

CARACTERIZAÇÃO DE ÁREA QUEIMADA NO SUL DO CEARÁ

Sócrates Alves Honório de Souza¹

Meiry Sayuri Sakamoto²

RESUMO: A presente pesquisa tem como objetivo geral caracterizar a área queimada na região do Cariri (Ceará) entre 2002 e 2020 através de focos de calor e de cicatrizes de fogo (incêndios/queimadas) registradas em imagens de satélite. Os dados foram coletados do BDQueimadas/INPE e do MapBiomas. O Google Earth Engine e o software QGIS foram utilizados para editar dados, processar informações e elaborar mapas temáticos. Foi registrado um total de 7978 focos de calor na Área Integrada de Segurança 19, sendo 7,5% do total do Ceará. O ano de 2003 teve o maior volume de focos (712) e no comparativo mensal, novembro desponta com 2692 focos de calor. Classificando os municípios pelo fator de proporção relativo ao tamanho de seus territórios, Missão Velha, Santana do Cariri, Abaiara, Mauriti e Araripe tiveram os maiores números. Registrou-se 26953 cicatrizes de fogo na AIS 19 no período, totalizando 1773,52 km² de área queimada (21,89% do Ceará). O ano de 2004 apresentou 3195 cicatrizes sendo o de maior registro. Os 25 municípios da AIS 19 tiveram registros de cicatrizes, destacando Araripe, Barro, Aurora, Missão Velha e Assaré. A Floresta Nacional do Araripe, inserida na AIS 19, teve 19 cicatrizes (2,73 km²) na série temporal analisada.

Palavras-chave: Focos de calor. Cicatriz de fogo. Cariri cearense. AIS 19.

ABSTRACT: The present research has as general objective to characterize the burned area in the Cariri region (Ceará) between 2002 and 2020 through hot spots and fire scars recorded in satellite images. Data were collected from BDQueimadas/INPE and MapBiomas. Google Earth Engine and QGIS software were used to edit data, process information and create thematic maps. A total of 7978 hotspots were registered in the Integrated Security Area 19, 7.5% of the total in Ceará. The year 2003 had the highest volume of hotspots (712) and in the monthly comparison, November stands out with 2692 hotspots. Classifying the municipalities by the proportion factor related to the size of their territories, Missão Velha, Santana do Cariri, Abaiara, Mauriti and Araripe had the highest numbers. There were 26953 fire scars in AIS 19 in the period, totaling 1773.52 km² of burned area (21.89% of Ceará). The year 2004 presented 3195 scars, being the one with the highest number of records. The 25 municipalities of AIS 19 had scars, highlighting Araripe, Barro, Aurora, Missão Velha and Assaré. The Araripe National Forest, located in AIS 19, had 19 scars (2.73 km²) in the analyzed time series.

Keywords: Hot spots. Fire scar. Cariri Ceará. AIS 19.

1. Mestre em Climatologia – UECE; Capitão do Corpo de Bombeiros Militar do Ceará; socrates.souza@aluno.uece.br;
2. Doutora em Meteorologia – USP; Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos; meiry.sakamoto@uece.br

1 INTRODUÇÃO

No Estado do Ceará 88% da sua cobertura vegetal natural é formada pelo Bioma Caatinga, caracterizado pelo clima semiárido e predominante na Região Nordeste. É considerado um dos mais alterados no Brasil, principalmente pelas ações antrópicas, seja com fins econômicos e/ou sociais (TRIGUEIRO *et al.*, 2009; Inventário Florestal Nacional, 2016). Conforme estudo realizado pela FUNCEME (2019), o Ceará apresenta 62,46% de sua área recoberta por vegetação e 37,54% com áreas antrópicas.

Silva *et al.* (2021) afirmam que a desertificação é um processo decorrente de fatores naturais e/ou artificiais, que é agravado pelo antropismo (desmatamento ou por métodos inadequados de cultivo) em que pese as queimadas têm papel de destaque. No Ceará, cerca de 17.042 km² (11,45%) do território está gravemente degradado e suscetível à desertificação (FUNCEME, 2017).

As queimadas destinadas à limpeza de biomassa para fins de agricultura e pecuária têm sido as principais causas dos incêndios florestais no Brasil, esses incêndios são considerados os principais problemas ambientais no país, pois comprometem ainda mais regiões já vulneráveis pelas próprias características climáticas, como a região semiárida da Caatinga. (ALCÂNTARA e FERNANDES, 2020); SILVA (2020).

Outro problema relacionado aos incêndios florestais/queimadas são as mudanças climáticas. Dias (2008) afirma que a queima de combustíveis fósseis, desmatamento, queimadas e incêndios florestais são responsáveis pela maior parte das emissões brasileiras de CO₂, contribuindo para a mudança global do clima. Por outro lado, o aquecimento global aumenta a probabilidade de ocorrências de incêndios florestais. Buscando determinar o risco de incêndios florestais no estado do Paraná, Batista *et al.*, (2014) observaram que, para o melhor cenário (aumento de 1,8°C na temperatura média da Terra até 2100) o risco extremo de incêndios florestais passou de 1,80% em 2020 para 8,49% em 2100.

Segundo Batista (2004 *apud* LEMES *et al.* 2013), a melhor e mais eficiente maneira de combate aos incêndios em vegetação é priorizar às técnicas e as campanhas de prevenção. O monitoramento do fogo através do uso de técnicas de sensoriamento remoto para mapear incêndios e quantificar a área queimada em áreas de difícil acesso se torna uma excelente alternativa (FERNANDES, *et al.*, 2019). Grégoire *et al.* (2003 *apud* ANDERSON, 2005).

Flannigan e Harrington (1988) realizaram um estudo sobre a área queimada e variáveis meteorológicas no Canadá analisando a influência dos longos períodos sem chuva na quantidade de área queimada. Machado *et al* (2014) buscaram analisar a sazonalidade das

queimadas/incêndios florestais atendidas pelo Corpo de Bombeiros Militar em Cuiabá – MT correlacionando focos de calor, precipitação e temperatura do ar de 2005 a 2009. Soares *et al* (2017) avaliaram a correlação da precipitação com incidência de focos de calor no Parque Nacional das Sempre Vivas-MG.

No Ceará, Silva *et al.* (2021) analisaram a influência da variabilidade do clima nas ocorrências de focos de calor no estado, considerando também o fator cultural a essas questões, e o principal resultado foi que a maior quantidade de focos é registrada no segundo semestre do ano, período com baixos índices pluviométricos. Na mesma linha, Alves *et al.* (2021) aprofundam a relação entre focos de calor e variáveis climáticas (ventos, chuvas, umidade relativa do ar, umidade do solo, radiação em superfície, evapotranspiração) para o Bioma Caatinga, comparando-os com períodos de ocorrência de El Niño, La Niña e neutro, tendo como principal produto a estreita relação entre fogo e clima, desde o risco de incêndios até a propagação e manutenção deles.

Alcântara e Fernandes (2020) mapearam as áreas queimadas na microbacia hidrográfica do Riacho da Barriga, município de Farias Brito, no segundo semestre de 2019, os resultados mostram 1045,05 ha de áreas queimadas, sendo a maioria (29,47%) de área queimada com severidade baixa. De Oliveira *et al.* (2021) realizaram estudo na bacia hidrográfica do Rio Coreaú (Ceará), entre 2010 e 2017 e através de dados do satélite NOAA/AVHRR identificaram 1786 focos de incêndio e área total queimada estimada em 1187,66 km². Torres (2022) mostrou, a partir de cicatrizes de queimadas do MapBiomas Fogo, que no período de 2013 a 2020 um total de 2210,59 km² do território cearense sofreram queimadas ou incêndios florestais, com uma média de 276,32 km² de área queimada a cada ano.

Este artigo traz a caracterização e análise espaço-temporal da área queimada no Cariri cearense no decorrer do período de 2002 a 2020 através de focos de calor e cicatrizes de incêndios florestais e/ou queimadas registradas em imagens de satélite.

2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

A Secretaria de Segurança Pública e Defesa Social (SSPDS) do Estado divide seu território em Área Integrada de Segurança (AIS) com fins de gerenciamento operacional, sendo que o foco deste estudo foi a AIS 19 (Região do Cariri Cearense), localizada no sul do estado (figura 1) e que contempla vinte e cinco municípios (SSPDS, 2021).

Essa região é importante economicamente, faz fronteira com três estados (Piauí, Pernambuco e Paraíba) e apresenta significativo número de focos de calor e de cicatrizes no Ceará. Tem média pluviométrica de 827,9 mm anualmente e predomina o clima semiárido com temperatura média anual de 29°C (FRANCISCO, 2020; FUNCEME, 2021).

