



Daniel C. Nepstad
Adriana G. Morcira
Ane A. Alencar

Floresta em Chamas

Origens, Impactos e Prevenção do Fogo na Amazônia

Edição Revisada

Daniel C. Nepstad
Adriana G. Moreira
Ane A. Alencar

Floresta em Chamas

Origens, Impactos e Prevenção do Fogo na Amazônia

Nepstad, D. C., A. Moreira & A. A. Alencar. 1999. *A Floresta em Chamas: Origens, Impactos e Prevenção de Fogo na Amazônia*. Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais do Brasil, Brasília, Brasil.

202 p.; il.

Capa: fotografia de Daniel Nepstad

Design: Raruti Comunicação e Design

Direção de Arte: Cristiane Dias

Para
F. Herbert Bormann e Otto T. Solbrig,
cientistas e professores visionários,
dedicados à aplicação da ciência em benefício da sociedade.

A Agência de Cooperação Internacional do Japão (JICA) é o órgão do governo Japonês responsável pela cooperação técnica para os países em desenvolvimento. A sua atuação no Brasil é regulamentada pelo acordo de cooperação Brasil-Japão, assinado em 1971. Desde então, a JICA já recebeu mais de 7.800 bolsistas brasileiros no Japão, trouxe 2.200 peritos japoneses para apoiar projetos no Brasil e já realizou um total de 53 projetos e estudos com duração média de 5 anos.

Entre as linhas de apoio ao Brasil destaca-se o meio ambiente. Tema este que a partir de 1992, com a realização da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento no Rio de Janeiro, tem despertado maior atenção da comunidade internacional.

Dentro desse contexto, o governo do Japão tem se colocado como um grande apoiador desse processo em busca do desenvolvimento sustentável, sendo que em junho de 1997, o então primeiro ministro Japonês Ryutaro Hashimoto anunciou perante a Assembléia Geral das Nações Unidas em Nova Iorque a “Iniciativa para o Desenvolvimento Sustentável no Século 21” e em dezembro do mesmo ano, o Japão foi sede da COP 3, na qual foi anunciada a “Iniciativa Kyoto”.

Um ator fundamental nesse processo de implementação de tais compromissos do governo Japonês é a JICA, que na sua atuação através de cooperação com países em desenvolvimento, tem dado grande atenção a temática ambiental.

Dessa forma, ciente da importância de discussões sobre as mudanças do clima e florestas, bem como a difusão de informações e capacitação de pessoas e lideranças, esta Agência, através de seu fundo de meio ambiente, vem apoiar a iniciativa liderada pelo IPAM e parabenizar a todos que direta e indiretamente foram responsáveis por esta publicação.

HYOGEN KOMATSU

Coordenador de Cooperação Técnica do Japão no Brasil

Sumário

Sumário Executivo, xi

Prefácio, xxi

Lista de Siglas, xxv

Lista de Colaboradores e Agradecimentos, xxvii

1. O Problema do Fogo na Amazônia, 31
2. A inflamabilidade da Floresta, 41
 - 2.1. Os três ingredientes de um incêndio florestal
 - 2.2. O deserto verde: o paradoxo das florestas sempre verdes do leste e sul da Amazônia, 42
 - As florestas de Paragominas*, 42
 - As Florestas amazônicas no limiar da inflamabilidade*, 48
 - Os Incêndios florestais pré-Colombianos*, 49
 - 2.3. Os efeitos da exploração de madeira sobre a inflamabilidade da floresta, 51
 - 2.4. Fogo gera fogo, 56
3. A Amazônia está queimando, 61
 - 3.1. Mapeando o fogo do espaço, 60
 - 3.2. Tipos de fogo, 65
 - As queimadas e o desmatamento: a agricultura de corte e queima*, 68
 - O fogo e o desmatamento: a formação de pastagem*, 71
 - Os incêndios florestais rasteiros*, 73
 - As queimadas em áreas desmatadas: o manejo de pastagem*, 74
 - Os incêndios em áreas desmatadas: a perda acidental de ecossistemas antrópicos*, 76

- 3.3. Um estudo sobre o fogo nas propriedades rurais da Amazônia, 76
 - Metodologia adotada*, 78
 - Quanto está queimando?*, 81
- 3.4. Os incêndios e as queimadas ao longo do arco de desmatamento, 91
 - As queimadas para desmatamento*, 93
 - Os incêndios florestais rasteiros*, 97
 - As queimadas em áreas já desmatadas*, 99
- 3.5. A quem pertence as áreas que estão queimando?, 100
- 3.6. Os impactos ecológicos do fogo, 103
 - As queimadas para desmatamento*, 103
 - Os incêndios florestais rasteiros*, 107
 - As queimadas e os incêndios em áreas desmatadas*, 114
 - O fogo e a “savanização” da Amazônia: um ciclo vicioso ?*, 117
- 3.7. Os impactos econômicos do fogo, 118
 - Os custos e os prejuízos para os proprietários rurais*, 118
 - A prevenção de incêndios*, 123
 - Os custos e os prejuízos para a sociedade*, 128
- 4. O fogo na Amazônia: cenário futuro, 131
 - 4.1. Um modelo de previsão do risco de fogo, 132
 - 4.2. RisQue: um mapa sobre o risco de incêndios, 138

5. As soluções para o Problema do fogo na Amazônia, 142
5.1. Introdução, 142
5.2. Prevenção e supressão de incêndios e queimadas, 144
<i>Técnicas de prevenção e supressão de incêndios usadas pelos proprietários de terra, 144</i>
<i>Acordos entre vizinhos e comunidades locais, 147</i>
<i>O caso da comunidade Del Rey, 149</i>
<i>Como estimular investimentos na prevenção de incêndios?, 153</i>
5.3. O fogo no contexto das fronteiras de ocupação da Amazônia, 156
<i>O fogo como ferramenta intrínseca nas fronteiras de ocupação, 156</i>
<i>Os custos e benefícios do uso do fogo e da prevenção de incêndios: um referencial teórico, 158</i>
5.4. Políticas Públicas, 162
<i>Abordagens legislativas, 165</i>
<i>Instrumentos econômicos, 169</i>
<i>Sistemas de advertência de risco de fogo, 173</i>
<i>Programas de emergência, 175</i>
6. Conclusão, 179
Bibliografia, 181
Apêndices, 191

Sumário Executivo:

A cada ano, o fogo na Amazônia brasileira atinge uma área dez vezes o tamanho da Costa Rica. Quando fazendeiros e agricultores utilizam o fogo em suas terras para converter florestas em roças e pastagens, e/ou para recuperar pastagens invadidas por ervas daninhas, inadvertidamente, queimam florestas, pastagens e plantações. O risco anual de incêndio acidental desencoraja os proprietários a investirem em suas propriedades, o que perpetua o domínio da pecuária extensiva e da agricultura de corte e queima em detrimento do estabelecimento de sistemas agroflorestais e do manejo florestal sustentável. O fogo aumenta a inflamabilidade das paisagens da Amazônia, e inicia um ciclo vicioso; as florestas são substituídas por uma vegetação inflamável que perpetua a presença de incêndios na região.

Este livro apresenta uma análise do fogo na Amazônia com a finalidade de identificar os meios pelos quais seus efeitos negativos podem ser reduzidos. A análise do problema é baseada em vários estudos sobre esse assunto conduzidos em anos recentes, entre os quais um estudo de campo pioneiro, conduzido em 1996, sobre a extensão geográfica e os impactos econômicos do fogo na região.

As seguintes conclusões podem ser retiradas dos estudos apresentados neste volume:

A inflamabilidade das Florestas da Amazônia:

1. A maioria das florestas primárias da Amazônia não é inflamável durante anos de chuva normal, apesar da típica seca sazonal prolongada que ocorre nas porções leste e sudeste da região.

2. Os períodos de secas severas, normalmente associados aos eventos “*El Niño*”, e a extração de madeira aumentam a inflamabilidade de grandes áreas de floresta: é provável que mais de 10% das florestas da região sejam inflamáveis em anos muito secos, tais como foram 1992 e 1998.

3. Uma vez que já tenham sofrido a ação do fogo, as florestas da Amazônia tornam-se mais vulneráveis à ocorrência de novos incêndios.

4. Os incêndios florestais não são fenômenos recentes na Amazônia. Nos últimos dois mil anos, secas severas podem ter provocado a queima da floresta em intervalos de quatrocentos a setecentos anos. O incêndio florestal, contudo, é muito mais freqüente hoje, devido à ação antrópica.

Padrões do fogo:

1. As queimadas na Amazônia são monitoradas diariamente pelo INPE por meio de satélites meteorológicos, os quais registram a localização de focos de incêndios ativos. Contudo, não proporcionam informações sobre que tipo de vegetação está queimando, quem está promovendo tais incêndios e quais são os efeitos ecológicos e econômicos.

2. O fogo na Amazônia pode ser dividido em três tipos principais, de acordo com a sua natureza: as “queimadas para desmatamento” são intencionais e estão associadas à derrubada e à queima da floresta, os “incêndios florestais rasteiros” são provenientes de queimadas que escapam ao controle e invadem florestas primárias ou previamente exploradas para madeira e as “queimadas e os incêndios em áreas já desmatadas” resultantes do fogo intencional ou acidental em pastagens, lavouras e capoeiras.

3. Um estudo de campo realizado pelos autores e pesquisadores do IPAM e do WHRC em 202 propriedades rurais (área total de 916.000 hectares), localizadas em cinco regiões ao longo do arco de desmatamento da Amazônia, indicou que 77.600 hectares queimaram, por ano, em 1994 e 1995, o que representou 8% da área total estudada. As informações foram obtidas por meio de entrevistas com proprietários rurais. A média da área queimada por propriedade foi de 19% da área total. É importante salientar que 1994 e 1995 foram anos de seca moderada.

4. A área atingida pelas queimadas de desmatamento (intencionais) foi de 9.800 hectares, o que representou 1% da área total estudada e 13% da área total queimada. A taxa média da área queimada, por propriedade, foi de 2%.

5. Uma área surpreendentemente grande de floresta, 15.500 hectares, foi queimada, anualmente, por incêndios florestais rasteiros, o que representa, aproximadamente, 2% da área total estudada e 20% da área total queimada. Esses incêndios afetaram 1,5 vezes mais florestas do que as queimadas de desmatamento na área de estudo. A taxa média da área queimada por incêndios florestais rasteiros, obtida em entrevistas com os proprietários de terra, representou 0,9% de cada propriedade por ano, o que equivale a cerca de 8% da área total queimada por propriedade.

6. A queima de áreas já desmatadas atingiu 51.300 hectares por ano, o que representou 6% da área total das propriedades e 67% da área total queimada. Os proprietários de terra informaram que, deste total, 36.000 hectares queimaram acidentalmente a cada ano, o que representou 47% da área total queimada. A taxa média de área queimada por propriedade foi de 11% por ano, o que representou 80% da área total queimada por propriedade.

Os impactos ecológicos do fogo

1. Dos três tipos de fogo na Amazônia, aquele associado com o desmatamento tem os maiores impactos ecológicos, pois leva a uma rápida substituição da vegetação florestal por ecossistemas antropogênicos. As queimadas de desmatamento são freqüentemente equiparadas com o uso da terra nos trópicos, e têm sido foco de um intensivo programa brasileiro de monitoramento. Uma média de 19.000 km² de floresta são desmatados e queimados por ano na Amazônia brasileira, contribuindo com, aproximadamente, 4% a 5% do fluxo global anual de carbono para a atmosfera resultante da atividade humana. As pastagens e lavouras plantadas após a derrubada da floresta liberam menos água para a atmosfera, absorvem menos energia solar do que a vegetação original e podem contribuir para uma redução de chuvas e um aumento na temperatura na região amazônica.

2. Os incêndios florestais rasteiros podem eliminar até 80% da biomassa florestal acima do solo e causar grandes e desconhecidos impactos sobre a fauna. Este tipo de incêndio também aumenta a inflamabilidade da floresta e, assim, contribui para o estabelecimento de um ciclo vicioso em que, quanto mais queimada a vegetação, mais inflamável fica. A cada estação de queimada, as paisagens florestais amazônicas estão ficando sucessivamente mais inflamáveis. Os incêndios rasteiros não estão incluídos no programa brasileiro de monitoramento do desmatamento e, durante o período de seca severa, podem aumentar a área estimada de floresta afetada por atividades humanas a cada ano. Os incêndios florestais podem, portanto, liberar uma quantidade significativa de carbono para a atmosfera que não está sendo incluída nas estimativas atuais.

3. Os incêndios em áreas já desmatadas liberam grandes quantidades de fumaça e partículas para a atmosfera, além de exportar nutrientes dos ecossistemas agrícolas. Apesar de queimarem uma área duas vezes maior que o total de queimadas de desmatamento e incêndios florestais rasteiros, os incêndios e as queimadas em áreas já desmatadas não têm um efeito tão grande sobre o fluxo líquido de carbono para a atmosfera.

4. As queimadas podem resultar na substituição em larga escala das florestas da Amazônia por uma vegetação altamente inflamável e dominada por gramíneas. Tal processo produziria uma possível “savanização” que poderia ser perpetuada pela ação do fogo.

Os custos econômicos dos incêndios para os proprietários de terra:

1. Entre os proprietários de terras rurais de cinco regiões, os incêndios acidentais em pastagens causam perdas econômicas de aproximadamente US\$ 100 por ano para pequenas propriedades (<100 hectares) e US\$ 15.000 por ano para propriedades muito grandes (> 5.000 hectares). Mesmo em anos de chuva normal, os incêndios acidentais em pastagens custam, para os proprietários de terra da Amazônia, dezenas de milhões de dólares.

2. Esses proprietários informaram que os investimentos anuais em aceiros nas áreas de pastagem giram em torno de US\$ 90 (propriedades pequenas) a US\$ 7.000 (propriedades muito grandes). Os aceiros apresentam um custo elevado e proibitivo para os agricultores de pequeno porte, que têm pastagens improdutivas e nenhum acesso a tratores.

3. Os incêndios florestais rasteiros causam perda de madeira, caça, cipós para construção, plantas medicinais, frutos da floresta e outros produtos não-florestais. Esses prejuízos são potencialmente altos, mas não documentados.

Os custos econômicos dos incêndios para a sociedade

1. O fogo mina a capacidade dos ecossistemas Amazônicos de suportar a vida, uma vez que libera para a atmosfera nutrientes minerais escassos, expõe o solo à força erosiva da chuva e do vento, aumenta o escoamento superficial e elimina populações de diversas espécies animais e vegetais. As florestas, uma vez queimadas, deixam de exercer a função de barreiras naturais à expansão do fogo ao longo das paisagens agrícolas.

2. Os incêndios também afetam economicamente a sociedade de forma mais direta: provoca doenças respiratórias, interrupções no fornecimento de energia e o fechamento de aeroportos. Em 1997, os aeroportos da Amazônia permaneceram fechados por 420 horas devido à fumaça.

3. O fogo libera quantidades significativas de carbono para a atmosfera, o que agrava a tendência de aquecimento global. O fluxo líquido anual de carbono para a atmosfera, proveniente da Amazônia, poderia dobrar ou triplicar, durante períodos de seca severa, devido a ocorrência acentuada de grandes incêndios florestais rasteiros.

Previsão do risco de incêndio

1. A partir de dados sobre tipo de solos, regime de chuvas, exploração madeireira e a frequência histórica do incêndio para a Bacia Amazônica, foi possível obter um mapa do risco de incêndio na Amazônia: o *RisQue98*.

Esse mapa indicou que, em novembro de 1998, 5% das florestas existentes na Amazônia brasileira (200.000 km²), estariam altamente vulneráveis aos incêndios florestais rasteiros, uma vez que a água disponível no solo para a absorção vegetal nestas florestas estava totalmente esgotada até uma profundidade de cinco metros. Outros 200.000 km² de floresta estavam com a água do solo no limite de esgotamento no mesmo período.

Resolvendo o problema do fogo na Amazônia

1. O conhecimento de como prevenir e controlar incêndios reside entre os agricultores e fazendeiros da Amazônia. Eles são motivados a reduzir perdas econômicas substanciais que sofrem devido aos incêndios acidentais. Esse fato é a maior fonte de otimismo quando analisadas as possíveis soluções para o problema do fogo na Amazônia.

2. As perdas associadas com os incêndios diminuirão quando desenvolvermos um conhecimento maior do papel do fogo na área rural da Amazônia. A pesquisa sobre o fogo na Amazônia brasileira é virtualmente inexistente, e não está presente nas prioridades das instituições de pesquisa da região. Um programa de pesquisa do fogo poderia testar e melhorar as técnicas de prevenção de incêndios já existentes na zona rural da Amazônia, e fortalecer a capacidade das organizações sociais, no sentido de reduzir o risco e os prejuízos do fogo, além de medir a eficácia das iniciativas governamentais nesta área. Estudos de campo sobre as causas da inflamabilidade da floresta, poderiam proporcionar as bases para um sistema regional de alarme sobre o risco de incêndios florestais. É urgente que estudos econômicos e políticos, sejam realizados para documentar os custos dos incêndios, para os proprietários rurais e para a sociedade em geral, ao identificar

como os diferentes usos da terra podem encorajar o controle e evitar os prejuízos dos incêndios. Finalmente, tais estudos serviriam de base para a formulação de mecanismos de integração das várias políticas públicas que influenciam o rumo do desenvolvimento rural na Amazônia e, assim, favorecer um caminho mais sustentável e menos propenso aos incêndios.

3. Os proprietários de terra que investem na prevenção de incêndios, freqüentemente arcam com a totalidade dos custos dos investimentos, enquanto os benefícios são repartidos com vizinhos e a sociedade em geral. As comunidades agrícolas, contudo, podem conseguir, com sucesso, uma distribuição mais justa dos custos e dos benefícios dos investimentos na prevenção e controle de incêndios. Por exemplo, a comunidade de Del Rey, no leste do Pará, tem desenhado e implementado um regulamento comunitário de incêndio, o qual requer que: a) os membros da comunidade advertam seus vizinhos, com antecedência, da queimada prevista; b) os membros da comunidade circundem com aceiros as áreas a serem queimadas; e, c) aqueles responsáveis por incêndios paguem pelos prejuízos causados aos seus vizinhos, compensando, assim, as perdas econômicas.

4. O desenvolvimento da capacidade local de prevenção de incêndios é um processo de longo prazo. Pode, contudo, ser acelerado por meio da assistência de profissionais dedicados e bem treinados, que estão dispostos a gastar grande parte do seu tempo trabalhando sob condições adversas de campo. Profissionais com este perfil são escassos na Amazônia. Assim, são necessários programas de treinamento que desenvolvam, em agentes de extensão, a habilidade para fortalecer a capacidade das organizações comunitárias, por meio de uma abordagem que integre a agricultura, o manejo da floresta e o uso racional do fogo.

5. Os incêndios na Amazônia apresentam um caráter “emergencial” para a sociedade brasileira, somente em anos específicos, cada vez mais frequentes (tais como 1987, 1992, 1995, 1997 e 1998), quando uma seca severa e/ou as atividades aceleradas de uso da terra aumentam de maneira alarmante a sua ocorrência. A preocupação social com estes incêndios, especialmente durante os anos de “emergência”, deve ser direcionada para influenciar os processos políticos que alteram os modelos de desenvolvimento da região a longo prazo. Somente no contexto de uma abordagem coerente e não imediata será possível reduzir, gradativamente, o uso do fogo pelos produtores rurais e aumentar os investimentos para prevenir seus impactos negativos na Amazônia.

6. As soluções a longo prazo para o problema dos incêndios anuais na Amazônia devem começar com o reconhecimento de sua natureza crônica; o uso do fogo está arraigado na lógica cultural e econômica dos agricultores e fazendeiros. Essa lógica é reflexo do modelo atual de desenvolvimento no qual o acesso às florestas e à terra é facilitado, o que favorece o uso extensivo da terra que tem o fogo como principal ferramenta de manejo, com poucos incentivos para prevenir e/ou controlar incêndios. Em um modelo alternativo, florestas e terras desmatadas podem ser menos acessíveis, o que elevaria os preços das propriedades rurais e encorajaria a intensificação dos sistemas de produção agrícola. Neste cenário, haveria uma redução na utilização do fogo como um instrumento de manejo e investimentos maiores na prevenção e controle de incêndios. Todavia, há pouca evidência de uma demanda política forte o suficiente para promover efetivamente um modelo alternativo como este e da capacidade do governo de implementá-lo.

7. Muitas políticas atuais apóiam o modelo de desenvolvimento extensivo da Amazônia. Projetos de infra-estrutura tornam áreas remotas de floresta acessíveis à ocupação, e favorecem os tipos extensivos de uso da terra que dependem de terra barata e do fogo como principais ferramentas de manejo. Esses projetos, incluindo a construção de estradas, hidrovias, redes de energia elétrica e a concessão de áreas para mineração, devem ser avaliados por seus impactos na demografia e nas práticas de uso da terra da região. De modo inverso, os programas que protegem efetivamente grandes áreas de floresta nas regiões das fronteiras de ocupação agrícola em expansão são urgentemente necessários.

8. As abordagens legislativas atuais são extremamente limitadas em sua capacidade de tratar o problema dos incêndios na Amazônia. O sistema atual de licenciamento em queimadas excede bastante a capacidade de implementação e fiscalização das agências ambientais, a qual é ainda mais debilitada pela inabilidade do governo em apontar responsabilidade pelos incêndios acidentais.

9. As abordagens econômicas para o problema dos incêndios poderiam beneficiar-se dos numerosos programas de crédito agrícola e subsídios para a produção rural na Amazônia, que atualmente não têm nenhuma exigência quanto à prevenção de incêndios. Com pequenas modificações, esses programas poderiam exigir que proprietários de terra e comunidades agrícolas investissem na prevenção e controle de incêndios.

Prefácio

No início de 1998, incêndios descontrolados atingiram o Estado de Roraima. Sob condições normais, os incêndios realizados de forma rotineira por agricultores e fazendeiros raramente se espalham nas florestas tropicais adjacentes, as quais são muito úmidas para serem queimadas. Mas a seca prolongada induzida pelo *El Niño* em 1998 secou as florestas de Roraima ao ponto de pegarem fogo. As chamas foram finalmente extintas pelas chuvas no início de abril de 1998, após terem carbonizado cerca de 3,3 milhões de hectares, dos quais 1 milhão estavam cobertos por floresta tropical.

Os incêndios de Roraima tiveram implicações críticas para a região Amazônica como um todo. Devido à sua localização no Hemisfério Norte, a estação seca de Roraima termina quatro a cinco meses mais cedo do que na maior parte da Amazônia, a qual se encontra no Hemisfério Sul. Como consequência, os incêndios de Roraima foram um alerta para a provável ocorrência de incêndios muito mais extensos no resto da Amazônia, especialmente no chamado “arco de desmatamento”, que se estende ao longo das extremidades Leste e Sul da região, e onde grande parte da população rural está concentrada. Ao longo desse arco, a exploração de madeira é uma atividade muito comum e deixa grandes quantidades de resíduos no chão da floresta, o que proporciona combustível para incêndios. A combinação de secas induzidas por *El Niño* e o excesso de material combustível depositado no chão das florestas exploradas sugere que áreas extensivas de floresta tropical estariam sob risco de pegar fogo durante a segunda metade do ano de 1998. Essa foi a advertência feita pelos autores deste livro, mesmo antes da crise de Roraima ter início.

Antes do ano de 1998, os incêndios na Amazônia eram particularmente restritos às áreas utilizadas para agricultura ou pecuária. No início de 1980, pesquisadores começaram a observar o risco do fogo alastrar-se para florestas exploradas. No início da década de 90, essas florestas começaram a queimar em larga escala. Porém, o fogo nunca se havia apresentado como uma forte ameaça às florestas intactas. A seca de 1998 que seguiu uma série de outras secas na década, sinalizou para uma penetração efetiva de incêndios nos ecossistemas florestais intactos ao longo de grande parte da região, e um possível início de um processo de perpetuação destes tipos de incêndios, uma vez que florestas tropicais estão sendo substituídas por vegetação mais propensa ao fogo.

Este livro traz uma análise pioneira e ampla dos incêndios na Amazônia como agentes perturbadores da paisagem da região. As informações contidas neste volume baseiam-se, em grande parte, em um estudo contratado pelo Banco Mundial, em 1996, que examinou as causas do aumento do desmatamento florestal e dos incêndios em cinco áreas ao longo do arco de desmatamento da região amazônica. Escrito por um grupo de cientistas do Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM) e do Centro de Pesquisa *Woods Hole* (WHRC), com a colaboração de pesquisadores de diversas áreas e instituições, este livro investiga, em detalhes, as origens e os impactos dos incêndios na Amazônia. Utilizado pela população nativa durante milênios, o fogo é um componente antigo da paisagem regional. Até recentemente, os seus impactos eram geralmente localizados. Hoje, contudo, o fogo afeta os principais ecossistemas na Amazônia e contribui com cerca de 4% a 5% do total de carbono emitido para a atmosfera do planeta a cada ano.

Uma das descobertas mais perturbadoras reveladas neste livro envolve os impactos dos chamados fogos florestais rasteiros, tais como aqueles

que atingiram o estado de Roraima e chocaram o país. À primeira vista, esses impactos parecem ser pequenos. O fogo rasteiro, ou de chão, consome o material orgânico e o sub-bosque das florestas. Entretanto, danifica a casca fina característica das árvores da floresta tropical, as quais morrem lentamente durante o ano seguinte. O aumento da mortalidade de árvores cria uma quantidade substancial de combustível no chão da floresta e uma abertura gradual do dossel, reduzindo a umidade no sub-bosque, a qual, normalmente, confere resistência das florestas tropicais ao fogo. Como resultado, as florestas que são ligeiramente queimadas por chamas rasteiras estão suscetíveis a incêndios catastróficos durante a estação seca do ano seguinte. Essas descobertas sugerem que os incêndios como o de Roraima podem vir a ser mais devastadores no futuro.

Além da análise das origens e impactos dos incêndios Amazônicos, o livro explora alternativas que poderiam intensificar sua prevenção e seu controle. Baseados em uma síntese de dados disponíveis sobre clima e práticas de uso do solo, os autores apresentam o primeiro modelo que prevê os incêndios florestais na Amazônia. O modelo usado na preparação de um projeto emergencial financiado pelo Banco Mundial, que visa a prevenção e ao controle de incêndios na região, revelou que, para o final da última metade de 1998, um total de 200.000 km² de floresta Amazônica estavam sob ameaça extrema de incendiarem-se. Os dados usados para construir este modelo foram escassos. Por exemplo, a Amazônia brasileira contém sessenta estações climáticas, comparado com as mais de mil estações nos Estados Unidos continental. Contudo, com um conjunto de dados melhorados, o modelo poderia proporcionar uma ferramenta poderosa para a prevenção e o controle do incêndio na Amazônia.

De acordo com os autores, o desafio-chave que confronta alternativas políticas é que muitos dos benefícios da prevenção e do controle de incêndios, tais como redução nas emissões de gases estufa, proteção da biodiversidade, diminuição das enchentes e do processo de erosão do solo e melhoria da qualidade do ar são contabilizados para a sociedade como um todo, enquanto seus custos são arcados exclusivamente pelos proprietários de terras. Mediante a aplicação de políticas sensatas e o uso criterioso dos incentivos econômicos é possível que haja uma distribuição mais equilibrada dos custos e dos benefícios. Finalmente, os autores concluem que os incêndios Amazônicos não podem mais ser tratados somente durante os anos de “emergência”, nem podem ser efetivamente controlados unicamente por brigadas de combate a incêndios. Pelo contrário, os incêndios devem ser vistos, hoje, como uma parte integral das paisagens amazônicas, e as estratégias para combatê-los devem ser iniciadas pelas comunidades locais da região, as quais já testam soluções criativas para este problema.

O ano de 1998 marcou uma mudança dramática no papel do fogo na Amazônia. Este livro proporciona uma contribuição em tempo oportuno para o entendimento público e para o avanço do debate político sobre o tema.

Anthony Anderson

Banco Mundial

Brasília DF, Brasil

Lista de Siglas

AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
BASA	Banco da Amazônia
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CESE	Coordenadoria Ecumênica de Serviços
CPTEC	Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
CVRD	Companhia Vale do Rio Doce
CONAMAZ	Conselho Nacional da Amazônia Legal
ELETRONORTE	Centrais Elétricas do Norte do Brasil
EMATER	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural
FINAM	Fundo de Investimento da Amazônia
FNO	Fundo Constitucional do Norte
FRD	Fundo para Desenvolvimento Regional com Recursos da Desestatização
GTA	Grupo de Trabalho Amazônico
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias
IIED	International Institute of Environment and Development
IMAZON	Instituto do Homem e do Meio Ambiente da Amazônia
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

INPA	Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPAM	Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
NAEA	Núcleo de Altos Estudos Amazônicos
NASA	Agência Nacional para o Espaço e Aviação (Estados Unidos)
NOAA	Administração Nacional Oceânica e Atmosférica (Estados Unidos)
NSF	Fundação Nacional de Ciência (Estados Unidos)
PAGRI	Programa de Apoio à Produção Agrícola em Comunidades da Amazônia
PPG7	Programa Piloto para Conservação das Florestas Tropicais Brasileiras
PROCERA	Programa de Apoio à Reforma Agrária
PRONAF	Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar
PSU	Pennsylvania State University
UFAC	Universidade Federal do Acre
UFPA	Universidade Federal do Pará
UnB	Universidade de Brasília
USAID	Agência dos Estados Unidos para o Desenvolvimento Internacional
UW	University of Washington
WHRC	Woods Hole Research Center

Lista de Colaboradores e Agradecimentos

Este livro foi influenciado pelas idéias, conversas e comentários críticos generosamente partilhados conosco pelos seguintes amigos e colegas:

Paulo Moutinho (IPAM)

Joshua Bishop (IIED)

Mark Cochrane (WHRC/IPAM).

Também colaboraram ativamente

Anthony Anderson (Banco Mundial)

Paulo Lefebvre (WHRC)

David G. McGgrath (IPAM/ NAEA/ UFPa)

José Heder Benatti (IPAM/UFPa)

Marli Maria Matos (IPAM)

Eugênio Arima (IMAZON)

Agradecimentos

Além dos colaboradores citados anteriormente, agradecemos sinceramente a contribuição das seguintes pessoas para o conteúdo, a estrutura e o estilo do livro: Cláudia Ramos (UFPa/IPAM), I. Foster Brown (WHRC/UFAC), Elsa Mendonza (UFAC/IPAM), Cássio Pereira (IPAM), Karen Schwable (WHRC), Carlos Klink (UnB), Ana Cristina Barros (IPAM), Elza Silva (IPAM), Lucimar Lima (IPAM), Kátia Carvalheiro (IPAM), Oswaldo Carvalho Jr. (IPAM), Gustavo Negreiros (UW), Peter Schlesinger (WHRC), Adalberto Veríssimo (IMAZON), Eric

Davidson (WHRC), Robert Schneider (Banco Mundial), Carlos Nobre (INPE/CPTEC), Alberto Setzer (INPE), Christopher Potter (NASA-Ames), João Pereira (IBAMA), Oriana Almeida (IPAM), Thomas Stone (WHRC), Bruce Nelson (INPA), Christopher Uhl (PSU/IMAZON), George Woodwell (WHRC), Ricardo Tarifa (Banco Mundial), Renata Alves (IPAM) Wendy Kingerlee (WHRC), Matthew Tobler (UC) e Erika Pinto (IPAM).

O nosso entendimento sobre os incêndios na Amazônia, como apresentado neste livro, é também baseado em centenas de conversas com os agricultores, fazendeiros e empresários madeireiros da Amazônia, cujas vidas foram e são profundamente afetadas pelo fogo. Agradecemos também aos produtores rurais da Amazônia, em particular ao Sr. Vicente (Comunidade Del Rey) e a Pérsio Lima (Fazendeiro/madeireiro de Paragominas, Pará). A pesquisa de campo apresentada aqui não seria possível sem o talento e a dedicação do grupo de técnicos de campo do IPAM/WHRC: Manoel Aviz de Nascimento, João Farias, Sebastião Nascimento, Roberto Silva, José Antônio Tucura e Aurélio Reis.

A iniciativa para a publicação deste livro partiu de Anthony Anderson (Banco Mundial), que editou diversas versões do manuscrito. A elaboração do livro contou com o suporte financeiro do PPG7, da USAID, da NASA/Programa de Ecologia Terrestre, Fundação Avina e Fundação *Tinker*. O apoio institucional para a preparação desta publicação foi dado pelo IPAM/WHRC. O livro inclui dados inéditos dos estudos conduzidos com apoio financeiro de várias fontes financiadoras. A metodologia usada na análise do uso do fogo nas propriedades rurais da Amazônia foi desenvolvida pelo IPAM/WHRC com suporte da USAID e expandida por um estudo solicitado por Robert Schneider (Banco Mundial). O mapa

de previsão de risco de incêndio, RisQue98, foi feito com o auxílio da NASA, do PPG7, da USAID, do NSF e do *Pew Scholars Program in Conservation and Environment*. O trabalho que originou o regulamento de queimadas da comunidade de Del Rey foi apoiado pela USAID, pelo Fundo *Moriah* e CESE. Os estudos sobre os efeitos do fogo nas florestas e mapeamento das cicatrizes do incêndio florestal baseado em satélites foram apoiados pelo PPG7 e pelo USAID por meio do apoio financeiro ao IMAZON e ao WHRC/IPAM, respectivamente.

A Edição revisada recebeu especial apoio financeiro da JICA (Agência Internacional de Cooperação do Japão).

1. O problema do fogo na Amazônia

Os incêndios na Amazônia produzem grandes quantidades de fumaça, fecham aeroportos, levam milhares de pessoas com asma e bronquite aos hospitais e provocam colisões no tráfego. Quando agem de forma mais devastadora, matam o gado, queimam cercas e destroem lavouras, pomares e plantações. Contudo, as manchetes sobre as queimadas e os incêndios na região não refletem toda a magnitude do problema. O fogo é a maior ameaça para a integridade biológica da Amazônia, a mais extensa e rica floresta tropical do planeta. O risco é que essa floresta exuberante seja transformada em fragmentos empobrecidos dominados por plantas invasoras e por vegetação pirogênica, devido aos efeitos do aumento de eventos de seca severa e das atividades humanas que, de forma combinada, desgastam a resistência da floresta às chamas. O objetivo deste livro é revisar e sintetizar o nosso conhecimento sobre o problema do fogo na Amazônia, como base para uma análise das potenciais soluções.

A enorme importância do fogo para os ecossistemas amazônicos pode ser explicada pelo paradoxo de seu uso como ferramenta agrícola, essencial à conversão de florestas em áreas de lavoura e pastagens, e como um agente de destruição quando escapa do controle e queima pastos, plantações, cercas e empobrece as florestas. O fogo pode ser visto como um mal necessário nas fronteiras de ocupação da Amazônia, pois aumenta a produtividade a curto prazo das áreas agrícolas e das pastagens. No entanto, o seu descontrole desencoraja os investimentos em pastos, cercas e cultivos perenes, formados geralmente por espécies sensíveis ao mesmo e, assim, reduz a viabilidade econômica do manejo florestal para produção de madeira. Enquanto os habitantes rurais da

Amazônia continuarem a depender do fogo para expandir as fronteiras de ocupação e mantiverem os seus atuais sistemas agrícolas extensivos, os remanescentes florestais serão continuamente empobrecidos pela ação de incêndios que matam árvores e cipós e exterminam populações de animais, além de tornar a floresta mais suscetível a futuros incêndios.

O problema dos incêndios na Amazônia começa com a grande utilidade do fogo para a conversão da floresta em agricultura e para o controle de plantas invasoras. O fogo é tão útil que, representa um componente inseparável da expansão das fronteiras agrícolas. A queimada é utilizada como o método mais barato para fertilizar o solo de novas áreas agrícolas. O fogo converte as árvores abatidas no desmatamento em cinzas ricas em nutrientes que são incorporados ao solo, além de limpar o terreno do emaranhado de troncos e galhos derrubados. Sem o fogo, os proprietários de terra teriam que investir em máquinas pesadas para remover as árvores derrubadas e, assim, deixariam de aproveitar o aumento, a curto prazo, da fertilidade do solo que a incorporação de cinzas promove. Sem o uso do fogo, os proprietários ainda teriam de investir mais no controle de plantas invasoras em suas pastagens e roçar ou cortar as ervas com facões. Seu uso, portanto, é o método mais barato para expandir as fronteiras agrícolas e para manter as pastagens.

O fogo torna-se um grande problema especialmente quando as queimadas, realizadas com o objetivo de converter a floresta em lavouras ou pastagens ou de controlar a proliferação de plantas invasoras, escapam do controle e queimam o que não era desejado. Essas queimadas acidentais, que neste livro denominamos incêndios, ocorrem com frequência nas fronteiras de ocupação da Amazônia e causam extensos prejuízos ecológicos e econômicos. Vários fatores contribuem para a maior ocorrência desses incêndios. Primeiro, as queimadas intencionais

são usualmente promovidas no final da estação seca, quando as lavouras são mais fáceis de queimar e as florestas estão mais vulneráveis. Quatro quintos do desmatamento que acontece na Amazônia brasileira ocorrem em regiões onde a estação seca é longa e severa (Figura 1). Os colonizadores têm ocupado as margens sul da Amazônia, áreas de seca sazonal, pelo fato dessas regiões serem acessíveis por estradas, por estarem mais próximas aos locais de origem desses colonizadores no Nordeste e no Sudeste do Brasil, e porque seus solos são geralmente mais férteis do que aqueles do centro e nordeste, regiões relativamente úmidas da Amazônia (RICHTER e BABAAR, 1991; COCHRANE e SANCHEZ, 1982). Os proprietários de terra fazem suas queimadas no final da estação seca, quando obtêm alto grau de combustão da biomassa e grande produção de cinzas. No entanto, é justamente nessa época que os outros tipos de vegetação estão mais vulneráveis ao fogo.

O segundo fator que eleva a probabilidade dos incêndios causarem prejuízos ecológicos e econômicos resulta dos diferentes tipos de uso da terra dominantes na Amazônia, os quais aumentam significativamente a inflamabilidade da paisagem. O fogo, que invade grandes fazendas de gado, pode queimar centenas ou milhares de hectares de pastagens contíguas sem cruzar rios ou estradas (Figura 2). Um único incêndio acidental na pastagem pode, portanto, proporcionar fontes de ignição ao longo de dezenas de quilômetros na borda da floresta. Mesmo nas fazendas menores, a abertura da floresta geralmente tem início na área da propriedade que se encontra ao longo das estradas de acesso, de tal modo que, somada às aberturas nas propriedades vizinhas, tende a formar grandes áreas contíguas de pastagens e capoeiras altamente inflamáveis (Figura 3). Neste cenário, uma queimada, usada para poupar o agricultor do trabalho de preparar a terra para as lavouras de subsistência, torna-se o pesadelo dos vizinhos quando cercas e pastos são destruídos por labaredas descontroladas.

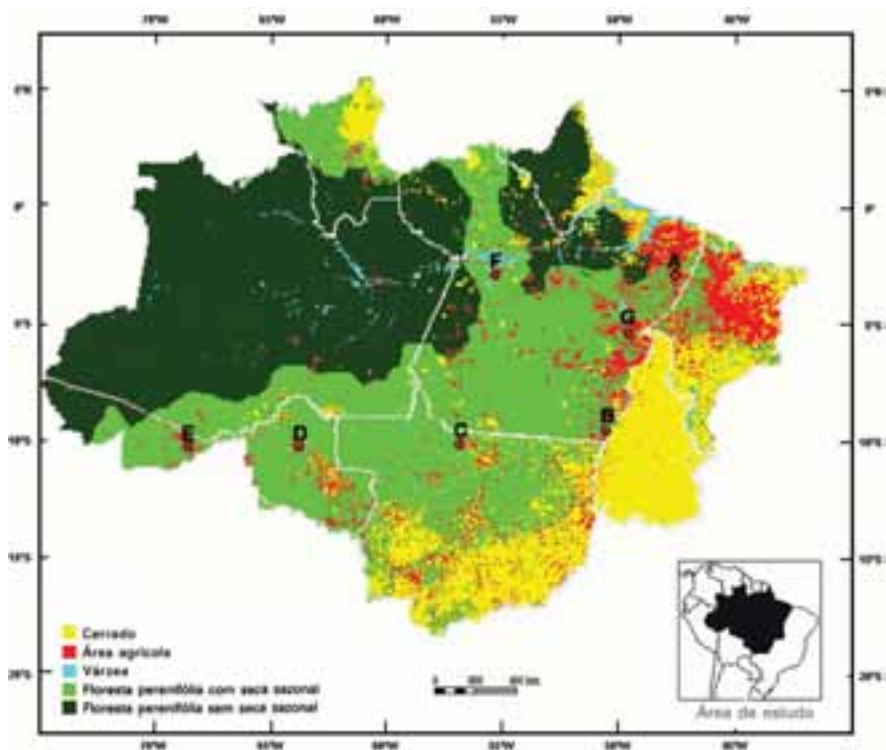


Figura 1 - Área desmatada na Amazônia brasileira (em vermelho). Nota-se como grande parte do desmatamento está concentrada nas regiões onde há secas sazonais. Durante a estação seca, a média diária de chuva é inferior a 1,5mm (áreas florestadas em verde claro definidas pela linha isobárica). As letras (A. a G.) representam os sítios de estudo referidos neste livro e que estão localizados ao longo do “arco de desmatamento”. A) Paragominas, Pará; B) Santana do Araguaia, Pará; C) Alta Floresta, Mato Grosso; D) Ariquemes, Rondônia; E) Rio Branco, Acre; F) Santarém (Belterra), Pará; G) Marabá, Pará. As savanas e as florestas decíduas (em amarelo, representando 14% da área total) foram separadas das florestas perenifólias (75%) com base nos padrões sazonais da intensidade do verde das florestas (“greenness”) determinado em imagens de satélite e em um mapa da vegetação (STONE et.al., 1994).



Figura 2 - Imagem de satélite da região ao redor da cidade de Paragominas, Estado do Pará, leste da Amazônia. Como acontece em muitas paisagens amazônicas, o fogo que escapa das áreas de pastagens (azul e laranja) pode incendiar centenas de hectares de floresta. Neste mosaico composto por grandes pastagens e áreas com florestas que sofreram extração seletiva de madeira, há poucas barreiras naturais (florestas nativas) à propagação do fogo. Nessa imagem, obtida pelo satélite Landsat Thematic Mapper (bandas coloridas 4, 5 e 7) em junho de 1993, nota-se que metade das florestas já foi queimada (verde claro, com contorno em preto).



