

Análise da distribuição espacial das queimadas no Brasil no período de 2000 a 2009

Marcos Leandro Kazmierczak

Santiago & Cintra Consultoria
Rua Vieira de Morais, 420, 12º andar – 04617-000 – São Paulo - SP, Brasil
marcos.leandro@sccon.com.br

Abstract. Many global events have discussed environmental matters, and CO₂ emission is an always present theme. Contrasting to the positive environmental results in the last 30 years, obtained by the use of biofuel, for many years Brazil has been internationally accused of deforestation and forest fires. Through the period of 2000 to 2009, over 1,65 millions fires sources have been registered with NOAA satellites, and this paper presents a detailed analysis of the spatial distribution of these fires, analyzing regions, states, ecosystems, conservation units and indigenous reserves. It has been registered an average of one fire spot every 5,11km², or one spot every 3 minutes and 10 seconds, during the entire decade. The forest typology that suffer the most impact were the tipologies “Contato” (313,977 spots or 18.99% of total), “Floresta Ombrofila Densa” (250.369 spots or 18.42%), and “Floresta Ombrófila Aberta” (250,369 spots or 15,14%), that together sum 868,974 spots (52.55% of total). It was verified that 50% of fire spots always were concentrated in less than 10% of Brazil's area and that only 18,40% of the area did not present fire spots occurrence. It was also identified the critical municipalities, generating lists for the country per state and made simulations over the total fire area, with estimatives between 499,403.32 km² and 124,302.00 km².

Palavras-chave: sensoriamento remoto, GIS, detecção de queimadas, remote sensing, fire detection, monitoring.

1. Introdução

Desde a ECO-92, diversas conferências globais têm discutido as questões ambientais e climáticas, como Kyoto em 1997, Bali em 2007, Copenhague em 2009 e Cancún em 2010. Tema constante nestes e em centenas de outros eventos, a emissão de CO₂ tem sido amplamente discutida por pesquisadores do mundo todo. A crise ambiental do século XXI, a redução das geleiras, a elevação do nível dos mares, as secas mais prolongadas, a alteração no regime pluviométrico e dos ventos passaram a fazer parte do noticiário cotidiano. Enquanto alguns defendem a tese do aquecimento global, outros a refutam. Havendo ou não aquecimento global, diversos estudos demonstram que nos últimos 650 mil anos, o teor de CO₂ nunca foi tão alto quanto agora.

E é justamente em relação a este aspecto que surgiu o interesse em avaliar as queimadas no Brasil nos últimos 10 anos. Se de um lado o Brasil tem sido mundialmente elogiado pela sua capacidade de utilizar biocombustíveis, reduzindo enormemente a emissão de CO, por outro lado tem sido mundialmente acusado pelo desmatamento e pelas queimadas que registra. Este trabalho apresenta um “raio x” do quanto, onde e quando as queimadas ocorreram no período de 2000 a 2009.

2. Procedimentos metodológicos

Os dados relativos aos focos de queimadas (gerados a partir de imagens NOAA-12 e NOAA-15) foram obtidos no site do INPE (<http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/>), gerando-se um arquivo formato *shape file* para *download*. Cada foco tem, além das coordenadas geográficas, diversos outros atributos, sendo utilizadas as informações sobre o tipo de vegetação em que cada foco está inserido. Do site do Ministério do Meio Ambiente (<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/aplicmap/>) foram baixados os dados relativos aos Biomas, Terras Indígenas e Unidades de Conservação. De posse destes dados e utilizando-se um software GIS, foi estruturado um banco de dados para análise espacial e extração das informações. Este trabalho é, em essência, resultado da manipulação de um banco de dados geográficos: foram estruturadas diversas análises, gerando-se mais de 1.200 mapas e mais de 700 tabelas de resultados, que foram analisados e sumarizados neste artigo.

3. Resultados e Discussão

No período de 1º de janeiro de 2000 a 31 de dezembro de 2009 foram identificados 1.653.482 (um milhão, seiscentos e cinquenta e três mil, quatrocentos e oitenta e dois) focos de queimadas no território brasileiro. O total de focos por ano variou de 69.703 (em 2009) a 234.369 (em 2002), com um Coeficiente de Variação de 36,58%. A Tabela 1 lista o total de focos por ano, o percentual de focos de queimadas de cada ano (em relação ao total da década) e a diferença percentual do número de focos em relação ao número de focos do ano imediatamente anterior, enquanto o Gráfico 1 ilustra este comportamento.

