

M. C. Pereira

A. W. Setzer

Instituto de Pesquisas Espaciais
Ministério da Ciência e Tecnologia

Caixa Postal 515, 12201-São José dos Campos, SP, Brasil

RESUMO

Foram analisadas 25 imagens dos satélites NOAA-8/9 cobrindo a Amazônia, gravadas no período de 19/07 a 09/08/85 juntamente com as missões de campo do GTE/ABLE-2A. O objetivo foi detectar queimadas e plumas de fumaça para uma análise do impacto ambiental do material lançado na atmosfera pelas queimadas. A área coberta pela fumaça variou de 2.800 a 90.000 km² à medida que a estação seca se pronunciava. Mapas e "slides" preparados ilustram as áreas afetadas pelas queimadas. A metodologia mostrou-se adequada à detecção de grandes queimadas.

ABSTRACT

Twenty-five NOAA-8/9 satellite images covering the Amazon region were recorded from 07/19 to 08/09/85 and analysed along with the GTE/ABLE-2A field measurements. The objective was the detection of biomass burnings and smoke plumes to assess the environmental impact caused by their emissions in the atmosphere. The area covered by the smoke varied from 2,800 to 90,000 km² as the dry season progressed. Maps and slides show the areas affected by the burnings. The methodology proved to be adequate to the detection of large biomass burnings.

1. INTRODUÇÃO

As queimadas na Amazônia constituem um fenômeno anual que pode ocasionar alterações no meio ambiente, até mesmo em nível mundial. Porém elas têm sido alvo de poucos estudos por causa da dificuldade da coleta de dados em uma área tão extensa e de difícil acesso.

O estudo que se está desenvolvendo faz parte de uma dissertação de mestrado que procura quantificar o impacto ambiental das queimadas, utilizando para tanto dados de satélite e dados das missões do GTE/ABLE-2A, realizado em conjunto com a NASA no período de 18 de julho a 9 de agosto de 1985 na Amazônia.

Imagens dos satélites meteorológicos de órbita polar NOAA/AVHRR foram gravadas no período do GTE/ABLE-2A juntamente com imagens do satélite geoestacionário GOES. Imagens LANDSAT/TM também serão usadas para a avaliação de áreas queimadas com maior exatidão. Está previsto o desenvolvimento de estudos sobre caracterização espectral de áreas queimadas, identificação não-supervisionada de queimadas, levantamento do número de queimadas e das áreas afetadas, estimativa das emissões atmosféricas e da atenuação da radiação solar, e uma estimativa do transporte de aerossóis em escala sinótica.

Este relatório tem por objetivo registrar

o trabalho desenvolvido até o presente, que foi o de determinar o número e extensão das plumas de fumaça e estimar o número de queimadas ocorridas no período de pesquisa, citada acima.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Pesquisas feitas por Crutzen et al. (1979), Seiler e Crutzen (1980), Delary et al. (1985), Stith et al. (1981) e outros procuram demonstrar a existência de gases e material particulado em altos níveis na troposfera durante a ocorrência de queimadas. Esses gases emitidos provocam reações físicas e químicas, e efeitos climáticos ao nível regional e global. Essas alterações podem afetar a estrutura termal da atmosfera e da biosfera, assim como o perfil de absorção e espalhamento atmosférico e a física das nuvens (Stith et al., 1981). O aumento de alguns gases, como o CO₂, N₂O e CH₄, podem provocar mudanças climáticas através do "efeito estufa" (Crutzen et al., 1979). Outros poluentes, tais como CO, NO e hidrocarbonetos não-metanos, podem, reagindo entre si na atmosfera tropical quente, produzir "smog" fotoquímico (Delary et al., 1985).

A importância dos incêndios como uma fonte de CO₂ atmosférico e uma generalização da contribuição total da queima de combustíveis não-fósseis foram constatadas de uma maneira especulativa por Wong (1978). Ele estimou como limite superior um total bruto de Carbono lan-

gado na atmosfera de 5,7 Pg e um total líquido que permanece na atmosfera de 1,5 Pg de C, gerados em queimadas realizadas mundialmente, constituindo cerca de 22% do total líquido de todas as fontes antropogênicas. Estes valores foram contestados por Fahnstock e Wong (1979) que os estimaram em quatro vezes menos. Estes autores aceitaram esta estimativa como limite inferior, ou seja, de 0,6 Pg de C/ano, que seria cerca de 12% das fontes de Carbono gerados a partir da queima de combustível fóssil. Estimativas de Crutzen et al. (1979) e Seiler e Crutzen (1980) mostram valores de 2-4 Pg de C/ano emitidos a partir de queimadas. A Tabela 1 mostra um resumo destas estimativas para a biomassa e para as áreas queimadas anualmente.

Hirsh et al. (1971) e outros, demonstraram o baixo custo e a rapidez da detecção e do mapeamento de queimadas através do sensoriamento remoto.

A detecção de incêndios por meio do sensoriamento remoto iniciou-se por volta de 1961-1962, com o estudo das características espectrais das queimadas e dos sensores necessários para a detecção de incêndios (Hirsh, 1968).

O uso de aeronaves equipadas com sensores bi-espectrais no infravermelho foi explorado e demonstrado por Hirsh (1968), Hirsh et al. (1971), e outros.