Figura 3 - Imagem do satélite Landsat TM (1995) da região de Ariquemes, Rondônia, destacando 100 hectares que foram divididos em lotes retangulares e dispostos ao longo das estradas vicinais. Com a ocupação da terra feita por colonos ao longo das estradas, grandes áreas de lavoura e pastagem contíguas são geralmente estabelecidas, de modo a facilitar a propagação do fogo através da propriedade quando há um incêndio acidental. As florestas aparecem em verde escuro, enquanto áreas com vegetação secundária estão em verde claro. As áreas com solo exposto e as áreas urbanas aparecem em rosa e roxo, respectivamente.

Felizmente, a floresta alta e densa que entremeia as áreas abertas para agricultura age como um aceiro ao longo da propriedade e impede que a maioria dos incêndios agrícolas descontrolados se espalhe por grandes áreas. Mesmo no auge da estação seca, essas florestas altamente resistentes à seca bloqueiam o fogo, uma vez que o seu interior sombreado mantém a umidade das folhas e dos galhos mortos depositados no chão (HOLDSWORTH e UHL, 1997; NEPSTAD *et al.*, 1994, 1995; UHL *et al.*, 1988a; UHL e KAUFFMAN, 1990). Mas essa função benéfica das florestas é prejudicada quando operações de exploração de madeira abrem clareiras no dossel que permitem que a luz solar penetre através da copa e chegue ao chão, levando à secagem das folhas e dos galhos e gerando, dessa forma, condições propícias à propagação do fogo. Mesmo as florestas não-exploradas tornam-se inflamáveis em anos em que as secas são particularmente severas. O esgotamento da água no solo induz à queda de folhas e a aberturas no dossel, aumentando o material combustível no chão e a penetração de raios solares (NEPSTAD *et al.*, 1995, 1998).

Um terceiro fator que aumenta sensivelmente a probabilidade das queimadas intencionais escaparem ao controle e invadirem propriedades ou ecossistemas vizinhos está relacionado com as deficiências do mercado e das políticas dirigidas para a região. Em grandes extensões da Amazônia hoje, muitas vezes não vale a pena investir na prevenção de incêndios. Para conter os possíveis incêndios resultantes das queimadas, pode-se, por exemplo, fazer um aceiro ao redor das áreas a serem queimadas ou ao redor das pastagens, das lavouras ou das florestas que precisam ser protegidas do fogo. Esses aceiros são estabelecidos pela remoção completa da vegetação, em faixas, com o emprego de facões ou tratores de esteiras. Contudo, esse considerável investimento de mão-de-obra e recurso na prevenção dos incêndios somente faz

sentido economicamente se os benefícios gerados pela proteção conferida às lavouras, aos pastos, às cercas ou à madeira forem maiores que os custos de sua execução, ou se o usuário da terra tiver a certeza de que irá enfrentar multas pesadas por danificar as propriedades vizinhas ou causar impactos ambientais mais extensos. Os benefícios econômicos da prevenção de incêndios podem ser muito poucos, principalmente nos estágios iniciais de desenvolvimento das fronteiras de ocupação, quando a terra (e a floresta) é abundante e a produtividade é baixa. Se a madeira já foi extraída da floresta, ou se uma pastagem está excessivamente degradada e improdutiva ou, ainda, se a produção é baseada principalmente nas culturas de subsistência, pela prática da agricultura, então os prejuízos diretos associados aos incêndios podem ser relativamente baixos do ponto de vista econômico. Nesse contexto, os prejuízos para a sociedade resultantes da queima da floresta não são levados em conta. Na perspectiva do produtor agrícola, o investimento na prevenção de incêndios faz mais sentido quando acompanha outros investimentos na terra, tais como: cercas, plantação de árvores, manejo florestal e reforma de pastagens. A prevenção e o controle dos incêndios também são levados mais a sério quando existe uma probabilidade real do responsável sofrer multas pesadas, o que não é o caso na Amazônia.

O problema dos incêndios é particularmente difícil de ser resolvido, uma vez que é resultado de uma complexa interação de fatores biofísicos e socioeconômicos presentes nas fronteiras de ocupação. O uso do fogo está profundamente arraigado na cultura da Amazônia. A queimada é o método mais eficiente para um agricultor ou fazendeiro conter a floresta e mantê-la distante. É particularmente difícil manter o fogo sob controle nas regiões onde ocorrem secas sazonais e que coincidem com as áreas de colonização onde praticamente todos os tipos de uso da terra aumentam a inflamabilidade dos ecossistemas. Para o governo, é difícil regulamentar as queimadas, uma vez que acontecem de modo rápido em regiões

isoladas, o que torna difícil identificar como se iniciaram, quais prejuízos causados e quem são os responsáveis por eventuais danos às propriedades e aos ecossistemas.

Contudo, as soluções para o problema do fogo estão ao alcance da sociedade brasileira. Campanhas educativas poderiam encorajar os proprietários de terra no emprego de técnicas de prevenção e supressão de incêndios de modo mais ativo. A efetiva implementação da legislação atual de fogo pelos governos federal, estadual e municipal, ou por formas alternativas de organização entre as comunidades de agricultores, poderia reduzir a ocorrência de incêndios acidentais. Mecanismos econômicos que envolvam impostos e programas de crédito têm um forte potencial, ao aumentarem incentivos para investimentos em técnicas de prevenção de incêndios e em organizações sociais que reduzam o risco de acidentes. A longo prazo, todavia, nenhuma abordagem para o problema dos incêndios na Amazônia, irá ter sucesso sem que hajam mudanças fundamentais na forma como a região está sendo desenvolvida. O fogo é uma característica inevitável das novas fronteiras de ocupação, onde a terra e a floresta são economicamente acessíveis e as formas extensivas de agricultura e extração de madeira são mais vantajosas. É necessário um novo modelo de desenvolvimento para a Amazônia que restrinja o acesso a grandes áreas de floresta e, ao mesmo tempo, aumente a lucratividade da produção agrícola e florestal nas paisagens que já estão ocupadas. Sob essas condições, os sistemas de produção tenderão a intensificar-se. Somente sob um contexto de maior produtividade agrícola e silvicultural e com um crescimento mais contido da fronteira de ocupação da Amazônia, que as queimadas se tornarão menos atrativas como prática de manejo e os investimentos na prevenção de incêndios farão sentido econômico para os produtores rurais da região.

2. A inflamabilidade da floresta

2.1 Os três ingredientes de um incêndio florestal

Em qualquer latitude e em qualquer ecossistema, os três ingredientes de um incêndio são: combustível, clima seco e uma fonte de ignição. Os ecossistemas mais inflamáveis têm abundância de material combustível fino e seco e de fácil ignição concentrado próximo à superfície do solo. No topo da lista dos ecossistemas altamente inflamáveis estão os campos naturais e as savanas, os quais estão sujeitos a secas sazonais severas. Quer seja na África, no centro da América do Sul ou no centro da América do Norte, os campos naturais e as savanas queimam facilmente, porque as gramíneas fornecem combustível fino em abundância próximo ao solo, facilmente oxigenado pelo vento e de secagem rápida.

Os ecossistemas florestais geralmente são menos propensos a incêndios que os campos naturais e as savanas, muito embora eles contenham mais material combustível. Isso acontece porque o combustível na floresta está mais distante da superfície do solo do que nas savanas. Além disso, grande parte da biomassa está nos troncos das árvores que, para queimar requerem um tempo maior de contato direto com o fogo, em comparação com folhas secas. Portanto, os incêndios em florestas podem ser divididos em duas categorias principais: os rasteiros e os de copa. No primeiro, o fogo consome a camada de combustível fino (folhas e ramos secos) depositado sobre o chão da floresta. No segundo, as chamas movimentam-se nas copas das árvores, potencialmente consumindo a maior parte da biomassa acima do solo da floresta.

As florestas também são menos inflamáveis devido ao microclima úmido e sombreado do seu interior. Até 98% da luz solar que intercepta o dossel da floresta tropical úmida, por exemplo, não chega a alcançar a camada de combustível fino no chão (CHAZDON *et al.*, 1996; FETCHER *et al.*, 1985; NEPSTAD *et al.*, 1996 b). A maior parte da luz solar é absorvida ou refletida pelo dossel. Se o ar é úmido, como usualmente o é nas regiões de floresta tropical, a camada de combustível fino somente perderá umidade e se tornará inflamável quando a temperatura for alta o suficiente para reduzir a umidade relativa do ar. Como veremos na próxima seção, o determinante crítico de inflamabilidade das florestas na Amazônia é a interação entre o sombreamento produzido pelo dossel da floresta e o teor de umidade da camada de combustível fino.

2.2. O deserto verde: o paradoxo das florestas sempre verdes do leste e sul da Amazônia

As florestas de Paragominas

Caminhar por uma floresta virgem próxima à cidade de Paragominas no nordeste do Pará, ao final da estação seca (novembro), é como entrar num paradoxo ecológico. De setembro a outubro, não mais que somente três centímetros de chuva são registrados. No entanto a folhagem continua viçosa e densa. A sombra produzida pelas copas verdes mantém o ar dentro da floresta abafado e a camada de folhas e ramos mortos no solo, que pode chegar até a altura do tornozelo, levemente úmida. Mesmo no auge da seca anual, a floresta continua absorvendo dióxido de carbono do ar pelo processo de fotossíntese e lançando para a atmosfera de 3 a 4 mm de água por dia. O paradoxo revela-se quando tentamos interpretar a extraordinária tolerância da floresta à seca dentro da visão convencional de floresta tropical úmida.

Como ensinam os textos clássicos (JORDAN, 1985, RICHARDS, 1952), as raízes das florestas tropicais são superficiais e extensas. Se isso fosse verdade para as florestas de Paragominas, a água estocada no metro superior do solo já teria se esgotado há várias semanas, antes do final do período de estiagem. As folhas cairiam, formando uma camada grossa sobre o solo, e secariam rapidamente pela ação da luz solar que atravessaria as copas nuas das árvores. Após um período de seca, essa floresta assemelharia-se a um barril de pólvora!

Para entender a extraordinária tolerância da floresta à seca e, por consequência, ao fogo, deve-se abandonar a concepção de que as raízes das florestas tropicais são superficiais. As raízes das florestas de Paragominas, por exemplo, estendem-se a uma profundidade de até 18 metros (NEPSTAD *et al.*, 1994). O solo argiloso profundo sobre o qual a floresta cresce funciona como uma grande “esponja”, que serve de reserva d’água para a floresta durante a estação seca e é absorvida pelo sistema profundo de raízes. Após a estiagem, essa “esponja” é reabastecida durante a estação das chuvas (Figura 4). Na maioria das estações secas, essa capacidade “tampão” da esponja em armazenar água é suficiente para suprir as necessidades hídricas da floresta no período de chuvas e evitar a queda de folhas que a tornaria vulnerável ao fogo. Uhl e Kauffman (1990) mediram a inflamabilidade das florestas de Paragominas durante um ano normal, sem interferência do fenômeno do evento El Niño. Esses autores documentaram o ciclo diário do teor de umidade do material combustível fino por um período de dezesseis dias sem chuva (Figura 5). Essa umidade acompanhou o ritmo diário da umidade relativa do ar que subia e descia, quando o interior da floresta aquecia e esfriava. Durante o período de medições, o material combustível jamais secou suficientemente a ponto de ficar inflamável.

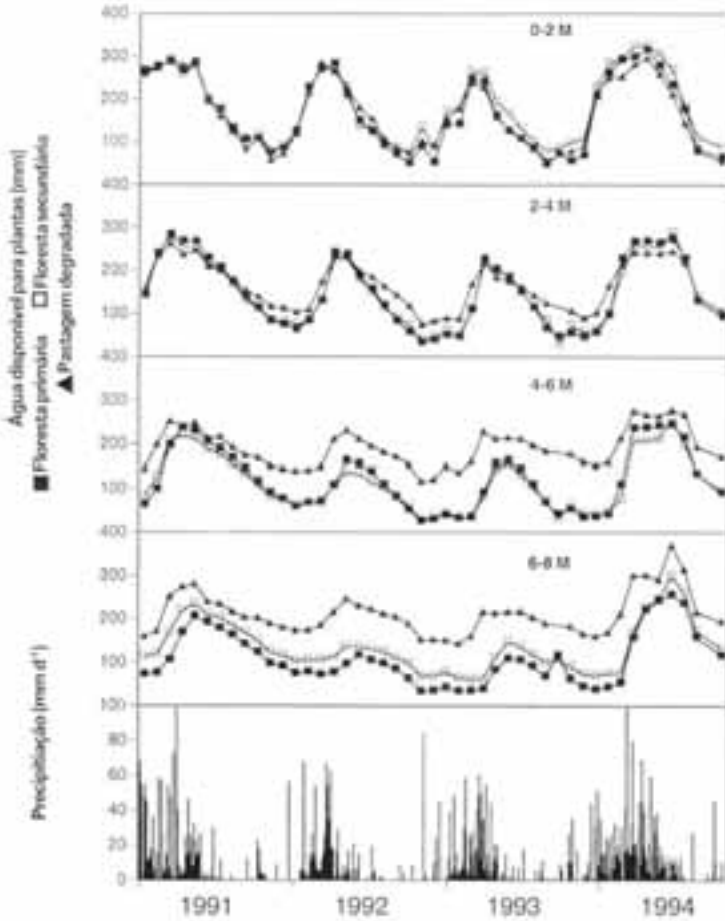


Figura 4 - Água armazenada no solo e disponível para as plantas, por intervalo de profundidade, em áreas de florestas intactas (■), floresta secundária de 15 anos de idade, crescendo onde anteriormente havia pastagens abandonadas (▲), e pastagem degradada (□) da Fazenda Vitória, Paragominas, Pará. O volume de chuva diário é exibido no quadro inferior. Este gráfico ilustra como o esgotamento da água do solo abaixo de 4 metros da profundidade nas florestas intacta e secundária ocorreu durante a estação seca (maio - novembro) de 1991 persistiu até a estação chuvosa de 1994. Neste período, o volume médio de chuvas ficou abaixo daquele registrado em 1992 e 1993. Essa seca interanual levou a floresta primária próximo ao limiar de inflamabilidade, abaixo do qual há um esgotamento da umidade do solo suficiente para provocar o desprendimento das folhas, criando assim condições para que o fogo se propague, caso ocorra um incêndio. Adaptado de Jipp et al., 1998.

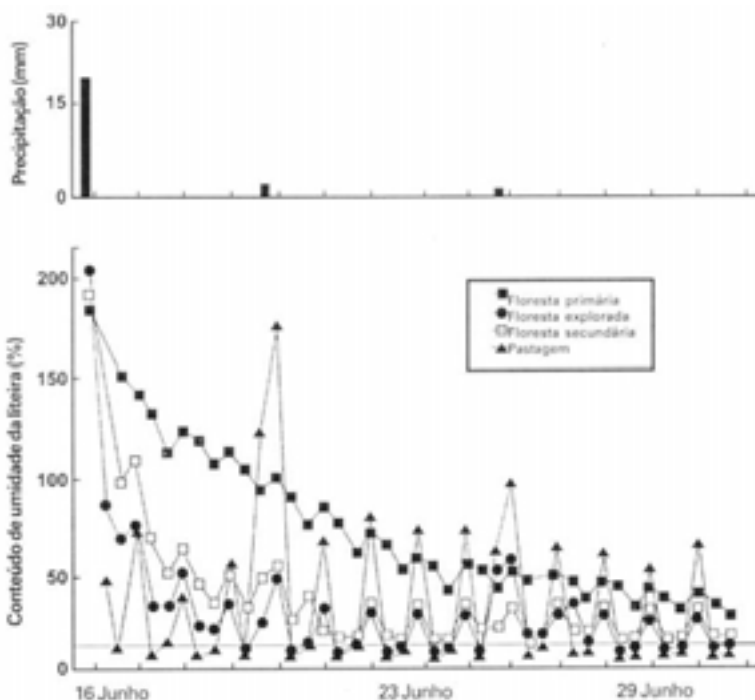


Figura 5 - Taxa de redução da umidade contida na liteira durante um intervalo de 14 dias sem chuvas em áreas de floresta primária (■), secundária (□), explorada (●) e pastagem (▲) da Fazenda Vitória, Paragominas, Pará. Note que a perda de umidade da liteira na floresta primária acontece a uma taxa bem menor que aquela registrada na pastagem e essa perda é intermediária nas florestas explorada e secundária. A camada de folhas mortas que cobre o chão pode pegar fogo somente quando o seu teor de umidade ultrapassa o limite de 15% (linha horizontal). A pastagem pode, portanto, pegar fogo após um dia sem chuva, enquanto a floresta requer semanas de estiagem para se tornar inflamável. Já para a floresta explorada, este tempo é de uma a duas semanas. Fonte: Uhl e Kauffman, 1990.

Por outro lado, durante períodos de seca severa, a floresta pode bombear e exaurir toda a água disponível no solo até profundidades superiores a 5 metros, provocando um estresse hídrico nas árvores, a ponto de induzir o murchamento das folhas que, seguida, caem aumentando a suscetibilidade ao fogo. No *El Niño* de 1992, realizamos um estudo na floresta de Paragominas que demonstrou um esgotamento da água do solo disponível para as plantas até a profundidade de 8 metros (Figura 4). Algumas das espécies de árvores estudadas apresentaram um súbito aumento no estresse hídrico. Houve um desequilíbrio no balanço hídrico dessas espécies e a absorção de água pelas raízes foi inferior à quantidade perdida pela transpiração das folhas (Figura 6). A área foliar baixou em 85% do valor máximo obtido no período chuvoso (Figura 6). No final do período seco (novembro), essa floresta estava no limite de inflamabilidade.

A dependência da floresta de Paragominas da água armazenada no solo tem um efeito secundário muito importante: uma vez que a “esponja” é esgotada durante um período de seca intenso, podem ser necessários vários anos para repor o estoque original de água. A seca portanto, pode persistir por anos sem que se observe alterações no dossel da floresta. Após a seca de 1992, o solo sob a floresta de Paragominas ficou com um déficit de umidade que se estendeu até meados de 1994, quando ocorreram, finalmente, chuvas suficientes para repor a água no solo até 8 metros de profundidade (Figura 4). Até esse reabastecimento ocorrer, a floresta ficou vulnerável a incêndios durante mais de um ano, pois o solo não continha umidade suficiente para protegê-la da seca.

Novamente, em outubro de 1997, a floresta de Paragominas foi levada além do limite de inflamabilidade, quando uma seca recorde exauriu a água armazenada no solo. A seca foi tão severa que, pela primeira vez

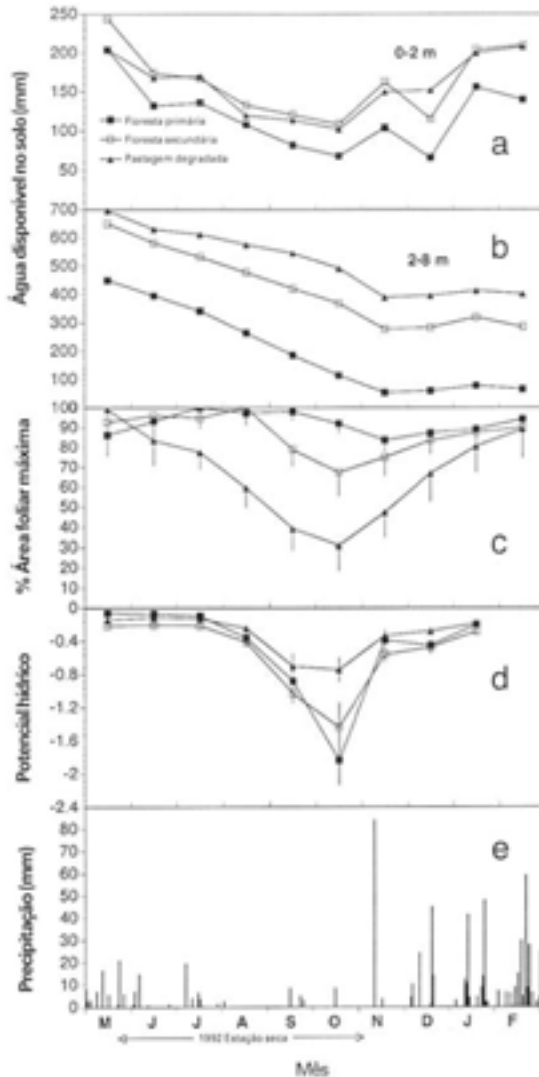


Figura 6 - As florestas primárias da região de Paragominas, Estado do Pará, podem pegar fogo se uma estiagem severa provocar o desprendimento das folhas e a secagem da liteira. Por exemplo, durante a estação seca de 1992 (e), a qual foi agravada pela ocorrência de El Niño, o esgotamento da água disponível para as plantas no solo da floresta primária só provocou o desprendimento das folhas das árvores quando atingiu uma profundidade de 8 metros (outubro) (a e b). Já as florestas secundárias e as pastagens perderam suas folhas mais cedo (abril) (c). Ao longo da estação seca, a floresta foi rapidamente desenvolvendo um severo estresse hídrico, como indicado pela queda acentuada do potencial da água das folhas (d). Adaptado de Nepstad et al., 1994, 1995.

em treze anos de observações de campo, essa floresta tornou-se inflamável. Durante um período de sete meses, iniciado em 6 de maio, a precipitação não ultrapassou os 90 mm. Durante esse mesmo período, aproximadamente 800 mm de água foram removidos do solo e lançados na atmosfera pelas folhas por meio do processo de evapotranspiração, caracterizando um desequilíbrio hídrico enorme. Além disso, durante um período de oitenta dias, começando em 12 de agosto, não choveu uma única vez em Paragominas. Mesmo antes do auge da estação seca, a floresta já estava inflamável. Por meio de fogos experimentais realizados no interior da floresta, foi possível verificar que o fogo podia espalhar-se rapidamente. Nessa seca de 1997, a área foliar da floresta, que tinha chegado a cerca de 85% do seu valor máximo durante o evento do *El Niño* de 1992 (Figura 6), atingiu o valor de 75%. O déficit entre a absorção de água pelas raízes e sua perda pelas folhas, gerou altíssimas tensões no interior dos tecidos condutores nos troncos de árvores e cipós e teve como consequência, a rápida perda de folhas.

As Florestas amazônicas no limiar da inflamabilidade

Quando este livro estava sendo escrito, a floresta de Paragominas e grandes extensões de floresta primária no leste e sul da Amazônia corriam o risco de enfrentarem um novo período de estiagem, o que agravaria os efeitos da falta de água. Em muitas regiões da Amazônia, as chuvas de 1998 foram insuficientes para repor a umidade extraída do solo durante a estação seca de 1997. Por este motivo, a capacidade do solo profundo em fornecer água, protegendo as florestas contra os efeitos da seca, ficou reduzida, como aconteceu na floresta de Paragominas em 1993 (Figura 4).

O déficit hídrico no leste e sul da Amazônia ficou evidente quando se fez uma comparação entre a quantidade acumulada de chuvas entre

julho de 1997 e maio de 1998 e as médias que caíram em outros anos (Figura 7). Em abril de 1998, a ocorrência de chuvas em três localidades geograficamente distantes (> 1.000 km) foi de 500 a 1.200 mm abaixo das médias destas áreas.

O incêndio ocorrido no estado de Roraima no norte da Amazônia em fevereiro e março de 1998, que chamou a atenção do mundo, pode ser considerado um alerta para um problema maior relacionado aos incêndios florestais ocorridos na Amazônia de um modo geral. Este tópico é explorado mais profundamente no Capítulo 4, no qual descrevemos um modelo para predizer o risco de incêndio na região e apresentaremos um mapa das áreas cobertas por florestas que estavam vulneráveis a incêndios na estação seca de 1998.

Os incêndios florestais pré-colombianos

Várias evidências sugerem que secas severas provocaram incêndios na Amazônia nos milênios passados, e que estas foram resultantes de eventos de *El Niño* intensos. O carvão encontrado no solo da floresta tropical em San Carlos do Rio Negro, no sul da Venezuela, é datado de aproximadamente 250, 400, 650, 1.500, 3.000 e 6.000 anos atrás, e é pouco provável que este carvão tenha sido produzido por atividade humana (SALDARRIAGA *et al.*, 1988, SANFORD *et al.*, 1985). Essas datas correspondem a períodos de estiagem documentados por estudos com pólen fossilizados (SANFORD *et al.*, 1985). De forma similar, a evidência da ocorrência de incêndios em períodos de seca severa nos últimos sete mil anos foi obtida também por análises do pólen e datação de carbono realizadas em sedimentos do lago Carajás, no leste da Amazônia (TURCQ *et al.*, 1998). No atual regime natural de chuvas da região, caracterizado por uma estação seca menos intensa, as florestas primárias não são vulneráveis ao fogo (UHL *et al.*, 1988a).

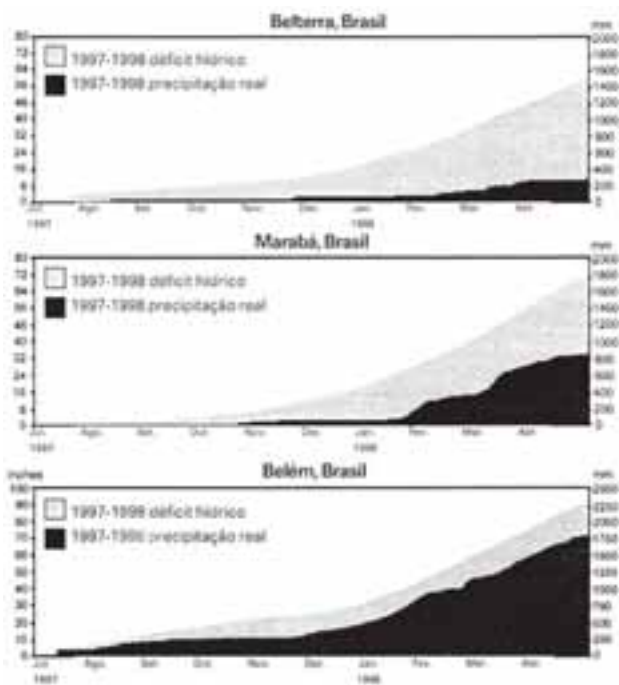


Figura 7 - Os eventos de El Niño estão usualmente associados às reduções de chuva em grande parte da região Amazônica. Durante o El Niño de 1997/1998, a chuva acumulada (faixa escura) ficou muito abaixo da média registrada em anos de chuvas normais (faixa cinza) em cidades como Belterra, Belém e Marabá. Em Belterra, o volume de chuva ficou 1.000 mm abaixo da média para o período de nove meses, a partir de julho de 1997. Fonte: Centro de Previsão Climática/NOAA.

Meggers (1994) verificou que as idades do carvão de San Carlos correspondem a descontinuidades no padrão da cerâmica produzida pelas populações indígenas da Amazônia e a inundações ao longo da costa peruana (onde as oscilações *do El Niño* provocam chuvas mais intensas). Esta autora defende a hipótese de que eventos de “Mega-Niño” ocorreram há aproximadamente 400, 700, 1.000 e 1.500 anos e que esses eventos provocaram períodos de estiagem na Amazônia severos o bastante para causar grandes incêndios, esgotamento da água e uma conseqüente dispersão das populações indígenas. Ela argumenta, ainda, que essas transformações sofridas pelas sociedades pré-colombianas provocaram a diversificação dos padrões de cerâmica e linguagem. Essa evidência de incêndios catastróficos em séculos recentes é um alerta para os atuais habitantes da Amazônia: o fogo ainda tem o potencial de transformar profundamente as sociedades humanas na região.

2.3 Os efeitos da exploração de madeira sobre a inflamabilidade da floresta

A indústria madeireira tem crescido rapidamente em resposta à melhoria dos métodos de extração e ao acesso mais fácil aos mercados nacional e internacional de madeira serrada, laminados e compensados (STONE, 1997). A diminuição das florestas do Sul do Brasil e o esgotamento dos estoques de madeira nas florestas tropicais do mundo têm feito da Amazônia a última e a maior fonte disponível de madeira tropical (UHL *et al.*, 1997).

Embora os métodos usados para extrair a madeira das florestas sejam “seletivos” isto é, somente um reduzido número de árvores é aproveitado em cada local, eles aumentam de modo significativo a suscetibilidade dessas florestas ao fogo. A forma mais comum de extração de madeira é iniciada por mateiros que fazem a marcação das árvores adultas, das espécies comerciais desejadas. Em seguida, uma outra equipe de serradores corta somente as árvores previamente marcadas. Os tratores de esteiras, então, entram na floresta e arrastam as árvores derrubadas para um pátio de estocagem construído no interior da floresta. Este pátio é conectado a rodovias estaduais ou federais por uma rede de estradas de terra, e é grande o suficiente para que caminhões sejam carregados com as toras (Figura 8). A palavra de ordem nessas operações de exploração é “velocidade”. As serrarias precisam garantir madeira suficiente para que continuem funcionando, mesmo durante a estação chuvosa, quando os solos argilosos tornam-se escorregadios e impedem que os caminhões cheguem até os pátios. Uma vez que, geralmente, a área onde se dá a exploração não pertence ao proprietário da serraria e/ou a perspectiva de uma segunda ou terceira extração no mesmo local é remota, há pouca preocupação em evitar desperdícios durante a operação de extração (JOHNS *et al.*, 1996). Há, por exemplo, pouco cuidado com o dano causado às árvores vizinhas quando uma árvore é extraída. Pelo fato das árvores na floresta estarem amarradas umas às outras por cipós, várias são arrancadas quando apenas uma é derrubada. Além disso, outras são esmagadas ou danificadas durante a queda. Estima-se que mais de vinte árvores sofrem sérios danos para cada árvore comercial que é extraída (UHL e VIEIRA, 1989). O desperdício é resultado também da falta de planejamento antes da extração. As árvores selecionadas para corte são raramente mapeadas. Os tratores partem numa “busca cega” pelas árvores derrubadas e abrem o dossel da floresta muito mais do que o necessário.



Figura 8 - Floresta recém-explorada por madeireiros na Fazenda Vitória, próximo à cidade de Paragominas, Pará. Esta floresta queimou um mês após a fotografia ser tirada. Durante a exploração da madeira, o dossel foi reduzido pela abertura de clareiras, geralmente utilizadas para a estocagem de madeira a ser transportada por caminhões até as serrarias. Uma vez explorada, grande quantidade de material combustível fica depositada no chão e passa a receber a luz do sol que entra pelo dossel rarefeito (Foto: D. Nepstad).

Os métodos rápidos e descuidados empregados para extrair madeira na Amazônia podem aumentar significativamente a inflamabilidade das florestas após a extração. As formas mais extremas de exploração seletiva reduzem de 95% para 50% a cobertura do dossel e removem, matam ou danificam mais de 40% de todas as árvores adultas (Figura 8). A quantidade de combustível lenhoso pode aumentar de 51 toneladas por hectare, em uma floresta madura, para 180 toneladas por hectare após a exploração, como registrado em uma floresta experimental, na Fazenda Vitória, em Paragominas (Tabela 1). Por causa da redução drástica na cobertura do dossel de folhas, o déficit de pressão do vapor ao meio-dia (uma medida da capacidade do ar em promover a evaporação) foi quatro vezes mais alto em clareiras geradas pela exploração de madeira, se comparado àquele medido no interior sombreado de uma floresta primária adjacente. A temperatura máxima do ar foi 10° C mais alta na floresta explorada (Tabela 2). A camada de folhas depositada no chão secou muito mais rapidamente na floresta explorada do que na floresta primária. O teor de umidade do ar ficou

Tabela 1 - Quantidade (T / ha) de material combustível (littera e madeira) de diferentes ambientes na Fazenda Vitória, Paragominas, Pará. Os valores representam a média (\pm EP*) para cada ambiente. Fonte Uhl and Kauffman, 1990.

Variável microclimática	Floresta primária	Floresta explorada	Pasto	Floresta secundária
RH (%)	85.6 \pm 0.7	65.3 \pm 1.0	50.6 \pm 1.4	61.6 \pm 1.1
VPD (kPa)	0.53 \pm 0.3	2.30 \pm 0.07	3.44 \pm 0.06	1.99 \pm 0.07
T _{max} (°C) – Diurna	27.7 \pm 0.2	37.5 \pm 0.3	38.2 \pm 0.2	32.9 \pm 0.5
T _{min} (°C) – Dima	22.0 \pm 0.1	21.8 \pm	19.9 \pm 0.2	20.8 \pm 0.1

*EP: Erro Padrão.

Tabela 2 - Médias (\pm EP*) da umidade relativa (UR), pressão de vapor (VPD) e temperaturas (diurnas) máximas (T_{max}) e mínima (T_{min}) tomadas ao longo de 62 dias consecutivos em quatro diferentes ambientes na Fazenda Vitória, Paragominas, Pará. Os valores de UR e VPD foram registrados, diariamente, às 13h00.

Variável microclimática	Floresta primária	Floresta explorada	Pasto	Floresta secundária
RH (%)	85.6 \pm 0.7	65.3 \pm 1.0	50.6 \pm 1.4	61.6 \pm 1.1
VPD (kPa)	0.53 \pm 0.3	2.30 \pm 0.07	3.44 \pm 0.06	1.99 \pm 0.07
T _{max} (°C) – Diurna	27.7 \pm 0.2	37.5 \pm 0.3	38.2 \pm 0.2	32.9 \pm 0.5
T _{min} (°C) – Dima	22.0 \pm 0.1	21.8 \pm	19.9 \pm 0.2	20.8 \pm 0.1

*EP: Erro Padrão.

abaixo do limiar de inflamabilidade (aproximadamente 15%, UHL e KAUFFMAN, 1990) após cinco a seis dias sem registros de chuva, enquanto na floresta primária manteve-se acima do limiar, mesmo após quatorze dias sem chover (Figura 5).

Os efeitos da exploração seletiva na inflamabilidade da floresta podem ser reduzidos pelo uso de técnicas mais cuidadosas de extração de madeira (HOLDSWORTH e UHL, 1997). O simples mapeamento das árvores a serem extraídas e o corte de cipós podem reduzir os estragos na floresta. Pode-se, ainda, planejar a direção da queda da árvore e remover os troncos das árvores derrubadas com um trator florestal equipado com rodas de borracha, em substituição àqueles de esteiras. Todas essas técnicas de extração de “baixo impacto” podem reduzir o tamanho médio das clareiras produzidas pela queda das árvores em até 53% (JOHNS *et al.*, 1996) e manter o dossel mais fechado em comparação às práticas de exploração convencionais. A redução do tamanho das clareiras diminui a inflamabilidade da floresta após a extração, pois a taxa de secagem do combustível depende da quantidade de luz solar direta que atinge o chão. Clareiras grandes recebem muito mais luz solar que as pequenas (HOLDSWORTH e UHL, 1997). Infelizmente, essas técnicas de extração de baixo impacto raramente são empregadas na Amazônia, talvez por serem mais caras que as técnicas tradicionais. Os custos de uma exploração utilizando estas técnicas giram em torno de US\$ 72/ha a mais que as técnicas de extração tradicional (BARRETO *et al.*, 1998). Além do custo adicional, existem poucas empresas que extraem madeira com a intenção de retornar à mesma floresta para uma nova extração décadas mais tarde, já que atualmente ainda há uma absoluta abundância de florestas primárias por explorar.

O exemplo mais extremo de extração de baixa intensidade e com efeitos reduzidos sobre a inflamabilidade é a extração do mogno. A extração desta espécie atinge somente 5 m³ de madeira por hectare *versus* 30 m³ a 40 m³ por hectare nos métodos de extração intensivos (VERÍSSIMO *et al.*, 1995). Dado que as árvores de mogno são agrupadas, os efeitos da extração na inflamabilidade da floresta são muito localizados, e a maior parte da floresta fica inalterada em sua vulnerabilidade ao fogo. O problema com a extração do mogno reside, contudo, na ameaça que representa à sobrevivência da espécie. O mogno torna-se cada vez mais raro na Amazônia.

2.4 Fogo gera fogo

Tal como a exploração de madeira, os incêndios florestais rasteiros aumentam a inflamabilidade da floresta por permitir a entrada de mais luz solar no seu interior e por aumentar a quantidade de combustível lenhoso. A maioria dos incêndios que penetram nas florestas da Amazônia, sejam exploradas para madeira, com estresse hídrico ou ambos, move-se lentamente pelo chão, queimando apenas a camada de combustível fino. As chamas produzidas não ultrapassam 40 cm de altura (Figura 9). Esporadicamente, as chamas podem atingir o dossel, quando há combustível suficiente para tanto. Áreas pequenas de floresta muitas vezes escapam do fogo por ausência de combustível ou por sua alta umidade (HOLDSWORTH e UHL 1997, Figura 10). À primeira vista, incêndios rasteiros parecem ser inofensivos, com pouco impacto na estrutura da floresta. No entanto, matam muitas árvores e cipós que são atingidos diretamente pelas chamas. A mortalidade é alta, especialmente entre aquelas espécies que apresentam casca fina ou que são, por outro modo, sensíveis ao fogo (UHL e KAUFFMAN, 1990).



Figura 9 - Incêndio florestal rasteiro queimando a camada de liteira no interior de uma floresta explorada próxima à cidade de Tailândia, Pará, Brasil. Os teores de umidade do combustível depositado sobre o chão são elevados no interior da floresta, e, por essa razão, a altura das chamas é baixa. Os incêndios que queimam as copas são raros nas florestas Amazônicas (Foto: M. Cochrane).

Dias após um incêndio rasteiro, as árvores começam a soltar suas folhas cobrindo o chão da floresta. Essa nova camada de combustível recebe agora mais luz solar e torna-se mais seca. A queda de folhas ocorre porque a ação direta do fogo mata o tronco de muitas árvores. Contudo, muitas árvores que não foram mortas pelo incêndio também perdem folhas. Isto pode acontecer devido à influência direta do calor na copa e da exposição à fumaça. Logo após um incêndio rasteiro, algumas florestas contêm combustível seco suficiente para queimarem novamente. Os troncos de árvores caídas permanecem em combustão lenta por vários dias e constituem uma fonte de ignição permanente (COCHRANE e SCHULZE, 1999).

Nos anos subseqüentes ao incêndio rasteiro, a floresta permanece altamente inflamável. As árvores e os cipós mortos por incêndios anteriores perdem seus galhos ou caem no chão, resultando em novas aberturas no dossel e no acúmulo combustível lenhoso no chão. Cochrane e Schulze (1999) documentaram um expressivo aumento

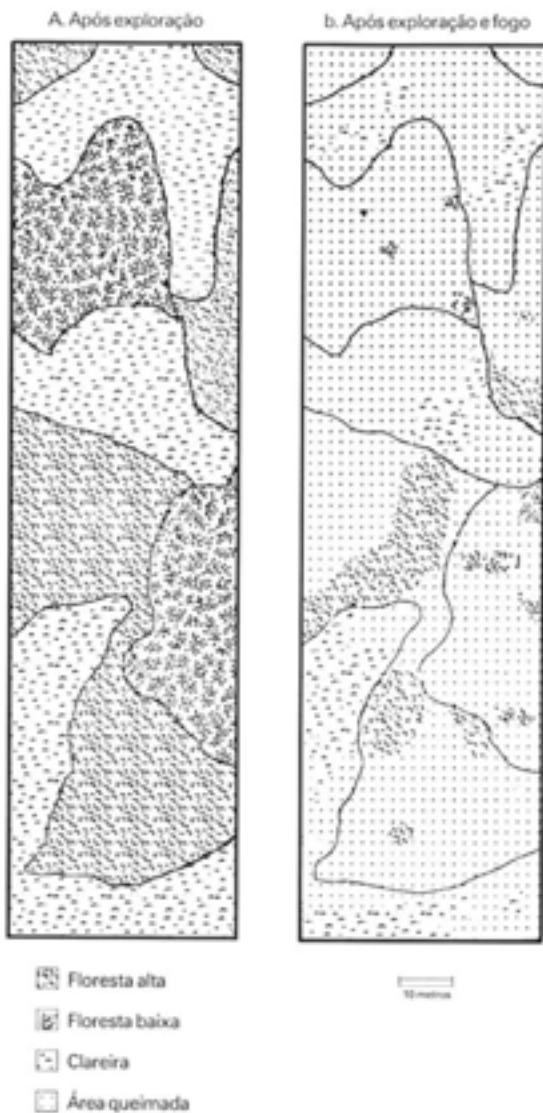


Figura 10 - Incêndios florestais rasteiros percorrem o chão da floresta de forma irregular e deixam ilhas de vegetação não-queimada. Isso ocorre particularmente onde o dossel é alto e fechado. Nesse desenho é possível visualizar o efeito de um incêndio ocorrido em 1992 em uma área de 50 X 200m de floresta da Fazenda Vitória em Paragominas, Pará. As classes de cobertura incluem floresta alta (15-30 metros), floresta baixa (6-15 metros, altamente coberta com cipó), clareira (áreas onde árvores foram extraídas) e áreas queimadas (onde o fogo queimou a camada de liteira). Fonte: Holdsworth e Uhl, 1997.

sucessivo na inflamabilidade de florestas exploradas da região central do Estado do Pará (próximo a Tailândia) em função de incêndios recorrentes. Ao contrário de uma floresta nunca antes incendiada, que requer semanas sem chuva para tornar-se inflamável, aproximadamente metade da área de uma floresta que já sofreu incêndio rasteiro fica inflamável apenas com nove a dezesseis dias de estiagem. Com a reincidência do fogo, virtualmente toda a área da floresta pode incendiar-se após nove dias sem chuva (Figura 11). Portanto, um dos mais importantes efeitos do incêndio florestal de larga escala é o aumento da suscetibilidade dessas florestas aos incêndios subsequentes (Seção 3.7).

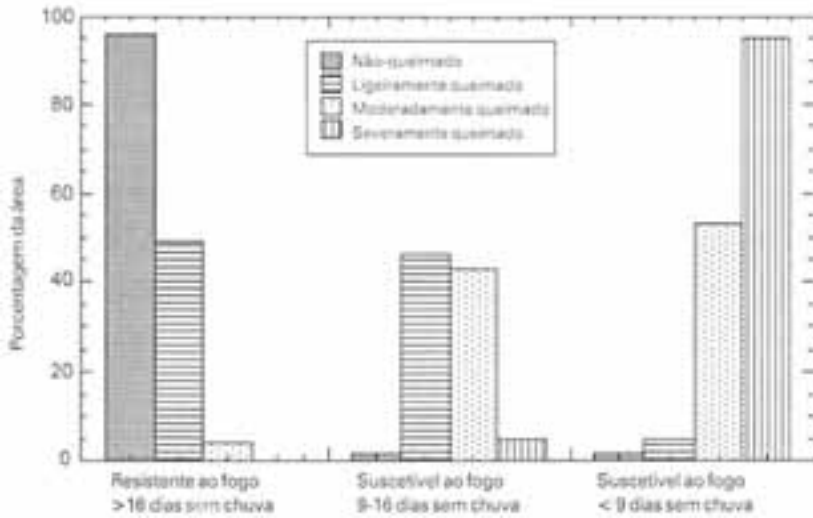


Figura 11 - A cada queima sucessiva, o dossel da floresta torna-se mais aberto e permite a penetração de uma quantidade maior de luz solar que promove uma rápida secagem da camada de combustível fino depositado sobre o chão. Somente uma floresta não-queimada pode suportar mais de dezesseis dias sem chuva antes de estar seca o suficiente para pegar fogo. Contudo, somente 4% de uma área de floresta queimada intensamente pode resistir ao fogo durante igual período de estiagem. Mais de 90% da floresta queimada intensamente pode pegar fogo com menos de nove dias após o último evento de chuva. Dados obtidos em florestas próximas a Tailândia, Estado do Pará. Fonte: Cochrane e Schulze, 1999.