Tabela 1. Sumarização do número total de focos de queimadas, por ano.

ANO	TOTAL DE FOCOS REGISTRADOS	% DA DÉCADA	DIFERENÇA EM RELAÇÃO AO ANO ANTERIOR
2000	101.538	6,14%	---
2001	145.568	8,80%	+ 43,36%
2002	234.369	14,17%	+ 61,00%
2003	210.894	12,75%	- 10,02%
2004	232.621	14,07%	+ 10,30%
2005	225.644	13,65%	- 3,00%
2006	117.313	7,09%	- 48,01%
2007	188.663	11,41%	+ 60,82%
2008	127.169	7,69%	- 32,59%
2009	69.703	4,22%	- 45,19%
TOTAL	1.653.482	100,00%	

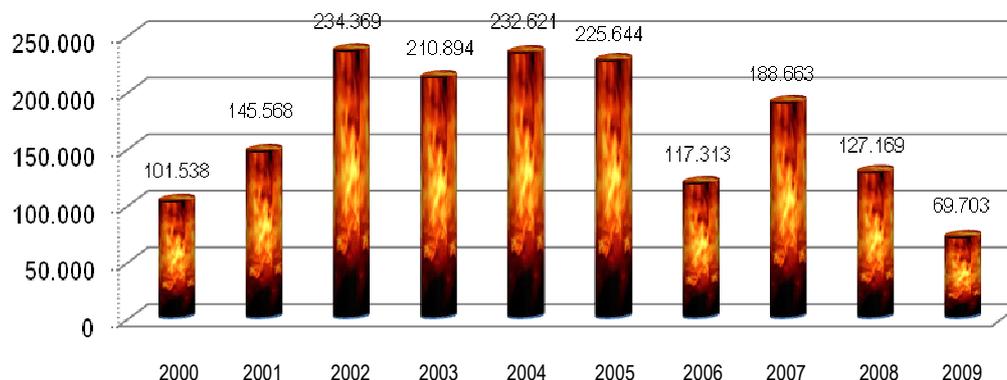


Gráfico 1. Total de focos de queimadas por ano no Brasil, no período de 2000 a 2009.

3.1. Distribuição espacial das queimadas no Brasil

No período de 2000 a 2009, os focos de queimadas apresentaram a seguinte distribuição: 33,13% na Região Norte; 29,83% no Nordeste; 29,67% no Centro-Oeste; 5,74% no Sudeste; e 1,63% no Sul. Os estados que apresentaram a maior incidência foram Mato Grosso (23,75%), Pará (18,81%), Maranhão (12,08%), Bahia (5,88%) e Tocantins (5,84%), que juntos somaram 66,36% ou 1.097.270 focos. Os estados com menor incidência foram o Distrito Federal (0,05%), Sergipe (0,08%), Rio de Janeiro (0,13%), Espírito Santo (0,15%) e Rio Grande do Norte (0,16%), que juntos somaram 0,56% ou 9.336 focos.

Na Figura 1, a seguir, para cada ano é apresentado um mapa com a concentração dos focos de queimadas, em função de um *grid* cujas células têm 24 x 24 km, correspondente ao *grid* de aquisição de imagens do satélite RapidEye. A legenda para este mapa considera o número de focos por célula, de forma que cada classe está relacionada a uma taxa de concentração de focos de queimadas, conforme a Tabela 2. Na Tabela 3, têm-se os resultados com o total de focos de queimadas de cada estado durante o período analisado, ressaltando-se em negrito o estado com maior total de ocorrências em cada região.

Tabela 2. Correspondência entre o número de focos de queimadas por célula do *grid* e a concentração de focos.

