

O grande incêndio de Roraima

Entre o final de 1997 e o início de 1998, um imenso incêndio florestal no estado amazônico de Roraima, na área mais ao norte do Brasil, chamou a atenção do mundo. O que mais impressionou os cientistas que analisavam as imagens de satélite ou observavam os estragos diretamente foi o avanço do fogo sobre áreas de floresta primária antes quase imunes às queimadas que normalmente ocorrem na região, na época seca. Normalmente, essas queimadas atingem apenas as grandes extensões de savanas do estado e outras formações vegetais menos densas. O tamanho do incêndio provocou intenso debate, na comunidade científica e ambientalista, sobre a necessidade de avaliar seus reais impactos nas formações florestais, gerando forte ‘pressão’ sobre órgãos ambientalistas dos governos federal e estadual.

Em meados de abril de 1998, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) formou equipes com cientistas de diferentes universidades e centros de pesquisa para fazer uma avaliação dos impactos do fogo. O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, em outro estudo, baseado em imagens de satélite, buscou delimitar a área de floresta afetada. O grande incêndio atraiu ainda o interesse de especialistas de várias instituições nacionais, entre elas o Instituto de Pesquisas da Amazônia (Inpa) e o Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (Imazon), e até estrangeiras, entre elas a Universidade de Michigan (Estados Unidos). Os trabalhos produzidos por esses grupos – publicados a seguir – fornecem um quadro minucioso do desastre ecológico ocorrido em Roraima e apontam caminhos que poderiam levar a uma melhor conservação da floresta amazônica, um patrimônio de toda a humanidade.

Os efeitos do fogo em uma floresta tropical duram muito mais do que a fumaça. Em geral, uma primeira queimada afeta pouco as árvores maiores, causando estragos em especial no sub-bosque.

Mas deixa a área atingida muito mais vulnerável a novos incêndios, o que também ocorre em florestas alteradas pela extração de madeira. Na Amazônia, a cada ano, extensas áreas de floresta tornam-se mais suscetíveis ao fogo, por causa da ação dos madeireiros e do costume de usar o fogo para abrir espaços para agricultura e pecuária, o que poderá levar à sua completa destruição.

Mark A. Cochrane

Basic Science and Remote Sensing Initiative, Michigan State University, e Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (Imazon)

O significado das **queimadas** na Amazônia

O fogo é um problema crescente no que resta das florestas tropicais do mundo. No entanto, apesar dos anos de estudos científicos e da atenção da mídia em relação ao desmatamento e às conseqüentes queimadas, a incidência e o efeito dos incêndios acidentais nas florestas têm sido ignorados. As grandes queimadas em Bornéu (1983 e 1997) e no Brasil – em Roraima (1997-1998), Mato Grosso (1998) e Pará (1998) – despertaram a atenção para o problema, mas as medidas tomadas para prevenir ou controlar tais incêndios ainda são insuficientes. Além de liberar enorme quantidade de fumaça e partículas, aumentando o teor de gás carbônico (CO₂) na atmosfera e ameaçando a saúde da população, o fogo pode trazer prejuízos imensos e duradouros para as florestas atingidas (figura 1).

Os efeitos das queimadas duram muito mais do que a fumaça que atrapalha uns poucos centros urbanos e fecha alguns aeroportos. Na Amazônia brasileira, o fogo afeta milhares de quilômetros quadrados de floresta todos os anos, mas grande parte das queimadas ocorre em áreas remotas, ocultas na densa floresta, e por isso não é detectada ou noticiada. É um costume comum, na Amazônia, usar o fogo para abrir novas áreas para agricultura ou pecuária e para manter essas áreas livres de árvores e arbustos. Essa prática cria oportunidades para que o fogo invada a floresta. A presença contínua do fogo – associada a períodos secos (como o ocorrido durante o fenômeno climático El Niño) e aos danos florestais causados pela atividade madeireira – resultam com freqüência em incêndios acidentais. ▶



Figura 1. Uma queimada inicial, em uma floresta inalterada, não parece causar muito dano, mas na verdade a pequena frente de fogo tem impactos severos, matando – em muitos casos só pela exposição ao calor – até 40% das árvores com troncos de mais de 10 cm de diâmetro

FOTOS DE MARK COCHRANE

O fenômeno não é novo. Em 1988, uma queimada no Pará destruiu cerca de 1.000 km² de florestas exploradas por madeireiros nos arredores de Paragominas, e desde então o problema tem piorado. O crescimento da indústria madeireira na Amazônia aumenta a área vulnerável ao fogo, o que leva a mais incêndios. Estima-se que a extração seletiva de madeiras nobres afete hoje 15 mil km² de florestas a cada ano na região, área quase igual ao desmatamento anual na Amazônia. Além dos prejuízos diretos, as estradas abertas por madeiras em novas regiões da floresta atuam como fator indutor de assentamentos não planejados, reforçando o atual padrão do uso da terra e provocando mais queimadas nessas florestas já bastante vulneráveis.

Pode parecer um contra-senso falar de fogo em florestas tropicais, que têm alta pluviosidade anual. Entretanto, sob o solo da maior parte da bacia amazônica existem camadas de carvão vegetal, prova circunstancial de queimadas ocorridas no passado. Se o fogo é uma ocorrência natural na floresta, por que devemos nos preocupar com ele? Este artigo procura responder essa pergunta. A essência do problema não está no fogo em si, mas na frequência com que ocorre e na extensão da área que afeta.



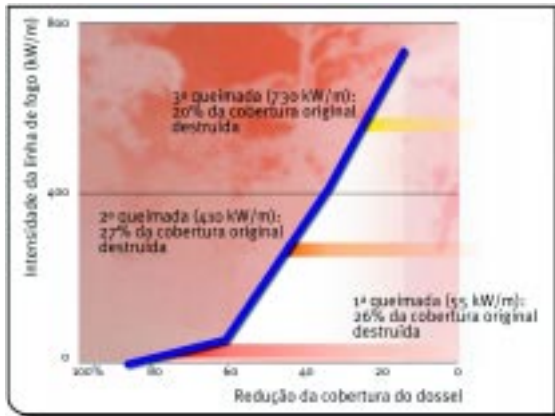
Figura 2. Uma frente de fogo que varre a floresta pela primeira vez, como nessa área em Tailândia (PA), tem chamas com 10-20 cm que avançam devagar, o que prolonga o contato com as árvores, destruindo a parte viva, que fica logo abaixo da fina casca

Árvores sem defesas

A presença comprovada de camadas e mais camadas de carvão vegetal abaixo do solo atual da floresta comprova que um número considerável de queimadas ocorreu em diversas partes da região durante o último milênio. Como explicar esse aparente predomínio do fogo, considerando que as árvores dessa floresta não estão adaptadas para sobreviver sequer a pequenas queimadas? A resposta está no intervalo entre os incêndios. Usando técnicas de datação por carbono nas camadas de carvão, vários pesquisadores constataram que as queimadas ocorreram periodicamente, mas com intervalos de séculos, e, por vezes, de milhares de anos.

As florestas amazônicas não são imunes ao fogo, como se pensava. No entanto, as queimadas têm sido, ali, um fenômeno muito raro. Do ponto de vista evolutivo, isso significa que não há nenhum incentivo para que as árvores desenvolvam mecanismos de defesa contra o fogo. Ao contrário, em regiões onde o fogo é historicamente mais freqüente, como no cerrado da região central do Brasil, a vegetação sofreu adaptações evolutivas para sobreviver. Uma das adaptações mais comuns em ecossistemas onde o fogo é freqüente é o desenvolvimento de cascas mais grossas ao redor do tronco das árvores. No cerrado e em florestas das regiões temperadas, essas cascas têm, muitas vezes, vários centímetros de espessura. A casca atua como um isolante contra o calor das chamas, protegendo a parte viva da árvore. Quanto mais grossa a casca, a árvore suportará por mais tempo o calor do fogo.

A parte viva ('câmbio') da maioria das árvores – as palmeiras são uma exceção – é constituída por uma fina camada de células situadas imediatamente sob a casca. Se uma porção relativamente grande dessa camada é danificada, por corte ou calor, a árvore morre, mesmo que a área total danificada na árvore seja pequena. Quando o fogo atinge uma árvore, ela não resiste se a temperatura no câmbio exceder 60°C. O fogo pode matar uma árvore de outras maneiras, e as árvores têm outras adaptações evolutivas que as protegem contra esse tipo de agressão, mas a espessura da casca é a principal defesa contra queimadas em florestas tropicais. Essa espessura, nessas florestas, é medida em milímetros, e não em centímetros, mesmo nas árvores de maior porte. Esse fator é fundamental para se compreender como o fogo afeta a floresta.



A ameaça do fogo repetido

Uma frente de fogo avançando sobre uma floresta intacta de dossel fechado não chega a impressionar. Exceto em algumas clareiras formadas pela queda de árvores e em outras áreas com quantidades pouco usuais de material combustível, o fogo se alastrará vagarosamente, como uma fina faixa de chamas com poucos decímetros de altura (figura 2). Na maior parte da área queimada, o fogo consumirá pouco mais que a camada de folhas secas. Em geral, as árvores que formam o dossel são poupadas, mas no rastro do fogo fica um sub-bosque com mudas agonizantes ou com folhas murchas. Entre 17h e 18h, quando cai a temperatura e aumenta a umidade relativa do ar, essas queimadas costumam arrefecer. Ao anoitecer, apenas uns poucos troncos incandescentes permanecem como prova das queimadas ocorridas durante o dia.

