

TEXTO PARA DISCUSSÃO N° 912

O CUSTO ECONÔMICO DO FOGO NA AMAZÔNIA*

Ronaldo Seroa da Motta**

Mário Jorge Cardoso Mendonça**

Daniel Nepstad****

Maria del Carmen Vera Diaz***

Ane Alencar***

João Carlos Gomes**

Ramon Arigoni Ortiz**

Rio de Janeiro, outubro de 2002

* Este é um relatório conjunto do Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (Ipam), do IPEA e do Centro de Pesquisa Woods Hole Research Center (WHRC). Os autores agradecem a Paulo Moutinho, do Ipam, pelo apoio oferecido ao longo da pesquisa e pelas suas valiosas sugestões e revisão do texto. A Cláudio Ferraz, do IPEA, e a Carlos Young, do IE/UFRJ, pelas suas importantes contribuições durante o planejamento desse estudo. Agradecemos também a Carolina Dubeux, da Coppe/UFRJ, por sua participação na elaboração do termo de referência e na análise dos resultados, a Márcia Pimentel, da área de suporte do IPEA, pela sua eficiente ajuda no tratamento de dados censitários e agrícolas, e aos estagiários Alexia Rodrigues e Luciano Veloso, que participaram na coleta e processamento de dados.

** Da Coordenação de Estudos de Meio Ambiente do IPEA.

*** Do Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (Ipam).

**** Do Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (Ipam) e do Woods Hole Research Center (WHRC).

Governo Federal

**Ministério do Planejamento,
Orçamento e Gestão**

Ministro – Guilherme Gomes Dias

Secretário Executivo – Simão Cirineu Dias

ipea Instituto de Pesquisa
Econômica Aplicada

Fundação pública vinculada ao Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, o IPEA fornece suporte técnico e institucional às ações governamentais, possibilitando a formulação de inúmeras políticas públicas e programas de desenvolvimento brasileiro, e disponibiliza, para a sociedade, pesquisas e estudos realizados por seus técnicos.

Presidente

Roberto Borges Martins

Chefe de Gabinete

Luis Fernando de Lara Resende

Diretor de Estudos Macroeconômicos

Eustáquio José Reis

Diretor de Estudos Regionais e Urbanos

Gustavo Maia Gomes

Diretor de Administração e Finanças

Hubimaier Cantuária Santiago

Diretor de Estudos Setoriais

Luís Fernando Tironi

Diretor de Cooperação e Desenvolvimento

Murilo Lôbo

Diretor de Estudos Sociais

Ricardo Paes de Barros

TEXTO PARA DISCUSSÃO

Uma publicação que tem o objetivo de divulgar resultados de estudos desenvolvidos, direta ou indiretamente, pelo IPEA e trabalhos que, por sua relevância, levam informações para profissionais especializados e estabelecem um espaço para sugestões.

As opiniões emitidas nesta publicação são de exclusiva e inteira responsabilidade dos autores, não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada ou do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão.

É permitida a reprodução deste texto e dos dados contidos, desde que citada a fonte. Reproduções para fins comerciais são proibidas.

SUMÁRIO

SINOPSE

ABSTRACT

1 INTRODUÇÃO 1

2 CUSTOS DO FOGO PARA O PROPRIETÁRIO RURAL 4

3 EXTERNALIDADES DO FOGO PARA A SOCIEDADE 17

4 COMENTÁRIOS FINAIS 28

ANEXO 1 ESTIMATIVA DA ÁREA QUEIMADA 31

ANEXO 2 MODELO BÁSICO DE DADOS DE PAINEL 32

ANEXO 3 ESTIMATIVA DA ÁREA DE INCÊNDIOS FLORESTAIS 33

BIBLIOGRAFIA 36

SINOPSE

O fogo é tradicionalmente utilizado pelos agricultores no preparo da terra para o plantio e, portanto, trazendo benefícios. Entretanto, o uso do fogo também gera custos privados e sociais. O fogo pode, acidentalmente, atingir cultivos, pastos e benfeitorias. Perdas associadas com doenças respiratórias provocadas pela fumaça dos incêndios também podem ser percebidas. Neste estudo estimaram-se, devido ao fogo acidental nos pastos, a destruição de cercas, a perda de carbono das florestas e os impactos na saúde humana. Nossas estimativas mais conservadoras indicam custos médios anuais de US\$ 102 milhões ou 0,2% do PIB total da região para o período 1996-1999. Dependendo de como valoramos o carbono liberado, essas estimativas podem chegar a 9% do PIB regional. Esses valores já permitem mostrar que existe um amplo espaço de viabilidade de ações de prevenção e combate ao fogo na região.

ABSTRACT

Fire has been traditionally used by farmers as mean of land preparation and, therefore, benefiting agriculture and pasture. However, fire application may also generate private and social costs. This study attempts to measure these fire use costs in the Brazilian Amazon. Fire control can be lost and damage cultivated and pasture land and other farm's assets. Uncontrolled fire may also reach forestland leading to significant losses on forest services. Apart from that, fire smokes also increase respiratory disease incidence affecting people's health. Our study covered costs related to pasture accidental fire, losses on fences, carbon storage and health impacts. Our most conservative estimates indicate an average cost value of US\$ 102 millions or around 0.2% of the region GDP during the 1996-1999 period. Depending on how carbon release is valued, this GDP percentage can be of up to 9%. Such figures are already indicating that there must be trade-offs to be achieved in reducing, preventing or improving the use of fire in the region.

1 INTRODUÇÃO

O uso do fogo constitui uma prática arraigada na cultura da Amazônia brasileira. Todo ano, no final da estação seca, agricultores e fazendeiros queimam suas terras para converter florestas em áreas de lavouras e pastagens e/ou para controlar a proliferação de plantas invasoras. Justamente nessa época as florestas, cerrados, campos e plantios de culturas perenes da região estão mais suscetíveis ao fogo, e muitos desses ecossistemas pegam fogo acidentalmente. Além dessas perdas diretas, o fogo libera fumaça, que provoca doenças respiratórias, e emite gases para a atmosfera, que contribuem para o aquecimento global. O objetivo deste relatório é apresentar uma primeira estimativa desse preço “oculto” dos fogos da Amazônia com o intuito de enriquecer o debate sobre o desenvolvimento da região.

As queimadas estão amplamente inseridas no processo produtivo da Amazônia e são um dos elementos que impulsionam a expansão agrícola na região. O fogo é considerado um método barato para preparar a terra para o plantio de culturas e para a limpeza de pastagens, pois as árvores derrubadas e queimadas produzem cinzas ricas em nutrientes que fertilizam o solo e, no curto prazo, aumentam sua produtividade. O fogo é usado, também, para estimular o crescimento de gramíneas forrageiras de pastagens e matar as plantas invasoras lenhosas que invadem essas pastagens. Sem o fogo, os proprietários rurais teriam, certamente, de investir na compra de máquinas pesadas para remover as árvores caídas e despende tempo roçando com facões as ervas daninhas que invadem as pastagens [Alencar *et alii* (1997), Nepstad, Moreira e Alencar (1999a) e Nepstad *et alii* (2001)].

Existe, assim, uma racionalidade inerente ao uso do fogo na Amazônia semelhante àquela existente em outras florestas tropicais úmidas. Nesse sentido, a racionalidade do produtor em face da restrição de recursos, tais como baixa oferta de mão-de-obra, baixa rentabilidade agrícola, inexistência de alternativas economicamente viáveis e baixa qualidade do solo para a agricultura, pode explicar a utilização intensa do fogo nas atividades agropecuárias [Nepstad, Moreira e Alencar (1999a) e Nepstad *et alii* (1999b e 2001)]. Graças a todos esses fatores o processo de derrubada e queimada se tornou o instrumento predominante para o preparo do solo na região amazônica, sobretudo em pequenas e médias propriedades [Homma *et alii* (1993)].

Paradoxalmente, o fogo também acarreta prejuízos para os fazendeiros e agricultores quando escapa ao controle, queimando aquilo que não era desejado. Esse risco do fogo sem controle desestimula os proprietários a investirem em suas propriedades, perpetuando o domínio da pecuária extensiva e da agricultura de corte e queima em detrimento do estabelecimento de sistemas agroflorestais e do manejo florestal sustentável [Nepstad, Moreira e Alencar (1999a) e Nepstad *et alii* (2001)].

A perda de pastagens pelas queimadas acidentais é um dos principais custos econômicos privados que atingem os proprietários rurais da Amazônia. A elevada inflamabilidade desse tipo de ecossistema afeta os fazendeiros na medida em que uma pastagem queimada acidentalmente obriga o proprietário a encontrar uma nova área de pastagem para onde possa transferir seu rebanho bovino. O tempo de uso desse pasto substituto chega, em média, a três meses, tempo necessário para que o capim se recupere da ação do fogo [Alencar *et alii* (1997), Nepstad, Moreira e Alencar (1999a) e Nepstad *et alii* (2001)].

Outros custos diretos significativos para o proprietário estão relacionados com a destruição de benfeitorias (principalmente as cercas), plantações e recursos madeireiros. No caso da queima de cercas o prejuízo pode variar da destruição completa das estacas e arame pelo fogo, ao aquecimento do arame, expondo-o a uma rápida deterioração pela ferrugem. A danificação de cultivos perenes e árvores frutíferas pelo fogo acidental causa também grandes perdas decorrentes do alto investimento necessário para estabelecer e manter essas culturas. As espécies madeireiras de valor comercial também são afetadas pelos incêndios florestais, podendo levar a perdas econômicas significativas, principalmente quando a área queimada é uma floresta não explorada.

As queimadas e incêndios florestais na Amazônia causam, adicionalmente, outros custos e externalidades¹ negativas para a sociedade como um todo. Um dos principais efeitos é a liberação de grandes quantidades de carbono para a atmosfera como resultado da queima de biomassa vegetal. Esse carbono, liberado principalmente na forma de gás carbônico, contribui para o aquecimento global através do efeito estufa.

A qualidade do ar de algumas regiões da Amazônia também é fortemente atingida durante a época das queimadas. Essa qualidade pode atingir níveis piores do que aquele registrado para o ar do centro urbano da cidade de São Paulo (Artaxo, <http://www.fapesp.br/projeto251.htm>). O elevado nível de material particulado no ar provocado pela fumaça afeta a saúde da população, aumentando o número de casos de bronquite, asma e outras doenças respiratórias.

A fumaça ainda causa o fechamento dos aeroportos da região, provocando prejuízos econômicos às empresas de aviação, que são obrigadas a cancelar ou atrasar os vôos, e aos passageiros, que perdem negócios e sofrem pelo desconforto da espera. O transporte terrestre também é afetado, pois a fumaça diminui a visibilidade e ocasiona acidentes de trânsito e perdas de vidas humanas.

A interrupção nas redes de energia é outro dos transtornos originados pela prática das queimadas agrícolas na Amazônia. Os prejuízos econômicos atingem as centrais elétricas da região, que devem repor o equipamento danificado, e o consumidor final, que fica sem fornecimento de energia e pode ter seus eletrodomésticos danificados ou alimentos apodrecidos.

As queimadas e incêndios florestais também afetam o solo, o ciclo hidrológico, o sistema climático regional e a biodiversidade. O fogo consome a vegetação, expondo o solo à força erosiva da chuva, provocando assoreamento dos rios, aumento do escoamento da água e inundações [Nepstad, Moreira e Alencar (1999a)]. A liberação de fumaça pelo fogo significa a exportação de nutrientes para a atmosfera, que pode levar a um eventual declínio da fertilidade do solo. A fumaça também tem o potencial de inibir a chuva [Rosenfeld (1999)]. E mais, o fogo tem ação direta sobre a biodiversidade amazônica, ocasionando a perda de populações de plantas e animais nativos. Os incêndios florestais danificam, também, as plantas medicinais, óleos, frutas e material de construção que as populações rurais da Amazônia aproveitam nas florestas nativas. Muitos desses custos sociais são de difícil quantificação física e

1. Aumento ou diminuição de custo, sem que haja transação monetária envolvida.

monetária, uma vez que envolve serviços do ecossistema amazônico que não são negociados no mercado.

Embora vários prejuízos relacionados ao uso do fogo na Amazônia sejam de difícil quantificação, é de fundamental importância que a sociedade brasileira faça uma estimativa dos custos econômicos do fogo na Amazônia, de modo a ter uma visão mais integrada do problema e suas ligações com o atual modelo de desenvolvimento da região. Com o corrente enfoque nas transações monetárias como medida principal da produção econômica da região, os prejuízos sofridos pela sociedade através da degradação ambiental são geralmente excluídos das análises e os benefícios econômicos do desenvolvimento passam a ser superestimados. Nesse sentido, este estudo visa fornecer uma primeira estimativa dos custos econômicos da degradação ambiental provocada pelo uso do fogo. Para tanto, foram quantificados, em termos físicos e monetários, alguns dos principais custos para o período 1995-1999. Os itens de custo que foram estimados são aqueles para os quais existem dados disponíveis e confiáveis e foram discriminados nas seguintes categorias:²

- a) custos para a produção agropecuária (período 1996-1999);
- b) custos por perdas florestais (anos de 1995 e 1998);
- c) custos associados à emissão de CO₂ (anos de 1995 e 1998); e
- d) custos associados a danos à saúde humana (período 1996-1999).

Os custos por perdas florestais (b) e emissão de CO₂ (c) foram estimados especificamente para os anos de 1995 e 1998 porque foram utilizadas metodologias e dados diferentes dos outros itens de custo analisados. Tal procedimento permitiu comparar as perdas florestais e as emissões de CO₂ em anos com e sem a influência do fenômeno El Niño (1998 e 1995, respectivamente).

De acordo com a prática de valoração econômica, o exercício seguiu duas etapas: a estimativa do dano físico para cada categoria de custo analisada e o valor monetário do dano físico estimado. No que se refere aos danos impostos às atividades agropecuárias são identificadas como custos do fogo acidental as perdas temporárias de pastejo e as associadas com a destruição de cercas. Com relação aos danos florestais seus custos são valorados pela perda de madeira resultante dos incêndios florestais. Ambos os temas são objeto da Seção 2. A Seção 3 trata da valoração do dano causado à sociedade resultante da liberação de CO₂, cujos custos são estimados a partir da mensuração das emissões estancadas advindas da queima da biomassa vegetal. Na Seção 4, os custos relativos à saúde humana são identificados pelo número de casos de morbidade decorrentes de doenças do aparelho respiratório provocadas pela fumaça originada das queimadas e incêndios florestais. Finalmente, na Seção 5, são apresentados os resultados consolidados dessa pesquisa. Os Anexos 1, 2 e 3 tratam, respectivamente, da metodologia utilizada para obter a área anual atingida pelo fogo na região amazônica a partir das observações de satélite, dos métodos econométricos empregados e da estimativa da área de incêndios florestais.

2. Estudos na Indonésia [WRI (2000)] também realizam estimativas similares, conforme veremos na Seção 4.

2 CUSTOS DO FOGO PARA O PROPRIETÁRIO RURAL

O uso do fogo nas atividades agrícolas da Amazônia brasileira possui uma característica antagônica — é o “mal necessário”. Por um lado é um elemento fundamental no sistema produtivo da região e, simultaneamente por outro, se não for bem manejado, age como uma força destrutiva que pode inviabilizar a produtividade do sistema.

As queimadas agrícolas estão relacionadas a um processo intencional do uso do fogo, ou seja, a prática da queimada é feita sempre com o propósito determinado de plantar lavouras ou controlar plantas invasoras em pastagens. Os incêndios (fogos acidentais) surgem a partir da perda de controle do processo da queimada, tendo como consequência o fato de as áreas previamente estabelecidas como fora do alcance do fogo serem atingidas acidentalmente. Nesse sentido, o fogo acidental pode queimar áreas já alteradas pela ação antrópica (pastagens, plantios, capoeiras) e florestas em pé. A premissa básica assumida é, portanto, de que não existe motivo econômico para os proprietários queimarem suas florestas ou culturas e, portanto, tais incêndios sempre são acidentais.