Já a detecção de queimadas e plumas de fumaça por meio dos satélites da série NOAA foi demonstrado por Matson et al. (1984), utilizando o "Advanced Very High Resolution Radiometer" (AVHRR) para a detecção de incêndios e plumas de fumaça nos E.U.A.

A utilização do satélite de recursos naturais LANDSAT para o monitoramento de queimadas e regeneração da vegetação foi destacada nos trabalhos de Chen et al. (1979), Hall et al. (1980), e outros.

Os satélites da série NOAA estão colocados em órbitas quase-circulares, heliossíncronas, quase-polar (98,89° de inclinação) à uma altitude nominal de 833 km. Possuem um período ao redor de 102 minutos que produz cerca de 14,1 órbitas por dia. Devido ao número de órbitas diárias não ser inteiro, o traço suborbital não se repete em base diária, mas a hora solar local (LST) da passagem do satélite é invariável para qualquer latitude. Os satélites utilizados para a coleta das imagens foram o NOAA 8 e 9, com horários de passagem no equador (nó ascendente e descendente) descritas na Tabela 2. O campo de visão (FOV) é de aproximadamente ±55,6, o que fornece uma faixa de corte com cerca de 2400 km de largura no chão. O AVHRR é um radiômetro imageador a bordo do NOAA e seus dados são obtidos via "High Resolution Picture Transmission" (HRPT).

TABELA 1
RESUMO DOS DADOS DE BIOMASSA E ÁREA QUEIMADA

Atividade	Área desmatada e/ou queimada	Biomassa total desmatada	Biomassa exposta aos incêndios	Biomassa queimada anualmente	Biomassa morta abaixo do solo	Biomassa não-queimada acima do solo
Queimadas devidas à agricultura de rotação	21 - 62 (41)	31 - 92 (62)	24 - 72 (48)	9 - 25 (17)	7 - 20 (14)	16 - 72 (44)
Desmate devido ao aumento de população e colonização	8,8-15,1 (12,0)	20 - 33 (26,5)	16 - 25 (20,5)	5,5-8,8 (7,2)	4,0-8,0 (6,0)	10,5-16,0 (13,3)
Queimadas em Cerrado e Caatinga	(600)		12,2-23,8 (18)	4,8 - 19 (11,9)	8 - 16 (12)	2,4 - 4,8 (3,6)
Incêndios naturais em florestas temperadas	3,0-5,0 (4,1)	10,5-17,5 (14,0)	7,7-12,8 (10,3)	1,5 - 2,6 (2,1)	2,8-4,7 (3,8)	6,2-10,2 (8,2)
Incêndios planejados em florestas temperadas	2,0-3,0 (2,5)	1,2-1,8 (1,5)	0,3-0,5 (0,4)	0,1 - 0,2 (0,2)	0,6-0,9 (0,8)	0,2-0,3 (0,3)
Incêndios naturais em florestas boreais	1,0-1,5 (1,3)	2,5-3,8 (3,2)	1,8-2,7 (2,3)	0,4 - 0,6 (0,5)	0,7-1,1 (0,9)	1,4-2,1 (1,8)
Queima de madeira de utilidade geral		31 - 32 (31,5)	11 - 12 (11,5)	10 - 11 (10,5)	5,5	1
Queima de restos agrícolas			19 - 23 (21)	17 - 21 (19)	27 - 31 (29)	1,9-2,3 (2,1)
Total	630-698 (660)	130-250 (180)	92-172 (132)	48 - 88 (68)	56 - 87 (72)	40 - 109 (74)

FONTE: Seiler e crutzen (1980), p.233;

Unidades em 100 Tg de matéria seca e 10 ha; para converter a matéria seca em Carbono multiplicam-se os números por 0,45.

Os dados entre parênteses são valores médios.

TABELA 2

HORÁRIOS DE CRUZAMENTO NO EQUADOR
DOS SATÉLITES NOAA 8 E 9.

SATÉLITE	NÓ ASCENDENTE	NÓ DESCENDENTE
NOAA 8	1930 (LST)	0730 (LST)
NOAA 9	1420 (LST)	0220 (LST)

Fonte: Baseado em Kidwell (1985), p.2-7.

O AVHRR a bordo do NOAA-8 possui quatro canais e o do NOAA-9, cinco. A largura das bandas e o campo de visão instantâneo (IFOV) para cada canal são dados na Tabela 3.

Como o IFOV médio é cerca de 1,4 mrad a uma altitude de 833 km tem-se um elemento de resolução na terra de 1,1 km (no nadir).

TABELA 3

LARGURA DAS BANDAS (μm) E IFOV (mrad) DOS
SATÉLITES NOAA 8 E 9.

CANAL	NOAA-8	NOAA-9	IFOV
1	0,58 - 0,68	0,58 - 0,68	1,39
2	0,725 - 1,10	0,725 - 1,10	1,41
3	3,55 - 3,93	3,55 - 3,93	1,51
4	10,50 - 11,50	10,30 - 11,30	1,41
5	10,50 - 11,50	11,50 - 12,50	1,30

Fonte: Baseado em Kidwell (1985), p.2-12.