Sob condições climáticas favoráveis, esses troncos voltarão a queimar no final da manhã seguinte, reiniciando a queimada. Na área da passagem do fogo, as folhas das árvores atingidas começarão a cair, reabastecendo a camada de material combustível necessária para alastrar o incêndio. Em geral, a linha de fogo avança apenas entre 100 e 150 m/dia, mas pode arder por dias, semanas ou meses, como aconteceu em Roraima. O fogo pode cessar se o tempo esfriar ou uma chuva fina cair, mas materiais combustíveis de grande porte (como troncos caídos) podem continuar incandescentes e reacender incêndios durante semanas. Muitas áreas queimarão uma ou mais vezes, de acordo com a quantidade de folhas caídas no solo.

A densidade de materiais combustíveis de grande porte (troncos, galhos maiores ou copas) é fator importante na probabilidade de reinício do fogo. Em áreas de floresta exploradas por madeireiras, e, portanto, com mais materiais desse tipo, as queima-

das são sustentadas por períodos mais longos e apresentam maior taxa de reincidência na mesma estação do que em florestas ainda intocadas. Além disso, nos anos seguintes a uma queimada, aumenta o nível de mortalidade e queda de árvores e, portanto, a quantidade de material combustível no solo. Com isso, as novas queimadas persistirão mesmo que as condições climáticas não favoreçam a propagação do fogo.

Por essa descrição, uma queimada não parece ser algo tão preocupante, mas na verdade é um evento muito grave. A intensidade do fogo é pequena, em termos de energia liberada, mas o avanço lento o torna fatal, pois permanece por longo tempo em contato com a base das árvores. Isso pode ser melhor entendido pela comparação com a chama de uma vela: pode-se passar a mão sobre a chama rapidamente, sem ganhar uma queimadura, mas o efeito será outro se a mão permanecer sobre a chama por um ou dois minutos. Assim, mesmo uma pequena queimada pode causar grandes danos. A casca da maioria das árvores amazônicas é bastante fina, e portanto muito vulnerável ao fogo. Além disso, a espessura da casca é diretamente proporcional ao diâmetro do tronco, o que explica por que o índice de mortalidade por queimadas é maior entre as árvores menores.

Após uma queimada, muitas árvores morrem. Com isso, a floresta perde grande parte do dossel (figura 3), o que facilita a entrada da luz solar, aquecendo o ambiente. Em uma floresta intacta, a temperatura raramente supera 28°C, mesmo nos dias mais quentes, mas depois que o fogo torna o dossel mais ralo pode alcançar 38°C. Esse aquecimento acelera o ressecamento dos materiais combustíveis e torna a floresta mais suscetível a uma nova queimada (figura 4).

Antes de sofrer uma queimada, o dossel da floresta cobre, em média, 85% a 95% da superfície e a umidade abaixo do dossel permanece alta mesmo

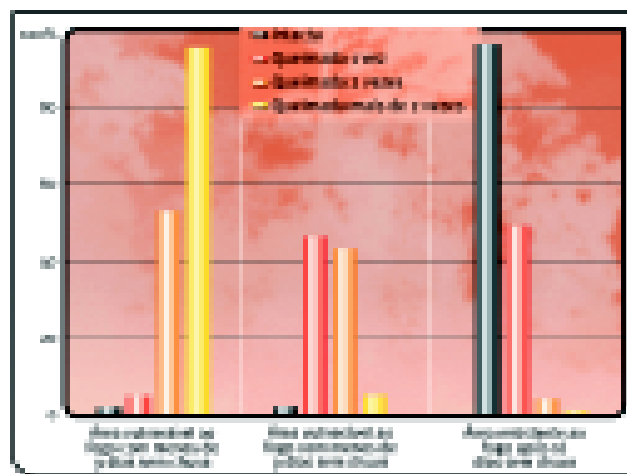
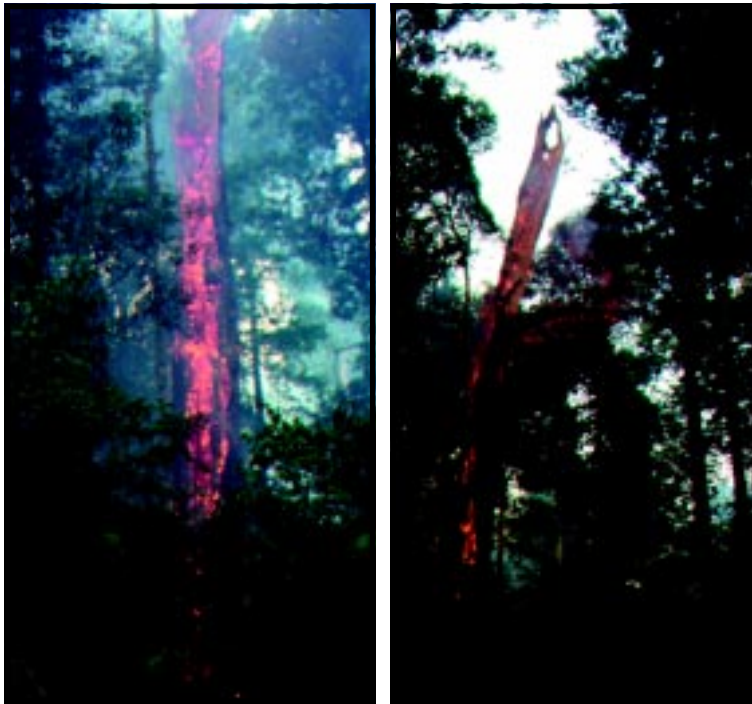


Figura 3. O aumento da intensidade de fogo, em queimadas seguidas na mesma área, reduz cada vez mais a cobertura do dossel

Figura 4. Vulnerabilidade e resistência ao fogo em áreas de floresta com diferentes históricos de queimadas: quase toda a floresta intacta resiste ao fogo, mesmo após 16 dias sem chuva, mas áreas já queimadas são mais vulneráveis (90% da área de floresta queimada mais de duas vezes, por exemplo, é suscetível ao fogo com poucos dias sem chuva, e a pequena parcela que escapa não resiste a uma seca maior)

Figura 5. Sob certas condições, até árvores grandes queimam com facilidade: o fogo invadiu essa sumaúma de 2 m de diâmetro, de tronco oco, e a transformou em uma grande chaminé (A), lançando carvão incandescente para o alto e criando novos focos de queimadas por centenas de metros na direção em que o vento soprava, até que a árvore começou a tombar (B)



casca espessa. Em outras palavras: a primeira queimada atinge, em sua maioria, árvores pequenas, mas a segunda mata igualmente as grandes e as pequenas (figura 5).

Os cipós e a vegetação rasteira, em alguns casos bastante inflamáveis mesmo quando verdes, colonizam rapidamente as florestas que sofreram duas queimadas, e a cobertura do dossel fica reduzida a menos de 35% da superfície. O rápido aumento da quantidade de material combustível, tanto vivo quanto seco, torna virtualmente todas as florestas suscetíveis ao fogo após 16 dias sem chuva. O processo é claro: quando o fogo queima florestas de dossel fechado, cria um ciclo vicioso, pois gera as condições para que tais florestas fi-

quem ainda mais vulneráveis a ele. Com isso, as queimadas serão não só mais frequentes, mas cada vez piores. O resultado final será a completa destruição das florestas atingidas pelo fogo (figura 6).

na estação seca. Apenas áreas isoladas (em geral menos de 5%), como clareiras abertas pela queda de árvores, tornam-se suscetíveis ao fogo após 16 dias sem chuva. Quando há uma queimada, porém, o dossel – um ano depois do fogo – só cobre cerca de 60% da superfície e cai bastante a capacidade de manter alta a umidade. Nessas condições, metade da floresta torna-se suscetível ao fogo após o mesmo período sem chuvas.

Além disso, a quantidade de materiais combustíveis, de grande e de pequeno porte, aumenta após uma queimada, já que as árvores mortas começam a tombar ou a perder seus galhos. Uma queimada típica mata cerca de 40% das árvores (diâmetro igual a 10 cm ou maior), mas reduz a biomassa viva em apenas 10%, já que poucas árvores de grande porte, que constituem a maior parte da biomassa, morrem.

Se o fogo atinge a floresta de novo, alguns anos após a primeira queimada, os danos são muito mais intensos. Nesse caso, a altura e a profundidade das chamas, o ritmo de propagação do fogo, o tempo de contato e a intensidade da linha de fogo são significativamente mais altos. Uma segunda queimada destrói 40% das árvores restantes, mas dessa vez isso corresponde a 40% da biomassa viva. Nas queimadas recorrentes, as mudanças no comportamento do fogo afetam até árvores com

O futuro da floresta

Esse cenário sugere um futuro sombrio para grande parte da floresta amazônica e de tudo o que dela depende. Se não forem derrubadas para fins agropecuários, as florestas têm grande chance de ser, de início, exploradas pela indústria madeireira e depois eliminadas por queimadas acidentais, endêmicas na região. Esta não é uma hipótese teórica, pois as condições aqui descritas existem de fato na

Figura 6. Em regiões que já sofreram múltiplas queimadas, como a da imagem, em Tailândia (PA), o resultado final é esse: solo coberto de cinzas (as linhas brancas indicam onde as árvores maiores tombaram e foram consumidas) e sem vestígio de vegetação secundária