A região apresenta duas estações bem definidas, a estação chuvosa com duração de 3 a 5 meses (primeiro semestre do ano) e apresenta distribuição irregular no tempo e no espaço, e a estação seca (segundo semestre) com quase nenhum registro de precipitação e significativo número de incêndios (SENA, 2011; SOUZA, 2016; GOMES *et al.*, 2020).

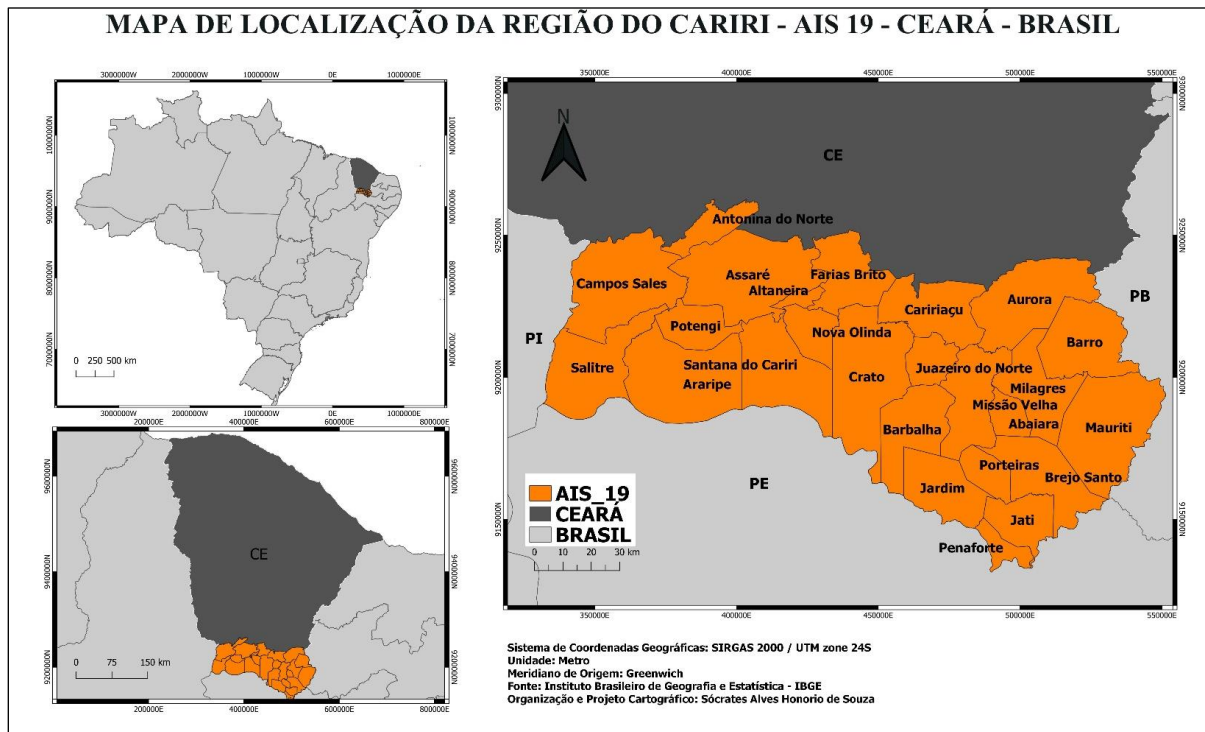


Figura 1 – Localização geográfica da Região do Cariri – AIS 19. Fonte: Elaborado pelo autor.

Com esta pesquisa será possível obter um diagnóstico da dinâmica dos incêndios florestais e queimadas, quais regiões (cidades) se destacam negativamente, além da área queimada proporcional, que servirá como parâmetro da intensidade (severidade) dos incêndios na vegetação. Essas informações servirão de base para os órgãos atuantes na prevenção e combate aos incêndios florestais, para fiscalização das queimadas sem autorização pelos órgãos competentes, tudo isso contribuindo para manutenção do meio ambiente equilibrado.

2.2 Coleta e processamento dos dados de focos de calor

A obtenção dos dados de focos de calor foi feita por meio do portal do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) no endereço <http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/>, onde foram selecionados os dados do satélite de referência (ÁQUA-MT).

Inicialmente foi feita uma coleta de dados para todo o estado do Ceará, o arquivo (.csv) foi importado para o ambiente SIG (QGIS versão 2.16 Hannover). Foi realizada uma divisão de focos por Área Integrada de Segurança, com destaque para a AIS 19, criado um arquivo vetorial de pontos em formato *shapefile*, com sistema de referência de coordenadas definido em WGS 84 / UTM zona 24S.

Foram elaborados dois mapas no ambiente do QGIS classificando os municípios por dimensão territorial e por número de focos de calor registrados. No primeiro, referente a dimensão territorial os municípios foram divididos em 5 classes, numeradas de 1 a 5, sendo: 1 (73 a 259), 2 (259 a 539), 3 (539 a 642), 4 642 a 924) e 5 (924 a 1154), todos os valores dados em quilômetros quadrados (km²). No segundo mapa, relacionado ao número de focos de calor (FC) os municípios foram classificados em quatro classes, sendo a primeira entre 19 e 159 FC, a segunda entre 159 e 253 FC, a terceira entre 253 e 402 FC e a quarta entre 402 e 833 FC.

Por fim, a identificação das áreas com mais focos de calor foi feita com a ferramenta disponível no QGIS - Estimativa da Densidade de Kernel. Para isso, o arquivo em formato de pontos (coordenadas geográficas) é transformado em formato raster (imagem), contendo uma vizinhança circular ao redor de cada ponto amostral, chamada de raio de influência, depois é aplicada uma função matemática de 1 que corresponde a posição do ponto até 0 que é o limite da vizinhança. Portanto, o valor para cada célula é a soma dos valores de Kernel que será sobreposto e dividido pela área de cada raio definido pela pesquisa (SILVERMAN, 1986).

2.3 Coleta e processamento dos dados de cicatriz de fogo

O MapBiomass é um projeto colaborativo iniciado em 2015 que apresenta as transformações no território, sendo através do MapBiomass Fogo possível acessar imagens de cicatriz de fogo com resolução espacial de 30 metros dos satélites Landsat, desconsiderando as cicatrizes de 30mx30m que não aparecem no pixel. As imagens são disponibilizadas em nuvem através de um termo de cooperação técnica com a base na plataforma Google Earth Engine (GEE) para uma série histórica entre 1985 e 2020.

Os dados deste estudo foram coletados para o período de 2011 a 2020 através de uma linha de comandos desenvolvida na linguagem de programação JavaScript no editor de códigos do GEE e aplicados em ambiente SIG através do software gratuito, QGIS, extraindo as informações pertinente ao objetivo proposto e seus resultados foram base para criação de tabelas, gráficos e figuras.

As imagens coletadas (raster) vem em formato TIFF (.tif) e projetado para o Sistema de Referência Geocêntrico SIRGAS 2000. Sendo adotadas as coordenadas planas UTM 24S SIRGAS 2000 para executar a espacialização e quantificação das cicatrizes.

As imagens das cicatrizes vêm com dois tipos de dados, o zero (nulo) e o um, que corresponde à cicatriz, representada por um polígono. É retirada a informação zero e o 1 é convertido para o formato de camada, adicionando informações a sua tabela de atributos, como município, área, ano.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Análise dos focos de calor

Historicamente, o Ceará apresenta uma quantidade significativa de focos de calor (FC). Entre 2002 a 2020 foi registrado um total de 106.997, com média de 5.631 focos por ano. O destaque é o ano de 2003 com 11.626 FC, sendo o de menor número 2014 com 2.327 FC. Já na AIS 19, o total de focos entre os anos de 2002 a 2020 foi de 7.978, que corresponde a 7,5% do total no estado.

A relação entre focos de calor e precipitação (tabelas 1 e 2) é mais forte quando comparados os meses do ano. Nos meses com maior volume de precipitação, são observados menor número de focos, ou seja, o segundo semestre é o período mais afetado pelos focos de calor. Como mencionado, o clima semiárido predominante no Ceará tem por característica duas

estações bem definidas, uma seca e uma chuvosa, sendo que o período que compreende os meses de fevereiro a maio é denominado de quadra chuvosa, concentrando cerca de 70% do volume de chuvas (Gomes *et al.*, 2020). Já com relação aos focos, os meses entre setembro e dezembro se destacam, novembro é o mês que apresenta maior número de focos.