O satélite "Geostationary Operational Environmental Statellite" (GOES) opera a uma altitude de 35.800 km e move-se aproximadamente no plano equatorial com uma velocidade que o torna praticamente estacionário com relação à Terra. A área útil de cobertura estende-se ao redor de 60° de longitude e latitude para cada lado do ponto subsatélital. Os dados obtidos para o experimento foram extraídos do instrumento "Visible and Infrared Spin-Scan Radiometer" (VISSR) a bordo do GOES. O VISSR detecta energia nos comprimentos de ondas do visível e do infravermelho, dados na Tabela 4, juntamente com o IFOV para cada banda espectral.

Para o IFOV de 0,025 mrad no canal visível, tem-se uma distância no terreno de aproximadamente 0,9 km na altitude dada, e para o IFOV de 0,196 mrad no canal infravermelho termal, tem-se uma distância de aproximadamente 6,9 km.

TABELA 4

COMPRIMENTOS DE ONDAS E IFOV DO SATÉLITE GOES

CANAL	BANDA (μm)	IFOV (mrad)
VIS	0,55 - 0,75	0,025 (W-E) x 0,020 (N-S)
INFRA	10,50 - 12,60	0,192 (W-E) x 0,192 (N-S)

Fonte: Baseado em Clark (1983), p.2-1 e p.3-1.

O sistema LANDSAT compreende uma série de satélites cujo objetivo é monitorar os recursos terrestres. O LANDSAT-1 foi lançado em 23 de julho de 1972 e estava equipado com dois sistemas sensores: um sistema de televisão de três canais denominado RBV (Return Beam Vidicon) e um sistema de varredura multiespectral de 4 canais denominado MSS (Multispectral Scanner System). Além disto, incluía também um sistema de coleta de dados (DCS).

O LANDSAT-2 foi lançado em 22 de janeiro de 1975 e continha os mesmos sensores do LANDSAT-1.

O LANDSAT-3, lançado em 05 de maio de 1978, incluía um sistema RBV com duas câmeras (com resolução de 40 metros) e um sistema MSS com uma quinta banda no infravermelho termal (resolução de 240 metros). Os satélites LANDSAT 1, 2 e 3 foram lançados em uma órbita circular, heliossíncrona, quase-polar (99,11° de inclinação), com um período de 103,27 minutos, intervalo de cobertura repetitiva de 18 dias e hora nominal de cruzamento equatorial às 09:30 h.

O LANDSAT-4, lançado em 16 de julho de 1982, incluiu um sistema MSS, com as mesmas características dos primeiros satélites, e um outro sistema de varredura denominado "Thematic Mapper" (TM) com sete bandas espectrais (3 no visível, 3 no infravermelho e uma no infravermelho termal). O LANDSAT-4 não possuía sistema RBV nem DCS. A órbita deste satélite é circular, a uma altitude de 750 km e inclinação de 98,2°, com um período de 98,7 minutos, fornecendo uma cobertura repetitiva de 16 dias. A hora nominal de cruzamento com o Equador é 09:45 h \pm 15 min. O LANDSAT-5, idêntico ao LANDSAT-4, foi lançado em 01 de março de 1984.

O TM é um imageador multiespectral com sete bandas espectrais (Tabela 5). O IFOV é de 30m, exceto para a banda no infravermelho termal (6), que é de 120m. A faixa no terreno imageada é de 185 km.

TABELA 5

BANDAS DO LANDSAT/TM

CANAL	COMPRIMENTO DE ONDA (μm)
1	0,45 - 0,52
2	0,52 - 0,60
3	0,63 - 0,69
4	0,76 - 0,90
5	1,55 - 1,75
7	2,08 - 2,35
6	10,04 - 12,50

Fonte: Baseado em Slater (1980), p.498.

3. MATERIAL

Para as imagens NOAA/AVHRR, decidiu-se gravar os canais 1, 2 e 3 devido às características do sensor e do comportamento espectral de queimadas e plumas de fumaça.

As informações HRPT enviadas pelos satélites da série NOAA são compostas dos dados "TIROS Information Processor" (TIP) e dos dados AVHRR. Estes dados são recebidos na estação de Cachoeira Paulista (SP) e, dos formatos de gravação de imagens em fitas magnéticas disponíveis em Cachoeira Paulista, foi escolhido o formato COMPR, que contém os dados TIP completos e 3 bandas do AVHRR, com resolução de 8 bits (256 níveis de cinza).

Para a gravação da imagem, neste formato, de horizonte a horizonte é necessária uma fita magnética de 2400 pés, com densidade de 1600 bpi (bits pe inch) inteira.

As imagens inicialmente seriam gravadas de 14 de julho a 4 de agosto de 1985, datas previstas para início e término das missões do GTE/ABLE-2A.

Conforme as missões planejadas, foi feita uma seleção de órbitas utilizáveis consultando um boletim de previsão de órbitas do NOAA 8 e 9, fornecido pelo Departamento de Meteorologia do INPE.

O horário de gravação das imagens seria, em princípio à tarde, enquanto fossem executados os vôos da aeronave do GTE/ABLE-2A. Quando houvesse missões mais longas (p.ex., vôos entre Manaus e Belém) também seriam feitas as gravações no horário da manhã.

Para a gravação das imagens GOES, o principal critério adotado para a escolha dos horários foi o mais próximo ao da passagem do NOAA quando houvesse missões longas.

Um setor que cobre as áreas de interesse foi escolhido e, através de um programa de navegação, foram determinadas a linha inicial e final e o "pixel" inicial e final da imagem GOES a ser gravada. O setor escolhido abrange uma área de coordenadas 75°W a 45°W e 10°N a 20°S.