CLASSE	COR	FOCOS	FOCOS/Km ²
1		0	SEM FOCOS
2		1 A 5	< 1/100 Km ²
3		6 A 57	1/100 Km ² a 1/10 Km ²
4		58 A 575	1/10 Km ² a 1/Km ²
5		> 575	> 1/Km ²

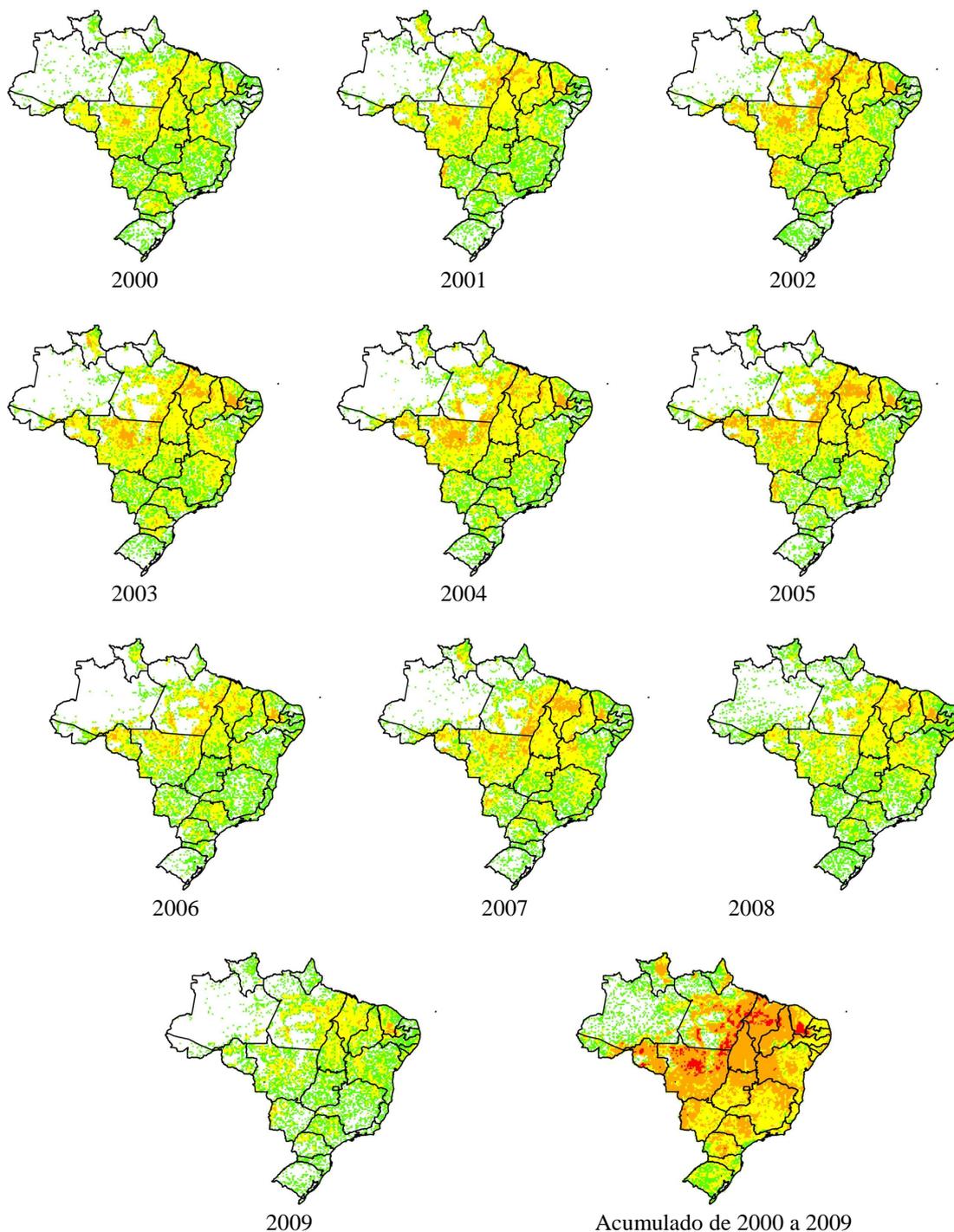


Figura 1. Dinâmica dos focos de queimadas no Brasil, no período de 2000 a 2009.

Tabela 3. Focos de queimadas por estado, por ano e para o total do período de 2000 a 2009.

