

## Impactos de Estradas na Amazônia Brasileira

Alexander Pfaff,<sup>1</sup> Alisson Barbieri,<sup>2</sup> Thomas Ludewigs,<sup>3</sup> Frank Merry,<sup>4</sup>  
Stephen Perz,<sup>5</sup> e Eustáquio Reis<sup>6</sup>

Examinamos a evidência de impactos de estradas amazônicas com forte ênfase no contexto. Impactos de uma nova estrada, sejam em desmatamentos ou consequências socioeconômicas, dependem das condições em que são estabelecidas as estradas. As condições que importam incluem o ambiente biofísico como declive, precipitação e qualidade do solo, além de fatores socioeconômicos determinados externamente, tais como políticas nacionais, taxas de câmbio e preços globais da carne bovina e soja. Incluem-se também as condições que influenciaram investimentos anteriores em infraestrutura e taxas de desmatamento. Em regiões onde o desenvolvimento já está instalado, com atividade econômica e desmatamento significativos, as estradas podem produzir menos impacto florestal e aumentar mais o resultado do que em regiões onde o desenvolvimento está chegando, enquanto em áreas de floresta primária, o desmatamento de curto prazo pode ser menor do que os imensos impactos de longo prazo. Essas diferenças sugerem uma consideração criteriosa sobre onde investir mais em transporte.

### 1. INTRODUÇÃO

As estradas da Amazônia brasileira em geral são descritas de modo melodramático. Por décadas, as fotografias mostram estradas de terra, remanescentes de floresta queimando lentamente, um povo pobre, e talvez a mensagem: estas são estradas não pavimentadas; imaginem o que a pavimentação e investimento de capital fariam! Tal “análise de custo-benefício visual”, não surpreendentemente, carrega algumas verdades, mas nem todas. Quando ocorre o desmatamento, ele realmente afeta os ecossistemas. Estradas aumentam o acesso à floresta e a elas segue-se o desmatamento com impactos ecológicos: fornece habitat adequado para algumas espécies, mas reduz e fragmenta outros habitats, degrada riachos e a qualidade da água, fomenta a propagação de espécies exóticas invasivas, o que causa a mortalidade da vida silvestre e a perda de espécies, e até a mudança do clima local [Trombulak e Frissell, 2000; Forman et al., 2003; Fearnside,

---

<sup>1</sup>Standord School of Public Policy, Duke University, Durham, North Carolina, USA.

<sup>2</sup>Cedeplar, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil.

<sup>3</sup>The World Bank, Brasília, Brasil.

<sup>4</sup>Woods Hole Research Center, Falmouth, Massachusetts, USA.

<sup>5</sup>Department of Sociology and Crimonology and Law, University of Florida, Gainesville, Florida, USA.

<sup>6</sup>Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Rio de Janeiro, Brasil.

2007]. Todos são impactos potenciais importantes na perda de floresta, discutidos habilmente outras partes deste livro.

Este capítulo baseia-se em pesquisa que focaliza o povo através da Amazônia ao longo do tempo. Apresentamos a perspectiva que sustenta que as estradas diferem em termos dos impactos que produzem na floresta e que a perda florestal não é o seu único impacto. Embora, em média, os investimentos em novas estradas aumentem o desmatamento, deve se reconhecer que o impacto florestal de uma estrada depende do contexto em que ocorre o investimento para a redução do custo de transporte. Além disso, a perda florestal não é a única a ser considerada, uma vez que há inúmeros impactos produzidos por estradas no ecossistema amazônico e no bem estar social.

Referimo-nos ao trabalho em diferentes escalas. Os autores deste capítulo, e certamente o grupo mais amplo cuja pesquisa citamos, analisam escalas que vão de domicílios à vilarejos, municipalidades, estado, Amazônia Legal, Brasil e a Bacia Amazônica de vários países. Embora cada escala enfatize diferentes pontos, é sempre importante considerar os impactos de estradas dentro de um contexto mais amplo.

Iniciamos com uma longa visão no tempo e espaço. Sensoriamento remoto pode ser usado em escala de tempo decadais e em escalas espaciais do Brasil e de toda a Bacia Amazônica (a Amazônia brasileira é um grande componente de ambas) para estudar a mudança na ampla cobertura florestal [ver *Alves et al.*, neste volume]. Com relação às pessoas, existem dados censitários de boa qualidade com razoável cobertura espacial e temporal, e com frequência nessas grandes escalas. Nesse nível de agregação, é claro que os custos de transporte influenciam o uso da terra. Assim, uma vez que os investimentos em estradas produzem impactos no custo de transporte, em geral, a redução do custo de transporte leva ao aumento de desmatamento. Entretanto, o contexto em que ocorrem os investimentos em estradas é importante e, até mesmo nessa ampla escala, surgem algumas diferenças com relação ao impacto de novas estradas. Observamos que o acesso anterior à floresta e as derrubadas anteriores de florestas exercem uma forte influência nos impactos estimados de novas estradas nas florestas. As novas estradas parecem produzir menos impactos imediatos quando o

desenvolvimento anterior foi mais alto ou muito baixo, embora entre esses dois pontos extremos, uma queda nos custos de transporte tem seu mais alto impacto imediato no desmatamento.

Essa variação em padrões amplos nos convida à observação em escalas menores para aprendermos mais sobre os contextos e os tipos de estradas que se estabelecem nesses ambientes. A análise em maior escala sugere que, uma vez que os processos geradores de estradas diferem em escala regional ou local (vilarejo), então a relação de estradas com o desmatamento irá diferir do mesmo modo. Dito isso, as análises nessas escalas menores também confirmam a importância geral do custo do transporte no uso da terra. Por fim, nos distanciamos para considerar a evidência de impactos de estradas nas rendas das pessoas para destacar a importância das influências não locais, inclusive as interações entre ecossistemas amazônicos, e enfatizar que as análises empíricas de estradas, conforme discutidas aqui, são relevantes para futuras políticas públicas voltadas às estradas.

## 2. CUSTOS DE TRANSPORTE AFETAM A FLORESTA

### 2.1. Ao longo de bacias e décadas

Começamos com uma longa visão do espaço e tempo, ou seja, olhando através de todo o Brasil, durante vários séculos. Nem sempre se reconhece que os custos de transporte sempre foram um fator central para a definição de padrões de desenvolvimento. Por exemplo, o solo desfavorável das terras do interior do Brasil, relevo, clima, vegetação e hidrologia limitaram o desenvolvimento tornando o custo de transporte proibitivo [*Silva, 1949; Summerhill, 2003*].

Do Rio Grande do Sul à Bahia, as densas florestas da Serra do Mar, chuvas intensas no verão e declives com quase 1000 m de altitude que mudam a 100 km da costa, tornavam as viagens e o assentamento nos planaltos centrais não convidativos, até que o ouro foi descoberto no século dezoito. Alguns rios navegáveis fluíam para o oeste, criando um desvio bem longo e aumentos de custos de transporte equivalentes. A mudança para a região nordeste do Brasil, a Serra da Borborema juntamente com os solos pobres e o clima árido, juntos faziam com que o

estabelecimento econômico fosse insustentável além na estreita faixa costeira. Por fim, na Amazônia, embora a navegação fluvial fosse e é o principal meio de transporte, a vegetação impenetrável por muito tempo restringiu os assentamentos humanos às faixas ribeirinhas [Goulart, 1959; Dean, 1995].

Durante os séculos dezesseis e dezessete, a tecnologia para o transporte de mercadorias a longa distância era essencialmente restrita aos ombros de escravos índios e africanos. Cavalos e carroças eram inadequados para as encostas íngremes da Serra do Mar, por exemplo. As mulas foram primeiramente introduzidas como substitutas de escravos durante a descoberta do ouro no século dezoito. As estradas de ferro, que introduziram as rodas pela primeira vez na história do Brasil, juntamente com o cultivo de café, foram um dos fatores chave que impulsionaram a expansão da fronteira agrícola e a industrialização da região centro-sul do país durante o último quarto do século dezenove e primeira metade do século vinte.

Caminhões e o desenvolvimento da malha rodoviária impulsionaram a fronteira agrícola para o noroeste em direção à Bacia Amazônica durante a segunda metade do século vinte. Os principais fatores subjacentes a essas mudanças foram o aumento da indústria automobilística doméstica e as prioridades e subsídios ao transporte rodoviário dentro do orçamento do governo e das tarifas públicas [Barat, 1978]. De 1960 a 1975, houve uma significativa expansão de estradas em todas as regiões do país. A rede rodoviária brasileira expandiu de 440.000 para 1.418.000 km (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, várias edições). Seguindo essa tendência, a construção de estradas foi um marco na estratégia de desenvolvimento regional da Amazônia brasileira. A primeira foi a Rodovia Belém-Brasília, completada em 1964, antes da Operação Amazônia. Essa rodovia foi a primeira a criar a conexão por terra entre a Amazônia e o resto do país. Uma consequência imediata da construção dessa estrada foi a migração para o norte do Estado de Goiás, sudeste do Estado do Pará e sul do Estado do Maranhão. A criação extensiva de gado espalhou-se de modo desorganizado, apesar dos esforços do governo para regular os assentamentos rurais [ver, por exemplo, Mahar, 1989; Mueller, 1983].

Durante os anos 70, investimentos robustos em rotas-eixo (Cuiabá-Porto Velho, completadas em 1970, Transamazônica com 2.200 km em 1974, e Cuiabá-Santarém em 1976) propiciaram o acesso enormemente melhorado às terras do interior. Almeida [1992] estima que, nesse período, o investimento em estrada atingiu US\$ 4 bilhões. Isso foi complementado por projetos de colonização e pesquisa agrícola. De 1974 a 1986, o Plano de Integração Nacional e de Redistribuição de Terra e o Programa de Estímulo ao Norte e Nordeste investiram aproximadamente 13 bilhões de dólares [Diniz, 1995]. À medida que a fronteira agrícola atingiu o Planalto Central, as oportunidades de mecanização se abriram. Os principais beneficiários disso foram os produtores de soja e criadores de gado.

Em 1984, a estrada ligando Porto Velho a Brasília foi pavimentada como parte do Programa Polonoroeste, financiado pelo Banco Mundial. O Polonoroeste incluiu três novos projetos de assentamento, com o maior deles em Machadinho, na parte nordeste do Estado de Rondônia. A ocupação de Rondônia prosseguiu pela década de 1970 e início dos anos 80, apesar da perda de controle sobre o processo de colonização a cargo do Instituto Brasileiro de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) [Monte-Mór, 2004]. O papel do INCRA limitou-se à seleção de assentados, distribuição de terra, projeto e construção de áreas urbanas e rurais nos novos projetos: estradas, parcelas rurais, núcleos urbanos e edifícios públicos [Monte-Mór, 2004; Barbieri et al., 2009].

A certa altura, esses investimentos em estradas se desaceleraram e as responsabilidades foram descentralizadas, com estados e municípios assumindo papéis mais ativos. De modo geral, esses investimentos em componentes do sistema de transporte amazônico, facilitados por investimentos iniciais federais, diminuíram os custos de transporte entre a Amazônia e o restante do país [Simmons et al., 2007; Walker et al., 2009]. Por exemplo, Walker et al. [2009] documentam que até 1995 cerca de um terço da Bacia Amazônica (no sul e leste) poderia alcançar São Paulo por transporte terrestre em menos de 50 horas, enquanto que em 1968, somente uma pequena faixa na margem sudeste tinha esse grau de acessibilidade.

Quando a construção de estradas é financiada por agências federais, as decisões dos estados e

municipalidades são subordinadas a essas agências. Entretanto, uma vez que as principais estradas eixo são construídas pelo governo federal, há uma pressão política para a expansão de estradas menores. É praticamente impossível não ceder a tais pressões nos níveis locais e estaduais.

### *2.2. Custos de transporte têm importância local também*

Amplios padrões ou associações através do espaço nem sempre se sustentam, se olharmos mais de perto. Entretanto, em níveis “micro” ou domiciliares, os custos de transporte são críticos para muitas diferentes teorias sobre o uso da terra. Portanto, é de se esperar que o transporte exerça influência localmente, também. Apresentamos, adiante, vários estudos de caso, e todos eles confirmam essa perspectiva.

