. **PLoS ONE** v.3, n.8, p. 2932, 2008. doi:10.1371/journal.pone.0002932

HECHT, S. B. The logic of livestock and deforestation in Amazonia. **Bioscience**, v.43, n.3, p.687-695, 1993.

HECHT, S. B., NORGAARD, R. B.; POSSIO, C. The economics of cattle ranching in eastern Amazonia. **Interciência**, v.13, p.233-240, 1988.

JOCHNICK, C. Amazon oil offensive. **Multinational Monitor**, v.1995, n.1, p.1-6, 1995.

KIRBY, K. R.; LAURANCE, W. F.; ALBERNAZ, A. K.; SCHROTH, G.; FEARNSIDE, P. M.; BERGEN, S.; VENTICINQUE, E. M.; DA COSTA, C. The future of deforestation in the Brazilian Amazon. **Futures**, v.38, p.432-453, 2006.



KOK, K.; FARROW, A.; VELDKAMP, A.; VERBURG, P. H. A method and application of multiscale validation in spatial land use models. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.85, p.223-238, 2001.

LAURANCE, W. F.; ALBERNAZ, A. K. M.; FEARNNSIDE, P. M.; VASCONCELOS, H. L.; FERREIRA, L.V. Deforestation in Amazonia. **Science**, v.304, p.1109, 2004. doi: 10.1126/science.304.5674.1109b

LAURANCE, W. F.; BERGEN, S.; COCHRANE, M. A.; FEARNNSIDE, P. M.; DELAMONICA, P.; D'ANGELO, S.; BARBER, C.; FERNANDES, T. The future of the Amazon. In: BERMINGHAM, E.; DICK, C. W.; MORITZ, C. (Eds.) **Tropical Rainforests: Past, Present and Future**. Chicago: University of Chicago Press, 2005a. p.583-609.

LAURANCE, W. F.; COCHRANE, M. A.; BERGEN, S.; FEARNNSIDE, P. M.; DELAMÔNICA, P.; BARBER, C.; D'ANGELO, S.; FERNANDES, T. The future of the Brazilian Amazon. **Science**, v. 291, p.438-439, 2001a.

LAURANCE, W. F., COCHRANE, M. A.; FEARNNSIDE, P. M.; BERGEN, S.; DELAMONICA, P.; D'ANGELO, S.; FERNANDES, T.; BARBER, C. Response [resposta a J.P. Silveira, 2001]. **Science**, v.292, p.1652-1654, 2001b.

LAURANCE, W. F.; FEARNNSIDE, P. M. Issues in Amazonian Development. **Science**, v.295, p.1643. [comentário sobre D.C. Nepstad et al. **Science** v.295, p.629 (2002)]. doi: 10.1126/science.295.5560.1643b, 2002.

LAURANCE, W. F.; FEARNNSIDE, P. M.; ALBERNAZ, A. K. M.; VASCONCELOS, H. L.; FERREIRA, L. V. Response [resposta a Câmara et al., 2005]. **Science**, v.307, p.1044, 2005b. doi:10.1126/science.307.5712.1046

LOPES, R. J. Causa da devastação cria briga na Science. **Folha de São Paulo**, 18 de fev. de 2005, p.A-5, 2005. Disponível em: <<http://acervo.folha.com.br/fsp/2005/02/18/2>>. MARGULIS, S. 2003. **Causas do Desmatamento na Amazônia Brasileira**. Banco Mundial, Brasília, DF, Disponível em: <http://siteresources.worldbank.org/BRAZILINPOREXTN/Resources/3817166-1185895645304/4044168-1185895685298/010CausasDesmatamentoAmazoniaBrasileira.pdf>.

MERTENS, B.; POCCARD-CHAPUIS, R.; PIKETTY, M.-G.; LAQUES, A.-E. ; VENTURIERI, A. Crossing spatial analyses and livestock economics to understand deforestation processes in the Brazilian Amazon: The case of Sao Felix do Xingu in South Pará. **Agricultural Economics**, v.27, p.269-294, 2002.

MORTON, D. C.; DEFRIES, R. S.; SHIMABUKURO, Y. E.; ANDERSON, L. O.; ARAI, E.; ESPIRITO-SANTO, F. D. B.; FREITAS, R.; MORISSETTE, J. Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon. **Proceedings of the National Academy of Science of the USA** v.103, n.39, p.14637-14641, 2006.