UF	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	TOTAL	RANKING
RS	384	249	431	353	484	406	270	228	440	204	3.449	20 °
SC	307	200	217	964	436	209	389	196	200	171	3.289	21 °
PR	2.545	1.269	2.076	3.803	2.570	1.316	2.094	1.836	1.552	1.090	20.151	14 °
SP	4.128	2.926	3.510	3.620	3.218	3.730	4.030	3.066	1.734	1.390	31.352	12 °
MG	4.524	3.734	8.311	10.929	5.929	6.249	3.021	8.490	5.402	2.378	58.967	9 °
ES	175	130	282	741	156	130	150	322	201	135	2.422	24 °
RJ	121	307	366	313	158	154	323	292	95	75	2.204	25 °
BA	7.007	8.073	11.979	12.063	10.656	11.939	4.604	13.115	12.319	5.542	97.297	4 °
SE	18	24	97	274	105	161	154	94	211	208	1.346	26 °
AL	123	86	205	364	324	309	261	241	428	340	2.681	22 °
PE	689	1.080	1.498	2.097	1.653	1.247	982	978	1.590	1.171	12.985	17 °
PB	259	804	1.527	2.623	2.031	1.356	1.355	642	1.402	1.005	13.004	16 °
RN	146	301	244	548	319	311	122	169	278	169	2.607	23 °
CE	2.220	6.344	10.218	14.426	11.674	8.109	5.492	5.515	8.810	5.875	78.683	8 °
PI	4.765	9.482	11.039	10.783	11.153	11.677	4.013	10.283	7.821	3.952	84.968	6 °
MA	8.984	18.839	24.136	24.839	22.127	30.014	12.819	27.876	19.976	10.132	199.742	3 °
AP	253	1.301	1.153	906	1.288	554	291	240	546	299	6.831	19 °
PA	18.206	28.587	48.159	28.798	40.798	45.230	27.682	34.705	22.763	16.031	310.959	2 °
AM	853	1.297	1.857	2.283	1.845	4.942	2.624	2.010	1.908	914	20.533	13 °
RR	362	2.416	2.019	4.779	1.622	934	903	2.563	706	373	16.677	15 °
AC	434	828	1.238	1.230	907	4.746	666	702	425	49	11.225	18 °
RO	5.498	5.060	10.461	9.130	13.200	17.818	9.644	8.142	4.720	1.285	84.958	7 °
TO	6.542	9.113	13.627	9.819	13.241	13.006	5.513	12.835	8.840	4.057	96.593	5 °
DF	48	64	125	88	93	60	36	139	62	42	757	27 °
GO	3.809	3.927	8.260	5.534	5.928	3.634	2.094	5.820	3.448	1.601	44.055	11 °
MT	26.064	33.049	58.457	55.346	75.414	49.363	25.175	42.931	18.660	8.220	392.679	1 °
MS	3.074	6.078	12.877	4.241	5.292	8.040	2.606	5.233	2.632	2.995	53.068	10 °

O Gráfico 2 mostra que, no acumulado dos dez anos, apenas 18,40% da área do Brasil não apresentaram nenhuma ocorrência de focos de queimadas. Somados aos 13,82% da classe “<1/100 Km²”, tem-se um total de 32,22% da área do Brasil em que a ocorrência de queimadas pode ser considerada nula ou muito baixa.

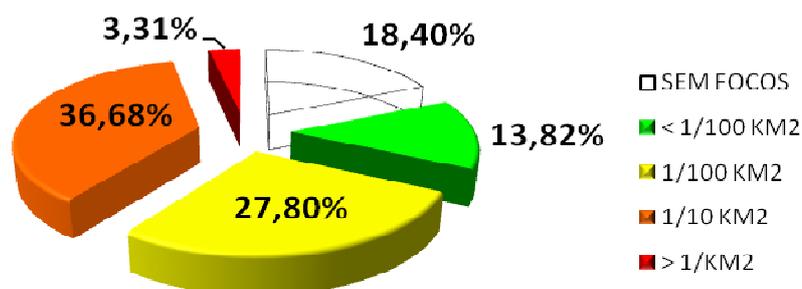


Gráfico 2. Percentual da área do Brasil com ocorrências de focos de queimadas, por classe de concentração, no período de 2000 a 2009.