Tabela 1 - Focos de calor mensais e total anual na AIS 19 para os anos de 2002 a 2020

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
2002	0	0	0	0	0	0	2	12	54	238	204	98	608
2003	11	0	2	0	0	1	3	10	106	218	300	61	712
2004	3	0	0	0	0	0	0	3	52	103	174	206	541
2005	38	2	0	0	0	1	3	4	33	98	140	158	477
2006	21	1	1	0	0	1	1	4	20	52	185	144	430
2007	44	0	0	1	0	0	5	13	53	142	171	88	517
2008	21	4	0	0	0	1	1	2	20	47	218	170	484
2009	22	1	0	0	0	0	2	2	15	48	121	128	339
2010	37	14	5	1	2	1	9	14	37	40	305	34	499
2011	8	0	2	0	1	1	2	4	27	82	191	126	444
2012	5	5	1	0	7	3	8	19	121	143	63	39	414
2013	12	3	1	0	1	0	0	5	49	58	69	35	233
2014	5	2	0	1	0	1	0	6	21	44	63	46	189
2015	28	5	5	0	0	0	2	13	37	74	73	38	275
2016	16	4	0	1	1	2	14	22	41	166	85	27	379
2017	10	1	0	2	0	1	0	21	26	123	72	80	336
2018	11	2	0	0	0	1	3	7	43	86	58	2	253
2019	12	4	1	0	1	2	2	17	70	175	114	92	490
2020	17	0	1	0	3	2	10	15	56	89	86	79	358
Média	16,89	2,53	1	0,31	0,84	0,95	3,53	10,16	46,37	106,63	141,68	89	

Fonte: Elaborado pelo autor. Dados: INPE.

Tabela 2 - Precipitação mensal e total anual no Ceará para os anos de 2002 a 2020

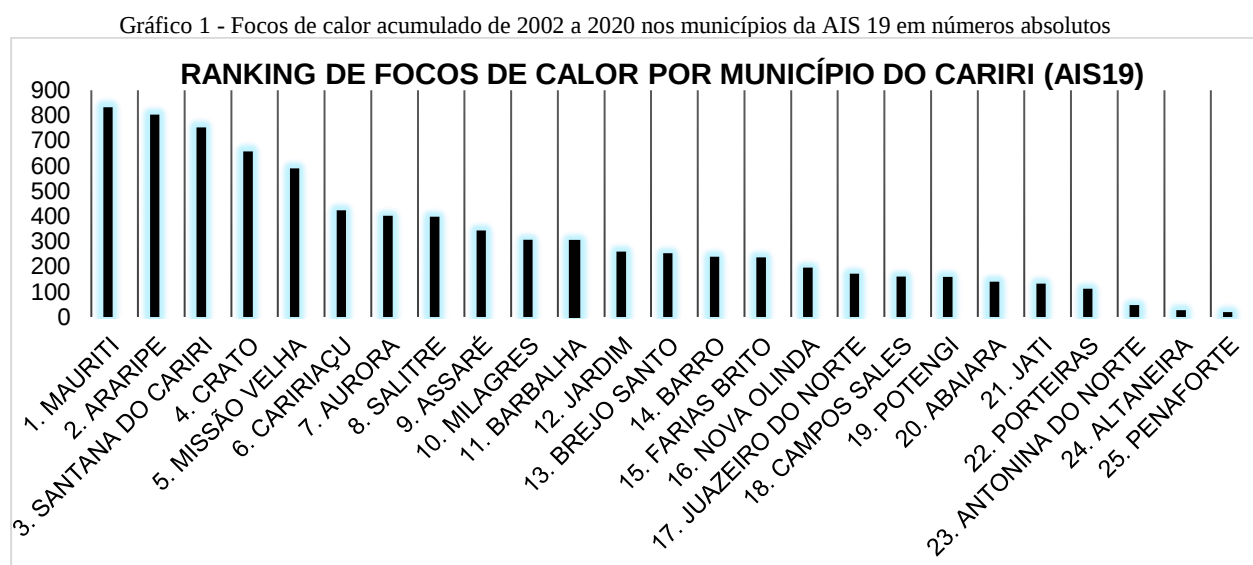
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
2002	245,1	49,4	187,1	176,1	92,7	37,3	16,1	0,3	0,6	0,4	2,7	10,4	818,2
2003	99,9	179,4	267,2	156,2	67,1	47,4	1,5	1,4	0,1	0,9	1,9	12,7	835,7
2004	406,1	246,1	139,9	82,2	55,6	76,5	21,3	2,0	0,9	0,5	1,3	6,4	1038,8
2005	61,1	51,1	194,8	94,5	104,5	41,8	5,4	1,3	0,1	0,0	1,0	28,4	584,0
2006	24,1	124,0	188,7	206,8	136,5	45,8	5,9	3,2	0,9	4,5	2,8	22,2	765,4
2007	24,0	246,5	120,2	154,6	48,9	29,7	4,6	0,3	0,2	0,3	1,6	38,9	669,8
2008	99,1	95,5	332,5	239,1	104,8	17,8	10,8	9,5	0,3	0,5	0,4	12,8	923,1
2009	111,9	143,9	207,9	380,5	244,8	64,4	40,3	16,6	0,7	1,9	1,9	11,1	1225,9
2010	88,9	24,5	73,7	159,5	44,6	26,2	2,9	0,0	0,0	32,5	1,6	88,2	542,6
2011	212,9	169,6	156,4	196,9	136,1	31,2	50,2	11,5	0,5	50,5	12,8	5,8	1034,4
2012	54,0	138,1	93,2	52,6	18,6	19,5	6,6	0,3	0,1	0,3	1,7	4,0	389,0
2013	37,6	61,6	78,4	132,1	92,2	60,6	29,7	1,4	0,4	2,7	17,9	36,7	551,3
2014	46,6	91,9	158,3	124,9	85,1	10,2	5,2	0,3	2,4	10,1	24,7	5,8	565,5
2015	27,8	96,3	178,4	106,4	37,7	36,6	36,5	0,8	0,3	0,3	0,1	11,6	532,8
2016	191,8	53,2	129,4	97,4	47,4	17,6	1,0	0,1	0,7	0,2	0,6	27,5	566,9
2017	68,3	159,9	206,2	116,1	69,4	26,8	30,8	1,7	0,6	1,4	2,8	14,1	698,1
2018	68,1	197,0	127,8	216,5	59,2	10,6	13,8	1,2	0,1	3,4	15,8	88,7	802,2
2019	109,0	172,0	233,1	190,2	76,6	27,6	16,2	0,9	2,6	0,8	1,9	10,4	747,22
2020	141,7	191,2	274,9	179,9	82,7	30,7	25,3	0,6	1,2	1,3	28,6	8,1	1003,72
Média	111,47	131,12	176,22	161,18	84,45	34,65	17,06	2,81	0,67	5,92	6,43	23,36	

Fonte: Elaborado pelo autor. Dados: FUNCEME.

Portanto, existe uma correlação inversamente proporcional entre precipitação e focos de calor quando os valores são comparados mensalmente. Caso a análise seja feita com dados anuais, embora se observe uma certa tendência entre poucas chuvas e mais focos de calor, nota-se que há exceções a esse padrão geral, como no ano de 2004 em que foi observado um elevado número de focos (541) e índices pluviométricos acima da normal climatológica (1038,8 mm). Observa-se que 2004 foi o terceiro ano com maior registro de focos na série e segundo em precipitação.

3.2 Análise da proporção de focos de calor por município

Outro olhar mais detalhado na ocorrência de focos de calor é verificar quais os municípios mais atingidos. O Gráfico 1 traz o ranking dos municípios com maior número de focos, em números absolutos, para o período compreendido entre os anos de 2002 a 2020. Na série temporal destacam-se Mauriti, Araripe, Santana do Cariri, Crato e Missão Velha como os cinco municípios com mais registros de focos de calor, em contrapartida os que tiveram menos focos detectados foram Penaforte, Altaneira, Antonina do Norte, Porteiras e Jati.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Esta classificação chama atenção já que os municípios com maior número de focos são aqueles que têm áreas territoriais maiores, como mostrado no Gráfico 1 e na Figura 2, onde observa-se que Araripe, Crato, Mauriti e Santana do Cariri que estão entre os cinco mais atingidos também apresentam território extenso, figurando entre os sete maiores municípios da AIS 19. Por sua vez, entre os cinco municípios com menor quantidade de focos estão Penaforte, Altaneira, Antonina do Norte e Porteiras, que estão entre os seis com menor área territorial.