NEPSTAD, D. C. Dear Bill and Phil. (email não publicado de D.C. Nepstad), 2002. Disponível em: [http://philip.inpa.gov.br/publ\\_livres/Other%20side-outro%20lado/Nepstad%20governance/unpublished%20emails/Dear%20Bill%20and%20Phil.pdf](http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/Other%20side-outro%20lado/Nepstad%20governance/unpublished%20emails/Dear%20Bill%20and%20Phil.pdf).

NEPSTAD, D.; CAPOBIANCO, J. P.; BARROS, A. C.; CARVALHO, G.; MOUTINHO, P.; LOPES, U.; LEFEBVRE, P. **Avança Brasil: os custos ambientais para Amazônia**. Belém: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, 2000. 24 p.

NEPSTAD, D.; CARVALHO, G.; BARROS, A. C.; ALENCAR, A.; CAPOBIANCO, J. P.; BISHOP, J.; MOUTINHO, P.; LEFEBVRE, P.; SILVA JR., U.L.; PRINS, E. Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon forests. **Forest Ecology and Management**, v.154, n.3, p.395-407, 2001.

NEPSTAD, D. C.; MCGRATH, D.; ALENCAR, A.; BARROS, A. C.; CARVALHO, G.; SANTILLI, M.; VERA DIAZ, M. DEL C. Frontier Governance in Amazonia. **Science**, v.295, p.629-631, 2002a.

NEPSTAD, D. C.; MCGRATH, D.; ALENCAR, A.; BARROS, A. C.; CARVALHO, G.; SANTILLI, M.; VERA DIAZ, M. DEL C. Response [resposta a Laurance & Fearnside, 2002]. **Science**, v.295, v.1643-1644, 2002b.

NEPSTAD, D. C.; SCHWARTZMAN, S.; BAMBERGER, B.; SANTILLI, M.; RAY, D.; SCHLESINGER, P.; LEFEBVRE, P.; ALENCAR, A.; PRINZ, E.; FISKE, G.; ROLLA, A. Inhibition of Amazon deforestation and fire by parks and indigenous lands. **Conservation Biology**, v.20, p.65-73, 2006.

PFAFF, A.; ROBALINO, J.; WALKER, R.; ALDRICH, S.; CALDAS, M.; REIS, E.; PERZ, S.; BOHRER, C.; ARIMA, E.; LAURANCE, W.; KIRBY, K. Road investments, spatial spillovers, and deforestation in the Brazilian Amazon. **Journal of Regional Science**, v.47, p.109-123, 2007.

RAZERA, A. **Dinâmica do desmatamento em uma nova fronteira do sul do Amazonas**: análise da pecuária de corte no Município do Apuí. 2005. Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia; Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2005.

REDE TEMÁTICA GEOMA. **Análises preliminares dos efeitos espaciais de áreas protegidas na ALAP da BR 319.** Grupo Permanente de Trabalho Interministerial sobre Desmatamento na Amazônia. Brasília: Casa Civil da Presidência da República, 2006.

REIS, E. J.; GUZMÁN, R. An Econometric model of Amazon deforestation. In: BROWN, K.; PEARCE, D. W. (Eds.). **The Causes of Tropical Deforestation: The Economic and Statistical Analysis of Factors Giving Rise to the Loss of Tropical Forests.** London: University College London Press, 1994. p.172-191.

REIS, E. J.; MARGULIS, S. Options for slowing Amazon jungle clearing. In: DORNBUSCH, R.; POTERBAR, J. (Eds.). **Economic Policy Responses to Global warming.** Cambridge; Massachusetts: MIT Press, 1991. p.335-375.

REIS, E. J.; WEINHOLD, D. **Land use and transportation costs in the Brazilian Amazon.** Madison: University of Wisconsin-Madison; Department of Agriculture & Applied Economics; 2004. 31p. (Staff Paper, n. 467).

RODRIGUES, H. O.; SOARES-FILHO, B. S.; COSTA, W. L. S. Dinamica EGO, uma plataforma para modelagem de sistemas ambientais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. 2007. Florianópolis. **Proceedings...** Florianópolis: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2007, p. 21-26. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.06.17.59/doc/3089-3096.pdf>>.