3. A Amazônia está queimando

Após mais de duas décadas de preocupação mundial sobre a questão do fogo na Amazônia, dúvidas fundamentais ainda persistem. Que tipo de vegetação está queimando? Qual o tamanho das áreas atingidas pelo fogo? Como os incêndios se iniciam? Neste capítulo, descrevemos o estado do conhecimento sobre o assunto, por meio de uma síntese de dados oriundos de várias fontes. Iniciamos com uma descrição do monitoramento feito por satélites. A seguir, propomos uma tipologia do fogo na Amazônia e apresentamos os resultados de um amplo levantamento feito com produtores rurais em 1996, cujo objetivo foi o de calcular a área atingida pelos diferentes tipos de fogo em propriedades rurais de diversos tamanhos e estimar os seus respectivos custos econômicos. Concluímos este capítulo com uma análise dos impactos ecológicos e econômicos do uso do fogo na Amazônia.

3.1. Mapeando fogo do espaço

A superfície da terra é fotografada duas vezes por dia pelos dois satélites meteorológicos NOAA,¹ ambos orbitando a 850 quilômetros de altitude. Embora esses satélites tenham sido desenhados para fornecer informações sobre padrões climáticos, vêm sendo usados como uma ferramenta importante para monitorar ocorrência de fogo em grandes regiões como a Amazônia. Os recursos desses satélites são capazes de registrar a energia que está sendo emitida e/ou refletida pela superfície

¹ Estes satélites meteorológicos são operados pela Agência Americana para Oceanos e Atmosfera (NOAA) e carregam um sensor chamado AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer).

da terra, em vários comprimentos de ondas, inclusive o infravermelho (3,55 - 3,93 micrômetros), que pode ser usado para estimar a temperatura da superfície da terra. Dado que a fonte mais comum de altas temperaturas na superfície da terra é o fogo, os dados dos satélites NOAA podem ser usados para criar mapas diários de focos de calor ativos, por meio de um programa de computador que identifica as áreas na superfície terrestre onde a temperatura excede um determinado nível (SETZER e PEREIRA, 1991; MALINGREAU e TUCKER, 1988; MATSON *et al.*, 1984; e MATSON e DOZIER, 1981).

Os mapas que podem ser produzidos a partir dos dados colhidos pelos satélites proporcionam uma ilustração dramática da magnitude do fogo na Amazônia (Figura 12) e são a base do programa do governo brasileiro que monitora as queimadas (SETZER *et al.*, 1988). Ao avaliarmos o número total de focos registrados pelos satélites durante a estação de queimadas de 1997 (de junho a novembro), uma zona de alta frequência de focos pode ser vista no leste e no sul da Amazônica, onde a maioria dos desmatamentos tem ocorrido (Figura 1). Em algumas células (*pixels*) deste mapa,² foram registrados 790 focos de incêndio em 1997, em uma área de aproximadamente 256 km² (16 x16 km). Isto representa mais de três focos por quilômetro quadrado e foram particularmente comuns nas áreas próximas a Marabá, no leste do Pará, e Cuiabá, no norte de Mato Grosso.

No momento, os sensores do NOAA são a principal fonte de informações diárias cobrindo os incêndios, em escala continental ou global. Os dados que eles geram são utilizados, principalmente, como um índice de intensidade do fogo e não como uma medida quantitativa

² Cada quadrado no mapa é chamado um elemento de imagem ou célula. Neste mapa, as células da imagem original, as quais são de 1,1 H 1,1 km, foram combinadas em células maiores de 16 H 16 km.

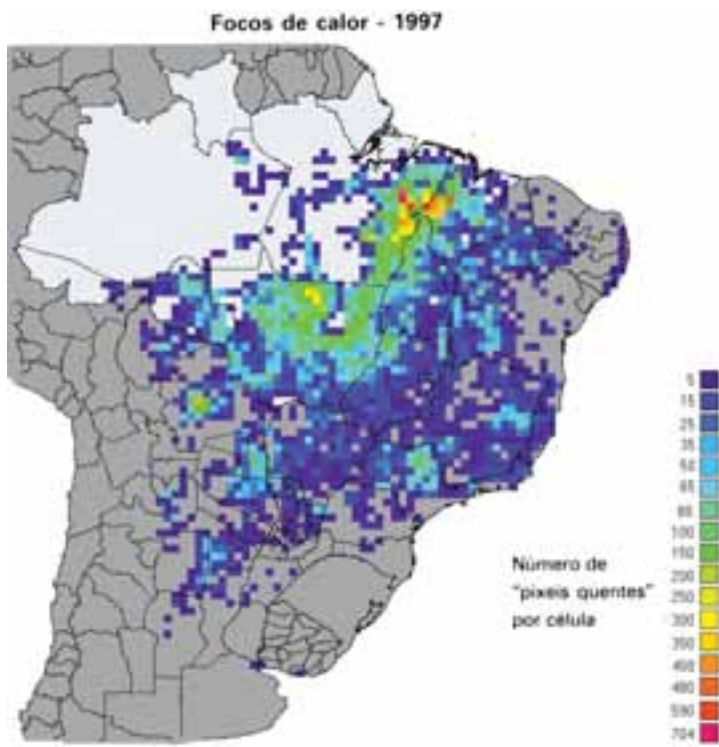


Figura 12 - Focos de incêndio detectados pelos satélites NOAA e registrados em mapas diários. A sobreposição destes mapas permite a visualização da concentração anual de focos na Amazônia ao longo das porções leste e sudeste da região. Tais mapas proporcionam registros importantes sobre a localização de incêndios ativos, mas fornecem pouca informação sobre o que está queimando, a quem pertence a terra que está sofrendo a queimada e quais os seus efeitos. O tamanho das células de registros é de 256 km² (15 X 15 km). Fonte: INPE.

direta do número de focos de fogo da área queimada. Uma vez que os dados são registrados como células ou *pixels* de 1,1 x 1,1 km, não é possível saber o tipo de vegetação que se está queimando, a menos que o incêndio seja registrado em uma região onde haja grandes extensões de floresta homogênea ou pastagens que cubram várias células. Estes dados subestimam a área queimada e o número de incêndios por várias razões. É improvável que incêndios florestais rasteiros sejam detectados por essa técnica de mapeamento, já que ocorrem sob o dossel da floresta e, portanto, permanecem invisíveis aos “olhos” dos satélites. Múltiplos focos, que ocorrem na mesma célula de 1,1 x 1,1 km, são registrados como um só. A fumaça ou as nuvens podem, também, esconder focos ativos, o que evita que os satélites os registrem. Por outro lado, existem maneiras pelas quais esses mesmos dados superestimam a área queimada. Os focos associados com desmatamento recente ou queima de pastagem podem deixar cinzas incandescentes, as quais são registradas como um incêndio ativo, mesmo depois de extinto. Pequenos focos também podem exceder o limiar da temperatura estabelecido pelo programa de computador que faz o mapeamento. Essas limitações dos dados obtidos pelos satélites NOAA são resumidas por SETZER e PEREIRA (1991) e ROBINSON (1989, 1991), que apontam para a necessidade de mais fontes de informação.

Informações mais detalhadas sobre o fogo na Amazônia são obtidas pelo satélite “*Landsat Thematic Mapper*” dos Estados Unidos e pelo satélite SPOT da França. As células destes satélites (30 x 30 e 10 x 10 metros, respectivamente) são bem menores que as dos satélites NOAA. Dessa forma, os tipos de vegetação podem ser reconhecidos pela inspeção visual ou pela classificação digital da imagem. Nesta última, os tipos de vegetação são classificados de acordo com a quantidade de luz que é refletida em até sete classes de comprimento de ondas

espectrais. Dado que esses satélites requerem de quatorze a dezesseis dias para dar a volta em torno da terra, as imagens por eles produzidas não úteis são para monitorar focos ativos. No entanto, são adequados para mapear as cicatrizes deixadas na vegetação pelos incêndios. As florestas que sofreram incêndios rasteiros, por exemplo, são facilmente distinguidas das florestas que nunca foram queimadas devido à perda de folhas e das cinzas depositadas sobre o solo (Figura 13). Essas cicatrizes são mais facilmente visualizadas nos primeiros meses após o incêndio, antes das espécies pioneiras se restabelecerem, podendo ser detectadas por, no mínimo, um ano após a ocorrência do fogo (seção 3.4).

Contudo, mesmo os satélites com imagens de alta resolução, tais como o Landsat TM e o SPOT, não fornecem informações sobre os tipos de propriedades atingidas pelo fogo, como este se iniciou, quais as razões dos incêndios ou seus impactos econômicos. Esse tipo de informação requer pesquisa de campo feita mediante entrevistas com os proprietários de terra, checagem de imagens e levantamento de dados econômicos. Nós apresentamos a seguir os resultados de cinco estudos de caso sobre o uso do fogo na Amazônia, conduzidos durante o ano de 1996.

3.2. Tipos de fogo

Qualquer discussão sobre o problema do fogo na Amazônia dependerá da definição de uma tipologia que seja amplamente aceita. Baseado em uma revisão da literatura (FEARNSIDE 1997; HECHT 1993; HOMMA, 1992; MORAN et al., 1994; NEPSTAD et al., 1991, 1997; SKOLE et al., 1994; UHL et al., 1988 a,b; UHL e BUSCHBACHER, 1985; WALKER e HOMMA 1996) e em nossa própria experiência de

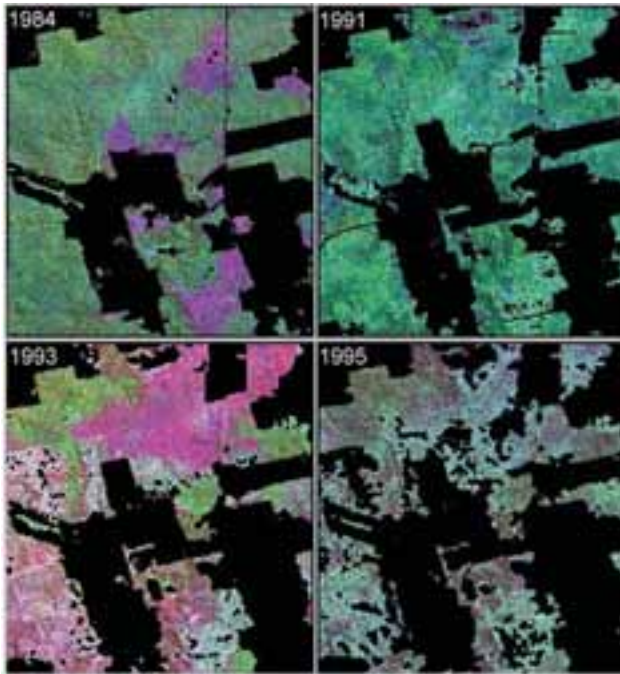


Figura 13 - Durante o primeiro ano após um incêndio florestal rasteiro, é possível visualizar as “cicatrizes de fogo” a partir de imagens do satélite Landsat TM, por meio de uma técnica especial de intensificação de contrastes. As quatro imagens nesta figura (20 x 20km), obtidas de uma área próxima a Paragominas, Pará, mostram a degradação cumulativa da floresta devido ao incêndio rasteiro durante um período de onze anos. As imagens de 1984 e 1993 mostram “cicatrizes” extensas (roxa e rosa) de incêndios provocados pela estiagem relacionada a episódios de El Nino nos anos anteriores. As áreas de pastagens e outras não-florestadas estão em preto.

campo, definimos uma terminologia que enquadra os tipos de fogo em três categorias principais (Tabela 3): “Queimadas ou incêndios para desmatamento” são aqueles estabelecidos geralmente de forma intencional e associados ao corte e à queima de florestas para plantio agrícola e/ou formação de pastagens. “Incêndios florestais rasteiros” são aqueles fogos que queimam a camada de combustível depositada no chão de florestas primárias ou exploradas. “Queimadas e/ou incêndios em áreas já desmatadas” são resultantes do fogo intencional (queimadas) ou acidental (incêndios) em pastagens, lavouras e capoeiras.

Dentro da classificação do fogo como “intencional” e “acidental” (Tabela 3). Aqueles voltados ao desmatamento são, primariamente, todos intencionais, com exceção dos que começam em uma época não desejada do ano. Os incêndios rasteiros nas florestas, por outro lado, são em sua maioria acidentais, dado que os proprietários de terra têm poucos motivos para atear fogo diretamente na floresta em pé. Os incêndios florestais rasteiros, por exemplo, não substituem a derrubada da floresta, dado que muitas árvores permanecem vivas após a passagem do fogo. As áreas já desmatadas geralmente são queimadas intencionalmente quando os proprietários ateam fogo em suas pastagens para eliminar plantas invasoras que impedem que o pasto se desenvolva adequadamente, ou quando cortam e queimam florestas secundárias na preparação do terreno para agricultura e/ou formação de novas pastagens. Acidentes são freqüentes nesse tipo de queimada. O fogo ao escapar de controle queima áreas de pastagem, lavoura e capoeira que não se desejava queimar. Esses incêndios podem alcançar grandes proporções, principalmente nas pastagens e provocar grandes perdas econômicas (Tabela 3).

Tabela 3 - Os principais tipos de incêndios da Bacia Amazônica

Tipo	O que é queimado?	Por que queima?	É acidental?
Incêndio de desmatamento	Floresta explorada por madeireiros e floresta primária que foram derrubadas e deixadas para secar	- Preparação de campos agrícolas e pastagens - Reivindicação de posse da terra	não não
Incêndios florestais rasteiros	Florestas em pé, exploradas e primárias	- Não-intencional	sim
Incêndios em terras desmatadas	Pastagens degradadas	- Redução de ervas daninhas - Não-intencional	não sim
	Florestas secundárias	- Preparação de campos agrícolas e pastagens - Não-intencional	não sim
	Pastagem	- Não-intencional	sim
	Plantações	- Não-intencional	sim

As queimadas para desmatamento: a agricultura de corte e queima

Sob condições de solo é infértil, abundância de floresta e barata e escassez de o trabalho e capital, a forma mais lógica de enriquecer o solo é usar a própria floresta como fertilizante. Todo ano, na Amazônia brasileira, aproximadamente 600 mil famílias carentes cortam e queimam de um a três hectares de floresta para plantar mandioca, arroz, milho, feijão e outras culturas cuja produção é destinada à subsistência ou à comercialização nos mercados locais (HOMMA, 1997). As práticas antigas de agricultura de corte e queima permitem o cultivo em solos ácidos e inférteis que dominam grande parte da Amazônia. A queima transforma a biomassa florestal em cinzas ricas em nutrientes que fertilizam o solo (Figura 14 a, b). Essa fertilidade, no entanto, é temporária. A rápida infestação dos campos agrícolas por plantas invasoras reduz ainda mais a produtividade dos plantios. Os rendimentos oriundos dos cultivos freqüentemente declinam entre um e três anos após a derrubada da floresta. Assim, a cada ano uma nova área de



Figura 14 - Agricultores da Amazônia praticando a agricultura tradicional de corte e queima. Após a derrubada, a floresta é queimada e a área é preparada para o plantio. a) Família preparando a terra para o plantio de arroz na comunidade de Del Rey, próxima à cidade de Paragominas, Pará; b) agricultor mostrando alguns de seus produtos. Fotos: a) M. M. Mattos e b) D. Nepstad.



Figura 15 - As fases iniciais do ciclo da agricultura de corte e queima. a) A área florestada é cortada e deixada para secar. Algumas árvores não são derrubadas por serem úteis ao agricultor (por exemplo, árvores frutíferas) ou por abrigarem ninhos de vespa. Outras permanecem em pé por apresentarem risco do agricultor ser atingido por galhos durante a derrubada. b) Próximo do final da estação seca, a área é queimada. As árvores mortas que permanecem em pé durante a queima podem pegar fogo e emitir faíscas a longas distâncias ou ainda servirem como “pontes” para o fogo sobre os aceiros. Dessa forma, a permanência destas árvores aumenta o risco do fogo alcançar os ecossistemas vizinhos (Comunidade de Del Rey, próximo a Paragominas, Pará). Foto: a) Kátia Carvalheiro e b) Daniel Nepstad.

floresta é derrubada e queimada pelas famílias de agricultores carentes da Amazônia para que haja garantia de continuidade na produção de subsistência.

O ciclo da agricultura de corte e queima começa no início do período de estiagem, quando uma área de floresta (primária, secundária ou explorada) é cortada com o auxílio de machados ou motosserras (Figura 15 a). Inicia-se, então, um tipo de “jogo de adivinhação”. Os agricultores deixam suas áreas de floresta derrubada secarem o máximo possível até o início da estação chuvosa. Se a floresta cortada for queimada antes de estar totalmente seca, o teor de umidade dos troncos caídos impedirá a queima completa de toda a biomassa disponível. Por consequência, haverá deposição e má distribuição de cinzas no solo, levando a uma diminuição da produtividade dos cultivos. Além disso, uma floresta queimada de forma incompleta dificulta o trabalho do agricultor, pois um maior número de galhos e troncos caídos permanece na área cultivada.

O fogo produzido pela agricultura de corte e queima (Figura 15 b) pode escapar facilmente para florestas, pastagens ou campos agrícolas adjacentes à área que está sendo queimada. A queima do emaranhado de galhos e troncos secos das árvores produz faíscas que são lançadas ao vento e podem iniciar o fogo em outras áreas. Muitas árvores mortas são deixadas em pé após a derrubada e podem também servir de “ponte” para a passagem do fogo. Durante o processo de queima, muitas dessas árvores acabam caindo, ainda em chamas, sobre as áreas vizinhas, o que expande a área de abrangência do fogo. Os incêndios nas áreas de agricultura de subsistência são também difíceis de conter ou prevenir, pois a mão-de-obra é escassa e muitos não dispõem de recursos para abrir aceiros entre os lotes e os ecossistemas vizinhos.

A agricultura de corte e queima em uma área de floresta primária, explorada ou secundária (capoeira em campos agrícolas abandonados), varia em função da disponibilidade dos diferentes tipos de floresta, da distância até as serrarias, da disponibilidade de mão-de-obra e do cultivo desejado. As florestas primárias e exploradas requerem mais mão-de-obra para serem derrubadas se comparadas às florestas secundárias. Contudo, necessitam menos mão-de-obra para capina durante o período de crescimento das culturas. O arroz cresce melhor em solos preparados a partir de floresta primária, enquanto o milho cresce melhor em solos preparados a partir de capoeira (TONIOLO *et al.*, dados não publicados).

As queimadas em áreas desmatadas: a formação de pastagens

As florestas são também cortadas e queimadas para a formação de pastagens (HECHT 1985, SERRÃO *et al.*, 1979). O primeiro passo para a conversão em pastagem é a derrubada, secagem e queima da vegetação. Raramente pastagens são formadas sem o uso do fogo, dado que a deposição de cinzas no solo é o grande benefício desta técnica; além disso, é mais barato cortar e queimar do que limpar a terra utilizando tratores de esteira com correntes atreladas. Fazendeiros que têm acesso a tratores, muitas vezes, utilizam-os para remover troncos e galhos carbonizados, o que facilita o plantio e a roçagem mecanizada (Figura 16). Muitos produtores rurais, principalmente os pequenos proprietários, não plantam pastagem imediatamente após a derrubada e a queima da floresta. Iniciam com culturas de subsistência (mandioca, arroz, feijão, milho) e iniciam a introdução de capins, quando a produtividade da lavoura começa a dar sinais de cansaço, ou ao final dos primeiros dois



*Figura 16 - No leste da Amazônia, as pastagens de gado são reformadas raspando-se a superfície do solo e removendo-se a vegetação (geralmente infestada por ervas daninhas) com auxílio de tratores de esteira. Todo o material removido é depositado nas leiras. O solo em seguida é arado e fertilizado, antes que o plantio seja feito. Atualmente, a grande maioria dos fazendeiros planta *Brachiaria brizantha* como gramínea de pasto. O acesso a maquinário pesado permite que estes fazendeiros evitem o uso do fogo no controle de ervas daninhas (Fazenda Vitória, Paragominas). Foto: D. Nepstad.*

anos de cultivo. Dessa forma, as culturas que requerem níveis de nutrientes mais altos do que as espécies de capim são beneficiadas pelo uso de nutrientes fornecidos pelas cinzas após a queimada. É também comum que os proprietários de terra vendam a madeira de suas florestas antes da formação de pastagens, principalmente se estas se situarem nas proximidades de serrarias.

As queimadas para formação de pastagens, como também aquelas associadas à agricultura, são difíceis de conter e, freqüentemente, escapam para as florestas vizinhas e/ou outros campos agrícolas e pastagens. Os grandes proprietários muitas vezes têm acesso a tratores de esteiras e, por essa razão, têm a opção de abrir aceiros ao redor de suas áreas a um custo menor do que os proprietários que necessitam abri-los manualmente (Seção 3.7).

Os incêndios florestais rasteiros

As florestas da Amazônia podem pegar fogo durante secas severas (NELSON 1994; NELSON e IRMÃO 1998; NEPSTAD *et al.*, 1995; SANFORD *et al.*, 1985; UHL *et al.*, 1988a), após a exploração madeireira (HOLDSWORTH e UHL, 1997; UHL e KAUFFMAN, 1990; UHL e BUSCHBACHER, 1985) e até mesmo após enchentes ou outros distúrbios florestais que resultem em mortalidade de árvores (NELSON, 1994; NELSON e IRMÃO, 1998). Em virtude da alta umidade e do sombreamento, a maioria dos incêndios avança rente ao chão, queimando lentamente as folhas, os ramos e os galhos finos (Figura 9). Os incêndios que consomem o dossel da floresta, os chamados “incêndios de copa”, são eventos aparentemente raros na Amazônia. No entanto, são necessárias pesquisas sobre as condições sob as quais os incêndios de copa podem ocorrer na Amazônia, uma vez que estes são muito mais destrutivos para a floresta que os incêndios rasteiros.

Como não há informações sobre produtores rurais que queimam intencionalmente suas florestas, assume-se neste livro que os incêndios florestais rasteiros são, virtualmente, todos acidentais. O uso de fogo rasteiro como um tratamento pós-extração nas operações de exploração madeireira tem sido sugerido por H. KNOWLES (comunicação pessoal) como um método para estimular a rápida regeneração das espécies de árvores pioneiras de valor comercial (por exemplo, *Jacaranda copaia*, *Schizolobium amazonicum*, *Didymopanax morototoni*). Esta técnica contudo, não tem sido empregada nas operações de exploração comercial, nem tem sido tema de pesquisas da área florestal na Amazônia.

A queimada para o controle de plantas invasoras: A queimada é a forma mais barata de favorecer o crescimento das gramíneas (capim) em pastagens, além de deter a invasão de plantas lenhosas não-comestíveis pelo gado, que surgem a partir da brotação de raízes ou da germinação de sementes. O fogo mata as partes dessas plantas que ficam acima do solo. Por outro lado, as gramíneas prosperam após a passagem do fogo, pois suas folhas geralmente crescem a partir de órgãos semi-enterrados que estão no solo protegidos do fogo. O crescimento rápido das gramíneas pode também ser induzido pela liberação de cinzas no solo e pela remoção de folhas e caules secos e mortos (HECHT, 1993). Por essa razão, a curto prazo, a queimada estimula o crescimento dos capins.

A queimada para reforma de pastagem: A queimada é freqüentemente usada como o primeiro passo na reforma de pastagens abandonadas. Na região de Paragominas, a seqüência de passos para a reforma de pastagens é variável, mas freqüentemente inclui: a) a queimada para proporcionar a introdução de cinzas no solo; b) o uso de trator de esteiras para remover os restos de árvores mortas, que persistem desde o primeiro corte e derrubada da floresta, e plantas invasoras (Figura 16); c) aragem para eliminar plantas invasoras e diminuir a compactação do solo; e, d) a fertilização e o plantio de sementes de capim selecionadas (MATOS e UHL, 1994; NEPSTAD *et al.*, 1991). Os agricultores com menos capital disponível geralmente reformam suas pastagens apenas queimando antes de semear.

O “baixo custo” de combater as plantas invasoras da pastagem com fogo tem um preço. Redução do tempo de pastoreio e dos nutrientes do solo, além de colocar em risco de incêndio as cercas e os ecossistemas

adjacentes. Após a queimada do capim, é necessário aguardar três ou quatro meses durante a estação chuvosa, para que cresçam o suficiente sustentar o gado. Este período de “descanso” pode ser particularmente importante para a *Brachiaria brizantha* (braquiarião), a espécie de gramínea que atualmente forma a maioria dos pastos na Amazônia. As pastagens não-queimadas podem ser pastoreadas durante todo o ano. A longo prazo, o uso do fogo pode diminuir bastante a produtividade das pastagens devido a redução do nível de nutrientes no solo. Quando essas áreas são queimadas, grandes quantidades de nitrogênio, fósforo e outros nutrientes são volatilizadas e liberadas para a atmosfera (BUSCHBACHER *et al.*, 1988; DIAS FILHO *et al.*, no prelo; KAUFFMAN *et al.*, 1995, 1998).

A queimada de pastagens e florestas secundárias infestadas por plantas invasoras também proporciona um importante benefício não-agronômico para os proprietários de terra, pois reforça o seu direito de posse. Um critério importante na definição da posse de terra na Amazônia brasileira é a demonstração do uso produtivo da propriedade. Uma fazenda coberta por floresta secundária e sem gado é mais provável de ser invadida e/ou confiscada para fins de reforma agrária do que uma fazenda com pastagens formadas e rebanhos (FEARNSIDE 1993; HECHT *et al.*, 1988; SCHMINK e WOOD, 1992). Nesse sentido, a estrutura legislativa favorece o uso do fogo como uma forma barata de defender os direitos sobre a propriedade.

As queimadas nas pastagens muitas vezes acontecem em grandes extensões abertas, onde a ação dos ventos pode impedir o controle efetivo do fogo. A intensidade e a extensão do fogo nas pastagens são altamente variáveis e dependem do estado da vegetação. As pastagens abandonadas que sofreram pouca roçagem e têm material combustível abundante podem gerar chamas com mais de 10 metros de altura e

partículas incandescentes, que são lançadas a grandes distâncias. Tais pastagens têm geralmente poucas árvores mortas em pé, e os incêndios podem ser contidos usando aceiros. A queimada nessas pastagens também pode ser contida pela técnica do contrafogo, que consiste em atear fogo a favor do vento no lado oposto da frente do fogo, já estabelecida (ver Apêndice II).

Os incêndios em áreas desmatadas: a perda accidental de ecossistemas antrópicos

Todo ano o fogo traz perdas econômicas a muitos proprietários de terra da Amazônia. O fogo accidental consome pastagens, campos agrícolas, sistemas agroflorestais, pomares, plantações de dendê, de cítricos, de pimenta-do-reino, caju e cupuaçu, além de espécies madeireiras e outras culturas perenes (Figura 17). Os incêndios em pastagens são provavelmente os que atingem as maiores áreas todos os anos, pois queimam um tipo de cobertura dominante da paisagem ocupada. No entanto, a importância do fogo accidental em outros sistemas de produção agrícola e florestal vai além de sua abrangência. Essa ameaça anual, representada pelo risco de incêndio, pode significar que o retorno de investimentos em formas de uso da terra que são suscetíveis ao fogo não aconteça. Nesse sentido, o risco de incêndio é um desestímulo poderoso para os produtores rurais que desejam intensificar seus sistemas de produção e, para isso, investem em produções agrícolas e florestais mais rentáveis, por serem estas mais sensíveis ao fogo.

3.3. Um estudo sobre o uso do fogo nas propriedades rurais da Amazônia

O nosso entendimento sobre o fogo na Amazônia é derivado de duas análises com escalas muito diferentes. Numa escala regional, a ocorrência



Figura 17 - Plantação de teca (Tectona grandis) com um ano de idade, estabelecida em uma pastagem degradada próxima à cidade de Redenção, Estado do Pará. Todo o plantio foi perdido devido a um incêndio florestal. A ameaça anual das queimadas desencoraja o investimento dos proprietários de terra em culturas perenes rentáveis, tal como espécies madeireiras, por serem estas geralmente sensíveis ao fogo. Foto: D. Nepstad.

de focos de calor em células de 1,1 x 1,1 km é registrada por sensores do satélite NOAA (Figura 12). Na escala local, por meio de estudos de campo, sabemos que cada um destes focos de calor pode representar qualquer um dos vários de tipos de fogo descritos anteriormente, distintos em termos de origem e efeitos ecológicos e econômicos. Claramente, é necessária uma escala intermediária de análise na qual seja possível reunir informações sobre os distintos tipos de fogo na Amazônia a nível regional. Um esforço para preencher essa lacuna foi feito pelo Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM) e pelo Centro de Pesquisas *Woods Hole* (WHRC), ao desenvolver um método de reconstrução da história de uso do fogo em vários tipos de propriedades rurais na Amazônia. Esse método, descrito a seguir, foi aplicado em 1996 num estudo realizado em cinco regiões da Amazônia, cujo objetivo foi determinar a área atingida pelos quatro principais tipos de fogo, identificando suas causas e alguns dos impactos econômicos gerados por queimadas descontroladas em pastagens.

Metodologia

O desenho de um estudo de campo que represente quantitativamente o espectro total da ocorrência de fogo na Amazônia é uma tarefa enorme. Essa vasta região é um grande mosaico de fronteiras de ocupação de várias idades, infra-estrutura de comercialização, atividades econômicas, com propriedades de tamanhos variados e com regimes de chuva e de tipos de floresta diversos, que desafia qualquer esquema de amostragem. Para proporcionar uma avaliação preliminar da abrangência dos padrões de ocorrência de fogo, foram selecionadas cinco sub-regiões na Amazônia representando diferentes combinações de mosaicos (Tabela 4). Os locais selecionados incluíram: um grande pólo pecuário e madeireiro (Paragominas); uma área com grandes fazendas que vêm sendo gradualmente divididas em propriedades menores (Santana do Araguaia); uma região de pequenos projetos de colonização (Alta floresta); duas áreas do programa de colonização Pólo Noroeste em Rondônia (Ariquemes e Ouro Preto d'Oeste); uma fronteira recente, ligada ao resto da Amazônia por uma estrada de tráfego permanente construída em 1990 (Rio Branco) (Figura 1). Cada uma das sub-regiões tem um regime sazonal de chuvas com um período de, pelo menos, três meses de seca, durante o qual menos de 100 mm de chuva por mês são registrados (Figura 18). Representam, portanto, o clima típico da maioria das regiões de fronteira de ocupação agrícola atualmente em expansão na região; aproximadamente 80% do desmatamento na Amazônia brasileira tem acontecido em regiões com uma estação seca pronunciada (Figura 1). As formações florestais dominantes incluídas neste estudo foram: Floresta ombrófila densa (Paragominas), floresta aberta com palmeiras e/ou bambu (Alta Floresta, Rio Branco, Rondônia) e floresta de transição entre cerrado e floresta densa (Santana do Araguaia e Alta Floresta).

Tabela 4 - Resumo das características básicas das propriedades estudadas para determinação das áreas atingidas pelos diferentes tipos de fogo.

	Num.	Categoria de tamanho	Média (ha) das áreas (\pm EP)	Áreas total (ha)
Todos os sítios combinados	53	pequeno	62 \pm	3280
	66	médio	414 \pm 33	59456
	53	grande	2525 \pm 158	140011
	30	muito grande	24334 \pm 5653	745630
Paragominas (nordeste do Pará)	7	pequeno	48 \pm 5	339
	26	médio	523 \pm 57	13610
	24	grande	2862 \pm 362	59967
	3	muito grande	24841 \pm 10355	83236
Santana do Araguaia (Sul do Pará)	5	pequeno	84 \pm 7	421
	4	médio	624 \pm 169	2496
	3	grande	3404 \pm 952	10212
	10	muito grande	45864 \pm 14521	458635
Alta Floresta (Mato Grosso)	9	pequeno	38 \pm 5	344
	6	médio	233 \pm 36	1399
	13	grande	2578 \pm 312	33519
	7	muito grande	9254 \pm 861	64781
Ariquemes (Rondônia)	12	pequeno	80 \pm 7	963
	15	médio	343 \pm 61	5152
	2	grande	1928 \pm 22	3856
	1	muito grande	5360	5360
Rio Branco (Acre)	20	pequeno	61 \pm 20	1215
	15	médio	312 \pm 178	4679
	11	grande	2159 \pm 653	23745
	9	muito grande	15814 \pm 17953	142330
Total	202			916257

Pequena = 0-100 ha, Média = 101-1000 ha, Grande = 1001-5000 ha e Muito Grande > 5000 ha.

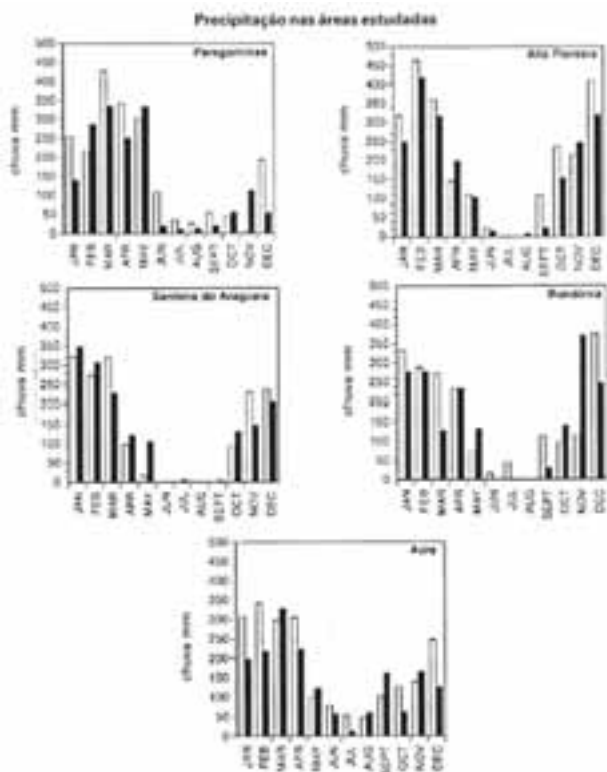


Figura 18 - Chuva mensal para os anos de 1994 e 1995 registrada em cinco áreas selecionadas na pesquisa, coordenada pelo IPAM (veja texto para detalhes). Cada uma das áreas tem uma estação seca pronunciada, como é típico das porções leste e sudeste da Amazônia, onde o uso da terra é concentrado. As chuvas da estação seca foram menores em 1995 que em 1994 para Paragominas, Alta Floresta e Rondônia.

Os mapas com localização e limites das propriedades foram obtidos para cada sub-região³ e sobrepostos a imagens de satélites (por exemplo, Figura 3). As propriedades foram selecionadas ao acaso e estratificadas em quatro classes de tamanho, em uma distribuição aproximada dos tamanhos para cada um dos municípios estudados, seguindo informações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (IBGE 1985). Um total de 202 propriedades foram selecionadas, correspondendo a uma área de 916.257 hectares (Tabela 4).

Quanto está queimando?

A queimada é um fenômeno que ocorre em “manchas”. Em algumas regiões as propriedades podem ser totalmente varridas pelo fogo, em outras permanecem intactas. Essa variabilidade torna difícil a definição de padrões de queimadas que ocorrem em propriedades de diferentes tamanhos ou ao longo das regiões. Apesar do pequeno número de propriedades estudadas (n=202), foi possível identificar algumas tendências, descritas a seguir.

Área total queimada: Apesar do período de estudo (1994-1995) não ter sido excepcionalmente seco, os proprietários relataram que 77 mil hectares foram queimadas por ano, o que representou 8,4% da área total das propriedades estudadas (Tabela 5). O cálculo da porcentagem da área queimada anualmente nas sub-regiões estudadas requer algumas considerações. Por exemplo, quando estimamos a área queimada com

³ Os mapas dos limites das propriedades foram obtidos nos órgãos do governo local ou nos escritórios de programas de colonização.

Tabela 5 - Área total queimada (%) por diferentes tipos de incêndio nos anos de 1994 e 1995 em 202 propriedades rurais (veja detalhes no texto) na Amazônia Brasileira. Os valores em ha representam a área total amostrada no estudo.

	1994		1995		Média 94/95	
	hectares	% do total da área amostrada	hectares	% do total da área amostrada	hectares	% do total da área amostrada
Total da área amostrada:	916,257	100	916,257	100	916,257	100
Total da área queimada:	74,940	8.2	78,220	8.5	76,580	8.4
Área total queimada por tipo de incêndio:						
Incêndio de desmatamento	9,790	1.1	9,830	1.1	9,810	1.1
Incêndio florestal rasteiro	18,280	2.0	12,630	1.4	15,450	1.7
Incêndio em terra desmatada - intencional	9,010	1.0	21,530	2.4	15,270	1.7
Incêndio em terra desmatada - acidental	37,860	4.1	34,240	3.7	36,050	3.9

Tabela 6 - Porcentagem média de cada propriedade (veja detalhes no texto) que queimou durante os anos de 1994 e 1995, em cinco regiões da Amazônia Brasileira. Os valores são médias e erro padrão (\pm EP).

Região	n	Porcentagem queimada de cada propriedade média \pm EP		
		1994	1995	1994-95
Paragominas	60	12.1 \pm 2.7	18.9 \pm 3.1	15.5 \pm 2.9
Santana do Araguaia	22	8.4 \pm 2.2	13.9 \pm 4.4	11.2 \pm 2.7
Alta Floresta	35	8.5 \pm 2.4	13.7 \pm 4.0	11.1 \pm 2.3
Ariquemes	30	9.3 \pm 3.3	14.7 \pm 3.4	12.0 \pm 3.3
Rio Branco	55	13.6 \pm 2.9	19.5 \pm 3.5	16.5 \pm 3.0

base na média das taxas relatadas por cada proprietário, a porcentagem sobe para valores entre 8% e 20%, dependendo da região e do ano (Tabela 6). Esse aumento pode ser explicado pelo fato de que a porcentagem da área queimada anualmente em cada propriedade diminui com o aumento do tamanho da propriedade.

De cada dez proprietários entrevistados, entre cinco e oito reportaram a ocorrência de fogo em sua propriedade em um determinado ano (Tabela 7). No entanto, a área realmente queimada e a porcentagem de propriedades que sofreram incêndios podem ser superiores a informada, dado que a maioria dos incêndios ocorreu sem autorização legal. Assim, durante as entrevistas, é possível que os proprietários tenham ocultado parte das informações solicitadas.

O número de propriedades com ocorrência de fogo foi mais alto em 1995 em relação a 1994 para todas as áreas estudadas, com exceção de Santana do Araguaia. Uma média de 62% dos proprietários reportaram algum tipo de fogo em suas terras no ano de 1994, e 76% no de 1995 (Tabela 7). Todavia, a ocorrência do fogo não foi uma função do tamanho da propriedade. A porcentagem de proprietários entrevistados que reportaram a ocorrência de fogo variou de 60% a 71% para todas as classes de tamanho de propriedade em 1994, e de 71% a 83% em 1995 (Tabela 8). Ao combinar os dois anos, tem-se ocorrência de fogo em mais de 80% das propriedades, independente da classe de tamanho.

Tipos de fogo: As queimadas para desmatamento, associadas ao corte e à queima da floresta primária ou explorada para o preparo da área para a agricultura e/ou formação de pastagem, cobriram 9.800 hectares/ano, correspondendo a 1,1% da área total estudada (Tabela 5), e média de 2,3% por ano, (Tabela 9). As grandes propriedades apresentaram uma taxa mais baixa de queimada de desmatamento em relação às pequenas

Tabela 7 - Porcentagem de proprietários entrevistados (veja detalhes no texto) que informaram a ocorrência de fogo em suas terras durante os anos de 1994 e 1995, na Amazônia Brasileira.

Região	n	porcentagem de proprietários		
		1994	1995	Média 1994-95
Paragominas	60	58	75	66
Santa do Araguaia	22	73	73	73
Alta Floresta	35	51	66	58
Ariquemes	30	53	80	67
Rio Branco	55	75	84	80
Média das regiões	202	62	76	69

Tabela 8 - Porcentagem de proprietários entrevistados (veja detalhes no texto) que informaram a ocorrência de fogo em suas terras durante os anos de 1994 e 1995. Os valores foram ordenados por tamanho de propriedade.

Tamanho da propriedade (ha)	n	porcentagem de proprietários		
		1994	1995	1994 ou 95
Pequena (< 100)	53	60	74	83
Média (101-1000)	66	59	76	86
Grande (1001-5000)	52	62	83	92
Muito grande (>5000)	31	71	71	84

Tabela 9 - Porcentagem média (\pm Erro Padrão) da área de cada propriedade que foi queimada e da área total em cinco regiões da Amazônia Brasileira, durante os anos de 1994 e 1995. Os valores foram ordenados por tipos diferentes de incêndio. Veja texto para detalhes.

Região	n	Porcentagem queimada de cada propriedade média \pm EP		
		1994	1995	1994-95
Paragominas	60	12.1 \pm 2.7	18.9 \pm 3.1	15.5 \pm 2.9
Santana do Araguaia	22	8.4 \pm 2.2	13.9 \pm 4.4	11.2 \pm 2.7
Alta Floresta	35	8.5 \pm 2.4	13.7 \pm 4.0	11.1 \pm 2.3
Ariquemes	30	9.3 \pm 3.3	14.7 \pm 3.4	12.0 \pm 3.3
Rio Branco	55	13.6 \pm 2.9	19.5 \pm 3.5	16.5 \pm 3.0

propriedades. Em cada ano, entre um terço e um quarto dos proprietários reportaram queimadas de desmatamento (Tabela 10).