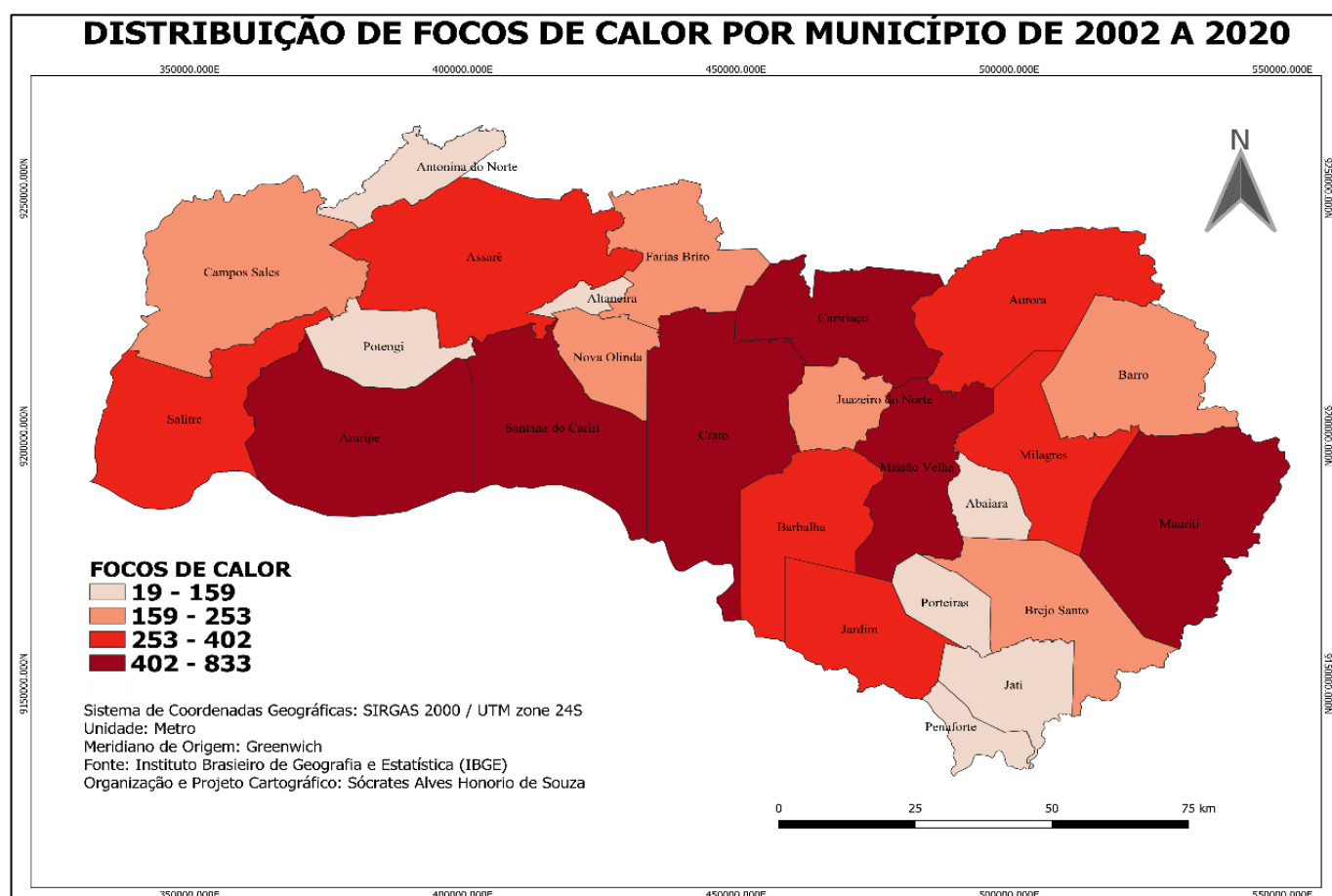


Figura 2 - Classificação dos municípios da AIS 19 por focos de calor. Fonte: Elaborado pelo autor.

Diante do que foi observado anteriormente, percebe-se que embora algumas cidades tenham ampla dimensão ainda assim não apareceram entre as mais atingidas por focos, como Campos Sales e Assaré. Para isso outro método de classificação foi implementado, por meio da proporção, ou seja, foi feita uma divisão da quantidade absoluta de focos pela área territorial em quilômetros quadrados (km²). Os resultados, na Figura 3 e Gráfico 2, trazem o ranking dos territórios mais atingidos proporcionalmente pelos focos de calor no período compreendido entre os anos 2002 a 2020, fato que modifica a classificação mostrada no Gráfico 1.

Tabela 3 – Municípios e Dimensão territorial (km²)

Abaíara – 180,69	Aurora – 885,19	Cariri – 633,69	Juazeiro do Norte – 258,59	Penaforte – 150,41
Altaneira – 72,63	Barbalha – 607,69	Crato – 1137,32	Mauriti – 1078,18	Porteirás – 224,68
Antonina do Norte – 259,58	Barro – 710,79	Farias Brito – 530,16	Milagres – 578,64	Potengi – 343,16
Araripe – 1096,84	Brejo Santo – 654,11	Jardim – 544,54	Missão Velha – 612,84	Salitre – 806,06
Assaré – 1154,42	Campos Sales – 1082,25	Jati – 368,07	Nova Olinda – 282,39	Santana do Cariri – 854,62

Fonte: Elaborado pelo autor. Dados: IPECE, 2021.

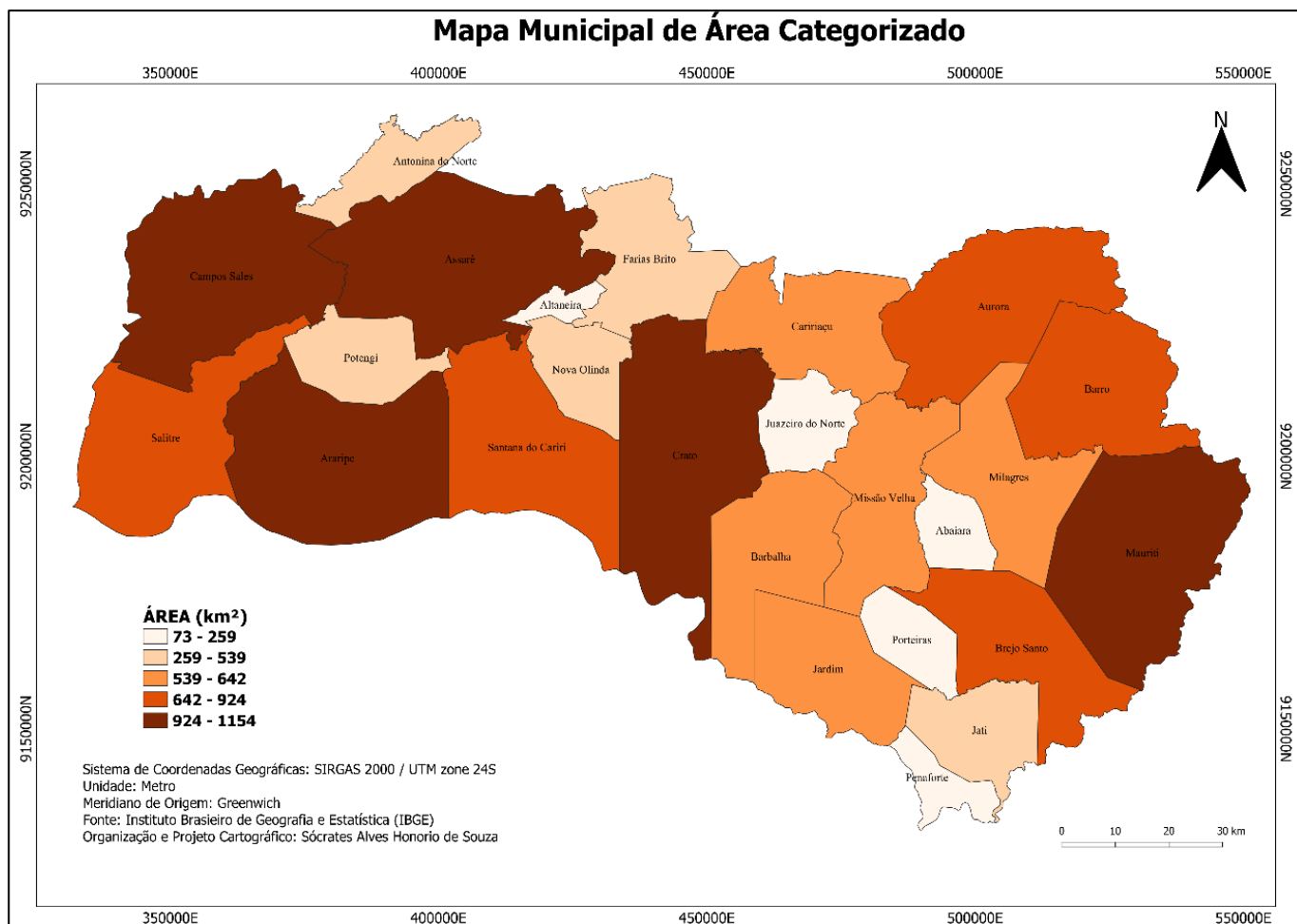
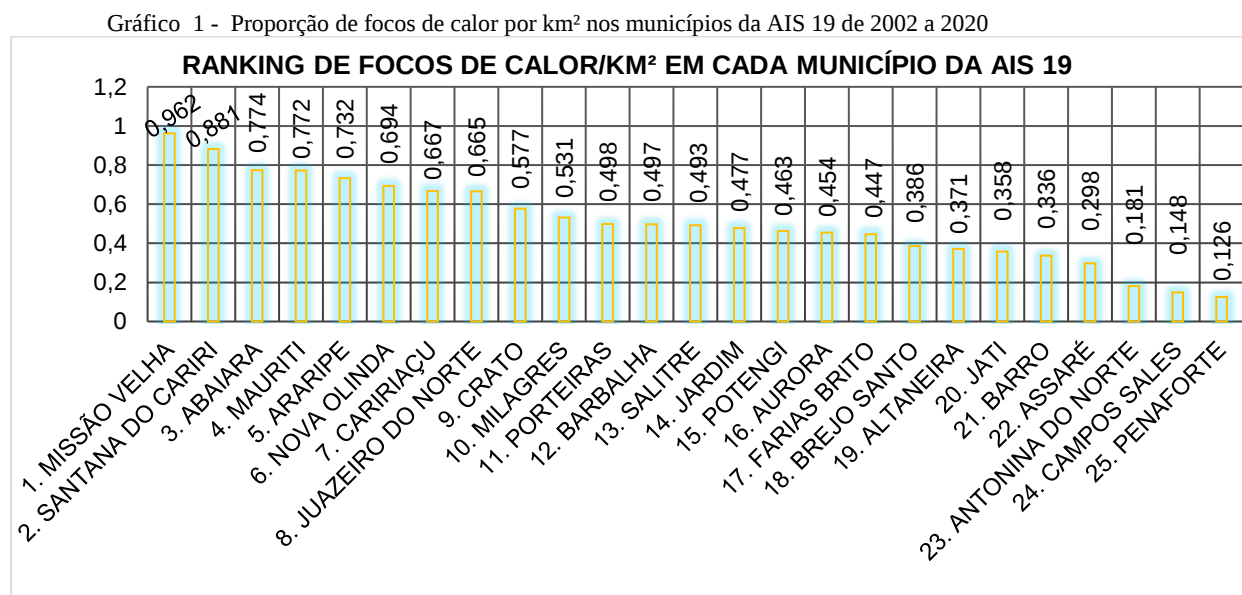