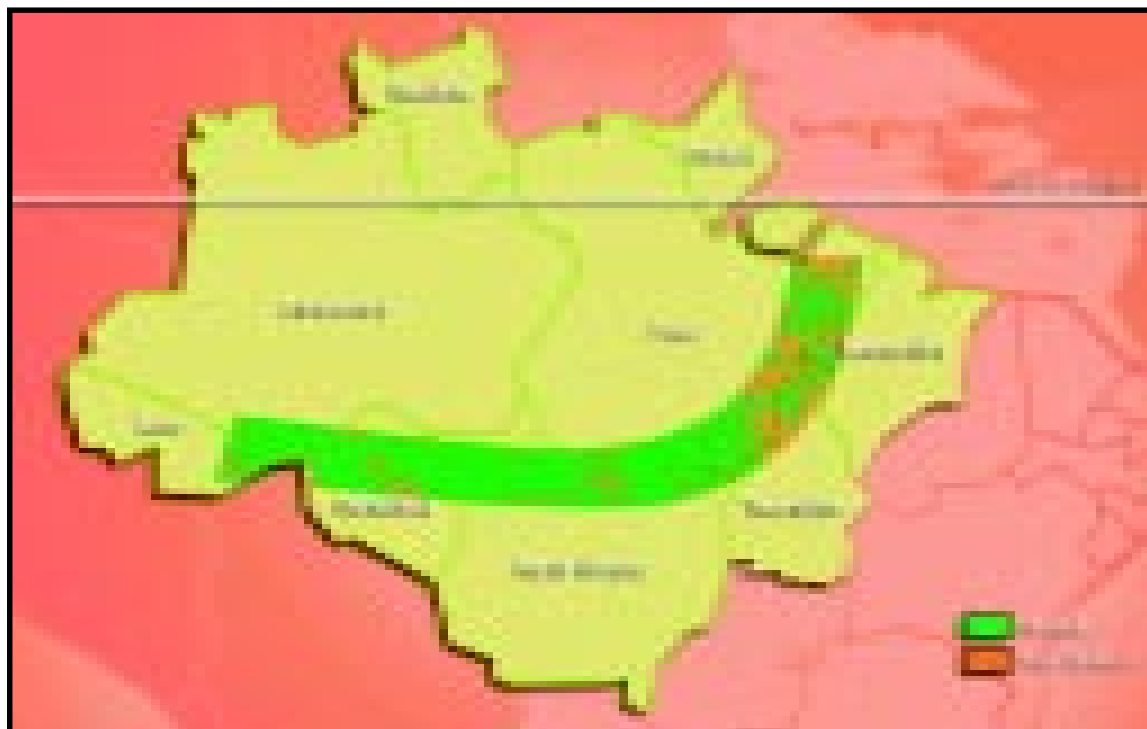


Figura 7. A maior parte das derrubadas ocorrem hoje no 'arco do desmatamento', área onde as características das estações de chuva e seca tornam as queimadas repetidas ainda mais ameaçadoras

Sugestões para leitura

- COCHRANE, M.A. e outros. 'Positive feedbacks in the fire dynamic of closed canopy tropical forests', in *Science*, v. 284, p. 1.832 (1999).
- COCHRANE, M.A. & SCHULZE, M.D. 'Fire as a recurrent event in tropical forests of the eastern Amazon: effects on forest structure, biomass, and species composition', in *Biotropica*, v. 31(1), p. 2 (1999).
- NEPSTAD, D.C., MOREIRA, A.G. & ALENCAR, A.A. *A floresta em chamas: origens, impactos e prevenção de fogo na Amazônia – Programa-piloto para a proteção das florestas tropicais brasileiras*, Brasília, Banco Mundial, 1999.
- NEPSTAD, D.C. e outros. 'Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire', in *Nature*, v. 398, p. 505 (1999).

maior parte das regiões oriental e sul da Amazônia.

Não leva muito tempo para atingir esse ponto. A região de Tailândia (Pará), por exemplo, era considerada uma nova fronteira amazônica no início dos anos 90. Hoje, calcula-se que toda a floresta remanescente em uma faixa de 12 km às margens da rodovia PA-150 (Moju-Marabá) deverá sofrer queimadas com intervalo médio entre sete e 14 anos. Metade da floresta nessa área já queimou uma ou mais vezes desde 1991. A frequência prevista para os próximos incêndios já é curta o suficiente para erradicar as florestas restantes.

Com base nessas evidências, pode-se concluir que, se as atuais práticas de uso da terra na Amazônia não se alterarem, os 377 mil km² (estimativa de 1996) de floresta que restam ao longo do arco de desmatamento (figura 7) serão destruídos por queimadas acidentais. Em toda essa área, se mantido o atual padrão de ocorrência de queimadas, a floresta dará lugar a vegetação rasteira ou savana. A combustão dessa parcela da floresta amazônica liberaria 7.400 bilhões de kg de carbono para a atmosfera, superando o total emitido por ano no mundo pela queima de combustíveis fósseis. Essa cifra é ainda 100 vezes maior que a quantidade de carbono emitida anualmente pela queima desse tipo de combustível no Brasil.

As mudanças levarão vários anos para se consumar, mas é muito provável que sejam irreversíveis, mantidas as atuais condições climáticas nas áreas afetadas. Além das implicações para o aquecimento

global (efeito estufa) e da questão das obrigações econômicas previstas no Protocolo de Kyoto (acordo internacional para a redução das emissões de gases-estufa), essas mudanças poderão ter efeitos extremamente negativos sobre o clima, a biodiversidade e a economia da região. O mais grave é que o avanço da fronteira do desenvolvimento levará junto o problema das queimadas, ameaçando o que ainda resta da floresta amazônica.

É necessário e urgente, portanto, substituir as práticas tradicionais de exploração madeireira na Amazônia por técnicas de menor impacto no equilíbrio ambiental. Outra medida fundamental para evitar o pior cenário é a adoção de técnicas de prevenção e controle de queimadas acidentais por parte de agricultores e pecuaristas.

Na verdade, não há saídas rápidas ou simples para o problema das queimadas na Amazônia. A solução requer a combinação de iniciativas educacionais, legislativas e econômicas, assim como um melhor monitoramento dos incêndios florestais, com a participação organizada da comunidade. O Brasil tem que tomar a frente nessas iniciativas, mas o resto do mundo precisa ajudar a financiá-las. Sem esses esforços, grande parte da floresta amazônica será destruída de modo irreversível, e o Brasil terá perdido um recurso natural de valor imensurável. O resto do mundo, por sua vez, nunca saberá o quanto foi perdido, já que um número incontável de espécies vegetais e animais deixará de existir antes que possam ser conhecidas e estudadas. ■

Qual a real extensão da área afetada pelo grande incêndio florestal ocorrido em Roraima no início de 1998? Um criterioso estudo, baseado em dados de satélites e em imagens obtidas em sobrevôos na região, revela que o fogo – comum nas áreas de savanas do estado, na estação seca – também danificou ou atingiu 11.730 km² de florestas antes quase imunes a incêndios desse tipo.

**Yosio Edemir Shimabukuro
Thelma Krug
João Roberto dos Santos
Evlyn de Moraes Novo
José Luis Rodriguez Yi**
Instituto Nacional
de Pesquisas Espaciais

RORAIMA

o incêndio visto

O incêndio florestal que, no início de 1998, pôs Roraima no noticiário nacional e internacional foi consequência de uma longa estação seca e do baixíssimo índice de chuvas registrado no estado desde meados de 1997. Na origem desses fatores estava o fenômeno El Niño (o aquecimento das águas do oceano Pacífico, alterando o clima de parte do planeta, em especial o da América do Sul), que tem seu efeito máximo nessa região. Dados do Centro de Previsão de Tempo e Clima, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), já indicavam essa situação dramática: desde 1973 não ocorriam condições de seca tão extremas quanto as do começo de 1998. Tal fato, associado à prática de queimadas em áreas agrícolas ou pastagens, desencadearam o maior incêndio florestal já ocorrido no país.

A queimada, costume tradicional na região, é usada na época seca para renovar pastagens e limpar terrenos para o plantio, como revelam os registros, por satélite, de focos de fogo ocorridos no estado entre 1º de janeiro e 31 de março de 1995, ano climaticamente normal, e no mesmo período de 1998, ano de seca excepcional (figura 1). Esses dados foram obtidos por satélites norte-americanos, integrantes do Defense Meteorological Satellite Program (DMSP).

O DMSP recobre, a cada passagem, uma faixa de cerca de 3 mil km, permitindo uma cobertura total do planeta quatro vezes por dia: de manhã, ao meio-dia, ao entardecer e à noite. Sua elevada sensibilidade mesmo a intensidades muito baixas de luz permite usar as imagens captadas à noite para detectar luzes de cidades e vilas ou alguns eventos episódicos, como focos de fogo e incêndios florestais.