De fato, a Amazônia brasileira é uma fonte de imagens famosas que associa os investimentos em transporte locais aos padrões de desmatamentos locais, ou seja, o padrão “espinha de peixe” de desmatamento de projetos de colonização. De modo geral, a “arquitetura espacial” das estradas influencia a “geometria” da floresta remanescente, com desmatamento ocorrendo mais próximo às estradas [ver, por exemplo, *Alves, 2002; Arima et al., 2005, 2008*]. Portanto, diferentes tipos de redes produzem diferentes padrões de desmatamento. As paisagens sempre exibem tipos de cobertura vegetal em forma de mosaico, cujos usos das terras urbanas e agrícolas mostram tendência a ficarem mais próximos de estradas, enquanto as florestas primárias e secundárias ficam mais distantes de estradas.

### *2.3. Múltiplos mecanismos de transmissão*

Algumas histórias locais ou modelos sugerem que os impactos produzidos por estradas são diretos e intuitivos. Novos investimentos diminuem os custos de transporte e, portanto, aumentam os preços dos produtos na fonte produtora. Ao mesmo tempo, os preços de insumos diminuem. Essas duas mudanças aumentam o lucro agrícola.

Entretanto, mais de um tipo de produto pode ser produzido numa dada propriedade, e alguns produtos tem uma melhor produção em área de floresta do que em área desmatada (ver *Andersen et al. [2002]* para discussão do valor da floresta em

pé na Amazônia brasileira). A queda dos custos de transporte poderia também aumentar os lucros de produção de produtos florestais. Portanto, para que uma nova estrada aumente o desmatamento, o ganho em lucros de produtos de área desmatada tem que ser maior do que o ganho em lucros de produtos florestais.

Outros tipos de produtos são produzidos em cidades, em terras já desmatadas [ver *Andersen et al., 2002*]. Por exemplo, em uma cidade, produtos significativos de serviços poderiam ser produzidos em uma área cuja produção agrícola tivesse valor consideravelmente mais baixo. Dada essa variação espacial dos tipos de produção, os indivíduos escolhem não apenas o que consumir, mas também a que tipos de produção dedicarão seu tempo. Novas estradas poderiam provocar a migração urbana, potencialmente na contra mão de outros efeitos na agricultura em termos de impacto na floresta como um todo. Do mesmo modo, mas dentro da atividade agrícola, novas estradas poderiam, em princípio, produzir uma concentração espacial com produção mais intensiva em menos áreas de terra. Esses mecanismos são todos importantes, dada a importância regional da urbanização.

Entretanto, os impactos de estradas na urbanização são complexos e têm muitas ligações com o desmatamento. Analisá-los requer a integração ao longo das escalas, espacial e temporalmente. *Barbieri et al. [2009]* descrevem a migração rural-urbana na Amazônia como atores que maximizam as oportunidades diante de muitos limites e oportunidades, os quais são determinados em parte pelo desenvolvimento de infraestrutura: “nos casos brasileiros e equatorianos, a urbanização (...) pode ser uma resposta típica não apenas às mudanças socioeconômicas, demográficas e de uso da terra na fronteira, mas também às mudanças estruturais da economia nacional e global.” Muitas possibilidades de impactos de estradas podem surgir dentro de tais dinâmicas.

### *2.4. Média de impactos florestais em escala de bacia*

Os resumos acima sobre grandes e pequenas escalas sugerem que onde há novas estradas haverá também mais desmatamento. Isso, de fato,

é o que estudos empíricos no plano da bacia encontram, pelo menos em média, considerando a variação dos impactos no espaço e tempo, que será discutida mais detalhadamente abaixo. Para a discussão das diferenças ao longo dos países nos ambientes em que ocorre o desmatamento, ver, por exemplo, *Geist e Lambin* [2002].

Consistente com relatos não confirmados de macro e micro escalas acima, a evidência empírica em várias escalas ao longo da Amazônia sugere que o maior acesso devido às estradas aumenta as taxas de desmatamento. A simples organização sistemática em escala de bacia, os dados no âmbito do município sobre floresta, estradas e outros fatores determinantes do uso da terra, de *Reis e Guzman* [1992] e *Pfaff* [1999], sugerem que quanto mais estradas, maior o desmatamento.

*Chomitz e Thomas* [2003] ampliam consideravelmente o número de observações por meio do uso de dados de censo territorial em vez de dados de municipalidades. Há de 10 a 20 vezes mais observações em dados de áreas censitárias do que no conjunto de dados de municipalidades. Os autores encontraram resultados consistentes com trabalhos anteriores, embora tenham observado que a média dos impactos de estrada estimada por eles e outros parece relativamente baixa (ver também G. D. de Luca, Grupo de Desenvolvimento de Pesquisa do Banco Mundial, Desenvolvimento e Desmatamento: uma revisão, manuscrito em preparação, 2007] e, para uma comparação com possíveis pressupostos típicos, ver, por exemplo, *Laurence et al.*[2001].

Seguindo *Chomitz e Thomas* [2003], A. R. *Pfaff et al.* (Estradas e desmatamento na Amazônia brasileira, submetido ao *B.E. Journal of Economic Analysis and Policy*, 2006, disponível em: [www.duke.edu/~asp9](http://www.duke.edu/~asp9); daqui em diante referido como *Pfaff et al.*, manuscrito submetido, 2006), revisitam essa questão usando extensões de terra recenseadas, e observações de estradas e mudanças florestais ao longo do tempo. A mudança ao longo do tempo e a resolução das áreas recenseadas permitem controles estatísticos específicos dos municípios para melhorar as estimativas. Focalizando as taxas de desmatamento entre 1976 – 1987 e usando os investimentos anteriores de 1968–1975 em novas estradas, os autores confirmam que novas estradas aumentam a média de desmatamento. Além disso, embora os autores considerem que os impactos de novas

estradas possam variar em razão de desenvolvimento anterior (medidos enquanto desmatamento anterior) ao dividir essa ampla amostragem em categorias anteriores ao desenvolvimento, os autores descobriram que todos os impactos significativos são os aumentos do desmatamento.

É importante observar que o impacto total de uma estrada vai além da primeira década após o investimento. Os atores irão responder ao investimento rodoviário ao longo do tempo, cuja taxa de resposta, em parte, ocorre em função da disponibilidade de outros insumos de produção. Alguns atores podem responder com investimentos adicionais, tais como infraestrutura para saúde ou educação, que complementam a estrada ao atrair migrantes. *Pfaff et al.* [2006] e D. A. Conde e A. *Pfaff* (Universidade de Duke, Investimentos sequenciais em estrada e desmatamento de florestas Maias, manuscrito em preparação, 2007) mostram, por exemplo, que investimentos anteriores em novas estradas influenciam significativamente o desmatamento futuro, influenciando investimentos posteriores.

É também importante notar que o impacto total de uma estrada irá se estender além da área recenseada ou até mesmo além do município ou região. *Pfaff* [1999], por exemplo, sugere que a densidade mais alta de estradas em uma área afeta as taxas de desmatamento em áreas adjacentes. Dados censitários permitem examinar tais reflexos espaciais numa dada região. Em princípio, uma nova estrada poderia concentrar espacialmente a atividade econômica nos limites de uma área e talvez até diminuir o desmatamento em algumas extensões. *Pfaff et al.* [2007] estendem a análise prévia de *Pfaff et al.* (manuscrito submetido, 2006) do desmatamento de 1976 – 1987 observando os investimentos anteriores em estradas. Resultados robustos mostram que o desmatamento aumenta nos setores censitários num raio de 100 km de qualquer extensão recenseada que receba novas estradas. Isso sustenta resultados anteriores que indicam um maior impacto total.

### 3. A LOCALIZAÇÃO DA ESTRADA AFETA O IMPACTO DA ESTRADA

#### 3.1. *Pristinas, altamente desenvolvidas e intermediárias*

Embora a média de resultados seja informativa, poucos investimentos em novas estradas são proporcionais em todas as suas dimensões. As estradas não pavimentadas diferem das pavimentadas: a primeira pavimentação difere da repavimentação feita sobre as anteriores. O mais importante é que a primeira estrada que oferece acesso a uma área difere de estradas adicionais. *Chomitz* [2006] observa muitas localidades e questões de políticas públicas ao enfatizar a importância da localização.

*Andersen et al.* [2002] demonstram isso explicitamente ao considerar os efeitos do desenvolvimento anterior, medidos enquanto desmatamento anterior. Com cerca de 250 observações (conglomerado de municipalidades), os autores estimam uma interação entre estradas e desmatamentos anteriores, pressupondo que o maior desmatamento anterior sempre irá aumentar ou sempre irá diminuir o impacto da estrada. Os autores acreditam que a estrada diminua o impacto, ou seja, que quando o desmatamento anterior for maior, os impactos florestais de uma nova estrada serão sempre menores. Além disso, os autores extrapolam a partir dessa estimativa de tendência constante [ver também *Weinhold e Reis*, 2008] e concluem que em desmatamentos anteriores bastante altos, a redução do custo de transporte reduzirá o desmatamento.

*Pfaff et al.* (manuscrito submetido, 2006) usam 6000 pontos de dados para encontrar fundamentação para essa ideia, mas não para esse resultado. Mais observações de áreas recenseadas permitem uma divisão dos dados em categorias de desmatamentos anteriores. Conforme *Andersen et al.* [2002], eles encontram aumentos significativos de desmatamento quando as estradas são implantadas em localidades onde menos da metade da floresta original foi desmatada (o que representa a grande maioria das áreas recenseadas). Diferentemente de *Andersen et al.*, eles constatam que os impactos de estradas são mais altos no nível seguinte ao nível mais alto do desmatamento anterior (de 50% a 75% de floresta original desmatada). Acima de 75%, o impacto é insignificante. Portanto, o impacto de estradas é menor com índices mais altos ou mais baixos de desenvolvimento anterior, e o impacto é maior em condições intermediárias de desenvolvimento anterior. Isso dá suporte à discussão sobre a

relevância do desenvolvimento anterior. Entretanto, contradiz uma simples tendência e nunca é negativo. Como acabamos de observar, a extrapolação dessa tendência pode produzir impactos estimados negativos não encontrados de outra forma. As observações de *Conde e Pfaff* (manuscrito em preparação, 2007) sobre florestas maias no México, Guatemala, e Belize dão suporte a esses resultados. As taxas de desmatamento nunca caem após investimentos em novas estradas, e se refutarmos a simples tendência linear, os aumentos de desmatamento são menores em áreas pristinas do que em áreas de desenvolvimento anterior mediano.

*Pfaff et al.* [2006] usaram, então, dados de estradas ao longo do tempo para medir desenvolvimento anterior usando estradas anteriores. Para examinar empiricamente se isso seria pertinente ou não, *Pfaff et al.* [2006] separaram os investimentos nas novas estradas pavimentadas que deram continuidade às estradas pré-existentes e não pavimentadas de uma dada área recenseada, e investimentos em novas estradas em áreas recenseadas que não contemplavam a pavimentação de estradas pré-existentes não pavimentadas. Os autores observaram que os investimentos em novas estradas pavimentadas em lugares onde havia estradas não pavimentadas não produzem impactos significativos no desmatamento, controlando também os impactos de estradas anteriormente pavimentadas. Com os mesmos controles, os investimentos em novas estradas pavimentadas, sem estradas previamente pavimentadas, causam o aumento de desmatamento. Portanto, enquanto as novas estradas nunca diminuem o desmatamento, esses resultados, que utilizam estradas previamente estabelecidas para medir o desenvolvimento anterior, dão suporte à ideia de que uma estrada pode produzir impactos menores diante do alto desenvolvimento.

*C.I. Delgado et al.* (Duke University, New roads are not all made equal: REDD-relevant evidence on the influence of prior development from a deforestation frontier in the tri-border region of Brazil, Peru and Bolivia, manuscrito em preparação, 2008) encontraram o mesmo resultado na Rodovia Interoceânica na Amazônia brasileira ocidental e Peru, que também é próxima a Bolívia e influencia o desmatamento nesse país. Quando construída

pela primeira vez, como uma rota não pavimentada, a rodovia claramente causou o aumento das taxas de desmatamento nos três países. Entretanto, a pavimentação da estrada no Brasil após 2000 não parece ter influenciado o desmatamento local.