Uma das mais importantes descobertas deste estudo foi a ocorrência generalizada de incêndios florestais rasteiros. Em Santana do Araguaia, no sudeste do Pará, incêndios rasteiros queimaram, em média, 1.300 hectares de floresta por propriedade por ano. Os dados combinados de todas as propriedades estudadas totalizaram 15.000 hectares de floresta em pé atingidas por incêndios rasteiros por ano, representando 1,7% da área total estudada. A área de floresta sob efeito dos incêndios rasteiros foi 50% maior que aquela afetada pelo desmatamento. A taxa de ocorrência de incêndios florestais rasteiros foi maior nas grandes propriedades que nas pequenas, o que leva a um decréscimo na taxa média. Em todas as regiões, os incêndios florestais rasteiros queimaram, anualmente, uma média de 0,9% de cada propriedade (Tabela 8) e corresponderam a 8% da área média queimada por propriedade (Tabela 9).

Os incêndios florestais rasteiros afetaram uma porcentagem relativamente menor de propriedades que os outros tipos de fogo. Somente de 2% a 12% dos proprietários entrevistados reportaram incêndios rasteiros em suas terras em um dado ano, independente da classe de tamanho. Por outro lado, entre 25% e 35% relataram queimadas de desmatamento, e 26% a 45% registraram queimadas em áreas já desmatadas (Tabela 10). Um único incêndio florestal em 1994 queimou 14.500 hectares, o que representa 80% da área total desse tipo de fogo registrado para aquele ano (Tabela 5). Este grande incêndio afetou 1,5 vezes mais florestas que todas as queimadas de desmatamento do mesmo ano (Tabela 5). A natureza episódica do incêndio florestal rasteiro dificulta a análise estatística. Um número maior de propriedades deve

Tabela 10 - Porcentagem de proprietários de terra que informaram a ocorrência de incêndios em suas propriedades durante os anos de 1994 e 1995. Os valores foram ordenados por tamanho de propriedade e por tipo de incêndio.

Tamanho da propriedade (ha)	n	Incêndio de desmatamento		Incêndio florestal rasteiro		Incêndio em terras desmatadas - intencional		Incêndio em terras desmatadas - acidental	
		1994	1995	1994	1995	1994	1995	1994	1995
		Pequena (<100)	53	32.1	22.8	1.9	7.5	35.8	45.3
Média (100-1000)	66	27.3	22.7	6.1	12.1	34.8	45.4	15.1	39.4
Grande (1001-5000)	52	30.8	25	6.1	12.1	30.8	46.1	21.1	42.3
Muito grande (>5000)	31	29	35.5	9.7	9.7	25.8	29	29	35.5
Condições	262	29.7	25.2	5.9	11.4	32.2	43.6	17.8	37.1

ser estudado para determinar, com maior exatidão, a real extensão das áreas atingidas por esse tipo de fogo.

Incêndios florestais rasteiros foram registrados anteriormente em florestas exploradas para madeira na região de Paragominas (UHL e BUSCHBACHER 1985; HOLDSWORTH e UHL, 1997) e também em florestas primárias (NELSON, 1994). O nosso estudo, contudo, é o primeiro a mostrar que esse tipo de fogo pode afetar áreas muito grandes de floresta a cada ano, particularmente no sudeste do Pará (Santana do Araguaia) e Mato Grosso (Alta Floresta), onde, aproximadamente, metade dos incêndios florestais rasteiros ocorre em áreas de floresta primária. Enquanto aproximadamente 1,7% da nossa área de estudo sofreu incêndio rasteiro por ano, (NELSON, 1994), baseado na análise das imagens do satélite *Landsat* TM para 1984, verificou que somente 0,01% das florestas Amazônicas (aproximadamente 50.000 hectares) sofreu incêndio florestal rasteiro. Portanto, ou ocorreu aumento dramático na área de floresta afetada por incêndios rasteiros no período de 1984 a 1994, ou os incêndios florestais rasteiros são difíceis de serem diferenciados em imagens de

Landsat™. Ambos os fatores podem ser relevantes, mas é nítido que os incêndios florestais rasteiros estão em franca ascensão.

As queimadas em áreas já desmatadas afetaram uma área muito maior por ano do que as queimadas de desmatamento ou os incêndios florestais rasteiros. Aproximadamente 5,6% da área total estudada foi afetada por queimadas em áreas já desmatadas, comparado a 1,1% e 1,7% para desmatamento e incêndio florestal rasteiro, respectivamente (Tabela 5). Quando calculadas como a média das taxas de queimada registradas pelos proprietários de terra, aquelas ocorridas em áreas já desmatadas afetaram 11% de cada propriedade por ano e representaram uma média de 80% da área queimada por propriedade (Tabela 9).

Dos 51.000 hectares queimados anualmente em áreas já desmatadas, somente 30% resultaram do fogo classificado como “intencional” pelos proprietários entrevistados. A área restante (70%) foi a queimada de forma acidental, segundo os proprietários, e representa, aproximadamente, metade (47%) de toda a área queimada nas sub-regiões estudadas (Tabela 5). Se consideramos os incêndios florestais rasteiros como acidentais, então dois terços da área queimada nas propriedades estudadas correspondem a fogo acidental, ou seja, aquele que ninguém deseja.

A taxa média de área queimada por propriedade foi mais alta para fogo intencional em áreas já desmatadas (6,8%) do que para fogo acidental (4,2%) (Tabela 9), devido à maior frequência de incêndios acidentais nas propriedades grandes. A cada ano, uma média de 35% das propriedades estudadas sofreram pelo menos um fogo acidental em área já desmatada, enquanto uma média de 29% dos proprietários colocaram fogo intencionalmente em áreas já abertas (Tabela 10). Não é surpresa que

95% da área já desmatada que queimou por ano foi representada por pastagens. As pastagens são o tipo mais comum de vegetação nas paisagens ocupadas, e durante a estação seca ficam vulneráveis ao fogo com apenas um ou dois dias sem chuva (UHL e KAUFFMAN, 1990).

Tamanho da propriedade: As propriedades estudadas pelo IPAM/WHRC, assim como outras na Amazônia, apresentam uma grande variação de tamanho, (de 10 a 148.000 hectares). Essa variação demanda uma análise diferenciada de uso do fogo. O agricultor de subsistência, que se esforça para sobreviver nas propriedades menores, usa o fogo de forma diferente do grande fazendeiro, que é capaz de inspecionar suas terras de avião.

O padrão anual das queimadas nos diversos tamanhos de propriedades tem várias características importantes. Um típico proprietário de uma fazenda muito grande (> 5.0000 ha) na Amazônia queima, em média, 1.800 hectares de vegetação todo ano, área aproximadamente 130 vezes maior que aquela queimada nas pequenas propriedades (< 100 ha, Figura 19 a, Apêndice I). No caso do incêndio florestal rasteiro, a área queimada nas grandes fazendas é, em média, 440 hectares por ano, enquanto nas pequenas propriedades a média é de um hectare (Apêndice I). Devido ao enorme tamanho fazendas na Amazônia, há uma redução de quatro vezes na área total queimada anualmente, quando esta é expressa em porcentagem da área total da propriedade (Figura 19 b, Tabela 11). O tipo de fogo que mais contribui para essa diferença é aquele em áreas já desmatadas, o qual declina de 11% da área nas pequenas propriedades para 1% nas muito grandes (Figura 19 b, Tabela 11). Além disso, nas propriedades pequenas existia um número maior das queimadas em áreas já desmatadas que foi intencional. As queimadas para desmatamento também afetaram uma área maior nas propriedades

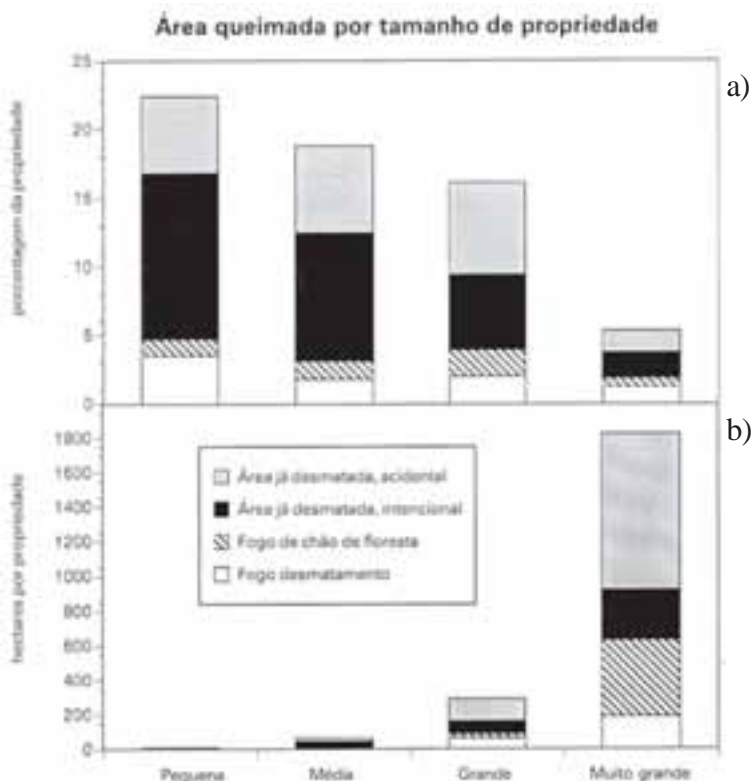


Figura 19 - Extensão da área atingida por quatro tipos de incêndio em 202 propriedades distribuídas em cinco regiões ao longo da fronteira de ocupação amazônica. As informações foram obtidas a partir de questionários aplicados aos proprietários de terra. Os resultados são apresentados por classes de tamanho das propriedades: pequena (<100 hectares), média (101 a 1.000 hectares), grande (101 a 5000 hectares) e muito grande (>5000 hectares). a) Quando a área queimada é expressa como a porcentagem do tamanho da propriedade, as pequenas (<100 hectares) sofreram mais incêndios se comparadas às grandes propriedades. b) Em termos absolutos (hectares por propriedade), contudo, os grandes proprietários queimam uma área bem maior que os pequenos.

Tabela 11 - Porcentagem média (\pm Erro Padrão) de cada propriedade que queimou anualmente por diferentes tipos de incêndios em cinco regiões da Amazônia Brasileira (1994 a 1995).

Tamanho da propriedade (ha)	n	Incêndio de desmatamento	Incêndio florestal rasteiro	Incêndio em terras desmatadas - intencional	Incêndio em terras desmatadas - acidental
		média \pm EP			
Pequena (<100)	53	3.3 \pm 1.1	0.7 \pm 0.3	11.3 \pm 2.4	4.2 \pm 1.3
Média (100-1000)	66	2.3 \pm 0.5	1.1 \pm 0.6	8.1 \pm 1.6	4.9 \pm 1.3
Grande (1001-5000)	52	2.0 \pm 0.6	1.1 \pm 0.6	3.9 \pm 0.9	4.7 \pm 1.3
Muito grande (>5000)	31	1.3 \pm 0.4	0.8 \pm 0.3	1.2 \pm 0.6	1.7 \pm 0.6

pequenas (3,3% por ano) que nas propriedades grandes (1,3% a 2,3% por ano, Tabela 11).

Os pequenos produtores utilizam o fogo, como método de controle de plantas invasoras, com maior frequência nas áreas já desmatadas que os grandes proprietários, já que estes últimos têm acesso à mão-de-obra e à maquinaria necessária para esse controle. Oito entre dez propriedades pequenas utilizaram o fogo para o controle de plantas invasoras em 1994 e 1995, contra quatro entre dez propriedades grandes. Em comparação, cerca de metade das propriedades grandes e muito grandes fez uso de roçadeiras para controlar plantas invasoras em pastagens, prática utilizada em apenas 3% das pequenas propriedades.

O fogo acidental em áreas já desmatadas afetou, em média, 4% a 5% da área de cada propriedade por ano, exceto em propriedades muito

grandes, onde afetou menos de 2% (Tabela 11). Os proprietários entrevistados informaram que a maioria das queimadas acidentais tiveram origem em terras vizinhas, independente da classe de tamanho da propriedade. Nas propriedades muito grandes, somente 3% da área já desmatada queimada acidentalmente foi devido ao fogo proveniente do interior da própria propriedade; esta porcentagem eleva-se para 28% nas pequenas propriedades (Figura 20). O fogo que atingiu as propriedades foi proveniente de queimadas em pastagens, queimadas de desmatamento em áreas vizinhas e fogo nas margens das estradas (Figura 20). É importante salientar que os proprietários entrevistados tinham fortes razões para não identificar os culpados pelo fogo, devido ao receio de possíveis penalidades. Não se pode assim, imaginar nenhum motivo para que os proprietários admitissem a responsabilidade pelo fogo acidental, a não ser o desejo de serem honestos.

3.4 Os incêndios e as queimadas ao longo do arco de desmatamento

Uma avaliação dos impactos ecológicos e econômicos dos incêndios e das queimadas na Amazônia depende do conhecimento da área total atingida por cada tipo de fogo. A análise de possíveis soluções para o problema do fogo na Amazônia requer informações sobre os tipos de propriedades que o utilizam. Nesta seção, são resumidos os conhecimentos sobre a extensão de cada tipo de fogo na Amazônia brasileira, a partir da integração das estimativas baseadas em imagens de satélite e o estudo em propriedades rurais realizado pelo IPAM/WHRC.

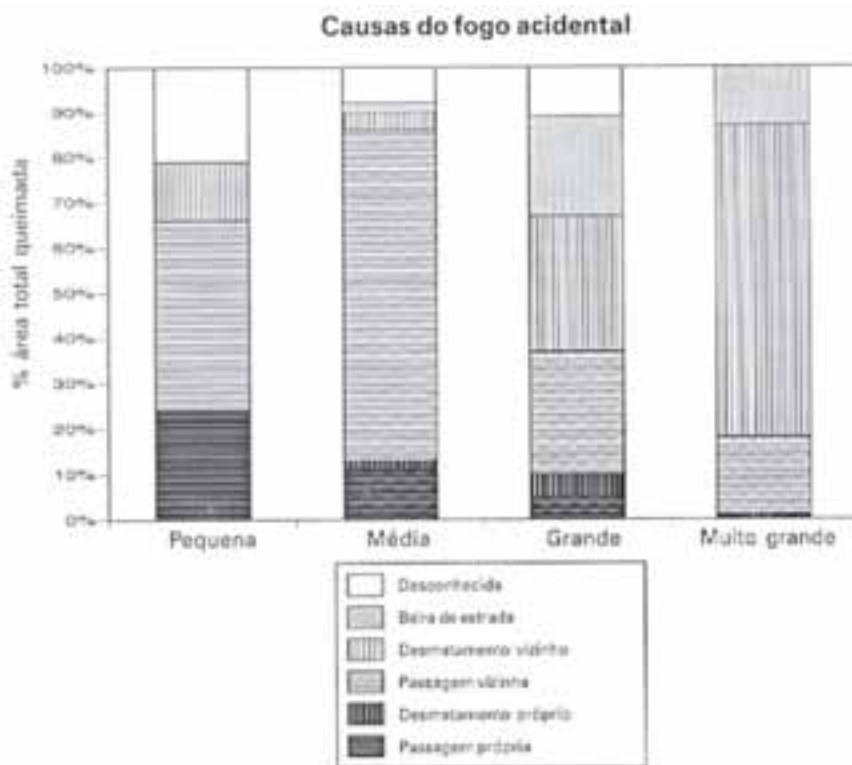


Figura 20 - As diferentes origens dos incêndios acidentais, como informado por 202 proprietários de terra distribuídos entre cinco municípios ao longo da fronteira de ocupação da Amazônia. A ampla maioria da área queimada acidentalmente foi atribuída a fontes externas, incluindo incêndios nas margens das estradas, queimadas para o desmatamento e em pastagens vizinhas.

As queimadas para desmatamento

Apesar das queimadas para desmatamento representarem somente um oitavo da área total queimada nas propriedades analisadas (Tabela 8), este é o único tipo de fogo capaz de ser monitorado de maneira consistente. O monitoramento do desmatamento via satélite é amplamente aceito como a medida mais abrangente dos impactos humanos nas florestas da Amazônia, muito embora não inclua em suas estimativas as áreas de floresta que sofreram incêndio rasteiro ou que foram exploradas seletivamente pelas madeireiras. Os estudos conduzidos na região de Paragominas, um centro de criação de gado e exploração de madeira, ilustram a magnitude dos erros que surgem quando o desmatamento é usado como o único parâmetro para medir os impactos sobre a floresta. Somente um terço da cobertura original da floresta foi aberto com corte raso até o momento, porém mais de 90% foi severamente afetado pelos impactos combinados da exploração madeireira, dos incêndios florestais rasteiros e do desmatamento (Quadro 1, Figura 21).

Este enfoque no monitoramento do desmatamento por satélite se dá, por ser esta, a forma de conversão florestal mais fácil de se medir em toda a Amazônia. A área desmatada é facilmente distinguível da área florestada nas imagens, por exemplo, do satélite *Landsat* TM, depois de anos após o desmatamento ter ocorrido. As cicatrizes deixadas pelos incêndios nas florestas são muito mais difíceis de se detectar (Figura 13) por satélite e aquelas visualizadas nas áreas já desmatadas desaparecem rapidamente devido ao crescimento da vegetação.

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) mantém um dos mais ambiciosos e bem-sucedidos programas de monitoramento de desmatamento do mundo. Durante quase todos os anos, desde 1988,

Quadro 1. O empobrecimento crítico das florestas Amazônicas por meio de incêndios rasteiros e exploração madeireira: o caso de Paragominas.

Como medir o impacto das atividades humanas nas florestas da Amazônia? As taxas de desmatamento, obtidas a partir de imagens de satélites, têm sido amplamente aceitas para monitorar a influência antrópica sobre a floresta. Contudo, essas taxas não revelam alguns dos efeitos ligados às atividades humanas. As equipes de exploração de madeira que operam sob a floresta, por exemplo, derrubam e danificam árvores, aumentando a vulnerabilidade da floresta a incêndios rasteiros, que resultam na morte de um grande número de árvores e animais, além de tornar a floresta mais suscetível a novos incêndios no futuro (Seção 2.4 e 3.7). No entanto, a exploração de madeira e o incêndio rasteiro estão excluídos do programa brasileiro para monitoramento do desmatamento, descrito na Seção 3.4. A magnitude do problema revela-se, combinando informações sobre a exploração madeireira e os incêndios rasteiros, adquiridas por meio do estudo nas propriedades rurais e da análise de imagens de satélite para a região de Paragominas, na Amazônia Oriental. Nessa fronteira de mais de trinta anos de ocupação, as técnicas de monitoramento do desmatamento utilizadas pelo INPE indicam que um terço da floresta foi desmatada (Figura 21 a). Porém, quando a mapeamos, com base em entrevistas e em trabalho de campo, as áreas de floresta que foram exploradas ou queimadas por incêndios rasteiros, verificamos que 94% das florestas dessa região foram severamente afetadas pela atividade humana e estão altamente vulneráveis a futuros incêndios (Figura 21 b, NEPSTAD *et al.*, 1999).

O empobrecimento das florestas como resultado da exploração madeireira e do fogo não é peculiar à região de Paragominas. O IMAZON recentemente completou um estudo que envolve 1.393 entrevistas com proprietários de indústrias madeireiras em 75 centros regionais de exploração em todos os estados da Amazônia brasileira, cobrindo cerca de 90% da produção de madeira na região. Este estudo revela que entre 10.000 e 15.000 km² de floresta são explorados anualmente. Em nosso levantamento das propriedades rurais, descobrimos incêndios florestais rasteiros em propriedades por toda a Amazônia, o que afeta uma área aproximadamente equivalente à área total desmatada anualmente (NEPSTAD *et al.*, no prelo). Essas formas críticas de empobrecimento da floresta certamente aumentarão as estimativas atuais de emissões de carbono para a atmosfera.

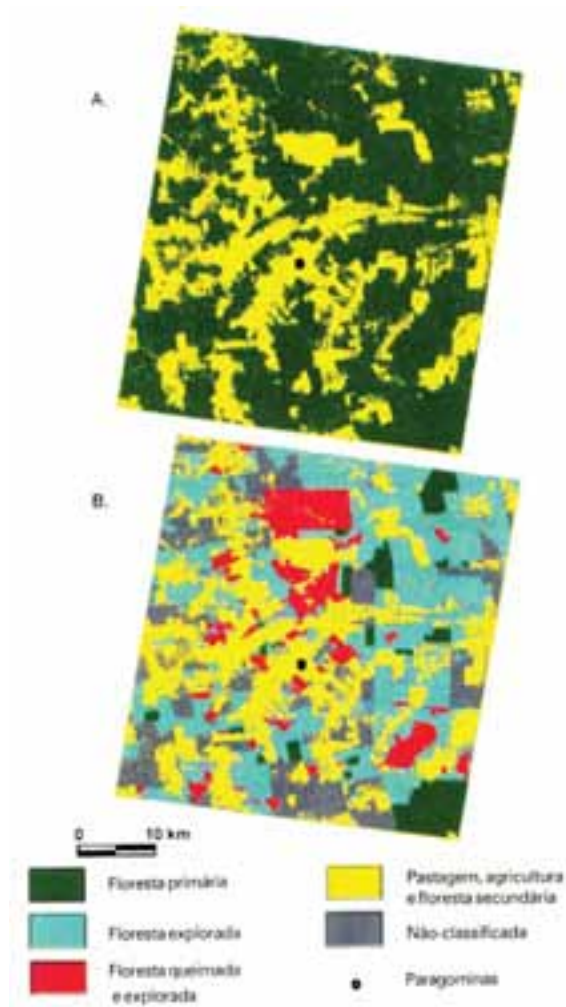


Figura 21 - As estimativas de desmatamento feitas pelo governo brasileiro (INPE 1997) proporcionam boas informações sobre o tipo de queimada florestal mais prejudicial: aquela associada ao corte e à queima da floresta. A exploração madeireira e o fogo de chão também afetaram profundamente as florestas da Amazônia, mas não estão incluídos nos mapeamentos do desmatamento. Na imagem (a) superior do satélite Landsat, a região de Paragominas foi mapeada como desmatada (amarelo) e florestada (verde), por meio das técnicas que são usualmente empregadas pelo INPE (INPE 1997). Por esta análise, estima-se que 66% da região de Paragominas ainda mantém florestas intactas. Contudo, quando adicionamos aos dados do INPE a área afetada por fogo, estimada mediante entrevistas realizadas pelo IPAM com os proprietários de terra da região (veja texto para detalhes) e aquela que sofreu exploração madeireira (identificadas pelas cicatrizes da exploração nas imagens de satélites), a área coberta por floresta intacta fica reduzida a, aproximadamente, 6% (NEPSTAD et al., 1999).

o INPE utiliza imagens do satélite Landsat Thematic Mapper⁴ para medir a área dos desmatamentos na Amazônia brasileira. Os desmatamentos são identificados pela inspeção visual das imagens e são manualmente traçados em papel. Para estimar a taxa anual de desmatamento, os traçados dos anos anteriores são sobrepostos às imagens mais recentes do Landsat, e as áreas novas identificadas são adicionadas ao desenho. Os contornos dos desmatamentos são digitalizado e a área é estimada por meio de um Sistema de Informação Geográfica. Um outro sistema, o Prodes digital, está agora disponível para o cálculo da área desmatada.

No final de 1996, aproximadamente 517.000 km² de florestas tinham sido desmatadas e queimadas na Amazônia brasileira, o que representa 13% da área total da região (4.000.000 km²) (INPE, 1997) ou o equivalente a dez vezes o tamanho da Costa Rica. Desde 1978, a taxa média anual de desmatamento para a Amazônia brasileira é de 19.000 km², com uma pequena redução nos anos de 1990 a 1993 e um aumento súbito entre 1994 e 1995 (Figura 22). Dado que não houve nenhuma grande mudança política ou econômica neste período, que poderia servir de explicação para este aumento, fica difícil entender por que a taxa de desmatamento duplicou. O preço da terra, que caiu vertiginosamente após a implementação do “Plano Real” em 1994, pode ter sido uma das razões desse fenômeno. É também surpreendente que não encontramos um aumento na área desmatada entre 1994 e 1995 no nosso estudo de propriedades rurais (Figura 14, 19). A taxa média atual de desmatamento gira em torno dos 23.000km²

⁴ As imagens são processadas em uma escala de 1:250.000, sendo que um quilômetro equivale a quatro milímetros na imagem.

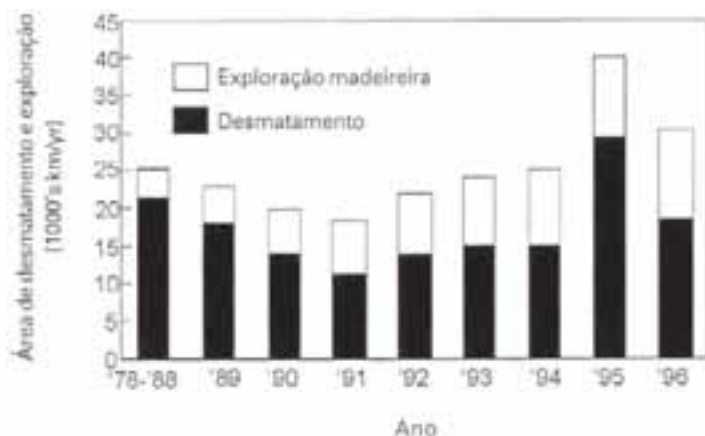


Figura 22. Área desmatada na Amazônia brasileira registrada pelo INPE desde 1978. A estes dados foi adicionada a estimativa da área de floresta submetida à exploração madeireira, para se ter uma idéia da área de floresta que realmente é afetada pela atividade humana a cada ano. Fonte: PRODES 1997, Nepstad et al. (1999) e IMAZON (dados não publicados).

Pelo fato das estimativas de desmatamento do INPE serem baseadas em medições de manchas individuais de desmatamentos recentes e não na área desmatada acumulada, elas proporcionam somente informações indiretas sobre a contribuição dos diferentes tamanhos de propriedade para o desmatamento total. É impossível avaliar, mediante esses dados, a contribuição das propriedades muito pequenas (< 100 hectares) para o desmatamento. Isto porque desmatamentos com menos de 6 hectares são virtualmente impossíveis de serem detectados em uma escala de imagens de 1:250.000, como as usadas pelo INPE. No nosso estudo, o desmatamento corresponde, em média, a 3,3% de propriedades com menos de 100 hectares (Tabela 11).

Os incêndios florestais rasteiros

Apesar de um registro inicial (UHL e BUSCHABACHER, 1985) da existência de um “sinergismo perturbador” entre a exploração madeireira

e o incêndio florestal, pouca informação está disponível sobre a extensão da alteração sofrida pela floresta Amazônica. As nossas análises da área da floresta que estava vulnerável a incêndio rasteiro em 1998 ilustram a magnitude do potencial desse tipo de incêndio (Capítulo 4). Nós estimamos que aproximadamente 200.000 km² de floresta estavam sob risco muito alto de queimar no final da estação seca de 1998 – ou seja, não havia mais água disponível para as plantas nos primeiros cinco metros de profundidade –, o que representa de dez a quinze vezes o total da área desmatada a cada ano. Em um cenário de crescente frequência de eventos *El Niño*, a Amazônia está sujeita a sofrer incêndios florestais rasteiros catastróficos que podem tornar pequenos, em escala, os incêndios de Roraima registrados no início de 1998, e a atividade de desmatamento.

O mapeamento dos incêndios florestais rasteiros ocorridos no passado é possível, porém, mais difícil de ser realizado se comparado ao do desmatamento. Os incêndios florestais rasteiros provocam o desprendimento das folhas, matam árvores e deixam uma camada de cinzas no chão da floresta e, por essa razão, se efeitos sobre a floresta são facilmente detectados visualmente nas imagens feitas pelo *Landsat* TM. Mas essa visualização só é possível durante os primeiros meses após a queimada (Figura 13). Como a floresta restabelece o seu dossel de folhas, e como a camada de cinzas fica rapidamente coberta pelas folhas que caíram das árvores (o que pode acontecer dentro de poucos dias após o incêndio) pela ação do fogo, torna-se mais difícil distinguir uma floresta queimada de uma primária não-queimada ou de uma que sofreu exploração de madeira. Portanto, é necessário que técnicas mais sofisticadas sejam empregadas para produzir mapas que contenham as cicatrizes de fogo na floresta. COCHRANE E SOUZA JR. (1998) usaram uma técnica conhecida como modelo de “mistura de pixel (célula)” para mapear as cicatrizes dos incêndios rasteiros próximo a

Paragominas. Essa técnica separa as informações da imagem do *Landsat* TM em elementos fisicamente significativos e é capaz de detectar um aumento de frações de vegetação morta e de solos expostos nas florestas queimadas. Essa técnica não foi aplicada para grandes regiões da Amazônia, mas seria um acréscimo muito útil para o atual sistema de monitoramento do desmatamento na Amazônia realizado pelo INPE. As nossas análises dos incêndios nas propriedades proporcionam uma outra forma para estimar a extensão dos incêndios florestais. Na área de 9.160 km² amostrada no estudo realizado pelo IPAM/WHRC, e que representa aproximadamente 0,25% da Amazônia brasileira, foi registrado um total de 150 km² atingidos por incêndios florestais rasteiros, resultando em uma média de 1,5 quilômetro de floresta queimada, em 1994 e 1995, para cada quilômetro de floresta que foi desmatado (Tabela 5). Se essa proporção é aplicada considerando as estimativas de desmatamento do INPE para 1994 e 1995, chega-se a 30.000 km² de floresta queimadas durante cada um desses anos. Essa estimativa é preliminar, dado que a variabilidade de incêndios rasteiros é muito alta entre as propriedades. Aproximadamente metade da área total de incêndios florestais rasteiros registrada em nosso estudo foi representada por uma única queimada em uma grande fazenda no município de Santana do Araguaia. Mesmo se removermos de nossa análise os dados obtidos neste município, a nossa estimativa da área atingida por incêndio rasteiro é de 13.000 km² por ano. Um estudo mais amplo da ocorrência de grandes incêndios florestais é necessário para que se estabeleça uma estimativa segura da área total sob efeito do fogo.

As queimadas em áreas já desmatadas

Todo ano, enormes áreas desmatadas queimam na Amazônia. SETZER e PEREIRA (1991) usaram os dados sobre os focos de incêndio do

NOAA para estimar que mais de 100.000 km² de terra desmatada pegaram fogo em 1987 na Amazônia brasileira; número cinco vezes maior que a área média desmatada por ano (Figura 22). O estudo nas propriedades também mostrou que, para cada hectare de floresta cortada e queimada, aproximadamente cinco hectares de terra desmatada incendeiam-se (Tabela 5, Apêndice I).

Além dessas estimativas da magnitude geral de queimadas em terra desmatada, há muito pouca informação disponível sobre esse tipo de fogo para a região. Não se sabe a proporção de pastagens e/ou de florestas secundárias, os dois tipos mais comuns de vegetação em terras já abertas, é queimada. Tampouco sabemos a frequência com que voltam a queimar. Esse tipo de informação poderia ser conseguido pelas análises das imagens do satélite *Landsat TM*, adquiridas no final da estação de queimadas ou no início da estação chuvosa, isto é, antes das cicatrizes do incêndio desaparecerem das imagens em função da rebrota da vegetação.

3.5 A quem pertence as áreas que estão queimando?

Um dos mais controvertidos pontos de debate sobre a conservação da Amazônia é a quem atribuir a “culpa” pelo desmatamento. Tal debate — como muitos outros na Amazônia — é dificultado por uma abordagem “binária” excessivamente simplista, resumida pela questão: os responsáveis são os pequenos agricultores pobres, ou os grandes fazendeiros? Tentar responder a esta pergunta seria dar uma legitimidade não merecida à polêmica. Isto porque, todos os produtores rurais na Amazônia cortam e queimam suas florestas e a taxa na qual eles o fazem varia em função do ano, da região e do tipo de produção agrícola que é praticada.

No estudo realizado pelo IPAM/WHRC nas propriedades rurais da Amazônia demonstra que o desmatamento ocorre em propriedades de todos os tamanhos. Por essa razão, pode ser atribuído tanto àqueles produtores que praticam a agricultura de corte e queima, como àqueles que detêm as grandes fazendas de criação extensiva de gado (Figura 19 a, b). Para calcular a contribuição relativa dos diferentes tamanhos de propriedades para o desmatamento nas cinco regiões estudadas, multiplicamos a taxa média anual do mesmo, relativa a cada uma das quatro classes de tamanho de propriedade, pela área do município, representada por uma determinada classe de tamanho, obtida a partir dos dados do censo agrícola (IBGE 1985). Essa análise indicou que, em 1994 e 1995, aproximadamente um quinto do desmatamento aconteceu em pequenas propriedades (< 100 hectares) nos cinco municípios estudados (Figura 23).

Quando estendemos essa análise para os outros três tipos de incêndio, detectamos que somente 8% da área total de incêndios florestais rasteiros ocorrem em pequenas propriedades (Figura 23). Pequenos agricultores podem investir mais na prevenção de incêndios florestais rasteiros do que os grandes produtores, porque eles dependem da floresta como fonte de caça, frutas, remédios e materiais de construção. O valor econômico das florestas para os grandes proprietários de terra é geralmente restrito à madeira, de tal modo que florestas exploradas têm pouco valor econômico, não compensando defendê-las do fogo accidental.

Em contraste, aproximadamente um terço da área de queimada intencionalmente em terra desmatada ocorreu nas cinco regiões estudadas em propriedades com menos de 100 hectares. (Figura 23). Essa proporção relativamente elevada revela a dependência que os pequenos proprietários têm do fogo como uma prática de manejo.

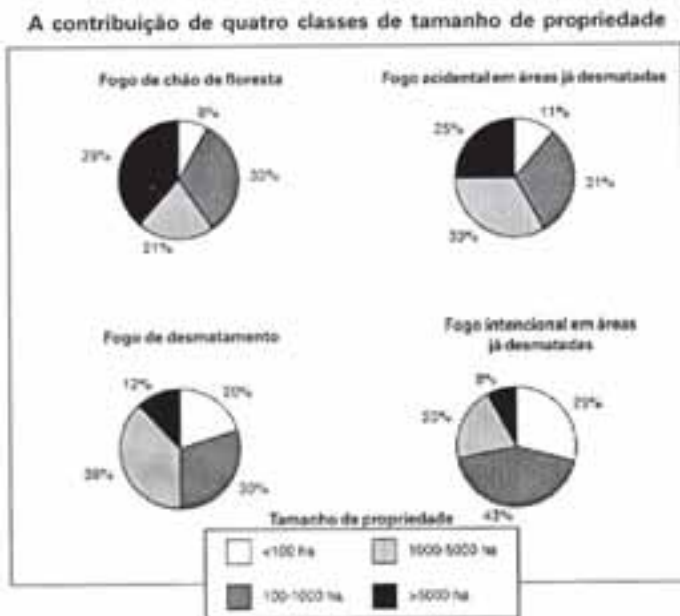


Figura 23 - Contribuição relativa do tamanho das propriedades à área atingida por quatro tipos de incêndio (veja texto para detalhes). Para determinar esses níveis de contribuição, a porcentagem média de quatro classes de tamanho de propriedade, obtida para cada tipo de incêndio, foi multiplicada pela área total ocupada por aquela classe de tamanho, dentro do município da área de estudo.

É necessário que um maior número de pesquisas seja realizado para determinar que tipos de sistemas de produção potencialmente fazem maior uso do fogo e as condições que favorecem o maior investimento em prevenção e controle de incêndio, para que seja possível determinar o risco de incêndio e para direcionar as iniciativas do governo em reduzir os mesmos. Além do tamanho da propriedade, uma ampla gama de fatores podem ser significativos para a dinâmica dos incêndios, tais como: a situação de posse e da produtividade da terra, a distância para o mercado, o absentismo, o investimento de capital e a duração da colonização.

3.6. Os impactos ecológicos do fogo

Os efeitos ecológicos dos incêndios na Amazônia atingem uma escala global, pois influenciam a composição química da atmosfera e a refletância da superfície da terra. Entre eles, estão as mudanças na biomassa e no estoque de nutrientes, as alterações do ciclo hídrico e a redução do número de espécies de grupos de animais e de plantas nativas. Os incêndios podem, também, estar afetando os padrões climáticos tanto numa escala regional, pela sua contribuição na emissão de gases de efeito estufa e no balanço de energia. E o mais importante, o fogo aumenta a inflamabilidade das paisagens Amazônicas e inicia um ciclo de retroalimentação positiva pelo qual as florestas tropicais são gradualmente substituídas por uma vegetação mais propensa ao fogo.

A importância ecológica do fogo é um produto da extensão atingida pelos diferentes tipos de incêndios e do impacto por área queimada. Nessa avaliação integrada, detectamos que as queimadas para desmatamento e os incêndios rasteiros florestais têm uma importância ecológica muito maior, comparado aos fogos em terra desmatada, muito embora eles afetem somente um quarto da área total.

As queimadas para desmatamento

O incêndio de desmatamento, que envolve o corte e a queima das florestas Amazônicas, é a forma mais dramática de alteração da floresta pelo homem. O fogo aniquila todas as partes aéreas das plantas, elimina ou afugenta os animais silvestres e libera para a atmosfera os nutrientes e o carbono contidos na biomassa da floresta. Ao matar a parte aérea da vegetação, as queimadas para o desmatamento interrompem o fluxo de água para a atmosfera via evapotranspiração. Além disso, expõem a

superfície do solo à ação erosiva da chuva e do vento. Devido aos seus efeitos ecológicos extremos, o incêndio de desmatamento é frequentemente visto como o único tipo de incêndio ecologicamente importante (Quadro 1). Por exemplo, as estimativas de carbono liberado para a atmosfera pela atividade humana na Amazônia são baseadas exclusivamente na área do desmatamento anual, multiplicada pela quantidade de carbono liberado para a atmosfera pelo desmatamento (por exemplo, FEARNSSIDE, 1997; SCHROEDER e WINJUN 1995). Esses estudos estimam que o efeito líquido da liberação de carbono para a atmosfera a cada ano, que é resultado do balanço entre o desmatamento e a absorção de carbono pela recuperação da floresta em terra desmatada, é de aproximadamente 0,3 bilhão de toneladas, o que representa 4 % do fluxo anual global de carbono para a atmosfera proveniente das atividades humanas.

As cinzas depositadas na superfície do solo após as queimadas de desmatamento são rapidamente “escondidas” por uma nova vegetação, à medida que os sistemas agrícolas vão sendo estabelecidos, ou quando acontece a recuperação espontânea da floresta. Por isso, o impacto ecológico do incêndio de desmatamento a longo prazo depende do tipo de vegetação que substitui a floresta, uma vez que ela é cortada e queimada. O tipo mais comum de vegetação em terra desmatada são as gramíneas africanas que formam as pastagens (em particular, espécies do gênero *Brachiaria*, *Panicum* e *Andropogon*) nas fazendas de gado. O segundo tipo mais comum de vegetação em terra desmatada é a floresta secundária.

A conversão da floresta tropical em pastagem é uma das mais radicais alterações de uma biota nativa que se tem registro na história da humanidade. Quando um hectare de floresta tropical é desmatado, queimado e convertido em pastagem, populações de centenas de espécies de plantas nativas e milhares de espécies de animais são

substituídas. A vegetação torna-se dominada por gramíneas (por exemplo, *Brachiaria brizantha*), as quais sustentam uma espécie de gado importado e facilitam o aumento e a invasão de espécies animais típicas de áreas alteradas. Por exemplo, uma fauna de formigas passa a ser dominada por espécies que são consumidoras vorazes de sementes (*Pheidole* spp. e *Solenopsis* spp.) e de plantas (*Atta* spp.) e por espécies generalistas de pássaros e mamíferos (MOUTINHO, 1995, 1998, 2003; NEPSTAD *et al.*, 1996a, b, 1991, 1995, 1997; SILVA *et al.* 1996; VIEIRA *et al.*, 1996). A redução da biomassa vegetal é extrema durante a conversão. A floresta nativa, com 300 toneladas de biomassa por hectare, dá lugar a um campo de gramíneas com apenas 10 toneladas. A pastagem ainda reflete 50% mais radiação solar para o espaço e libera 10%-20% menos água para a atmosfera através da evapotranspiração, se comparado a uma floresta primária (JIPP *et al.*, 1998; NEPSTAD *et al.*, 1994, 1995; SALATI e NOBRE 1991; UHL *et al.*, 1988 a; WRIGHT *et al.*, 1992). Pelo fato destes campos liberarem menos vapor de água para a atmosfera do que a floresta, acabam promovendo um maior escoamento superficial da água, o qual contribui para as enchentes dos rios e para a erosão do solo. Isto acontece porque a evapotranspiração do período de estiagem provoca a secagem do solo e aumenta a sua capacidade de reter, como uma “esponja”, a água da chuva durante a estação chuvosa subsequente e, dessa forma, reduz as enxurradas em direção aos rios que provocam a erosão. Os modelos climáticos prevêem que, por causa dessas mudanças no balanço de energia e água, a conversão de grandes áreas de florestas em pastagens pode levar a uma redução de chuvas e a um aumento da temperatura na região (NOBRE *et al.*, 1991; SHUKLA *et al.*, 1990).

As florestas secundárias são comuns na Amazônia porque muitas pastagens e áreas agrícolas estão abandonadas (WALKER e HOMMA 1996; SERRÃO e TOLEDO, 1990; UHL *et al.*, 1988 b). De fato, o abandono de campos e o subsequente recrescimento de florestas

secundárias são parte do sistema agrícola de corte e queima mantido por pequenos agricultores por toda a Amazônia (MORAN *et al.*, 1994; SKOLE *et al.*, 1994; UHL *et al.*, 1988b). O abandono da terra inicia um processo de recuperação da floresta que gradualmente restabelece algumas das características funcionais e estruturais da floresta original. A taxa desse restabelecimento depende do tipo de uso da terra praticado antes do seu abandono. Pode ser rápido quando o uso da terra foi a agricultura de corte e queima e mais lentamente se foi pastagem. Quando pastagens são usadas de forma intensa para a pecuária e submetidas, repetidas vezes, à queima e ao preparo da terra com o uso de trator de esteiras ou herbicidas, o ressurgimento da floresta pode ser impedido por vários anos após o abandono. A falta de sementes de árvores no solo ou a predação destas por formigas e roedores, além da competição da vegetação florestal com plantas invasoras e da ação da seca, acabam por dificultar ainda mais o desenvolvimento da floresta secundária (NEPSTAD *et al.*, 1991, 1996 a, 1996 b; SILVA *et al.*, 1996; UHL *et al.*, 1988 b; UHL *et al.*, 1989; VIEIRA *et al.*, 1996).