A comparação das imagens de 1995 e 1998 revela que, nos dois anos, os focos de queimadas começam na região nordeste de Roraima, caracterizada por vegetação de savana, de baixa densidade de biomassa. Em 1995, os focos concentram-se nessa região,

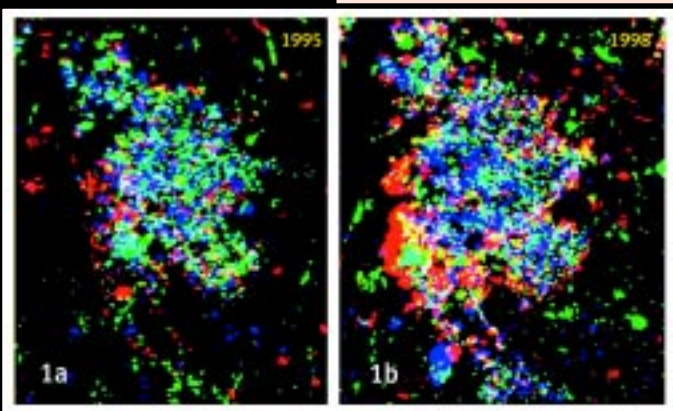


Figura 1. Focos de calor em Roraima em 1995 e 1998, registrados pelo satélite DMSP em janeiro (azul), fevereiro (verde) e março (vermelho), mostram maior avanço para oeste e maior persistência do fogo (amarelo) em 1998

A do espaço

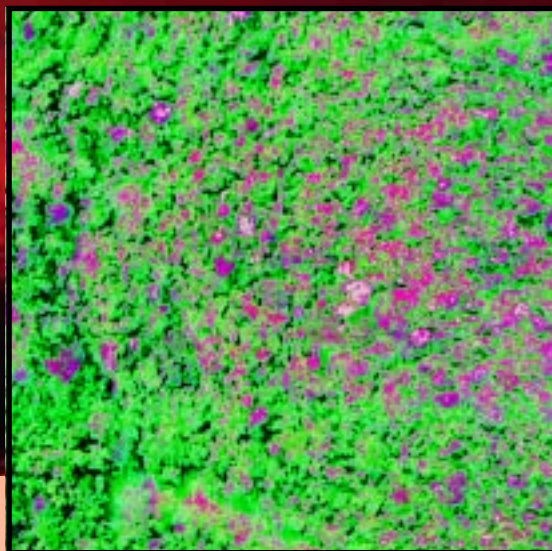


Figura 2. O mosaico de imagens feitas com câmeras digitais (em avião) permite ver as copas das árvores e distinguir as queimadas (em magenta ou roxo) das não atingidas (em verde)

Figura 3. Análise comparativa das imagens de videografia e do satélite Landsat para uma área-piloto, por diferentes classes de interesse

avançando pouco para o oeste, dominado por florestas, tornando-se esparsos (em geral em áreas agrícolas) no mês de março. Em 1998, a área total ocupada pelos focos é maior e o avanço do fogo para oeste é grande. A partir de março, o incêndio espalhou-se por trechos de floresta já alteradas pela ação humana e atingiu áreas sem sinais de alteração recente. A presença de focos de calor mais persistentes (de fevereiro a março) revela que o combustível era a floresta, de degradação mais lenta. O fogo só foi debelado no início de abril, com a chegada da estação chuvosa.

Dados de outro satélite norte-americano, da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), permitiram detectar novos focos de calor e acompanhar a propagação das linhas de fogo. Esse satélite carrega um sensor que registra a temperatura da superfície, mas sua baixa resolução espacial impede a determinação precisa da área afetada pelo fogo. Cada unidade mínima de imageamento (cerca de 1 km²) satura a uma temperatura relativamente baixa. Com isso, unidades parcialmente queimadas podem ser registradas como totalmente atingidas. No entanto, imagens desse satélite são muito úteis para localizar as frentes de fogo e acionar sistemas de alerta que desencadeiam ações de combate aos incêndios.

A polêmica a respeito dos reais danos causados pelo incêndio, principalmente em áreas florestais, levou o Inpe a propor ao Ministério da Ciência e Tecnologia um projeto para estimar esses danos. Para isso, além dos dados de satélites, seriam usadas imagens aéreas obtidas com uma câmera digital. A idéia inicial era sobrevoar e obter imagens videográficas de toda a área atingida pelo fogo, para avaliar os danos na floresta (dossel, sub-bosque etc.), usando a tecnologia GPS (*global positioning system*) para a localização exata das áreas imageadas. No entanto, as intensas chuvas na região, a partir de maio, quando começaram os vôos, reduziram a co-

leta das imagens a algumas áreas amostrais. Nessas imagens, graças à alta resolução espacial (área mínima de imageamento de cerca de 1,96 m²), pode-se identificar copas de árvores e distinguir as queimadas das que não foram atingidas (figura 2).

A impossibilidade de cobertura contínua (com imagens videográficas) levou o Inpe a, tomando por base os dados dos satélites DMSP, concentrar sua análise em imagens do sensor ótico (*Thematic Mapper*, ou TM) do satélite norte-americano Landsat-5, com resolução espacial de 30 por 30 m. No entanto, a cobertura de nuvens impediu o uso das imagens obtidas entre abril e julho: só puderam ser aproveitadas as de agosto, após o final da estação chuvosa. Essas imagens ainda mostravam claros sinais do incêndio, permitindo delinear a área afetada.

As cinco cenas Landsat em que se baseou a análise cobriram cerca de 51% da área do estado, abrangendo quase toda a cobertura florestal atingida pelo fogo. As cenas também foram geograficamente localizadas, possibilitando a integração com os dados de outros satélites, de videografia e de campo. A comparação dos resultados, para a mesma área de floresta (área-piloto), da análise de imagens tanto das câmeras digitais quanto do satélite Landsat (figura 3) mostrou que essas últimas permitiam

CLASSES DE INTERESSE	VIDEOGRAFIA		SATÉLITE	
	Área (km ²)	Percentual	Área (km ²)	Percentual
Floresta queimada	1.135,79	87,01	1.031,46	79,02
Não-floresta queimada	124,53	9,54	148,98	11,41
Floresta não queimada	29,50	2,26	80,79	6,19
Não-floresta não queimada	4,18	0,32	1,17	0,09
Água (rios e lagos)	11,36	0,87	42,96	3,29
TOTAL	1.305,36	100	1.305,36	100

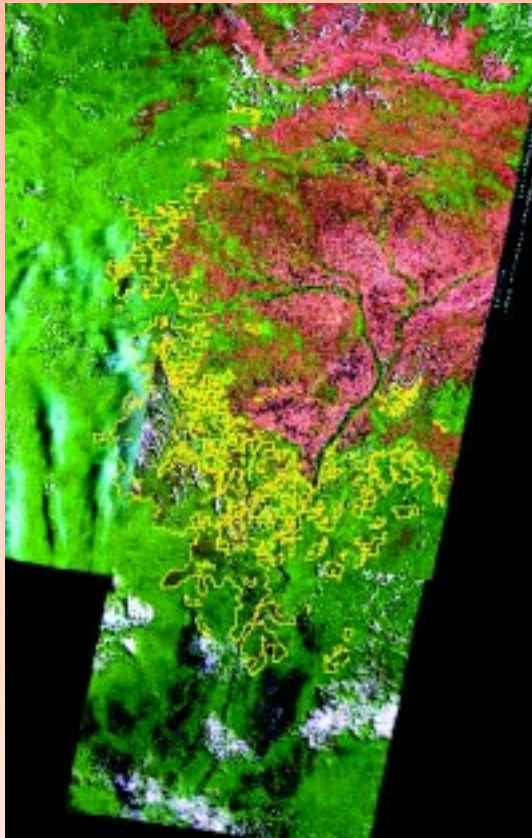


Figura 4. Os limites das áreas de floresta atingidas pelo fogo (em amarelo), mapeado no estudo, podem ser bem identificados nesse mosaico de imagens do sensor TM do Landsat com as florestas (em verde) e as savanas (em marrom) de Roraima

avaliar, com pequena margem de erro, a área de floresta realmente afetada pelo incêndio (figura 4).

Os resultados finais, baseados na interpretação visual de imagens, método que assegurou a análise de um conjunto mais amplo de dados, apontam que o incêndio de Roraima atingiu 11.730 km² de área coberta por floresta naquele estado. Foi avaliada ainda a área atingida em cada formação florestal (figura 5), mas não foi possível caracterizar a extensão total de savanas atingidas pelo fogo, já que as cicatrizes do incêndio nesse tipo de vegetação não eram mais visíveis nas imagens de agosto. Esse dado, porém, não estava sendo investigado, já que as queimadas em regiões de savana são típicas na estação seca.

Da área total atingida, 25% eram de floresta ombrófila densa submontana (fechada, com árvores de porte alto, situada na base de áreas montanhosas) e 64% ficavam na região de contato entre floresta ombrófila e floresta estacional (com árvo-

CLASSE DE FLORESTA	ÁREA QUEIMADA (km ²)
Floresta ombrófila densa montana	282,99
Floresta ombrófila densa submontana	3.024,55
Floresta ombrófila aberta submontana	3,61
Floresta estacional semidecidual submontana	43,61
Campinarana florestada	498,17
Campinarana arborizada	26,06
Campinarana gramíneo-lenhosa	35,69
Savana parque	41,31
Savana gramíneo-lenhosa	96,51
Área de tensão ecológica (savana-floresta ombrófila)	14,64
Área de tensão ecológica (floresta ombrófila-f. estacional)	7.560,67
Área de tensão ecológica (campinarana-f. ombrófila)	301,95
TOTAL	11.929,76

Figura 5. Área queimada por classe de vegetação – o cálculo da área de floresta atingida exclui as savanas e as campinaranas arborizada e gramíneo-lenhosa

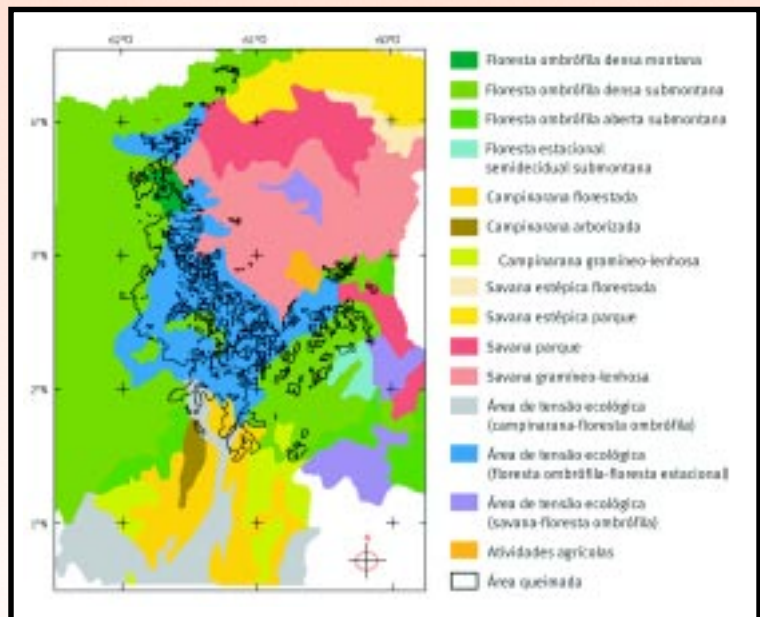


Figura 6. Área florestal afetada pelo fogo (em preto), mapeada a partir de imagens TM-Landsat, superposto ao mapa de vegetação de Roraima