As pesquisas mostram que somente 16% da área atingida pelo fogo na fronteira agrícola da Amazônia são decorrentes do fogo colocado intencionalmente em derrubadas de floresta (áreas de desmatamento). O restante da área queimada na Amazônia é representado pelo fogo que atinge, de forma intencional e acidental, pastagens e áreas agrícolas, e pelo fogo acidental que afeta as florestas da região [Nepstad, Moreira e Alencar (1999a)].

A partir deste diagnóstico dos fogos na Amazônia, são derivados dois conceitos fundamentais: o fogo intencional e o fogo acidental [Alencar *et alii* (1997) e Nepstad, Moreira e Alencar (1999a)]. O fogo acidental é, de fato, aquele que deve servir de base para avaliação dos danos privados do proprietário rural, pois o fogo quando intencional é um instrumento que beneficia o agricultor ao reduzir seus custos de produção.³ Naturalmente, a área de fogo total (área total queimada) é a soma das áreas de fogo intencional e acidental.

A estimativa do dano físico à propriedade rural pelo uso do fogo depende, portanto, da área anual atingida pelos fogos acidentais (incêndios) na Amazônia, por categoria de uso do solo, multiplicado pelo dano médio por unidade de área do incêndio. A seguir são apresentadas estimativas das perdas agropecuárias e florestais provocadas pela ação do fogo acidental durante o período 1996-1999.

2.1 PERDAS AGROPECUÁRIAS

São diversos os danos causados pelo fogo na produção agropecuária. Estes abrangem desde a queima acidental de áreas de pastagens e lavouras até a destruição de benfeitorias como casas, cercas e equipamentos. No entanto, as pesquisas revelam que, em aproximadamente 85% das propriedades rurais, a presença de fogo acidental

3. Os danos causados pelo fogo que atinge a sociedade como um todo, como por exemplo a liberação de fumaça para a atmosfera, são originados tanto pelos fogos acidentais quanto pelos fogos intencionais.

em áreas de abertura⁴ incide fundamentalmente sobre a pastagem, danificando cercas e reduzindo a capacidade de pastejo [Alencar *et alii* (1997) e Nepstad, Moreira e Alencar (1999a)]. Assim, neste estudo as perdas agropecuárias são representadas pelas áreas de pastagem e cercas queimadas acidentalmente, lembrando que o fogo acidental em áreas de pastagens consome forragem durante alguns meses, reduzindo a capacidade daquela pastagem em suportar animais. Essas áreas foram inferidas a partir das observações da área total queimada (fogo total), estimada em 2001 por Alberto Setzer, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), e pelo Woods Hole Research Center (WHRC), para o período 1996-1999 (ver Anexo 1). A metodologia utilizada por esses autores teve como base a transformação dos dados de focos de calor registrados pelo satélite National Oceanic Atmospheric Administration (NOAA) em área queimada.⁵ Essa abordagem permitiu calcular, de maneira agregada, a área total queimada sem especificar o tipo de cobertura vegetal atingida pelo fogo.

Admitiu-se que as áreas de pastagem e cercas afetadas pelo fogo acidental variam em função da área total queimada. Essa inferência pôde ser realizada a partir da pesquisa de campo feita entre 1994 e 1995 pelo Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (Ipam) [Alencar *et alii* (1997), Nepstad, Moreira e Alencar (1999a) e Nepstad *et alii* (2001)], onde constam dados de área queimada (acidental e intencional) por tipo de uso do solo e de extensão de cerca perdida. O estudo do Ipam abrangeu 202 propriedades dispersas entre cinco municípios (Gráfico 1), distribuídos ao longo do Arco de Desmatamento, sendo eles: Paragominas (A), Santana do Araguaia (B), Alta Floresta (C), Ariquemes (D) e Rio Branco (E).

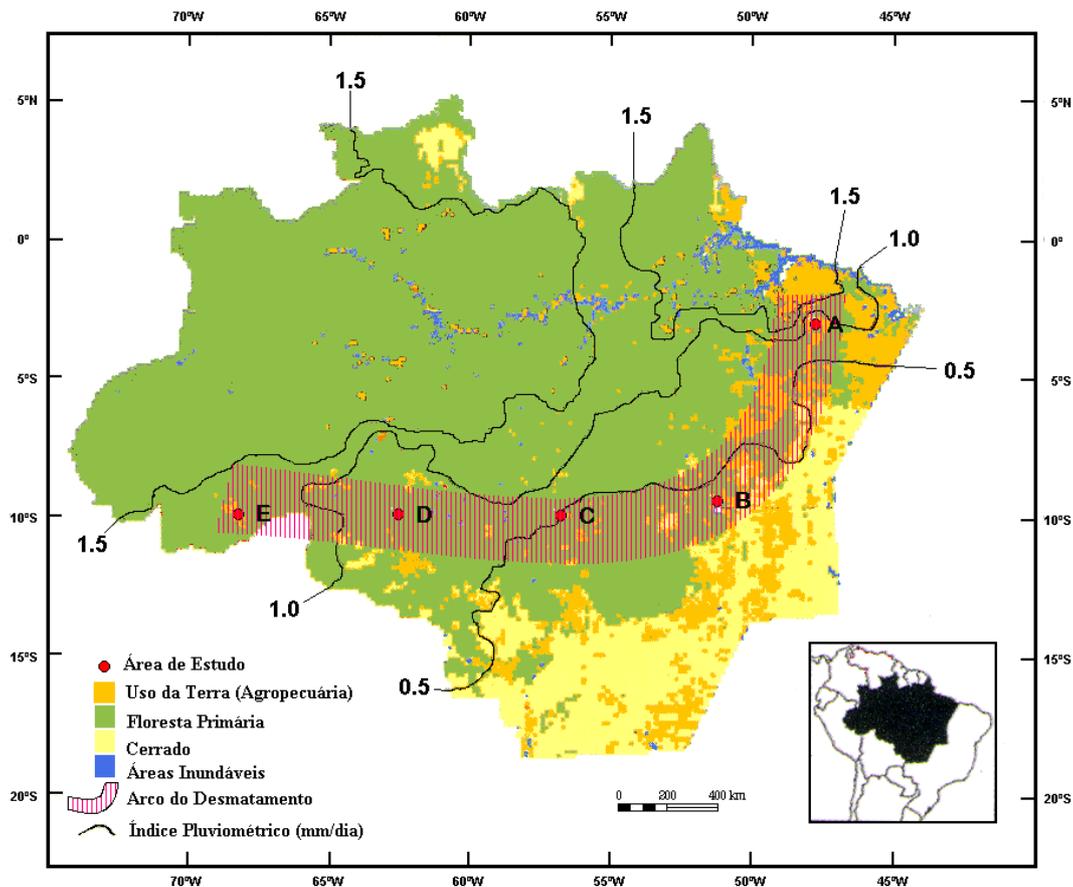
Estes municípios constituem uma amostra representativa dos diversos tipos de estrutura fundiária existentes na região, desde projetos de colonização em Ariquemes até megafazendas em Santana do Araguaia. Com relação às informações contidas neste estudo, além das características do informante e da propriedade, constam também: (a) as áreas queimadas classificadas por fogo intencional e acidental em relação às áreas de floresta e pastagem; (b) a extensão de cerca perdida para cada propriedade; e (c) investimentos em aceiro.

4. O termo abertura é usado para identificar diversos tipos de ecossistemas antrópicos, como pastagem, capoeira (floresta secundária) e cultivo.

5. A metodologia usada por Setzer, do Inpe, e WHRC para calcular a área queimada está descrita no Anexo 1.

GRÁFICO 1

Localização Geográfica dos Municípios Amazônicos Estudados pelo Ipam, nos quais Foram Coletados os Dados de Campo que Embasaram várias Análises Apresentadas neste Relatório



Nota: As propriedades estudadas foram classificadas pelo seu tamanho em pequena (<100 ha), média (100-1 mil ha), média-grande (1 mil-5 mil ha) e grande (>5 mil ha). As propriedades foram escolhidas de maneira aleatória dentro de cada município. Nesta pesquisa também foram levantados dados sobre as características econômicas das propriedades, como o tipo de uso do solo e os investimentos físicos em aceiro. Todavia, essas variáveis não apresentam variação nos anos de abrangência (1994 e 1995) da pesquisa.

2.1.1 Modelos Econométricos

Com o emprego da análise econométrica foi possível estimar uma relação entre as áreas de pastagens e a extensão de cerca que foram afetadas pelo fogo acidental em função da área total queimada. Uma vez estimada essa relação, foi possível definir os parâmetros que, multiplicados pela variação anual da área total queimada,⁶ serviram para determinar a quantidade de pastagem e de cerca perdidas pela ocorrência de fogo acidental. Em termos mais formais, essas estimativas de perda foram calculadas, com base nos dados da pesquisa elaborada pelo Ipam, a partir das seguintes equações:

$$S_{it} = f_1(S_{it}, Z_{it}) \tag{1}$$

$$D_{it} = f_2(S_{it}, Z_{it}) \tag{2}$$

onde:

6. Estimativa do Inpe e WHRC no Anexo 1.

S_{Ait} = área de pastagem queimada acidentalmente na propriedade i no tempo t ;
 S_{it} = área total queimada ou fogo total (intencional mais acidental) na propriedade i no tempo t ;
 Z_{it} = vetor de variáveis que contribuem para explicar a incidência de fogo acidental associado à propriedade i no tempo t ; e
 D_{it} = perda de cerca na propriedade i no tempo t .

As variáveis explanatórias Z_{it} incluídas na equação foram: tamanho da propriedade e investimento físico em aceiro.⁷ Dessa forma, esperou-se que quanto maior o fogo total (área total queimada), maior o fogo acidental. Admitiu-se também que quanto maior fosse o tamanho da propriedade maior seria a área total queimada, mas não é possível indicar *a priori* o sinal em relação ao fogo acidental. No caso do investimento em aceiro é plausível assumir que quanto maior sua extensão menor o avanço do fogo acidental.

Uma vez estimada a relação entre as variáveis [equação (1)], calculou-se a perda anual de área de pastagem devido ao fogo acidental no período 1996-1999 da seguinte forma:

$$b_j = \frac{\partial f_1}{\partial S} \quad (3)$$

$$S_{Ait} = b_j \Delta S_t \quad (4)$$

onde:

b_j = parâmetro estimado para perda acidental de área de pastagem relativo à área total queimada;

$\frac{\partial f_1}{\partial S}$ = derivada (variação) de f_1 em relação à área total queimada (S);

S_{Ait} = estimativa da área de pastagem queimada acidentalmente para um dado ano t ; e

ΔS_t = área total queimada na região amazônica em um dado ano t .

Da mesma forma, a partir da equação (2) foi possível determinar as quantidades análogas para perda de cercas. Elas foram definidas a partir das seguintes equações:

$$d = \frac{\partial f_2}{\partial S} \quad (5)$$

$$D_t = d \Delta S_t \quad (6)$$

onde:

d = parâmetro estimado para perda de cerca relativo à área total queimada;

7. Na base de dados do Ipam somente a variável fogo total (área queimada total) varia tanto entre as unidades individuais (propriedades) como no tempo (1994 e 1995). As outras variáveis da base de dados (tamanho da propriedade, investimento físico em aceiro e tipo de uso do solo) apresentam, unicamente, variação entre as unidades individuais e não no tempo.

$\frac{\partial f_2}{\partial S}$ = derivada (variação) de f_2 em relação à área total queimada;

D_t = perda estimada de cerca em um dado ano t ; e

ΔS_t = área total queimada na região amazônica em um dado ano t .

No caso da perda de pastagem por fogo acidental, foram utilizados modelos econométricos alternativos com o intuito de testar as possíveis correlações das variáveis que poderiam influenciar, além da extensão do fogo total, na área de pastagem atingida por fogo acidental. Os modelos adotados foram: (a) técnica de mínimos quadrados ordinários (MQO); (b) técnica de painel efeito aleatório; e (c) técnica de painel efeito fixo. Na técnica de MQO foram utilizados todos os dados como se fossem referentes apenas a um ano, enquanto na técnica de painel diferenciaram-se os dados nos dois anos de observações. No efeito aleatório admitiu-se que, diferentemente do efeito fixo, os estimadores da regressão não foram influenciados pelas características específicas da propriedade. A metodologia para dados de painel é apresentada no Anexo 2.

Na Tabela 1 são apresentados os resultados econométricos para os modelos que correlacionam fogo acidental em áreas de pastagem (variável dependente) e suas variáveis explicativas: fogo total, tamanho da propriedade e investimento físico em aceiro (variáveis independentes). Nesse caso, somente a variável “fogo total” pôde ser considerada estatisticamente significativa para explicar “fogo acidental” nas áreas de pastagens. As variáveis “tamanho da propriedade” e “investimento físico em aceiro” foram rejeitadas como explicativas. Isso implica o fogo acidental, de acordo com as informações observadas na base de dados do Ipam, ser influenciado somente pela extensão do fogo total (área total queimada).

Os coeficientes estimados para fogo total são muito próximos em todos os modelos de regressão testados. Entretanto, os resultados das regressões sugerem que o modelo de painel de efeito aleatório é o mais adequado para estimar a área de pastagem queimada por fogo acidental. O estimador do fogo acidental em pastagens em relação a fogo total, equação (3), estaria em torno de 0,45. Todavia, devido à contribuição quase isolada da variável fogo total, o uso de modelos econométricos neste caso adicionou muito pouco em relação a uma inferência não-paramétrica. Quando se calcula uma simples relação média entre fogo acidental em pastagens e fogo total, com as observações da base de dados do Ipam, obtêm-se valores muito próximos àqueles estimados com as técnicas econométricas.

Na correlação de extensão de cerca perdida pelo fogo acidental, dada pela equação (2), foi adotado o modelo de MQO. Diferentemente do caso anterior, não se utilizou modelo de painel, uma vez que o valor da perda de cerca encontrado na pesquisa realizada pelo Ipam [Alencar *et alii* (1997)] estava disponível apenas para um ano. Nessa regressão aparecem como variáveis explicativas, além do fogo total, o tamanho da propriedade e o investimento físico em aceiro. Os resultados desse modelo são apresentados na Tabela 2.