Figura 3 - Classificação dos municípios da AIS 19 por dimensão territorial. Fonte: Elaborado pelo autor.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesse caso, as cidades que se destacaram com maior proporção de focos de calor foram Missão Velha, Santana do Cariri, Abaiara, Mauriti e Araripe, já com menor proporção de focos foram Penaforte, Campos Sales, Antonina do Norte, Assaré e Barro.

Com isso, comparações em duas vertentes seja por números absolutos ou por critérios proporcionais ao território as cidades de Mauriti, Araripe, Santana do Cariri e Missão Velha sempre estiveram entre os principais e por isso precisam de maior atenção na prevenção e nos recursos de combate. Já os municípios de Penaforte, Antonina do Norte e Jati que sempre figuram entre os menos atingidos têm menos relevância, o que não quer dizer que precisam ser desprovidos de recursos e planos de prevenção. Até porque, o município de Porteirias que tem uma das menores áreas e teve menos de 200 focos registrados nos 19 anos de estudo, sendo apenas o 22º do ranking no Gráfico 1, salta para décimo primeiro quando se considera o critério de proporcionalidade territorial, como apresentado na Gráfico 2.

3.3 Análise das cicatrizes de fogo no estado do Ceará e na AIS 19

O estado cearense teve um total de 112.906 cicatrizes, traduzidos em 8.102,11 quilômetros quadrados (km²) queimados. Na AIS 19 foram 26.953 cicatrizes, com 1.773,52 km² queimados. Os números da AIS 19 representam uma área queimada de 21,89% do total do estado, e junto com a AIS 21 (região centro-sul – Iguatu) são as AIS's que mais tiveram cicatrizes (Figura 4).

Essa tendência também é encontrada no trabalho de Torres (2022), na ocasião a autora calculou o número de cicatrizes e sua densidade no território cearense, tendo como base para sobreposição as bacias hidrográficas, para o período de 2013 a 2020. Seus resultados mostram que as bacias do Alto Jaguaribe e do Salgado são as que apresentam uma alta atividade de queimadas, sendo justamente a porção sul do estado, coincidindo com a AIS 19.

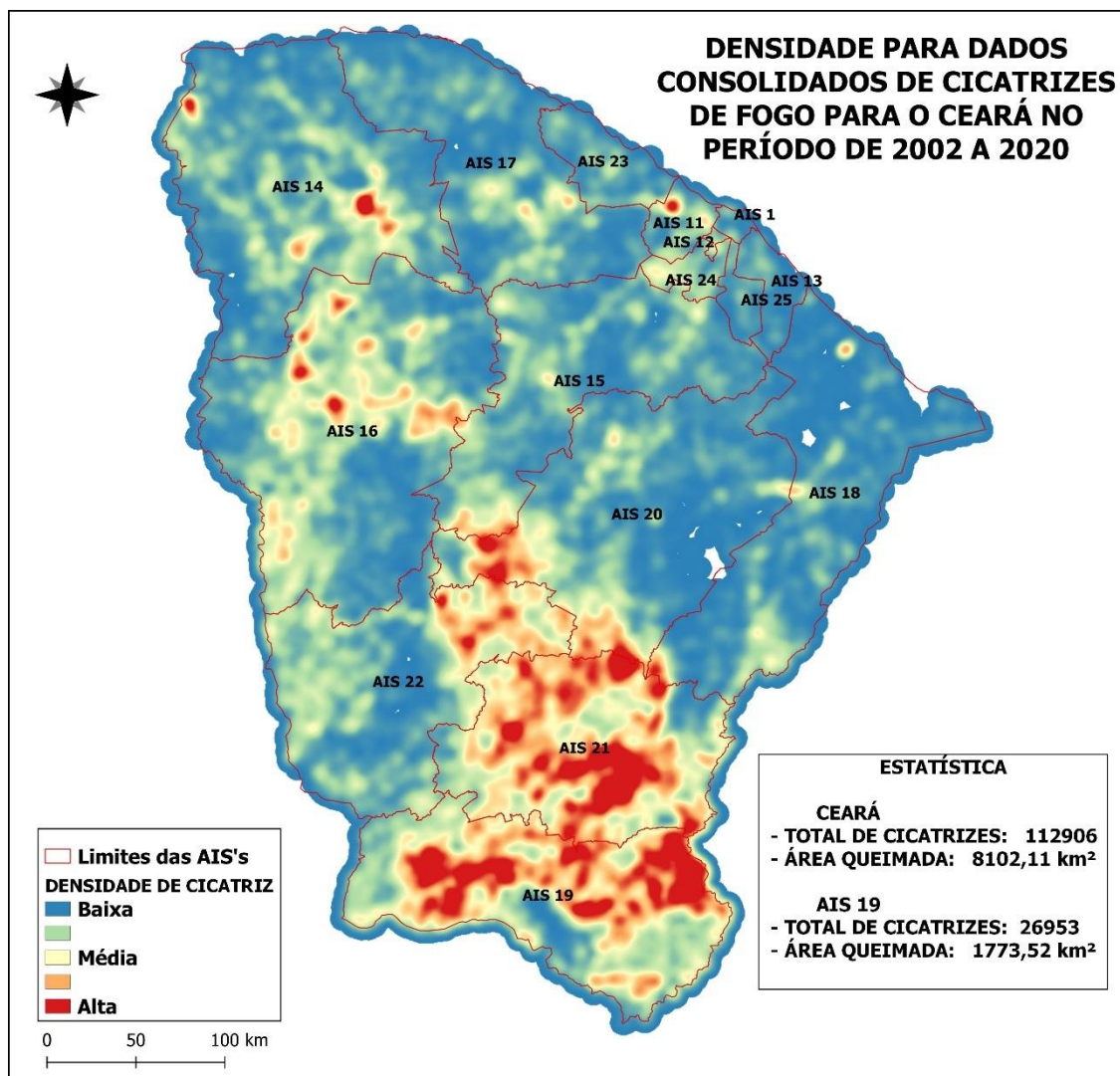


Figura 4 – Densidade de cicatrizes consolidadas para o Ceará – 2002 a 2020. Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 4 apresenta o número total de cicatrizes de queimadas/incêndios florestais na forma de densidade, para o período de 2002 a 2020 no Ceará. A densidade retrata a quantidade de polígonos (cicatrizes) em determinada região, desconsiderando o tamanho da área, a cor azul representa os locais que tiveram menor número, as cores alaranjadas os números medianos e a cor vermelha os locais mais atingidos.