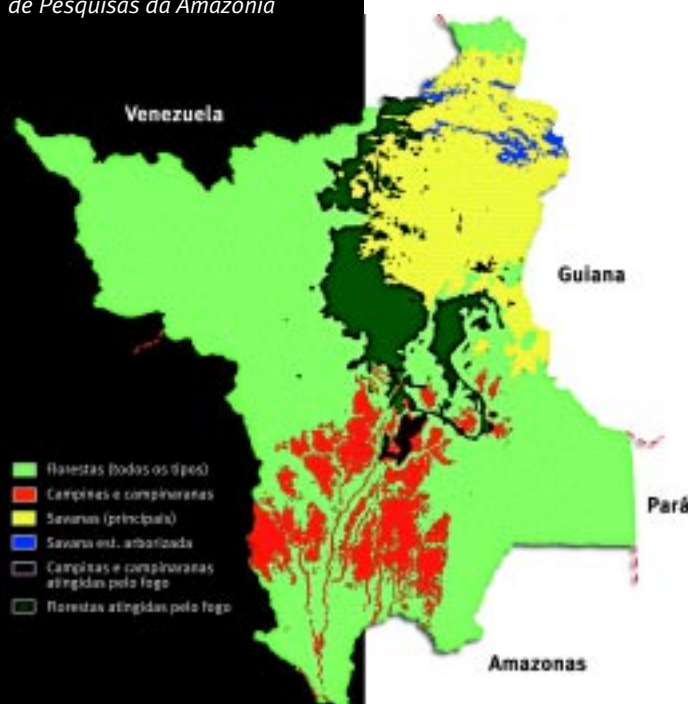
res que perdem as folhas em certos períodos do ano), como pode ser verificado na superposição dos resultados do estudo ao mapa de vegetação de Roraima (figura 6). Esses resultados indicam que a seca excepcional provocada pelo El Niño fez da floresta estacional uma ‘porta’ de acesso a áreas tipicamente ombrófilas, facilitando a entrada do fogo em áreas de maior umidade, quase sempre imunes a incêndios. ■

As implicações ecológicas do incêndio que atingiu diferentes ecossistemas em Roraima, no final de 1997 e início de 1998, vão além dos danos diretos causados pelo fogo. Entre as suas conseqüências estão mudanças na paisagem florestal, perdas de biodiversidade, alterações no ciclo da água e altas emissões de gases que afetam o clima global. Apesar dos prejuízos, um incêndio dessas proporções traz muitas lições, inclusive a respeito da atual política de povoamento da Amazônia.

Reinaldo Imbrozio Barbosa
Núcleo de Pesquisas de Roraima,
Instituto Nacional de
Pesquisas da Amazônia
Philip Martin Fearnside
Coordenação de Pesquisas
em Ecologia, Instituto Nacional
de Pesquisas da Amazônia

As lições do fogo

Os incêndios ocorridos em diversos tipos de paisagens em Roraima, entre o final de 1997 e o início de 1998, atingiram uma área total entre 38.144 e 40.678 km². O fogo afetou principalmente formações não-florestais, como savanas (ao nordeste do estado), atingidas em cerca de 22.580 km² de sua área original. Todos os anos ocorrem grandes queimadas nas savanas, facilitadas pelo uso do fogo para a limpeza de terras agrícolas e pastagens e pela fácil combustão da vegetação (em geral gramíneas, com poucas plantas lenhosas). Entretanto, o incêndio de dois anos atrás surpreendeu os cientistas por ter queimado de 11.394 a 13.928 km² de florestas primárias (figura 1).



ECOSSISTEMAS E ÁREA EFETIVAMENTE QUEIMADA (dez./1997 a abr./1998)

Categoria	Área total do sistema (km ²)	Área efetivamente queimada (km ²)	Percentual queimado
Floresta densa	104.810	2.657 a 3.247	2,5 a 3,1
Floresta não-densa	49.817	8.737 a 10.681	17,5 a 21,4
Savanas, campinas e campinaranas	62.659	23.970	38,2
Sistemas antrópicos			
Rural (*)	5.776	2.780	48,1
Urbano (**)	251	—	—
Cursos d'água	1.803	—	—
TOTAL	225.116	38.144 a 40.678	16,9 a 18,1

Obs.: Área efetivamente queimada é a superfície total atingida pelo fogo, descontados rios, estradas e trechos não-impactados. (*) Inclui lavouras, pastagens e florestas alteradas. (**) Sedes municipais.

Figura 1. Área bruta de florestas (em verde escuro) e de campinas e campinaranas (em preto) atingida pelo incêndio de Roraima

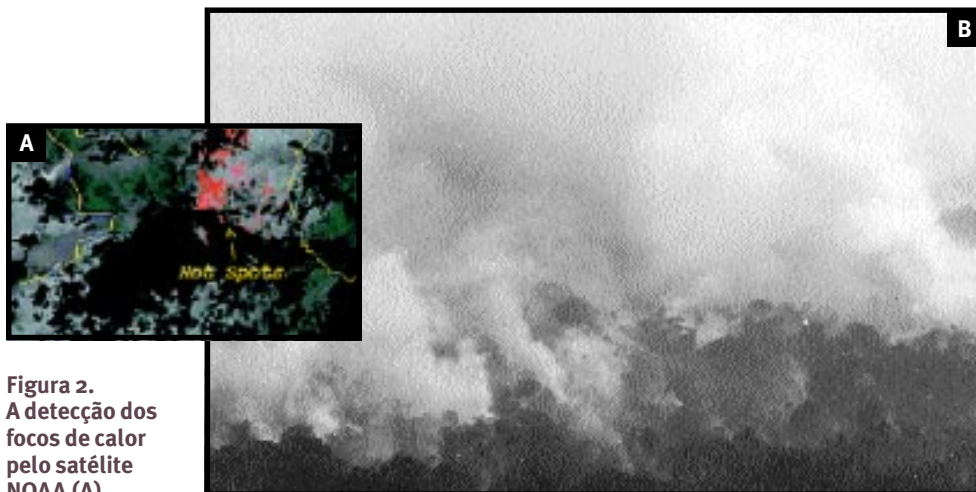


Figura 2. A detecção dos focos de calor pelo satélite NOAA (A) permitiu acompanhar as linhas de fogo, fotografadas de perto (B) próximas da reserva indígena Yanomami

O método de quantificação das áreas queimadas consistiu na combinação de levantamentos aéreos (sobrevôos), trabalhos de campo e análises de imagens dos satélites Landsat e NOAA. O intervalo de incerteza em relação à área de florestas efetivamente queimada deve-se a estimativas sobre o fogo rasteiro, que avança sem muita intensidade no solo e tem efeitos pouco aparentes nas copas das árvores. Por isso, nem sempre é percebido por sobrevôos ou imagens de satélite, mas apenas por pesquisas de campo.

A associação entre um fator climático global e um fator social local possibilitou o incêndio. O primeiro – a ação intensa do fenômeno El Niño na região, no biênio 1997-1998 – reduziu a umidade relativa do ar (abaixo dos 60%) e os índices de chuvas, além de aumentar anormalmente a temperatura. Em Boa Vista, capital de Roraima, de setembro de 1997 a março de 1998 choveu apenas 30,6 mm (8,7% da média histórica para o período, de 352 mm). O outro

fator está ligado aos métodos de distribuição de terras no Brasil, que há muitos anos levam milhares de migrantes, em especial nordestinos, para os frágeis sistemas ecológicos amazônicos.

Embora incêndios dessa magnitude possam não ter sido percebidos até pouco tempo atrás, o risco de que esse tipo de fogo acelere a destruição de florestas primárias na Amazônia parece ser significativamente mais alto no futuro. O crescimento da atividade humana na periferia da região

aumenta essa ameaça e eleva a chance de perda dos sistemas florestais e dos benefícios decorrentes de sua preservação.

Características do desastre

Os incêndios florestais em Roraima foram favorecidos pelo excesso de material combustível (biomassa vegetal morta sobre o solo), pela reduzida umidade desse material (abaixo de 10%, tornando-o mais inflamável), e pela presença de uma fonte inicial de ignição. As duas primeiras condições podem ser explicadas pelo forte evento El Niño, pois, a grosso modo, quanto maior o estresse causado pela seca, maior o volume de massa liberado pela vegetação como forma de defesa fisiológica. A terceira condição – a fonte de ignição – é dada pela forma de preparo inicial do solo para a implantação de culturas agrícolas ou pastagens.



Figura 3. Aspecto geral do sub-bosque de um trecho da floresta amazônica após a passagem do fogo

Na Amazônia, como na maior parte do país, o método tradicional de limpeza da terra ainda consiste em derrubar a floresta, esperar que a massa vegetal seque e em seguida pôr fogo, para que os resíduos grosseiros sejam eliminados e as cinzas produzidas enriqueçam temporariamente o solo. Em Roraima, com a seca, essas queimadas ficaram fora de controle e invadiram pastagens, plantações, florestas secundárias e florestas alteradas pela exploração de madeira. O grande volume de biomassa seca nas duas últimas facilitou a passagem do fogo para florestas primárias.