Foram gravados os canais visível e termal do VISSR e, para o setor escolhido, as fitas comportaram quatro imagens.

As gravações das imagens LANDSAT foram feitas independentemente de um pedido de gravação ou não, conforme o procedimento rotineiro da estação de Cachoeira Paulista. Assim, as órbitas e os pontos das imagens a serem estudadas serão escolhidos de forma a cobrir as áreas de queimadas detectadas através das imagens NOAA/AVHRR e, também, quando coincidir com o local da torre meteorológica da estação Duke, localizada a aproximadamente 25 km de Manaus (AM). Esta torre coletou dados durante o experimento, os quais serão utilizados na análise das imagens.

A partir dessas gravações previstas, o número de fitas necessárias foi calculado para os 21 dias de pesquisa previstos, com 5 vôos longos programados. Portanto, aproximadamente 25 imagens NOAA e 5 GOES seriam gravadas, com necessidade provável de 15 fitas.

O Departamento de Recursos Humanos, através do Departamento de Sensoriamento Remoto, providenciou 5 fitas e o Departamento de Meteorologia, outras 12.

As missões de pesquisa do GTE/ABLE-2A iniciaram-se somente no dia 18 de julho de 1985 e terminaram no dia 9 de agosto de 1985, dentro dos horários previstos, com 23 dias de duração, dois a mais do que o esperado, além de ter seus experimentos executados de acordo com as condições meteorológicas existentes. Desta forma, foi transmitido via rádio, um cronograma com dois ou três dias de antecedência sobre qual missão seria executada. A partir disto era comunicado à Cachoeira Paulista as imagens a serem gravadas.

Ao final do experimento as imagens NOAA o-

cuparam 15 fitas (25 imagens) e as do GOES 2 fitas (8 imagens), pois apesar de o experimento ter sido prolongado em alguns dias, não foi possível a gravação de algumas imagens NOAA devido à sua órbita estar longe do local da missão do GTE/ABLE-2A. As imagens gravadas e as missões realizadas estão descritas na Tabela 6.

O exame e tratamento das imagens está sendo feito através do Sistema Interativo de Análise de Imagens Multiespectrais, IMAGE-100 (I-100), que é um sistema interativo, projetado para extrair automaticamente informações multiespectrais de imagens terrestres obtidas remotamente por satélites ou aviões.

O sistema opera baseado no princípio de que todos os objetos possuem características espectrais únicas, isto é, cada objeto reflete ou emite energia eletromagnética de uma maneira peculiar nas diversas bandas do espectro eletromagnético.

"Slides" foram tirados de todas as imagens que apresentaram queimadas, bem como elaborados mapas que mostravam as plumas de fumaça e da área coberta pela imagem. A conversão dos "slides" para os mapas foi feita utilizando o "Zoon Transfer Scope", Modelo ZT4-V, da Bausch & Lomb, do Departamento de Sensoriamento Remoto.

Dados de concentrações de gases aerossóis obtidos nos experimentos, dados de radiossonda-gem e cartas sinóticas serão utilizados para

estabelecer as trajetórias das plumas de fumaça encontradas.

4. MÉTODOS

O trabalho de tratamento de imagens NOAA realizado até agora é descrito a seguir.

Para separar as plumas de fumaça das nuvens, utilizou-se uma composição colorida, obtida a partir dos três canais gravados. Sabendo que a resposta espectral das plumas de fumaça tem uma maior reflectância na banda visível (canal 1) com relação à do infravermelho (canais 2 e 3), torna-se possível fazer a distinção entre nuvens e plumas de fumaça (Grygoriev and Lipatov, 1975). Desta forma, a cor verde foi associada ao canal 1, a cor vermelha ao canal 2 e a cor azul ao canal 3, o que resultou numa tonalidade avermelhada (magenta) para as plumas de fumaça observadas no vídeo do I-100, diferenciando-as das nuvens.

Após a análise visual das imagens, observou-se que dez delas apresentaram queimadas.

Procedeu-se a uma catalogação do número de plumas, de sua extensão e área, e do número e local de ocorrência da maioria das queimadas.

O número de queimadas foi inferido através de uma contagem do número de níveis digitais mínimos saturados (zero) do canal 3 (infravermelho termal). Isto foi feito porque esta banda mede a emissão de energia radiante da superfície terrestre. Assim, nas imagens, os níveis