Após o desmatamento e o abandono de uma área de pasto ou agrícola, a floresta secundária em regeneração restitui rapidamente as funções hidrológicas. Uma floresta secundária de quinze anos, em Paragominas, apresentou a mesma taxa de evapotranspiração de uma floresta primária vizinha (JIPP *et al.*, 1998). O restabelecimento da biomassa e a composição das espécies, contudo, são um processo mais lento (SALOMÃO *et al.*, 1996). SALDARRIAGA *et al.* (1988) estimaram que as florestas secundárias crescendo sobre campos agrícolas de corte e queima abandonados, necessitam de quase dois séculos para restabelecer a quantidade de biomassa contida em uma floresta primária. As florestas secundárias na região da Zona Bragantina da Amazônia Oriental continham menos da metade das espécies de árvores da floresta primária, mesmo após quarenta anos de restabelecimento (VIEIRA *et*

al., 1996), enquanto uma floresta secundária de quinze anos em Paragominas abrigava menos de um terço das espécies nativas de árvores da floresta primária, menos da metade das espécies de formigas, e somente um quinto das espécies de pássaros (MOUTINHO, 1998; NEPSTAD *et al.*, 1996 a).

Talvez o efeito ecológico mais importante do desmatamento seja o aumento da probabilidade do fogo tornar-se uma característica permanente da paisagem. Virtualmente, todos os tipos de vegetação cultivada ou que se regeneram naturalmente em terra desmatada são muito mais inflamáveis que as florestas originais (UHL e KAUFFMAN, 1990, COCHRANE e SCHULZE, 1999). O desmatamento leva a tipos de vegetação que pegam fogo facilmente, os quais podem conduzir os incêndios acidentais para amplas áreas de interface com a floresta. Basta um dia sem chuva para que as pastagens se tornem inflamáveis e de uma a duas semanas para que isto aconteça com as florestas exploradas. Já as florestas primárias somente atingem o estado de inflamabilidade após meses sem chuva (Figura 13). As florestas secundárias necessitam de décadas de crescimento para que recuperem a mesma resistência ao fogo de uma floresta primária, pois árvores altas são necessárias para restabelecer o sombreamento completo e, assim, o microclima úmido do sub-bosque.

Os incêndios florestais rasteiros

Os incêndios que inflamam os resíduos orgânicos depositados sobre o chão da floresta são freqüentemente pequenos, de movimentação lenta e, portanto, aparentemente inofensivos (Figura 9). Quando esses incêndios se arrastam pelo chão de 10 a 30 metros por hora, um pequeno número de insetos, lagartos e outros animais que vivem na liteira conseguem escapar das chamas, enquanto a maioria é menos afortunada. Colunas

de fumaça são levadas para o dossel da floresta e proporcionam a única evidência para os viajantes dos aviões de que a floresta está sofrendo danos.

O principal dano não é resultante da destruição da matéria orgânica depositada sobre o chão, nem da morte de organismos de solo, embora ambos os efeitos possam influenciar, a longo prazo, a saúde do sistema florestal. Em vez disso, o dano mais importante causado pelo incêndio florestal rasteiro é o aquecimento dos caules das árvores e dos cipós além de seus limites de tolerância. Estes limites são determinados, em parte, pela capacidade de proteção contra o fogo da casca das árvores, que evita um superaquecimento dos tecidos condutores de açúcar e água. Se o fogo mata tais tecidos, seguramente ocorrerá a morte da árvore (ou cipó) dentro de alguns meses ou, possivelmente, anos (Tabela 12, Figura 23).

A mortalidade e inflamabilidade das árvores: O incêndio rasteiro transforma as florestas Amazônicas e provoca a morte de grande número de árvores, cipós, mudas e plantas herbáceas (Tabela 12, Figura 23). Quando as árvores maiores morrem devido à ação do fogo, estas decompõem-se e caem ao chão, fazendo novas aberturas no dossel e adicionando mais combustível ao chão da floresta. O efeito do fogo mais importante é, por essa razão, o aumento da probabilidade de ocorrência de novos incêndios nos anos subsequentes, quando árvores mortas tombam e rompem a sombra profunda e úmida do interior da floresta, o que aumenta a carga de combustível (COCHRANE e SCHULZE, 1999). A quantidade de árvores mortas causada pelo incêndio rasteiro varia em função da quantidade e da umidade do combustível depositado no

chão da floresta e do microclima no seu interior (temperatura do ar, umidade e velocidade do vento), no momento em que o incêndio ocorre. Os incêndios iniciados em florestas que apresentam uma camada de combustível fino no chão, ou que têm combustível com alto teor de umidade devido a chuvas recentes, queimarão de forma lenta e irregular, deixando grandes porções de floresta não-queimada. Os incêndios rasteiros em florestas com combustível seco e abundante são maiores e mais rápidos e afetam uma área maior da floresta, assim, matam um número elevado de árvores. Nesse contexto, as florestas da Amazônia mais inflamáveis são aquelas que já pegaram fogo. A maior quantidade de combustível no chão e um dossel mais aberto pelas clareiras, criadas pela morte das árvores durante o incêndio anterior, permitem que uma grande quantidade de radiação solar chegue ao chão e seque a camada de combustível (COCHRANE e SCHULZE, 1999). Por exemplo, os incêndios em florestas próximas à região de fronteira de Tailândia no leste do Estado do Pará, as quais foram exploradas de forma moderada (cerca de 30 m³/ha), mas que não tinham sido queimadas, mataram aproximadamente 40% das árvores adultas (árvores com DAP > 10 cm), as quais representaram 10% da biomassa viva acima do solo. Na mesma região, os incêndios em florestas exploradas e anteriormente queimadas, mataram 40% das árvores adultas que resistiram ao fogo passado, o que representou 40% da biomassa sobrevivente acima do solo (COCHRANE e SCHULZE, 1999). Um nível de mortalidade similarmente alto (44% de árvores adultas) foi observado em uma floresta explorada próxima a Paragominas, após um primeiro incêndio ocorrido durante o ano de 1992, quando a seca foi severa devido ao fenômeno *El Niño* (HOLDSWORTH e UHL, 1997). Em 1983, os incêndios nas florestas tropicais de Borneo e Indonésia causaram a mortalidade de 94% das árvores adultas (WOODS, 1989) (Tabela 12).

Tabela 12 - Efeitos do incêndio rasteiro sobre a estrutura e a composição da floresta tropical

Impactos do fogo	Exemplos	Região	Referência
Mortalidade de árvores (>10 cm diâmetro na altura do peito, DAP)	70% a 90% após queima de moderada à intensa (excluindo espécies pioneiras) 44% 96% 94%	Amazônia, Brasil Amazônia, Brasil Malásia	Cochrane & Schulze (no prelo) Holdsworth & Uhl (1997) Uhl & Buschbacher (1985) Woods (1989)
Mortalidade de árvores jovens (<10 cm DAP)	73%-98% após incêndios moderados e intensos, (excluindo espécies pioneiras)	Amazônia, Brasil	Holdsworth & Uhl (1997) Cochrane & Schulze (no prelo)
Densidade de espécies pioneiras	Aumento de 60 % Aumento de 98% após incêndio intenso	Amazônia, Brasil Amazônia, Brasil	Cochrane & Schulze (no prelo)
Mortalidade de lianas	>90% 20%-40% 20%-80% após incêndios moderados e intensos	Kalimantan, Indonésia Amazônia, Brasil Amazônia, Brasil	Leighton & Wirawan (1986)* Holdsworth & Uhl (1997) Cochrane & Schulze (no prelo)
Riquezas espécies*	Depende da intensidade do fogo. Pode declinar com incêndios intensos devido aos níveis altos de mortalidade, mas aumenta após incêndios moderados devido ao aumento do número de clareiras.		
Brotamento*	Muitas árvores e espécies de lianas são incapazes de rebrotar após queima ou excessivo calor na base dos troncos.		
Produção de frutos*	Além de completa mortalidade de árvores frutíferas, a fumaça pode interferir com polinização e, dessa forma, com a produção de frutos. Reduções na produção de frutos podem afetar animais que se alimentam de frutos.		

*Previsão

As emissões de carbono: Os incêndios florestais rasteiros matam quantidades substanciais de biomassa florestal, a qual é decomposta, aumentando, dessa maneira, o fluxo de carbono para a atmosfera. Essa fonte de carbono não está incluída nas estimativas atuais de emissão de carbono associadas às atividades humanas na Amazônia (FEARNSIDE, 1997; HOUGHTON, 1997). Se assim o fosse, aumentaria bastante tais estimativas. Por exemplo, se assumirmos que num ano típico aproximadamente 10.000 km² de floresta sofrem com o incêndio rasteiro (metade da área estimada na Seção 3.5), resultando na morte de 25% da biomassa acima do solo (que é um nível intermediário de mortalidade,

considerando as medidas feitas no Pará), e se ainda assumirmos que o teor médio de carbono dessas florestas é de 200 toneladas por hectare (valor após exploração, derivado por FEARNSSIDE, 1997), os incêndios rasteiros seriam responsáveis pela liberação anual de aproximadamente 50 milhões de toneladas de carbono para a atmosfera. Isto representa um aumento de 20% sobre as estimativas atuais nas emissões de carbono da Amazônia brasileira (FEARNSSIDE, 1997). Se uma seca severa produzida pelo *El Niño* induzisse à queimada de 100.000 km², o que é a metade da área prevista de floresta que estaria altamente suscetível a incêndio em 1998 (Capítulo 4), o fluxo de carbono associado ao incêndio florestal rasteiro seria de 500 milhões de toneladas, aproximadamente triplicando as estimativas atuais de emissão de carbono da região e impulsionando para aproximadamente 14% a contribuição da Amazônia para a liberação global de carbono para a atmosfera proveniente da combustão de combustível fóssil e do desmatamento a cada ano (FEARNSSIDE, 1997; HOUGHTON, 1997). Um incêndio de tal grandeza na Amazônia também aumentaria a emissão de carbono durante os anos subsequentes, uma vez que as florestas já queimadas tornam-se altamente inflamáveis e passam a sofrer incêndios periódicos. Estudos recentes mostram que a quantidade de carbono emitido durante anos sob efeito do *El Niño* pode chegar a 400 milhões de toneladas. Em anos normais esse valor não ultrapassa os 30 milhões. (MENDONÇA, *et al.* 2004).

A estrutura da floresta: Além dos seus efeitos na inflamabilidade e no volume de carbono da floresta, o incêndio rasteiro muda dramaticamente a estrutura da vegetação florestal (Figura 24). O fogo mata, praticamente, todas as mudas, os brotos, os cipós e as árvores jovens que encontra pela frente, pois estas pequenas plantas não são protegidas por uma casca grossa, como a maioria das árvores grandes. Ao reduzir a cobertura de folhas, o fogo também favorece o estabelecimento de árvores pioneiras que demandam água, luz e nutrientes, tais como



*Figura 24. Aspecto de uma floresta localizada na comunidade agrícola de Del Rey, Paragominas, Pará, três anos após sofrer um incêndio rasteiro. O incêndio matou as árvores de casca fina e abriu o dossel, permitindo o estabelecimento de árvores pioneiras, tais como a *Cecropia* spp. e a *Solanum* spp. Foto: D. Nepstad.*

espécies dos gêneros *Cecropia*, *Vismia* e *Solanum* (COCHRANE e SCHULZE, 1999; HOLDSWORTH e UHL, 1997). Os cipós parecem ser particularmente suscetíveis à mortalidade pelo fogo (Tabela 12).

A fauna da floresta: Os efeitos do incêndio rasteiro sobre a fauna da floresta amazônica são potencialmente grandes, mas raramente estudados. As populações de tartarugas da floresta e outros animais que se movimentam lentamente, incluindo muitos da fauna que vive na liteira, são severamente prejudicadas pelo fogo. A morte de árvores frutíferas provocada pelo fogo, pode levar à falta de alimentos para os mamíferos frugívoros da floresta da mesma maneira como secas severas levam à falta de alimento e à redução de suas populações. As espécies de mamíferos da floresta que dependem de frutos para sua alimentação, e que podem sofrer redução populacional como um resultado do incêndio florestal incluem antas, grandes macacos, porcos selvagens, veados e cutias. De fato, caçadores entrevistados próximo de Paragominas informaram terem menor sucesso nas caçadas nas florestas

após o incêndio rasteiro (M. MATTOS, K. CARVALHEIRO, D. NEPSTAD, dados não publicados).

Na Austrália, onde os incêndios florestais são freqüentes, o fogo reduziu drasticamente populações de pequenos mamíferos, talvez porque esses animais reagem ao fogo buscando abrigo nas árvores ocas e em outras estruturas inflamáveis (FRIEND, 1993). O mesmo estudo detectou que os impactos do fogo foram relativamente baixos nas populações de répteis e anfíbios.

Hidrologia: O incêndio rasteiro também pode alterar o ciclo hidrológico das florestas amazônicas de duas formas diferentes. Primeiro, a mortalidade de árvores conduz a uma redução na área foliar, o que diminui a quantidade de água que deixa a floresta por meio da transpiração. A floresta amazônica transpira tanta água que desempenha um papel importante no sistema do clima regional (SALATI e VOSE, 1984). A molécula de água que evapora a partir da folha do topo do dossel de uma floresta em Paragominas pode condensar como parte de uma gota de chuva e cair das nuvens que se formam sobre Altamira, a 300 km de distância. Essa ligação estreita entre a evaporação da água das folhas da floresta (chamada de evapotranspiração) e de outras superfícies e os padrões de chuva foi demonstrada por vários modelos climáticos desenvolvidos para essa região (LEAN e WARRILOW, 1989; NOBRE *et al.*, 1991; SHUKLA *et al.*, 1990; VICTORIA *et al.*, 1991).

A redução da área foliar, que é resultado dos incêndios florestais rasteiros, também reduz a quantidade de chuva que normalmente fica retida no dossel, pelo fato de haver menos superfície para reter a água. Por essa razão, incêndios florestais aumentam a quantidade de água que chega ao solo por meio da chuva. A combinação desses dois efeitos

– a diminuição da evapotranspiração e o aumento da precipitação direta de chuva para o solo – causa um aumento na umidade do solo e, portanto, aumento na quantidade de água que penetra no lençol freático. Como o lençol alimenta os igarapés e os rios da região, os incêndios florestais rasteiros acabam aumentando o fluxo desses cursos d'água resultando num impacto desconhecido sobre as comunidades de peixes e outros animais aquáticos. Esses efeitos sobre o ciclo hidrológico são anulados, todavia, quando a área foliar é restabelecida na floresta pelo crescimento de novas árvores e cipós, ou pela ramificação daquelas que sobreviveram a ação do fogo. A taxa de recuperação da área foliar da floresta após incêndios florestais não foi, ainda bem estudada.

As queimadas e os incêndios em áreas desmatadas

Pastagens: Ao contrário dos incêndios aparentemente inofensivos do sub-bosque da floresta, os incêndios em pastagem da Amazônia são freqüentemente mais intensos, com chamas atingindo 5 metros de altura, e podem mover-se rapidamente pela paisagem, quando conduzidos pelo vento. Quando esses incêndios se espalham pelas pastagens, eles convertem a maioria da biomassa vegetal acima do solo em gases (dióxido e monóxido de carbono, óxido nitroso e nítrico e óxido sulfúrico) e produzem partículas (fumaça) que são transportadas pelo vento. Toda a biomassa viva acima do solo é morta e o seu carbono constituinte é liberado para a atmosfera como dióxido de carbono; grandes quantidades de nutrientes importantes para as plantas (por exemplo, 50% de estoque de fósforo na biomassa, KAUFFMAN *et al.*, 1998) são também lançadas ao ar. Alguns dos nutrientes contidos na vegetação são depositados no solo em forma de cinzas, as quais podem estimular o crescimento das plantas durante a estação chuvosa subsequente, o que é uma das razões para os proprietários de terra atearem fogo de forma deliberada em suas pastagens, com o objetivo de estimular a produção de pasto. Porém,

certa quantidade de cinzas é levada pelo vento ou pela água da chuva e, por isso, é perdida do ecossistema da pastagem. Um dos mais importantes efeitos do fogo em pastagens é a perda de nutrientes minerais para a atmosfera e para os rios. Tal perda poderia significar a redução da produtividade futura se a carência de nutrientes limitasse o crescimento da espécie cultivada (DIAS FILHO *et al.*, 2000).

A fumaça produzida pelos incêndios nas pastagens causa poluição no ar. Durante a estação de queimada de 1997, a qualidade do ar em muitas regiões da Amazônia rural foi pior que a da cidade de São Paulo. Grande parte desta poluição foi produzida pela fumaça proveniente dos incêndios em terra desmatada.⁵ Além disso, a perda de nutrientes para os rios pode provocar a eutroficação (atividade biológica estimulada por nutriente) e a criação indesejável de algas.

A queimada em pastagem também influencia a composição das plantas, favorecendo as gramíneas sobre as plantas lenhosas. O meristema das gramíneas, responsável pelo crescimento de novas folhas, está abaixo da superfície do solo, protegido do fogo, enquanto os dos caules das plantas lenhosas estão sob a casca do tronco e, por isso, são danificados mais facilmente pelo fogo. Após a queimada, algumas dessas plantas lenhosas rebrotam das raízes ou da base do caule (por exemplo, *Solanum crinitum*, *Vismia guianensis* e *Styphonodendron pulcherrimum*, NEPSTAD *et al.*, 1996). Por essa razão, um dos mais importantes impactos do fogo na pastagem é retardar o processo de sucessão da vegetação, matando as partes dessas plantas lenhosas que se encontram acima do solo. Quando a pastagem é abandonada, esses invasores lenhosos desempenham uma função importante ao facilitarem o estabelecimento

⁵ Paulo Artaxo Neto, comunicação pessoal.

de novas árvores, pois atraem agentes dispersores de sementes e proporcionam condições microclimáticas e edáficas que são mais propícias ao crescimento vegetal (NEPSTAD *et al.*, 1991, 1996 a; VIEIRA *et al.*, 1996). Ao contrário dos incêndios florestais, a queimada diminui a inflamabilidade da pastagem ao consumir, praticamente, todo o combustível fino. As folhas das gramíneas acumulam-se de um ano para o outro até alcançarem equilíbrio, no qual a taxa de produção de novas gramíneas seja igual à taxa da decomposição da matéria orgânica morta. O efeito do fogo na inflamabilidade é muito menos pronunciado em pastagens onde o gado reduz a quantidade de gramínea e de outro combustível fino.

Apesar da grande área de pastagem que é queimada por ano, se comparada àquela desmatada ou atingida pelo incêndio florestal rasteiro (Figura 19), esse tipo de queimada contribui muito pouco para as emissões de carbono associadas aos usos da terra na Amazônia. Os estoques de carbono das pastagens (cerca de 3 a 7 toneladas por hectare) são baixos, comparados aos estoques de carbono das florestas (cerca de 200 toneladas/hectare), e são rapidamente repostos após o incêndio. Ou seja, o carbono liberado para a atmosfera pela queima das pastagens é compensado pela regeneração rápida da vegetação de gramíneas, que ocorre dentro de um ou dois anos, a qual remove uma quantidade similar de carbono da atmosfera.

Florestas secundárias: Incêndios que queimam florestas secundárias matam a maioria dos tecidos acima do solo, o que libera fumaça e gases para a atmosfera e retarda o processo de restabelecimento da floresta (NEPSTAD *et al.*, 1995). Dado que as árvores das florestas secundárias são pequenas em estatura e geralmente requerem muitos anos para desenvolvem uma casca suficientemente grossa que as proteja contra o dano causado pelo fogo, a mortalidade dos caules é alta. Todavia, muitas

espécies das florestas secundárias são capazes de rebrotar após a queimada; aproximadamente dois terços das espécies de árvore de uma floresta secundária próxima de Paragominas rebrotaram após um incêndio (KAUFFMAN, 1991).

Os incêndios em florestas secundárias liberam mais carbono para a atmosfera que os incêndios em pastagens. Quando as florestas voltam a crescer em áreas abandonadas, são capazes de acumular na biomassa acima do solo de 1 a 5 toneladas de carbono por ano. Por esta razão, os incêndios em florestas secundárias jovens (cinco anos de idade) chegam a liberar aproximadamente de 5 a 25 toneladas de carbono para a atmosfera (SALOMÃO *et al.*, 1996), pois praticamente eliminam todos os tecidos vegetais acima do solo. Os incêndios em florestas secundárias também impedem a recuperação dos processos hidrológicos, tal como a evapotranspiração (JIPP *et al.*, 1998).

O fogo e a “savaniização” da Amazônia: um ciclo vicioso?

O maior impacto ecológico do incêndio na Amazônia poderia ser a substituição de vastas áreas de floresta perenifólia de dossel fechado por uma vegetação com característica de savana e propensa ao fogo, pelos efeitos sinérgicos de secas crescentes e das atividades de uso da terra. Nesse cenário que, infelizmente, é bastante admissível, as florestas que se tornam susceptíveis ao fogo por causa dos efeitos de seca sazonal severa ou das atividades de exploração, ou de ambas (Capítulo 2), são queimadas por incêndios agrícolas que escapam de seus limites planejados. Uma vez que isso tenha acontecido, tornam-se muito mais vulneráveis a novas queimadas. As florestas que sofrem incêndios periódicos ficam, ao longo do tempo, esvaziadas de árvores e com dossel ralo, permitindo que a luz solar alcance o chão, provocando a invasão de gramíneas e aumentando bastante a quantidade de combustível fino. Este excesso de combustível fino impede o estabelecimento e o crescimento de mudas

de árvores. Assim, a floresta perenifolia densa e totalmente sombreada por dentro torna-se uma floresta empobrecida, povoada por algumas espécies de árvores resistentes ao fogo e com o chão coberto por gramíneas, plantas invasoras e arbustos herbáceos e lenhosos (COCHRANE e SCHULTZE, 1999; NEPSTAD *et al.*, 1995). O processo de “savanização” poderia ser reforçado, ou acelerado, se a substituição da floresta densa por uma vegetação empobrecida propensa ao fogo diminuísse a evapotranspiração e a absorção de energia o suficiente para provocar a redução regional de chuva, como é previsto pelos modelos climáticos atuais (LEAN e WARRILOW, 1989; NOBRE *et al.*, 1991; SCHUKLA *et al.*, 1989) (Figura 25). A “savanização” em larga escala na Amazônia é o mais inquietante efeito ecológico advindo dos padrões atuais de uso do fogo na região, pois representa uma substituição semipermanente de floresta rica em espécies, por uma vegetação empobrecida, a qual é debilitada em espécies de plantas e animais nativos, de reduzida biomassa e menos capaz, que a floresta nativa, de manter os padrões de precipitação regional por evapotranspiração.

3.7 Os impactos econômicos do fogo

Os custos e os prejuízos para os proprietários rurais

Os incêndios afetam os ciclos de água, carbono e de nutrientes das florestas da Amazônia, esgotam as populações de animais selvagens e prejudicam a capacidade da floresta de funcionar como um grande quebra-fogo natural ao longo da paisagem. Mas muitos desses custos ecológicos têm pouco ou nenhum valor perceptível para os agricultores e fazendeiros da região, pelo fato de não se traduzirem em mudanças economicamente positivas. Da mesma forma, quando agricultores fazem

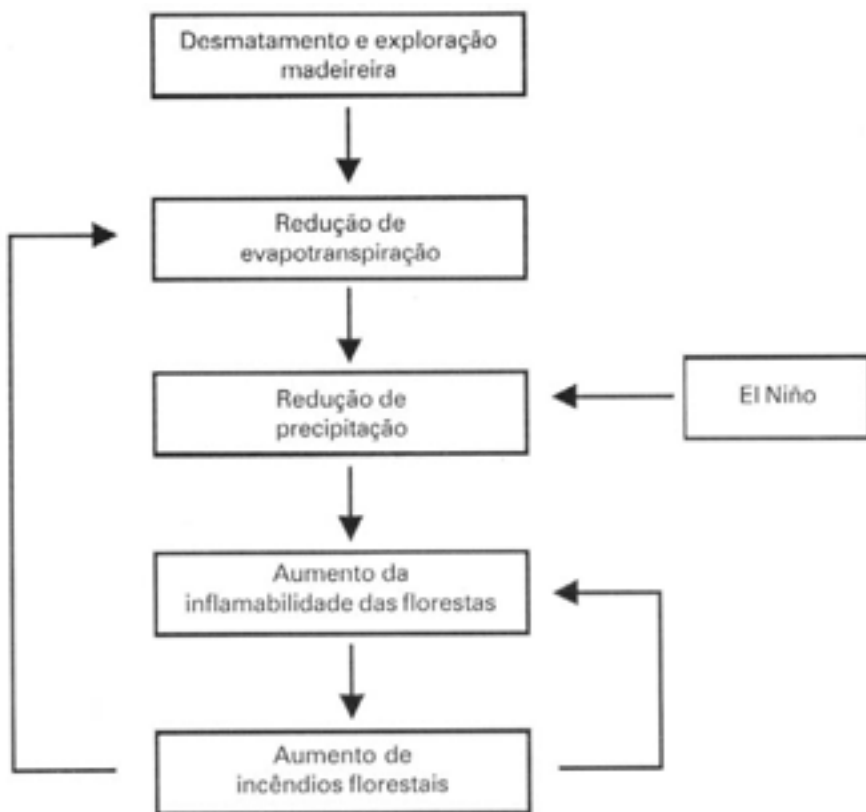


Figura 25 - Os incêndios florestais rasteiros podem provocar um ciclo vicioso que resulta no empobrecimento da floresta. Uma vez que a queimada contribui para a diminuição da chuva e para o aumento da suscetibilidade da floresta ao fogo, o risco de queimadas adicionais também aumenta. A interação entre a seca e o fogo poderia levar à substituição, em grande escala, da floresta de dossel fechado por aquelas dominadas por gramíneas e vegetação arbórea propensas a incêndio, promovendo, dessa forma, a expansão na Amazônia de uma vegetação similar a do cerrado brasileiro. Adaptado de Nepstad et al., 1995 e Cochrane e Schulze, 1999.

queimadas para desmatar ou preparar suas terras, eles aparentemente não levam em conta o risco do fogo ficar fora de controle e espalhar-se para as terras de seus vizinhos. Isso se deve a uma fiscalização ineficaz das leis que requerem compensação dos prejuízos impostos a outros. Nesta seção, são discutidos os custos diretos do fogo para os proprietários de terra da Amazônia, incluindo os danos para os seus sistemas de produção e os seus investimentos na prevenção do incêndio acidental. Na pesquisa executada pelo IPAM/WHRC e anteriormente descrita (seção 3) nas propriedades rurais da Amazônia, foi possível obter dados somente sobre dois tipos de prejuízos causados pelo fogo, ambos envolvendo pastagem: danos em cercas e perda de forragem. Também dados sobre os custos de prevenção do incêndio acidental, a preparação de aceiros, foram levantados. Esses dados foram apresentados para as quatro classes de tamanho de propriedades citadas anteriormente.

Nas cinco regiões estudadas, 90% dos donos de propriedades informaram perdas econômicas devido à queima acidental de seus pastos. Um terço dos proprietários entrevistados teve prejuízos com a perda de cercas devido ao incêndio acidental na pastagem, e um quarto dos proprietários perdeu madeira de valor comercial por ação de incêndios florestais rasteiros. Aproximadamente metade dos donos de pequenas propriedades informou prejuízos para as suas lavouras anuais ou perenes causados por incêndio acidental, e 8% dos proprietários de grandes fazendas tiveram perda de gado ou cavalos provocada pelo fogo.

Prejuízos ao pasto: As pastagens são o componente mais inflamável da paisagem agrícola da Amazônia. Essa alta inflamabilidade é uma fonte de muita preocupação para os criadores de gado, pois as pastagens que queimam devem permanecer em “descanso” por um período de três a

quatro meses durante a estação chuvosa subsequente para que seja restabelecida a cobertura de folhas. Um dos maiores custos econômicos do incêndio na Amazônia é a perda de pasto durante a estação seca. Quando uma pastagem queima, o proprietário de terra deve encontrar uma outra substituta para manter o seu rebanho de gado, o que, muitas vezes, significa alugar pastagens de terceiros.

Para estimar o custo dos incêndios acidentais em pastagem para os proprietários de terra da Amazônia, primeiro foi multiplicado o custo do aluguel da pastagem (US\$ 3 a US\$ 3,6 por hectare ao mês) pelo número médio de meses necessários para que haja a recuperação das pastagens a um nível que seja suficiente para manter novamente o gado (3 a 4,5 meses). Em seguida, multiplicou-se o valor obtido pelo número médio de hectares de pastagem, por propriedade, que foram queimados (Tabela 13). Esses cálculos mostram que os custos anuais associados com incêndios em pastagens são, em média, US\$20, US\$ 180, US\$1.150 e US\$ 8.110 para propriedades pequenas, médias, grandes e muito grandes, respectivamente (Tabela 13).

Os prejuízos às cercas: As cercas na Amazônia são usualmente feitas de estacas de madeira espaçadas em intervalos de 2 a 3 metros, ligadas entre si por três a quatro fios de arame liso ou farpado. Quando uma cerca queima, o prejuízo pode variar da destruição completa ao aquecimento do arame, expondo-o a uma rápida deterioração pela ferrugem. Quando junta-se os custos associados à reposição da cerca informados pelos proprietários de terra, incluindo mão-de-obra, estacas, arame e transporte das estacas e do arame, o custo médio de repor uma cerca completamente foi de US\$1.400 por quilômetro, enquanto o custo de repor o arame em uma cerca foi de US\$ 300 por quilômetro. Esses valores multiplicados pelo comprimento médio da cerca perdida devido ao fogo, como informado pelos proprietários de terra, indicam que,

Tabela 13 - Área de pastagem queimada acidentalmente a cada no e os prejuízos causados pela queima de pasto e cercas.

Área da Propriedade (ha)	Área de pastagem (ha) média ± EP	1		2		3			4		
		Lucro anual (US\$)		Queimado Acidentalmente		Prejuízos causados pelo fogo (US\$)			Prejuízos causados pelo fogo (% do lucro)		
		Mínimo	Máximo	Pastagem (ha)	Pastagem (ha)	Cerca (somente arame)	Cercas (arame e estacas)	Pastagem	Cerca	Pastagem	Total
Pequena (0-1000)	31 ± 3	153	1529	2	27	134	21	2 a 88%	1 a 14%	3 a 102%	
Média (101-1000)	247 ± 26	1235	112354	20	114	564	183	1 a 46%	1 a 15%	2 a 61%	
Grande (1001-5000)	1048 ± 84	5242	52425	128	213	1053	1150	0 a 20%	2 a 22%	2 a 42%	
Muito Grande (>5000)	8292 ± 2481	414623	414623	901	3387	16710	8112	1 a 40%	2 a 20%	3 a 60%	

1. Lucro mínimo e máximo assumindo um lucro líquido de US\$ 5/ano/ha e de US\$50/ano/ha, respectivamente (Mattos & Uhl, 1994).

2. Média de área acidentalmente queimada, calculada a partir de informações obtidas dos proprietários de terras.

3. Prejuízos causados pelo fogo. Cercas: o cumprimento das cercas danificadas pelo fogo multiplicado pelo preço do arame (US\$ 300/km), e comprimento das cercas danificadas multiplicado pelo custo de reparo completo (arame e estacas) (US\$1400/km).

Pastoreio: número de hectares queimados multiplicado por três meses (US\$3/mês) de aluguel de pastagem. Três meses representam o tempo necessário para que um pasto queimado se recupere. O aluguel de um pasto, neste caso, é necessário para colocar o gado que utilizava a pastagem antes da ocorrência do incêndio.

4. Prejuízos causados pelo fogo. Os prejuízos variam de um valor baixo, o qual assume que somente o arame é danificado, a elevado, assumindo uma completa destruição da cerca em pastagens de lucro mínimo. O intervalo de valores do pastoreio foi determinado usando dois níveis de lucratividade

(1)

dependendo do tamanho de sua propriedade, os agricultores e os fazendeiros perdem, somente em arame, de US\$ 30, US\$110, US\$210 a US\$3.390 devido ao incêndio acidental (Tabela 13).

Para colocar os custos econômicos dos incêndios acidentais nas pastagens na perspectiva do proprietário de terra, comparamos estes custos com os lucros derivados da produção de gado. A extensão do possível lucro líquido foi calculada multiplicando a área média de pastagem dentro de cada classe de tamanho de propriedade pelo lucro médio das duas formas de produção de pastagem: extensiva (US\$ 5/ha/ano.) e semi-intensiva (US\$ 50/ha/ano.) (MATTOS e UHL, 1994). Os custos dos incêndios variaram de 2% a 3% dos lucros, no caso do manejo da pastagem ser semi-intensivo e as perdas de cerca serem associadas somente ao arame, para mais 100% de lucro anual, quando as pastagens são manejadas extensivamente e as cercas queimadas devem ser completamente repostas (Tabela 13).

As perdas associadas com incêndios em pastagem não incidem sobre cada proprietário de terra a uma taxa média todo ano. Em vez disso, os incêndios acidentais são episódicos, com um amplo grau de variabilidade no tamanho da área queimada. Nas pastagens, o incêndio é um risco que varia de ano para ano, dependendo dos padrões de chuva, e pode ser reduzido mediante investimentos em técnicas de prevenção de incêndio. Sob efeito do El Niño esse risco pode ser bastante elevado. Estimou-se recentemente que a perda econômica com fogo em pastagens na Amazônia, pode chegar a quase 100 milhões de dólares anuais (MENDONÇA *et al.* 2004).

A prevenção de incêndios

A construção de aceiros é a mais cara, porém a mais importante técnica disponível para que se evite incêndios intencionais fora de controle,

atinjam campos e florestas em propriedades vizinhas (ver Seção 5.2). Os aceiros são faixas de terra de 2 a 5 metros de largura, produzidas pela remoção de grande parte do material inflamável. A remoção pode ser feita manualmente, com o auxílio de facões, ou mecanicamente, com tratores de esteira. Essas faixas podem ser muito mais estreitas na floresta, onde 0,5 metro é suficiente, muitas vezes, para impedir a passagem dos incêndios rasteiros que percorrem lentamente o sub-bosque da floresta (Figura 9).

Praticamente todos (98%) os proprietários entrevistados no estudo citado neste volume informaram que usaram aceiros para conter seus incêndios ou proteger seus campos e florestas. A maioria (93%) usou os aceiros para proteger suas pastagens da queima acidental, enquanto somente 40% usaram para proteger suas florestas. Mais da metade das pequenas propriedades usou aceiros para proteger campos agrícolas vs. somente 20% das médias e grandes. A maioria dos proprietários entrevistados (72%) constrói, todos os anos, aceiros em algum lugar em suas propriedades.

Os aceiros podem ser feitos a um custo muito mais baixo com tratores de esteiras (US\$ 20 por km) que com facões (US\$ 60 por km), e por isso são mais caros para os donos de pequenas propriedades, os quais têm pouco acesso a maquinário pesado. Quase todos (90%) os donos de pequenas propriedades estabeleceram aceiros manualmente, enquanto 61% e 22% dos médios e grandes proprietários usaram essa técnica manual. Essa tendência foi revertida para o uso de tratores de esteiras: 2%, 30% e 50% dos donos de pequena, média e grande propriedade usaram tratores de esteiras para fazer seus aceiros.

O investimento médio anual dos proprietários de terra em aceiro para a proteção de pastagens e campos agrícolas, pode ser calculado multiplicando-se o custo médio de preparar o aceiro pelo seu

comprimento médio. A cada ano, os donos de propriedades gastam com aceiros uma média de US\$ 130, US\$320, US\$1.150 e US\$16.410⁶ em propriedades pequenas, médias, grandes e muito grandes, respectivamente. Esse investimento representa, aproximadamente, 61%, 16%, 10% e 16% do lucro anual da produção de gado, assumindo o manejo de pastagem extensiva, e somente 1% a 6% de lucro anual, assumindo o manejo de pastagem semi-intensiva (Tabela 14).

Outra forma de ilustrar os custos relativamente altos de investimentos em prevenção manual de incêndio para as áreas de baixa produtividade é calcular a porcentagem de lucros da produção de gado que seria necessária aplicar para estabelecer um aceiro ao redor de uma pastagem de 100 hectares, assumindo dois níveis de manejo de pastagem e duas técnicas para fazer aceiro. Aproximadamente metade dos lucros de 100 hectares de pastagem improdutiva seria necessária para fazer um aceiro manual, enquanto somente 2% dos lucros de uma pastagem produtiva são necessários para fazer um aceiro mecanizado (Tabela 15).

As perdas florestais: Os incêndios acidentais podem queimar de 13.000 a 25.000 km² hectares, ou mais, de floresta todo ano e, com isso, destruir os recursos madeireiros e matar plantas que são fontes de frutos, remédios, material de construção e possuem valor espiritual e cerimonial. As perdas de madeira causadas pelo incêndio florestal rasteiro são diminuídas pelo fato de que a maioria das florestas que queimam já foi explorada. Mas mesmo as florestas exploradas têm árvores remanescentes de valor econômico que correm o risco de serem eliminadas pelo fogo. Um incêndio rasteiro em uma floresta explorada próxima de Paragominas, por exemplo (HOLDSWORTH e UHL, 1997), destruiu madeira equivalente a US\$

⁶ Essas quantidades foram calculadas assumindo que o comprimento do quebra-fogo, que é preparado usando cada um dos dois métodos (manual vs trator de esteira), é proporcional aos métodos que foram citados pelos donos de propriedade como os principais para a preparação.

5 por hectare, e, por isso, o custo para o proprietário da terra foi de aproximadamente US\$ 500.⁷ Essa perda de madeira pode ser muito mais alta quando incêndios queimam florestas que ainda não foram exploradas. Para os proprietários das indústrias madeireiras, o valor da madeira em pé em suas florestas não-exploradas pode ser alto, chegando a US\$ 200 por hectare. A perda total de madeira para os proprietários de terra da Amazônia, como resultado do incêndio rasteiro, provavelmente excede muitos milhões de dólares por ano e pode alcançar dezenas de milhões de dólares se extensas áreas de florestas não-exploradas pegarem fogo por causa do aumento da inflamabilidade induzida pela seca (Capítulo 4).

As perdas econômicas associadas ao incêndio florestal podem ser muito mais significativas para os pequenos proprietários que dependem da floresta para uma grande variedade de usos de subsistência do que para os grandes proprietários de terra que usam as florestas principalmente para extrair madeira. Em comunidades de agricultores ao longo do rio Capim próximo de Paragominas, famílias consomem 8 quilogramas de carne de caça por mês, o que proporciona um quarto da necessidade diária de proteína recomendada (CYMERRYYS *et al.*, 1997). Os caçadores de subsistência nas proximidades da comunidade de Del Rey registraram menor sucesso nas caçadas em florestas queimadas recentemente, comparado às florestas que não tinham queimado.⁸ Os incêndios nessa região destruíram cipós que são fontes importantes de material de construção (por exemplo, cipós titica, *Heterolepsis*; cebolão, *Clusia grandiflora*), árvores frutíferas, tais como bacuri (*Platonia isignis*), piquiá (*Caryocar villosum*) e uxi (*Endopleura uchi*), e numerosas plantas medicinais.

⁷ A. Holdsworth, dados inéditos sobre o valor da perda de árvores mortas.

⁸ M. Matos, D. Nepstad, dados não publicados.

Tabela 14 - Área de pastagem, intervalo do lucro anual da pecuária, e estimativa da percentagem destes lucros que são dirigidos a preparação de aceiros.

Tamanho da propriedade (ha)	Área de pastagem (ha) Média ± EP	1 Lucro anual (US\$/ano)		2 Custo do aceiro (US\$)	3 Investimento em aceiros	
		Mínimo	Máximo		% lucro mínimo	% do lucro máximo
Pequeno (0-100)	31 ± 3	\$153	\$1.529	\$94	61%	6%
Médio (101-1000)	247 ± 26	\$1.235	\$112.354	\$194	16%	2%
Grande (1001-5000)	1048 ± 84	\$5.242	\$52.425	\$518	10%	1%
Muito grande(5000)	8292 ±2481	\$41.462	\$414.623	\$6.840	16%	2%

1. Valor obtido multiplicando-se a área de pastagem pelo lucro (US\$ ha/ano) gerado pelo sistema de produção da pecuária extensiva (mínimo) e semi-intensiva, de acordo com Mattos e Uhl (1994).
2. Valor obtido multiplicando-se a média do comprimento dos aceiros construídos por ano, pelo custo por quilômetro de sua construção (como informado por proprietários). A fração de aceiros construídos usando terçados e tratores foi determinada, a partir de entrevistas e usada como determinante do cálculo do custo dos aceiros. Um quilômetro de aceiro aberto com terçados custa US\$ 60,00 e US\$ 20,00 com trator, segundo informações de proprietários.
3. Valor obtido como custo dos aceiros (2) dividido pelo lucro líquido mínimo e máximo (1).

Tabela 15 - Custo relativo dos aceiros para circundar uma pastagem de 100 hectares (1 X 1 km), usando dois tipos diferentes de manejo de pastagem e duas técnicas de construção de aceiros.

	Lucro ¹ (US\$/ano)	Custo de aceiros ² (% do lucro líquido)	
		Manual	Trator de esteira
Pastagem extensiva	500	48.0	16.0
Pastagem semi-intensiva	5000	4.8	1.6

1. Lucros calculados por Mattos e Uhl, 1994.
2. Custo do aceiro calculado como na Tabela 14.

Os incêndios florestais rasteiros também trazem perigo para aqueles produtores que praticam a agricultura de corte e queima. Quando uma floresta que sofreu incêndio é derrubada para dar lugar a uma nova área de plantio, os produtores correm sérios riscos de serem atingidos por galhos que se desprendem das árvores mortas pelo fogo, que apodrecem ainda quando estão em pé.⁹

Pomares e plantações: Os pomares de árvores frutíferas, tais como: laranja (*Citrus* sp.), acerola, cupuaçu (*Theobroma grandiflora*), cacau (*Theobroma cacao*), café (*Coffea robusta*) e caju (*Anacardium occidentale*); plantações de maracujá (*Passiflora edulis*), pimenta-do-reino (*Piper nigrum*), dendê (*Elaeis guineensis*), espécies para laminados: Aparicá, (*Schizolobium amazonicum*) e Ateca, (*Tectona grandis*), Figura 17, espécies para celulose: eucalipto, (*Eucalyptus deglupta*) e Caribbean pine, (*Pinus caribea*) e espécies madeireiras como: mogno, (*Swietenia macrophylla*), são todas altamente susceptíveis ao fogo. Os incêndios acidentais nessas plantações causam, provavelmente, um custo mais alto por hectare do que qualquer outro tipo de incêndio na Amazônia, devido ao grande investimento financeiro que é necessário para estabelecer essas culturas perenes. O prejuízo econômico desse tipo de incêndio acidental ainda não foi documentado.

Os custos e os prejuízos para a sociedade

Os incêndios desgastam a capacidade dos ecossistemas Amazônicos de suportar vida. Por essa razão, afetam toda a sociedade humana. Em 1997, os custos dos incêndios florestais na Indonésia, associados à destruição de madeira e a danos em plantações de dendê e à neblina, totalizaram, aproximadamente, US\$ 4,4 bilhões.¹⁰ Na Amazônia os

⁹ M. Mattos, K. Carvalheiro, dados não publicados.