Na terceira classe, de 1/100 Km² (6 a 57 focos por célula do *grid*), encontram-se 27,80% da área, onde a taxa de ocorrência foi, em média, menor do que 6 focos/ano durante os dez anos. É na área correspondente aos 39,99% restantes que estão concentrados os maiores impactos: em 3.594.816 Km² foram registrados 1.535.007 focos de queimadas (92,83% do total). A classe “> 1/Km²” (> 575 focos) está concentrada em 297.792 Km² (3,31% do Brasil), com um total de 445.227 focos (26,93% do total). A Tabela 4 sumariza os resultados dos municípios, revelando que 64,70% dos focos foram registrados em 5,34% dos municípios.

Tabela 4. Quantificação dos municípios brasileiros em função do número de focos de queimadas registrados no período de 2000 a 2009.

NÚMERO DE FOCOS POR ANO	CORRESPONDÊNCIA	NÚMERO DE MUNICÍPIOS	% DO TOTAL DO BRASIL	TOTAL DE FOCOS	% DOS FOCOS DO BRASIL	MÉDIA DE FOCOS POR MUNICÍPIO
SEM FOCOS	---	256	4,60%	0	0,00%	0,00
1	1/DÉCADA	241	4,33%	241	0,01%	1,00
2 A 120	1 A 10/ANO	3.566	64,08%	102.659	6,21%	28,79
121 A 600	11 A 50/ANO	961	17,27%	271.071	16,39%	282,07
601 A 1.200	51 A 100/ANO	244	4,38%	209.703	12,68%	859,44
> 1.200	> 100/ANO	297	5,34%	1.069.810	64,70%	3.602,05
TOTAL		5.565	100,00%	1.653.482		

3.2. Clusterização dos estados em função do percentual de focos em área de floresta

Em média, 65,99% ou 3.672 municípios brasileiros registraram a ocorrência de focos de queimadas nos dez anos. Para fins de clusterização dos estados (Figura 2), com base no percentual de focos de queimadas em áreas de floresta, foram definidos cinco clusters:

- ✓ **Cluster 1 - Muito menos Floresta:** em quatro estados (PB, RN, CE e DF) o percentual do total de focos de queimadas em área de floresta varia de 0,0 a 10,0%;
- ✓ **Cluster 2 - Menos Floresta:** em sete estados (PE, SE, TO, GO, MS, RS e PI) o percentual do total de focos de queimadas em área de floresta varia de 10,1 a 40,0%;
- ✓ **Cluster 3 - Tanto Quanto:** em quatro estados (SP, BA, AP e MG) o percentual do total de focos de queimadas em área de floresta varia de 40,1 a 60,0%;
- ✓ **Cluster 4 - Mais Floresta:** em seis estados (MA, RR, MT, AL, RJ e SC) o percentual do total de focos de queimadas em área de floresta varia de 60,1 a 90,0%; e
- ✓ **Cluster 5 - Muito Mais Floresta:** em seis estados (RO, PR, PA, AM, ES e AC) o percentual do total de focos de queimadas em área de floresta varia de 90,1 a 100,0%.

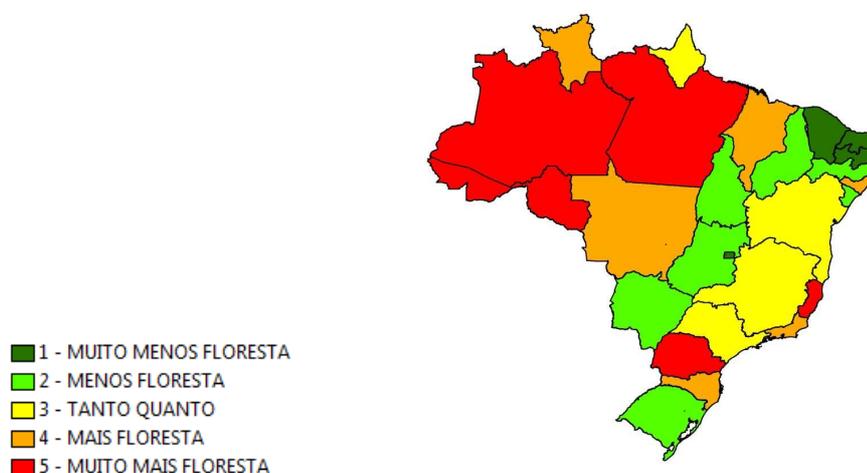


Figura 2. Clusterização dos estados, em função do percentual de focos em área de floresta.