Usando três categorias de desenvolvimento anterior a partir de Pfaff et al. (manuscrito submetido, 2006), e usando estradas já existentes para medir o desenvolvimento anterior, de Pfaff et al. [2006], Pfaff e Robalino [2009] aplicaram dados de pixels em toda a Amazônia brasileira. Isso produziu outro salto significativo nas observações, possibilitando medir a distância à estrada mais próxima como controle do desenvolvimento anterior no estudo dos impactos de novas estradas e permitindo a aplicação de métodos equivalentes para uma melhor inferência causal. Os resultados sustentaram a idéia de Pfaff et al. (manuscrito submetido, 2006: impactos iniciais mais altos da estrada em extensões médias de distância da estrada anterior; impactos iniciais mais baixos quando as estradas anteriores mais próximas estão ou muito distantes, em fronteiras isoladas sem condições de auxiliar a produção, ou muito próximas, onde o desenvolvimento existente, dado o acesso anterior, pode gerar uma dinâmica de desmatamento com impacto distinto dos efeitos da estrada.

Esse padrão de impactos, que varia espacialmente em função dos níveis de desenvolvimento anterior, sugere que o padrão espacial de redes emergentes irá afetar os impactos do desenvolvimento na floresta. Por exemplo, se o caminho mais curto para um objetivo de desenvolvimento é por meio do desenvolvimento anterior médio, então considerar caminhos alternativos mais longos juntamente com rotas existentes de transporte pode envolver uma permuta entre os custos mais elevados de estrada e o desmatamento mais baixo. Essa permuta poderá ser atraente ou não em função de pagamentos de carbono.

Com base nos impactos da primeira década citados aqui, pode-se pressupor a mesma permuta para caminhos mais longos através de áreas pristinas. Entretanto, enquanto os aumentos de desmatamento ocorridos na primeira década nessas áreas podem ser mais baixos do que os aumentos nas regiões de desenvolvimento anterior médio, lembramos que o impacto total de uma

nova estrada inclui mudanças de longo prazo resultantes de investimentos adicionais que se seguem à nova estrada (e Pfaff et al. [2006] mostram que na Amazônia brasileira, muitas novas estradas se seguiram às antigas). Portanto, o impacto de mais longo prazo devido à abertura de acesso às áreas não perturbadas pode ser consideravelmente maior. Além disso, se o habitat de espécies (em oposição ao estoque de carbono) fosse uma preocupação prevalente sobre a floresta, então os impactos da fragmentação por corte através de habitats prístinos poderiam dominar mesmo no curto prazo (considerem, por exemplo, os impactos estimados de novas estradas no habitat de jaguar em Conde Ovando [2008]).

### 3.2. Onde estão as estradas, por que, e daí?

As estradas não são posicionadas aleatoriamente por planejadores com olhos vendados, como se atirassem dardos em mapas. Ao contrário, tais investimentos significativos em infraestrutura em geral são movidos por motivações específicas. Estas podem ser identificáveis a partir de documentos históricos. Entretanto, tais documentos muitas vezes não existem ou podem não representar detalhes chave de reuniões ou até mesmo, de modo intencional, não serem revelados de forma alguma. Aqui temos que substituir tais documentos por associações estatísticas e nossas próprias interpretações.

A razão para se fazer isso é que a motivação tem importância. Especificamente, uma falta de entendimento da razão pela qual uma estrada foi estabelecida pode confundir a avaliação da causa do impacto de novas estradas à floresta. Pressupomos que os planejadores de estradas tivessem mais informações disponíveis do que temos como analistas. Portanto, é possível que não tenhamos condições de considerar estatisticamente alguns fatores que tiveram importância. Por exemplo, se os planejadores têm por objetivo situar uma estrada no lugar mais provável do *boom* da produção agrícola e se não observarmos todos os fatores que fizeram isso acontecer, é possível que possamos atribuir os impactos de tais fatores às estradas.

Ao simplificar e formalizar isso, D. Weinhold et al. (London School of Economics, Land use and transportation cost in the Brazilian Amazon,

manuscrito em preparação, 2006) estende o trabalho de *Andersen et al.* [2002] a avalia estatisticamente se algumas estradas surgem acompanhando o desmatamento anterior. Eles verificaram que é esse o caso. Portanto, uma porção significativa de investimentos em estradas pode se seguir a algum desenvolvimento anterior, o que pode indicar aos planejadores de estradas que vários fatores irão facilitar a obtenção de mais resultados.

Ao longo dessa discussão, vemos que uma fração significativa de todas as estradas na Amazônia brasileira está próxima de uma cidade. Em vários casos, isso está associado ao padrão de colonização patrocinado pelo INCRA, conhecido como urbanismo rural, que estabeleceu as cidades como “locais” de organização social e econômica em várias partes da Amazônia [*Barbieri et al.*, 2009]. Uma base lógica estabelecida era “trazer a cidade ao campo” com a ligação das parcelas rurais às áreas urbanas por meio de uma malha rodoviária local. Esse foi um componente central de uma estratégia para a ocupação efetiva da Amazônia [*Barbieri et al.*, 2009]. *Browder e Godfrey* [1997], ao considerar assentamentos em Rondônia, sugerem que isso reproduziu na floresta uma infraestrutura e abandono encontrados em favelas de áreas mais desenvolvidas do Brasil.

Para o nosso objetivo, considerando os resultados acima de que os impactos de estradas nas florestas variam com o contexto, o lugar onde, de fato, as estradas são alocadas claramente afeta seus impactos reais e estimados. Assim, se as novas estradas do passado tivessem sido frequentemente instaladas em locais onde seus impactos fossem, de fato, relativamente baixos, a análise em nível regional poderia mostrar, erroneamente, que os impactos são sempre baixos. Entretanto, os críticos poderiam ainda estar corretos ao afirmar que uma nova estrada em particular poderia produzir um aumento significativo no desmatamento.

#### 4. TIPOS DE ESTRADAS E PROCESSOS

##### 4.1. *Oficiais versus não oficiais*

As estradas são variadas na Amazônia. Pode-se distingui-las pela construção (ex., pavimentadas versus não pavimentadas) ou outras especificações de engenharia, mas outra distinção útil é classificá-

las em estradas “oficiais” e “não oficiais” [*Brandão e Souza*, 2006; *Perz et al.*, 2005, 2007a, 2007b]. As estradas oficiais, ou “primárias” ou “de desenvolvimento”, são estradas inter-regionais construídas ou financiadas pelos governos federal ou estaduais. Elas aparecem em mapas oficiais e atravessam centenas de quilômetros conectando cidades em diferentes partes do país ou mesmo em diferentes países. Exemplos na Amazônia brasileira incluem estradas bem conhecidas como a Transamazônica, a Cuiabá-Santarém (BR-163) e a BR-364 que atravessa o Estado de Rondônia. As principais razões para a construção de estradas oficiais incluem a integração regional para facilitar o desenvolvimento econômico mediante o acesso aos mercados globais, bem como objetivos geopolíticos, como a segurança das fronteiras nacionais.

As estradas oficiais têm recebido considerável atenção como projetos de infraestrutura em grande escala, muitas vezes iniciados com muito pouco debate público. Projetos de estradas oficiais do passado na Amazônia nos anos 60 e 70 estão ligados a desmatamento considerável e violência rural em conflitos sobre a terra [*Goodland e Irwin*, 1975; *Schmink e Wood*, 1992]. Portanto, não é de se surpreender que novos projetos de estradas oficiais na região tenham sido criticados substancialmente em razão de seus impactos prospectivos [ver, por exemplo, *Laurance et al.*, 2001], inclusive debate específico sobre pavimentação de estradas [*Nepstad et al.*, 2002].

Em termos de seus impactos totais, tem sido observado que as estradas oficiais formam redes esparsas [*Arima et al.*, 2005]. Elas são poucas em número e correm paralelas e separadas por centenas de quilômetros de distância, com poucas interseções (apesar de que as interseções e a efetividade da rede aumentariam sob o atual plano de novas estradas). Pelo menos, com a rede atual, isso poderia deixar grandes blocos de floresta intactos. Entretanto, conforme mostrado acima, os investimentos em estrada e acesso tendem a gerar outros investimentos, inclusive de outras novas estradas. Dessa forma, os impactos indiretos de estradas oficiais com acesso a áreas pristinas podem ser consideráveis.

Em particular, as estradas oficiais podem estimular a construção de estradas não oficiais. Estradas “secundárias” de “assentamentos” ou de “extração madeireira”, dependendo de quem as



constroem, são criadas por atores não governamentais, como madeireiros e colonos. O principal objetivo de sua construção é facilitar o acesso aos recursos naturais. Elas podem ser simplesmente para subsistência local. Apesar das complexidades e conflitos que possam surgir, discutiremos a governança abaixo.

As estradas não oficiais servem, então, especificamente à exploração de recursos naturais e dão suporte às economias de comunidades baseadas em recursos naturais em áreas de fronteira. De fato, outra denominação para estradas não oficiais seria “estradas endógenas” uma vez que seus trajetos acompanham diretamente as oportunidades locais para maiores mercados. Essas estradas podem até ser financiadas pela atividade local de extração lucrativa e terminam quando a lucratividade também cessa.

Muitos projetos de estradas oficiais incluem melhoria em vez de nova construção (ex., o conhecido projeto Avança Brasil inclui pavimentação significativa de estradas não pavimentadas). As estradas não oficiais, ao contrário, estão agora sendo construídas rapidamente. A interpretação de imagens de satélite propicia mapas dessas estradas [Brandão e Souza, 2006]. Análise do centro-oeste do Estado do Pará, uma área de fronteira, revela rápida expansão. De 1990 a 2001, as estradas não oficiais cresceram de 5.042 para 20.769 km. Durante esse período, a extensão de estradas oficiais permaneceu estável. Até o ano de 2001, as estradas não oficiais atingiram mais de 80% do total da malha rodoviária na área. O mapeamento de áreas da Amazônia brasileira também revela extensas redes de estradas não oficiais [Lentini et al., 2005, pp. 78 – 79].

#### 4.2. Extração madeira e estradas não oficiais

Talvez o ator chave na construção de estrada não oficial na Amazônia seja a indústria madeireira [Grogan et al., 2002; Arima et al., 2005, 2008]. Os madeireiros constroem estradas para chegar à madeira de maior valor, aumentando lucros ao minimizar distâncias, ao mesmo tempo em que evitam encostas íngremes e rios que requerem pontes de alto custo. Dessa forma, os madeireiros

constroem estradas através de paisagens ao longo de contornos topográficos [ver Arima et al., 2005].

Madeireiros constroem estradas de qualidade variada. Estradas para grandes áreas para explorações multianuais em geral são de alta qualidade para garantia de trafegabilidade, enquanto as estradas para acesso de curto prazo são de baixa qualidade. Há permutas temporais de custo nesse aspecto: custos mais elevados de construção de estradas podem diminuir a manutenção. Isso tem importantes ramificações. Redes de estradas para extração pesada de madeira tendem a ser temporárias e abandonadas quando a extração rentável de madeira se esgota, enquanto que as estradas para grandes pátios madeireiros permanecem por muitos anos.

Um investimento ligado aos madeireiros preocupados com a quantidade/volume são os caminhões maiores [Stone, 1998]. Conhecidos como “Romeo e Julieta”, os grandes caminhões com duplo trailer são muitas vezes aquisições prematuras dos madeireiros, que não levam em consideração a qualidade da extração madeireira. Os investimentos do governo afetam tais decisões [Bauch et al., 2007]. Investimentos em pavimentação que diminuem os custos de transporte propiciam a expansão da atividade madeireira para o interior da floresta. O papel do governo pode até afetar os tomadores de decisão. Lima e Merry [2003] e Bausch et al. [2007] observaram uma tendência em subcontratar o transporte, possivelmente para evitar a burocracia para a movimentação de toras.

O esgotamento da madeira próxima a mercados impulsiona a expansão de estradas. Lucros iniciais da extração madeireira ajudam a custear essas expansões. Portanto, enquanto a extração madeireira for lucrativa, as estradas não oficiais serão construídas [Perz et al., 2007a, 2007b]. O resultado é uma extensa malha rodoviária para extração madeireira em muitas áreas distantes até 200 km de centros urbanos. Em termos de impacto, mesmo em áreas de extração seletiva, essas redes mostram extensiva degradação da floresta [Nepstad et al., 1999].