¹⁰ Programa Econômico de Desenvolvimento para o Sudeste da Ásia, 1998.

prejuízos podem variar de 100 a 5 bilhões de dólares por ano (MENDONÇA *et al.*, 2004). Muitos dos custos dos incêndios para a sociedade são difíceis de quantificar em termos monetários, uma vez que envolvem processos econômicos e serviços que não são negociados no mercado, mas que sustentam a produção de alimentos, fibra e outros produtos comerciais. Esses serviços ecológicos incluem a função das florestas em manter o ciclo hídrico da Amazônia e o sistema climático regional, como descrito na Seção 3.7. As florestas da Amazônia protegem o solo da força erosiva da chuva e do vento e contribuem com matéria orgânica, para que esses solos mantenham sua estrutura e sua fertilidade. Representam um depósito para a maior biblioteca de informação genética no mundo, que é a fonte de organismos e substâncias necessários para combater doenças e proporcionar alimento para uma população humana em expansão. As florestas da Amazônia ainda atuam como grandes aceiros naturais ao longo da paisagem e impedem a propagação dos incêndios que escapam de áreas agrícolas.

Fumaça: Um dos custos mais visíveis do incêndio na Amazônia para a sociedade está associado à fumaça liberada pela queimada. Os habitantes da Amazônia rural respiram um ar mais poluído, durante semanas, do que aquele do centro de São Paulo.¹¹ A fumaça invade os centros urbanos e enviam dezenas de milhares de pessoas para clínicas de saúde com sintomas de bronquite, asma e outras doenças respiratórias. De acordo com o Ministério da Saúde brasileiro, duas vezes mais pacientes são atendidos nos hospitais com problemas respiratórios durante os meses de pico de queimadas, se comparado aos outros meses do ano. O custo para o sistema de saúde com o tratamento do número extra de pacientes, pode chegar a 10 milhões de dólares por ano (MENDONÇA *et al.*, 2004). A fumaça também reduz a visibilidade, provocando acidentes

¹¹ Paulo Artaxo Neto, comunicação pessoal.

de trânsito e causando o fechamento de aeroportos nas cidades da Amazônia. Em 1996 e 1997, os aeroportos de Rio Branco (Acre), Porto Velho (Rondônia), Imperatriz (Maranhão) e Conceição do Araguaia, Carajás e Marabá (Pará) permaneceram fechados por um total de 420 horas, devido à fumaça.

Os incêndios ainda impõem danos à rede elétrica e, assim, interrompem a transmissão de energia. Em 1995, ocorreram 47 interrupções no fornecimento de energia proveniente da Hidroelétrica de Tucuruí, e custaram à companhia (Eletronorte) aproximadamente US\$ 2,2 milhões em lucros.¹² A esse custo não são incluídos aqueles impostos às empresas e às casas que foram obrigadas a comprar geradores ou à população em geral, que teve seus alimentos apodrecidos ou perdeu o sono por causa das interrupções de energia.

Uma avaliação completa dos impactos econômicos dos incêndios na Amazônia é uma prioridade muito importante de pesquisa. A quantificação desses impactos pode ser a forma mais efetiva de comunicar aos tomadores de decisão sobre a grande importância de se encontrar soluções para o problema do incêndio na Amazônia.

¹² Eletronorte - Registro interno.

4. O Fogo na Amazônia: cenário futuro

O problema dos incêndios acidentais na Amazônia pode piorar nos próximos anos. Os eventos *El Niño*, que estão associados com secas severas em grande parte da região, têm sido mais freqüentes e intensos nos últimos quinze anos. Um grupo de climatologistas concluiu recentemente que a maior freqüência desses eventos está associada ao acúmulo de dióxido de carbono na atmosfera (TRENBERTH e HOAR 1997) e poderia, portanto, representar o início de um cenário climático de longo prazo. A redução das chuvas na região é um dos efeitos previstos do desmatamento em larga escala na Amazônia (NOBRE *et al.*, 1991; SHUKLA *et al.*, 1990). Qualquer uma dessas tendências exacerba o problema do fogo e aumenta a suscetibilidade das florestas, das pastagens e das plantações a incêndios destrutivos.

Os incêndios podem também aumentar em número nos próximos anos devido à ocupação das fronteiras agrícolas e madeireiras que estão em expansão. Quando estradas, tais como a Santarém-Cuiabá, a Manaus-Boa Vista e a Acre-Pacífico, forem pavimentadas, uma reação em cadeia da exploração madeireira, da colonização agrícola e da conversão em larga escala de florestas em pastagens resultará no aumento da inflamabilidade de vastas áreas de floresta e introduzir fontes de ignição pelo uso das práticas tradicionais de corte e queima. Não há nenhuma evidência de que uma redução da expansão das fronteiras de ocupação ou a adoção de práticas de uso da terra mais intensivas e menos propensas ao fogo estejam atualmente sendo implementadas em larga escala na Amazônia. A tendência é de repetir a história recente de ocupação da região.

A previsão dos futuros cenários do uso do fogo na Amazônia e mudanças das políticas públicas baseadas nesses cenários, são tarefas cruciais para a ciência e tomadores de decisão. Neste capítulo, é descrito um modelo

que incorpora uma vasta variedade de dados para prever regimes futuros de fogo na região. O desenvolvimento desse modelo pode proporcionar uma ferramenta poderosa para comunicar à sociedade brasileira os impactos das tendências atuais de desenvolvimento rural na Amazônia e ajudar os produtores da região a planejarem seus investimentos em prevenção e em controle de fogo.

4.1 Um modelo de previsão do risco de fogo

Nos últimos três anos, o IPAM e o WHRC têm desenvolvido um modelo chamado RisQue (“Risco de Queimadas e Incêndios”) para identificar regiões sob risco de fogo na Amazônia brasileira. Esse modelo integra dados sobre solos, chuva, florestas, exploração madeireira, agricultura e história recente de ocorrência de incêndios para gerar mapas de suscetibilidade da floresta ao fogo e da probabilidade de áreas agrícolas pegarem fogo e servirem como fontes de ignição para incêndios florestais (Figura 26).

A previsão do risco de fogo é uma tarefa enorme, pelo tamanho gigantesco da floresta, por sua grande diversidade de tipos e de solos e pelo amplo espectro de práticas de uso da terra da Amazônia. Contudo, o conhecimento dos fatores que conduzem à inflamabilidade (Capítulo 2) da floresta, as características das propriedades que utilizam queimadas e o esforço existente de prevenção de incêndios, além de dados de chuva e localização de focos de calor (Seção 3.1), proporcionam as bases de um modelo de previsão de risco de incêndio, como descrito a seguir.



Figura 26 - Diagrama mostrando as camadas de dados que foram combinados para gerar os mapas de risco de incêndio que compõem o RisQue. Informações adicionais estão disponíveis nas páginas do IPAM (<http://www.ipam.org.br>) e do WHRC (<http://www.whrc.org>), na Internet.

A inflamabilidade de florestas intactas: Para se prever o regime de chuvas sob o qual as florestas maduras e intactas (que nunca foram exploradas) tornam-se suscetíveis ao fogo, estudos de campo na Amazônia (Capítulo 2; NEPSTAD *et al.*, 1994, 1995; UHL e KAUFFMAN *et al.*, 1988) foram realizados. Estes, demonstraram que as florestas de copa fechada podem manter uma elevada densidade de folhas, que conduz a um microclima úmido e sombreado no seu interior durante períodos de seca normais que duram entre cinco e seis meses. Nos períodos de estiagem, essas florestas são capazes de absorver a água estocada no solo a profundidades superiores a 5 metros e, dessa forma, evitam a perda de folhas induzida pela falta d'água. Devido a essa notável adaptação à seca sazonal, as florestas da Amazônia tornam-se vulneráveis ao fogo somente após períodos prolongados de seca. Assim, durante a seca, a quantidade de chuva que cai na floresta é menor do que aquela que é perdida via evapotranspiração. A previsão da suscetibilidade da floresta ao fogo pode ser vista pela estimativa do balanço hídrico entre as chuvas, que abastecem o solo com água, e a evapotranspiração, que é extração de água pelas plantas e perda para a atmosfera. Quando há um desequilíbrio entre as chuvas e a evapotranspiração, que acontece durante o pico de seca, a vegetação acaba por esgotar a água no solo e elevar a perda das folhas. É nesse momento que o chão da floresta se torna vulnerável ao fogo.

Essas informações dos efeitos da seca sobre a inflamabilidade da floresta amazônica foram incorporadas ao modelo *risque* de previsão de risco de fogo, tornando possível a confecção de mapas mensais que indicam quais áreas de floresta estão mais vulneráveis aos incêndios devido à seca. O modelo trata o solo da floresta como se fosse uma “esponja”, a qual se enche com a água da chuva e seca quando a floresta extrai água do solo através da evapotranspiração. Quando a água retida da esponja não é mais suficiente para abastecer a floresta, chega-se a um nível

(que chamamos de “limiar de inflamabilidade”), abaixo do qual a floresta fica inflamável. Este nível tem sido determinado por meio de medidas de campo em cinco tipos de floresta na Amazônia.

A capacidade dos diferentes tipos de solo de armazenarem água determina o número de dias sem chuva em que as florestas podem continuar liberando água para a atmosfera, pela evapotranspiração, sem atingir o limiar de inflamabilidade. As florestas com “esponjas” de maior capacidade de absorção podem adiar a perda de folhas e, conseqüentemente, a vulnerabilidade ao fogo, por períodos de seca maiores do que florestas com esponjas menos absorventes. Calculamos a capacidade de absorção de cada tipo de solo, como a diferença entre a quantidade de água armazenada no solo completamente abastecido (capacidade de campo) e a quantidade de água retida a tensões tão altas, que fica indisponível para as plantas (ponto de murchamento permanente). Calculamos a capacidade de “absorção da esponja” para diferentes tipos de solo da Amazônia (NEGREIROS *et al.*, 1998; POTTER *et al.*, 1998; NEPSTAD *et al.*, 1988b) por meio de dados de textura (proporção de areia, silte e argila) de 1.142 perfis de solo distribuídos em toda a bacia. Esses dados abasteceram equações empíricas que relacionam a textura às propriedades de retenção de água no solo (SAXTON *et al.*, 1986; TOMASELLA e HODNETT, 1998). Quando o solo está completamente abastecido de água após longos períodos de chuva intensa, a maioria das florestas da Amazônia pode continuar liberando vapor de água para a atmosfera através da evapotranspiração por vários meses, que seja necessário o seu reabastecimento pelas chuvas.

No modelo, as florestas permanecem resistentes ao fogo até que a evapotranspiração seque a “esponja”. Nesse limiar de inflamabilidade, a camada de combustível fino (folhas e gravetos) no chão da floresta pode

pegar fogo facilmente após curtos períodos de estiagem. O limiar de inflamabilidade pode ser determinado para cada tipo específico de floresta, pela realização de pequenos experimentos com fogo controlado em florestas com diferentes quantidades de água armazenada no solo, e é também definido quando o fogo experimental se espalha e consome a camada de combustível fino depositada no chão da floresta. Atualmente, estamos medindo o limiar de inflamabilidade em cinco tipos florestais: 1) floresta ombrófila densa, em Paragominas e na Floresta Nacional do Tapajós, no Pará; 2) floresta dominada por cipós, nos mesmos locais anteriores; 3) floresta aberta e 4) floresta de bambu, na mesma área e 5) floresta de transição, próximo a Santana do Araguaia, no Pará (Figura 1).

Medidas periódicas de radiação solar, temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento têm sido feitas nesses mesmos lugares, incluindo também a caracterização do combustível presente (altura, distribuição de classes de tamanho, teor de umidade e peso).

Exploração madeireira: A exploração seletiva de madeira faz com que as florestas fiquem mais vulneráveis ao fogo, pois, além de abrir o dossel, aumenta a quantidade de combustível no chão (UHL e KAUFFMAN, 1990). Os efeitos da exploração sobre a inflamabilidade estão diretamente relacionados ao volume de madeira extraído da floresta: exploração de alta intensidade influencia mais a suscetibilidade ao fogo que a baixa. O modelo RisQue incorpora os efeitos da exploração madeireira de acordo com as diferentes intensidade de extração.

Área desmatada: O RisQue também calcula a probabilidade de ocorrência de fogo em áreas já desmatadas. Essa previsão proporciona a informação do risco de fogo para a população rural da Amazônia, ajudando-a, assim,

a decidir quanto investir em prevenção e controle para proteger seus sistemas de produção agrícola e a infra-estrutura estabelecida na propriedades.

A previsão de risco de fogo em áreas já desmatadas requer uma abordagem diferente daquela desenvolvida para prever riscos de incêndios florestais. A inflamabilidade de pastagens, plantações, florestas secundárias e lavouras anuais é muito maior que a de florestas intactas (UHL e KAUFFMAN, 1990). Portanto, o risco é, em grande parte, uma consequência do modo como os proprietários usam o fogo em suas terras, dos investimentos que fazem em prevenção e dos registros recentes de precipitação. A hipótese é que o risco seja inversamente relacionado ao nível de investimento feito nas propriedades rurais. Em outras palavras, os investimentos em cercas, construções, reformas de pastagens, reflorestamento, sistemas agroflorestais e outros tipos de culturas perenes funcionam como um desestímulo ao uso do fogo e um incentivo para investimentos em prevenção e controle. Além disso, outros fatores tais como: a distância do mercado, a segurança da posse da terra e o absenteísmo do proprietário podem ser determinantes importantes do risco de incêndios. Atualmente, estudos do IPAM estão testando essa hipótese por meio de entrevistas com proprietários de terras, combinadas com análises de imagens de satélite. Desta forma, será possível, comparar o nível de investimento feito nas propriedades rurais com a história recente de ocorrência de fogo. Assim, a identificação dos principais indicadores da tendência dos proprietários de utilizar o fogo como ferramenta de manejo e investir em prevenção e em controle (por exemplo, a fertilização, o uso de trator no manejo da terra e o plantio de árvores) serão comparadas. Alguns indicadores que estão sendo testados são: uso de fertilizantes, uso de tratores e áreas reflorestadas. Esses indicadores permitem a utilização de dados do censo

agropecuário e de outros levantamentos periódicos na estimativa do grau de risco para os municípios da Amazônia. Esse risco seria ajustado em função dos padrões recentes de precipitação.

Paralelamente ao desenvolvimento desse modelo econômico de previsão de risco em áreas já desmatadas, o IPAM em colaboração com o Instituto Internacional para o Meio Ambiente e o IIED, está testando seu possível uso como indicador dos dados sobre focos de calor captados pelos sensores AVHRR dos satélites da NOAA (Seção 3.1). Altas concentrações de calor indicam, geralmente, presença significativa de atividade agrícola com o uso de fogo. Quando essas altas concentrações de focos são localizadas próximo à área de florestas identificadas como inflamáveis pelo modelo de “limiar de flamabilidade”, o risco de incêndio florestal, conseqüentemente, se eleva. Os dados de focos de calor tornar-se-ão mais úteis, à medida que mais antenas receptoras dos sinais do NOAA sejam instaladas na região. Já existem antenas instaladas em Cuiabá, Belém e em Lima, no Peru. Essas antenas proporcionarão a cobertura completa da Amazônia e uma redundância de medidas que deverão evitar a perda de dados quando uma das estações apresentar problemas de funcionamento.

4.2 RisQue: um mapa sobre o risco de incêndios

O poderoso evento *El Niño* de 1997 e 1998 provocou uma das piores secas na Amazônia durante a estação seca de 1997 e uma precipitação abaixo da média no ano seguinte. Essa redução acentuada das chuvas secou os solos de grandes áreas de floresta e criou um enorme potencial para a ocorrência de incêndios florestais rasteiros durante a estação seca de 1998. O IPAM alertou o governo sobre essa ameaça em uma audiência pública realizada no Congresso Nacional em março de 1998.

Uma das respostas do governo foi solicitar assistência para identificar as regiões na Amazônia onde o risco era mais elevado. Para atender a essa necessidade urgente, várias instituições (IPAM, WHRC, AMAZON, INPE e NASA-Ames) uniram-se para desenvolver uma versão preliminar do modelo RisQue e identificar aquelas áreas de floresta que estariam mais vulneráveis a incêndios durante a estação seca de 1998. O mapa chamado naquele período de “RisQue98” foi desenvolvido por meio dos procedimentos descritos anteriormente (Figura 26; NEPSTAD *et al.*, 1998b). Foram utilizados dados de focos de calor do satélite NOAA/AVHRR para 1997 e a precipitação acumulada de 1997 até maio de 1998. O AMAZON forneceu estimativas sobre áreas de floresta submetidas a exploração madeireira, e a NASA-Ames os cálculos da capacidade de retenção de água dos solos, por meio de novas equações desenvolvidas por TOMASELLA e HODNETT (1998). Os resultados deste esforço foram recentemente publicados (NEPSTAD *et al.*, 2004).

O mapa RisQue98 indicou que aproximadamente 207.000 km² de floresta estavam sob risco de incêndio no final da estação seca de 1998 (novembro). Ou seja, nesse período, essas florestas já teriam esgotado completamente a água disponível para as plantas, armazenada no solo até uma profundidade de 5 metros (Figura 27). As maiores áreas de floresta sob risco foram localizadas no leste e no sul do Estado do Pará. Essas mesmas áreas também apresentaram altas densidades de focos de calor identificados pelo satélite NOAA em 1997 e, portanto, com grande chance de serem incendiadas por queimadas agrícolas descontroladas (Figura 27). A área total de floresta sob risco “alto e muito alto”, em novembro de 1998, foi estimada em 400.000 km². (Figura 27). No ano de 2001 (dezembro) uma área maior ainda foi submetida a um risco elevado de fogo (NEPSTAD *et al.*, 2004).

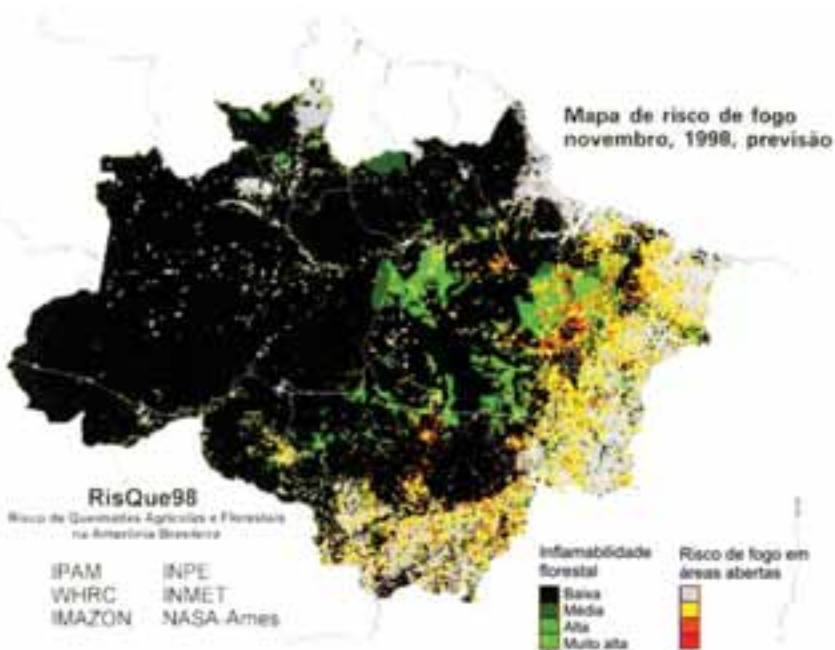


Figura 27 - Mapa de risco de incêndio, *RisQue*, para o mês de novembro de 1998.

A susceptibilidade da floresta ao fogo é dividida em três categorias, de acordo com a estimativa da quantidade de água armazenada no solo que está disponível para as plantas, até uma profundidade de cinco metros. As florestas que, em novembro, já tinham esgotado toda a água do solo estavam sob “risco muito alto” de pegarem fogo, enquanto aquelas com 0 a 15 mm de água foram classificadas sob “risco alto”. As florestas sob risco “intermediário” foram aquelas estabelecidas sobre solos contendo ainda de 151 a 300mm de água. Já os riscos de terras desmatadas sofrerem incêndios foram baseados na frequência da ocorrência de focos de incêndios (bot pixel) no ano de 1997. Para análises mais atuais, veja (NEPSTAD et al., 2004).

O ano de 1998 foi, portanto, um primeiro alerta sobre os efeitos negativos do fogo descontrolado na Amazônia. Naquele ano, as florestas no Estado do Tocantins e no nordeste de Mato Grosso (ilha do Bananal), na região de Redenção e em Marabá,¹³ no sul do Estado do Pará queimaram intensamente. Todas estas áreas foram classificadas como de “risco muito alto”. No entanto, incêndios também ameaçaram as florestas do leste do Acre, onde a previsão do mapa foi de um “baixo risco”. Essa diferença aparece porque as previsões feitas pelo mapa RisQue98 foram baseadas na premissa de que a previsão de chuvas de maio a novembro fosse igual às médias históricas de precipitação.¹⁴ De fato, a real ocorrência de chuvas durante esse período foi abaixo da média no Acre e em partes do Mato Grosso e sudeste do Pará. Por essa razão, o mapa certamente subestimou a área de floresta vulnerável a incêndios na estação seca de 1998.

¹³ Veja, 11 de setembro de 1998.

¹⁴ O RisQue98 foi desenvolvido em maio de 1998, usando os dados de chuva coletados em 11 de maio.

5. Soluções para o problema do fogo na Amazônia

5.1. Introdução

O fogo é uma característica inseparável das fronteiras de ocupação agrícola na Amazônia. Todo ano, milhões de agricultores e fazendeiros incendiam áreas de floresta derrubada e, com isso, liberam cinzas para o solo que fertilizam a lavoura ou queimam pastagens infestadas de plantas invasoras, o que favorece a produção de gramíneas (capins). O problema do fogo torna-se muito sério quando queima além dos limites desejados e ocasiona grandes prejuízos para os proprietários de terra e para a sociedade em geral.

É tentador apontar os agricultores e os fazendeiros que usam o fogo nos seus sistemas de produção como responsáveis pelos incêndios na Amazônia; no entanto, são muitos fatores que fazem do fogo um elemento tão importante nesses sistemas. Seu uso é uma prática de manejo da terra muito atraente nas fronteiras de ocupação da Amazônia, onde a terra é abundante mas a mão-de-obra e o capital são usualmente escassos. Assim, o problema com o fogo continuará até que a queimada deixe de ser o meio mais eficiente de implementar lavouras de subsistência, de converter florestas em pastagens e de reduzir a invasão de plantas invasoras. Como consequência, os sistemas intensivos agrícola e florestal que não dependem do fogo como ferramenta de manejo são atualmente menos competitivos em relação aqueles extensivos e dependentes do fogo.

O desenvolvimento de soluções para o problema do incêndio na Amazônia deve, portanto, começar com o reconhecimento de que o fogo é atualmente um aspecto crônico e anual da Amazônia rural. O

problema apresenta-se como uma “emergência” para a sociedade brasileira somente quando uma seca severa e/ou a intensificação de uso de fogo na agricultura acabam por aumentar, de maneira alarmante, a ocorrência de incêndios durante um período específico. No entanto, essas situações “emergenciais” têm acontecido regularmente a cada dois ou cinco anos (1988, 1992, 1995, 1997, 1998 e 2001), o que amplifica o conceito de “emergência”. A busca de soluções para o problema do fogo deve-se aproveitar da preocupação da sociedade que surge durante os anos de emergência, e redirecionar os processos políticos que alterem os caminhos futuros do desenvolvimento da região. Somente no contexto de uma abordagem coerente e de longo prazo é que podemos esperar uma redução gradual no uso do fogo pelos produtores rurais e um aumento gradativo de investimentos na prevenção e no controle de incêndios acidentais. Os programas emergenciais contra os incêndios, definidos nos anos de risco particularmente alto, só começarão a fazer sentido quando forem derivados, ou estiverem conectados, de uma abordagem estratégica e de longo prazo.

A seguir são analisadas as opções para reduzir a ocorrência de fogo na Amazônia. Uma breve revisão das técnicas e das abordagens para o combate ao fogo acidental é fornecida. Muitas já delas são empregadas por agricultores e fazendeiros em suas propriedades. Em seguida, são discutidas as necessidades de pesquisa e educação associadas com a avaliação e a disseminação dessas abordagens. Finalmente é avaliada a implementação de várias técnicas de prevenção e combate ao fogo dentro de um contexto de custos e benefícios econômicos. Dado que muitos benefícios oriundos dos investimentos que os proprietários rurais fazem na prevenção de incêndios estendem-se para a sociedade como um todo ou para seus vizinhos, as estratégias para reduzir os prejuízos não podem depender só do interesse do proprietário, principalmente quando há

uma total ausência de mecanismos efetivos para que se faça cumprir a legislação vigente. Em vez disso, tais estratégias devem estabelecer restrições nas formas como os proprietários usam suas terras, e devem proporcionar incentivos econômicos que encorajem mais investimentos preventivos ou reduzam o uso do fogo como uma prática de manejo da terra. As oportunidades legislativas e financeiras para encorajar essas mudanças no comportamento dos proprietários de terra são analisadas nesse contexto. A função potencial do planejamento de emergência também é discutida.

5.2. Prevenção e supressão de incêndios e queimadas

Técnicas de prevenção e supressão de incêndios usadas pelos proprietários rurais

É fato que o fogo acidental na Amazônia deve-se à falta de técnicas apropriadas para prevenção e supressão? Ao ler as reportagens sobre os incêndios ocorridos em Roraima em 1998, alguém pensaria que a resposta para essa questão é “sim”. Na verdade, técnicas para prevenir e controlar incêndios são conhecidas e bastante utilizadas na Amazônia. O conhecimento dessas técnicas reside entre agricultores, fazendeiros e madeireiros, que a cada estação seca são colocados face a face com perdas econômicas relacionadas ao fogo. Esse conhecimento autóctone tem recebido pouca atenção dos pesquisadores e ainda não foi absorvido pelas instituições governamentais responsáveis em defender o interesse público sobre os recursos naturais amazônicos. As técnicas em uso deveriam ser documentadas, rigorosamente avaliadas quanto à efetividade e à eficiência e incorporadas a programas de treinamento para agentes de extensão, agrônomos, engenheiros florestais e outros profissionais que lidam com recursos naturais na região. Esta seção

discute algumas das técnicas identificadas por meio de centenas de entrevistas conduzidas por pesquisadores do IPAM com proprietários de terra. Uma descrição mais detalhada pode ser encontrada no Apêndice II.

A primeira regra de prevenção e controle diz que “é melhor prevenir do que remediar”, ou seja, é mais fácil e barato controlar o fogo do que apagar o incêndio depois que está descontrolado. Os pequenos investimentos estratégicos feitos na prevenção de incêndios podem, assim, evitar os altos custos da necessidade de arremeter pessoas e equipamentos para combater incêndios em condições de emergência.

Como descrito anteriormente, o fogo requer combustível seco abundante próximo ao chão, muito oxigênio e uma fonte de ignição. As pastagens são os ecossistemas mais inflamáveis da Amazônia, pois gramíneas expostas à máxima ação de secagem do sol tornam-se altamente inflamáveis (UHL e KAUFFMAN, 1990) e os ventos que varrem essas grandes áreas abertas proporcionam abundância de oxigênio. As técnicas para prevenir e controlar incêndios devem remover pelo menos um desses ingredientes essenciais à propagação do fogo para serem efetivas. As opções para essa remoção são muitas e com exigências variadas de mão-de-obra, capital e equipamentos.

A vegetação pode ser protegida por faixas de terra nua, das quais todo o combustível seja removido, isto é, os aceiros. Os aceiros representam a mais importante técnica para defender a vegetação contra o fogo. No entanto, é a de implementação mais cara. Como ilustrado no Capítulo 3, um pequeno fazendeiro gastaria, antecipadamente, a metade de seus lucros com a produção pecuária na preparação manual de aceiros ao

redor de uma pastagem de 100 hectares. Por essa razão, programas educativos que encorajam agricultores e fazendeiros a investir na preparação de aceiros correm o risco de estarem encorajando práticas que não são economicamente viáveis (Tabela 15), e, conseqüentemente, não são levados a sério pelos proprietários.

As campanhas educativas poderiam encorajar práticas com baixos custos de implementação. Uma técnica pouco utilizada e barata é o “contrafogo”. Para formá-lo, um fogo é provocado a favor do vento ao longo de uma faixa ao redor da área que está sendo queimada. Esse contrafogo tem o efeito de ampliar o tamanho do aceiro a um custo muito baixo (Apêndice II).

A “queimada fria”, caracterizada pelo início do fogo no final do dia, quando o teor de umidade da vegetação é alto e a umidade relativa do ar começa a subir, em princípio, pode parecer uma técnica barata; no entanto, há um custo grande associado, pois uma fração menor da vegetação é convertida em cinzas, o que pode impor reduções na produtividade da lavoura (Apêndice II).

Talvez, a técnica mais efetiva para controlar a propagação dos incêndios florestais é a faixa de “aceiro florestal”. Os pequenos agricultores controlam os incêndios rasteiros em suas florestas ao varrer o chão ao longo de trilhas estreitas e limpar os resíduos orgânicos. Esses aceiros impedem que as chamas se espalhem a um custo mais baixo do que aquele associado ao uso de tropas militares e helicópteros carregados de água.

Acordos entre vizinhos e comunidades locais

O maior desafio na implementação de técnicas de prevenção e controle de incêndios é reduzir os seus custos e a necessidade de mão-de-obra. Um dos caminhos mais promissores nesse sentido é o da cooperação entre proprietários vizinhos ou entre membros de comunidades de pequenos agricultores. Os tipos de acordo cooperativos que podem ser estabelecidos vão desde um acordo informal entre dois vizinhos, determinando que um avise ao outro quando um incêndio é identificado, até o estabelecimento de regras escritas que definam as maneiras de utilização do fogo, incluindo penalidades para os que não cumprirem os acordos estabelecidos. Em seguida, apresentamos uma breve descrição dos principais tipos de acordo encontrados na região amazônica e um estudo de caso sobre o regulamento de queimadas adotado por uma comunidade do Estado do Pará.

Acordos entre vizinhos: O acordo mais fácil de ser feito é aquele entre dois proprietários de terra vizinhos que têm um interesse comum em reduzir a ocorrência de incêndios nas suas propriedades. Com uma simples conversa, eles podem concordar em informar um ao outro as datas previstas para as queimadas e combinar um sistema de alerta caso ocorra riscos do fogo fugir ao controle. Desse modo, é possível que ambos se ajudem quando for necessário conter as queimadas e até dividam custos envolvidos na preparação de aceiros ao longo dos limites entre as duas propriedades. Tais acordos acontecem informalmente entre os proprietários de terra em toda Amazônia, mas a sua eficácia na redução da incidência de incêndios ainda tem de ser estudada. Em nossas entrevistas, detectamos que esse é geralmente o único tipo de acordo feito por grandes proprietários, uma vez que, raramente estão organizados em comunidades coesas, como acontece com a maioria das comunidades de pequenos agricultores.

Os acordos entre vizinhos mais elaborados podem incluir o planejamento espacial dos diferentes sistemas agrícolas para reduzir risco de incêndio. Os vizinhos podem concordar em deixar grandes blocos de floresta contínua ao longo das porções adjacentes de suas terras para impedir a propagação do fogo. Podem ainda, concordar em posicionar seus lotes de desmatamento em áreas contíguas e, assim, reduzir a quantidade de aceiros necessários para conter os incêndios.

O potencial desses acordos entre vizinhos pode ser exemplificado pelo fato ocorrido entre dois agricultores da comunidade de Del Rey, Paragominas, PA. Sr. Vicente e Sr. Arnaldo são vizinhos e, em 1996, decidiram estabelecer seus roçados lado a lado. Juntos, eles prepararam os aceiros e conduziram a queimada. Durante a queima, a divisão de tarefas consistiu em um deles executar o contrafogo a favor do vento, ao longo da fronteira dos lotes, e o outro a queimada também a favor do vento. Imediatamente após o incêndio, eles inspecionaram as áreas de floresta adjacentes ao lote e encontraram cinco locais onde o fogo havia escapado. Cada um desses incêndios descontrolados foi detido no aceiro que os agricultores fizeram antes da queimada a dez metros da borda da floresta.

Acordos comunitários: Existem numerosos tipos de acordos que podem ser feitos pelas comunidades de pequenos agricultores, com o objetivo de regular o uso do fogo pelos seus membros e planejar estratégias de combate, em casos de incêndio. Tais acordos foram desenvolvidos por algumas comunidades na Amazônia; muitas têm estabelecido “brigadas voluntárias” para combater incêndios em situação de emergência. O Grupo de Trabalho da Amazônia (GTA/Proteger), uma rede que envolve mais de trezentas organizações (www.proteger.org.br), conduziu, em 1998, um programa de treinamento de larga escala com o objetivo de encorajar

a formação de brigadas de incêndio e a adoção de técnicas de controle de fogo. Acordos mais complexos podem regular os tipos de queimada que são permitidos aos membros da comunidade, as medidas que devem ser tomadas para controlar o fogo e as providências a serem tomadas pela comunidade em casos de emergência. Um exemplo de acordo mais elaborado é descrito a seguir. Trata-se do Regulamento de Queimadas da comunidade agrícola de Del Rey.

O caso da comunidade Del Rey

Como muitas das comunidades agrícolas na fronteira de ocupação da Amazônia, Del Rey foi formada quando agricultores pobres emigraram para a Amazônia em busca de sustento via substituição da floresta por agricultura de corte e queima. O grupo original de agricultores dessa comunidade estabeleceu-se em uma área da qual foram expulsos por uma companhia de exploração de madeira que, ao término da exploração florestal, permitiu que eles voltassem a se estabelecer no mesmo local em 1989. Dois anos mais tarde, o evento El Niño de 1991-92 provocou uma seca severa em Del Rey e ao longo de todo o leste da Amazônia. Os 9.000 hectares de floresta da comunidade sofreram a ação do fogo quando as queimadas agrícolas e de pastagens ficaram fora de controle.

Em resposta aos prejuízos provocados pelos incêndios na comunidade, e por outros incêndios acidentais ocorridos nas áreas agrícolas próximas, o Sindicato dos Trabalhadores Rurais de Paragominas convidou o IPAM e o WHRC para trabalharem com os agricultores de Del Rey na redução da ocorrência de incêndios. A primeira parte do projeto, que contou com uma efetiva participação dos agricultores, envolveu o mapeamento dos limites da comunidade através de imagens de satélite. O mapa produzido identificou os lotes familiares, e as áreas queimadas também

foram usadas para iniciar os procedimentos legais de titulação da terra junto ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA).

As técnicas usadas pelos agricultores de Del Rey para prevenir o fogo acidental foram documentadas pelo acompanhamento do ciclo de cultivo de corte e queima em onze lotes familiares. Embora todos os agricultores soubessem como fazer aceiros para controlar o fogo, muitos deles não os utilizavam devido ao tempo e à energia requeridos para essa tarefa. Geralmente, são necessários muitos dias de trabalho árduo para abrir aceiros ao redor de um roçado típico. Mesmo quando abrem aceiros, muitos agricultores não derrubam as árvores mortas que permanecem em pé. Essas árvores aumentam o risco do fogo acidental, pois podem vir ao chão, ultrapassando os aceiros. Agem desta forma como verdadeiras pontes para o fogo. Para os agricultores, derrubar essas árvores é uma tarefa perigosa, pois há risco de serem atingidos por galhos que se desprendem durante o processo de corte do tronco principal.

Em Del Rey, a abordagem mais promissora para reduzir a ocorrência de fogo acidental foi melhorar a comunicação entre vizinhos. Muitos incêndios originam-se quando um lote agrícola é queimado sem que o dono do lote vizinho saiba disso. Uma grande disputa entre agricultores vizinhos, surgiu após um fogo acidental na estação seca de 1995, o que induziu os agricultores a convocarem todos para um amplo encontro comunitário. Eles decidiram estabelecer uma política de queimada para reduzir a incidência de fogo acidental por meio de um trabalho notável de organização local. Esse esforço traduziu-se em um conjunto de regras discutidas em sucessivos encontros, nos quais foram definidas e aprovadas, e deram origem ao “Regulamento de Queimadas da Colônia de Del Rey” (Figura 28).

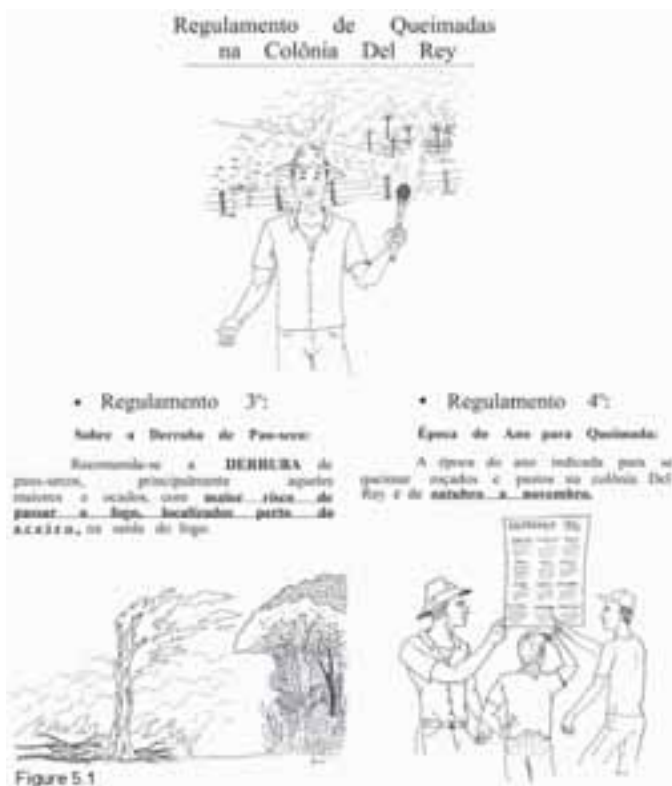


Figura 28 - Capa e duas páginas da brochura que contém o Regulamento de Queimadas da Colônia de Del Rey. O regulamento terceiro recomenda que as árvores mortas que permanecem em pé e próximas a aceiros sejam derrubadas antes da queimada. O de número quatro recomenda que queimadas agrícolas e em pastagem sejam feitas em outubro ou novembro. Outros regulamentos são obrigatórios, incluindo a preparação de aceiros ao longo das bordas da área a ser queimada e que estes estejam posicionados a favor do vento.

Esse regulamento requer que cada agricultor avise seus vizinhos, com oito dias de antecedência, a data em que fará uma queimada e que prepare aceiros nas florestas e nas pastagens adjacentes às novas aberturas planejadas. O regulamento também recomenda que se deve observar a direção prevaiente dos ventos na colocação de novos roçados e que seja evitada a proximidade dos mesmos com ecossistemas altamente inflamáveis, tais como pastagens. Ainda estabelece que vizinhos programem a queimada de seus lotes no mesmo período, e que árvores mortas em pé, com probabilidade de cair fora da área a ser queimada, sejam derrubadas antes de iniciar a queimada. Se um fogo descontrolado danificar a propriedade de um vizinho, o regulamento prevê compensações pelos danos, após um procedimento comunitário que identifique o responsável e averigue a extensão dos danos. Na estação seca de 1997, a Comissão de Queimadas de Del Rey, um comitê estabelecido pelo regulamento de queimadas formado por cinco pessoas da comunidade, supervisionou oito queimadas em lotes de agricultores e mediou as disputas envolvendo acidentes que por descuido tenham ocorrido. Em um dos casos, a comissão decidiu que um agricultor deveria pagar mil estacas de cerca a um vizinho como forma de ressarcimento pelos prejuízos causados pela falta de controle na queimada.

É muito cedo para afirmar que o “Regulamento de Queimadas de Del Rey” seja uma solução de longo prazo para o problema do fogo. O sucesso até o momento deve-se muito à dedicação de três agricultores que, incansavelmente, organizaram e promoveram encontros e encorajaram outros membros da comunidade a participar. As regras definidas no regulamento requerem um investimento substancial do já escasso tempo dos agricultores para que sejam implementadas. A exigência da abertura de aceiros, por exemplo, demanda muito tempo e não há garantia de que os agricultores permaneçam dispostos a continuar investindo anualmente neste tipo de técnica de prevenção. O futuro do

Regulamento depende também de melhorias na produtividade dos sistemas agrícolas usados pela comunidade, encorajando os agricultores a investirem mais na prevenção de incêndios.

Como estimular investimentos na prevenção de incêndios?

Como difundir acordos feitos pelos proprietários vizinhos e pelas comunidades de agricultores e encorajar o uso de técnicas de prevenção e supressão de incêndios? Mesmo as comunidades agrícolas mais remotas da Amazônia têm acesso à rádio AM. Programas educativos podem ser desenvolvidos utilizando esse vínculo. O IPAM produziu, em 1998, uma série de vinhetas para rádio intituladas “Cuidado com as queimadas”, que foram distribuídas a várias rádios AM da Amazônia e alcançaram boa aceitação. Manuais e cartilhas educativas são também ferramentas pelas quais as abordagens bem-sucedidas para a prevenção de incêndio acidental podem ser disseminadas. O imenso esforço de treinamento feito pelo GTA durante a estação seca de 1998 é outro exemplo de como informar aos produtores rurais a importância de fazerem investimentos em prevenção. Esses esforços de disseminação representam excelentes oportunidades de pesquisa para medir prováveis mudanças no comportamento dos agricultores e dos fazendeiros em resposta à informação recebida. Campanhas educativas podem contudo, causar um impulso temporário nos investimentos dos agricultores em aceiros, que podem vir a diminuir durante os anos subseqüentes devido aos consideráveis custos envolvidos. Há também que se discutir o modo como as campanhas são executadas e se são capazes de atender a demanda dos agricultores (COSTA, 2004).

Uma outra limitação do potencial dos programas educativos é a nossa falta de conhecimento sobre técnicas e arranjos institucionais mais eficientes, em termos da relação custo-benefício, para a prevenção e o

controle do incêndios. As técnicas de prevenção e supressão de incêndio descritas anteriormente estão sendo usadas na Amazônia, mas sua real eficácia não foi estudada, nem foram analisados os custos e os benefícios produzidos. Não temos conhecimento das circunstâncias sob as quais fica economicamente vantajoso para os proprietários de terra investir em vigilância do fogo e em planos de emergência. Esta informação é essencial para capacitar as autoridades públicas a alocarem os escassos recursos orçamentários destinados à prevenção de incêndios de forma realmente efetiva.