TABELA 1

Coefficientes das Regressões entre as Variáveis Independentes e a Área de Fogo Acidental, em Pastagens de Propriedades da Amazônia Brasileira — 1994 e 1995

Variável dependente	Fogo acidental em áreas de pastagens				
Variáveis independentes	MQO	MQO	Painel efeito aleatório	Painel efeito aleatório	Painel efeito fixo
Fogo total	0,4296* (0,000)	0,4221* (0,000)	0,4381* (0,000)	0,447* (0,000)	0,4648* (0,000)
Tamanho da propriedade	-0,0017 (0,347)	—	-0,0015 (0,332)	—	—
Aceiro	0,0002 (0,761)	—	0,0003 (0,112)	—	—
Constante	-13,672** (0,083)	-15,607* (0,015)	-17,346* (0,075)	18,333** (0,057)	-22,1232* (0,007)
Nº de observações	396	396	396	396	396
R ²	0,51	0,51	0,50	0,50	0,42
RHO	—	—	0,446	0,461	0,577
Teste de Hausman	—	—	0,80 (0,672)	0,29 (0,5883)	—
Teste de Bresch-Pagan	—	—	8,04* (0,005)	8,56* (0,0034)	—

Nota: Os resultados acima indicam os valores encontrados para os coeficientes das variáveis explicativas, ou seja, a proporção na qual a variável, em relação à magnitude da sua medida, influencia a variável fogo acidental. Apenas a variável independente fogo total pode explicar a variação da área de fogo acidental. Os valores entre parênteses são as estatísticas de significância das variáveis (probabilidade de ser igual a zero). As variáveis que são estatisticamente significativas para explicar fogo acidental em pastagens estão marcadas com as notações * (menos de 5% de probabilidade) e ** (menos de 10% de probabilidade). Na primeira coluna de cada modelo estão os resultados para o modelo completo, e na segunda, somente os relativos às variáveis que se apresentaram significativas (exceto no caso de efeito fixo que depende somente de uma variável). Os valores de R² para MQO e seu valor ajustado para os modelos de painel são indicativos de um bom ajuste tratando-se de regressões *cross-section* (a medida R² avalia o ajuste dos modelos indicando a porcentagem da variação da variável dependente que é explicada pelas variáveis independentes). Nos modelos de painel os valores de RHO (a medida RHO indica a razão entre a variância estimada do componente individual em relação à variância total estimada do resíduo) obtidos são altos, mostrando que a presença do componente individual não deve ser descartada. O teste de Bresch-Pagan, cuja hipótese testada é que a variância do componente individual é zero, indica uma alta probabilidade, confirmando a importância do componente individual. Por fim, o teste de Hausman mostra que não se pode rejeitar a hipótese nula de que os regressores e o componente aleatório individual sejam não-correlacionados. Dessa forma, as regressões anteriores mostram que o modelo de painel de efeito aleatório é o mais indicado para estimar a área de pastagem queimada acidentalmente.

TABELA 2

Coefficientes das Regressões entre as Variáveis Independentes e a Extensão de Cerca Perdida por Fogo Acidental em Propriedades da Amazônia Brasileira — 1994 e 1995

Variável dependente	Extensão de cerca perdida	
Variáveis independentes	Coefficiente	P
Fogo total	10,3578	0,000
Tamanho da propriedade	-0,3480	0,000
Aceiro	0,0357	0,000
Constante	-309,71	0,444
Nº de observações	200	-
R ²	0,73	-

Nota: Os valores apresentados são os coeficientes das variáveis explanatórias para cerca perdida por fogo acidental.

Tal como esperado, a área total queimada aumenta o impacto do fogo acidental sobre a perda de cerca. O coeficiente negativo da variável tamanho da propriedade mostra que existe uma tendência maior de perda de cerca em pequenas propriedades se comparadas com as grandes propriedades. Já nos investimentos em aceiro, os resultados revelam que um maior volume de investimento aumenta a destruição de

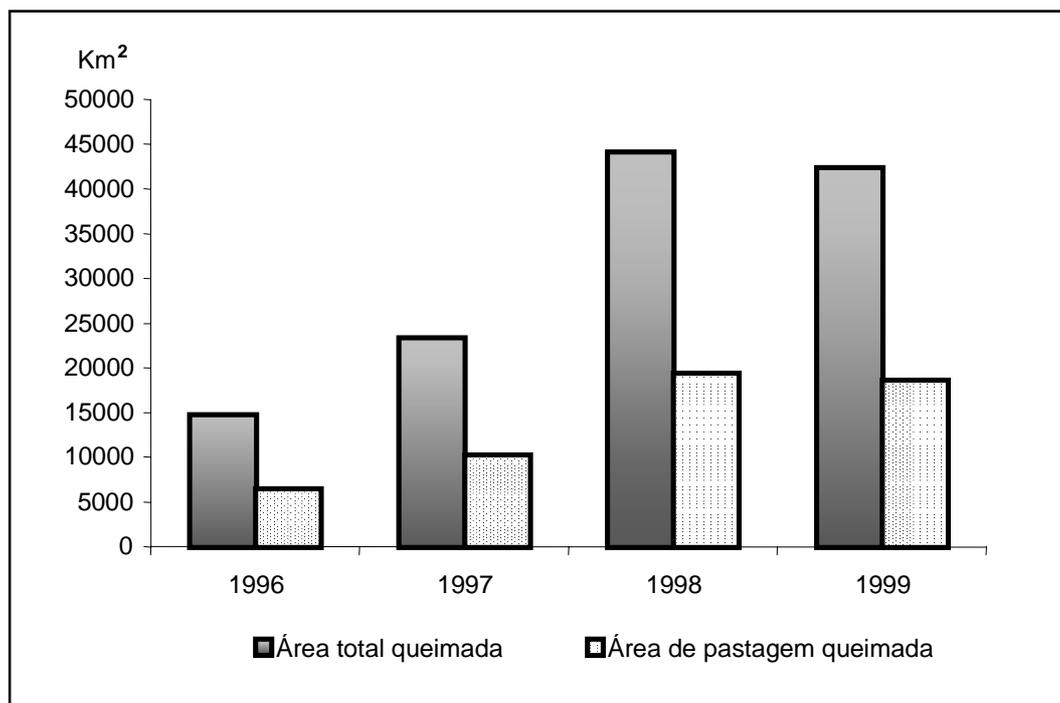
cercas por fogo acidental.⁸ De qualquer forma, a importância do fogo total é dominante e seu estimador será usado para aplicar a equação (5) e, posteriormente, estimar a extensão anual das perdas de cercas mediante a equação (6) no período 1996-1999.

2.1.2 Estimativa Física das Áreas de Pastagem e de Cerca Atingidas por Fogo Acidental

A área anual de pastagem afetada pelo fogo acidental foi obtida através da equação (4), multiplicando o coeficiente estimado de fogo total (Tabela 1) pela área total queimada calculada pelo Inpe e WHRC para o período 1996-1999. De acordo com essa metodologia, as perdas temporárias de pastagem na Amazônia brasileira pela ação do fogo acidental variaram entre 6.510 km² em 1996 e 19.408 km² em 1998 (Gráfico 2). Na média, cerca de 13 mil km² de pastagem queimam anualmente na região, isto é, 2% da área total desmatada. Cada proprietário rural perde, em média, 1,5 hectare de pastagem por fogo acidental na Amazônia brasileira.⁹

GRÁFICO 2

Área Total Queimada e Área de Pastagem Queimada por Fogo Acidental na Amazônia Brasileira — 1996-1999



Nota: Conforme a metodologia aplicada neste estudo, a área de pastagem atingida pelo fogo acidental representa 45% da área total queimada anualmente na Amazônia brasileira. Nesse tipo de paisagem, que é dominado por gramíneas e plantas herbáceas e, portanto, mais inflamável, o fogo se propaga rapidamente.

A extensão de cerca perdida pelo fogo acidental foi estimada através da equação (6), utilizando o coeficiente de fogo total calculado no modelo de MQO (Tabela 2) e a área total queimada do Inpe e WHRC. No Gráfico 3, observa-se que a destruição

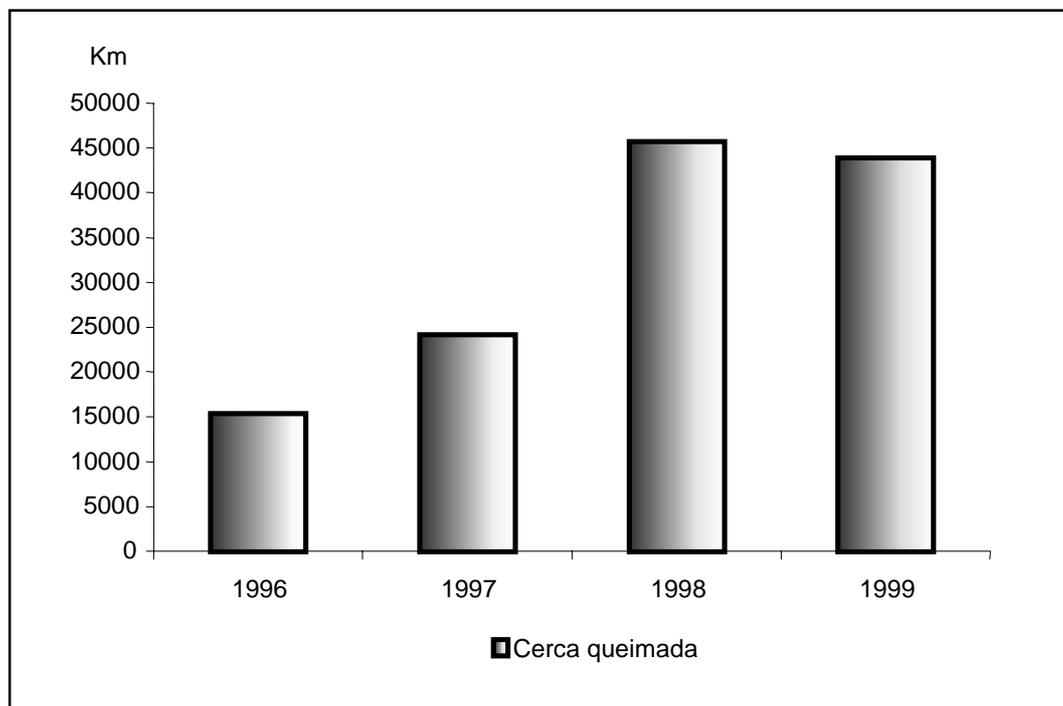
8. Nesse caso pode estar havendo um problema de simultaneidade que a especificação do modelo econométrico não captura, quando os investimentos em aceiro são realizados geralmente em propriedades que apresentam maior probabilidade de fogo acidental.

9. Foram 893 mil estabelecimentos rurais cadastrados pelo Censos Agropecuários realizados em 1995 e 1996.

de cercas oscilou de 15.329 a 45.698 km, entre 1996 e 1998, respectivamente, seguindo a mesma tendência da área de pastagem queimada. Na média anual, a extensão de cerca perdida na Amazônia brasileira ultrapassou os 30 mil quilômetros. Isso significa que cada proprietário rural perde perto de 36 metros de cerca anualmente.

GRÁFICO 3

Extensão de Cerca Queimada por Fogo Acidental na Amazônia Brasileira — 1996-1999



Nota: O dano imposto pelo fogo acidental às cercas constitui um dos principais prejuízos para os produtores rurais da Amazônia brasileira. À medida que aumenta o tamanho da propriedade, as perdas pela destruição de cercas se incrementam, pois são os grandes proprietários os possuidores das maiores extensões de cerca [Nepstad, Moreira e Alencar (1999a)].

Nos últimos dois anos do período analisado, as áreas de pastagem e a extensão de cercas queimadas foram significativamente maiores, ultrapassando 18 mil km² e 43 mil km², respectivamente. Essa situação esteve associada ao prolongamento da seca em função da ocorrência do fenômeno climático El Niño e, conseqüentemente, do menor controle sobre o fogo. Nesse mesmo período, a Indonésia foi também atingida pela estiagem e uma área estimada de 9,7 milhões de hectares foi queimada, principalmente na região de Kalimantan,¹⁰ dos quais 4,7 milhões abrigavam atividades agrícolas [Bappenas e ADB (1999) e Barber e Schweithelm (2000)].

2.1.3 Valor Monetário das Perdas Agropecuárias

Uma vez estimadas as áreas de pastagem e a extensão de cercas que sofrem a ação do fogo acidental a cada ano do período 1996-1999, foram atribuídos valores monetários de modo a avaliar as perdas econômicas de produção agropecuária. Para tal, procedeu-se da seguinte forma:

10. Sessenta e sete por cento da área total queimada na Indonésia ocorreram na região de Kalimantan [Barber e Schweithelm (2000)].

a) As perdas de produção por pastagem queimada foram valoradas pelo preço do arrendamento de áreas de pastagem. Admitiu-se que o aluguel de outra área por um período de três meses, tempo necessário para que a pastagem queimada se recomponha, representa o custo incorrido pelo pecuarista em caso de fogo acidental em suas terras.

b) As perdas de cercas foram calculadas com base no custo do material e da mão-de-obra utilizados na sua construção.

As informações sobre o preço de arrendamento de áreas de pastagem para cada estado da região amazônica foram obtidas da Fundação Getúlio Vargas (FGV, <http://www.fgv.br>), referentes ao mês de dezembro.¹¹ Os valores do preço de arrendamento variam; por exemplo, para o ano de 1998, o aluguel anual de um hectare de pasto no Tocantins foi de R\$ 37 por hectare/ano, enquanto no Amazonas este valor foi de R\$ 89 por hectare/ano. Neste estudo, utilizou-se o aluguel de pastagem na região amazônica para um período de três meses, calculado a partir dos dados da FGV.

O custo da cerca perdida integralmente foi obtido da pesquisa de campo do Ipam [Alencar *et alii* (1997) e Nepstad, Moreira e Alencar (1999a)], para o qual estimou-se um valor médio de US\$ 1.400/km. O custo da danificação parcial da cerca pela destruição do arame foi estimado em US\$ 300/km. Os dados da pesquisa do Ipam não permitiram identificar a proporção da cerca perdida integral e parcialmente. Desse modo, foram estabelecidos dois intervalos de danos: máximo, admitindo o valor da perda total de cerca, e mínimo, usando o valor da perda parcial (aramé).¹²

Os resultados das estimativas do dano econômico no setor agropecuário são apresentados na Tabela 3. Durante o período 1996-1999, as perdas econômicas por queimadas acidentais na produção agropecuária da Amazônia brasileira foram estimadas em US\$ 108 milhões a US\$ 272 milhões. A região perdeu, em média, entre US\$ 27 milhões e US\$ 68 milhões anuais devido ao fogo acidental, sendo US\$ 17 milhões de prejuízo anual pela queima acidental de pastagem e US\$ 10 milhões a 51 milhões pela danificação de cercas.

Os danos econômicos estão distribuídos da seguinte maneira: 62% para pastagem queimada acidentalmente e 38% para destruição de cercas (considerando só a perda de arame). De acordo com as estimativas anteriores, cada propriedade rural teria prejuízos anuais médios entre US\$ 30 e US\$ 76 pela ação do fogo acidental.¹³ Não foi possível estimar o dano monetário diferenciado para pequenas, médias e grandes propriedades, pelo fato de não se conhecer o quanto de dano incide por categoria de tamanho.

11. Foram utilizados dados do mês de junho quando dezembro não estava disponível.

12. Presume-se que os preços permanecem constantes e, portanto, servem para este exercício. Quer dizer, não foram consideradas as alterações na demanda mediante alteração de preços e, portanto, não há variações do excedente do consumidor.

13. Valor médio calculado dividindo o valor do prejuízo total pelo número de estabelecimentos agropecuários da Amazônia [IBGE (1996)].

TABELA 3

Perdas Econômicas na Produção Agropecuária por Fogo Acidental — 1996-1999

Ano	Perda de pastagem		Perda de cerca			Total de perdas agropecuárias	
	Km ²	US\$ milhões	Km	US\$ milhões		US\$ milhões	
				Mínimo ¹	Máximo ²	Mínimo	Máximo
1996	6.510	7,5	15.329	4,9	24,3	12,4	31,8
1997	10.275	14,5	24.194	7,8	38,3	22,3	52,8
1998	19.408	24,5	45.698	14,7	72,4	39,2	96,9
1999	18.649	20,5	43.910	14,0	69,6	34,5	90,1
Total	54.842	67,0	129.131	41,4	204,6	108,4	271,6
Média	13.711	16,8	32.283	10,4	51,2	27,1	67,9

Nota: As perdas monetárias são expressas em dólares de 1998.

1. Cálculo baseado no valor da perda do arame.

2. Estimativa baseada no valor da cerca perdida integralmente.

Note-se que os dados monetários nos anos de 1998 e 1999 mostram um crescimento abrupto em relação ao biênio 1996/1997, mas isso se deve às variações de área queimada que, nesses anos, foi fortemente influenciada pelo período de seca prolongada. No biênio 1998/1999 o prejuízo econômico ultrapassou US\$ 180 milhões,¹⁴ valor que corresponde a 69% das perdas totais do período.