#### 4.3. Colonização e estradas não oficiais

Áreas de colonização em fronteiras também exibem construção de estradas não oficiais, embora sigam uma lógica de alguma forma diferente daquela dos madeireiros. Ao longo de rodovias oficiais como a Transamazônica e a BR-364, o estado construiu estradas alimentadoras, que cruzam perpendicularmente a estrada a cada 5 km, formando uma arquitetura de “espinha de peixe”. As alimentadoras se estendem em até 10 km em ambas as direções das estradas primárias, mas a migração passou a demandar terras mais distantes. Assim, os colonos começaram a estender, não oficialmente, as estradas alimentadoras [Walker, 2003]. O foco dos colonos era também o título de posse da terra e os direitos para prover uma base para a subsistência familiar.

Para facilitar o reconhecimento pelo Estado das terras reivindicadas, os colonos escolheram rotas que seguiam o desenho da rede oficial de estradas. Isso funcionou, e também motivou extensões adicionais de estradas [Walker, 2003]. Recentemente, o Estado procurou reconhecer novas áreas de colonização como meio de proibir a construção adicional de estradas que avançariam em áreas protegidas. Entretanto, o reconhecimento oficial das estradas apenas motivou prolongamentos adicionais e o aumento da colonização informal [Perz et al., 2005, 2007a].

O sucesso dessa estratégia deveu-se à habilidade dos colonos de formar grupos para pressão política. A descentralização do Estado no Brasil durante a década de 90 deu poderes aos governos municipais em muitas funções, inclusive manutenção de estradas. Conseqüentemente, surgiram promessas de manutenção de estradas em campanhas políticas em muitas partes da Amazônia, com negócios barganhados por “votos para a estrada”. Apesar de a literatura da ecologia política enfatizar desigualdades, disputas e conflitos em relação aos recursos naturais [ex., Schmink e Wood, 1992; Hall, 1989], alguns casos de estradas não oficiais ilustram o potencial de cooperação e negociação da construção de estradas para acesso aos recursos.

#### 4.4. Interações entre colonos, madeireiros e indígenas

A ecologia política cooperativa está também evidente nas relações ente colonos e madeireiros

com respeito à construção de estrada. Um desafio para a construção de estradas madeireiras no Brasil é que a posse da terra tem que ser para uso produtivo e permanente da terra, enquanto os madeireiros frequentemente extraem a madeira e se mudam. A presença de colonos oferece uma solução. Os colonos com posse definitiva da terra cujas estradas são de baixa qualidade fazem acordos com madeireiros para vender a madeira em seus terrenos em troca da construção e/ou manutenção de estradas. Os migrantes que buscam adquirir terra fazem esses negócios para conseguir estradas não oficiais que atinjam terras sem título de posse. Os colonos ganham o acesso à estrada ou manutenção, enquanto os madeireiros recebem cobertura legal.

Entretanto, as estradas não oficiais podem também gerar tensões sociais e revelar conflitos tais como a rota de uma nova estrada. Por exemplo, enquanto os madeireiros buscam minimizar custos e evitar rios, os colonos buscam estradas ao longo da frente de seus lotes, em geral em linhas retas. Os madeireiros que procuram construir estradas através de um lote mantido por um colono para conseguir alcançar madeira em uma área mais remota podem, então, enfrentar negociações difíceis [Perz et al., 2005; 2007a]. A extensão de estradas não oficiais às vezes também transgride reservas indígenas e florestas estaduais, criando conflitos sobre a posse da terra. A demarcação do território indígena Cachoeira Seca do Iriri ao sul da Rodovia Transamazônica é controversa porque estradas não oficiais construídas por madeireiros em território indígena têm propiciado aos colonos se assentarem, informalmente, nessas terras [ver Perz et al., 2005, 2007a].

## 5. CASOS ESPECÍFICOS DE ESTRADAS

### 5.1. Transporte e uso da terra no Acre

#### 5.1.1. Projeto de Colonização Humaitá

Esse projeto foi estabelecido em 1981 em Porto Acre, no Estado do Acre, em 60.334 hectares que se estendem sobre o Rio Acre. A capital do estado, Rio Branco, é acessível ao longo de 35 km de estradas pavimentadas (AC-010). Diferentemente da maioria dos projetos de colonização financiados

pelo governo em terras públicas na Amazônia, Humaitá foi um projeto de reforma de redistribuição de terra em área de propriedade privada. Donos de fazendas de borracha queriam vender porções da terra, em parte devido ao declínio da economia da borracha.

Seu desenho é uma rede de estradas radiais ao redor de uma vila central, originalmente dividida em 951 lotes (ZEE 2000:38), todos implementados pelo INCRA. O desenho radial propicia uma boa conexão entre as estradas secundárias e a principal estrada pavimentada até Rio Branco, mas assim como ocorreu com as “espinhas de peixe”, o desenho não levou em conta o sistema de drenagem da microbacia.

As estratégias de uso da terra para agricultura e criação animal diversificada dependem de estradas apropriadas a todas as estações do ano da região de Humaitá. A maioria dos produtos agrícolas é levada ao mercado durante a estação chuvosa, quando as condições das estradas não pavimentadas em geral são sofríveis. A criação animal diversificada compõe-se principalmente de laticínios e peixes. Várias fazendas relataram mudanças na estratégia de uso da terra após perder safras agrícolas e produção de leite devido ao acesso ineficiente aos centros urbanos e mercados. Ambos os tipos de produtos dependem também de acesso à eletricidade, que provavelmente está correlacionada com as condições da rede rodoviária. Falta de acesso ao mercado é provavelmente o maior fator que mantém famílias por meio da “agricultura de subsistência”, sustentando a tese de von Thünen sobre a ligação entre renda por área e proximidade urbana [Dunn, 1970; Walker et al., 2009].

A pavimentação da BR-317 irá ligar o Acre ao Oceano Pacífico como parte do *Avança Brasil* para facilitar o escoamento da produção agrícola do Brasil central aos mercados internacionais (a Ásia, em particular) e intensificar o desenvolvimento da economia amazônica [Nepstad et al., 1999]. Presume-se que essa conexão impulse a economia e produza mudanças na cobertura vegetal ao longo da BR-317 [Brown et al., 2002].

### 5.1.2. Impactos de estradas.

Os custos de transporte são altamente significativos para a explicação das opções de uso

da terra por agricultores no assentamento de Humaitá. Em distâncias mais longas e custos mais altos de transporte, encontra-se mais atividade de subsistência e extrativismo; com custos mais baixos de transporte, mais terra é usada na agricultura e na criação animal diversificada. Uma regressão logística polinômica de 63 produtores mostra um efeito significativo nas estratégias de uso da terra.

As estradas também têm importância para a rotação de lotes e consolidação da terra. Durante os estágios iniciais do desenvolvimento da fronteira, os assentados desprovidos de infraestrutura ficam isolados de mercados e serviços. Eles podem abandonar seus lotes ou podem vendê-los a baixos preços à investidores. Durante estágios mais avançados do desenvolvimento de fronteira, com infraestrutura e mercado de terras, os fazendeiros encontram incentivos para vender à medida que a demanda por terra aumenta o seu preço. Um exame de custos de transporte ao longo do tempo e área total de terra (um indicador de consolidação de lotes) mostra uma ligação positiva altamente significativa. Portanto, a consolidação de mais terras possivelmente ocorra mais distante de centros urbanos [Ludewigs, 2006].

À medida que a vida do assentamento continuou, dificuldades de acesso a centros urbanos em áreas remotas de Humaitá levaram um grande número de produtores a vender seus lotes a preços mais baixos do que seriam obtidos em áreas de maior acessibilidade. Observe que os retornos de investimentos em compra de terra nessas áreas têm sido favoráveis com a pecuária ou especulação fundiária, que dão segurança contra a inflação. Investidores de terra dão preferência a lotes contíguos que podem ser consolidados em propriedades maiores, o que facilita a atividade pecuária. Entretanto, os lotes servidos por melhores estradas e mais próximos aos centros urbanos tiveram lucros suficientemente mais altos na agricultura que fizeram com que os produtores colonos quisessem se mudar para Humaitá.

### 5.1.3. Demanda e oferta por estrada

Quais condições socioeconômicas e ambientais reforçam a importância de estradas? O calendário agrícola, com base no ciclo sazonal de precipitação ao longo do ano, faz com que o período de colheita

da maior parte dos cultivos agrícolas caia durante a estação chuvosa. Esse também é o período do ano quando a qualidade das estradas torna-se pior, dado o impacto negativo da precipitação na manutenção das condições das estradas.

Portanto, a manutenção de estradas é importante [Nelson, 1973]. Tem-se observado que a frequência de tráfego pesado, além de fatores como o tipo de solo, relevo e a geografia do sistema de drenagem, todos eles influenciam as condições das estradas e devem ser considerados quando de sua manutenção. Entretanto, a alocação das despesas de manutenção de estradas está associada não apenas às suas condições mas, sobretudo, à influência política de produtores e de associações de produtores rurais. Investidores fundiários com conexões junto ao governo conseguem atrair manutenção. Associações bem organizadas de produtores também podem também ter acesso a isso. Esse é um caso claro em que o potencial do produto pode afetar os investimentos em estradas e que podem, então, confundir as estimativas do impacto; pelo menos, as evidências observadas em locais onde há mais estradas podem não ser aplicáveis a locais onde há poucas estradas.

A participação de investidores, públicos e privados, em vários programas da terra pode ajudar a melhorar a construção e a manutenção de estradas. Exemplos promissores de parcerias público-privadas em estradas foram identificados na região de Santarém. *Nepstad et al.* [2004] e *Lima et al.* [2006] observaram que uma única madeireira pode criar mais de 700 km de estradas de acesso à áreas agrícolas em assentamentos do INCRA. Elas podem atender, mais efetivamente, às demandas de fazendeiros por melhor infraestrutura rodoviária e regularização fundiária. Elas também têm aumentado a comercialização legal de madeira. A maior eficiência no uso de recursos aumenta a chance de os assentados permanecerem em seus lotes.

## 5.2. Estradas e pequenos proprietários na Transamazônica

*Merry et al.* [2006] mostram que para os assentamentos de pequenos proprietários na Rodovia Transamazônica, quanto maior a distância a uma cidade, menor o valor da terra dos assentados (o que confirma as observações de

*Walker et al.* [2002] de que os sistemas de alto valor tendem a estar mais próximos da Transamazônica do que aqueles de menor valor, como os sistemas de subsistência). Para cada quilômetro adicional a partir da cidade, o valor por hectare diminui em R\$ 2,19 (ou aproximadamente US\$ 1,00). Esse resultado está, grosso modo, consistente com mais de três regimes de assentamentos estudados, comprados e formalmente assentados pelo INCRA, e os assentados informalmente. Esses resultados sustentam a argumentação de que a distância desempenha um papel importante nos valores da terra.

Sob condições difíceis ao longo da Rodovia Transamazônica, é de se esperar que a qualidade da estrada seja da maior importância para os resultados gerados. Estradas de má qualidade tendem a desaparecer em pouco tempo ou se tornar intratáveis na estação chuvosa. A porção “melhorada” da estrada, i.e., coberta com cascalho, varia consideravelmente nessa área e, por isso, tal hipótese pode ser testada. *Merry et al.* [2006] observa que a qualidade da estrada em termos de ser apenas de terra ou coberta com cascalho não afeta os valores da terra. As estradas para “todas as estações do ano”, com cascalho, atualmente compreendem apenas 22% da distância média total, o que talvez seja muito pouco para afetar os valores nesses assentamentos.

*Merry et al.* [2006] também consideram a relação desses regimes de assentamento com as estradas. Por exemplo, em média, os indivíduos mantêm os lotes durante três anos depois da construção da estrada. Entretanto, *Merry et al.* classificam essa relação por regime para revelar diferenças significativas. Os assentados formais chegaram quase que simultaneamente com as estradas. Os assentados informais chegaram 2,3 anos mais tarde, em média, enquanto aqueles que compraram os lotes chegaram 4,8 anos, em média, após o estabelecimento da estrada. Essas claras diferenças mostram as tendências típicas dessa área, cujas estradas pioneiras surgem com o assentamento formal seguido por assentamento informal ao longo do prolongamento informal da estrada, construído ou por assentados ou por madeireiros, e depois pela formalização do mercado da terra à medida que mais compradores formais da terra entraram na área.