3.3. Análise dos focos de queimadas por mês de ocorrência

Em relação à distribuição dos focos de queimadas durante o ano, o Gráfico 3 mostra que os meses de agosto a outubro concentram 67,19% do total de ocorrências de focos de queimadas no período analisado. Incluindo-se novembro, tem-se 79,72% dos focos.

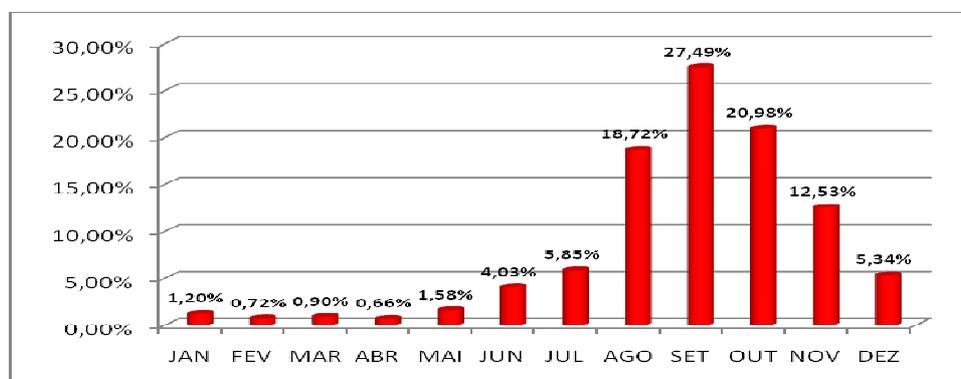


Gráfico 3. Percentual de ocorrência de queimadas, por mês, no período de 2000 a 2009.

3.4. Focos de queimadas por tipo de vegetação

A Tabela 5 sumariza a ocorrência dos focos de queimadas por tipo de vegetação, para cada ano e para o total do período.

Tabela 5. Focos de queimadas por tipo de vegetação no Brasil, no período de 2000 a 2009.

CLASSE/ANO	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	TOTAL	%
ÁGUA	341	384	639	393	595	394	314	151	131	98	3.440	0,21%
CAMPINARANA	0	30	5	68	3	45	0	8	18	2	179	0,01%
CONTATO	18.716	26.164	46.278	44.407	57.908	39.885	18.032	35.541	18.004	9.042	313.977	18,99%
ESTACIONAL DECIDUAL	4.486	7.201	11.121	10.908	9.057	13.468	4.589	13.468	10.351	4.333	88.982	5,38%
ESTACIONAL SEMIDECIDUAL	6.308	6.288	9.606	12.124	8.931	8.506	6.147	8.890	6.184	3.096	76.080	4,60%
INDETERMINADO	10	170	283	437	299	283	219	225	280	136	2.342	0,14%
NÃO FLORESTA	38.110	57.000	86.165	79.285	82.326	70.961	35.547	68.491	51.851	28.457	598.193	36,18%
OMBRÓFILA ABERTA	13.942	17.879	34.776	25.355	34.420	46.170	25.084	29.470	16.538	6.735	250.369	15,14%
OMBRÓFILA Densa	17.688	29.474	43.815	34.314	36.679	45.024	25.948	31.355	22.936	17.395	304.628	18,42%
OMBRÓFILA MISTA	1.851	804	1.337	3.246	2.085	753	1.264	986	750	356	13.432	0,81%
PIONEIRAS	86	174	344	357	318	155	169	78	126	53	1.860	0,11%
TOTAL DE FOCOS	101.538	145.568	234.369	210.894	232.621	225.644	117.313	188.663	127.169	69.703	1.653.482	
	6,14%	8,80%	14,17%	12,75%	14,07%	13,65%	7,09%	11,41%	7,69%	4,22%	100,00%	