TABELA 6
MISSÕES DO GTE/ABLE-2A E IMAGENS NOAA GRAVADAS

DATA	SATE LITE	Nº DE ORBITA	GRAVAÇÃO NOAA/AVHRR					VOOS GTE/ABLE												
			CRUZAMENTO COM EQUADOR		Nº	HORÁRIO DA GRAVAÇÃO (GMT)	CANAL	SADTA		CHEGADA		PROPÓSITO								
			HORA (GMT)	LONGITUDE				HORA	LOCAL	HORA	LOCAL									
18/07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19/07	8	12000	10h40'20"	45,52°W	Desc	10h40'-10h45'	1,2,3	1306Z	Manaus	1839Z	Manaus	Undist. Bound. Layer (Dia)								
	9	3094	18h18'43"	57,62°W	Asc	18h13'-18h18'	"	1206Z	"	1802Z	"	"								
20/07	9	3108	18h07'55"	54,91°W	Asc	18h01'-18h08'	"	"	"	"	"	"								
21/07	8	12030	11h37'45"	59,28°W	Desc	11h38'-11h44'	"	1058Z	Manaus	1659Z	Manaus	Undist. Bound. Layer (Dia)								
	9	3122	17h57'06"	52,19°W	Asc	17h54'-17h57'	"	"	"	"	"	"								
22/07	8	12046	23h55'28"	64,30°W	Asc	23h49'-23h54'	3,4,5	"	"	"	"	"								
23/07	8	12059	10h53'53"	48,91°W	Desc	10h53'-11h00'	1,2,3	1154Z	Manaus	1759Z	Belém	West-East Survey								
	9	3151	19h17'34"	72,27°W	Asc	19h11'-19h14'	"	"	"	"	"	"								
24/07	8	12073	10h31'57"	43,42°W	Desc	10h31'-10h38'	"	1200Z	Belém	1825Z	Manaus	Survey								
	9	3164	17h24'41"	44,03°W	Asc	17h19'-17h25'	"	"	"	"	"	"								
25/07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
26/07	9	3193	18h45'09"	64,15°W	Asc	18h39'-18h44'	"	2357Z	Manaus	0544Z	Manaus	Und. Bound. Layer (Noite)								
27/07	9	3207	18h34'20"	61,04°W	Asc	18h28'-18h33'	"	2218Z	"	0418Z	"	"								
28/07	9	3221	18h23'31"	58,68°W	Asc	18h17'-18h20'	"	"	"	"	"	"								
29/07	9	3235	18h12'43"	55,96°W	Asc	18h07'-18h12'	"	1552Z	Manaus	2146Z	Manaus	Forest-River Interf. (Dia)								
30/07	9	3249	18h01'54"	53,24°W	Asc	17h56'-18h02'	"	"	"	"	"	"								
31/07	9	3263	17h51'06"	50,52°W	Asc	17h45'-17h51'	"	"	"	"	"	"								
01/08	9	3277	17h40'09"	47,87°W	Asc	17h34'-17h39'	"	0659Z	Manaus	1323Z	Manaus	For.-River Int. (Dia-Noite)								
"	8	12188	23h38'27"	60,13°W	Asc	23h32'-23h38'	3,4,5	"	"	"	"	"								
02/08	9	3292	19h11'22"	70,67°W	Asc	19h04'-19h07'	1,2,3	1440Z	Manaus	2051Z	Manaus	Dist. Bound. Layer								
03/08	9	3306	19h00'37"	67,95°W	Asc	18h54'-18h58'	"	1350Z	Manaus	1949Z	"	"								
05/08	9	3334	18h38'06"	65,61°W	Asc	18h33'-18h38'	"	1121Z	"	1628Z	Tabatinga	East-West Survey								
	-	-	-	-	-	-	-	1812Z	Tabatinga	2128Z	Manaus	Survey								
06/08	9	3348	18h28'11"	59,79°W	Asc	18h23'-18h28'	"	1150Z	Manaus	1801Z	"	East-West Survey								
07/08	9	3362	18h17'22"	57,07°W	Asc	18h10'- ?	"	"	"	"	"	"								
08/08	9	3376	18h06'33"	54,36°W	Asc	18h01'-18h07'	"	1150Z	Manaus	1757Z	Belém	West-East Survey								
09/08	8	12298	11h25'50"	56,94°W	Desc	11h26'-11h32'	"	1235Z	Belém	1828Z	Manaus	Survey								
"	9	3390	17h55'45"	51,64°W	Asc	17h50'-17h56'	"	"	"	"	"	"								

mínimos implicam um máximo de energia que está sendo emitida. Esta contagem dos níveis digitais foi processada primeiramente fazendo a classificação total da área que apresentou as queimadas através do programa "single-cell". Depois desta classificação, obteve-se, por meio de um programa auxiliar (histograma), a contagem do número de "pixels" para cada um dos canais.

5. RESULTADOS PRELIMINARES

Os resultados obtidos até agora com o processamento digital das imagens dos satélites meteorológicos NOAA mostraram que é possível a detecção das queimadas, o que confirma as observações de pesquisadores anteriores.

Em função do número de queimadas e das áreas cobertas por fumaça encontradas, acredita-se que os resultados deste estudo preliminar serão relevantes para a análise do impacto ambiental das queimadas na Amazônia.

As imagens que apresentaram queimadas foram as seguintes (ver Figuras 1 a 3):

- dia 20/07/85, notaram-se duas plumas de fumaça maiores com aproximadamente 50 Km de extensão, tendo uma delas 50 km de largura e a outra, menor e mais tênue, 20 km de largura, localizadas em uma região ao norte do Mato Grosso. Há uma pluma bem menor que começa a se formar próxima a essas outras duas. Em uma região ao sul do Pará, próxima ao rio Araguaia, encontra-se uma densa pluma de 100 km de extensão por 15 km de largura. Visualmente percebe-se cerca de 10 pontos mais quentes no canal 3 que poderiam ser associados a queimadas.
- dia 29/07/85, houve duas grandes plumas próximas ao rio Juruena e rio Teles Pires (ou São Manuel), na divisa do Estado do Mato Grosso com o do Pará. Uma delas com uma área de aproximadamente 120 km por 25 km e a outra, menor, com 100 km por 15 km. Além disto, na região entre os rios Araguaia e Xingu, Estado do Pará, surgiram duas plumas de fumaça com dimensões ao redor de 75x10 km e mais outras plumas de fumaça, menos densas que as anteriores. Pode-se notar a presença de 12 áreas mais quentes no canal 3 que poderiam ser associadas a queimadas.
- dia 30/07/85, observaram-se várias plumas pequenas detectáveis na região entre os rios Juruena e Teles Pires (MT/PA), onde foi possível contar aproximadamente 15 plumas com extensões que variaram entre 10 e 20 km. Pró-