### 5.3. Estradas, mobilidade populacional e desmatamento da Amazônia ao norte do Equador

#### 5.3.1. Exploração petrolífera e assentamento inicial

A Amazônia ao Norte do Equador (ANE) é uma floresta chuvosa de planície tropical esparsamente povoada e uma área de extraordinária biodiversidade [Myers *et al.*, 2000; Billsborrow *et al.*, 2004]. A altitude varia no sopé dos Andes até 200 m acima do nível do mar na fronteira leste com o Peru. O solo é mais fértil do que na maior parte de áreas em baixios na Amazônia do Peru e do Brasil, com bolsões vulcânicos de solos (pretos), embora a qualidade seja altamente variável, e muito solo vermelho infértil. Diferentemente da Amazônia brasileira, a Amazônia equatoriana tem estação de crescimento ao longo de todo o ano, com chuva que ocorre em todos os 12 meses. Isso faz com que o desmatamento por corte e trituração (deixando as árvores cortadas se decomporem) tenha pouca queima. Nessa área, diferentemente da Amazônia brasileira, a agricultura comercial em grande escala, pecuária e extração madeireira nunca tiveram papéis importantes, pois a maior parte do desmatamento florestal ocorre nas mãos de pequenos produtores [ver também Brondizio *et al.*, neste volume].

A colonização inicial, a partir da década de 60 até a de 80, está estreitamente ligada à descoberta e exploração de petróleo na província de Sucumbios, próxima ao que se tornaria o Lago Agrio (Nueva Loja). O petróleo tornou-se a fonte de exportação lucrativa mais importante do país. Desde a década de 60, as companhias petrolíferas têm construído estradas embrenhadas nas planícies florestais para a instalação e conexão de oleodutos à rede para escoamento de petróleo através dos Andes até Esmeraldas para exportação.

Uma consequência importante da exploração de petróleo foi o estabelecimento de uma rede de estradas pelas empresas petrolíferas. Isso facilitou muito o assentamento. Pesquisas anteriores no Equador [Rudel, 1983; Southgate *et al.*, 1991] e em outros lugares (ex., Almeida [1992] no Brasil, Heckendon [1983] no Panamá, Kaimowitz [1997] na Bolívia) verificaram que o acesso rodoviário é um fator predominante no desmatamento. A infraestrutura rodoviária na ANE foi melhorada

como resultado de uma certa expansão e alguma pavimentação de estradas primárias, além da construção ou expansão de estradas secundárias.

Ao se pensar sobre os impactos de estradas em florestas, observamos que Billsborrow *et al.* [2004] e Barbieri *et al.* [2006] mostram que, ao contrário do Brasil, Indonésia e outros países, o assentamento na ANE foi espontâneo, não patrocinado pelo governo. Migrantes se estabeleceram ao longo de estradas do petróleo, com sucessivas chegadas, e reivindicavam terrenos atrás de fazendas ao longo das estradas. A maioria veio de Sierra, região caracterizada por pobreza rural e extrema concentração de assentamentos e minifúndios, que deram um forte impulso populacional (versus qualquer movimento a partir de terras abundantes e baratas na ANE). Os colonos eram pobres e chegaram sem capital para investir em seus terrenos. Assim, as estradas de petróleo abriram vastas áreas de floresta para os assentados, facilitando o desmatamento na ANE. A cobertura florestal na área de estudo diminuiu de basicamente 100% em 1970 a 59% em 1990 e 45% em 1999 [Billsborrow *et al.*, 2004]. Parte do desmatamento deveu-se à criação de subdivisões de fazendas ao longo de estradas durante a década de 90. Mas, a expansão rodoviária também ocorreu. Em 1999, 51% das propriedades relataram alguma construção de estrada ou melhorias próximas às casas desde 1990.

#### 5.3.2. Segunda geração de colonos e urbanização

A década de 90 trouxe uma segunda onda importante de desmatamento ligada à emigração de grande parte de filhos e filhas de famílias de migrantes pioneiros assentados, rumo a outras áreas rurais da Amazônia equatoriana [Barbieri, 2006; Barbieri *et al.*, 2006]. Um levantamento de campo realizado em 1999 mostrou muitas novas subdivisões de terras associadas à demanda de terra por filhos de colonos pioneiros ao atingir a idade adulta. Eles ocuparam e desmataram florestas intactas em suas terras ou se mudaram para outra área de floresta na Amazônia ou para áreas incipientes na ANE. De modo geral, a mobilidade populacional e redistribuição são agora fatores demográficos dominantes em regiões tais como a ANE, uma vez que a fertilidade e a

mortalidade diminuíram consideravelmente, assim como também o crescimento populacional natural [Barbieri, 2006].

Dada essa dinâmica demográfica, a malha rodoviária relativamente extensiva foi um fator chave do desmatamento, pois facilitou a migração a outras áreas rurais e urbanas [Barbieri, 2006]. O levantamento de 1999, por exemplo, mostrou que as subdivisões surgiram ao longo de estradas e próximas às cidades devido à importância da mobilidade da mão de obra. Cabe notar que mesmo a migração urbana poderia ser considerada parte de um processo em andamento da produção agrícola ligada ao desmatamento, nos casos em que as famílias diversificam a renda para se dedicar à múltiplas fontes de risco e, portanto, continuam produzindo [ver, por exemplo, Barbieri, 2006; Barbieri et al., 2006; Barbieri e Carr, 2005; Barbieri et al., 2005].

Ao acompanhar as subdivisões que se desenvolvem próximas às estradas, Barbieri [2006] mostra que as maiores distâncias que podem ser percorridas a pé da propriedade até a estrada mais próxima diminuem as impossibilidades da migração rural-urbana e o emprego local fora das áreas rurais para as velhas e as novas coortes de colonos. Esses custos de transporte local parecem impedir significativamente as interações entre várias localidades.

Essas pressões de desmatamento continuam no presente. Alta fertilidade, novos imigrantes, a expectativa de uma maior expansão da indústria petrolífera (devido às recentes descobertas de grandes reservas e início da construção de um segundo oleoduto trans-andino) e, conseqüentemente, a expansão de redes rodoviárias em todos os pontos de pressões crescentes na floresta na ANE. Mena et al. [2006] constataram que a Reserva Cuyabeno Wildlife, uma das áreas protegidas mais importantes no Equador, e dentro da ANE, está ameaçada depois que a concessão para exploração de petróleo foi outorgada à companhia petrolífera brasileira Petrobrás. As estradas existentes e aquelas planejadas que levam à Reserva Cuyabeno tornaram-se recentemente um grande facilitador de assentamentos em áreas da Reserva e proximidades.

## 6. CONTEXTOS SOCIOECONÔMICOS MAIS AMPLOS

### 6.1. Estrada local e benefícios ao desenvolvimento

Até este momento, nosso foco quase exclusivo foi o impacto de novas estradas no desmatamento. Entretanto, devemos suspeitar que deve haver uma razão pela qual as pessoas fazem todo o esforço necessário para construir estradas e não para o desmatamento disseminado da floresta que em si mesmo é raramente ou sequer mencionado como objetivo (embora as políticas de regularização fundiária que recompensam pela “melhoria” da terra cheguem perto tal incentivo direto). Falando claramente, embora as motivações para estradas sejam diferentes em espaço e tempo, é possível que alguns atores tenham associado à nova construção da estrada alguma forma de benefícios locais e regionais.

Por exemplo, a noção de que os impactos socioeconômicos de uma estrada podem ser positivos se dá no âmbito da propriedade e do vilarejo. Tanto as estradas oficiais quanto as não oficiais oferecem acesso aos recursos naturais, facilitam acesso de produtores rurais ao mercado, a integração de setores econômicos, reduzem os custos da mobilidade espacial de pessoas, de capital e de informação [Owen, 1987; Vance, 1986]. Desse modo, as estradas são, claramente, centrais ao desenvolvimento econômico e ao bem-estar social.

As estradas não oficiais são instrumentais nas economias locais. As madeireiras fornecem trabalho para muitas das comunidades fronteiriças. Grandes serrarias empregam até 300 empregados por empresa. O setor também gera empregos indiretos tais como reparos de trator, transporte de madeira aparelhada e vendas de produtos madeireiros. Além de empregos, as estradas construídas pelos madeireiros melhoram o acesso de populações rurais aos mercados locais, onde podem vender seus produtos hortigranjeiros, e aos serviços urbanos como educação e serviços médicos. As comunidades rurais, portanto, vêem as estradas madeireiras como cruciais para a melhoria da qualidade de vida [Perz et al., 2005].

Dito isso, os impactos socioeconômicos não são um mar de rosas. As mudanças no acesso podem muito bem produzir conflitos sociais sobre a terra e outros recursos naturais, além da discussão sobre

os impactos nas estratégias pré-existentes de meio de vida, inclusive, por exemplo, aquelas baseadas em recursos ameaçados [Brown *et al.*, 2002; Reid e Bowles, 1997; Schmink e Wood, 1992]. Essas consequências certamente não são causadas exclusivamente pelas estradas em si mesmas. Entretanto, pelo menos podemos dizer que as consequências do desenvolvimento em novas fronteiras têm altos e baixos não apenas ao longo do tempo mas também em termos de distribuição através dos grupos.

Voltando a uma visão mais ampla de tal evidência empírica através do espaço, vamos considerar a análise de Andersen *et al.* [2002] de dados censitários da Amazônia em nível regional. Em resumo, os autores acham que ao longo de décadas os ganhos obtidos com a produção agrícola e pecuária na Amazônia aumentaram. Os resultados dessa análise sugerem que os produtores individuais aprenderam pelo princípio “aprenda-fazendo” e que um fator importante foi também a adaptação de cultivares e tecnologias fornecidas pela pesquisa agrícola da empresa de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (Cattaneo [2001, 2005] também apóia a importância de tais inovações na agricultura).

Andersen *et al.* [2002] estimam o valor da terra desmatada na Amazônia mediante a aplicação de três métodos: preços observados da terra, sítio de estudos de agricultura no Pará [Almeida e Uhl, 1995] e Acre [Vosti *et al.*, 2001] e simulações por modelos de regressão de desmatamento no plano de suas próprias municipalidades que contam com dados censitários sobre o uso anterior da terra. Os autores apontam que uma perspectiva útil em todas essas estimativas é que em uma região com terra abundante e escassez variável de mão de obra e de capital espera-se que o retorno por hectare varie amplamente e espera-se, do mesmo modo, que essa mão de obra e esse capital de hora extra tornem-se menos escassos, enquanto a terra pode se tornar mais escassa.

Vosti *et al.* [2001] descobriram que fazendas com tecnologias tradicionais típicas no Acre produzem atualmente um valor presente líquido descontado de \$400 ha<sup>-1</sup> (usando uma taxa de desconto de 9%). Isso poderia ser duplicado com mais tecnologias intensivas, mas muitas [fazendas] não dispõem de recursos para custos de mão de obra e capital. Almeida e Uhl [1995] verificaram que no Pará, o valor presente líquido da terra com

cultivos perenes sustentáveis é de cerca de US\$ 5000 ha<sup>-1</sup> (embora usem a taxa de desconto de 6%).

As simulações baseadas em dados censitários de municipalidades por Andersen *et al.* [2002] claramente também variam de acordo com a taxa de desconto adotada. A incorporação das mudanças rurais e urbanas ao produto interno bruto (PIB) associado às novas estradas construídas durante o período de 1970 – 1995, aplicando uma taxa de 2% de desconto, os autores encontram um valor presente líquido por hectare da terra desmatada de US\$ 5676 (similar a Almeida e Uhl, embora eles observem que há dúvidas sobre a melhor forma de acrescentar resultados rurais e urbanos). Os autores também observam que os ganhos urbanos são relativamente constantes, embora os benefícios rurais tenham aumentado ao longo do tempo.

Fazendo uma ligação com a questão de contexto, Andersen *et al.* [2002] observam que os ganhos de PIB sobre estradas pavimentadas são maiores em regiões onde houve atividade econômica anterior. Retomando o que se discutiu acima, que os impactos de desmatamento produzidos por novas estradas em áreas altamente desmatadas podem ser menores (talvez principalmente quando são somados os impactos que são possíveis de produzir desdobramentos ao longo do tempo como todas as respostas às estradas, inclusive as novas), esses resultados do impacto do PIB podem bem sugerir que a razão do ganho de PIB em relação à perda de floresta poderia ser maximizada com uma forma de zoneamento espacial no qual as novas estradas intensificam o desenvolvimento que já vem ocorrendo em vez de abrir áreas relativamente pristinas para desmatamento.