Aprimorando a análise dos dados, a Tabela 4 apresenta o quantitativo de cicatrizes e a área queimada entre os anos 2002 a 2020 na Área Integrada de Segurança (AIS 19). A média do número de cicatrizes é de 1.419 por ano com 93,35 km² de área queimada anualmente, também na média.

Tabela 4 – Número de cicatrizes e área queimada total anual

ESTATÍSTICA ANUAL DE CICATRIZ - AIS 19		
ANO	Nº DE CICATRIZES	ÁREA QUEIMADA (KM²)
2002	2.421	162,36
2003	3.109	204,46
2004	3.195	222,51
2005	2.276	149,01
2006	2.848	185,54
2007	910	53,29
2008	1.793	150,23
2009	1.293	73,96
2010	336	32,17
2011	94	4,52
2012	1.887	139,26
2013	645	24,51
2014	360	15,24
2015	942	44,12
2016	872	49,27
2017	616	27,72
2018	535	34,72
2019	1.610	137,56
2020	1.211	63,05
TOTAL	26.953	1.773,52

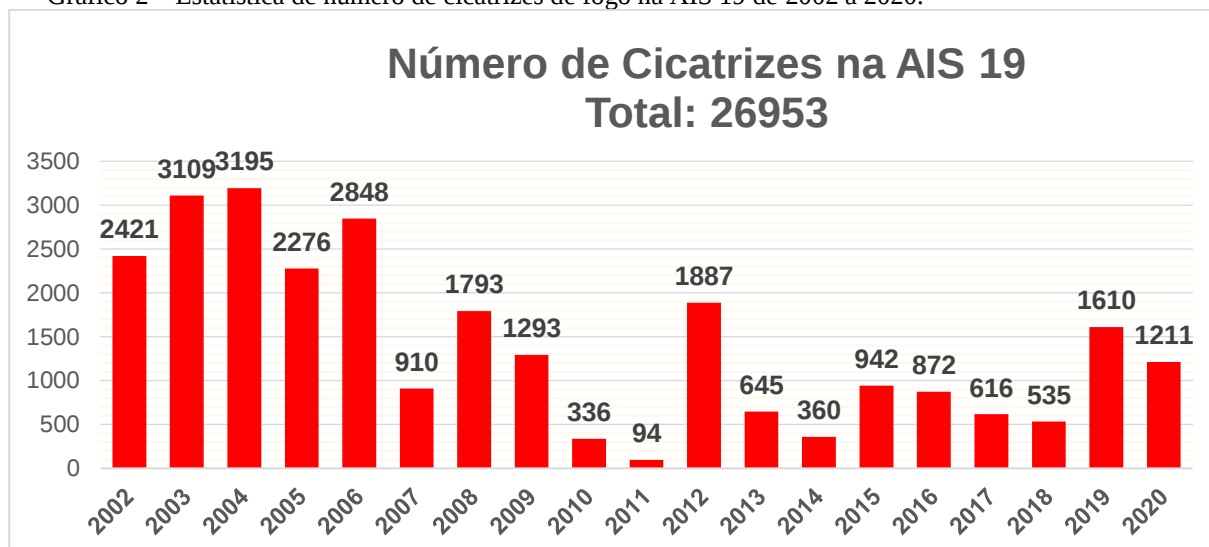
Fonte: Elaborado pelo autor.

Chama a atenção os cinco primeiros anos da série pelo fato de apresentarem número bem elevado se comparado aos 1.419 de média. Deles, 2003 e 2004 se destacam por apresentarem uma quantidade de cicatrizes duas vezes maior que a média, respectivamente com 3.109 e 3.195. Nesse quinquênio (2002 a 2006) foram 13.849 cicatrizes detectadas, correspondendo a 51,38% dos 26.953 registrados nos 19 anos estudados.

Outro ponto interessante é o tamanho de área queimada, ainda utilizando os cinco primeiros anos da série como referência, neles somam-se 923,88 km², correspondendo a 52,09 % do total. Nos anos seguintes, de 2007 até 2020 nota-se uma alternância, ora os números sobem, ora caem, com leve estabilidade entre 2013 e 2018. Nesses seis anos, o número de cicatrizes, em cada um, é bem inferior aos 1.419 de média e o somatório de área queimada dá um total de 195,58 km² (11,08% do total).

Os Gráficos 2 e 3 a seguir destacam em colunas o quantitativo de cicatrizes e de área queimada anual, respectivamente. Esses gráficos mostram que 2004, 2003, 2006 e 2002 são os quatro anos com maiores números, respectivamente. Já os quatro anos menos atingidos foram 2011, 2010, 2014 e 2018, nessa sequência.

Gráfico 2 – Estatística de número de cicatrizes de fogo na AIS 19 de 2002 a 2020.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 3 – Estatística de área queimada na AIS 19 de 2002 a 2020.



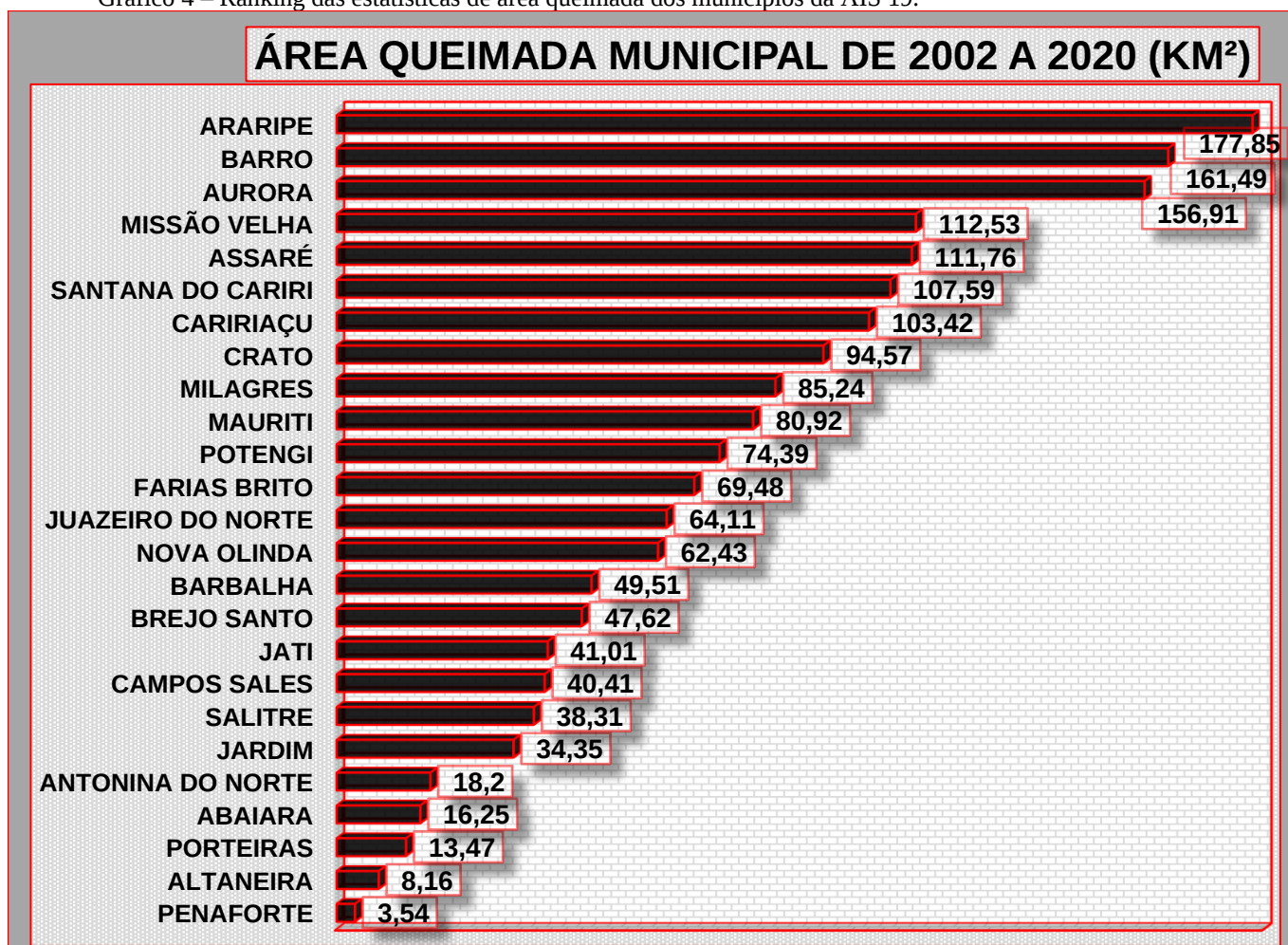
Fonte: Elaborado pelo autor.