Neste estudo, os prejuízos econômicos causados pelo fogo na agropecuária podem ser considerados conservadores, uma vez que existem custos adicionais que não foram contabilizados pela limitação dos dados, tais como a destruição de plantações de lavouras permanentes e temporárias e a danificação de construções e equipamentos. De outro lado, as estimativas podem exagerar as perdas na agropecuária na medida em que pastagens queimadas acidentalmente não implicavam o arrendamento de outras pastagens, que seria o caso dos fazendeiros e agricultores que tinham rebanhos menores do que a capacidade de suporte das suas pastagens.

2.2 PERDAS FLORESTAIS

Nos últimos 15 anos a frequência de incêndios florestais vem aumentando vertiginosamente na Amazônia brasileira como consequência da interação entre três fatores principais: (a) o aumento do número de fontes de ignição através da expansão da fronteira agrícola; (b) o aumento da susceptibilidade da floresta ao fogo devido à expansão da exploração madeireira; e (c) o aumento da suscetibilidade da floresta ao fogo devido a períodos de seca associados com eventos de El Niño [Nepstad, Moreira e Alencar (1999a) e Nepstad *et alii* (1999b)]. Os incêndios florestais são a grande novidade no regime de fogo na região. No entanto, são poucas as informações básicas sobre esse fenômeno.

Embora a área florestal que sofre corte raso — o chamado desmatamento — seja estimada anualmente pelo Inpe (2000), em nenhum ano foi elaborado um mapeamento com satélite da área de floresta em pé afetada pelo fogo. Isso se deve ao fato de que as “cicatrices” de incêndios florestais são difíceis de ser mapeadas nas imagens de satélite, pois muitas árvores adultas sobrevivem ao incêndio, escondendo em parte os danos sofridos pela vegetação. Neste estudo são apresentados dados inéditos que visam estimar a área florestal atingida por incêndios em anos de

14. Conforme a estimativa máxima.

precipitação média e anos de precipitação baixa (sob influência do El Niño), objetivando valorar o prejuízo econômico para o proprietário rural decorrente da perda de madeira de valor comercial.

2.2.1 Área de Floresta Atingida por Incêndios

As florestas da Amazônia se tornam suscetíveis ao fogo tanto pela falta de chuva quanto pelos danos sofridos pela exploração madeireira. Os fazendeiros e agricultores agem com as fontes principais de ignição dessas florestas inflamáveis. Em decorrência disso, as florestas que pegam fogo na Amazônia estão concentradas nas paisagens que apresentam períodos de secas pronunciados e onde há exploração madeireira e pecuária. Tais paisagens encontram-se no leste e no sul da região (veja Anexo 3). Essas relações foram a base para se chegar a uma estimativa preliminar da área florestal afetada pelos incêndios.

Utilizou-se a relação espacial entre áreas desmatadas (pastagem, lavoura e floresta secundária) e incêndios florestais medida em três regiões da Amazônia como base da estimativa da área de incêndio florestal. Entrevistas de campo em cada região facilitaram a identificação de cicatrizes de incêndio florestal em imagens de satélite Landsat; essas cicatrizes são fáceis de confundir com outros componentes da paisagem. A relação entre áreas desmatadas e incêndio florestal foi definida usando imagens de Landsat de 1995 e 1998, representando anos de chuva normal (1995) e baixa (1998). A relação encontrada entre a área desmatada e o incêndio florestal foi aplicada sobre um mapa de desmatamento da Amazônia brasileira construído a partir das imagens disponibilizadas pela Michigan State University para o ano de 1992 (Skole e Chomentowski, <http://www.bsrsi.msu.edu/trfic/index.html>), o qual foi estratificado pelo nível de precipitação, isto é, milímetros de chuva diária média na estação seca e tipo de vegetação (Gráfico 4). Sobrevôos realizados em 1998 [Nepstad e Moutinho (1998)] permitiram a validação das estimativas para o ano de 1998. A metodologia utilizada está descrita no Anexo 3.

Esta abordagem permitiu estimar áreas de floresta afetadas pelo fogo acidental localizadas ao longo do “arco de desmatamento” onde se concentram as queimadas agrícolas e, em decorrência, os incêndios florestais. No Gráfico 4 pode ser observada a área de floresta estratificada conforme os parâmetros mencionados, na qual aplicou-se a relação espacial entre áreas desmatadas e incêndios florestais em anos com e sem eventos de El Niño.

Na Tabela 4 são apresentadas as estimativas de áreas com ocorrência de incêndio florestal para anos com e sem a influência do fenômeno El Niño. A área total de floresta analisada foi de 235 mil km², considerando três tipos de vegetação: ombrófila densa, ombrófila aberta e floresta de contato.

GRÁFICO 4

Áreas Florestais da Amazônia Brasileira Estratificadas pelo Tipo de Vegetação e Nível de Precipitação, Usadas para Embasar a Estimativa da Área Afetada pelo Incêndio Florestal em Anos com e sem a Influência do El Niño

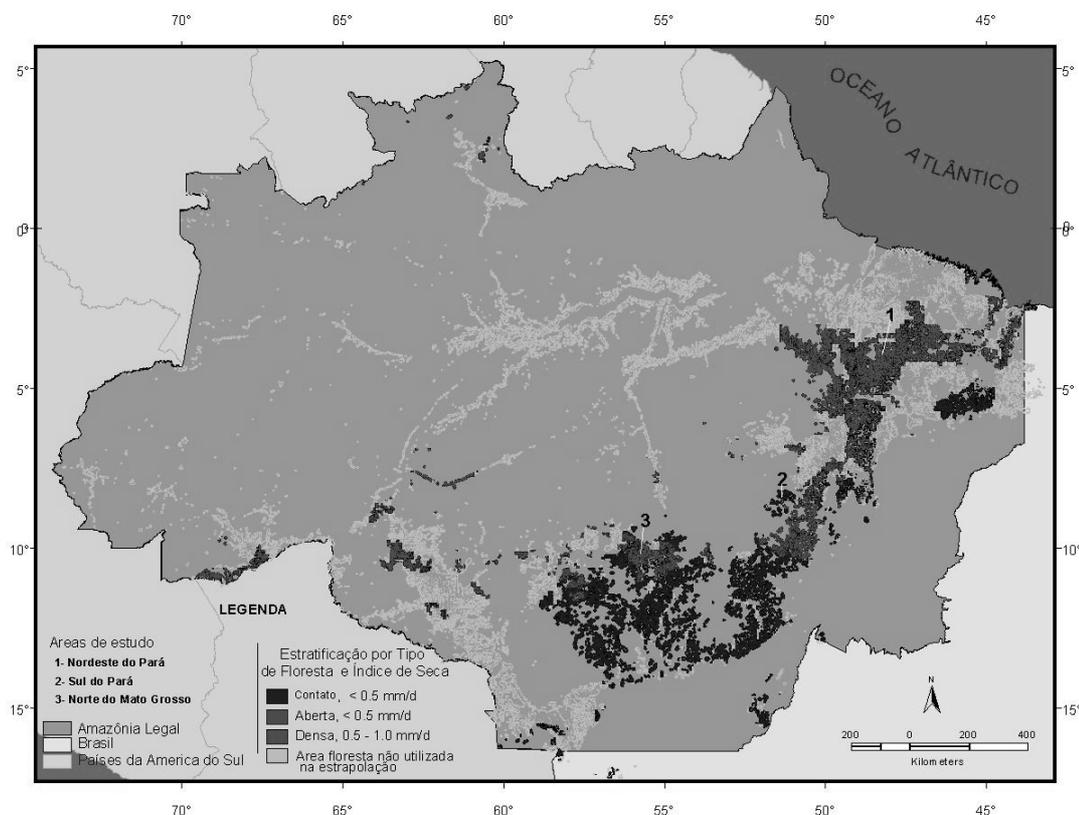


TABELA 4

Área Total de Florestas Atingida por Incêndios na Amazônia Brasileira

Tipos de floresta	Chuva (mm/dia) ¹	Área total de floresta (km ²)	Área de incêndio florestal (km ²)	
			Ano com El Niño (1998)	Ano sem El Niño (1995)
Ombrófila densa	0,5 – 1,0	94.500	15.200	100
Ombrófila aberta	< 0,5	30.100	1.100	200
De contato	< 0,5	111.000	9.900	1.500
Total		235.600	26.200	1.800
Área de incêndio de Roraima		-	13.000	-
Total com incêndio de Roraima		-	39.200	1.800

Nota: A metodologia deste cálculo é apresentada no Anexo 3.
1. Medições relativas ao trimestre mais seco.

No ano de 1998, sob a influência do fenômeno El Niño, a área de incêndio florestal foi estimada em 26 mil km². Acrescentando os incêndios florestais de Roraima, onde 13 mil km² de floresta foram queimados entre dezembro de 1997 e março de 1998 [Barbosa e Fearnside (2000)], esse total sobe para 39 mil km². Nesse caso a floresta ombrófila densa foi a mais atingida pela ação do fogo acidental, com uma contribuição de 58% do total da floresta queimada. No ano de 1995, sem a

influência do El Niño, a área de floresta afetada pelo fogo foi calculada em 1,8 mil km², queimando, principalmente, áreas de floresta de contato (84%).

2.2.2 Valor Monetário

Neste estudo, os prejuízos econômicos causados por incêndios florestais foram estimados levando-se em consideração o preço das árvores com valor de mercado que foram mortas e destruídas pelo fogo. A vulnerabilidade de uma árvore ao fogo depende, principalmente, da grossura de sua casca. A maioria das árvores que morrem após um incêndio florestal é jovem com troncos que apresentam casca de fina espessura, embora árvores maiores de casca fina também pereçam [Uhl e Kauffman (1990)]. São essas árvores adultas as que possuem maior valor econômico e sua morte gera prejuízos para os proprietários rurais pela diminuição do estoque madeireiro que poderia ser comercializado.

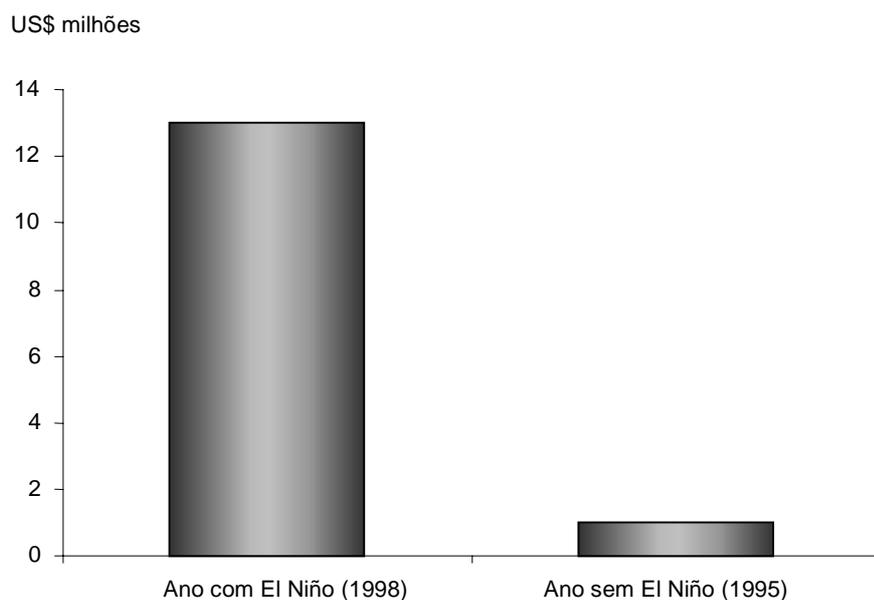
Holdsworth (2000) estimou a perda de árvores adultas com valor de mercado após a ocorrência de fogo em uma floresta já explorada na região de Paragominas. O valor em tora das árvores adultas mortas pelo incêndio ficou em torno de US\$ 5 por hectare. Esse resultado foi obtido multiplicando-se a mortalidade de árvores de valor comercial após fogo florestal pelo preço que as serrarias pagariam aos fazendeiros por espécie em pé na mata. O valor pago foi maior para aquelas árvores retiradas de uma floresta que não tinha sofrido exploração madeireira antes da ocorrência do fogo e menor em áreas florestais distantes do mercado.

Os prejuízos econômicos associados com a perda de madeira comercializável foram estimados multiplicando a área total atingida pelo incêndio florestal (anos com e sem El Niño) pela perda por hectare estimada em Paragominas (US\$ 5 por hectare). No ano de 1998, caracterizado pela seca severa devido ao fenômeno El Niño, o prejuízo monetário ultrapassou US\$ 13 milhões. No ano de 1995 sem a influência do El Niño as perdas monetárias por incêndios florestais alcançaram, aproximadamente, US\$ 1 milhão (Gráfico 5). Essas estimativas são conservadoras, pois subestimam a perda de madeira em florestas primárias (não-exploradas) após incêndios. Por outro lado, também existe um viés de superestimativa para aqueles incêndios que atingem florestas distantes do mercado e, portanto, economicamente inviáveis para exploração pela indústria madeireira.

Neste estudo, os danos econômicos derivados de incêndios florestais foram valorados, exclusivamente, pela perda de madeira comercializável, excluindo outros custos adicionais, como as perdas de produtos não-madeireiros (castanhas, cipós, óleos e plantas medicinais) que, tradicionalmente, são extraídos da floresta e vendidos no mercado pelos produtores rurais, se constituindo em uma parcela de sua renda. Além disso, não foi considerada a eliminação de fauna, o valor dos serviços ecológicos da floresta em pé para a manutenção do ciclo hidrológico e do sistema climático regional, assim como valores éticos e culturais que são mais difíceis de ser quantificados em termos econômicos.

GRÁFICO 5

Perdas Econômicas pela Destruição de Madeira por Incêndios Florestais na Amazônia Brasileira



3 EXTERNALIDADES DO FOGO PARA A SOCIEDADE

O uso do fogo no sistema produtivo da Amazônia gera externalidades para a sociedade como um todo. Os principais danos identificados são a emissão de gases para a atmosfera e as doenças respiratórias provocadas pela fumaça. Outros prejuízos são o fechamento de aeroportos, interrupção nas redes de energia e acidentes de trânsito pela falta de visibilidade nas estradas. Essas externalidades negativas são causadas tanto pelo fogo intencional (queimadas agrícolas) quanto pelo fogo acidental. Devido à limitação de informações, este estudo focalizou-se nos prejuízos do fogo pela liberação de CO₂ para atmosfera e por danos provocados à saúde humana na forma de doenças respiratórias.

3.1 EMISSÕES DE CO₂

A crescente emissão de gases de efeito estufa (GEE),¹⁵ principalmente de dióxido de carbono (CO₂), pelas atividades humanas vem provocando um aumento da temperatura do planeta, que deve crescer no futuro. Dos 8,3 bilhões de toneladas de carbono emitidos para a atmosfera pela ação antrópica cada ano, a maior parte (6,3 bilhões de toneladas por ano) é produzida pela queima de combustíveis fósseis e, aproximadamente, 2 bilhões de toneladas pelo desmatamento de florestas tropicais. O fogo, que é usado como ferramenta na conversão de florestais tropicais em áreas agrícolas, contribui para esta emissão de carbono para a atmosfera e para os prejuízos econômicos causados por ela.

15. Outros GEE que contribuem para a alteração do clima do planeta são: metano (CH₄), gases do tipo CFC, óxido nitroso (N₂O), SF₆, HFCs e CF₄.