FOCOS EM ÁREA DE FLORESTA	62,12%	60,46%	62,84%	62,01%	64,23%	68,25%	69,24%	63,50%	58,90%	58,84%	63,47%
FOCOS EM ÁREA DE NÃO FLORESTA	37,88%	39,54%	37,16%	37,99%	35,77%	31,75%	30,76%	36,50%	41,10%	41,16%	36,53%

3.5. Áreas mais críticas

Tendo em vista identificar as áreas mais críticas, foram analisadas as células do *grid* que apresentaram a maior concentração de focos ao longo do período analisado. Com base no total de focos de queimadas em um determinado ano, verificou-se quantas células comportam 50% destes focos. Desta forma foi possível obter uma noção do tamanho da área absoluta e relativa que abrange estes 50% dos focos, e também a sua dispersão ou concentração em uma determinada região. Em cada ano e no total do período analisado verificou-se que 50% dos focos de queimadas sempre se concentraram em menos de 10% da área do Brasil. Este resultado pode ser observado na Figura 3.



Figura 3. Distribuição espacial dos 821.376 km² (9,71% da área do Brasil) correspondentes a 50% dos focos de queimadas (826.741 focos) no período de 2000 a 2009: 1,01 focos/Km².

3.6. Identificação dos municípios com maior ocorrência de focos de queimadas

Em cada ano do período de 2000 a 2009 foram identificados os dez municípios que apresentaram as maiores ocorrências de focos de queimadas. Ao longo da década, os municípios com as dez maiores ocorrências encontram-se em apenas sete estados: Pará (em 50% dos casos), Mato Grosso (em 33%), Mato Grosso do Sul (em 8%), Rondônia (em 4%), Ceará (em 3%), Maranhão (em 1%) e Amazonas (em 1%). Em 2000, o líder de ocorrências foi Tapurah (MT), com 1.415 focos de queimadas. Já em 2005, o líder foi São Félix do Xingu, com 6.254 focos de queimadas: uma diferença de 341,98%. Em 2009 foi registrado um total de 8.645 focos nos dez municípios líderes, enquanto em 2004 os dez líderes somaram 30.184 focos: aumento de 249,15%. Na Tabela 6 são listados os dez maiores do período analisado.

Tabela 6. Municípios com a maior ocorrência de queimadas, no período de 2000 a 2009.

Nº	MUNICÍPIO	UF	FOCOS	Nº	MUNICÍPIO	UF	FOCOS
1	SAO FELIX DO XINGU	PA	33.082	6	NOVO PROGRESSO	PA	14.581
2	TAPURAH	MT	22.044	7	SANTANA DO ARAGUAIA	PA	14.248
3	CORUMBA	MS	21.399	8	NOVO REPARTIMENTO	PA	12.318
4	ALTAMIRA	PA	16.586	9	MARABA	PA	12.201
5	NOVA UBIRATA	MT	15.433	10	CUMARU DO NORTE	PA	12.088
TOTAL DOS DEZ MUNICÍPIOS (8,81% DOS FOCOS DO BRASIL)							173.980

3.7. Focos de queimadas em Terras Indígenas

Foram identificados 51.023 focos de queimadas em áreas de Terras Indígenas, com uma contribuição de 3,09% do total de focos registrados no país, durante o período considerado. 54,56% dos focos ocorreram em áreas de floresta, sendo as tipologias mais impactadas a Floresta Ombrófila Aberta (19,48%), Contato (15,15%) e Floresta Ombrófila Densa (15,01%). Os estados com maior ocorrência foram Mato Grosso (29,99%), Pará (26,13%) e Tocantins (17,24%). Juntos, estes três estados foram responsáveis por 73,36% dos focos, considerando-se as 382 Terras Indígenas aqui analisadas.

3.8. Focos de queimadas em Unidades de Conservação

Nas 657 Unidades de Conservação analisadas, foram registrados 78.443 focos, ou 4,74% de todos os focos do Brasil no período: em média, uma ocorrência por unidade por mês. 51,40% dos focos ocorreram em áreas de floresta, e as tipologias mais impactadas foram Floresta Ombrófila Densa (19,93%), Floresta Ombrófila Aberta (19,80%) e Contato (7,57%). Os estados com maior ocorrência foram o Pará (34,16%), Tocantins (15,67%) e Bahia (9,05%), responsáveis por 58,87% dos focos em Unidades de Conservação.