## 6.2. *Influências não locais sobre os investimentos em transporte e seus impactos*

Quase tudo o que se discutiu acima diz respeito às ações e consequências na Amazônia em si. Ainda mais espacialmente específico, tudo se refere às condições locais em que ocorre um investimento em estrada e aos impactos locais produzidos na floresta, emprego e produto. A exceção, que não foi local, embora ainda nos limites da bacia, foi o reflexo desmatamento espacial nas áreas adjacentes.

No entanto, a interação espacial pode ocorrer nos dois sentidos. Do mesmo modo que uma estrada em uma dada localidade pode afetar a floresta em outras áreas, as mudanças socioeconômicas em outras áreas, não locais, podem afetar a floresta em locais onde ocorreram investimentos em estradas locais. Elas podem afetar a quantidade total de floresta, considerando os investimentos anteriores em estradas como fixos, e podem afetar os impactos dos investimentos em estrada nas florestas.

Outros países têm exemplos de tais interações ao longo do espaço e tempo [Pfaff, 2000]. Na região de New England, no nordeste dos Estados Unidos, à medida que a população se espalhou e a produção agrícola aumentou, as florestas desapareceram regularmente até meados de 1800. Então, as ferrovias ligaram a região ao centro-oeste, onde as terras agrícolas mais planas e de alta qualidade exerceram pressão contínua sobre os lucros agrícolas em New England. Então, os preços agrícolas locais também caíram. Essa influência externa dominou os insumos florestais na região. Apesar do aumento crescente da população e produção, a floresta de New England aumentou.

Isso não seria surpreendente se não tivessem sido construídas estradas em New England. Entretanto, esse foi o caso, apesar da construção de estradas. Enquanto tudo o mais que corresponde às novas estradas pode aumentar os lucros agrícolas e empurrar mais algumas parcelas para o limiar do desmatamento, um abalo importante nesses lucros implica que poderíamos construir muitas estradas e as terras anteriormente desmatadas ainda se recuperariam. Então, a direção do negócio é decisiva. Pfaff e Walker [2009] aplicam esse pensamento à Amazônia.

Voltando à Amazônia, então, comparável à qualidade do solo do centro-oeste são os preços externamente determinados na Amazônia: a taxa de câmbio do real e os preços da carne bovina e soja. Do mesmo modo, como observado acima, uma semelhança à introdução da ferrovia nos Estados Unidos que aumentou a floresta no nordeste é a introdução da inovação na agricultura do Brasil que facilitou a produção e, neste caso, diminuiu a floresta amazônica. Tais fatores podem ser dominantes.

Cattaneo [2001] considera tal inovação (que é o foco de seu trabalho de 2005 citado acima) e a taxa de câmbio. Seu modelo de equilíbrio geral

computável sugeriu que uma desvalorização do real, em termos reais, na época, no longo prazo teria levado a um declínio de 12% do desmatamento. De modo mais geral, as mudanças nos preços relativos de importação e exportação têm importância.

Qualquer que seja o nível da taxa de câmbio, outro importante preço é o da soja. Embora o Brasil seja um grande produtor, em cada nível do fornecimento da soja brasileira, muitos fatores globais, tais como o consumo de soja na China, irão influenciar significativamente aquele preço (para uma discussão relevante ver, por exemplo, *Nepstad et al.* [2006] cuja Figura 1 mostra as tendências temporais para toda a Amazônia, bem como M. Del Vera Diaz et al. (An interdisciplinary model of soybean yield in the Amazon Basin, manuscrito em preparação, 2007, cuja Figura 1 indica os centros produtores de soja). Esse fator chave de incentivo à produção pode afetar não apenas o desmatamento, dada a infraestrutura de transporte, mas também os planos de desenvolvimento de infraestrutura adicional, tais como o transporte da soja em direção ao leste de Belém (*Fearnside* [2001] e *Nepstad et al.* [2002], por exemplo, apresentam uma discussão de planos de transporte).

A importância de tais influências faz com que a previsão das taxas de desmatamento seja um desafio. Mesmo com perfeito conhecimento das condições locais e, mesmo também com perfeito controle sobre a infraestrutura de transporte local e outras políticas, para se prever perfeitamente os níveis de desmatamento e impactos de novas estradas é necessário considerar os efeitos de tais influências externas.

## 7. CONTEXTOS ECOSSISTÊMICOS MAIS AMPLOS

Até agora, examinamos o seguinte: as condições locais, biofísicas e socioeconômicas com foco nas estradas podem afetar os usos da terra e desmatamento locais; os efeitos das estradas locais no desmatamento em áreas não locais (por exemplo, as adjacentes); e os efeitos de mudanças socioeconômicas não locais sobre a floresta local.

Isso deixa fora os impactos de mudanças biofísicas não locais. Sem dúvida, as mudanças nos sistemas hidrológicos e climáticos em algum lugar na Amazônia e fora dela podem trazer mudanças na hidrologia e clima em qualquer localização da



Amazônia [ver *Silva Dias et al.*, neste volume; *Marengo et al.*, neste volume]. A interação espacial pode se dar em ambas as direções, i.e., muitas mudanças na Amazônia têm importância em qualquer lugar também.

Retomando, em primeiro lugar devemos afirmar explicitamente que em geral o contexto biofísico influencia fortemente o uso da terra e o desmatamento. Embora isso não tenha sido enfatizado anteriormente, nas análises de desmatamento em todas as escalas citadas acima, os fatores biofísicos como encosta, precipitação total e distribuição, e qualidade do solo foram, repetidas vezes, mostrados como sendo empiricamente significativos, K. Anderson et al. (The effects of climate change on profitability and land use in Brazilian agriculture: A municipal cross-section analysis, apresentação no XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2007) focalizaram alguns trabalhos recentes sobre o impacto no clima, e ver *Chomitz e Thomas* [2003] para evidências de tais limites.

Considerando tais efeitos, e ainda, que o desmatamento pode afetar a função do ecossistema, o potencial para retroalimentação iterativa entre as escolhas existe quanto ao uso da terra e adaptações do ecossistema. Isso permite, em princípio, múltiplos equilíbrios no uso da terra e na função do ecossistema. Embora esses modelos não estejam ainda bem desenvolvidos, um exemplo de uma parte é o impacto no clima da exploração do desmatamento da terra por *Moore et al.* [2007]. Quando tais conexões são estabelecidas empiricamente, juntamente com outro trabalho sobre o impacto de elementos particulares no uso da terra, tais como distribuição de precipitação, talvez a modelagem integrada de uso da terra e de ecossistemas possa melhorar as previsões de impactos.

Por fim, devemos mencionar o padrão espacial. Até aqui focalizamos explicitamente apenas a quantidade total de desmatamento e o padrão temporal de derrubada. Considerando que ocorreram desmatamento e desenvolvimento, sugerimos que os impactos de novas estradas no desmatamento e ganhos socioeconômicos possam ser consideravelmente alterados.

Padrão espacial tem importância também (ver, por exemplo, os trabalhos de *Laurence e Bierregaard* [1997] e *Bierregaard et al.* [2001]). Em um dado nível de perda total de floresta, a

afirmação geral é que quando há fragmentos remanescentes menores, mais irregulares e mais isolados, então a função ecológica foi prejudicada ainda mais [*Laurence e Bierregaard*, 1997; *Bierregaard et al.*, 2001; *Laurence et al.*, 2002]. Diz-se que tais danos têm potencial para causar não apenas a perda da biodiversidade, mas também o colapso de biomassa e emissões de carbono que contribuiriam significativamente para a mudança climática [*Gash et al.*, 1996].

A fragmentação da floresta está associada não apenas a essas amplas mudanças no ecossistema, mas também às interações espaciais locais por meio do fogo. A degradação via fragmentação pode elevar as temperaturas de superfície e reduzir a precipitação e, em consequência, elevar os riscos de seca. Juntamente com o aumento da queda de serapilheira de árvores que estão morrendo, isso aumenta a possibilidade de fogo, que por sua vez aumenta a vulnerabilidade da floresta ao modificar a estrutura da vegetação [*Cochrane et al.*, 1999; *Nepstad et al.*, 2001; ver também *Meir et al.*, neste volume]. Como indicam os resultados acima, esses pontos ecológicos sugerem atenção cuidadosa aos direcionamentos espaciais da localização de uma nova estrada.

## 8. CONCLUSÕES

### 8.1. Contexto e impacto de estrada

Nossa ênfase maior foi no contexto. Os impactos de novas estradas na perda florestal e ganhos sociais dependem das condições sob as quais as estradas são alocadas. As condições significativas incluem os vários fatores biofísicos que afetam o uso da terra como as encostas, a precipitação e a qualidade do solo. Elas também incluem fatores socioeconômicos externos como políticas nacionais, taxas de câmbio e o preço da soja.

Além disso, enfatizamos, em particular, que as condições que exercem influência incluem estradas anteriores e desmatamento. Em locais onde o desenvolvimento já se instalou com investimentos e acesso para as pessoas, as novas estradas podem produzir uma menor redução da floresta e um maior aumento da produção do que quando se embrenham em áreas pristinas. A crença em tais

diferenças sugere uma consideração cuidadosa de onde investir também em transporte.

Há limites quanto à precisão das previsões temporais sobre os impactos de novas estradas baseadas no passado. Mas, até mesmo as diferenças robustas, relativamente aproximadas nos impactos de novas estradas através do espaço, são significativas para o planejamento ao longo do tempo. Argumentos adicionais de primeira ordem da ciência de ecossistemas, tais como sobre os impactos da fragmentação espacial de qualquer porção de floresta, também parecem relevantes para políticas relativas às estradas. Evidências socioeconômicas e ecológicas podem apoiar, por exemplo, a manutenção da floresta intacta (em pé) em grandes áreas.

Quanto a como fazer isso, certamente um passo seria direcionar os investimentos ao longo de rotas já estabelecidas. A pavimentação de estradas não pavimentadas que já tenha gerado desmatamento poderia, aparentemente, gerar contribuições adicionais ao bem estar, com aumentos colaterais relativamente mais baixos de desmatamento. Entretanto, vimos que os investimentos em estradas podem ser seguidos por outros investimentos que incluem novas estradas adicionais. Portanto, medidas para limitar o crescimento ou a disseminação do desenvolvimento seriam valiosas ao tratar das permutas entre desenvolvimento e objetivos de conservação. Sugeriu-se, por exemplo, que alocar áreas protegidas ao longo de estradas (em um “parque rodoviário”) pode limitar os impactos das estradas. Embora exista pouca evidência para discutir essa possibilidade, C. Delgado et al. (Might protected areas constrain road deforestation impacts? Reserva Extrativista Chico Mendes e a Rodovia Interoceânica, artigo apresentado na Conferência Amazonas em Perspectiva, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Brasil, 2008.) analisam a Reserva Extrativista Chico Mendes e observam que, embora ela tenha sido mais desmatada do que outras reservas no Acre, ela está de fato impedindo um desmatamento considerável, dada a sua localização próxima à Rodovia Interoceânica.

## 8.2. Governança da fronteira e impactos relativos

A questão dos impactos previstos foi levantada em várias ilustrações úteis de cenários relativos às taxas futuras de desmatamento na Amazônia [ver, por exemplo, *Laurence et al.*, 2001; *Soares-Filho et al.*, 2006 e *Walker et al.*, 2007]. Vistos como um todo, os cenários das florestas amazônicas parecem sugerir que alguma forma de aprimoramento de reservas, zoneamento ou governança poderia ter impactos muito maiores em, por exemplo, na diminuição da perda florestal, do que teriam as potenciais mudanças causadas pela alteração no planejamento de novas estradas.

Isso levanta algumas questões, inclusive sobre como melhor estimar os impactos de estradas no planejamento espacial de transporte. Quando uma nova estrada penetra em áreas pristinas, como observado, haverá imensa pressão para investimentos federais, estaduais e complementação local para melhorar a qualidade de vida local ao longo do tempo e espaço. Portanto, embora possa se delinear o impacto colateral de cada investimento (o que poderia ser complicado), o efeito de longo prazo da nova estrada de acesso à área pristina é maior, em muito, do que as perdas florestais locais dos primeiros anos.