Na Amazônia brasileira, o desmatamento provoca a emissão de aproximadamente 200 milhões de toneladas de carbono para a atmosfera a cada ano [Houghton, Skole e Nobre (2000)], o que representa 2,5% da emissão global de carbono. Neste estudo, não foi incluída a emissão de carbono proveniente do desmatamento, já que o papel do fogo no desmatamento serve, principalmente, para acelerar a emissão do carbono contido na biomassa da floresta, mas não é imprescindível para esta emissão acontecer.

Porém, existe uma outra forma de emissão de carbono das florestas da Amazônia que depende estritamente do fogo, que é o carbono liberado pelos incêndios florestais. O foco, portanto, será dado exclusivamente na estimativa das emissões de CO₂ na Amazônia brasileira oriundas de incêndios florestais, tanto em anos sob efeito do El Niño como naqueles considerados normais em termos climatológicos. Dessa forma, busca-se também valorar, em termos monetários, os prejuízos dessa externalidade do fogo para a sociedade como um todo.

3.1.1 Gás Carbônico (CO₂) Liberado para a Atmosfera pelos Incêndios Florestais

A quantidade de carbono liberada para a atmosfera pela queima acidental das florestas amazônicas depende, naturalmente, da área florestal atingida pelo fogo, da quantidade de biomassa contida nessa área e do índice de perda de biomassa aérea após o incêndio florestal.

Nesse contexto, as emissões de CO₂ originárias de incêndios florestais foram estimadas com base na área florestal atingida pelo fogo acidental em anos com e sem El Niño, que foi obtida pela relação espacial entre áreas desmatadas e incêndios florestais, e parametrizada pelo índice de precipitação e tipo de vegetação (Subseção 2.2.1, Tabela 4 e Gráfico 4). A essas estimativas foram sobrepostos os cálculos de biomassa vegetal elaborados por Houghton, Skole e Nobre (2000) para a Amazônia brasileira, usando a estratificação de alto e baixo conteúdo de biomassa (Gráfico 6).

Na área de floresta ombrófila densa o conteúdo de biomassa variou de 121 a 397 t/ha, na de floresta ombrófila aberta de 165 a 310 t/ha e na de floresta de contacto de 161 a 310 t/ha. Uma vez definido o conteúdo de biomassa da área florestal queimada foram aplicados percentuais de mortalidade de biomassa aérea após incêndios de 10% e 50%,¹⁶ que corresponde ao conteúdo de carbono sendo liberado para a atmosfera.

Em resumo, o conteúdo de carbono liberado após incêndio florestal foi estimado conforme a seguinte equação:

$$C = \alpha A_i B_i \quad (7)^{17}$$

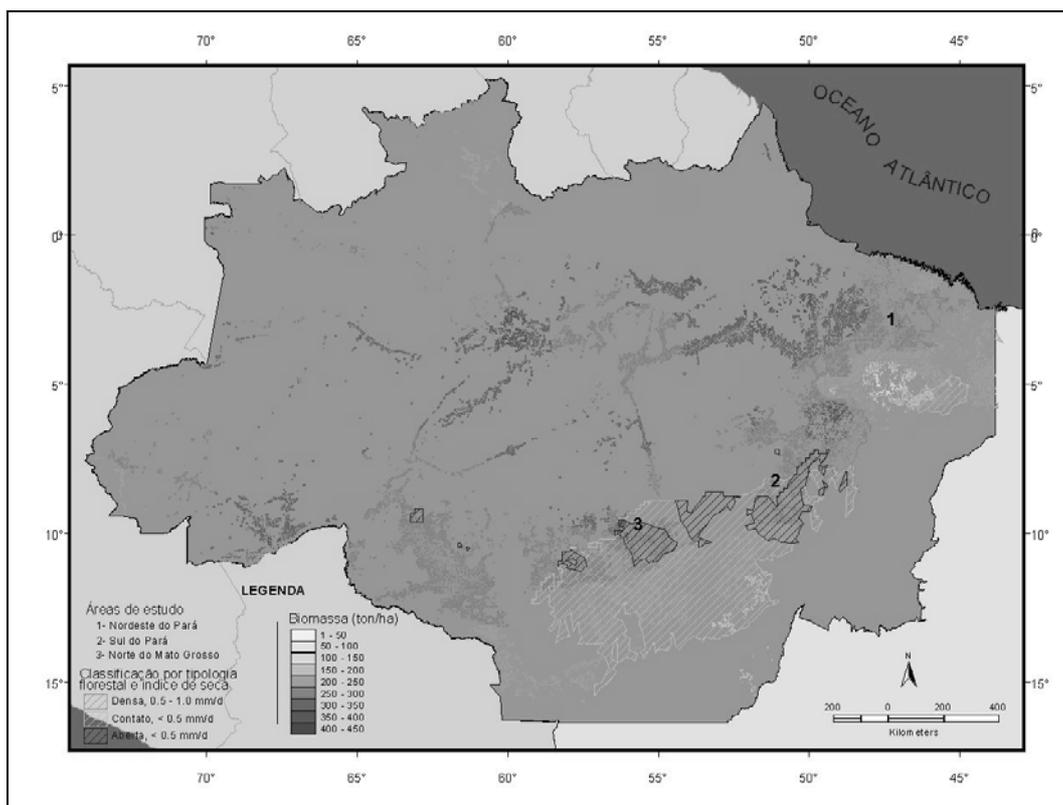
onde:

C_i = quantidade de carbono liberada após incêndios por tipo de floresta;

16. Os estudos de Holdsworth e Uhl (1997), Cochrane e Schultze (1999), Carvalho e Nepstad (não publicado) e Barlow *et alii* (manuscrito inédito) mostram que entre 10% e 50% da biomassa aérea da floresta amazônica podem ser mortos por incêndio florestal, e acabam sendo liberados para a atmosfera pela combustão do fogo ou pela decomposição das árvores mortas.

17. Houghton, Skole e Nobre (2000).

Áreas Atingidas por Incêndios Florestais na Amazônia, Estratificadas pela Quantidade de Biomassa (toneladas/ha)



Nota: Existe bastante incerteza com relação ao conteúdo de biomassa por hectare das florestas amazônicas. Brown e Lugo (1992) chegaram a um valor médio para o conteúdo de biomassa em floresta nativa de 155 t/ha, enquanto Fearnside (1997) estimou em 464 t/ha. No Gráfico 5 foram aplicadas as estimativas de biomassa florestal calculadas por Houghton *et alii* (2000) para a região amazônica sobre as áreas florestais analisadas neste estudo. Estes autores elaboraram três estimativas de biomassa usando a estratificação de alto, baixo e médio conteúdos de biomassa. As duas primeiras estimativas (alta e baixa) fundamentaram-se na conversão dos volumes de madeira do projeto Radam Brasil em biomassa. A estimativa de biomassa média teve como base levantamentos de volumes de madeira através de pesquisas de campo realizadas em 56 locais da Amazônia.

A_i = área queimada por tipo de floresta para anos com e sem El Niño;

B_i = densidade da biomassa por tipo de floresta (usando as estimativas baixas e altas); e

α = índice de mortalidade de biomassa após incêndios (0,1 e 0,5).

A partir da metodologia descrita anteriormente foram estimadas as emissões de carbono para anos com e sem El Niño, considerando conteúdos e mortalidade de biomassa máximos e mínimos (Tabela 5). Os resultados mostram que durante o ano de 1995, sem a ocorrência do fenômeno El Niño, a área de floresta que pega fogo (1.800 km²) libera de 3 milhões a 29 milhões de toneladas de carbono provenientes, principalmente, da queima de florestas densas e de contato. No ano de 1998, sob a influência do evento El Niño, 26 mil km² de floresta são atingidos pelo fogo, emitindo de 36 milhões a 472 milhões de toneladas de carbono provindas, na sua maioria, das florestas de contato.

TABELA 5

Emissões de CO₂ por Incêndios Florestais na Amazônia Brasileira

Tipos de floresta	Área de incêndio florestal (km ²)		Biomassa (t/ha)		Emissões de CO ₂ (milhões/t)			
	1998	1995	Mín.	Máx.	Com El Niño (1998)		Sem El Niño (1995)	
					Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Ombrófila densa	15.200	100	121	397	18	302	0,2	2
Ombrófila aberta	1.100	200	165	310	2	17	0,3	3
De contato	9.900	1.500	161	310	16	154	3	24
Total	26.200	1.800			36	472	3	29

Nota: Estas estimativas são explicadas no texto.

Esses resultados demonstram que os incêndios florestais em anos com El Niño, que estão sendo contabilizados neste relatório pela primeira vez, podem dobrar as emissões de carbono derivadas do desmatamento da floresta amazônica, cuja média estimada é de 200 milhões de toneladas ao ano [Houghton, Skole e Nobre (2000)]. Mas é importante salientar o grande nível de variação dessa estimativa de emissões de CO₂ de incêndios florestais devido à falta de mapeamento completo dos incêndios e à grande variação no nível de biomassa florestal morta por esses incêndios. Essas estimativas de emissões, contudo, devem ser consideradas para fins de cálculo das emissões nacionais de carbono, o chamado inventário nacional de emissões,¹⁸ que advém de uma exigência do Protocolo de Kyoto, do qual o Brasil faz parte. Com as estimativas das emissões de carbono reveladas por este estudo, é possível que o montante das emissões mediante uso da terra na Amazônia até agora aventadas pelo governo em diferentes momentos (100 milhões a 130 milhões de toneladas de carbono/ano) deva ser corrigido para um valor significativamente maior.

3.1.2 Custo Econômico da Liberação de CO₂

Existem na literatura dois procedimentos distintos para impor valores monetários às emissões de CO₂, a saber: (a) o dano de emissão ou o benefício gerado pela mitigação; e (b) o custo da mitigação.

O conceito de dano de emissão refere-se às conseqüências que a mudança no clima pode acarretar ao bem-estar individual e social vistas sob a ótica econômica. Esse conceito é definido como a diferença, em termos de bem-estar, entre cenários distintos de emissão. Em geral, a perda de bem-estar é medida em termos do produto que deixou de ser gerado devido aos impactos oriundos da mudança climática que decorre das emissões.

Por outro lado, o benefício da mitigação mede o dano evitado graças à imposição de uma medida mitigadora, sendo definido como a diferença entre os valores para dano gerados a partir de duas trajetórias de emissão (trajetória *baseline business as usual* e trajetória resultante após a implantação de uma medida mitigadora). O benefício marginal de redução também pode ser calculado como o imposto necessário para reduzir em uma unidade a emissão de CO₂, isto é, um preço-

18. O inventário brasileiro será, segundo informações do governo, lançado durante a Conferência das Partes a ser realizada em Nova Déli, Índia, no final do mês de outubro do corrente ano.

sombra do carbono.¹⁹ Os valores médios encontrados nesses trabalhos para o benefício marginal variam entre US\$ 5 e US\$ 10 por tonelada de CO₂.

A outra forma de valorar as emissões de CO₂ provém da estimativa do custo de mitigação evitado. Nesse sentido, utilizam-se os valores definidos através de modelos que tentam simular o preço do carbono a partir dos diferentes mecanismos do Protocolo de Kyoto,²⁰ flexibilizando a mitigação ao permitir o comércio mundial do carbono. Aqui a literatura também é controversa. O custo marginal de mitigação estimado para os países ricos é muito elevado e ainda existem indefinições nas regras de comércio a serem adotadas para cada mecanismo. Dessa forma preços de equilíbrio podem ultrapassar o nível de US\$ 20 por tonelada de carbono.²¹ Por outro lado, Zhang (2000) estimou o preço do carbono com base em um modelo que permite a participação dos três mecanismos do Protocolo de Kyoto sob três diferentes cenários de regulação e projeta um preço do carbono entre US\$ 3,5 e US\$ 9,6. Essas estimativas refletiriam melhor o custo de carbono poupado na medida em que estão relacionadas ao fato de que esta seria a remuneração a ser obtida num suposto mercado internacional de carbono.

Conforme o exposto anteriormente, o preço do carbono está sujeito a variações derivadas da metodologia utilizada para seu cálculo, sendo fortemente influenciado pela conjuntura política mundial e os acordos internacionais sobre redução das emissões globais. Nesse contexto, o dano monetário originado pelas emissões de CO₂ oriundas dos incêndios florestais na Amazônia brasileira foi estimado utilizando preços mínimos e máximos encontrados na literatura, isto é, US\$ 3,5 e US\$ 20 por tonelada de carbono. Dessa maneira, estabeleceu-se um intervalo de custo que reflete a variabilidade do preço do CO₂ devido ao grau de incerteza no mercado e nas negociações mundiais.

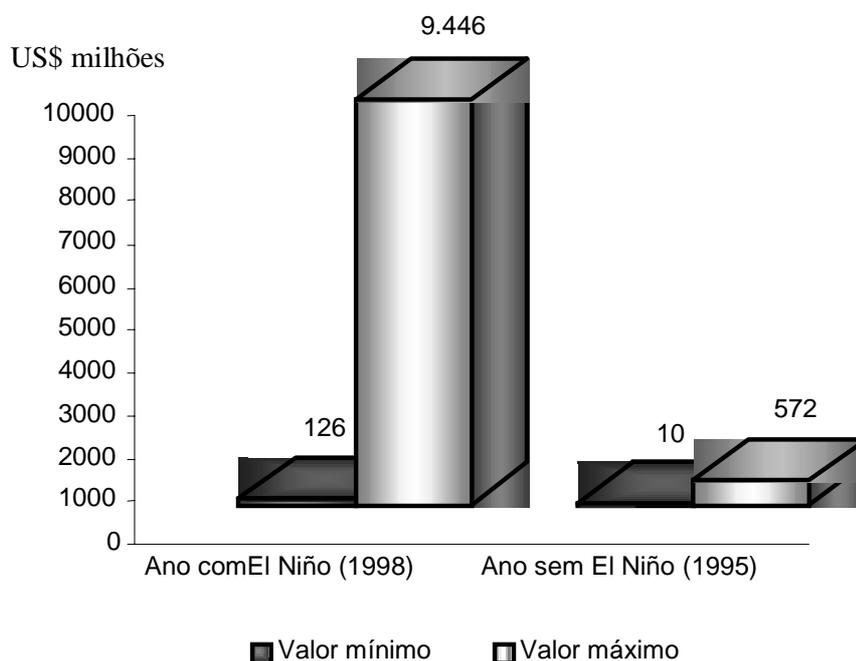
As estimativas mostram que, no ano de 1998, sob efeito do El Niño, as emissões de CO₂ oriundas dos incêndios florestais originariam perdas monetárias equivalentes a US\$ 9.446 milhões. No ano de 1995, sem a influência do El Niño, os prejuízos variariam de US\$ 10 milhões a US\$ 572 milhões. Estes valores poderiam ser muito superiores se fossem adicionadas as emissões provenientes do desmatamento da floresta amazônica (Gráfico 7).

19. Para mais detalhes, ver Nordhaus (1994), Peck e Teisburg (1992) e Madison (1994).

20. Os mecanismos do Protocolo de Kyoto são: (a) as quotas transacionáveis, que autorizam a transferência ou aquisição de redução de emissão entre países que possuem quotas máximas de emissões estipuladas no Protocolo; (b) o mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL), que permite que países comercializem suas reduções de carbono, com países com quotas; e (c) a implementação conjunta, que autoriza transferência de reduções de carbono mediante financiamento de projetos.

21. Ver Austin e Faeth (2000), para o caso de MDL em países em desenvolvimento, e Seroa da Motta, Ferraz e Young (2000) para uma análise específica do Brasil.