Não existem atalhos fáceis para transpor as enormes barreiras organizacionais e econômicas que impedem grupos de agricultores e fazendeiros da Amazônia de juntarem forças para reduzir a ocorrência de fogo em suas áreas. Falta de liderança, baixos níveis de participação e instabilidade das comunidades representam as maiores barreiras para a implementação dos regulamentos comunitários de queimadas. Um único agricultor recalcitrante, que se recusa a pagar a seu vizinho os prejuízos causados, pode arruinar o processo de implementação efetiva de um regulamento de queimadas, estabelecido por meio de inúmeros encontros comunitários realizados ao longo de vários meses.

O desenvolvimento da capacidade de manutenção de acordos comunitários é um processo de longo prazo. Pode ser acelerado pela intervenção de profissionais bem treinados e dedicados, dispostos a gastar grande parte do seu tempo trabalhando diretamente com as comunidades, em condições adversas de campo. Há uma grande escassez desses profissionais na Amazônia. Muitas escolas técnicas e universidades nas áreas de agronomia e floresta têm direcionado seus programas de formação para sistemas de produção industrial. Os engenheiros agrônomos e florestais da Amazônia sabem muito pouco

além de sua área acadêmica, e nenhum desses jovens profissionais é treinado no manejo do fogo nos sistemas de produção agrícola ou florestal. É necessária uma nova geração de agentes e pesquisadores de extensão que seja capaz de integrar uma variedade de disciplinas e que esteja interessada em trabalhar diretamente com comunidades de agricultores e, assim, enfrentar o desafio do desenvolvimento rural. Em particular, as comunidades precisam de ajuda para desenvolver a capacidade de se autogovernar não somente em relação ao uso do fogo, mas por toda gama de decisões a serem tomadas coletivamente.

As abordagens com base na organização comunitária para a redução do uso do fogo requerem mais do que somente uma nova geração de agentes de extensão e pesquisadores orientados de forma multidisciplinar. O contexto econômico e legislativo que direciona o desenvolvimento rural também pode ser mudado. As práticas econômicas e legislativas implementadas pelo governo podem criar um ambiente no qual produtores rurais usem sistemas agrícolas menos dependentes do fogo, sejam encorajados a investir em técnicas de prevenção e controle do mesmo e, assim, organizarem-se para reduzir a ocorrência de incêndio acidental. A seguir, são analisadas algumas das abordagens econômicas e legislativas para a redução de incêndios, através de uma breve discussão teórica das decisões econômicas tomadas pelos produtores nas fronteiras de ocupação da Amazônia.

5.3. O fogo no contexto das fronteiras de ocupação da Amazônia

O fogo como ferramenta intrínseca nas fronteiras de ocupação

O fogo é a ferramenta básica de manejo extensivo da terra nos trópicos. Promove o desperdício de nutrientes, recursos florestais e ameaça os investimentos feitos em sistemas de produção agrícola e florestais. Mas o fogo também é uma forma rápida e barata de limpar a terra, de produzir cinzas ricas em nutrientes para o solo e de reduzir a incidência de plantas invasoras e pragas. O uso do fogo faz sentido quando a terra e a floresta são abundantes e baratas. O fogo é, portanto, um componente intrínseco do modelo atual de ocupação da Amazônia rural, no qual recursos naturais, tais como a terra e a floresta, são vistos como mercadoria ilimitada que pode e deve ser extraída, e não como recurso que deva ser manejado cuidadosamente. A solução a longo prazo para o problema dependerá de um modelo alternativo de desenvolvimento regional que favoreça maiores investimentos de mão-de-obra e capital e intensificação do uso de áreas menores de terra.

Práticas extensivas de uso da terra tais como a pecuária, a exploração de madeira e a agricultura de corte e queima são comuns nos primeiros estágios de evolução das fronteiras de ocupação agrícola, quando os altos custos de transporte impedem uma agricultura intensiva que seja orientada para o mercado, como representado na Figura 29a (BOSERUP, 1965; VAN THUNEN 1866, citado em SCHNEIDER, 1993). Nesse cenário, a terra é abundante e disponível para aqueles que estão dispostos a ocupá-la praticando formas extensivas de uso. Os principais fatores limitantes da produção são mão-de-obra e capital, pois os recursos terra e floresta são praticamente gratuitos. O incentivo para que fazendeiros, madeireiros ou agricultores invistam na prevenção e no controle do

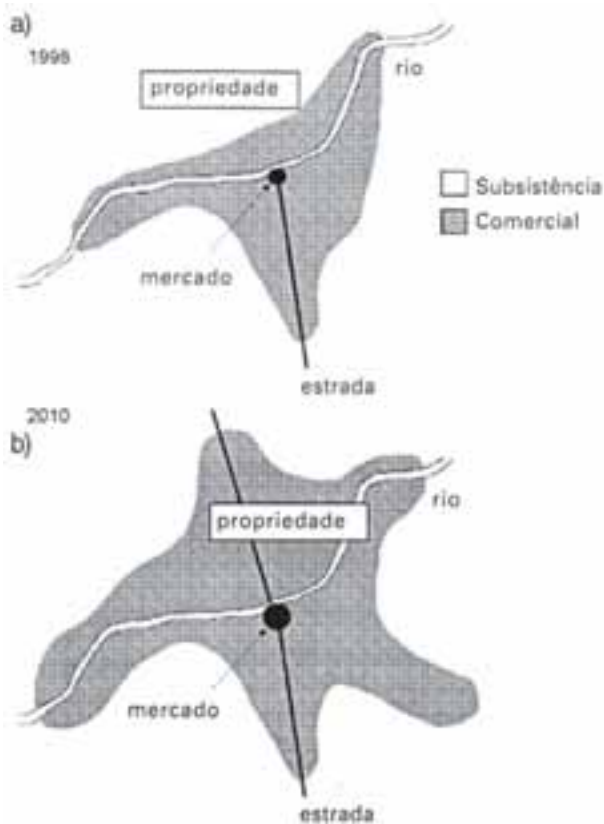


Figura 29 a e b - a) Como em qualquer fronteira de ocupação, a Amazônia é pontuada de zonas comerciais, ao redor das quais se desenvolvem sistemas agrícolas intensivos e orientados para o mercado. b) Com o aumento da distância dos mercados ou com o aumento da dificuldade de acesso, os sistemas tornam-se menos intensivos e tendem a focalizar-se sobre atividades de subsistência e sistemas de pecuária extensiva, ambos dependentes do fogo como instrumento de manejo. Com o passar do tempo, os sistemas rodoviários vão melhorando, as linhas de energia elétrica são estendidas para a zona rural. Assim, a zona de produção, orientada para o mercado expande-se. É possível que o uso do fogo decline com este processo de evolução agrícola, o qual deve estimular, por sua vez, a prevenção de incêndios.

fogo é muito pequeno, pois os recursos ameaçados (terra e floresta) têm pouco valor.

Na medida em que a fronteira se expande e os sistemas organizados de comercialização são estabelecidos, a rentabilidade (e a intensidade) dos sistemas de produção cresce e o preço da terra geralmente aumenta (Figura 29b). Nesse cenário, a agricultura de subsistência é geralmente substituída por sistemas agrícolas mais lucrativos, quando produtores orientados para o mercado deslocam produtores de subsistência que passam a orientar-se de forma semelhante e, conseqüentemente, eleva-se o valor da terra. Esses novos proprietários normalmente não fazem uso do fogo para manejar suas terras, pois, além do controle difícil, ele é ameaça real para altos investimentos. O papel do fogo é substituído pelo uso de fertilizantes químicos, herbicidas e mecanização agrícola.

Os custos e os benefícios do uso do fogo e da prevenção de incêndios: um referencial teórico

A lógica do uso do fogo na fronteira de ocupação agrícola da Amazônia, pode ser melhor entendida em termos de custos e benefícios relacionados ao uso dessa ferramenta. Como citado anteriormente, o fogo traz benefícios para os proprietários rurais pela rápida conversão dos nutrientes presentes na biomassa em cinza fértil, o que favorece os capins, reduz populações de plantas invasoras e pragas e limpa os resíduos lenhosos da derrubada da floresta. Contra esses benefícios, contudo, estão os vários custos associados com a perda de nutrientes pela fumaça e com o risco de que o fogo escape ao controle e danifique cercas, pastagens, lavouras, plantações de árvores e florestas. Há também custos para os vizinhos e para a sociedade em geral, tais como: perdas locais de produção em áreas vizinhas, problemas de saúde provocados pela fumaça, danos às

linhas de transmissão de energia elétrica, fechamento de aeroportos e, em escala global, liberação de carbono para a atmosfera, que acontece quando a biomassa é queimada. Esses custos podem ter pouca influência no comportamento individual dos proprietários rurais. Assumindo que os proprietários de terra da Amazônia usam o fogo de forma racional, teoricamente só irão utilizá-lo quando os benefícios particulares excederem os custos, também particulares, da queimada. Portanto, a tendência de usar o fogo como técnica de manejo, provavelmente diminuirá quando o valor produtivo da terra e as perdas potenciais associadas com os incêndios aumentarem (Figura 30a). Por exemplo, fazendeiros que plantam pastagens com espécies de capim sensíveis ao fogo (por exemplo, *Brachiaria brizantha*) tipicamente abandonam o seu uso como técnica de manejo da pastagem¹

Nesse mesmo sentido, o proprietário somente investirá na prevenção de incêndios no momento em que um investimento adicional gere um benefício adicional ou, pelo menos, de igual valor. Em outras palavras, investimentos na prevenção de incêndio serão feitos quando o custo marginal privado do investimento, for igual ao benefício marginal privado obtido ao evitar-se os prejuízos relacionados ao fogo. Em geral, esperamos que os proprietários demonstrem maior disponibilidade de investir em prevenção (aceiros e outras práticas) e em controle do fogo quando perceberem que a probabilidade de incêndios acidentais está momentaneamente mais alta, devido a uma seca prolongada ou ao aumento da atividade agrícola de corte e queima. De forma similar, os proprietários que investiram intensamente em reforma de pastagem com espécies sensíveis ao fogo como *Brachiaria brizantha*, ou em cultivos e infra-estrutura de alto valor, deveriam estar mais dispostos a investir em prevenção de incêndio para proteger seus bens, pelo simples fato de terem mais a perder (Figura 30 a).

O entendimento da lógica econômica de uso e controle do fogo na Amazônia deve levar em conta outra variável muito importante: os vizinhos. Quando um proprietário (A) faz grandes investimentos em aceiros para prevenir que suas queimadas escapem, ou para evitar que seus campos e florestas peguem fogo, parte do benefício desse investimento é conferida gratuitamente ao vizinho (B). Se o proprietário B não fizer nenhum investimento na prevenção de fogo, os investimentos do proprietário A trarão benefícios privados mais baixos, pois seus campos e suas florestas correm o risco de queimar com o fogo originado na propriedade de B. Os benefícios derivados dos investimentos na prevenção serão maiores quando ambos os proprietários investirem igualmente em técnicas de prevenção, tais como aceiros ao longo dos limites entre as duas propriedades.

Os benefícios dos investimentos feitos na prevenção de incêndios são acumulados pelos proprietários, por seus vizinhos e pela sociedade em geral, mas os custos geralmente são assumidos apenas por alguns. Atualmente, todo o ônus da prevenção de incêndios recai sobre as costas dos proprietários de terra, o que produz um tipo de investimento sub-ótimo. Nesse caso, podemos esperar que os proprietários não levem em consideração os danos potenciais dos fogos que possam vir a escapar de suas terras para as propriedades vizinhas, principalmente na ausência de mecanismos efetivos para responsabilização por prejuízos causados.

De forma similar, proprietários de terra podem ignorar inteiramente os impactos mais amplos do fogo sobre os serviços não-comerciais prestados pela floresta, tais como: manutenção de estoques de carbono, serviços hidrológicos, conservação do solo e da água, ou mesmo as implicações da fumaça para a saúde. A diferença entre os benefícios marginais privado e social dos investimentos em prevenção e controle de incêndios é mostrada na Figura 30b, que também apresenta os níveis

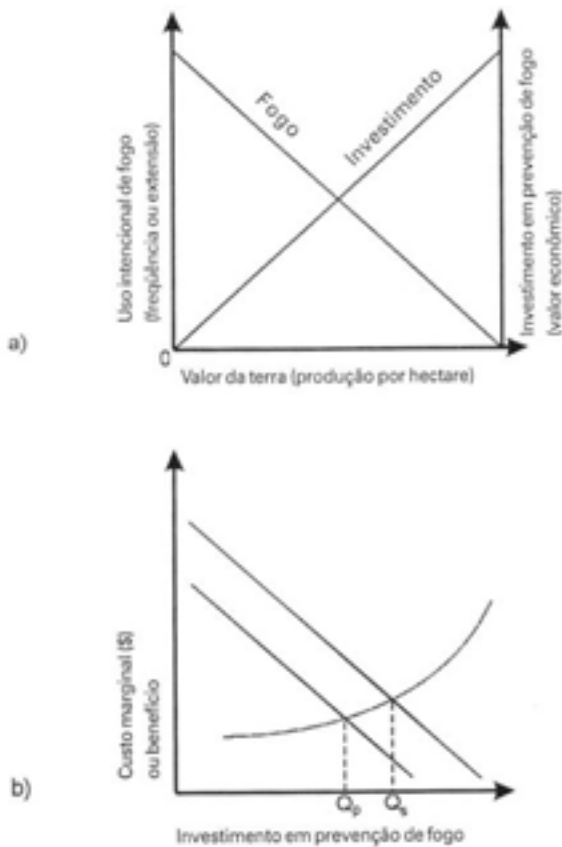


Figura 30 - a) Modelo qualitativo sobre os custos e os benefícios da prevenção de incêndios. É provável que os agricultores e os fazendeiros façam um uso menor do fogo e invistam em prevenção quando a intensidade e o valor da produção aumentam, pois os prejuízos econômicos associados ao eventual incêndio acidental são mais altos no sistema mais produtivo. b) O nível ótimo de investimentos na prevenção é igual ao benefício marginal gerado para o proprietário de terra. Porém, esses proprietários geralmente escolhem um nível mais baixo de investimento na prevenção, pois não consideram certos benefícios a longo prazo e socialmente mais favoráveis, tais como os riscos reduzidos de incêndio na terra do vizinho, a proteção da biodiversidade e os valores futuros da madeira.

de investimentos teoricamente considerados “ótimos”, do ponto de vista da sociedade.

A lacuna entre as perdas particulares e sociais associadas aos incêndios é fixa. Os proprietários de terra podem ser induzidos a absorver todos os custos da prevenção de incêndios por meio de regulamentação e arranjos institucionais apropriados. Esse deveria ser o foco das iniciativas para reduzir o impacto do fogo na Amazônia.

5.4. Políticas públicas

Políticas públicas são ferramentas que o governo usa para conciliar os interesses coletivos da sociedade com as necessidades e as ambições particulares de cada um de seus membros. Elas são uma parte fundamental de qualquer estratégia para tratar o problema do fogo na Amazônia. É importante salientar que o fogo não é apenas uma questão ambiental na Amazônia. Por ser uma das ferramentas básicas de uso extensivo da terra, o fogo é ao mesmo tempo a causa e o resultado de um modelo do desenvolvimento baseado na extração predatória de recursos naturais. As tentativas de mudar o atual modelo de uso dos recursos naturais de uma abordagem predatória para uma abordagem sustentável dependem diretamente da integração das políticas voltadas para o desenvolvimento econômico e para a colonização da região com aquelas desenhadas para a conservação dos recursos naturais.

O processo de formulação de políticas de conservação e desenvolvimento verdadeiramente integradas deveria ser guiado pela lógica da utilização eficiente dos recursos naturais e da divisão equitativa dos direitos, das responsabilidades e dos benefícios advindos de seu uso. São necessárias políticas que incentivem o aumento da produtividade agrícola nas áreas já

desmatadas e desestimulem o uso predatório dos recursos florestais. Alguns dos elementos-chave dessa integração de políticas podem ser identificados na literatura sobre o desenvolvimento da Amazônia (MAHAR 1989; HECHT, 1985; SCHNEIDER 1993; SCHIMINK e WOOD 1992). Esses elementos incluem o direito à posse da terra, o planejamento da infra-estrutura, o estabelecimento de áreas protegidas e a adoção de programas de crédito.

As políticas de posse da terra devem ser direcionadas para a concessão de títulos de terra em áreas de colonização agrícola. Tais títulos, uma vez entregues aos colonos, devem ajudá-los a ter acesso ao crédito que precisam para investir em suas terras. Dessa forma, criam-se um novo desestímulo para o uso do fogo e incentivos para a prevenção de incêndios. A posse legal da terra pode favorecer formas mais intensivas de uso, pois aumenta a certeza do usufruto do retorno dos investimentos feitos. A concessão de títulos legais nos primeiros estágios de desenvolvimento da fronteira, que faculta aos colonos o acesso ao crédito agrícola, pode ser um incentivo à prevenção e ao controle no uso do fogo. No entanto, as políticas devem ser desenhadas de modo a prevenir a especulação imobiliária, dado que a rápida titulação também pode tornar mais fácil a comercialização de lotes e aumentar a pressão por novas áreas. A prática de falsificação de títulos de terra (grilagem) é por si só uma das forças condutoras da expansão das fronteiras de ocupação na Amazônia (SCHMINK e WOOD 1993, 1992).

As decisões dos governantes de estabelecer infra-estrutura em regiões de floresta não-colonizadas são decisões políticas para expandir as fronteiras de ocupação que levam a um aumento do problema do fogo e do uso predatório dos recursos naturais da Amazônia. A construção de rodovias, redes de energia elétrica, hidrovias, ferrovias, gasodutos, barragens de hidroelétricas, além da concessão de licenças para

mineração, leva pessoas para regiões florestais remotas, expandindo a fronteira de ocupação e incorporação de novas áreas no mercado de terras. Essa expansão da fronteira diminui ainda mais o valor da terra, favorecendo formas extensivas de agricultura que geram retornos altos em vista do pequeno capital investido (e mão-de-obra). Esse tipo de estratégia requer oferta contínua de novas áreas para serem viáveis economicamente, pois dependem do baixo preço da terra (SCHNEIDER, 1993). Os investimentos governamentais em infraestrutura na Amazônia deveriam concentrar-se em regiões já colonizadas, o que favorece a intensificação do uso da terra. Por exemplo, o melhoramento da rede de estradas locais nessas regiões pode reduzir custos de transporte, aumentando a lucratividade dos sistemas de produção agrícola orientados para o mercado.

O aumento da área de floresta efetivamente protegida também pode impedir a expansão das fronteiras de ocupação. A velha idéia de se estabelecer parques e reservas em 10% da floresta Amazônica pode contribuir para a redução de oferta de áreas florestais. A atual exigência legal que 80% da área das propriedades maiores que 1.000 hectares seja mantida como reserva florestal é outra medida que pode auxiliar na diminuição da taxa de expansão da fronteira. No entanto, a legislação excede a atual capacidade de implementação do governo. Essa legislação poderia ser usada para reduzir diretamente a inflamabilidade das paisagens agrícolas na Amazônia se fosse modificada para exigir que as áreas de reservas legais circundassem as terras agrícolas das propriedades, formando aceiros gigantes, diminuindo assim a probabilidade de queimadas descontroladas incendiarem propriedades vizinhas.

Finalmente, os programas de crédito agrícola poderiam encorajar a intensificação dos sistemas de uso da terra suportados pela assistência técnica, pelas facilidades de comercialização, pelos sistemas de transporte melhorados e por outras medidas desenhadas para capacitar e engajar as instituições locais em iniciativas comerciais. Esses programas devem ser implementados em estreita conexão com programas que favoreçam a proteção das florestas. Caso contrário, aumentos na lucratividade dos sistemas de produção agrícola podem servir para estimular a conversão de florestas. Esse tópico é discutido com maior profundidade a seguir.

A defesa do interesse público no uso dos recursos naturais amazônicos e os impactos causados pelo fogo requerem abordagens legislativas e econômicas. Analisaremos, a seguir, o potencial de cada uma dessas abordagens para tratar o problema do fogo na Amazônia.

Abordagens legislativas

A legislação ambiental brasileira deu passos importantes em 1998. Recentemente, a maioria das multas e/ou penalidades administrativas impostas aos infratores pelos órgãos ambientais, era anulada pelos tribunais por falta de uma base legal. Esse obstáculo foi superado com a aprovação da lei de crimes ambientais¹⁶ em fevereiro de 1998. Essa legislação foi fundamental para fortalecer a atuação dos órgãos na ação fiscalizadora e fixarem legalmente soluções penais e administrativas para vários atos lesivos ao meio ambiente. Contudo, o artigo que criminalizava o ato de fazer ou usar fogo em florestas e em outras formas de vegetação sem tomar as devidas precauções para evitar a sua propagação foi vetado pelo presidente da República. Com tal veto, o uso do fogo continua a ser regido pelo artigo 26 do Código Florestal de

1965,¹⁷ que caracteriza o ato como um contravenção penal, forma jurídica mais branda que o crime. Em outras palavras, do ponto de vista legal, o uso descuidado do fogo, que acarreta os incêndios em florestas, é uma ofensa menor do que danificar plantas ornamentais em áreas públicas ou privadas, um crime que tem pena de prisão estipulada em três a doze meses.

De certa forma, essa deficiência poderia ser superada com base no princípio da “responsabilidade objetiva” estabelecido na Lei da Política Nacional do Meio Ambiente,¹⁸ que prevê que aquele que causar algum dano ao meio ambiente terá o dever de repará-lo. Um proprietário que coloca fogo em sua pastagem, com ou sem autorização legal, e este fogo danifica a propriedade do vizinho ou áreas públicas, é legalmente responsável pelos prejuízos e deve compensar o vizinho ou o governo pelos danos sofridos. Na prática, essa legislação é muito difícil de ser aplicada. Não há nenhum precedente legal estabelecendo valores para os serviços ambientais prestados pela floresta (manutenção dos ciclos hidrológicos, prevenção de erosão de solos, etc.), e a maioria das pessoas afetadas pelo fogo não tem fundos para contratar especialistas para documentar os prejuízos relacionados ao mesmo. Também é extremamente difícil provar como os incêndios começaram e, conseqüentemente, apontar responsabilidades. Essa importante legislação pode ser reforçada pela atribuição de responsabilidades coletivas. Por exemplo, o governo federal poderia manter uma autoridade local, tal como uma comunidade ou um município, responsável por perdas sofridas pela sociedade advindas de um incêndio florestal, o que forçaria essa autoridade a determinar um mecanismo prático para penalizar os proprietários particulares de terra que cometem tal incêndio.

¹⁶ Lei 9.605/98.

¹⁷ Lei 4.771/65.

¹⁸ Lei 6.938/81.

O decreto presidencial de julho de 1998¹⁹ estabeleceu regulamentos para o uso do incêndio em todo o país e incorporou alguns conceitos inovadores tais como o reconhecimento da queimada coletiva comunitária (“queima solidária”) e a suspensão temporária da permissão de uso de fogo em caso de emergência. No caso da permissão do uso do fogo, o decreto estabelecia que os produtores deveriam obter autorização prévia dos órgãos ambientais antes da realização de qualquer tipo de queimada. Por exemplo, se um pequeno produtor desejasse queimar 2 hectares de sua propriedade para plantio de mandioca e milho, deveria se dirigir ao órgão ambiental mais próximo (IBAMA, Secretaria Estadual ou Municipal de Meio Ambiente) com trinta dias de antecedência da data prevista para a queimada, preencher um formulário com informações sobre a natureza da queimada e comprovar a propriedade da área onde a queimada vai ser realizada, além de indicar ter capacidade para fazer aceiros de 3 metros ao redor da área e dispor de pessoal treinado e de equipamentos para evitar a propagação do fogo fora dos limites estabelecidos. Dentro da realidade amazônica as exigências desse decreto foram elevadas demais. A maioria dos produtores provavelmente desconhecia a necessidade de obter autorização para queimar, uma vez que reside distante da sede do órgão ambiental, não tem como comprovar a posse da terra e só conta com a mão-de-obra familiar para preparar aceiros e controlar o fogo. O decreto previa ainda que os órgãos ambientais deveriam expedir as autorizações no prazo máximo de quinze dias após a solicitação, fazendo vistoria prévia em áreas que contiverem restos florestais e/ou limítrofes a áreas de proteção, além de enviar técnicos para acompanhar as queimadas autorizadas. Um pequeno exemplo pode dar a dimensão dessa tarefa: na Amazônia, todas as queimadas feitas pelos pequenos produtores após a derrubada da mata contêm restos florestais e, portanto, teriam

¹⁹ Decreto 2.661/98.

de ser vistoriadas previamente, ou seja, para cumprir esse ponto do decreto, os órgãos ambientais teriam de ter capacidade de vistoriar, previamente, centenas de milhares de propriedades a cada ano em toda a região. Um dos maiores problemas na implementação da legislação ambiental no Brasil é a falta de capacidade institucional instalada. No caso da Amazônia, essa situação é ainda mais deficitária, sendo que, geralmente, as instituições locais não têm estrutura para dar orientações técnicas aos produtores e/ou para realizar vistorias.

O estabelecimento do diálogo político é um dos mecanismos pelos quais a sociedade civil pode influenciar as políticas públicas. Em abril de 1998, um seminário regional realizado em Belém reuniu representantes de organizações não-governamentais, agências governamentais e a comunidade financeira regional para discutir o problema do fogo e suas potenciais soluções.²⁰ Desse encontro emergiu a “Carta de Belém”, documento que elenca os principais problemas relacionados com o fogo e sugere algumas soluções. Essa carta foi apresentada para o governo brasileiro e reconhecida em uma audiência pública do Congresso Nacional como “base da abordagem do IBAMA para o problema do fogo na Amazônia”.²¹ Ela também parece ter influenciado o decreto presidencial que reconheceu a “queimada solidária”, uma das recomendações feitas na carta. A eventual emergência de políticas adequadas para enfrentar o problema na Amazônia dependerá, portanto, de continuadas demandas bem articuladas da sociedade civil.

²⁰ A maioria das organizações não-governamentais participantes trabalha com pequenos produtores rurais.

Os governos ao redor do mundo estão usando cada vez mais incentivos econômicos (instrumentos baseados no mercado) como uma ferramenta importante de políticas ambientais. Instrumentos econômicos cuidadosamente desenhados podem ser um meio eficiente de proteger o meio ambiente, seja por taxas de poluição, taxas de uso, licenças negociáveis, reforma de subsídios ambientalmente “perversos” ou outras medidas orientadas pelo mercado. No caso do fogo na Amazônia, políticas dessa natureza poderiam ser vantajosas em relação às atuais abordagens legislativas punitivas. Incentivos econômicos aos produtores da Amazônia que encorajam investimentos em sistemas agrícolas que não utilizem fogo e/ou em estratégias de prevenção e controle de fogo podem ter um potencial muito maior de mudança de comportamento no uso da terra, do que multas e outras punições. Atualmente, nenhum dos programas de crédito rural na Amazônia deixa claro o incentivo para prevenção e controle de fogo.

Políticas de crédito rural já existentes, tais como o Fundo Constitucional do Norte (FNO), o Programa de Apoio à Reforma Agrária (PROCERA) e o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF) poderiam incluir o custeio e o investimento de técnicas e equipamentos de prevenção e de combate ao fogo em seus programas de financiamento de empreendimentos agrícolas e florestais. Essas mudanças podem ser facilmente implementadas, uma vez que esses programas têm autonomia própria e não dependem de modificações legais. No caso de financiamentos direcionados a comunidades rurais, como o Programa de Apoio à Produção Agrícola em Comunidades da Amazônia (PAGRI), o incentivo poderia ser direcionado para estimular a adoção de regulamentos de uso do fogo, por meio do financiamento de infra-estrutura

²¹ Eduardo Martins, presidente do IBAMA.

e equipamentos básicos para o gerenciamento do fogo e do custeio de comissões de fogo.

Algumas pequenas mudanças poderiam também ser incorporadas às políticas fiscais e tributárias já em vigor na região. A utilização de fogo deveria ser proibida nos projetos agropecuários aprovados no âmbito do Fundo de Investimento da Amazônia (FINAM), direcionado a empresas de todo o país, sob pena de suspensão imediata dos benefícios que contemplam, por exemplo, a redução do imposto de renda em até 75% por dez anos. A isenção de impostos (ICMS e IPI) na compra de equipamentos poderia ser utilizada para incentivar a adoção de regulamentos de fogo na comunidade e para a criação de brigadas de combate a incêndios no nível municipal.

Na Tabela 16 estão resumidas as sugestões de mudanças para a incorporação de incentivos à prevenção e ao controle do fogo acidental nas principais políticas financeiras e fiscais relevantes para a região amazônica. As sugestões apresentadas concentram-se, principalmente, em incentivos que visem à diminuição dos custos de prevenção para os produtores. O incentivo à prevenção pode parecer apenas um paliativo para o problema, uma vez que a solução definitiva seria eliminar o uso do fogo na produção. No entanto, as mudanças tecnológicas necessárias para a eliminação do uso do fogo tais como a aplicação de adubos e o uso de máquinas demandam grandes investimentos de recursos financeiros e mão-de-obra, muitas vezes incompatíveis com a realidade de grande parte dos produtores amazônicos.

Tabela 16 - Resumo das sugestões de mudanças na atual política econômica que poderiam reduzir o uso de fogo e os incêndios acidentais em sistemas florestais e agrícolas.

Política	Proposta de mudança	Efeito Antecipado	Tipo de Produtor Afetado	Agências Envolvidas
FNO (Especial Normal, Prodex, Prorural).	<ul style="list-style-type: none"> - Financiamento para prevenção de fogo/métodos de controle e equipamentos; - incorporar seguro contra incêndio; - proibição de queimadas durante períodos de alto risco; - financiamento para comunidades que proponham regulamentação de fogo. 	<ul style="list-style-type: none"> - reduz custos da prevenção e controle de incêndios; - encoraja o emprego de técnicas de prevenção; - encoraja a comunidade em acordos para prevenção de fogo. 	<ul style="list-style-type: none"> - pequenos agricultores; - médios e grande proprietários de terra; - empresa de reflorestamento; - madeireiras. 	BASA SUDAM, EMATER.
PROCERA (já em operação)	<ul style="list-style-type: none"> - financiamento de cercas, aceiros e recuperação de pastagens; - proibição de queimadas durante períodos de alto risco como condição para liberação de fundos. 	<ul style="list-style-type: none"> - reduz custos de prevenção de incêndio; - reduz uso de fogo em períodos de alto risco. 	<ul style="list-style-type: none"> - pequenos agricultores incluídos no programa de reforma agrária. 	INCRA, MMA.
PRONAF BNDES (PAI E FINAME)	<ul style="list-style-type: none"> - como acima; - financiamento de prevenção de incêndio/métodos de controle e equipamentos; - inclusão de cláusula que proíbe o uso do fogo no manejo de pastagem; - processo de requerimento deve incluir o risco de fogo da região (veja Cap. 4). 	<ul style="list-style-type: none"> - como acima; - como acima; - reduz uso de fogo no manejo de pastagens; - baixa prioridade para projetos em regiões de alto risco (p. ex., com seca severa). 	<ul style="list-style-type: none"> - pequenos agricultores; - médios e grandes proprietários de terra e empresas; - madeireiras. 	MA, SAGRI e BNDES
FINAM (para criação animal e projetos florestais).	<ul style="list-style-type: none"> - priorizar iniciativas para promover mudanças tecnológicas (p. ex., usinas de produção de adubo ou fertilizantes fosfatados); - incluir cláusula que proíbe o uso do fogo no manejo da pastagem; - processo de requerimento deve incluir o risco de fogo da região (Cap. 4). 	<ul style="list-style-type: none"> - reduz custos de tecnologias que substituem o uso do fogo; - reduz fogo como ferramenta de manejo; - baixa prioridade para projetos em regiões de alto risco (seca severa). 	<ul style="list-style-type: none"> - fazendeiros e pecuaristas em geral. 	SUDAM

Política	Proposta de mudança	Efeito Antecipado	Tipo de Produtor Afetado	Agências Envolvidas
PAGRI	- auxiliar comunidades que desejam implementar regulamentação de fogo, adquirir equipamento de controle de incêndio, e/ou implementar práticas de combate a incêndios.	- encoraja a comunidade de agricultores a criar e a implementar regulamentação de incêndios.	- comunidades de pequenos agricultores.	SUDAM, governos municipais.
FRD	- financiar municípios que propõem a adoção de planos de prevenção e controle de incêndios.	- encoraja e dissemina o manejo do fogo por governos locais.	- municípios sob a influência da CVRD.	BNES, governos municipais.
Impostos (ICMS, IPI, II)	- isenção de impostos sobre equipamentos para prevenção e controle de incêndios.	- reduz o custo de equipamentos de prevenção e controle de fogo e encoraja a regulamentação de fogo pela comunidade.	- municípios, comunidades e associações de agricultores.	Governo estadual, Receita Federal.

Os instrumentos econômicos podem representar, a longo prazo, uma ferramenta importante na substituição do atual uso do fogo por outras formas de manejo, principalmente na intensificação da agricultura nas áreas já transformadas. Combinados com uma política de desenvolvimento que fortaleça a infra-estrutura de transporte, energia, saúde e educação nestas áreas, em vez de priorizar a abertura de novas fronteiras, estes instrumentos podem viabilizar economicamente muitas das iniciativas de intensificação produtiva na região, tais como os sistemas agroflorestais, a pecuária intensiva (MATTOS & UHL 1994) e o manejo florestal sustentável (BARRETO *et. al.*, 1998).

Um primeiro passo na direção dessa integração de políticas foi dado no âmbito do governo federal, com a criação do Conselho Nacional da Amazônia Legal (CONAMAZ), criado em 1995. Esse conselho é integrado por todos os ministérios federais e pelos governos dos nove estados amazônicos e tem a atribuição de formular, acompanhar e coordenar a implementação da política nacional integrada para a Amazônia. Na prática,

foi realizado um rápido levantamento sobre ações, programas e políticas existentes para a região, mas a internalização dentro do próprio governo da concepção de integração de políticas moldadas às peculiaridades socioambientais da região, ainda é uma realidade distante. Novamente, a questão do fogo é apontada como uma excelente oportunidade para colocar em prática o discurso da conciliação entre desenvolvimento e conservação.

Sistemas de advertência de risco de fogo

Os numerosos danos ecológicos e econômicos causados pelo fogo na Amazônia podem diminuir se os proprietários da região reduzirem o uso do fogo e investirem mais na prevenção, quando o risco de incêndio é alto. Atualmente, cada proprietário dá o seu próprio palpite de qual deve ser tal risco de fogo ou se devem ou não construir aceiros. A capacidade de prever o risco de fogo, portanto, seria de grande ajuda para os proprietários, ao favorecer a decisão de quando queimar suas áreas e de quanto investirem em aceiros, contratar ou treinar equipes de combate ao fogo e planejar estratégias de prevenção com os seus vizinhos.

A previsão do risco de fogo é uma poderosa ferramenta para o governo em suas tentativas de reduzir a ocorrência de incêndios. As dimensões da Amazônia são enormes em vista do número de controle de funcionários, veículos e outros recursos disponíveis para implementar a prevenção e o controle de incêndios. Nesse cenário, as previsões sobre a severidade do risco de fogo em diferentes partes da Amazônia são fundamentais para orientar a tomada de decisão sobre onde investir os escassos recursos governamentais, e quando são necessários recursos adicionais.

Sistemas de advertência de riscos de fogo foram desenvolvidos em vários países. O sistema norte-americano (National Fire Danger Rating System – NFDRS) e o canadense (Fire Wether Index System – FWIS) combinam dados sobre o clima, as características do combustível em vários tipos de ecossistemas e o comportamento do fogo, para gerar índices de risco que são revisados e atualizados diariamente (Veja PYNE *et al.*, 1996). Milhões de pessoas que visitam áreas públicas nos Estados Unidos, por exemplo, encontram nas entradas destas áreas grandes sinais com a avaliação de risco mais recente e codificada em cores distintas. Muitas são cobradas de quem usa o fogo quando ele não é permitido pelo nível de risco indicado.

É necessário um grande investimento em pesquisa sobre fogo para que o Brasil desenvolva um sistema semelhante para a Amazônia. Os sistemas norte-americano e canadense são frutos de décadas de pesquisa e dúzias de carreiras científicas que produziram modelos numéricos para os ecossistemas mais vulneráveis a incêndios. Esses modelos incorporam informações sobre a propagação do incêndio, a energia liberada pelo fogo, a inflamabilidade do ecossistema e os fatores humanos para extensa variedade de condições climáticas.

Em comparação, a previsão de risco de incêndios na Amazônia está no seu início. O RisQue (Figura 27) e suas versões mais atuais (NEPSTAD *et al.*, 2004) é o primeiro mapa que integra dados de precipitação, tipos de solo e medições em campo nas florestas Amazônicas e, com isso, busca identificar áreas vulneráveis ao fogo. Suas previsões são baseadas em dados de cerca de sessenta estações climáticas, se comparado às mais de mil estações que alimentam o sistema norte-americano. Muitas das premissas e algoritmos utilizados na construção do RisQue devem ser verificadas sob condições de campo e modificados quando novos

dados forem obtidos. Até que um programa nacional de pesquisa sobre o fogo seja estabelecido no Brasil, a previsão dos incêndios na Amazônia dependerá de modelos semelhantes ao RisQue.

Uma abordagem promissora para a previsão de risco poderia envolver diretamente os proprietários rurais. As comunidades agrícolas e os fazendeiros poderiam auxiliar na coleta de dados de precipitação e textura do solo. Um tipo de “conjunto”, incluindo medidores de volume de chuva, calculadoras e ferramentas para retirada de amostras do solo e formulários padronizados, seria disseminado entre os produtores por meio de programas de extensão rural. Esses dados seriam reunidos e enviados aos centros de pesquisa para alimentar as equações de cálculo do risco de incêndio. Essa abordagem transporia uma das mais sérias barreiras para a avaliação do risco de incêndio, que é a insuficiência de dados de chuva na região amazônica.

A curto prazo, um “sistema de advertência antecipada do *El Niño*” funcionaria como um possível *El Niño*. As temperaturas da superfície do oceano Pacífico começam a aquecer aproximadamente seis meses antes do início dos distúrbios climáticos relacionados ao fenômeno (tal como a seca Amazônica). A disseminação de alertas antecipados sobre a ocorrência do El Niño daria tempo para que os proprietários de terra da Amazônia incorporassem a perspectiva de seca severa no seu planejamento do manejo de suas terras.

Programas de emergência

Em 1998, o governo brasileiro conseguiu grandes progressos no desenvolvimento de sua capacidade para reagir a situações de alto risco de incêndio florestal. Num programa envolvendo o IBAMA, o INPE, o

Exército e a Aeronáutica, a Defesa Civil, as brigadas locais de combate ao incêndio e várias outras instituições, o governo foi capaz de responder à perspectiva de uma severa estação seca em 1998. Foi realizado monitoramento do fogo através de satélite, e equipes de combate a incêndios foram enviadas para áreas de floresta e queimadas em municípios com alto risco de fogo.

No entanto, não se pode reduzir substancialmente o problema do fogo na Amazônia por meio de planos de emergência com a ação de tropas nas florestas, ou com água jogada de aviões tanque. Dezenas de milhares de queimadas são feitas na Amazônia a cada estação seca, e milhares de quilômetros quadrados de floresta queimam em centenas de incêndios florestais invisíveis aos satélites. Simplesmente não existe contingente na Defesa Civil e no Corpo de Bombeiros suficiente para extinguir os incêndios que ardem por milhares de quilômetros abaixo das copas das florestas da região. Considerando que esses incêndios florestais rasteiros podem arder imperceptivelmente por semanas, o combate direto ao fogo torna-se praticamente impossível.

Qualquer plano de emergência para prevenir e controlar incêndios florestais durante períodos de alto risco deve ter, como ponto central, os produtores rurais da Amazônia. Este é o único segmento da sociedade brasileira que tem mão-de-obra suficiente, maquinário e presença ao longo da vasta fronteira Amazônica é, assim, capaz de detectar e suprimir fogos extensamente distribuídos. Os agricultores contêm incêndios florestais ao fazerem aceiros, limpam o combustível de resíduos orgânicos do chão da floresta e monitoram essas florestas durante semanas para evitar que novos incêndios sejam reiniciados a partir de troncos em combustão lenta. As grandes fazendas, usualmente, têm acesso a tratores de esteiras e podem fazer rapidamente aceiros. O mais importante é que esses produtores sejam incentivados a prevenir e a suprimir incêndios florestais. Dessa perspectiva,

o primeiro passo na preparação para períodos de emergência quando vastas áreas de floresta provavelmente estarão mais vulneráveis a incêndios destrutivos será alertar os produtores rurais do risco de incêndio iminente. Tropas munidas de mangueiras proporcionam excelente material para a televisão, mas pouco podem fazer para reduzir os danos causados por incêndios na maior floresta tropical do mundo.

6. Conclusão

O fogo está profundamente arraigado na estrutura cultural e econômica da Amazônia. É a ferramenta básica pela qual agricultores de subsistência sobrevivem em regiões remotas da floresta, e os grandes proprietários de terra reclamam e defendem seus direitos de propriedade e previnem o ressurgimento da floresta em suas pastagens. Na ausência da capacidade do governo em implementar uma efetiva regulamentação e seu uso nessa vasta fronteira de ocupação. As estratégias para reduzir as queimadas na região devem, assim, tratar do papel central desempenhado pelo fogo nas vidas dos habitantes da Amazônia.

Não há mecanismos rápidos para resolver o problema do fogo na Amazônia. A longo prazo, a solução dependerá das mudanças fundamentais das fronteiras de ocupação; mudanças que servem para reduzir a taxa de expansão da fronteira e estimular a intensificação dos sistemas de produção agrícola e florestal nas regiões já colonizadas. É necessária uma redução dramática na disponibilidade de novas áreas florestadas para persuadir os produtores amazônicos a usar menos o fogo e a investir mais vigorosamente em sua prevenção e controle e a manejar seus recursos naturais com mais sensatez. Vista de uma outra forma, a extensão das rodovias, das hidrovias e das redes de energia elétrica em áreas remotas é a melhor maneira de perpetuar o uso do fogo e a exploração predatória dos recursos naturais da região.

No entanto, existem várias razões para acreditar que os piores efeitos do fogo foram reduzidos. Os agricultores e os fazendeiros da região sofrem perdas econômicas substanciais com o fogo descontrolado. O fogo faz parte da cultura vigente, mas os amazônidas rurais mais do que ninguém querem uma solução para o problema. A ironia é que a

maioria desses produtores simplesmente não tem, ou não conhece, outra maneira de preparar a terra para o cultivo. Se o “suprimento” de floresta virgem fosse menor, provavelmente os agricultores e os fazendeiros fariam maiores investimentos em suas áreas já desmatadas e investiriam em cercas, culturas perenes, reforma de pastagem e, com isso, utilizariam cada vez menos o fogo como ferramenta. A perspectiva de diminuir a velocidade de expansão das fronteiras de ocupação ou de fechá-las completamente é uma tarefa monumental, sem precedentes na história da civilização humana. No momento, após três décadas de rápida colonização, é pouco provável que a história de expansão da fronteira amazônica represente essa exceção.