ximo ao rio Xingu e Araguaia (Pará) aparece uma pluma de 90 km por 10 km e várias outras menores e menos densas, mas de difícil distinção por causa da grande cobertura de nuvens da área. A imagem do canal infravermelho termal mostra cerca de 80 pontos que poderiam ser de queimadas, em ambas as regiões.

- dia 31/07/85, houve uma pluma com aproximadamente 120 km por 15 km e plumas menos densas; pode-se na imagem do canal 3 cerca de 70 pontos que poderiam ser de queimadas. Todas essas plumas estão na região entre o rio Xingu e rio Araguaia no Estado do Pará (PA).
- dia 03/08/85, contaram-se 8 pequenas plumas de fumaça de 10 km de extensão, na região do rio Juruena e Teles Pires (MT/PA). Infelizmente esta imagem apresentou muito ruído e, além disto, as plumas estavam muito nas bordas da imagem, com grande distorção. Mesmo assim, em uma contagem de "pixels" saturados foram encontrados 22 pontos prováveis de queimadas.
- no dia 05/08/85, houve uma grande concentração de plumas ao norte do Mato Grosso, com extensões variáveis entre 10 km e 100 km, o que parece ter provocado uma grande pluma, de menor densidade, espalhando-se por uma área com aproximadamente 500 km por 200 km de largura, podendo ser até maior, pois a imagem inicia-se em cima dessa grande nuvem. Uma contagem de "pixels" feita através do programa do I-100 mostrou 379 "pixels" saturados no canal 3, o que poderia dar uma estimativa da possível área que está sendo queimada (379 "pixels" equivalem a uma área de 460 km²).
- no dia 06/08/85, a mesma área descrita no dia 05 de agosto apresentou um grande número de plumas e queimadas na região entre os rios Tocantins e Araguaia, no Pará, onde são encontradas queimadas, embora estejam nas bordas com grande distorção. Na contagem automática de "pixels" feita pelo I-100, aparecem 346 "pixels saturados (420 km²).
- no dia 07/08/85, houve um verdadeiro espetáculo "pirotécnico", e na região norte do Mato Grosso, pode-se notar cerca de 20 plumas com extensões que variam de 20 km a 70 km, formando uma nuvem menos densa sobre uma área de 200 km por 200 km. Também na região entre os rios Araguaia e Xingu houve cerca de 14 plumas com extensões entre 20 km e 200 km, com a formação de uma nuvem em uma área ao redor de 300 km x 300 km (Figura 1). Uma contagem dos "pixels" feita através do I-100 mostrou 862 "pixels" saturados no canal 3.

- no dia 08/08/85 apareceram duas grandes plumas com aproximadamente 150 km de extensão por 50 km de largura e algumas outras menores. Houve uma grande pluma de fumaça, menos densa, espalhada sobre as divisas dos Estado do Mato Grosso e Rondônia, com uma área de 150 km x 400 km. O mapa com a localização dessas plumas é apresentado na Figura 2.

- dia 09/08/85, detectou-se uma densa nuvem de fumaça com uma área de 200 km x 300 km, proveniente de um considerável número de queimadas. Houve outras plumas menores com extensões que variam entre 20 km e 30 km (Figura 3). Na contagem de "pixels", através do I-100, notaram-se 1200 "pixels" saturados no canal 3.

Todos esses resultados estão resumidos na Tabela 7, a qual mostra o número de queimadas inferido através da contagem do número de "pixels saturados do canal 3, a localização dessas queimadas e o número e a área aproximada das plumas que foram encontradas.

TABELA 7
LOCALIZAÇÃO E QUANTIDADE DE QUEIMADAS
E NÚMERO E ÁREA DAS PLUMAS

DATA	QUEIMADAS		PLUMAS	
	LOCAL	NÚMERO	NÚMERO	ÁREA (km ²)
20-07	Norte do Mato Grosso e sul do Pará	19	3	3700
29-07	Norte do Mato Grosso e sul do Pará	12	6	3900
30-07	Norte do Mato Grosso e sul do Pará	80	17	2900
31-07	Sul do Pará	68	10	17000
03-08	Norte do Mato Grosso e sul de Rondônia	22	8	6700
05-08	Norte do Mato Grosso	379	16	30000
06-08	Norte do Mato Grosso e sul do Pará	346	37	60000
07-08	Norte do Mato Grosso e sul do Pará	862	39	90000
08-08	Norte do Mato Grosso e sul de Rondônia	29	5	2800
09-08	Sul do Pará	1200	45	65000

6. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Um possível erro que pode ocorrer na contagem do número de "pixels" de queimadas seria devido à presença de pontos quentes, tais como fornos de padaria, chaminés de indústrias etc., associadas a áreas urbanas na região. No caso da região estudada, este erro é mínimo, pois sabe-se que a região da Amazônia possui uma baixa densidade demográfica. Outros erros podem ser cometidos devidos a anomalias geotermiais, mas neste caso também seriam improváveis por se tratar de uma região de densa cobertura vegetal.