Valor Monetário das Emissões de Carbono Oriundas dos Incêndios Florestais na Amazônia Brasileira



3.2 DANOS À SAÚDE HUMANA

A saúde da população é fortemente afetada pela fumaça que é liberada nas queimadas agrícolas e incêndios florestais na Amazônia brasileira. Todo ano, durante a estação seca, registra-se aumento no número de pacientes internados nos hospitais e centros de saúde que apresentam quadros sintomáticos de bronquite, asma e outras doenças respiratórias provocadas pela inalação de fumaça [Nepstad, Moreira e Alencar (1999a)]. A liberação de fumaça atinge tanto os habitantes da Amazônia rural quanto a população de grandes centros urbanos, como Cuiabá, Boa Vista, Manaus e Rio Branco.

Na época das queimadas agrícolas grandes nuvens de fumaça se deslocam e cobrem vastas extensões da Amazônia. O monitoramento por satélite feito em agosto de 1995 mostrou uma nuvem de fumaça cobrindo cerca de 5 milhões de km², numa área igual a mais da metade do território brasileiro. Em algumas regiões da Amazônia a fumaça liberada pelas queimadas agrícolas e incêndios florestais origina concentrações de até 500 microgramas de partículas em um metro cúbico (m³) de ar, quando o normal para a região é de 15 a 20 microgramas por m³ de ar,²² superando de duas a três vezes as concentrações registradas em São Paulo.²³ Nesse caso a queimada surge como um fator que contribui para a concentração de material

22. Nas províncias de Kalimantan Central e Jambi, na Indonésia, foram reportadas concentrações de até 4 mil microgramas de partículas em um m³ de ar no mês de setembro de 1997 por causa das queimadas agrícolas [Barber e Schweithelm (2000)].

23. A legislação brasileira indica como padrão de qualidade do ar o máximo de 50 microgramas de partículas por m³. O ar da cidade de São Paulo registra, na média, 70 microgramas/m³ e o estado de alerta é atingido aos 150 microgramas/m³ (Artaxo, <http://www.fapesp.br/projeto251.htm>).

particulado na atmosfera e, conforme já foi demonstrado em alguns estudos, existe uma correlação positiva entre os altos índices deste poluente e a incidência de doenças respiratórias [Ostro (1983) e Seroa da Motta e Mendes (1995)].

A mensuração dos custos de saúde associados com a liberação de fumaça está atrelada à relação entre as variações de concentração de particulados geradas pelas queimadas e as variações nos índices de morbidade na região. A obtenção dessa correlação não é trivial pelo fato de que uma mesma doença respiratória pode estar associada a outras fontes de poluição, como fuligem de serrarias e poeira de estradas não-pavimentadas.

Neste estudo foram quantificados os casos de doenças respiratórias associados à fumaça utilizando modelos econométricos e atribuindo valores monetários a partir da disposição que indivíduos têm em pagar por uma redução do risco à saúde e do gasto governamental por internação hospitalar.

3.2.1 Modelo Econométrico para Morbidade

Com uso de técnicas econométricas, estimou-se uma relação entre casos de doenças respiratórias e a incidência de fogo observada na região. Quer dizer, a estimativa de uma função “dose-resposta” que associa variações de emissões com variações de casos de doenças. O modelo dose-resposta foi estimado conforme a seguinte equação:

$$N_{it} = f(S_{it}, F_{it}, Z_{it}) \quad (8)$$

onde:

N_{it} = incidência de morbidade por doenças respiratórias no município i no ano t ;

S_{it} = área total queimada (fogo total) para o município i no ano t ;

F_{it} = contribuição de outras fontes de emissão no município i no ano t ; e

Z_{it} = vetor de variáveis socioeconômicas do município i no ano t .

Os dados para a variável dependente, incidência de casos por doenças respiratórias (N_{it}) foram obtidos de informações municipais sobre o número de internações (morbidade) registradas nos hospitais do Sistema Único de Saúde (SUS), que constam na base de dados Datasus (<http://www.datasus.gov.br>) do serviço de informação do Ministério da Saúde.

Para a variável explicativa S_{it} (área total queimada) foi utilizada a estimativa do Inpe e WHRC, conforme a metodologia descrita no Anexo 1. As variáveis explanatórias F_{it} (outras fontes de emissão) foram controladas pelo volume de madeira serrada por município [Nepstad *et alii* (1999b)] e a razão entre extensão da malha rodoviária não-pavimentada e área de cada município [IBGE (1997)].

Em relação às variáveis explicativas socioeconômicas Z_{it} , foram utilizados o tamanho da população²⁴ [IBGE, Censo Demográfico (1991) e Contagem da

24. Os dados existentes de população municipal para os anos de 1991 e 1997 foram interpolados com base numa taxa de crescimento linear para obter os relativos ao período 1996-1999.

População (1996)] e três indicadores de renda municipal:²⁵ valor real da madeira em tora, valor real da produção agropecuária (lavoura temporária) e um índice de quantidade (*quantum*) relacionado à atividade pecuária [IBGE, Censo Agropecuário (1996) e Produção Agrícola Municipal (vários anos)]. O valor real da madeira em tora tem como objetivo captar a renda proveniente da atividade madeireira e o índice *quantum* da atividade pecuária mantém uma relação direta com a expansão do rebanho bovino na região.

Esperou-se, naturalmente, encontrar uma correlação positiva entre a área total queimada e a incidência dos casos de morbidade decorrentes das doenças respiratórias. A mesma expectativa se teve para as variáveis de outras fontes de emissão e o tamanho da população.²⁶ Já para a renda esperou-se uma correlação negativa, uma vez que municípios mais ricos teriam mais capacidade de tratar seus doentes, assim como indivíduos de maior riqueza podem ser menos afetados pelo fato de possuírem meios de estar fora das áreas mais poluídas. Todavia, outros estudos referentes a estimativas de funções dose-resposta para poluição atmosférica — por exemplo, Seroa da Motta e Mendes (1995) — não encontram significância na variável renda, uma vez que as áreas mais poluídas muitas vezes são aquelas economicamente mais dinâmicas e, portanto, os indivíduos de maior renda podem ser também afetados.

A projeção dos casos de morbidade associados às queimadas na Amazônia foi calculada a partir do produto entre o parâmetro estimativo relativo à área de fogo total e à área total queimada do município. Formalmente, tem-se:

$$b = \frac{\partial N_{it}}{\partial S_{it}} \quad (9)$$

$$Nf_{it} = b \cdot S_{it} \quad (10)$$

onde:

Nf_{it} = estimativa dos casos de morbidade por doenças respiratórias no município i no ano t ;

b = parâmetro que estima a contribuição específica das queimadas; e

S_{it} = área total queimada no ano t no município i .

Da mesma forma que no caso das perdas agropecuárias, utilizaram-se modelos de MQO e de painel para o dano físico à saúde humana. Conforme mostra a Tabela 6, todos os modelos para morbidade têm um bom ajuste e quase todas as variáveis são significativas.

25. Pelo fato de a renda municipal não estar aferida para todo o período de análise, foi necessário usar variáveis que a representassem no modelo.

26. Como não foi utilizada taxa de incidência e sim números de casos, houve necessidade de usar a população como mecanismo de controle.

TABELA 6

Regressões entre Casos de Internações por Doenças Respiratórias e Variáveis Independentes Seleccionadas

Variável dependente	Internações por doenças respiratórias					
	MQO		Painel efeito aleatório		Painel efeito fixo	
Fogo total	0,6853*	0,6885*	0,3080*	0,3077*	0,2961*	0,2919*
	(0,000)	(0,000)	(0,000)	(0,000)	(0,000)	(0,000)
População	0,0072*	0,0071*	0,0072*	0,0072*	0,0082*	0,0082*
	(0,000)	(0,000)	(0,000)	(0,000)	(0,000)	(0,000)
Índice de atividade pecuária	-0,1433	-	-0,8843*	-0,8833*	-1,4882*	-1,4821*
	(0,214)	-	(0,000)	(0,000)	(0,000)	(0,000)
Valor real da madeira	0,5100	-	0,3483*	0,3485*	0,3203**	0,3212**
	(0,157)	-	(0,050)	(0,050)	(0,091)	(0,090)
Valor real da produção agrícola	0,0336	-	-0,0026	-	-0,0259*	-
	(0,671)	-	(0,970)	-	(0,724)	-
Volume de produção madeireira	0,0003*	0,0004*	0,0005*	0,0004*	-	-
	(0,022)	(0,005)	(0,000)	(0,000)	-	-
Densidade de estradas não-pavimentadas	4136,371*	4355,579*	5037,35*	5032,28*	-	-
	(0,000)	(0,000)	(0,100)	(0,000)	-	-
Constante	119,964*	100,921*	262,811*	262,511*	412,697*	410,590*
	(0,403)	(0,001)	(0,000)	(0,000)	(0,000)	(0,000)
Número de observações	1056	1056	1056	1056	1056	1056
R ²	0,66	0,66	0,66	0,66	0,17	0,17
RHO	-	-	0,910	0,910	0,926	0,926
Teste de Hausman	-	-	24,32*	24,49*	-	-
	-	-	(0,005)	(0,002)	-	-
Teste de Bresch-Pagan	-	-	1263,45*	1263,28*	-	-
	-	-	(0,000)	(0,000)	-	-

Nota: Para cada método de estimação foi calculado um modelo com todas as variáveis e outro constando somente as variáveis significativas. Aquelas variáveis que são estatisticamente significativas para explicar as variações nos casos de doenças respiratórias provocadas pelo fogo estão marcadas com notações * (menor do que 5% de probabilidade) e ** (menor do que 10% de probabilidade).

Como os dados de estradas e madeira não variam no tempo, estes são desconsiderados no modelo painel fixo.

O alto valor de RHO e o teste de Bresch-Pagan indicam a importância do componente individual, enquanto a probabilidade zero para o teste de Hausman assinala, contudo, que o efeito aleatório não é dominante e, assim, a estimação mais consistente é aquela por efeito fixo.

Os coeficientes estimados para fogo total são muito próximos nos modelos de painel de efeito fixo e efeito aleatório, sendo superiores no de MQO. As outras variáveis explicativas também apresentaram comportamento diferenciado entre os modelos aplicados. No de MQO as variáveis população e fontes de emissão são significativas e de sinal correto, enquanto as de renda não são significativas. No modelo de painel de efeito fixo o sinal da renda está positivo para o valor da produção madeireira, negativo para o índice *quantum* de bovinos e não-significativo para o valor da produção agrícola. No modelo painel de efeito aleatório as variáveis de fonte de emissão, densidade de estradas e madeira serrada são relativas e não variam no tempo, mas o índice de atividade pecuária aparece significativo e com sinal negativo. Com base nestes resultados, os modelos foram estimados somente controlando pelas variáveis que aparecem significativas: fogo total, população e renda.

Os resultados das análises de regressão sugerem que o modelo de painel de efeito fixo é o mais indicado para estimar os casos de morbidade associados com as emissões de fumaça. Entre os três modelos para morbidade, o coeficiente do modelo de efeito fixo é o menor. Todavia, a estimativa mais apurada tanto quanto possível deste coeficiente é fundamental, pois ele determina o número de casos de morbidade associados ao uso do fogo na Amazônia. Embora não seja possível, a partir do uso do

“estimador” de efeito fixo, obter os coeficientes para as variáveis que não possuem variação temporal, como é o caso de densidade de estradas não-pavimentadas e volume de produção de madeira serrada, esse método permite uma estimativa mais fidedigna do coeficiente relacionado à área total queimada.

3.2.2 Casos de Doenças Respiratórias

De acordo com os resultados econométricos anteriores, na Tabela 7 são apresentados os valores projetados de casos de morbidade relacionados à fumaça em cada ano do período 1996-1999. Tais valores foram obtidos a partir das equações (9) e (10) mediante aplicação do modelo de painel de efeito fixo.

TABELA 7
Dano Físico à Saúde Humana pelo Uso do Fogo na Amazônia Brasileira — 1996-1999

Ano	Doenças respiratórias		
	Total de internações	Internações associadas às queimadas	Total (%)
1996	149.951	4.319	3
1997	155.706	6.816	4
1998	152.246	12.875	8
1999	167.559	13.372	8
Média	156.366	9.346	6

O número de casos de internações por doenças respiratórias associadas à fumaça variou entre 4.319 e 13.372 no período 1996-1999, com uma média anual de mais de 9 mil pacientes internados. A maior extensão da área queimada nos anos de 1998 e 1999, e, conseqüentemente, a maior fumaça liberada, explica o incremento no número de pessoas apresentando doenças respiratórias. Nesses anos 8% do total de internações por doenças respiratórias foram provocados pela fumaça originada da queima de biomassa vegetal. Resultados semelhantes foram encontrados no estudo realizado na Indonésia por Barber e Schweithelm (2000), no qual oito províncias com uma população de 12,3 milhões de habitantes registraram 16 mil pacientes hospitalizados em conseqüência da fumaça produzida no período de setembro a novembro de 1997.

Essas estimativas são conservadoras, uma vez que foram considerados somente os casos de doenças respiratórias registrados no SUS, ficando excluídos da análise os pacientes atendidos nos hospitais privados assim como as pessoas que recorreram à automedicação.

3.2.3 Valor Monetário do Dano por Doenças Respiratórias

O prejuízo econômico derivado dos casos de doenças respiratórias provocadas pelo uso do fogo na região amazônica foi mensurado pela perda de bem-estar que as doenças ocasionam. Uma medida para essa perda é a disposição a pagar (DAP) dos indivíduos, medida como parte de sua renda, para diminuir o risco de contrair uma

enfermidade respiratória.²⁷ Outro procedimento estimativo foi determinar os gastos públicos evitados no tratamento dessas doenças e a perda de produção dos indivíduos afetados caso esse aumento de doenças não ocorresse.

Na metodologia de DAP, também denominada transferência de benefícios, utilizam-se valores estimados em outras economias e ajustados à economia local pelo diferencial de renda *per capita*, seguido de uma ponderação pela elasticidade-renda da demanda da economia local.²⁸ O valor de DAP é ajustado, adicionalmente, pelas diferenças em expectativa de vida e gastos com saúde. Externe (1998) estimou valores de DAP associados ao risco na saúde humana para a Europa e, posteriormente, Seroa da Motta, Ortiz e Freitas (2000) ajustaram estes para o Brasil, conforme a seguinte função de transferência:

$$DAP_{br} = DAP_{eu} \times (PPC_{br} / PPC_{eu})^e \times (E_{br} / E_{eu}) \times (G_{br} / G_{eu}) \quad (11)$$

onde:

DAP_{br} = disposição a pagar para diminuir o risco de morbidade por doenças respiratórias no Brasil a partir de valores estimados para a Europa;

DAP_{eu} = disposição a pagar para diminuir o risco de morbidade por doenças respiratórias estimado para a Europa;

PPC_{br} = renda *per capita* brasileira ajustada pela paridade do poder de compra do real;

PPC_{eu} = renda *per capita* da Europa ajustada pela paridade do poder de compra do Euro e elasticidade marginal da renda no Brasil;

E_{br} e E_{eu} = expectativa de vida, respectivamente, no Brasil e na Europa; e

G_{br} e G_{eu} = gastos do governo com saúde, respectivamente, no Brasil e na Europa.

Seroa da Motta, Ortiz e Freitas (2000) estimaram valores de DAP para diversos cenários de ajustes e geraram valores anuais que variam de US\$ 800 a US\$ 2.000 por indivíduo. Dada a dificuldade de estimar valores de DAP ajustados para cada município da região amazônica, foram utilizadas as estimativas de Seroa da Motta, Ortiz e Freitas (2000), que refletem a média nacional. Tal procedimento gera, certamente, uma superestimativa da DAP, pois tanto a renda *per capita* como os indicadores de gastos de saúde e expectativa de vida da região são inferiores aos da média nacional. Sendo assim, foi usado um valor de elasticidade da renda igual a 1 ($e = 1$) que assume igual paridade entre risco de saúde e outros itens de consumo e, portanto, diminui o valor ajustado. Esse valor anual da DAP em dólares de 1998 foi, então, de US\$ 797 como um pagamento que o indivíduo estaria disposto a pagar para evitar o risco atual de ficar doente por conta dos efeitos da fumaça do desmatamento. Note-se que não é o valor da doença e sim o do risco da doença.