É possível observar que o clima local influencia no período (semestre) em que esses eventos vão acontecer, no estado do Ceará, por exemplo, as chuvas ocorrem, principalmente, nos primeiros meses do ano e por isso os incêndios são menos frequentes. Já o segundo semestre, pelas suas características de ventos mais fortes, altas temperaturas, baixa umidade relativa do ar e ressecamento da vegetação é o período mais crítico para a AIS 19, já que esses fatores mencionados contribuem diretamente para a propagação dos incêndios. Segundo Pessoa (2017) quanto maior o período sem precipitação, maior o perigo de incêndio, de agosto até janeiro toda a extensão do território do Ceará apresenta níveis críticos para este problema.

3.4 Caracterização da área queimada municipal e seu fator de proporção

Os 25 (vinte e cinco) municípios tiveram alguma parte do seu território atingida por queimadas/incêndios florestais nesses 19 anos analisados. No ranking apresentado no Gráfico 4 os destaques são Araripe, Barro, Aurora, Missão Velha e Assaré com maior dimensão de área queimada e Penaforte, Altaneira, Porteiras, Abaiara e Antonina do Norte com menor dimensão.

Gráfico 4 – Ranking das estatísticas de área queimada dos municípios da AIS 19.

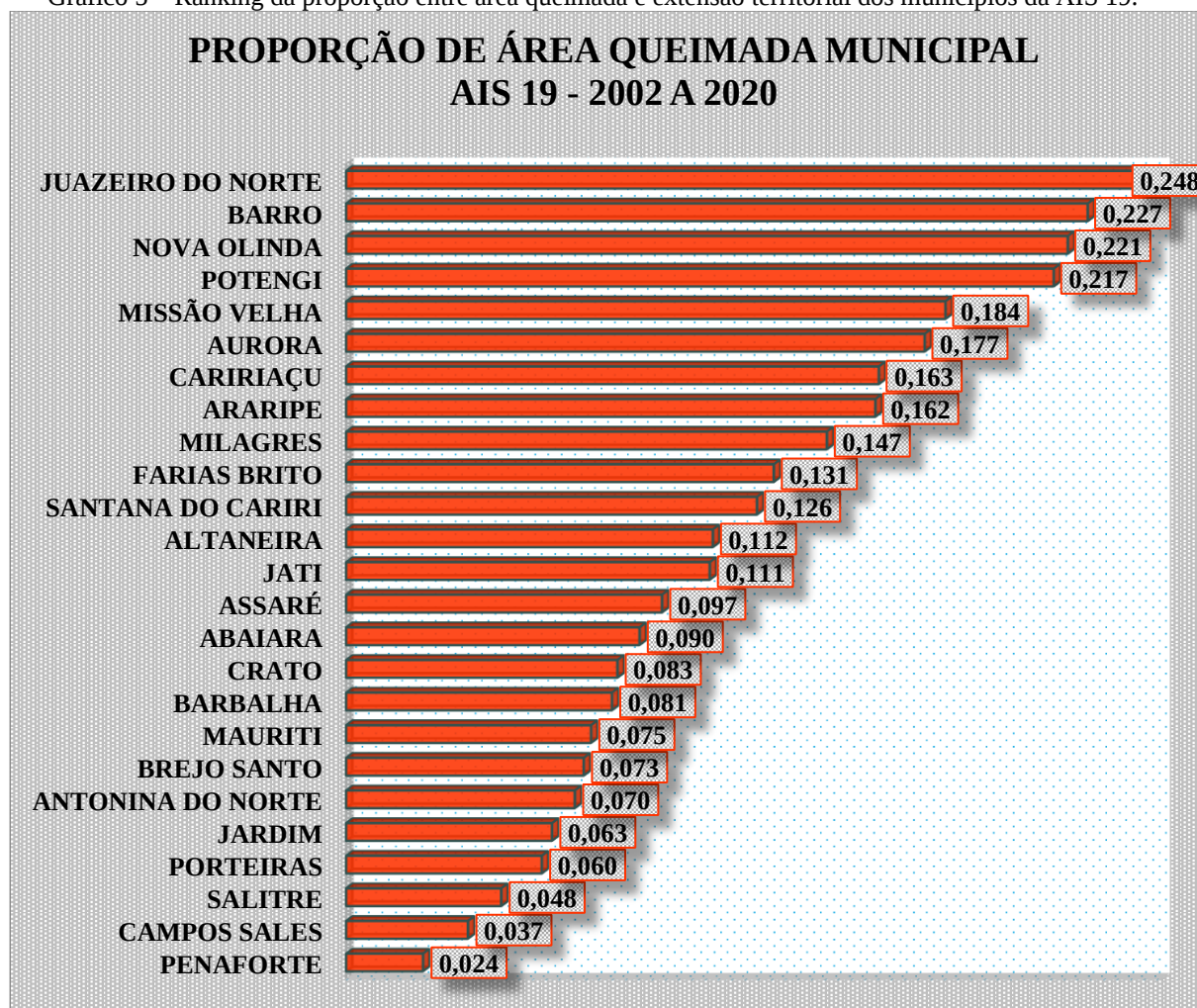


Fonte: Elaborado pelo autor.

Araripe que vem em primeiro e Penaforte que vem em vigésimo quinto são os extremos. Araripe teve um total de 177,85 km² de área queimada, com média de 9,36 km² de área queimada anualmente, já Penaforte teve média de 0,19 km² queimados anualmente de um total de 3,54 km². Em todos os anos estudados Araripe registrou cicatrizes de fogo, Penaforte não apresentou cicatrizes nos anos de 2007, 2010, 2014, 2018 e 2019.

Ficou notório que a dimensão territorial do município tem influência no número de queimadas/incêndios florestais, por isso foi realizada uma classificação inédita, o fator de proporção. O resultado da proporção é obtido através da razão entre área queimada e área territorial (Gráfico 5). Neste Gráfico observa-se que Araripe, mesmo sendo a cidade com maior área queimada, fica em 8º lugar.

Gráfico 5 – Ranking da proporção entre área queimada e extensão territorial dos municípios da AIS 19.



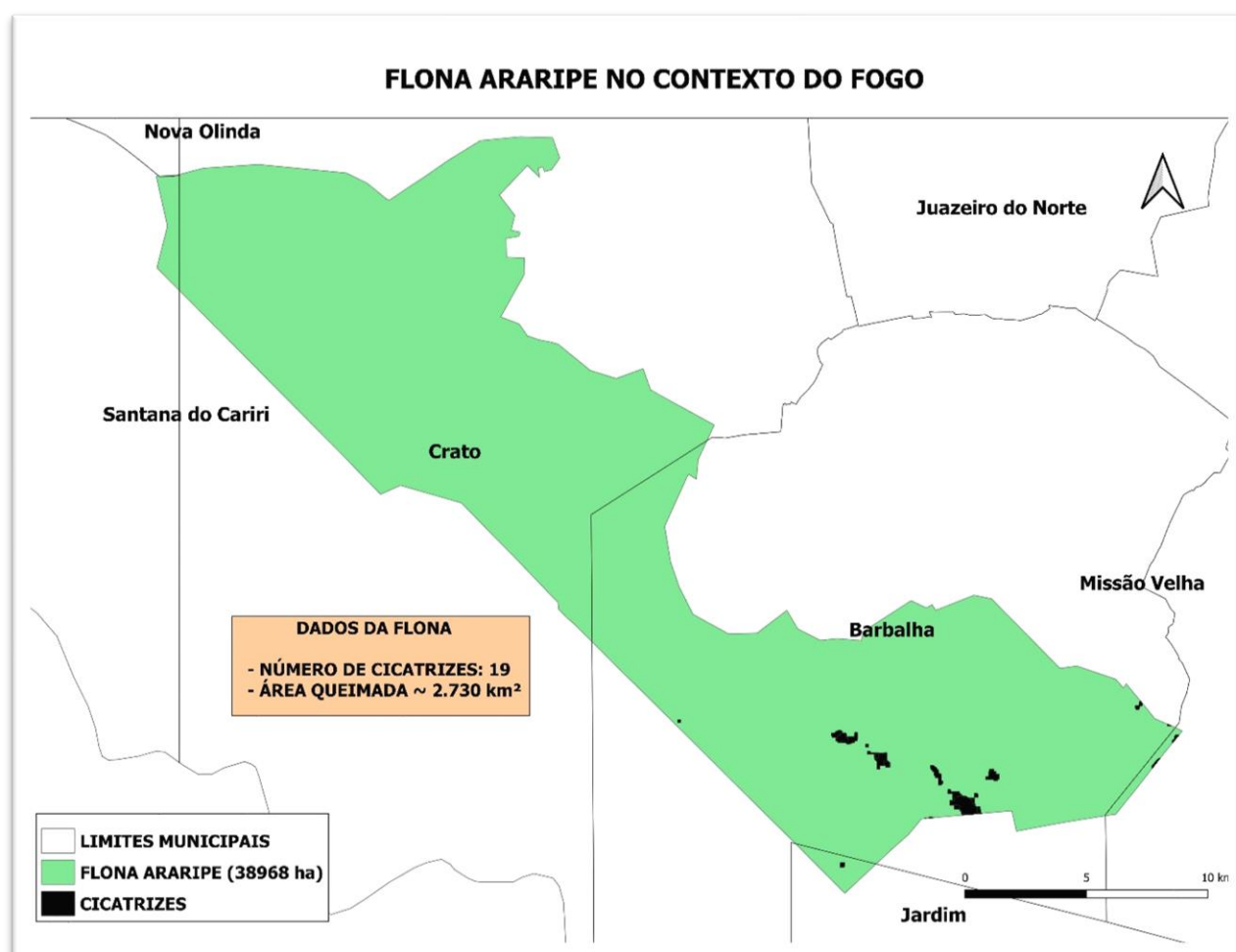
Fonte: Elaborado pelo autor.