3.9. Focos de queimadas por Bioma

A Tabela 7 apresenta os resultados para os seis biomas brasileiros. Amazônia (um foco a cada 5,26 Km²) e Cerrado (um foco a cada 4,00 Km²) registraram 79,80% dos focos do período e o Pampa foi o bioma com a menor ocorrência, com um foco a cada 100,00 Km².

Tabela 7. Ocorrência de focos de queimadas por bioma, no período de 2000 a 2009.

BIOMA	ÁREA (KM2)	% DA ÁREA DO BRASIL	TOTAL DE FOCOS (2000-2009)	% DOS FOCOS	UM FOCO A CADA
AMAZÔNIA	4.196.943	49,29%	814.086	49,23%	5,26 Km ²
CERRADO	2.036.448	23,92%	505.475	30,57%	4,00 Km ²
CAATINGA	844.453	9,92%	199.531	12,07%	4,17 Km ²
MATA ATLÂNTICA	1.110.182	13,04%	88.467	5,35%	12,50 Km ²
PANTANAL	150.355	1,76%	43.993	2,66%	3,45 Km ²
PAMPA	176.496	2,07%	1.990	0,12%	100,00 Km ²

3.10. Simulação do total de área queimada no período de 2000 a 2009

Embora se possa identificar o “onde” e o “quando”, não é possível quantificar o “quanto” foi queimado, em termos de área. Uma vez que uma frente de fogo de 30 m de comprimento por 1 m de largura já é capaz de ser detectada pelo sensor AVHRR, pode-se ter tanto queimadas de apenas 30 m² quanto queimadas de 1,21 Km² (pixel de 1,1 Km²) ou até mais.

Para cada uma das três simulações realizadas, adotaram-se seis classes de área (de 30 a 1.000.000 m²), em função da área queimada em cada foco. Variando-se o percentual de ocorrência de cada uma das seis classes, a Simulação I resultou em 499.403,32 Km² (área dos Estados de SP, PR, ES e DF); a Simulação II resultou em 237.445,97 Km² (área do Estado de RO); e a Simulação III resultou em 124.302,00 Km² (área dos Estados de PE, SE e DF).

4. Conclusões

2002 foi o ano mais crítico da década, com 234.369 focos (14,17% do total do período), enquanto 2009 foi o ano de menor ocorrência, com “apenas” 69.703 focos (4,22% do total). As incidências em áreas de floresta variaram de 58,85% em 2009 a 69,24% em 2006, com um total de 1.049.507 focos (63,47% do total) em áreas com cobertura florestal.

Em média, registrou-se um foco de queimada a cada 5,11 Km² durante toda a década. Em áreas sem cobertura florestal foram verificados 598.193 focos (36,18% do total). As tipologias florestais mais impactadas foram Contato (313.977 focos/18,99%), Floresta Ombrófila Densa (304.628 focos/18,42%) e Floresta Ombrófila Aberta (250.369 focos/15,14%), que juntas somam 868.974 focos (52,55% do total). As classes menos impactadas foram Campinarana (179 focos/0,01%), Pioneiras (1.860/0,11%) e Floresta Ombrófila Mista (13.432 focos/0,81%), que juntas somam 15.471 focos (0,94% do total).

Foram também identificados os municípios críticos, gerando-se listagens para o país e por estado. Com as coordenadas geográficas de todos os 1.653.482 focos de queimadas identificados, sabe-se quando e onde as queimadas ocorreram. Todavia, uma questão complexa é identificar quantas destas ocorrências de queimadas tinham licenciamento ambiental. É preciso transformar estes resultados em ações que venham, ao longo do tempo, a minimizar a intensidade com que as queimadas são feitas, seja nas práticas de renovação da pastagem no Pantanal, na limpeza do solo nas áreas de agricultura de subsistência do Nordeste, nas áreas de cana-de-açúcar de São Paulo ou nas áreas de expansão da fronteira agropecuária da Amazônia. Uma tarefa mais do que complexa, mas que precisa ser iniciada.

5. Agradecimentos

O autor agradece ao INPE, em especial à equipe de detecção de queimadas, que há mais de 20 anos vem produzindo dados para o monitoramento dos focos de queimadas no Brasil.