27. A técnica de valoração contingente pode ser adotada perguntando diretamente às pessoas sua disposição a pagar ou aceitar variações de risco de vida ou incidência de uma doença. Ou, ainda mais comum, observando variações de salários *vis-à-vis* variações de risco na ocupação.

28. Esta ponderação representa a redução marginal da DAP de um indivíduo por um certo benefício em relação à redução marginal da sua renda.

Uma outra forma de avaliar o dano à saúde humana foi através dos gastos totais incorridos com tratamento de saúde por doenças respiratórias, que seriam evitados no SUS caso não ocorressem queimadas. Esses valores foram estimados a partir do custo médio de internação, da mesma base do SUS, em relação à morbidade causada apenas pelo uso do fogo. O gasto médio anual de internação por indivíduo, isto é, a razão entre o gasto total evitado e o número de internações, variou de US\$ 173 a US\$ 196.

Na Tabela 8 são apresentados os valores monetários do dano por doenças respiratórias calculados através das abordagens de DAP e gasto evitado com internação (GEI) para cada ano do período 1996-1999.

TABELA 8

Dano Monetário à Saúde Humana pelo Uso do Fogo na Amazônia Brasileira — 1996-1999

Ano	Internações por doenças respiratórias	Valor do dano (US\$ milhões de 1998)		
		DAP ¹	GEI ²	GEI / DAP (%)
1996	4.319	3,4	0,8	23
1997	6.816	5,4	1,2	21
1998	12.875	10,3	2,5	25
1999	13.372	10,7	2,6	26
Média	9.346			

1. O valor de DAP por indivíduo para evitar risco de doenças respiratórias foi estimado em US\$ 797 por Seroa da Motta, Ortiz e Freitas (2000) usando elasticidade-renda igual a 1.

2. O valor médio de GEI por indivíduo foi obtido das informações do Datasus (<http://www.datasus.gov.br>) para cada ano do estudo.

Os custos médios anuais associados ao fogo, estimados mediante a metodologia de DAP, foram de US\$ 7,4 milhões, chegando a ultrapassar US\$ 10 milhões nos anos de 1998 e 1999 quando houve um incremento no número de casos de doenças respiratórias pela maior extensão da área queimada. Na abordagem do GEI os prejuízos econômicos são menores, atingindo uma média anual de US\$ 1,7 milhão. Os GEIs representam apenas 1/4 das estimativas com DAP ajustadas. Isso é esperado, posto que estes gastos evitados não refletem a perda de bem-estar individual e sim uma perda de gastos públicos, que no caso deve até ser muito baixa por questões de restrições orçamentárias.

Contudo, esses valores constituem uma subestimativa ao considerar que, unicamente, se está valorando a incidência de doenças respiratórias registradas na rede pública de atendimento do SUS e que casos mais graves que culminaram em morte não foram contabilizados.

4 COMENTÁRIOS FINAIS

Os impactos econômicos e ambientais ocasionados pelo fogo vêm assumindo uma posição de destaque no âmbito internacional, principalmente após a ocorrência do fenômeno El Niño (1997 e 1998), quando uma superfície de 25 milhões de hectares de diversos ecossistemas do planeta foi atingida pelo fogo [FAO (2001)]. Na Amazônia brasileira o desastre ecológico provocado pelo incêndio de Roraima chamou a atenção mundial e a nacional sobre os efeitos negativos de uma ferramenta

agrícola que, quando fora de controle, pode gerar mais prejuízos que benefícios, constituindo-se em ameaça potencial para os ecossistemas e a biodiversidade.

O fogo, tradicionalmente visto como alternativa econômica viável para os agricultores e fazendeiros da região, tem se constituído também em um dos principais agentes de transformação da paisagem amazônica e de geração de prejuízos econômicos. Embora tais prejuízos sejam percebidos entre os diversos setores econômicos da região, uma determinação objetiva de sua magnitude até o momento não tinha sido calculada. Este estudo, portanto, vem preencher esta lacuna.

Entretanto, devido à limitação nos dados disponíveis, o exercício de valoração realizado foi muito simples e restrito às perdas de produção e consumo que são observadas na região. Quer dizer, apenas tratou-se de medir perdas de bens e serviços privados que são afetados em decorrência das queimadas. Além disso, sempre foram utilizadas medições conservadoras, com viés para valores subestimados, tanto no dano físico como na valoração monetária, sem que fossem considerados os valores de opção e de existência da floresta queimada em termos de seu patrimônio genético e biológico.

Embora a não-inclusão desses valores estritamente ecológicos seja uma limitação para a valoração total dos danos causados pelo fogo, as estimativas parciais, por outro lado, podem ser percebidas com maior objetividade, uma vez que se está medindo as perdas que afetam diretamente a economia regional. Mesmo assim, os danos físicos e econômicos resumidos nas Tabelas 9 e 10, respectivamente, revelaram-se significativos.

TABELA 9

Resumo do Dano Físico Provocado pelo Fogo na Amazônia Brasileira — 1995-1999

Ano	Perdas agropecuárias		Doenças respiratórias (casos)	Perdas florestais (km ²)	Emissões de CO ₂	
	Pastagem (km ²)	Cercas (km)			Mín. (milhões/t)	Máx. (milhões/t)
1995	n.d.	n.d.	n.d.	1.800	3	29
1996	6.510	15.329	4.319	n.d.	n.d.	n.d.
1997	10.275	24.194	6.816	n.d.	n.d.	n.d.
1998	19.408	45.698	12.875	26.200	36	472
1999	18.649	43.910	13.372	n.d.	n.d.	n.d.

n.d. = não-disponível.

TABELA 10

Resumo do Custo Econômico do Uso do Fogo na Amazônia Brasileira — 1996-1999

(em US\$ milhões de 1998)

Ano	Perdas agropecuárias		Doenças respiratórias		Perdas ¹ florestais	Emissão de CO ₂ ¹		Total de perdas	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
1996	12	32	1	3	1	10	572	24	608
1997	22	53	1	5	-	-	-	-	-
1998	39	97	3	10	13	126	9.446	181	9.566
1999	35	90	3	11	-	-	-	-	-
Média								102	5.087

1. Os custos referentes a perdas florestais e emissão de CO₂, calculados para 1995, foram somados no ano de 1996 para efeitos de obter um valor total dos custos em anos com e sem El Niño, uma vez que o ano de 1996 pode ser considerado um ano de precipitação semelhante a 1995.

Os maiores prejuízos físicos e monetários pelo uso do fogo nas atividades agrícolas da Amazônia ocorreram em 1998 como consequência da severa seca provocada pelo fenômeno El Niño. Na Tabela 9 observa-se que cerca de 19 mil km² de área de pastagem, 46 mil km de cerca e 26 mil km² de florestas foram queimados acidentalmente. Além dos danos aos proprietários rurais, a prática do fogo ainda foi responsável pelo total de 13 mil internações associadas a doenças respiratórias na região. Adicionalmente, os incêndios florestais emitiram entre 36 milhões e 476 milhões de toneladas de carbono para a atmosfera.

Os resultados mostram que cada proprietário rural da Amazônia brasileira perde, em média, 1,5 hectare de pastagem e 40 metros de cerca anualmente pela ação do fogo acidental, embora essas estimativas possam sofrer variações conforme o tamanho da propriedade. Por outro lado, a área atingida por incêndios florestais em anos de El Niño chega a quase dobrar a área desmatada anualmente na região, podendo duplicar as emissões de CO₂ oriundas do desmatamento e aumentando a contribuição das práticas agrícolas para a mudança climática global.

Esses danos, quando valorados monetariamente, conforme mostra a Tabela 10, são também significativos e indicam custos anuais em 1998 em torno de US\$ 102 milhões a US\$ 5.087 milhões, valores que representam de 0,2% a 9,0% do PIB total da região, ou cerca de 2% a 79% do PIB agropecuário.

Vale observar nessa tabela que esta ampla variação dos resultados é fortemente influenciada pelas medidas de emissão de CO₂, uma vez que as estimativas de estoque de carbono contido na floresta ainda revelam muita incerteza. Além disso, os valores anuais são também afetados pela ocorrência ou não do fenômeno El Niño. Dessa forma, em anos de El Niño os valores anuais dos prejuízos monetários podem ultrapassar US\$ 9 bilhões devido, principalmente, às emissões de CO₂ derivadas dos incêndios florestais.

O maior prejuízo recai sobre as emissões de CO₂, pois a liberação de carbono significa danos à economia global. Os custos associados à saúde, embora de menor magnitude, indicam somente quanto a população em geral está incorrendo em perdas de bem-estar por conta de casos de morbidade, sem considerar as perdas de vida. Já as perdas agropecuárias e florestais refletem os custos privados para os produtores rurais que não entram na contabilidade do sistema econômico.

Estudo similar de valoração mediu os custos do uso do fogo para toda a Indonésia [WRI (2000)] no período 1997-1998 e determinou um valor em torno de US\$ 9 bilhões, ou 2,5% do PIB do país. Esse estudo cobriu outros aspectos que não foram estudados no trabalho aqui descrito, tais como: proteção de cheias, erosão do solo, efeitos no transporte, e outros. As perdas na agricultura chegaram a 1/3 do custo total ao passo que as de carbono e madeira somam o outro 1/3. Já os custos associados à saúde não ultrapassaram 0,2%.

Em suma, esta primeira tentativa de medir os custos associados ao fogo na Amazônia permite gerar indicadores econômicos que colocam em questão a eficiência desta prática. Todavia, para uma valoração mais abrangente desses custos econômicos seria fundamental se incluir as perdas de biodiversidade e de produtos não-madeireiros (castanhas, óleos e plantas medicinais), a eliminação de fauna e o valor

dos serviços ecológicos da floresta para a manutenção do sistema hidrológico e climático regional, assim como valores éticos e culturais que são mais difíceis de quantificar em termos monetários pela sua subjetividade.

Mais ainda, para uma avaliação mais conclusiva sobre a eficiência da prática do fogo, seria necessário comparar esses custos totais com os custos econômicos de adoção de técnicas alternativas ao uso do fogo ou com as perdas de produção pela não-utilização do fogo. Independentemente da magnitude estimada desses custos econômicos, mesmo nos seus limites inferiores, já se permite indicar a existência de um amplo espaço de viabilidade de ações de prevenção e combate ao fogo na região.

Tais desdobramentos na direção de uma análise de custo-benefício certamente definem uma agenda de pesquisa posterior. Contudo, considerando que a tendência futura é de que períodos de seca prolongados sejam cada vez mais frequentes, levando ao aumento da inflamabilidade da floresta amazônica e a uma ocorrência maior de incêndios florestais, os prejuízos econômicos futuros para a região poderiam ser superiores àqueles estimados neste estudo.

ANEXO 1

Estimativa de Área Queimada

Ainda não existem estatísticas oficiais da área anualmente queimada na Amazônia brasileira. Os dados publicados periodicamente pelo Inpe revelam exclusivamente a área de cobertura vegetal desmatada, mas as áreas atingidas pelo fogo intencional e acidental em áreas já desmatadas e pelo fogo acidental em áreas de floresta não entram nesta contabilidade.

Uma aproximação da área queimada na região amazônica foi calculada por Setzer e Pereira (1991) para o ano de 1987. Estes autores desenvolveram uma metodologia baseada na análise de imagens do satélite NOAA-9, na identificação dos focos de calor ou *pixels* quentes registrados e na utilização de coeficientes para ajustar possíveis sobreestimativas induzidas pela duplicação de *pixels* quentes com base em pesquisa de campo.²⁹ A metodologia apresenta limitações, pois se precisa de maior pesquisa de chão e do levantamento de cicatrizes de fogo para estabelecer uma relação entre focos de calor e áreas queimadas e para identificar o tipo de fogo³⁰ que está sendo registrado pelo satélite.

A pesar das limitações mencionadas, neste trabalho foi utilizada a metodologia de Setzer e Pereira (1991) para obter uma aproximação da área queimada na Amazônia brasileira durante o período 1996-2000. A estimativa foi realizada conforme as seguintes etapas:

a) Análise das imagens do satélite NOAA-12 da região amazônica entre 1º de junho e 30 de novembro do período 1996-2000, fornecidas por Alberto Setzer, do Inpe.

b) Estimativa anual da frequência de focos de calor registrados nas imagens para cada município.

29. Para maiores detalhes sobre a metodologia, ver Setzer e Pereira (1991).

30. Nepstad, Moreira e Alencar (1999a) fizeram uma revisão sobre os tipos de fogo.

c) Divisão do número de focos de calor por 1,5, fator que indica a duração média do fogo em dias. Esse ajuste é feito considerando que alguns grandes incêndios duram mais que um dia e, portanto, são duplamente registrados pelo satélite.

d) Ajuste pelo fator 0,37, que representa a sobreestimativa da área queimada em cada *pixel* analisado. Em muitos casos a área efetivamente queimada é muito menor do que a área do *pixel* (1,1 km x 1,1 km), pois, na verdade, o satélite registra a ocorrência de um foco de calor por causa de sua alta temperatura, e o foco pode abranger uma área pequena ou representar toda a área do *pixel*.

e) Obtenção da área queimada a partir do produto entre o número de focos de calor ajustados e 1,2 km que corresponde à área de um *pixel* em nadir.

A fórmula a seguir resume a estimativa da área queimada a partir dos focos de calor registrados:

$$AQ = (N^{\circ} \text{ Focos} / 1,5) * (0,63) * (1,2 \text{ km}^2)$$

onde:

AQ = área queimada;

1,5 = duração da queimada (admitindo um número médio de dias de queimada);

0,63 = fator que representa a área queimada, descontando a sobreestimativa de 0,37, conforme Setzer e Pereira; e

1,2 km² = área do *pixel* em nadir.

ANEXO 2

Modelo Básico de Dados de Painei

Na estimação dos modelos introduzidos neste trabalho optou-se pelo uso da abordagem de dados de painel que é a mais apropriada para o tratamento de microdados contidos tanto na pesquisa realizada pelo Ipam no caso do dano à propriedade rural bem como na base de dados que permitiu estimar o dano à saúde humana. A análise de painel tem como característica fundamental o tratamento conjunto tanto de informação *cross-section* como informação contida ao longo do tempo. Assim sendo modelo básico de dados de painel pode ser apresentado do seguinte modo:

$$y_{it} = \alpha + \beta' x_{it} + \delta' z_i + v_{it} \quad \text{para } i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T \quad (\text{A.2.1})$$

Aqui, y_{it} é a variável dependente, x_{it} representa o vetor de variáveis explicativas que variam tanto no tempo t como entre os indivíduos, i . O vetor z_i se relaciona com as variáveis explicativas que mostram variação somente entre os indivíduos. Por fim, de acordo com a metodologia para dados de painel, tem-se que $v_{it} = \alpha_i + u_{it}$, onde α_i é um termo estocástico próprio dos indivíduos em que $E(\alpha_i^2) = \sigma_{\alpha}^2$, enquanto u_{it} é um distúrbio não-estocástico não-correlacionado com (x, z, α) , de modo que $E(u_{it}^2) = \sigma_u^2$. Assim, temos que:

$$y_{it} = \alpha + \beta' x_{it} + \delta' z_i + \alpha_i + u_{it} \quad \text{para } i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T \quad (\text{A.2.2})$$

Tendo em vista as hipóteses do modelo, deve-se notar que o vetor de distúrbio v , $N \times T$, para todas as observações agrupadas foge à hipótese clássica de homocedasticidade, já que sua matriz de covariância é definida por $\sigma_u^2 I_{N \times T} + \sigma_\alpha^2 (I_N \otimes i_T i_T')$, onde i é o vetor unitário e \otimes é o produto de Kronecker. Assumindo em (13) que α é aleatório pode ocorrer que $E(\alpha|x,z) \neq 0$ ou $E(\alpha|x,z) = 0$. No primeiro caso é possível mostrar que os coeficientes $(\beta_{GLS}, \delta_{GLS})$, obtidos a partir da estimação por GLS, são estimadores MELNT e consistentes dos parâmetros (β, δ) . Esse estimador é conhecido na literatura como estimador de efeito aleatório.