Sobrevãos da área queimada, de março a maio de 1998, com o apoio do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama-Roraima), da Comissão Pró-Yanomami e do Conselho Indígena de Roraima, revelaram que a maioria dos incêndios florestais partiu de áreas oficiais de colonização no centro-oeste do estado. Pequena parcela originou-se em queimadas iniciadas nas savanas, através das áreas de contato. Os focos principais na área florestada partiram das regiões de Caracará, Roxinho, Apiaú-Ribeiro Campos, Alto Alegre, Paredão, Tepequém-Trairão, Pacaraima, Cantá, Confiança, Vila União e Vila São Félix. No final de março, ajudado pelos ventos (de nordeste para sudoeste), os focos já formavam uma linha contínua de fogo que avançava para a terra indígena Yanomami (figura 2).

O fogo difundiu-se basicamente pela superfície da floresta, no material seco do sub-bosque (figura 3), com a intensidade de calor aumentando em clareiras ou trechos com alta concentração de palmeiras.



Embora não seja um fato comum, algumas árvores de maior porte foram queimadas por estarem ocas ou apresentarem maior volume de massa vegetal seca em sua base (figura 4). O cenário do incêndio só mudou com a chegada das chuvas, no final da manhã de 31 de março de 1998.

Figura 4. Algumas árvores de grande porte não resistiram ao fogo, como um angelim-ferro (*Hymenolobium complicatum*) na região do Apiaú

Impactos nas florestas

Para tentar identificar, no ato da queimada, os impactos do fogo sobre sistemas florestais primários, foram realizados estudos de campo em áreas amostrais de Apiaú-Ribeiro Campos, Tepequém-Trairão e Paredão. Foram avaliados o número médio de árvores mortas (2.219 por hectare) e o volume médio de biomassa

acima do solo (sem as raízes) que tais árvores representavam (23,3 toneladas por hectare, ou t/ha).

A grande maioria das árvores mortas (2.173/ha) tinha diâmetro à altura do peito (DAP) inferior a 10 cm e gerou 5,85 t/ha de biomassa. O restante das árvores mortas (46/ha) tinha DAP maior que 10 cm e resultou em uma massa vegetal de 17,45 t/ha (figura 5). Se toda essa biomassa morta pudesse ser reunida na forma de toras sólidas de madeira, seu transporte exigiria cerca de 3,5 milhões de caminhões, considerando toda a área de floresta atingida pelo fogo.

Embora avaliações dessa magnitude para mortalidade de árvores e biomassa morta apresentem grande margem de erro, é possível que, nesse caso, os números estejam subestimados, pois não houve amostragem nas áreas onde o fogo formou uma linha contínua, mas apenas em áreas de focos isola-

Diâmetro	DAP < 5 cm		DAP 5-10 cm		DAP >10 cm		Todos	
	Número	(t/ha)	Número	(t/ha)	Número	(t/ha)	Número	(t/ha)
Total de árvores	2.120	(5.6)	307	(19.9)	585	(219.7)	3.011	(245.2)
Árvores mortas	1.933	(3.0)	240	(2.8)	46	(17.4)	2.219	(23.3)
Índices de mortalidade (%)	91.2	(54.2)	78.3	(14.2)	7.9	(7.9)	73.7	(9.5)

Obs.: As amostragens para árvores com DAP > 10 cm foram realizadas em Apiaú-Ribeiro Campos, Tepequém-Trairão e Paredão, e para DAP < 10 cm os dados são de Apiaú-Ribeiro Campos. Estudo de equipe do Ibama apontou mortalidade de 50 árvores com DAP > 10 cm/ha.

Figura 5. Mortalidade e biomassa, por hectare, nas áreas florestais efetivamente queimadas, de acordo com o diâmetro dos troncos

dos. Assim, o impacto do fogo compactado e em linha não foi determinado. Nos sobrevivôs após as queimadas, era fácil constatar uma maior concentração de copas secas na linha de fogo do que nas áreas de focos. Logo, os resultados podem estar abaixo do real, minimizando os efeitos regionais e globais.

Implicações ecológicas

As conseqüências ecológicas dos incêndios em Roraima podem ser divididas, de modo simplificado, em regionais (danos nos locais atingidos) e globais (as implicações mundiais do evento). Os dois níveis estão interligados.

No primeiro, vem recebendo destaque a hipótese – proposta por Bruce Nelson e Marilane Irmão, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – de que a estrutura da paisagem pode ser alterada pelos efeitos acumulados de várias queimadas. Nesse caso, espécies mais resistentes ao fogo tornam-se mais dominantes, em relação à paisagem anterior às queimadas, afetando a fitogeografia amazônica. Em trechos de floresta do centro-oeste de Roraima, por exemplo, é alta a concentração da palmeira inajá (*Attalea maripa*), que resiste ao fogo e adapta-se bem a ambientes alterados (figura 6).

Toda a região agora atingida pode ter sofrido outros incêndios no passado, em função de fortes El Niños, como o de 1925-1926, descrito como o ‘verão da fumaça’ por moradores mais antigos e citado por George H. H. Tate, do Museu Americano de História Natural, quando esteve em Roraima ao final dos anos 20. A tendência à homogeneidade vegetal tornaria essas paisagens mais vulneráveis ao fogo: quanto mais fogo, maior a substituição de espécies, maior o acúmulo de material seco e maior a probabilidade de novos incêndios.

A hipótese da troca de dominância não foi diretamente testada nas florestas de Roraima queimadas, mas em vários locais atingidos pelo fogo constatou-se maciça regeneração de musáceas (da família das bananeiras) e de aráceas (da família das palmeiras). Estudos recentes de Mark Cochrane e Mark Schulze (do Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia e da Universidade da Pensilvânia) em Tailândia, no sul do Pará, demonstraram uma dramática troca na composição da flora e na estrutura de florestas afetadas por incêndios menos extensos, mas semelhantes ao de Roraima. Esse pode ser um passo importante para demonstrar os efeitos e as implicações de incêndios dessa magnitude por toda a região amazônica.

No âmbito global, destacam-se os prejuízos que incêndios como esses causam à biodiversidade (a riqueza genética animal e vegetal de um local), ao ciclo hidrológico e ao ciclo do carbono na atmosfera. Tais prejuízos reduzem os serviços ambientais que a floresta, mantida em seu padrão atual, poderia proporcionar ao planeta. Incêndios continuados na mesma macrorregião, admitida a hipótese de troca da paisagem, levam à perda irreversível de boa parte dos recursos genéticos, antes mesmo de se conhecer seu potencial para, por exemplo, a produção de remédios ou alimentos.

Os efeitos sobre o ciclo hidrológico decorrem da importância da floresta para a manutenção do equilíbrio na distribuição de chuvas. Estudo de Eneas Salati mostrou que metade da água que circula nos sistemas florestais da Amazônia é reaproveitada ali mesmo: as grandes massas de evaporação e transpiração das plantas mantêm-se na região e retornam em forma de precipitação. Além disso, estima-se que a água que circula na Amazônia seja responsável por boa parte das chuvas que ocorrem em toda a América do Sul. Assim, desmatamentos e

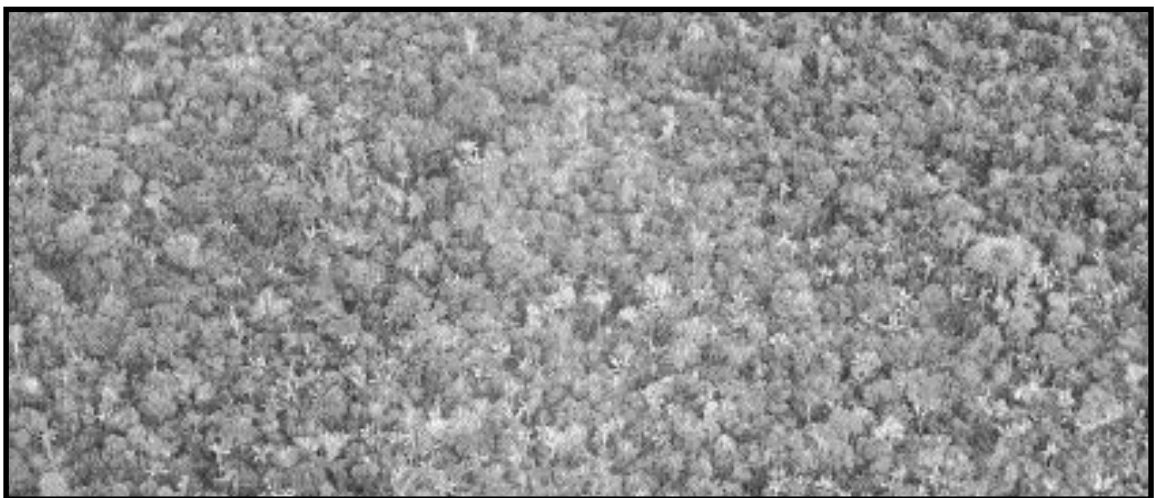


Figura 6.
Área próxima
à serra
do Cantá
com alta
concentração
de palmeirais
de inajá
(*Attalea maripa*)

Destino	Emitido para a atmosfera	Emissão futura (decomposição)	Depositado como carvão	Total
Sistemas florestais	12,64	18,66	0,18	31,5
Sistemas não-florestais	3,36	3,34	0,003	6,7
Sistemas antrópicos (rural)	3,73	0,33	0,34	4,4
Total	19,73	22,33	0,52	42,6
(%)	(46,3)	(52,4)	(1,2)	(100)

Figura 7. Destino do carbono liberado no incêndio de Roraima (em milhões de toneladas)

trocas de paisagem podem alterar essas proporções e afetar o volume e a distribuição de chuvas não só na Amazônia, mas em importantes regiões produtoras de grãos do Brasil e de países vizinhos.