Isso também levanta a questão sobre qual fronteira de governança é viável. Modelos que geram claros impactos potenciais de governança pressupõem que qualquer nível desejado de prevenção de desmatamento pode ser atingido e, implicitamente, a custos razoáveis. Esse pode ser o caso de Costa Rica, mas pode não ser para a gigante fronteira da Amazônia. *Chomitz* [2006] enfatiza vários desafios de governança.

Ao combinar governança e estradas, nossas discussões referentes às pressões por estradas não oficiais enfatizam questões críticas. Por um lado, essas estradas são cruciais para a sobrevivência e o desenvolvimento de comunidades em áreas fronteiriças. Por outro, as estradas não oficiais geram perdas ecológicas, bem como alguns problemas sociais e, se a extração de recursos locais for insustentável, elas podem apenas atrasar declínios inevitáveis de comunidades fronteiriças.

Isso significa que para uma trajetória favorável, as estradas não oficiais requerem governança efetiva. A governança ambiental em geral tem recebido atenção considerável nos últimos anos, o que reforça modelos baseados na relação Estado e comunidade [*Perz et al.*, 2007b]. Os modelos

baseados no Estado dão ênfase a parques, redução de impostos e incentivos para uso sustentável de recurso, e punição aos infratores. Entretanto, eles têm tido apenas uma efetividade variada dentro da Amazônia, devido às grandes áreas para serem monitoradas e à limitada capacidade de aplicação das leis.

Nas estradas não oficiais, a falta da presença do Estado na Amazônia tem produzido uma geração de atores locais acostumados à uma relativa autonomia e resistentes aos regulamentos impostos pelo Estado. Isso leva à discussão de abordagens de base comunitária para governança ambiental. Eles salientam o fato de que as pessoas na Amazônia têm administrado os recursos naturais por gerações e, cada vez mais, demonstram habilidade de mobilização para formar organizações locais. Entretanto, a governança comunitária é dificultada por desigualdades locais e pelo potencial de captura por famílias poderosas, e ainda por uma capacidade limitada de responder às ameaças externas de processos em grande escala [Perz *et al.*, 2007b].

Modelos de governança híbrida combinam a capacidade do Estado e a supervisão com a participação de base comunitária e a responsividade às exigências locais. O Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia procurou trabalhar com comunidades ao longo da BR-163 para engajá-las no zoneamento ao longo da estrada [Nepstad *et al.*, 2002]. Grupos de trabalho procuraram ligar dados do uso anterior da terra e projeções de cenários futuros ao planejamento [Alencar *et al.*, 2004]. Outro exemplo é a “Iniciativa (MAP) Madre de Dios, Acre, Pando, no sudoeste da Amazônia, onde a Rodovia Interoceânica está sendo pavimentada (ver Iniciativa MAP, 2007, disponível em [www.map-amazonia.net](http://www.map-amazonia.net) e Brown *et al.* [2002]). Esse esforço trinacional tem focalizado as trocas no cruzamento de fronteiras entre investidores em estradas, clima, e outras mudanças prospectivas na região. Isso gerou atividades de base comunitária com algum apoio do Estado para planejar e mitigar os impactos da pavimentação de estradas oficiais e expansões de estradas não oficiais. Ao pensar sobre o impacto futuro de estradas, devemos entender não apenas os planos oficiais de desenvolvimento espacial e os contextos mais amplos nos quais os novos investimentos em estradas podem ocorrer, mas também os contextos críticos locais.

*Agradecimentos:* A. Pfaff agradece aos inúmeros pesquisadores que não foram os autores, mas cujos trabalhos e sugestões contribuíram para este capítulo, inclusive muitos durante as reuniões científicas do LBA. Ele também reconhece, com gratidão, todo o apoio financeiro concedido pela Tinker Foundation Inc. e ao programa “LBA” da NASA (i.e., projetos NASA NCC5-694 e NNG06GD96A). O apoio financeiro para treinamento do doutorando Thomas Ludewigs na Universidade de Indiana (IU) foi concedido pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq/Governo Brasileiro), pelo Anthropological Center for Training and Research on Global Environmental Change (ACT – IU) como parte de um auxílio da NASA à pesquisa, pela School of Public and Environmental Affairs (SPEA – IU), pelo Center for Institutions, Populations and Global Environmental Change (CIPEC – IU), e pelo WWF Prince Bernhard Scholarship Fund for Nature Conservation.

## REFERÊNCIAS

- Alencar, A., D. Nepstad, D. McGrath, P. Moutinho, P. Pacheco, M. del C. Vera Diaz. E B. Soares Filho (2004), Desmatamento na Amazônia: Indo Além da ‘Emergência Crônica’, Belém, IPAM.
- Almeida, A. L. O. (1992), *The Colonization of Amazon*, Univ. of Texas Press, Austin, TX.
- Almeida, O.T., and Uhl, C. (1995), Developing a quantitative framework for sustainable resource-use planning in the Brazilian Amazon, *World Dev.*, 23, 1745-1764.
- Alves, D. S. (2002), Space-time dynamics of deforestation in Brazilian Amazonia, *Int. J. Remote Sens.*, 23, 2903-2908.
- Alves, D. S., D. C. Morton, M. Batistella, D. A. Roberts, and C. Souza Jr. (2009), The changing rates and patterns of deforestation and land use in Brazilian Amazonia, *Geophys. Monogr. Ser.*, doi: 10.1029/12008GM000722, this volume.
- Andersen, L.E., C. W. J. Granger, E.J. Reis, D. Weinhold, and S. Wunder (2002), *The Dynamics of Deforestation and Economic Growth in the Brazilian Amazon*, Cambridge Univ. Press.
- Arima, E. Y., R. T. Walker, S. G. Perz, and M. M. Caldas (2005), Loggers and forest fragmentation: Behavioral models of road building in the Amazon basin, *Ann. Assoc. Am. Geogr.*, 95, 525-541

- Arima, E. Y., R. T. Walker, M. Sales, C. Souza Jr., and S. G. Perz (2008), Emergent road networks and the fragmentation of space in the Amazon Basin, *Photogram. Phot. Eng. Remote Sens.*, 74(6), 699-709.
- Barat, J. (19'18), A Evolução dos Transportes no Brasil, IBGE, Rio de Janeiro.
- Barbieri, A. F. (2006), People, Land, and Context: Multi-scale Dimensions of Population Mobility in the Ecuadorian Amazon, ProQuest /UMI, Ann Arbor, Mich.
- Barbieri, A. F., and D. L. Carr (2005), Gender-specific out-migration, deforestation and urbanization in the Ecuadorian Amazon, *Globo Planet. Change*, 47(24), 99-110.
- Barbieri, A. F., D. O. Sawyer, and B. S. Soares-Filho (2005), Population and land use effects on malaria prevalence in the Southern Brazilian Amazon, *Human Eco* 1., 33 (6), 847 -874.
- Barbieri, A. F., R. E. Bilsborrow, and W. K. Pan (2006), Faem household lifecycles and land use in the Ecuadorian Amazon, *Popul. Environ.*, 27(1), 1-27.
- Barbieri, A. F., R. L. M. Montemor, and R. E. Bilsborrow (2009), Towns in the jungle: Exploring linkages between rural-urban mobility, urbanization and development in the Amazon (no prelo) in: *Urban Population and Environment Dynamics in the Developing World: Case Studies and Lessons Learned*, edited by A. de Sherbinin et al., CICRED, Paris, France.
- Bauch, S. C., G. S. Amacher, and F. D. Merry (2007), Cost of harvest, transport, and milling in the Brazilian Amazon: Estimation and policy implications, *For. Policy Econ.*, 9, 903-915.
- Bierregaard, R. O., Jr., C. Gascon, T. E. Lovejoy, and R. C. G. Mesquita (Eds.) (2001), Lessons from Amazônia: The Ecology and Conservation of a Fragmented Forest, Yale Univ. Press, New Haven, Conn.
- Bilsborrow, R. E., A. F. Barbieri, and W. Pan (2004), Changes in population and land use over time in the Ecuadorian Amazon, *Acta Amazonica*, 34(4), 635-647.
- randão, A. O., Jr., and C. M. Souza Jr. (2006), Mapping unofficial roads with Landsat images: A new tool to improve the monitoring of the Brazilian Amazon rainforest, *Intl. J. Remote Sens.*, 27, 177-189.
- Brondizio, E. S., A. Cak, M. M. Caldas, C. Mena, R. Bilsborrow, C. T. Futmema, T. Ludewigs, E. F. Moran, and M. Batistella (2009), Small farmers and deforestation in Amazonia, *Geophys. Monogr. Ser.*, doi: 10. 10299/2008GM000716, this volume.
- Browder, J. O., and B. J. Godfrey (1997), Rainforest Cities: Urbanization, Development and Globalization of the Brazilian Amazon, Columbia Univ. Press.
- Brown, I. F., S. H. C. Brihante, E. Mendoza, I. R. de Oliveira (2002), Estrada de Rio Branco, Acre, Brasil aos Portos do Pacifico: Como maximizar os benefícios e minimizar os prejuízos para o desenvolvimento sustentável da Amazônia Sul-Occidental, in *La Integración Regional entre Bolivia, Brasil y Peru, Serie Seminarios, Mesas Redondas y Conferencias, no. 25*, edited by A. Wagner Tizón, and R. Santa Gadea Duarte, pp.281-296, CEPEI (Centro Peruano de Estudios Internacionales), Lima, Peru.
- Cattaneo, A. (2001), Deforestation in the Brazilian Amazon: Comparing the impacts of macroeconomic shocks, land tenure and technological change, *Land Econ.*, 77 (2), 219-240.
- Cattaneo, A. (2005), Inter-regional innovation in Brazilian agriculture and deforestation in the Amazon: Income and environment in the balance, *Environ. Dev. Ecol.*, 10, 485-511.
- Chomitz, K. M. (2005), *At Loggerheads? Agricultural Expansion, Poverty Reduction, and Environment in the Tropical Forests*, World Bank Policy Research Report, World Bank, Washington, D. C.
- Chomita K. M., and T. S. Thomas (2003), Determinants of land use in Amazonia: A fine-scale spatial analysis, *Am. J. Agric. Econ.*, 85(4), 1016-1028.
- Cochrane, M., A. Alencar, M. D. Schulze, C. M. Souza Jr., D. C. Nepstad, P. Lefebvre, and E. A. Davidson (1999), Positive feedbacks in the fire dynamic of closed canopy tropical forests, *Science*, 284, 1832-1835.
- Conde Ovando, D. A. (2008), Road impacts on jaguar habitat in the Mayan forest, Ph.D. thesis, Duke Univ., Durham, N. C.
- Dean, W- (1995), *With Broadx and Firebrand-The Destruction of the Brazilian Atlantic Forest*, Univ. of California Press, Los Angeles.
- Diniz, C. C. (1995), *A Dinâmica Regional Recente da Economia Brasileira e Suas Perspectivas*, Texto