O desafio é encontrar meios mais efetivos para manter nos produtores o empenho de prevenir e controlar o fogo, pelo menos até que a intensificação agrícola proporcione a redução do incentivo à queimada. O interesse comum em uma paisagem com menos incêndios e fumaça e menores riscos para investimentos feitos na terra é a semente das soluções para o problema do fogo na Amazônia.

Bibliografia

- Barreto, P., P. Amaral, E. Vidal e C. Uhl. 1998. Costs and benefits of forest management for timber production in eastern Amazonia. *Forest Ecology and Management* 108: 9 - 26.
- Boserup, E. 1965. *The Conditions of Agricultural Growth*. London. Earthscan.
- Buschbacher, R., C. Uhl e E. A. S. Serrão. 1988. Abandoned pastures in eastern Amazonia II. nutrient stocks in the soil and vegetation. *Journal of Ecology* 76: 682 - 699.
- Chazdon, R.L., R.W. Pearcy, D.W. Lee e N. Fetcher. 1996. Photosynthetic responses of tropical forest plants to contrasting light environment. Em: *Tropical Forest Plant Ecophysiology*, S. S. Mulkey, R. L. Chazdon e A. P. Smith (eds.), pp. 5 - 55. Chapman & Hall, New York.
- Cochrane, M. A. e M. D. Schulze. 1999. Fire as a recurrent event in tropical forests of the eastern Amazon: effects on forest structure, biomass, and species composition. *Biotropica*. 31: 2-16.
- Cochrane, M. A. e C. M. Souza Jr. 1998. Linear mixture model classification of burned forests in the eastern Amazon. *Int.J.Remote Sensing*. 19: 3433-3440.
- Cochrane, T. T. e P. A. Sánchez. 1982. Land resources, soils and their management in Amazonia: a state of knowledge report. Em: *Amazônia: Agriculture and Land-use Research*, S. B. Hecht (ed.), pp. 137 - 287. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colômbia.
- Conselho Nacional da Amazônia Legal – CONAMAZ. 1998. *Síntese das Ações para a Implementação de Política Nacional Integrada para a Amazônia Legal (Período de 1995 a 1997)*. MMA/Secretaria de Coordenação da Amazônia, Brasília – DF.
- Costa, L. M. 2004. O Alerta Verde: Disputas de Sentido e Poder nas Campanhas de Prevenção a Incêndios Florestais na Amazônia. Em: *Comunicación, Tecnología y Desarrollo: Debates Actuales*; Cimadevila, G. (Ed.), Universidad Nacional de Rio Cuarto.

Cymerys, M., P. Shanley e L. Luz. 1997. Quando a caça conserva a mata. *Ciência Hoje* 22 (129): 22 - 24.

Dias Filho, M., E.A. Davidson e C.R. de Carvalho. 2000. Linking biogeochemical cycles to cattle pasture management and sustainability in the Amazon basin. Em: *The Biogeochemistry of the Amazon Basin*, M. E. McClain, R. L. Victoria, e J. E. Richey (eds.), Oxford University Press, New York.

Fearnside, P. M. 1993. Deforestation in Brazilian Amazonia: The effect of population and land tenure. *Ambio* 22(8): 537 - 545.

Fearnside, P. M. 1997. Greenhouse gases from deforestation in Brazilian Amazonia: net committed emissions. *Climatic Change* 35: 321 -360.

Fetcher, N., S. F. Oberbauer e B. R. Strain. 1985. Vegetation effects on microclimate in lowland tropical forest in Costa Rica. *International Journal of Biometeorology* 29: 145 - 155.

Friend, G.R. 1993. Impact of fire on small vertebrates in mallee woodlands and heathlands of temperate Australia: a review. *Biological Conservation* 65: 99 - 114.

Hecht, S. B. 1985. Environment, development and politics: capital accumulation and the livestock sector in eastern Amazonia. *World Development* 13: 663 - 684.

Hecht, S. B. 1993. The logic of livestock and deforestation in Amazonia. *BioScience* 43 (10): 687 - 695.

Holdsworth, A. R. e C. Uhl. 1997. Fire in Amazonian selectively logged rain forest and the potential for fire reduction. *Ecological Applications* 7 (2): 713 - 725.

Homma, A. K. O. 1992. The dynamics of extraction in Amazonia: a historical perspective. *Advances in Economic Botany* 9: 23 - 32.

Homma, A. K. O. 1998. *Amazônia: Meio Ambiente e Desenvolvimento Agrícola*. EMBRAPA, Brasília, Brasil.

Houghton, R. A. 1997. Terrestrial carbon storage: global lessons for Amazonian research. *Ciência e Cultura* 49 (1/2): 58 - 72.

IBGE 1985. *Anuário Estatístico Brasileiro*. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) 1997. Desflorestamento 1995-1997. São José dos Campos, São Paulo, Brasil.

Jipp, P., D. Nepstad, K. Cassel e C. R. Carvalho. 1998. Deep soil moisture storage and transpiration in forests and pastures of seasonally-dry Amazonia. *Climatic Change* 39 (2-3): 395 - 412.

Johns, J., P. Barreto e C. Uhl. 1996. Logging damage in planned and unplanned logging operations and its implications for sustainable timber production in the eastern Amazon. *Forest Ecology and Management* 89 (1-3): 59 - 77.

Jordan, C. F. 1985. *Nutrient Cycling in Tropical Forest Ecosystems*. John Wiley & Sons, New York.

Kapos, V. 1989. Effects of isolation on the water status of forest patches in the Brazilian Amazon. *Journal of Tropical Ecology* 5: 173 -185.

Kapos, V., G. Ganade, E. Matsui e R.L. Victoria. 1993. $\delta^{13}\text{C}$ as an indicator of edge effects in tropical rainforest reserves. *Journal of Ecology* 81: 425 - 432.

Kauffman, J. B. 1991. Survival by sprouting following fire in tropical forests of the eastern Amazon. *Biotropica* 23 (3): 219 - 224.

Kauffman, J. B. 1994. Relationships of fire, biomass and nutrient dynamics along a vegetation gradient in the Brazilian cerrado. *Journal of Ecology* 82: 519 - 531.

Kauffman, J. B., C. Uhl e D. L. Cummings. 1988. Fire in the Venezuelan Amazon 1: Fuel biomass and fire chemistry in the evergreen rainforest of Venezuela. *Oikos* 53: 167 - 175.

Kauffman, J. B., D. L. Cummings, D. E. Ward e R. Babbitt. 1995. Fire in the Brazilian Amazon: biomass, nutrient pools, and losses in slashed primary forests. *Oecologia* 104 (4): 397 - 409.

Kauffman, J. B., D. L. Cummings e D. E. Ward. 1998. Fire in the Brazilian Amazon 2. Biomass, nutrient pools, and losses in cattle pastures. *Oecologia* 113: 415 - 427.

Laurance, W. F., L. V. Ferreira e T. E. Lovejoy. 1997. Biomass collapse in Amazonian forest fragments. *Science* 278: 1117.

Lean, J. e D. A. Warrilow. 1989. Simulation of the regional climatic impact of Amazon deforestation. *Nature* 342: 411 - 413.

Mahar, D. J. 1989. *Government Policies and Deforestation in Brazil's Amazon Region*. The World Bank, Washington, D.C.

Malingreau, J. e C. J. Tucker. 1988. Large-scale deforestation in the southeastern Amazon Basin of Brazil. *Ambio* 17 (1): 49 - 55.

Matson, M. e J. Dozier. 1981. Identification of subresolution high temperatures sources using thermal IR sensors. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 47: 1311 - 1318.

Matson, M., S. R. Schneider, B. Aldridge e B. Satchwell. 1984. *Fire detection using NOAA-series satellite*. NOAA Technical Report NESDIS-7. NOAA, Washington, DC.

Mattos, M. M. e C. Uhl. 1994. Economic and ecological perspectives on ranching in the eastern Amazon. *World Development* 22 (2): 145 -158.

Meggers, B. J. 1994. Archeological evidence for the impact of Mega-Niño events of Amazonia during the past two millennia. *Climate Change* 28: 321 - 338.

Mendonça, M.J.C., M.D.C.V. Diaz, D. Nepstad, R. Seroa da Moita, A. Alencar, J.C. Gomes, R.A. Ortiz. 2004. The Economic Cost of the Use of Fire in the Amazon. *Ecological Economics* 49: 89-105.

Moran, E., E. Brondizio, P. Mausel e Y. Wu. 1994. Deforestation in Amazonia: land use change from ground and satellite level perspectives. *BioScience* 44 (5): 329 - 338.

Moutinho, P. R. 1995. Acabar com a saúva, mas nem tanto. *Ciência Hoje* 18: 10 - 11.

Moutinho, P. R. 1998. Impactos da formação de pastagens sobre a fauna de formigas: conseqüências para a recuperação florestal na Amazônia oriental. Em: *Floresta Amazônica: Dinâmica, Regeneração e Manejo*, C. Gascon e P. R. Moutinho (eds.), pp. 155 - 170. INPA, Manaus.

Moutinho, P., D. C. Nepstad e E. A. Davidson. 2003. Leaf-cutting Ants (*Atta Sexdens*) influence on soil, root distribution and tree growth in a secondary forest of eastern Amazonia. *Ecology* 84A: 1265 - 1276.

Negreiros, G. N., D. C. Nepstad e E. A. Davidson. 1998. Profundidade mínima de enraizamento das florestas na Amazônia brasileira. Em: *Floresta Amazônica: Dinâmica, Regeneração e Manejo*, C. Gascon e P. R. Moutinho (eds.), pp. 121 - 130. INPA/IPAM, Manaus.

Nelson, B. 1992. *Natural Forest Disturbance and Change in the Brazilian Amazon*. INPE, São José dos Campos, SP.

Nelson, B. 1994. Natural forest disturbance and change in the Brazilian Amazon. *Remote Sensing Reviews* 10: 105 - 125.

Nelson, B. e M. N. Irmão. 1998. Fire penetration in standing Amazon Forests. Proceedings, IX Brazilian Remote Sensing Symposium, pp. 13 - 18. Santos, SP, Brasil.

Nepstad, D. C., C. Uhl e E. A. S. Serrão. 1991. Recuperation of a degraded Amazonian landscape: forest recovery and agricultural restoration. *Ambio* 20 (6): 248 - 255.

Nepstad, D. C., C. R. de Carvalho, E. A. Davidson, P. Jipp, P. Lefebvre, G. H. Negreiros, E. D. da Silva, T. Stone, S. Trumbore e S. Vieira. 1994. The role of deep roots in the hydrological and carbon cycles of Amazonian forests and pastures. *Nature* 372: 666 - 669.

Nepstad, D. C., P. Jipp, P. Moutinho, G. Negreiros e S. Vieira. 1995. Forest recovery following pasture abandonment in Amazonia: Canopy seasonality, fire resistance and ants. Em: *Evaluating and Monitoring the Health of Large-Scale Ecosystems*, D. Rapport (ed.), pp. 333-349. NATO ASI Series, Springer-Verlag, New York.

Nepstad, D. C., P. R. Moutinho, C. Uhl, I. C. Vieira e J. M. C. da Silva. 1996a. The ecological importance of forest remnants in an eastern Amazonian frontier landscape. Em: *Forest Patches in Tropical Forest Landscapes*, J. Schelhas e R. Greenberg (eds.), pp. 133 - 150. Island Press, Washington, DC.

Nepstad, D. C., C. Uhl, C. A. Pereira e J. M. Cardosa da Silva. 1996b. A comparative study of tree establishment in abandoned pasture and mature forest of eastern Amazonia. *Oikos* 76: 25 - 39.

Nepstad, D. C., C. Klink, C. Uhl, I. Vieira, P. Lefebvre, M. Pedlowski, E. Matricardi, G. Negreiros, I. F. Brown, E. Amaral, A. Homma e R. Walker. 1997. Land-use in Amazonia and the cerrado of Brazil. *Ciencia e Cultura* 49(1/2): 73 - 86.

Nepstad, D. C., C. Uhl, C. A. Pereira e J. M. C. da Silva. 1998a. Barreira ao estabelecimento de árvores em pastos abandonados na Amazônia: banco de sementes, predação de sementes, herbívora e seca. Em: *Floresta Amazônica: Dinâmica, Regeneração e Manejo*, C. Gascon, e P. R. Moutinho (eds.), pp. 191 - 218.

Nepstad, D. C., A. G. Moreira, A. Veríssimo, P. Lefebvre, P. Schlesinger, C. Potter, C. Nobre, A. Setzer, T. Krug, A. C. Barros, A. Alencar, J. R. Pereira. 1998b. Forest fire prediction and prevention in the Brazilian Amazon. *Conservation Biology* 12(5): 951 - 953.

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

Nepstad, D. C., P. Lefebvre, V.L. da Silva, J. Tomasella, P. Schlesinger, L. Solorzano, P. Moutinho, D. Ray. 2004. Amazon drought and its

implication for forest flammability and tree growth: A basin-wide analysis. *Global Change Biology* 10: 1-14.

Nobre, C. A., P. J. Sellers e J. Shukla. 1991. Amazonian deforestation and regional climate change. *Journal of Climate* 4: 957 - 988.

Potter, C. S., E. A. Davidson, S. A. Klooster, D. C. Nepstad, G. H. Negreiros e V. Brooks. 1998. Regional application of an ecosystem production model for studies of biogeochemistry in the Brazilian Amazon. *Global Change Biology* 4: 315 - 333.

Pyne, S. J., P. L. Andrews e R. D. Laven. 1996. *Introduction to Wildland Fire*. Wiley & Sons, New York.

Richards, P. W. 1952. *The Tropical Rain Forest. An Ecological Study*. Cambridge University Press, London.

Richter, D. D. e L. I. Babbar. 1991. Soil diversity in the tropics. *Advances in Ecological Research*. 315 - 389.

Robinson, J. 1989. On uncertainty in the estimation of global emissions from biomass burning. *Climatic Change* 14: 243 - 262.

Robinson, J. 1991. Fire from space: global fire evaluation using infrared remote sensing. *International Journal of Remote Sensing* 12: 3 - 24.

Salati, E. e R. Vose. 1984. Amazon basin: A system in equilibrium. *Science* 225: 129 - 138.

Salati, E. e C. Nobre. 1991. Possible climatic impacts of tropical deforestation. *Climatic Change* 19: 177 - 198.

Saldarriaga, J. G., D. C. West, M. L. Tharp e C. Uhl. 1988. Long-term chronosequence of forest succession in the upper Rio Negro of Columbia and Venezuela. *Journal of Ecology* 76: 938 - 958.

Salomão, R. P., D. C. Nepstad e I. C. G. Vieira. 1996. Como a biomassa de florestas tropicais influi no efeito estufa? *Ciência Hoje* 21 (123): 38 - 47.

Sanford, R. L., J. Saldarriaga, K. Clark, C. Uhl e R. Herrera. 1985. Amazon rain-forest fires. *Science* 227: 53 - 55.

Saxton, K. E., W. J. Rawls, J. S. Romberguer e R. I. Papendick. 1986. Estimating generalized soil-water characteristics from texture. *Journal of the American Soil Science Society* 50: 1031 - 1036.

Schmink, M. e C. Wood. 1992. *Contested Frontiers in Amazonia*. Columbia University Press, New York.

Schneider, R. 1993. *Land Abandonment, Property Rights, and Agricultural Sustainability in the Amazon*. The World Bank Latin America Technical Department Environment Division, Washington, DC.

Schroeder, P. E. e J. K. Winjum. 1995. Assessing Brazil's carbon budget: I. Biotic carbon pools. *Forest Ecology and Management* 75: 77 - 86.

Serrão, E. A. S., I. C. Falesi, J. B. de Vieiga e J. F. Teixeira Neto. 1979. Productivity of cultivated pastures on low fertility soils in the Amazon of Brazil. Em: *Pasture Production in Acid Soils of the Tropics*, P. A. Sanchez e L. E. Tergas (eds.), pp. 195 - 225. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colômbia.

Serrão, E. A. S. e J. M. Toledo. 1990. The search for sustainability in Amazonian pastures. Em: *Alternatives to Deforestation: Steps toward Sustainable Utilization of Amazon Forests*, A. B. Anderson (ed.). Columbia University Press, New York.

Setzer, A. W., M. C. Pereira, A. C. Pereira Jr. e S. A. O. Almeida. 1988. *Relatório de atividades do projeto IBDF-INPE SEQUE – ano de 1987*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Ministério da Ciência e Tecnologia, INPE/MCT.

Setzer, A. W. e M. C. Pereira. 1991. Amazonia biomass burnings in 1987 and an estimate of their tropospheric emissions. *Ambio* 20 (1): 19 - 22.

Shukla, J., C. A. Nobre e P. Sellers. 1990. Amazon deforestation and climate change. *Science* 247: 1322 - 1325.

- Silva, J. M. C., C. Uhl e G. Murray. 1996. Plant succession, landscape management, and the ecology of frugivorous birds in abandoned Amazonian pastures. *Conservation Biology* 10 (2): 491 - 503.
- Skole, D. L., W. H. Chomentowski, W. A. Salas e A. D. Nobre. 1994. Physical and human dimensions of deforestation in Amazonia. *BioScience* 44 (5): 314 - 321.
- Stone, S. 1997. *Growth of the timber industry in the eastern Amazon: economic trends and implications for policy*. Ph.D. dissertation. Cornell University, Ithaca, New York.
- Stone, T., P. Schlesinger, R. Houghton, G. Woodwell. 1994. A map of the vegetation of South America based on satellite imagery. *Photog. Eng. & Rem. Sens.* 60(5): 541 - 551.
- Thunen, J. H. 1866. *The Isolated State*. Pergamin Press, New York.
- Tomasella, J. e M. G. Hodnett. 1998. Estimating soil water retention characteristics from limited data in Brazilian Amazonia. *Soil Science* 163: 190 - 202.
- Trenberth, K. E. e T. J. Hoar. 1997. *El Niño* and climate change. *Geophysical Research Letters* 24 (23): 3057 - 3060.
- Turcq, B., A. Sifeddine, L. Martin, M. L. Absy, F. Soubiers, K. Suguio e C. Volkmer-Ribeiro. 1998. Amazonian rainforest fires: a Lacustrine record of 7000 years. *Ambio* 27(2): 139 - 142.
- Uhl, C. e R. Buschbacher. 1985. A disturbing synergism between cattle ranching burning practices and selective tree harvesting in the eastern Amazon. *Biotropica* 17: 265 - 68.
- Uhl, C., J. B. Kauffman e D. L. Cummings. 1988a. Fire in the Venezuelan Amazon 2: Environmental conditions necessary for forest fires in the evergreen rainforest of Venezuela. *Oikos* 53: 176 - 184.
- Uhl, C., R. Buschbacher e E. A. S. Serrão. 1988b. Abandoned pastures in eastern Amazonia, I: Patterns of plant succession. *Journal of Ecology* 76: 663 - 681.

Uhl, C. e I. C. Vieira. 1989. Ecological impacts of selective logging in the Brazilian Amazon. *Biotropica* 21 (2): 98 - 106.

Uhl, C., D. Nepstad, B. Buschbacher, K. Clark, J. B. Kauffman e S. Subler. 1989. Disturbance and regeneration in Amazonia: lessons for sustainable land use. *The Ecologist* 19 (6): 235 - 240.

Uhl, C. e J. B. Kauffman. 1990. Deforestation, fire susceptibility and potential tree responses to fire in the eastern Amazon. *Ecology* 71 (2): 437 - 449.

Uhl, C., P. Barreto, A. Veríssimo, E. Vidal, P. Amaral, A. Barros, C. J. Souza, J. Johns e J. Gerwing. 1997. Natural resource management in the Brazilian Amazon. *BioScience* 47 (3): 160 - 168.

Veríssimo, A., P. Barreto, R. Tarifa e C. Uhl. 1995. Extraction of a high-value natural resource from Amazonia: the case of mahogany. *Forest Ecology and Management* 72: 39 - 60.

Victoria, R. L., L. A. Martinelli, J. Mortatti e J. Richey. 1991. Mechanisms of water recycling in the Amazon Basin: isotopic insights. *Ambio* 20 (8): 384 - 387.

Vieira, I. C., R. P. Salomão, N. Rosa, D. C. Nepstad e J. Roma. 1996. Renascimento da floresta no rastro da agricultura. *Ciência Hoje* 20 (119): 38 - 45.

Walker, R. e A. K. O. Homma. 1996. Land use and land cover dynamics in the Brazilian Amazon: an overview. *Ecological Economics* 18 (1): 67 - 80.

Woods, P. V. 1989. Effects of logging, drought and fire on structure and composition of tropical forests in Sabah, Malaysia. *Biotropica* 21: 290 - 298.

Wright, I., J. Gash, H. da Rocha, W. Shuttleworth, C. A. Nobre, G. Maitelli, C. Zamparoni e P. Carvalho. 1992. Dry season micrometeorology of central Amazonian ranchland. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 118: 1083 - 1099.

Apêndice I

O número médio de hectares queimados por ano (média (EP)), 1994-1995, por tamanho de propriedade e região, baseado em entrevistas com proprietários de terra de cinco regiões na Amazônia brasileira.

		Pequena (0-100 ha)	Média (101-1000 ha)	Grande (1001-5000 ha)	Muito Grande (>5000 ha)
Cinco regiões estudadas	Desmatamento	2 (1.0)	9 (2.0)	63 (21.0)	190 (63.0)
	Incêndio florestal rasteiro	1 0.0	7 (4.0)	25 (12.0)	442 (268.0)
	Terra desmatada, intencional	6 (1.0)	29 (7.0)	76 (15.0)	292 (156.0)
	Terra desmatada, acidental	2 (1.0)	20 (6.0)	128 (40.0)	901 (506.0)
	Total	11 (2.0)	65 (12.0)	292 (56.0)	1.825 (842.0)
Nordeste do Pará	Desmatamento	1 (1.0)	7 (3.0)	23 (8.0)	390 (307.0)
	Incêndio florestal rasteiro	1 (1.0)	15 (11.0)	12 (10.0)	0 0.0
	Terra desmatada, intencional	8 (3.0)	31 (8.0)	136 (32.0)	404 (162.0)
	Terra desmatada, acidental	4 (3.0)	34 (13.0)	28 (16.0)	0 0.0
	Total	14 (4.0)	87 (24.0)	199 (42.0)	794 (305.0)
Sul do Pará	Desmatamento	3 (2.0)	5 (3.0)	373 (301.0)	165 (149.0)
	Incêndio florestal rasteiro	1 (1.0)	12 (12.0)	0 0.0	1.295 (785.0)
	Terra desmatada, intencional	1 (1.0)	8 (8.0)	70 (39.0)	689 (464.0)
	Terra desmatada, acidental	2 (2.0)	52 (36.0)	352 (275.0)	2.700 (1452.0)
	Total	7 (4.0)	77 (55.0)	795 (538.0)	4.849 (2405.0)
Mato Grosso	Desmatamento	2 (2.0)	15 (10.0)	81 (39.0)	7 (7.0)
	Incêndio florestal rasteiro	0 0.0	0 0.0	75 (45.0)	107 (107.0)
	Terra desmatada, intencional	1 (1.0)	14 (9.0)	66 (37.0)	0 0.0
	Terra desmatada, acidental	3 (1.0)	5 (4.0)	130 (80.0)	10 (9.0)
	Total	6 (2.0)	34 (17.0)	352 (129.0)	124 (105.0)
Rondônia	Desmatamento	0 0.0	7 (5.0)	79 (18.0)	0 (0.0)
	Incêndio florestal rasteiro	1 (1.0)	1 (1.0)	0 0.0	0 (0.0)
	Terra desmatada, intencional	7 (2.0)	40 (26.0)	73 (23.0)	0 (0.0)
	Terra desmatada, acidental	2 (1.0)	2 (2.0)	0 0.0	0 (0.0)
	Total	10 (3.0)	50 (27.0)	152 (42.0)	0 (0.0)
Acre	Desmatamento	3 (1.0)	12 (4.0)	33 (23.0)	336 (82.0)
	Incêndio florestal rasteiro	0 0.0	0 0.0	0 0.0	0 (0.0)
	Terra desmatada, intencional	9 (3.0)	28 (9.0)	14 (14.0)	20 (17.0)
	Terra desmatada, acidental	2 (1.0)	12 (5.0)	298 (134.0)	92 (89.0)
	Total	14 (3.0)	52 (11.0)	345 (136.0)	448 (127.0)

Apêndice II - Técnicas de prevenção e controle de incêndio

Aceiro: Na Amazônia, aceiros são preparados manualmente com a ajuda de facões e enxadas, ou são feitos pela remoção com um trator de esteira, para longe da biomassa vegetal, o que expõe o solo mineral. É três vezes mais barato fazer aceiros com tratores de esteiras (US\$ 20 *vs.* US\$ 60 por quilômetro), mas o grande investimento de capital necessário para comprar tratores de esteiras os faz inacessíveis para a maioria dos pequenos proprietários rurais. Os aceiros são muito mais caros quando troncos de árvores devem ser cortados, tal como é o caso nas proximidades de florestas derrubadas recentemente. Um custo adicional da preparação de aceiro é a perda da produção pecuária ou agrícola na faixa de terra da qual a vegetação é removida. Por exemplo, dois quilômetros de aceiro com largura de 5 metros é espaço suficiente para abrigar gramínea de pastagem, o que reduz os lucros da produção de gado.

Aceiro ao redor de pastagens, florestas derrubadas e plantações de árvores: Os aceiros devem ser colocados nos perímetros de áreas agrícolas para defendê-las da queimada acidental e para conter a queimada intencional dentro dos limites determinados pelo produtor. Os aceiros ao longo das bordas contra o vento e ao longo das estradas e das pastagens são necessários para se fazer a defesa contra o incêndio proveniente de terras vizinhas. Os incêndios ao redor de pastagens devem ser feitos em qualquer dos lados da cerca para proteger esse investimento valioso do prejuízo do incêndio.

A largura apropriada do aceiro varia dependendo das condições do vento e da estrutura da vegetação na vizinhança, e é uma área importante de pesquisa. Nas terras desmatadas, onde os ventos são fortes, aceiros de dez metros de largura ou mais podem ser necessários para evitar que o

incêndio passe para a área que está sendo defendida. Um segundo aceiro de trinta a cinquenta metros a favor do vento reduz o risco dos incêndios ultrapassarem o primeiro e, assim, atingirem a área que se quer proteger. De forma similar, aceiros mais largos de vinte a trinta metros de largura podem ser preparados em pastagens e, assim, queimar inteiramente a vegetação entre dois aceiros paralelos. O risco desses incêndios intencionais escaparem para o resto da pastagem pode ser reduzido com o uso de contrafogos ao longo da borda da faixa de vegetação e a favor do vento. A queimada, nesse caso, deve ser feita no final da tarde, quando a temperatura declina e o aumento da umidade relativa do ar reduz a intensidade do incêndio.

A vegetação lenhosa alta envia brasas flamejantes para o ar quando queima e, portanto, passa facilmente pelos aceiros. Aceiros extensos e vigilância para extinguir rapidamente brasas que caem na vegetação protegida quando um incêndio se aproxima são necessários para defender os sistemas agrícolas dos incêndios em áreas de vegetação altamente inflamável, como as florestas secundárias.

Florestas: Aceiros podem ser feitos no perímetro exterior das florestas para protegê-las do incêndio acidental. Um segundo aceiro também pode ser feito cerca de dez a vinte metros no interior da floresta, com a remoção de resíduos orgânicos ao longo de uma trilha. Simples vassouras ou ancinhos podem ser utilizados nessa limpeza. Essa faixa estreita é eficaz no bloqueio de incêndios que ultrapassam o aceiro estabelecido no perímetro da área pois, uma vez dentro da floresta, o fogo diminui rapidamente de tamanho e torna-se lento. Para ser mais eficaz, os troncos de árvores caídas ao longo da trilha deveriam ser cortados para impedir que transmitissem incêndio para o interior da floresta.

Os aceiros no interior da floresta podem também ser feitos com trator de esteiras, abrindo uma faixa de terra ao longo da floresta. A desvantagem

dessa técnica é que ela possibilita que uma faixa de vegetação inflamável cresça, ao longo da qual o fogo é transmitido.

Os aceiros no interior da floresta são particularmente importantes quando a vegetação vizinha tem árvores mortas em pé, as quais podem cair e servir de ponte para que o fogo avance e ultrapasse o perímetro do aceiro.

Quebra-combustíveis: As faixas de vegetação que são de difícil combustão servem ao mesmo propósito dos aceiros: defender áreas contra o incêndio acidental. As florestas primárias são o tipo de vegetação menos inflamável na Amazônia e, atualmente, funcionam como quebra-combustíveis gigantes ao longo das paisagens agrícolas, reduzindo bastante o risco de incêndio acidental. Porém, a localização atual das florestas primárias é determinada, na maioria das vezes, como resultado do processo de tomada de decisão para identificar a localização de pastagens e de campos agrícolas que são mais lucrativos. As florestas também são cortadas primeiro ao longo das estradas, para reduzir o risco de invasão da terra por colonizadores e para demonstrar o seu uso produtivo (que é um critério para deter a posse). Por essa razão, o potencial das florestas para proteger as propriedades contra os incêndios iniciados às margens das estradas geralmente não é efetivado, devido aos interesses particulares de manutenção e controle da terra.

A largura mínima de floresta primária necessária para proporcionar um quebra-combustível eficaz não foi estudada; entretanto, ela varia, dependendo da direção predominante do vento e do tipo de floresta. A camada de combustível das florestas torna-se seca mais rapidamente quando próxima das margens, onde o ar quente e seco da vegetação vizinha, sem floresta, e a maior penetração da luz aceleram a secagem da liteira.

Os quebra-combustíveis devem ser extensos o bastante para manter uma área central, que vai além da zona de secagem. Kapos *et al.* (1989) e Kapos *et al.* (1993) mediram ar mais seco e quente acima de sessenta metros na borda a favor do vento de uma floresta próxima a Manaus, e Uhl e Buschbacher (1985) documentaram a penetração de incêndio nas bordas da floresta por mais de duzentos metros. Uma segunda consideração no uso de quebra-combustíveis florestais é a deterioração da borda da floresta que ocorre ao longo do tempo. A mortalidade de árvores é alta ao longo das bordas da floresta que faz fronteira com áreas sem vegetação florestal (LAURENCE *et al.*, 1997). Uma faixa de um quilômetro é recomendada por Holdsworth e Uhl (1997), mas pode ser inviável, por causa da grande quantidade de terra (e floresta) que é excluída do sistema de produção.

Outros tipos de quebra-combustíveis podem ser plantados, de árvores ou arbustos com folhas de queima difícil. Essa é uma área promissora de pesquisa envolvendo o manejo do incêndio na Amazônia.

Contrafogos: Quando pastagens ou florestas derrubadas são queimadas intencionalmente, o risco desses incêndios escaparem para os ecossistemas vizinhos pode ser reduzido com “contrafogos”. Devem ser feitos ao longo da borda interior do aceiro que limita a arca e a favor do vento. Assim, eles queimam lentamente na direção do vento, consomem o combustível disponível e estendem a largura do aceiro. Os proprietários de terra podem reduzir o custo de preparar aceiros ao longo da borda e a favor do vento usando contrafogos, dado que os aceiros necessários para conter um contrafogo podem ser muito mais estreitos que os aceiros necessários para conter incêndios muito maiores que se movem em direção do vento. Por essa razão, contrafogos podem ser usados para reduzir substancialmente os custos da preparação do aceiro.

Os contrafogos são mais efetivos se colocados rapidamente ao longo de toda a borda que está a favor do vento pelo uso de tochas ensopadas com querosene. Os contrafogos requerem mais mão-de-obra no dia da queimada. Isso se deve ao fato de que uma pessoa deve fazer o contrafogo e pelo menos uma outra pessoa deve observá-lo para assegurar-se de que o fogo não retornará sobre o aceiro. Na ausência de um aceiro, contrafogos podem ser colocados ao longo da borda que está a favor do vento, contanto que um grupo de pessoas munidas de abafadores ou água siga logo atrás de quem está ateando o fogo, para que seja extinguida a parte anterior do incêndio, contra o vento.

O manejo do combustível da pastagem: O risco de incêndio em pastagens pode ser também diminuído com o aumento da pressão de pastejo nas áreas que estão mais vulneráveis a fontes de ignição. O pastejo intenso reduz a quantidade de combustível disponível para queimar e pode ainda tornar as pastagens resistentes a incêndio, se moitas individuais de gramíneas forem separadas por espaços com pouca ou nenhuma matéria orgânica. A desvantagem dessa prática é que o sobrepastejo pode permitir a invasão de espécies de plantas invasoras. Outra desvantagem dessa técnica é o investimento adicional em cercas, requerido para fazer *paddocks* necessários para manejar mais intensivamente as rotações da pecuária do rebanho de gado.

Vigilância e comunicação: Um dos ingredientes mais cruciais da prevenção do incêndio na Amazônia é a vigilância cuidadosa das terras vizinhas para o relato rápido sobre a aproximação de incêndios. Quando colunas de fumaça são detectadas movendo-se continuamente no ar, familiares, amigos, vizinhos e empregados podem ser convocados para ajudar a defender os limites da propriedade contra o fogo e extingui-lo. “Vigias de fogo” colocados em torres de observação podem detectar a

aproximação do fogo com bastante antecedência. A comunicação com os proprietários das terras vizinhas é a melhor forma de saber quando incêndios intencionais serão feitos. Vizinhos podem também convidar um ao outro para acompanhar as queimadas intencionais e avisar um ao outro no caso de um incêndio acidental.

Queimadas frias: O risco de incêndio acidental pode também ser reduzido ao promoverem-se incêndios intencionais somente nas horas quando o teor de umidade do combustível, as baixas temperaturas ou a alta umidade relativa do ar reduzem a energia do fogo, o que o torna mais fácil de controlar. Os incêndios podem ser mantidos “frios” se ocorrerem logo após eventos de chuva, antes que os teores de umidade do combustível tornem-se muito baixos. As florestas derrubadas que são queimadas do primeiro ao segundo mês da estação seca têm teores de umidade mais altos e energia do fogo mais baixa que aquelas queimadas no quarto mês. Portanto, produzem menos brasa, um dos principais veículos para o fogo atingir terras vizinhas. Os proprietários de terra devem queimar pastagens para o controle de plantas invasoras somente três a cinco dias após o último evento de chuvas que apresentaram um volume de pelo menos um centímetro, mantendo o teor de umidade do pasto alto.

Porém, há um custo muito grande relacionado à queimada fria, que é a eficácia reduzida da queimada em converter a floresta derrubada em cinzas ricas em nutrientes, ou em matar plantas lenhosas indesejáveis que estão invadindo pastagens de gado: incêndios de baixa energia não desempenham essas funções tão bem como os incêndios de alta energia. Por exemplo, agricultores de corte e queima da região do rio Capim, próximo à cidade de Paragominas, conseguem usar somente 70% da terra que eles preparam pela derrubada e pela queimada da floresta, porque o restante não pegou fogo ou está coberto por grandes troncos de árvores.

A quantidade de biomassa florestal derrubada recentemente, consumida por um incêndio frio, pode ser aumentada se os agricultores inspecionarem cuidadosamente cada árvore derrubada para se assegurar de que o caule caído está completamente separado do toco. As lascas de casca ou madeira que mantêm a comunicação do caule caído com as raízes podem conduzir água, o que evita a secagem da madeira e reduz o consumo de combustível durante a queimada²².

A temperatura dos incêndios pode também ser mantida baixa nas queimadas realizadas durante as horas úmidas e frias do dia. As temperaturas do incêndio são mais quentes no início da tarde, de 13h00 a 14h00, quando a temperatura é alta e sua umidade relativa é baixa. As temperaturas do incêndio caem rapidamente no final da tarde, quando o sol se põe e a velocidade do vento diminui, e as chamas podem ser extintas quando o ar continua a esfriar com o avanço da noite. Os proprietários de terra devem retardar, o máximo possível, o início de suas queimadas, ao fazê-las no final da tarde e sem limitar os efeitos desejados do incêndio.

Planejando a queimada: O passo mais importante no controle bem-sucedido do fogo deve ser tomado antes mesmo de o incêndio ser feito. Os proprietários de terra devem analisar o risco de incêndio acidental em suas terras e desenvolver um plano para controlá-lo caso ele ocorra. Esse plano deveria avaliar a melhor forma de combater incêndios que porventura ultrapassem os aceiros, ao identificar-se a localização mais favorável para usar o trator de esteiras para fazer aceiros e contrafogos de emergência e planejar os procedimentos que deveriam ser tomados se um trator de esteiras não estiver disponível. O plano deveria prever a mão-de-obra que seria requerida no caso de incêndio acidental, e deveria

²² C. Pereira, dados inéditos.

envolver o treinamento do pessoal do lote agrícola/fazenda em técnicas de combate ao incêndio e na implementação do plano. Além disso, as áreas sob risco de incêndio deveriam ser preparadas para implementar o plano. Se um tanque de água ou um trator de esteira estiver disponível, há acesso adequado para as áreas sob risco de incêndio? Existem passagens nas cercas, toras bloqueando estradas ou trilhas? Existe uma fonte de água para o enchimento do tanque? O plano também deve ser discutido com os proprietários de terras vizinhas, e os acordos devem ser feitos de forma que o equipamento e o pessoal sejam compartilhados no caso de um incêndio acidental em uma ou outra propriedade.

Os incêndios de pastagem: As pastagens com capim abundante queimam rápido e violentamente, e os incêndios são de difícil extinção. Os proprietários de terra devem aceitar o fato de que uma área de pastagem queimará e que o incêndio somente se extinguirá quando o combustível acabar. O desafio é circundar a pastagem com aceiros o mais rápido possível, sem correr o risco de o incêndio ultrapassar as barreiras impostas. Os incêndios acidentais em pastagens podem ser suprimidos fazendo-se, rapidamente, com um trator de esteiras (se estiver disponível) uma nova abertura na borda que estiver a favor do vento e um contrafogo. Na ausência de maquinário pesado, a ferramenta mais efetiva para combater o incêndio da pastagem será, muitas vezes, o uso do contrafogo sem um aceiro. Uma pessoa incendiando a favor do vento e outras duas ou três vindo logo atrás extinguindo o fogo ao longo da borda que está contra o vento são usualmente adequadas para fazer um contrafogo, a menos que a pastagem não tenha sido roçada por várias semanas e tenha combustível abundante. Abafadores de fogo, bombas de água portáteis, facões e enxadas são importantes ferramentas de controle quando se faz a ignição de um contrafogo sem um aceiro.

Se tanques portáteis de água são disponíveis, o fogo nas pastagens pode, algumas vezes, ser interrompido ou diminuído, pulverizando com água a vegetação da pastagem que se encontra na mesma direção em que o fogo está se propagando.

Helicópteros que carregam água podem extinguir incêndios acidentais em pastagens, mas somente se forem localizados e se houver uma fonte próxima de água na superfície. Muitos incêndios de pastagem que se estendem ao longo de frentes de quilômetros de comprimento seriam difíceis de ser extintos com água despejada do céu. Além disso, helicópteros que carregam água custam aproximadamente, US\$ 6.000.000 a unidade, e nunca estariam disponíveis em número suficiente para combater as dezenas de milhares de focos de incêndios ao longo dos 2.000 km que compreendem o arco de desmatamento da Amazônia.

Incêndios florestais: Os incêndios que invadem florestas podem também ser combatidos se circundados por aceiros. Dado que incêndios florestais são usualmente frios, com chamas baixas e velocidade reduzida, uma faixa estreita (um metro de largura) é usualmente suficiente para atuar como um aceiro. As vassouras e os ancinhos podem ser rapidamente confeccionados com galhos, e usados para limpar a camada de folhas do solo ao longo de uma faixa. Esta faixa é mais efetiva se colocada sob uma área com intenso sombreamento, onde a umidade relativa do ar ajudará a suprimir o incêndio.

Um dos aspectos mais críticos na supressão do incêndio florestal é a ignição dos troncos das árvores que se encontram no chão. Mas, uma vez que se incendiam, o fogo contido no seu interior é de difícil extinção e pode queimar por várias semanas. Os troncos de árvores queimando podem não ter nenhuma chama externa durante a tarde e a noite, quando a umidade do ar aumenta, e as chamas retornam na manhã seguinte. Dado que o

incêndio florestal provoca o rápido desprendimento das folhas das árvores e dos cipós da floresta, sucessivos incêndios podem ocorrer na mesma área, quando as chamas e as faíscas de troncos que ainda queimam incendeiam a camada de folhas que se desprende recentemente²³. Por essa razão, incêndios florestais que foram extintos devem ser visitados diariamente a fim de que se possa ver se novos estão surgindo. Os agricultores pobres, ao longo da Amazônia, que dependem de uma variedade de produtos florestais para a sua subsistência suprimem os incêndios que queimam suas florestas, ao circundarem-nas com faixas estreitas e cortarem os troncos que se encontram sobre essas faixas, e permanecem vigilantes observando a floresta em busca de sinais de fumaça.

²³ M. Cochrane, observação pessoal.

A cada ano, o fogo na Amazônia brasileira atinge uma área equivalente a dez vezes o tamanho da Costa Rica. Quando fazendeiros e agricultores utilizam o fogo em suas terras para converter florestas em roças e pastagens, e/ou para recuperar pastagens invadidas por ervas daninhas, inadvertidamente, queimam florestas, pastagens e plantações. O risco anual de incêndio acidental desencoraja os proprietários a investir 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. O fogo aumenta a inflamabilidade das paisagens da Amazônia, iniciando um ciclo vicioso, no qual, as florestas são substituídas por uma vegetação inflamável, que perpetua a presença de incêndios na região.

Este livro apresenta uma análise do fogo na Amazônia com a finalidade de identificar os meios pelos quais seus efeitos negativos podem ser reduzidos. A análise do problema é baseada em vários estudos sobre este assunto conduzidos em anos recentes, entre os quais um estudo de campo pioneiro, conduzido em 1996, sobre a extensão geográfica e os impactos econômicos do fogo na região.

Apoio



FORD FOUNDATION

Strengthen democratic values, reduce poverty and ignorance,
promote international cooperation and advance human achievement.



Programa Piloto
para a Proteção das
Florestas Tropicais do Brasil



World Bank

Realização



Woods Hole Research Center

protecting the integrity of the global environment