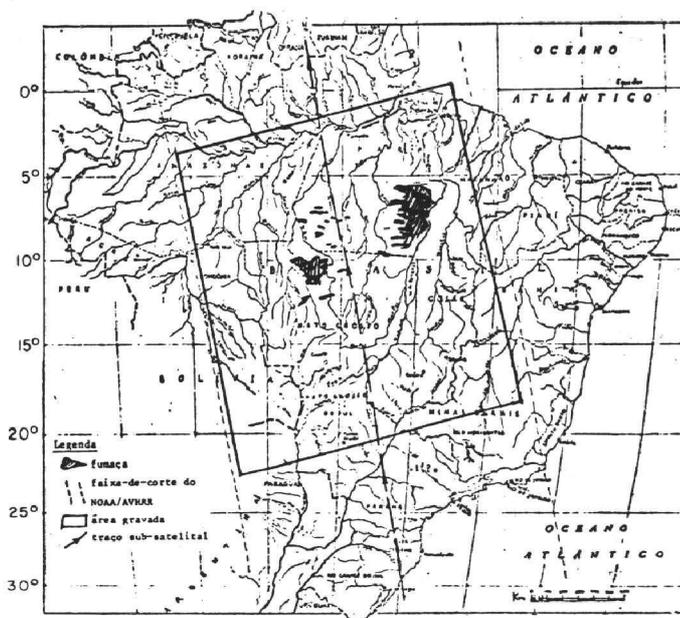


Fig. 1 - Plumras detectadas no dia 07/08/85.

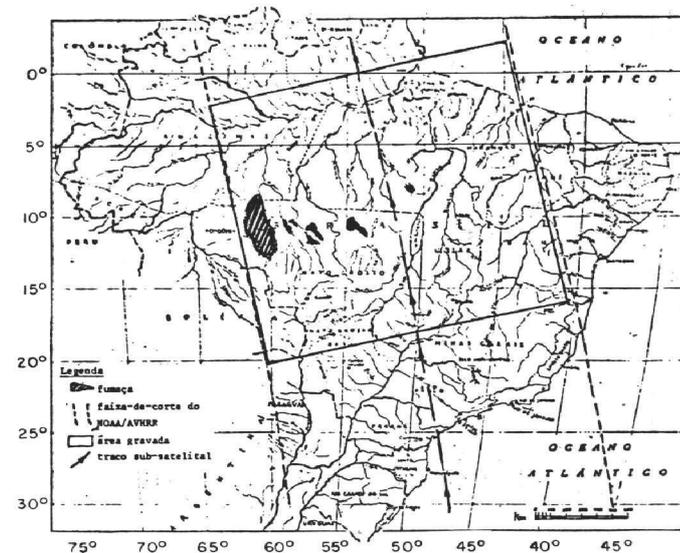


Fig. 2 - Plumras detectadas no dia 08/08/85.

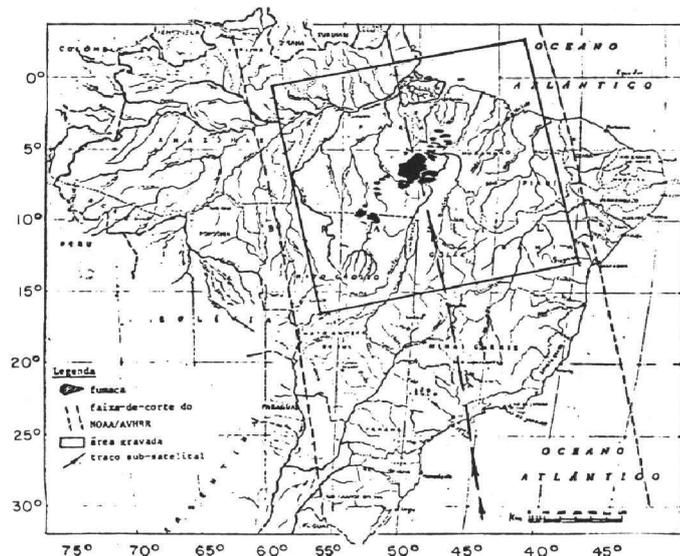


Fig. 3 - Plumras detectadas no dia 09/08/85.

A área ao sul do Pará, que apresentou um grande número de queimadas, é caracterizada por ter um período de chuvas intensas no verão e uma estação seca bem acentuada no inverno. As chuvas ocorrem no período de setembro a maio, com precipitações máximas entre os meses de novembro e fevereiro. A estação seca tem pelo menos um mês com uma altura pluviométrica inferior a 60 mm, chegando, às vezes, a ter até dois meses sem nenhuma precipitação pluviométrica.

Pela análise das imagens notou-se que o ciclo de queimadas na Amazônia, no período estudado, de 19 de julho a 9 de agosto de 1985, iniciou-se por volta do fim do mês de julho. Isto porque a primeira imagem que apresentou grandes plumas de fumaça foi a do dia 20 de julho, e depois desta, somente no dia 29 de julho é que se detectou novas plumas, e mesmo assim isoladas. A partir do dia 30 de julho começou a aparecer um grande número de queimadas, à medida que o período de seca se estabelecia na região.