Quanto ao ciclo do carbono, acredita-se que a floresta amazônica continua a ser um importante reservatório (no solo e nos tecidos vegetais) desse elemento químico. Desmatamentos, queimadas e rupturas no equilíbrio do sistema liberam gases à base de carbono, em especial CO₂ (dióxido de carbono) e CH₄ (metano). Tais gases são bloqueadores de calor, e seu acúmulo na atmosfera pode alterar o balanço de energia do planeta e aumentar a temperatura média da superfície (efeito estufa). Em Roraima, além da vegetação totalmente queimada, que gerou pesadas nuvens de fumaça, ainda há grande massa vegetal (em geral árvores não queimadas, mas mortas pelo excesso de calor), que será decomposta durante anos, liberando gases pela ação microbiana.

Estimativas dos autores apontam que, durante o incêndio, a queima de material vegetal, nos diferentes ecossistemas, emitiu para a atmosfera cerca de 19,73 milhões de toneladas de carbono (figura 7). A maior parte (12,64 milhões, ou 64,1% do total) é atribuída à combustão em sistemas florestais primários, incluindo basicamente resíduos sobre o solo (folhas e troncos caídos), árvores jovens e plantas do sub-bosque. A maior parte do volume total foi emitida na forma de CO₂ (68,1% a 78,1%), mas provavelmente uma parcela retornou no período das chuvas, absorvida pelos vegetais que nasceram ou voltaram a crescer. A participação do CH₄ no total de carbono emitido ficou entre 19,8% e 28,8%, e o restante foi atribuído a outros gases.

Apesar das elevadas emissões durante o incêndio, o que mais chama a atenção é a quantidade de carbono presente na biomassa morta: 22,33 milhões de toneladas. Esse volume é contabilizado como 'emissão futura' porque a decomposição dessa biomassa por microrganismos também libera gases. No entanto, se ocorrerem novos incêndios em florestas primárias locais, alterando a quantidade de biomassa morta, a estimativa de emissões futuras terá que ser refeita.

Lições para o desenvolvimento

Apesar das imensas perdas, o incêndio de Roraima trouxe alguns ensinamentos sobre a política de desenvolvimento da Amazônia adotada nos últimos anos (ver 'Por quem arde a Amazônia?', em *CH* n° 138). Tal política, mesmo com variações e uma tendência de mudança, ainda é baseada no assentamento (em áreas florestais) de pequenos agricultores vindos de regiões com forte pressão fundiária. Essa e outras questões que envolvem a Amazônia vêm sendo mais intensamente debatidas a partir dos anos 80. A tônica geral das discussões, no entanto, infelizmente ainda está centrada na idéia de que a Amazônia seria o local adequado para a solução dos problemas fundiários do país.

No caso de Roraima, os incentivos do próprio governo local – no final dos anos 80 (*boom* mineral, ligado ao garimpo de ouro na reserva Yanomami) e no início dos 90 (*boom* político, ligado à ocupação de cargos eletivos), ambos associados à criação do novo estado (em 1988) – criaram uma 'cultura migratória' difícil de ser revertida. Nos dois *booms*, a vinda de migrantes de outras regiões do país foi encorajada e até subsidiada pelos governantes locais. Hoje, porém, a geração de empregos na capital estadual não acompanha o crescimento da população (vegetativo e migratório), e a opção vem sendo regularizar as frentes de colonização espontânea que surgem em toda a orla da floresta. A ligação entre povoamento e trocas na paisagem vem sendo debatida há muito, mas incêndios fora de controle, como esse último, com repercussões mundiais, sugerem que o debate sobre o modelo de desenvolvimento adotado na região precisa ser acelerado.

As decisões sobre a implantação de estradas e assentamentos, como os que geraram a faísca responsável pelo grande incêndio de Roraima, são tomadas sem levar em conta os impactos do fogo fora das áreas onde as derrubadas e queimadas para agricultura já estavam previstas. Essas decisões, sobre esses e outros projetos de infra-estrutura, poderiam ser diferentes se todo o custo ambiental – o direto e o potencial – fosse estimado e devidamente ponderado. ■

Sugestões para leitura

- BARBOSA, R. I. & FEARNSIDE, P. M. 'Incêndios na Amazônia brasileira: estimativa da emissão de gases do efeito estufa pela queima de diferentes ecossistemas de Roraima na passagem do Evento 'El Niño' (1997-98)', in *Acta Amazonica*, v. 29(4), no prelo, 1999.
- HOLDSWORTH, A. R. e UHL, C. 'Fire in eastern Amazonian logged rain forest and the potential for fire reduction', in *Ecological Applications*, v. 7(2), p. 713, 1997.
- KAUFFMAN, J. B. 'Survival by sprouting following fire in tropical forests of the Eastern Amazon', in *Biotropica*, v. 23(3), p. 219, 1991.
- NEPSTAD, D. C. e outros. 'Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire', in *Nature*, v. 398, p. 505, 1999.
- UHL, C., KAUFFMAN, J. B. e CUMMINGS, D. L. 'Fire in Venezuela Amazon II: Environmental conditions necessary for forest fires in the evergreen rainforest of Venezuela', in *Oikos*, v. 53, p. 176, 1988.

Os prejuízos do grande incêndio de Roraima foram evidentes, mas para avaliar os impactos reais do fogo sobre a floresta é preciso examinar de perto a vegetação atingida. Um estudo de campo, em cinco diferentes áreas por onde o fogo passou, permitiu conhecer melhor os danos às árvores e plantas menores e apontar algumas prováveis conseqüências desse desastre ecológico.

Marcelo Trindade Nascimento

Laboratório de Ciências Ambientais, Universidade Estadual do Norte Fluminense

Jeanine Maria Felfili

Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília

Ary Teixeira de Oliveira Filho

Marco Aurélio Leite Fontes

Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras

Jaime Tadeu França

Diretoria de Incentivo à Pesquisa e Divulgação, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (Ibama)

John Hay

Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília

Rogério Gribel

Coordenação de Pesquisas em Botânica, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia

Efeitos do

As queimadas em Roraima, como em outras áreas da Amazônia, estão ligadas à maneira como a ocupação humana vem ocorrendo na região. O estado, com área de 225.116 km² e cerca de 250 mil habitantes, incluindo a população indígena (14% do total), tem recebido grande número de migrantes, vindos principalmente dos estados do Maranhão e do Pará, atraídos pela perspectiva de acesso à terra e de ajuda para cultivá-la. A imigração pode, portanto, ser considerada um dos principais fatores que determinam a taxa atual de crescimento populacional (2,6% ao ano).



Figura 1. A ocupação de Roraima vem ocorrendo através de migrantes atraídos pelos garimpos ou pela criação de núcleos de colonização agrícola

Figura 2. O fogo é usado para eliminar as pilhas de troncos geradas pelas derrubadas para a abertura de terras para cultivo ou pastagem

A ocupação de Roraima aconteceu a partir de pulsos migratórios que visavam basicamente o garimpo (ouro e diamante) e/ou a abertura de fronteiras agrícolas (figura 1). De início, foram usadas para formar lavouras e renovar pastagens as áreas abertas (as 'savanas', semelhantes ao cerrado

do Brasil Central). Nas savanas, a prática usual dos colonos tem sido a queima da vegetação. Em épocas mais recentes, como parte do processo de colonização e com o avanço da fronteira agrícola e da exploração mineral, áreas florestais começaram a ser desmatadas, usando-se o fogo para eliminar os resíduos das derrubadas – na maioria das vezes, pilhas de troncos com mais de 30 cm de diâmetro e 10 m de comprimento (figura 2).

Incêndios podem ocorrer em períodos de escassez excepcional de chuvas, mas isso não é freqüente em florestas tropicais úmidas não alteradas por ações humanas. No entanto, o avanço da ocupação, a formação de clareiras na mata



fogo nas florestas

(pela extração de madeira) e o fogo que escapa de áreas de queimadas em fazendas e assentamentos estão tornando comuns incêndios de áreas naturais. Tal situação é observada não só em Roraima, mas ao longo do grande arco de desmatamento no sul da Amazônia (de Rondônia ao Maranhão). Em Roraima, as novas estradas (figura 3) e, com elas, o assentamento de colonos, em várias regiões, por órgãos como o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (Incra) e o Instituto de Terras de Roraima (Interaima), aumentaram drasticamente a taxa de desmatamento.



Figura 3. A abertura de estradas cortando áreas de floresta leva à ocupação de novas regiões e ao desmatamento

Todos esses fatores, associados às condições climáticas criadas pelo fenômeno El Niño, levaram o fogo a uma área em torno de 40 mil km², ou cerca de 20% do estado. Além de áreas de uso agrícola e de savana, o fogo atingiu grandes trechos de floresta. Avaliações sobre os impactos ambientais desse incêndio indicam que a área de florestas de terra firme queimada chegou a cerca de 12 mil km² (ver 'O incêndio visto do espaço' e 'As lições do fogo', nesta edição). Isso equivale a 5% da área total do estado, ou quatro vezes mais que toda a área já desmatada em Roraima até 1997.