Quando ocorre que $E(\alpha|x,z) \neq 0$, ou seja, que o efeito individual é correlacionado com certas variáveis explicativas, é possível obter estimadores consistentes para (β, δ) a partir do seguinte procedimento. Através da aplicação da matriz de desvio Q , $Q = I_{N \times T} - (I_N \otimes i_T i_T' / T)$ sobre (A.2.2) admitiu-se a equação $QY_{it} = QX_{it}\beta + QU_{it}$, onde o vetor de letras maiúsculas representa os dados já agrupados. A partir disso, a estimação do parâmetro β por OLS, que gera o estimador de efeito “fixo” b_w , onde $b_w = (X_{it}' QX_{it})^{-1} X_{it}' QY_{it}$, produz um estimador consistente para β . Em contrapartida, a aplicação da transformação Q em (A.2.2) elimina δ o que, por sua vez, não permite a estimação desse parâmetro por meio desse procedimento.

A questão de como identificar se α é correlacionado ou não com (X_{it}, Z_i) pode ser respondida por meio da aplicação do teste de Hausman. Hausman e Taylor (1981) observam que sob a hipótese nula de ortogonalidade entre α_i e os regressores, tanto o estimador de efeito fixo quanto o estimador de GLS de efeito aleatório são consistentes, enquanto b_w é ineficiente. Sob a hipótese alternativa $E(\alpha|x,z) \neq 0$, b_w é consistente enquanto o estimador GLS não apresenta essa propriedade. Portanto, sob a hipótese nula os dois estimadores não devem diferir sistematicamente [Greene (1993)].

ANEXO 3

Estimativa da Área de Incêndios Florestais

Uma estimativa da área atingida por incêndios florestais na região amazônica foi calculada por Alencar *et alii* (dados não publicados) para anos com El Niño e sem El Niño. A metodologia desenvolvida por esses autores teve como base entrevistas de campo, análise de imagens do satélite Landsat e observações diretas de fogo através de sobrevôos. Esses cálculos inéditos evidenciam a magnitude das perdas florestais ocasionadas pelos incêndios florestais na Amazônia. A estimativa foi realizada conforme as seguintes etapas:

Relação Espacial entre Área Desmatada e Incêndios Florestais

Durante os anos de 1994 e 1995 foram realizadas entrevistas com proprietários rurais em três áreas ao longo do arco do desmatamento da Amazônia, onde se concentram as queimadas agrícolas e, conseqüentemente, o maior registro de incêndios florestais [Alencar *et alii* (1997)]. O objetivo das entrevistas foi mapear as cicatrizes deixadas pelo fogo acidental nas áreas de florestas. As áreas de estudo escolhidas foram

nordeste do Pará, sul do Pará e norte de Mato Grosso, que apresentam diferentes tipos de floresta e de precipitação.

As entrevistas foram utilizadas como amostras de treinamento na classificação das cicatrizes de incêndios florestais. Para cada área de estudo foram mapeadas as cicatrizes de incêndio florestal nas imagens do satélite Landsat TM do início da época seca dos anos de 1996 e 1999. Essas imagens mostraram as áreas atingidas por incêndios florestais em 1995 e 1998, considerados anos de precipitação média e precipitação baixa, respectivamente. Para cada área de estudo foram tiradas relações entre a distância da borda da clareira e a área de floresta atingida por incêndios. Essa análise mostrou que em todas as áreas de estudo a maior distância percorrida pelo fogo nesses dois anos foi de 4 km para dentro da floresta. Os fragmentos florestais foram divididos em *buffers* de um quilômetro de distância, para os quais foi estimado o percentual de floresta queimada a cada quilômetro (tabela a seguir).

Estimativa da Relação Espacial entre Área Desmatada e Incêndios Florestais nos Anos de 1995 e 1998

Áreas de estudo	Nordeste do Pará	Sul do Pará	Norte de Mato Grosso
Tipo de vegetação	Omrófila densa	De contato	Omrófila aberta
Precipitação (mm/dia)	0,5 - 1,0	< 0,5	< 0,5
Área total de floresta ao redor das clareiras			
<i>Buffer</i> a 1 km da borda da clareira	36.464	30.780	12.323
<i>Buffer</i> a 1 km da borda da clareira	25.287	27.585	7.822
<i>Buffer</i> a 3 km da borda da clareira	20.222	29.887	6.128
<i>Buffer</i> a 4 km da borda da clareira	12.495	22.752	3.811
Área total incendiada em 1995 (%)			
<i>Buffer</i> a 1 km da borda da clareira	0,2	3,7	1,5
<i>Buffer</i> a 1 km da borda da clareira	0,0	0,9	0,3
<i>Buffer</i> a 3 km da borda da clareira	0,0	0,4	0,0
<i>Buffer</i> a 4 km da borda da clareira	0,0	0,1	0,0
Área total incendiada em 1998 (%)			
<i>Buffer</i> a 1 km da borda da clareira	16,6	12,7	8,6
<i>Buffer</i> a 1 km da borda da clareira	26,6	7,4	0,3
<i>Buffer</i> a 3 km da borda da clareira	11,7	7,4	0,1
<i>Buffer</i> a 4 km da borda da clareira	0,6	7,7	0,1

Extrapolação

Para a extrapolação da área de incêndio florestal foi utilizado um mapa de desmatamento no nível da Amazônia brasileira, construído a partir das imagens disponibilizadas pela Michigan State University para o ano de 1992 [Skole e Chomentowski, <http://www.bsrsi.msu.edu/trfic/index.html>]. Este mapa foi estratificado conforme os mesmos parâmetros das três áreas de estudo: nível de precipitação, isto é, milímetros de chuva diária média, tipo de vegetação e *buffers* de 1 km de distância até atingir os 4 km ao redor das áreas desmatadas. Uma vez feita a estratificação aplicaram-se os percentuais de floresta queimada obtidos nas áreas de estudo para determinar a área total de incêndio florestal em anos sob a influência do El Niño e sem El Niño.

BIBLIOGRAFIA

- ALENCAR, A., NEPSTAD, D., SILVA, E., BROWN, F., LEFEBVRE, P., MENDOSA, E., ALMEIDA, D., CARVALHO Jr. *O uso do fogo na Amazônia: estudos de caso ao longo do arco de desmatamento*. Brasília, mar. 1997 (World Bank Report).
- ARTAXO, P. *Queimadas deixam o ar da Amazônia mais poluído que o da cidade de São Paulo*. <http://www.fapesp.br/projeto251.htm>
- AUSTIN, D., FAETH, P. *Financing sustainable development with clean development mechanism*. Washington: World Resources Institute, 2000.
- BAPPENAS, ADB. *Causes, extent, impact and costs of 1997/1998 Fires and drought. Final Report, Annex 1 and 2*. Planning for Fire Prevention and Drought Management Project, Asian Development Bank TA 2999-INO, and National Development Planning Agency (Bappenas), Jakarta, 1999.
- BARBER, C. V., SCHWEITHELM, J. *Trial by fire. forest fires and forestry policy in Indonesia's era of crisis and reform*. World Resources Institute (WRI), Forest Frontiers Initiative. In collaboration with WWF-Indonesia and Telapak Indonesia Foundation, Washington, D.C., 2000.
- BARBOSA, R. I., FEARNESIDE, P. M. As lições do fogo. *Ciência Hoje*, v. 27, n. 157, p. 35-39, jan./fev. 2000.
- BARLOW *et alii*. (Manuscrito inédito).
- BROWN, S., LUGO, A. E. Above biomass estimates for tropical moist forest of the Brazilian Amazon. *Interciência*, v. 17, n. 1, p. 8-18, 1992.
- COCHRANE, M. A. Positive feedbacks in the fire dynamics of closed canopy forests. *Science*, v. 284, p. 832-1.835, 1999.
- COCHRANE, M. A., SCHULTZE, M. D. Fire as a recurrent event in tropical forests of the Eastern Amazon: effects on forest structure, biomass and species composition. *Biotropica*, v. 31, n. 1, p. 2, 1999.
- EXTERNE. *Externalities of fuel cycles: economic valuations — an impact valuations approach*. 1998. <http://extene.jrc.es/publications>
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. *State of the world's forests: 2001*. Rome, 2001.
- FEARNESIDE, P. M. Greenhouse gases emissions from deforestation in Amazonia: net committed emissions. *Climatic Change*, v. 35, p. 321-360, 1997.
- FGV. Fundação Getulio Vargas. *Preço de arrendamento da terra*. <http://www.fgv.br>.
- FLAVIN, C. *Slowing global warming: a worldwide strategy*. Washington, D.C.: Worldwatch, 1990 (Worldwatch Paper, 91).
- GREENE, W. *Econometric analysis*. Prentice Hall, 1993.
- HAUSMAN, J. A., TAYLOR, W. *Panel data and unobservable individual effects*. 1981.
- HOLDSWORTH, A. R. *Perda de árvores por incêndio florestal*. 2000 (Dados não publicados).

- HOLDSWORTH, A. R., UHL, C. Fire in Amazonian selectively logged rain forest and the potential for fire reduction. *Ecological Applications*, v. 7, n. 2, p. 713-725, 1997.
- HOMMA, A. K. *et alii*. A dinâmica dos desmatamentos e das queimadas na Amazônia: uma análise microeconômica. *Anais do XXXI Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural*, v. 1, p. 663-676, 1993.
- HOUGHTON, R., SKOLE, D., NOBRE, C. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. *Nature*, v. 403, p. 301-304, 2000.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo Demográfico 1991 e Contagem da População 1996*. <http://www.sidra.ibge.gov.br>
- _____. *Censo Agropecuário 1996*. www.sidra.ibge.gov.br
- _____. *Diagnóstico Ambiental da Amazônia Legal*, 1997.
- _____. *Produção Agrícola Municipal (PAM)*. Vários anos. www.sidra.ibge.gov.br.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Relatório Anual de Desflorestamento da Amazônia*. São José dos Campos, 2000.
- IPCC. *Special Report on Emissions Scenarios*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
- MADISON, D. J. *The shadow price of greenhouse gases and aerosols*. Norwich: University College London and University of East Anglia, Centre for Social and Economic Research on Global Environment (CSERGE), 1994, mimeo.
- NESPAD, D. *et alii*. Large-scale impoverishment of Amazonian forest by logging and fire. *Nature*, v. 398, p. 505-508, 1999b.
- _____. Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon forests. *Forest Ecology & Mgt.*, v. 154, p. 395-407, 2001.
- NEPSTAD, D., MOREIRA, A., ALENCAR, A. *A floresta em chamas: origens, impactos e prevenção de fogo na Amazônia*. Brasília: Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais no Brasil, 1999a.
- NEPSTAD, D., MOUTINHO, P. *Sobrevôo sobre áreas florestais*. 1998 (Dados não publicados).
- NEPSTAD, D., VERISSIMO, A., MOUTINHO, P., NOBRE, C. O empobrecimento oculto da floresta amazônica. *Ciência Hoje*, v. 27, n. 157, p. 70-73, jan./fev. 2000.
- NORDHAUS, W. D. To snow or not snow: the economics of greenhouse effects. *Economic Journal*, v. 101, p. 920-937, 1994.
- OSTRO, B. D. The effects of air pollution on work loss and morbidity. *Journal of Environmental Economics and Management*, v. 10, 1983.
- PECK, S. C., TEISBURG, T. J. A model for carbon emissions trajectory assessment. *Energy Journal*, v. 13, n. 1, p. 55-77, 1992.
- REIS, E. J., MARGULIS, S. Options for slowing Amazon jungle-clearing. In: DORNBUSH, R., PORTEBA, J. (eds.). *Global warming: economic and response*. Cambridge, MA: MIT Press, 1991.

- ROSENFELD, D. TRMM observed first direct evidence of smoke from forest fires inhibiting rainfall. *Geophys. Res. Lett.*, v. 26, p. 3.105-3.108, 1999.
- SEROA da MOTTA, R., FERRAZ, C., YOUNG, C. E. F. CDM opportunities and benefits. In: AUSTIN, D., FAETH, P. (eds.). *Financing sustainable development with the clean development mechanism*. Washington: World Resources Institute, 2000.
- SEROA da MOTTA, R., MENDES, A. P. Custos de saúde associados à poluição do ar no Brasil. *Pesquisa e Planejamento Econômico*, Rio de Janeiro, v. 25, n. 1, p. 165-198, 1995.
- SEROA da MOTTA, R., ORTIZ, R. A., FREITAS, S. F. *Health and economic values of mortality cases associated with air pollution in Brazil*. Expert Workshop on Assessing the Ancillary Benefits and Costs of Greenhouse Gas Mitigation Strategies, Washington, D.C., 27-29, Mar. 2000.
- SETZER, A., PEREIRA, M. Amazônia biomass burnings in 1987 and an estimate of their tropospheric emissions. *Ambio*, v. 20, n. 1, p. 19-22, Feb. 1991.
- SKOLE, D., CHOMENTOWSKI, W. H. *Imagens do desmatamento na Amazônia de 1992*. <http://www.bsrsi.msu.edu/trfic/index.html>
- SUS. Sistema Único de Saúde. *Dados de Morbidade*. <http://www.datasus.gov.br>
- UHL, C., KAUFFMAN, J. B. Deforestation, fire susceptibility and potential tree responses to fire in the Eastern Amazon. *Ecology*, v. 71, p. 437-449, 1990.
- WRI. World Resources Institute. *The 1997-98 forest fires in Indonesia: impact, costs, and causes*. Washington, 2000.
- ZHANG, Z. X. *An assessment of the EU proposal for ceilings on the Kyoto flexibility mechanisms*. The Netherlands: Faculty of Law and Faculty of Economics, University of Groningen, 2000.

EDITORIAL

Coordenação

Luiz Cezar Loureiro de Azeredo

Supervisão

Helena Rodarte Costa Valente

Revisão

André Pinheiro

Elisabete de Carvalho Soares

Lucia Duarte Moreira

Luiz Carlos Palhares

Miriam Nunes da Fonseca

Tatiana da Costa (estagiária)

Editoração

Carlos Henrique Santos Vianna

Joanna Silvestre Friques de Sousa (estagiária)

Rafael Luzente de Lima

Roberto das Chagas Campos

Divulgação

Raul José Cordeiro Lemos

Reprodução Gráfica

Edson Soares

Brasília

SBS – Quadra 1 – Bloco J – Ed. BNDES,

10^º andar – 70076-900 – Brasília – DF

Fone: (61) 315-5336

Fax: (61) 315-5314

Correio eletrônico: editbsb@ipea.gov.br

Home page: <http://www.ipea.gov.br>

Rio de Janeiro

Av. Presidente Antônio Carlos, 51, 14^º andar

20020-010 – Rio de Janeiro – RJ

Fone: (21) 3804-8118

Fax: (21) 2220-5533

Correio eletrônico: editrj@ipea.gov.br

Tiragem: 130 exemplares