Uma primeira impressão que se tem é que as queimadas dos dias 29, 30 e 31 de julho são as mesmas, isto é, o fogo continuou seguidamente nos três dias. O mesmo parece ter acontecido com as queimadas ocorridas nos dias 5, 6 e 7 de agosto.

A maioria das queimadas ocorreram no norte do Mato Grosso e sul do Pará e, considerando-se apenas a contagem de "pixels" saturados em 1850 (com cada "pixel" tendo uma área de aproximadamente 1,21 km²), temos uma área queimada de aproximadamente 2200 km².

Com essa análise preliminar das imagens pôde-se concluir que o sensoriamento remoto orbital constitui uma ferramenta muito útil para o monitoramento de queimadas em áreas extensas. As imagens são obtidas diariamente em tempo quase real, podendo ajudar na detecção, em eventual combate a incêndios e no controle do uso da terra, com acompanhamento rápido e eficiente de reservas naturais, parques e áreas de interesse.

Notou-se que grande parte das queimadas estão em áreas de maior ocupação humana, nos locais da Amazônia onde houve incentivos para a implantação de colônias agrícolas com a participação de empresas agropecuárias. Estas empresas promovem a maioria dos desmatamentos e posteriores queimadas na Amazônia.

A vantagem dos satélites NOAA sobre o sistema LANDSAT é que se pode obter, pelo menos,

uma imagem por dia, ao passo que com o LANDSAT tem-se um intervalo de 16 dias. Também, uma imagem NOAA possui extensão continental, enquanto que para cobrir todo o território brasileiro são necessárias mais de 330 imagens LANDSAT.

Além disso, estes resultados levam a crer que se concretizará a possibilidade de estudar os efeitos atmosféricos provocados pelas queimadas através de imagens de satélite. Em função do número de queimadas e da extensão das áreas cobertas por fumaça encontradas, acredita-se que os resultados destes estudos preliminares serão relevantes para a análise do impacto ambiental de queimadas na Amazônia.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHEN, S.C.; SHIMABUKURO, Y.E.; HERNANDES, P. F. The mapping of burned area in forestry by IMAGE-100 system. São José dos Campos, INPE, mar. 1979, 9p. PI(INPE-1431-RPE/009)
- CLARCK, J.D. GOES user's guide, Washington, DC NOAA Dept. of Commerce, 1983.
- CRUTZEN, P.J.; HEIDT, L.E.; KRASNEC, J.P.; POLLOCK, W.H.; SEILER, W. Biomass burning a source of atmospheric gases CO, H₂, N₂O, NO, CH₃Cl e COS. Nature, 282(5736):253-256, 1979.
- DELANY, A.C.; HAAGENSEN, P.; WALTERS, S.; WARTBURG, A.F.; CRUTZEN, P.J. Photochemically produced ozone in the emission from large-scale tropical vegetation fire. Journal of Geophysical Research, 90(D1):2425-2429, 1985
- GRYGORIEV, A.I.A.; LIPATOV, V.B. Space remote sensing of smokes. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF THE ENVIRONMENT, 10., Ann Arbor, MI, oct. 6-10, 1975. Proceedings. Ann Arbor, MI, ERIM, 1975, V.1, p.305-318.
- HALL, D.R.; ORMSBY, J.P.; JOHNSON, L.; BROWN, J. LANDSAT digital analysis of the initial recovery of burned tundra at Kokolik River, Alaska. Remote Sensing of the Environment, 10(4):263- 272. 1980.
- HIRSCH, S.N. Project fire scan - summary of 5 years progress in airborne infrared fire detection. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF THE ENVIRONMENT, 5., Ann Arbor, MI apr. 16-18, 1968. Proceedings. Ann Arbor, MI, ERIM, 1968, p.447-457.

- HIRSCH, S.N.; KRUCKEBERG, R.F.; MADDEN, F.H.
The bispectral forest fire detection system,
In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING
OF THE ENVIRONMENT, 7., Ann Arbor, MI, may
17-21, 1971. Proceedings. Ann Arbor, MI,
ERIM, 1971, V.3, p.2253-2272.
- KIDWELL, K.B. NOAA polar orbiter data (TIROS-N,
NOAA-6, NOAA-7, NOAA-8 and NOAA-9) user
guide, Washington, DC, NOAA-NESS, may 1985,
98p.
- MATSON, S.; SCHNEIDER, S.R.; ALDRIDGE, B.;
SATCHWELL, B. Fire detection using
NOAA-series satellite, Washington, DC, jan.
1984, 34p. (NOAA Technical Report NESDIS 7)
- SEILER, W.; CRUTZEN, P.J. Estimates of the
gross and net flux of carbon between the
biosphere and atmosphere from biomass
burning. Climatic Changing, 2(3):207-247,
1980.
- SLATER, P.N. Space remote sensing systems.
In: Remote sensing: optics and opticals
systems. Reading, MA, Addison-Wesley, 1980,
cap.14, p.498.
- STITH, J.L.; RADKE, L.F.; HOBBS, P.V. Particles
emissions and the production of ozone and
nitrogen oxides from the burning of forest
slash. Atmospheric Environment, 15(1):73-82,
1981.
- WONG, C.S. Atmospheric input of carbon dioxide
from burning wood. Science, 200(4338):197-
200, 1978.