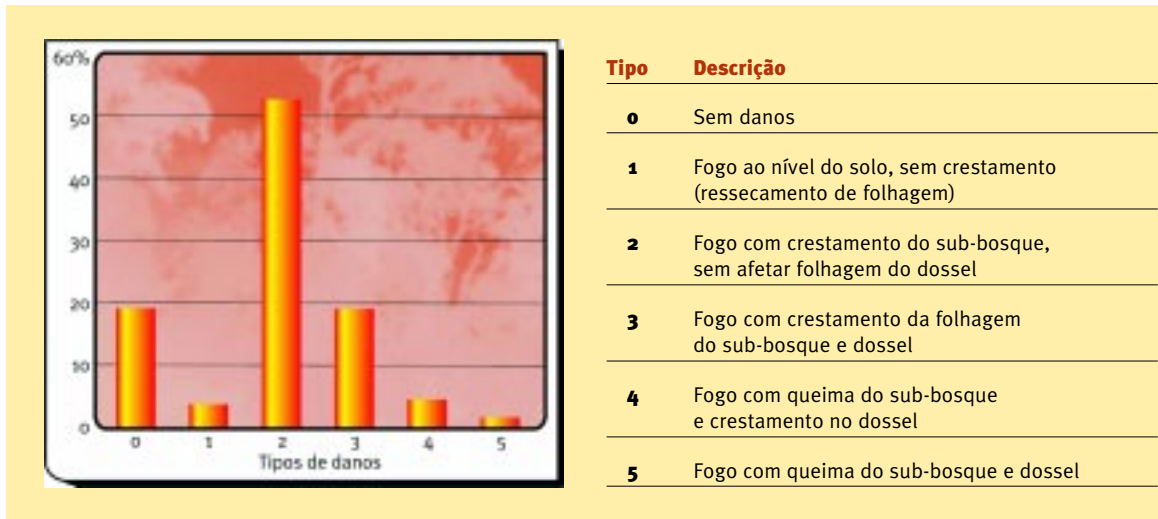
Efeitos do fogo na vegetação

Os danos causados às diferentes formações vegetais pelo incêndio de 1998 – tema deste artigo – foram avaliados através de estudos de campo realizados em áreas selecionadas em diferentes regiões do estado: Caracarái, Roxinho, Apiaú, Trairão e Pacaraima (figura 4). Em cada



Figura 4. Localização das cinco áreas selecionadas para o estudo dos efeitos do fogo sobre a flora de Roraima

Figura 5. Danos à flora (por tipo de dano) nas 20 linhas de amostragem estudadas em cinco áreas de Roraima atingidas pelo fogo



área foram estabelecidas quatro linhas retas (com 1 km) de amostragem, procurando cobrir áreas florestais (representativas da região) afetadas pelo fogo. As linhas começavam sempre a certa distância (de 50 m a 200 m) de áreas desmatadas para agricultura ou da margem de rodovias.

Para estabelecer as linhas, o terreno foi caracterizado quanto à topografia, solos, tipo de vegetação e altura do dossel da floresta. Os pontos de início e final das linhas foram georeferenciados para facilitar sua localização em imagens obtidas por avião ou por satélite. Em cada linha foram delimitadas qua-

tro parcelas (de 10 m por 50 m), distantes cerca de 250 m umas das outras. O estudo revelou que o incêndio, no nível do solo e do sub-bosque, atingiu 17 das 20 linhas de amostragem pesquisadas, e que a intensidade de queima – medida de acordo com uma escala de danos – variou muito ao longo dessas linhas (figura 5).

O dano mais freqüente (mais de 50% da amostragem) foi o de fogo no solo com ressecamento do sub-bosque, e em quase 20% das linhas não houve qualquer dano. O crestamento da folhagem do dossel (as copas das árvores mais altas) ocorreu em mais de 23% da extensão das linhas, sem ou com a queima do sub-bosque. Só em 1,5% da amostragem o dossel foi queimado, principalmente onde ocorriam espécies muito combustíveis: clareiras (em especial as ricas em cipós e trepadeiras), baixios alagáveis com palmeiras e florestas dominadas pelo pau-roxo (*Peltogyne gracilipes*).

Das 2.388 árvores com diâmetro à altura do peito (DAP) igual a 10 cm ou maior registradas nas 80 parcelas estudadas, 1.288 (54%) mostravam algum sinal de queima e em 159 o câmbio (parte viva do tronco) estava seco. O fogo parece ter sido mais intenso nas áreas de Trairão e Pacaraíma, onde a proporção de árvores com câmbio seco foi maior (figura 6). Entre as 797 árvores com DAP menor que 10 cm registradas nas cinco regiões, 459 (57,5%) foram afetadas pelo fogo e 175 tinham o

Figura 6. Total de árvores do dossel (DAP > 10 cm) registradas e árvores com sinais de queima e com câmbio seco nas áreas de amostragem

Áreas de amostragem	Caracarai	Roxinho	Apiáú	Trairão	Pacaraíma	Total
Total de árvores	419	761	424	364	420	2.388
Árvores queimadas	293	375	333	102	185	1.288
% sobre o total	69,9	49,2	78,5	28,0	44,0	53,9
Árv. com câmbio seco	15	49	34	9	52	159
% sobre o total	3,6	6,4	8	2,5	12,4	6,7
% sobre as queimadas	5,1	13,1	10,2	8,8	28,1	12,3

Figura 7. Total de árvores do sub-bosque (DAP < 10 cm) registradas e árvores com sinais de queima e com câmbio seco nas áreas de amostragem

Áreas de amostragem	Caracarai	Roxinho	Apiáú	Trairão	Pacaraíma	Total
Total de árvores	160	160	139	160	178	797
Árvores queimadas	117	91	107	79	65	459
% sobre o total	73,1	56,8	77	49,3	36,5	57,6
Árv. com câmbio seco	19	36	22	79	19	175
% sobre o total	11,9	22,5	15,8	49,3	10,7	21,9
% sobre as queimadas	16,2	40	21	100	29,2	38,1



Figura 8. Quando o sub-bosque da floresta (A) é atingido pelo fogo, a serapilheira e as plantas jovens sofrem impactos severos (B)

câmbio seco (a proporção também foi maior em Trairão e Pacaraima) (figura 7).

Nas áreas de queima de sub-bosque houve impacto severo sobre a serapilheira e as plantas jovens (figura 8), provavelmente afetando a microfauna do solo e o banco de sementes. Finalmente, a passagem do fogo deixou grande quantidade de material combustível (figura 9) na floresta: folhas, galhos e troncos secos, folhas secas pendentes das palmeiras, cipós e troncos mortos em pé. Em Roxinho e Trairão, onde havia longos trechos não-queimados, o volume de madeira caída era quase três vezes maior nas áreas afetadas pelo fogo do que naquelas não afetadas.

O que se espera para o futuro

O incêndio ocorrido em Roraima afetou grandes extensões de diferentes tipos de florestas, formando mosaicos de áreas queimadas (predominantes) e não queimadas. A intensidade do fogo variou nas áreas queimadas, e o principal dano foi o incêndio do sub-bosque. Os componentes mais afetados fo-

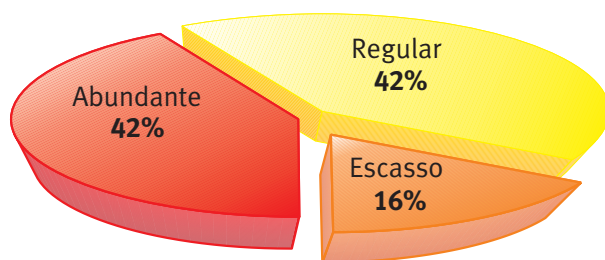
ram as árvores pequenas (DAP < 10 cm), o estrato regenerativo (plantas jovens e sementes), as plantas típicas do sub-bosque (palmeiras do gênero *Geonoma*, heliconiáceas, marantáceas, piperáceas e outras) e os cipós. Estimou-se em 80% a mortalidade das plantas jovens, o que sugere mudanças futuras na composição e estrutura da comunidade vegetal da floresta.

Uma conseqüência provável das queimadas será o surgimento de clareiras, que poderão favorecer as espécies pioneiras e oportunistas, em especial a palmeira inajá (*Attalea maripa*). Essa palmeira, em função da germinação e crescimento rápidos e da resistência ao fogo, poderá tornar-se dominante nas matas afetadas, reduzindo a diversidade de espécies das florestas. A substituição das florestas por palmeirais vem ocorrendo em várias regiões de Roraima e da Amazônia em geral.

O acúmulo de material combustível, em particular troncos caídos, cipós mortos nas copas das árvores e folhas secas de palmeiras, permite estimar que as florestas situadas nas regiões críticas do incêndio continuarão altamente inflamáveis e portanto suscetíveis a novos incêndios nas próximas estações secas, ainda mais se mantidas as atuais práticas de manejo (uso do fogo para limpeza de terrenos). Esses novos incêndios poderão ter maiores proporções que o de 1998. Felizmente, a última estação seca (dezembro de 1998 a março de 1999) foi excepcionalmente chuvosa na parte de Roraima situada no hemisfério Norte.

Um maior conhecimento sobre a dinâmica da floresta após o fogo só será obtido com o acompanhamento, a médio e longo prazo, das áreas estudadas para avaliar os efeitos do incêndio de 1998. É necessário que o governo federal, através dos órgãos da área ambiental, viabilize esse acompanhamento. Por enquanto, existe apenas uma iniciativa: o Ibama pretende realizar nova estimativa de biomassa morta no solo na atual estação seca, para avaliar o risco de novos incêndios.

Figura 9. Percentagem de material combustível remanescente nas 80 parcelas das cinco áreas de estudo em Roraima



Sugestões para leitura

- BARBOSA, R. I.; FERREIRA, E. & CASTELLÓN, E. (eds.). *Homem, ambiente e ecologia no estado de Roraima*, Inpa, Manaus, 1997.
- HOLDSWORTH, A. R. & Uhl, C. 'Fire in eastern Amazonian logged rainforest and the potential for fire reduction', in *Ecological applications*, v. 7, p. 713, 1997.
- NAÇÕES UNIDAS. *Brasil - Incêndios no estado de Roraima: agosto de 1997-abril de 1998* (relatório final de avaliação), Organização das Nações Unidas, Nova York, 1998.
- NEPSTAD, D. C. e outros. 'Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire', in *Nature*, v. 398, p. 505, 1999.