- para Discussão, No. 375, IPEA. Rio de Janeiro. Brazil.
- Dunn, E. S., Jr. (1970), The equilibrium of land-use patterns in agriculture, in *Spatial Economic Theory*, R. D. Dean et al., pp. 233-249, The Free Press, New York.
- Feamside, P. M. (2001), Soybean cultivation as a threat to the environment in Brazil, *Environ. Conserv.*, 28(1),23-38.
- Feamside, P. M. (2007), Brazil's Cuiaba-Santarem (BR-163) Highway: The environmental cost of paving a soybean corridor through the Amazon, *Environ. Manage.*, 39,501414.
- Forman, R. T. T., et al. (2003), *Road Ecology: Science and Solutions*, Island Press, Washington, D. C.
- Gash, J. C. H., C. A. Nobre, J. M. Roberts, and R. L. Victoria (Eds.) (1996), *Amazonian Deforestation and Climate*, John Wiley, Chichester.
- Geist, H. J., and E. F. Lambin (2001), *What Drives Tropical Deforestation? A Meta-analysis of Proximate and Underlying Causes of Deforestation Based on Subnational Case Study Evidence*, *LUCC Report Series*, no. 4, LUCC International Project Office, Univ. of Louvain, Belgium.
- Goodland, R. J. A., and H. S. Irwin (1975), *Amazon Jungle: Green Hell to Red Desert? A Discussion of the Environmental Impact of the Highway Construction Program in the Amazon Basin*, Elsevier, New York.
- Goulart, J. A.. (1959), *Meios de Transporte e Instrumentos de Transporte no Interior do Brasil*, Ministério da Educação e Cultura, Serviço de Documentação, Rio de Janeiro, Brazil.
- Grogan, J., P. Barreto, and A. Verissimo (2002), *Mogno na Amazônia Brasileira: Ecologia e Manejo*, IMAZON, Belém, Brazil.
- Hall, A. L. (1989), *Developing Amazonia: Deforestation and Social Conflict in Brazil's Carajas Programme*, Manchester Univ. Press, Manchester, UK.
- Heckandon, S. (1983), *Cuando se Acaban los Montes*, Impretex (for Smithsonian Tropical Research Institute), Panama City, Panama.
- Kaimowitz, D. (1997), Factors determining low deforestation: The Bolivian Amazon, *Ambio*, 26(8), 537-540.
- Laurance, W. F., and R. O. Bierregaard Jr. @ds.) (1997), *Tropical Forest Remnants: .Ecology, Management and Conservation of Fragmented Communities*, University of Chicago Press, Chicago, Ill.
- Laurance, W. F., M. A. Cochrane, S. Bergen, P. M. Fearnside, p. Delamonica, C. Barber, S. D'Angelo, and T. Fernandes (2001), The future of the Brazilian Amazon, *Science*, 291, 438 - 439.
- Laurance, W. F., T. E. Lovejoy, H. L. Vasconcelos, E. M. Bruna, R. K. Didham, P. C. Stouffer, C. Gascon, R. O. Bierregaard, S. G. Laurance, and E. Sampaio (2002), Ecosystem decay of Amazonian forest fragments: A 22-year investigation, *Conserv. Biol.*, 16,605-618.
- Lentini, M., D. Pereira, D. Celentano, and R. Pereira (2005), *Fatos Florestais da Amazônia 2005*, IMAZON, Belém, Brazil.
- Lima, E., and F. Merry (2003), The views of Brazilian producers-Increasing and sustaining exports, in *Growing Timber Exports: The Brazilian Tropical Timber Industry and International Markets*, IIED *Small and Medium Enterprise Series*, no. 1., edited by D. Macqueen, pp. 82-102, IIED, London, UK.
- Lima, E., F. Merry, D. Nepstad, G. Amacher, C. Azevedo-Ramos, F. Resque, and P. Lefebvre (2006), Searching for sustainability: Forest policies, smallholders, and the Trans-Amazon Highway, *Environment*, 48, 26-37.
- Ludewigs, T. (2006), *Land-use decision making, uncertainty and effectiveness of land reform in Acre, Brazil*, Ph.D. dissertation, Indiana University, Bloomington, Ind.
- Mahar, D. (1989), *Government Policies and Deforestation in Brazil's Amazon Region*, Technical report, World Bank (World Wildlife Fund, Conservation Foundation), Washington, D.C.
- Marengo, J., C. A. Nobre, R. Betts, p.
- Cox, G. Sampaio, and L. Salazar (2009), Global warming and climate change in Amazonia: Climate-vegetation feedback and impacts on water resources, *Geophys. Monogr., Ser.*, doi: 10.1029/2008GM000743, this volume.
- Meir, P., et al. (2009), The effects of drought on Amazonian rain forests, *Geophys. Monogr. Ser.*, doi: 10.1029/2008GM000882, this volume.
- Mena, C. F., A. F. Barbieri, S. J. Walsh, C. M. Erlien, F. L. Holt, and R. E. Bilsborrow (2006), Pressure on the Cuyabeno Wildlife Reserve: Development and land use/cover change in the

- Northern Ecuadorian Amazon, *World Dev.*, 34,1831-1849.
- Merry, F., G. Amacher, D. Nepstad, P. Lefebwe, E. Lima, and S. Bauch (2006), Industrial development on logging frontiers in the Brazilian Amazon, *Int. J. Sustain. Dev.*,9,277-296.
- Monte-Mór, R.L. (2004), Modernities in the Jungle: Extended Urbanization in the Brazilian Amazonia, Calif. unpublished Ph.D. dissertation, University of California, Los Angeles.
- Moore, H., E. Arima, R. Walker, and R. Ramos da Silva (2007). Uncertainty and the changing hydroclimatology of the Amazon, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L14707, doi: 10.1029/2007GL030157.
- Mueller, C. C. (1983), O Estado e a Expansão da Fronteira Agro-pecuária na Amazônia Brasileira, *Estud. Econ.*,13(3),657479.
- Myers, N., R. A. Mittermeier, C. G. Mittermeier, G. A. da Fonseca, and J. Kent (2000), Biodiversity hotspots for conservation priorities, *Nature*, 403, 853-858.
- Nelson, M. (1973), *The Development of Tropical Lands*, Johns Hopkins Univ. Press, Baltimore, Md.
- Nepstad, D. C., et al. (1999), Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire, *Nature*, 398, 505-508.
- Nepstad, D., G. Carvalho, A. C. Barros, A. Alencar, J. P. Capobi-anco, J. Bishop, P. Moutinho, P. Lefebwe, U. Lopes Silva Jr., and E. Prins (2001), Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon forests, *For. Ecol. Manage.*, 154,395-407.
- Nepstad, D. C., D. McGrath, A. Alencar, A. C. Barros, G. Carvalho, M. Santilli, and M. del C. Vera Diaz (2002), Frontier governance in Amazonia, *Science*, 295,629-630.
- Nepstad, D., A. Alencar, A. C. Barros, E. Lima, E. Mendoza, C. A.Ramos, and P. Lefevre (2004), Governing the Amazon timber industry, in *Working Forests in the Neotropics: Conservation Through Sustainable Management?*, edited by D. Zarin et al., Columbia Univ. Press, New York.
- Nepstad, D. C., C. M. Stickler, and O. T. Almeida (2006). Globalization of the Amazon soy and beef industries: Opportunities for conservation, *Conserv. Biol.*, 20, 1595-1603.
- Owen, W. (1987), *Transportation and World Development*. Johns Hopkins Univ. Press, Baltimore, Md.
- Perz, S. G, C. Souza Jr., E. Arima, M. Caldas, A. O. Brandrão Jr., F. K. A. Souza, and R. Walker (2005), O dilema das estradas não oficiais na Amazônia, *Ciênc. Hoje*, 37,56-58.
- Perz, S. C., M. M. Caldas, E. Y. Arima, and R. T. Walker(2007a), Socio-spatial processes of unofficial road-building in the Amazon: Socioeconomic and biophysical explanations, *Dev. Change*, 38,529--551.
- Perz, S. G., C. Overdevest, E. Y. Arima, M. M. Caldas, and R. T. Walker (2007b), Unofficial road building in the Brazilian Amazon: Dilemmas and models of road governance', *Environ. Conserv.*, 34, 112-121.
- Pfaff, A. (1999), What drives deforestation in the Brazilian Amazon? Evidence from satellite and socioeconomic data, *J. Environ. Econ. Manage.*, 37 (I), 26-43.
- Pfaff, A. (2000), From deforestation to reforestation in New England, in *Global Prospects of Deforestation and Forest Transition*, edited by M. Palo and H. Vanhanen, Springer, New York.
- Pfaff, A., and J. Robalino (2009), REDD Roads? Spatial frontier dynamics and spatial variation in causal impacts in the Brazilian Amazon, Presentation and draft for EPA Spatial Land-use Frontiers of Economics Workshop, Washington, D. C.,26 June.
- Pfaff, A., and R. Walker (2009). Regional Interdependence and Forest Transitions: Forest loss elsewhere limits local transitions' global relevance, *Land Use Policy*, in press.
- Pfaff A., et al. (2006), Econometric estimation of deforestation impacts from roads and other drivers, paper presented at LBA 10th Science Team Meeting, Natl. Inst. of Amazonian Res., Brasilia, 6 Oct.
- Pfaff, A., et al. (2007), Road investments, spatial spillovers, and deforestation in the Brazilian Amazon, *J. Reg. Sci.*, 47,109-123.
- Reid, J. W., and I. A. Bowles (1997), Reducing the impacts of roads on tropical forests, *Environment*, 39, 10-17 .
- Reis, E. J., and R. Guzman (1992), An econometric model of Amazon deforestation, IPEA/Rio Working Papers.

- Rudel, T. (1983), Roads, speculators, and colonization in the Ecuadorian Amazon, *Human Ecol.*, 11,385-403.
- Schmink, M., and C. H. Wood (1992), *Contested Frontiers in Amazonia*, Columbia Univ. Press, New York.
- Silva Dias, M. A., R. Avissar, and P. Silva Dias (2009), Modeling the regional and remote climatic impact of deforestation, *Geophys. Monogr. Ser.*, doi: 10.1029/I2008GM000817, this volume.
- Silva, M. M. F. (1949), *Geografia dos Transportes no Brasil*, IBGE, Rio de Janeiro, Brazil.
- Simmons, C. S., R. T. Walker, E. Arima, S. Aldrich, and M. Caldas (2007), The Amazon Land War in the South of Pará, *Ann. Assoc. Am. Geogr.*, 97 (3), 567-592.
- Soares-Filho, B. S., D. C. Nepstad, L. M. Curran, G. C. Cerqueira, R. A. Garcia, C. A. Ramos, E. Voll, , A. McDonald, P. Lefebvre, and P. Schlesinger (2006), Modeling conservation in the Amazon Basin, *Nature*, 440, 520-523.
- Southgate, D., R. Sierra, and L. Brown (1991), The causes of tropical deforestation in Ecuador: A statistical analysis, *World Dev.*, 19(9),1145-1151.
- Stone, S. W. (1998), Evolution of the timber industry along an aging frontier: The case of Paragominas (1990-1995), *World Dev.*, 26, 433-448.
- Summerhill, W. R. (2003), *Order Against Progress*, Stanford Univ. Press, Stanford, Calif.
- Trombulak, S. C., and C. A. Frissell (2000), Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic ecosystems, *Conserv. Biol.*, 14,18-30.
- Vance, J. E. (1986), *Capturing the Horizon: The Historical Geography of Transportation*, Harper Collins, New York.
- Vosti, S., C. Carpentier, J. Witcover, and J. Valentim (2001), Intensified small-scale livestock systems in the Western Brazilian Amazon, in *Agricultural Technologies and Tropical Deforestation*, edited by A. Angelsen and D. Kaimowitz, CABI, Oxfordshire, UK.
- Walker, R. T. (2003), Mapping process to pattern in the landscape change of the Amazonian Frontier, *Ann. Assoc. Am. Geogr.*, 93(2),376-398.
- Walker, R.T., S. Perz, M. Caldas, and L. G. Teixeira da Silva (2002), Land use and land cover change in forest frontier: The role of household life cycles, *Int. Reg. Sci. Rev.*, 25 (2), 169-199.
- Walker, R. T., E. Reis, A. Pfaff, and S. Perz (2007), *A Basin-Scale Econometric Model for Projecting Future Amazonian Landscapes*, Final Report, NASA NCC5-694.
- Walker, R., et al. (2009), Ranching and the new global range: Amazonia in the 21st century *Geoforum*, doi:10.1016/j.geoforum.2008.10.009. in press.
- Weinhold, D., and E. J. Reis (2008), Transportation costs and the spatial distribution of land use in the Brazilian Amazon, *Global Environ. Change*, 18, 54-68.
- 
- A. Barbieri, Cedeplar, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG 301 70-120, Brasil. (barbieri@cedeplar.ufmg.br)
- T. Ludewigs, World Bank, Brasilia, DF 70712-900, Brazil. (tludewigs@worldbank.org)
- F. Merry, Woods Hole Research Center, Falmouth, MA 02540-1644, USA. (fmerry@whrc.org)
- S. Perz, Department of Sociology and Criminology and Law, University of Florida, Gainesville, FL 32611, USA. (sperz@soc.ufl.edu)
- A. Pfaff, Sanford School of Public Policy, Duke University, Durham, NC 27708, USA. (alex.pfaff@duke.edu)
- E. Reis, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Rio de Janeiro, RJ 20020-010, Brasil. (ejreis@ipea.gov.br)

*Tradução: Ivani Pereira*

*Copyright © 2010 American Geophysical Union, Washington, D.C., USA. All rights reserved.*

*These materials are protected by the United States Copyright Law, International Copyright Laws and International Treaty Provisions.*

*Estes materiais são protegidos pela Lei de Direitos Autorais dos Estados Unidos, Leis Internacionais de Direitos Autorais e Disposições de Tratados Internacionais.*