SCHWARTZMAN, S.; MOREIRA, A.; NEPSTAD, D. Arguing tropical forest conservation: People versus parks. **Conservation Biology**, v.14, p.1370-1374, 2000.

SILVEIRA, J. P. Development of the Brazilian Amazon. **Science**, v.292, p.1651-1652, 2001.

SOARES-FILHO, B. S.; ALENCAR, A. A.; NEPSTAD, D. C.; CERQUEIRA, G. C.; VERA DIAZ, M. DEL C.; RIVERO, S.; SOLÓRZANO, L.; VOLL, E. Simulating the response of land-cover changes to road paving and governance along a major Amazon highway: The Santarém-Cuiabá corridor. **Global Change Biology**, v.10, n.5, p.745-764, 2004.

SOARES-FILHO, B.; MOUTINHO, P.; NEPSTAD, D.; ANDERSON, A.; RODRIGUES, H.; GARCIA, R.; DIETZSCH, L.; MERRY, F.; BOWMAN, M.; HISSA, L.; SILVESTRINI, R.; MARETTI, C. **Role of Brazilian Amazon protected areas in climate change mitigation.** Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, 2010. Doi:10.1073/pnas.0913048107.

SOARES-FILHO, B. S.; NEPSTAD, D. C.; CURRAN, L. M.; CERQUEIRA, G. C.; GARCIA, R. A.; RAMOS, C. A.; VOLL, E.; MCDONALD, A.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P. Modelling conservation in the Amazon basin. **Nature**, v.440, p.520-523, 2006.

SOARES-FILHO, B. S.; PENNACHIN, C. L.; CERQUEIRA, G. C. DINAMICA – a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. **Ecological Modelling**, v.154, n.3, p.217-235, 2002. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304380002000595>>.

SOARES-FILHO, B. S.; RODRIGUES, H. O.; COSTA, W. L. **Modeling Environmental Dynamics with Dinamica EGO**. Centro de Sensoriamento Remoto. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2009. Disponível em: <[http://www.csr.ufmg.br/dinamica/tutorial/Dinamica\\_EGO\\_guidebook.pdf](http://www.csr.ufmg.br/dinamica/tutorial/Dinamica_EGO_guidebook.pdf)> VENTANA SYSTEMS INC. Vensim from Ventana Systems Inc., Belmont, Massachusetts, E.U.A., 2007. Disponível em: <http://www.vensim.com/>.

VENTURIERI, A.; AGUIAR, A.P.D.; MONTEIRO, A.M.V.; CARNEIRO, A.; ALVES, D.; CÂMARA, G.; VIEIRA, I. C.; VEIGA, I.; ESCADA, I.; VEIGA, J.; GAVINA, J.; THALES, M.; OLIVEIRA, M.; FEARNSIDE, P. M.; ARAÚJO, R.; KAMPEL, S. A.; CARNEIRO, T. G. Sumário executivo da missão de campo na região de São Félix do Xingu/Iriri, 13 a 18 de outubro de 2004. Dinâmica de uso e ocupação do território, dinâmica de população e assentamentos humanos e modelagem computacional. Dinâmica territorial da frente de ocupação de São Félix do Xingu-Iriri: Subsídios para o desenho de políticas emergenciais de contenção do desmatamento. **Rede GEOMA**. Brasília: Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento; Ministério da Ciência e Tecnologia, 2004. 18 p. Disponível em: [http://www.geoma.lncc.br/Doc\\_Sumario\\_Exec\\_Ministro\\_Xinguri\\_Nov2004\\_Final.doc](http://www.geoma.lncc.br/Doc_Sumario_Exec_Ministro_Xinguri_Nov2004_Final.doc).

YANAI, A. M.; FEARNSIDE, P. M.; GRAÇA, P. M. L. A. Desmatamento no sul do Amazonas: Simulação do efeito da criação da Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Juma. In: EPIPHANIO, J. C. N.; GALVÃO, L. S. (Eds.). **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, Brasil 2011** São José dos Campos: INPE, 2011. p.6193-6200. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011>>.

Texto submetido à Revista em 24.03.2012  
Aceito para publicação em 12.06.2012