Juazeiro do Norte com 64,11 km² de área queimada, ocupando a 13ª posição no ranking passa para 1º quando se considera o fator proporção. Caso parecido é o de Nova Olinda (62,43 km² queimado), de 14º passou para 3º. Numa análise geral, é evidente que para avaliar o impacto gerado em determinada região o mais justo é levar em consideração o cálculo da proporção. O ano de 2004 foi o que teve maior número de cicatrizes e maior área queimada, dele trago um exemplo para comprovar que o território influencia no número de registros, ou seja, o somatório de área queimada de Barro (42,48 km²) e Aurora (29,54 km²) é 72 km²,

justamente a dimensão territorial de Altaneira, que teve 8,16 km² queimado (penúltima posição em números absolutos) mas que ocupa a décima segunda colocação no ranking da proporção.

3.5 Floresta Nacional do Araripe no contexto do fogo entre 2002 e 2020

A Floresta Nacional do Araripe, presente na AIS 19 é uma unidade de conservação (UC) federal de 38.968 hectares distribuídos nos municípios de Crato e Barbalha, principalmente, mas também em Santana do Cariri, Nova Olinda, Jardim e Missão Velha e conta com constante monitoramento, atualmente é administrado pelo ICMBio. Porém, em 2002, 2003, 2004, 2005, 2007, 2015, 2019 e 2020 foram anos que apresentaram incêndios na UC (Imagem 1).



Figuras 5 – Cicatrizes de fogo na Floresta Nacional do Araripe. Fonte: Elaborado pelo autor.

No período analisado foram registradas 26.953 cicatrizes de queimadas/incêndios florestais em toda Área Integrada de Segurança 19, totalizando 1.773,52 quilômetros quadrados

de área queimada. A FLONA foi atingida com 19 cicatrizes e um total de aproximadamente 2,730 km² (2730000 m²), que equivale a 0,7 % de sua área total (Figura 5).



Imagem 1 – Incêndio Florestal na Floresta Nacional do Araripe em 2019. Fonte: Elaborado pelo autor.

4 CONCLUSÃO

Este artigo apresenta a caracterização e análise espaço-temporal da área queimada no Cariri cearense no decorrer do período de 2002 a 2020 através de focos de calor e cicatrizes de incêndios florestais e/ou queimadas registradas em imagens de satélite. A metodologia utilizada para a coleta de dados, para o processamento e elaboração dos arquivos finais através do uso das plataformas computacionais, que são ferramentas que agilizam o processamento dos dados e estão disponíveis gratuitamente se mostrou eficiente.

A comparação entre a incidência dos focos de calor e os índices de precipitação mostrou haver uma moderada correlação negativa entre eles quando a análise se dá em um período curto, ou seja, com dados mensais, pois devido a existência da precipitação não haverá (ou será bem reduzido) o número de focos de calor. Com isso, pelos baixos índices pluviométricos, o segundo semestre é o período crítico para os incêndios florestais/queimadas, sendo o mês de novembro o destaque, com 2.692 FC e média de 6,43 mm de precipitação durante os anos analisados.

Outra avaliação feita no estudo e de forma inédita foi a classificação dos municípios mais atingidos por focos de calor pelo fator de proporção considerando o tamanho do território,

sendo Missão Velha, Santana do Cariri, Abaiara, Mauriti e Araripe os que se destacaram, já com menor proporção de focos foram Penaforte, Campos Sales, Antonina do Norte, Assaré e Barro.

Uma variável importante, para além das extensões territoriais e dimensões de área queimada, seria o tipo de cobertura vegetal que está sendo impactada pelo fogo. Essa comparação ajudará se as políticas públicas priorizarem a redução das áreas queimadas proporcionalmente à extensão dos municípios. O debate justo permearia, portanto, outras variáveis para além das áreas (municipais e queimadas). Com relação as cicatrizes de fogo a AIS 19 registrou 26.953 entre 2002 e 2020, totalizando 1.773,52 km² de área queimada, que equivale a 21,89% do total calculado no estado do Ceará. A média do número de cicatrizes é de 1.419 por ano com 93,35 km² de área queimada anualmente, também na média.

Chama a atenção o ano de 2004 por apresentar 3.195 cicatrizes e 222,51 km² de área queimada, sendo, portanto, o de maior registro. Inclusive, nos cinco primeiros anos estudados (2002 a 2006) foram 13.849 cicatrizes detectadas, correspondendo a 51,38% dos 26.953 registrados nos 19 anos estudados, e um total de área queimada de 923,88 km², correspondendo a 52,09 % do total.

Com relação aos municípios da AIS 19, os 25 (vinte e cinco) tiveram alguma parte do seu território atingida por queimadas/incêndios florestais nesses 19 anos analisados. Os destaques são Araripe, Barro, Aurora, Missão Velha e Assaré com maior dimensão de área queimada e Penaforte, Altaneira, Porteiras, Abaiara e Antonina do Norte com menor dimensão.

A Floresta Nacional do Araripe está inserida na Área Integrada de Segurança 19, é uma unidade de conservação federal com uma área de 38.968 hectares. No período analisado a floresta foi atingida com 19 cicatrizes e um total de aproximadamente 2,730 km² (2730000 m²) de área queimada, que equivale a 0,7 % de sua área total. Os registros foram detectados para os anos de 2002, 2003, 2004, 2005, 2007, 2015, 2019 e 2020.

Com esses dados será possível, em futuros estudos, avaliar e definir qual tipo de cobertura vegetal predomina nos municípios e qual a proporção da queima, fatores que podem embasar a elaboração dos planos de contingência e demais ações de prevenção e combate aos incêndios municipais. Além disso, outras subclasses apresentadas nos resultados podem parecer com menos importância, porém, carecem de uma avaliação melhor por parte de órgãos competentes, como as áreas urbanas e rios e lagos, até porque envolvem outras questões externas a esta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA, E.F; FERNANDES, R. O. **Mapeamento e análise dos níveis de severidade de áreas de queimadas no semiárido brasileiro com o uso de técnicas de geoprocessamento.** Revista de Geografia (Recife) V. 37, No. 3, 2020.

ALVES, J.M.B.; SILVA, E.M.; ARAUJO, F.C. & SILVA, L.L. **Um Estudo de Focos de Calor no Bioma Caatinga e suas Relações com Variáveis Meteorológicas.** Revista Brasileira de Meteorologia, v. 36, n. 3 (Suplemento), 513-527, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-77863630015>.

ANDERSON, L. O; ARAGÃO, L. E. O. C; LIMA, A. & SHIMABUKURO, Y. E. **Deteção de cicatrizes de áreas queimadas baseada no modelo linear de mistura espectral e imagens índice de vegetação utilizando dados multitemporais do sensor MODIS/TERRA no estado do Mato Grosso, Amazônia brasileira.** Revista Acta Amazônica. VOL. 35(4) 2005: 445 – 456, 2005.

BATISTA, A. C.; TETTO, A. F.; DEPPE, F.; GRODZKI, L. & GRASSI, J. T. **Análise dos impactos das mudanças climáticas sobre o risco de incêndios florestais no estado do Paraná.** Sci. For., Piracicaba, v. 42, n. 104, p. 491-501, dez. 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Ceará: **Inventário Florestal Nacional: principais resultados** / Ministério do Meio Ambiente. Serviço Florestal Brasileiro. -- Brasília: MMA, 2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Manual para Formação de Brigadista de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais. Brasília, 2010.

DE OLIVEIRA, U.C., LIMA, E.C., DE FIGUEIREDO, T.W.X, de CLAUDINO-SALES, V., FEITOSA, C.E.L. **Environmental risk in Northeast Brazil: estimation of burning areas in Coreau River Basin, Ceará, Brazil.** Environ Monit Assess. 2021 Jun 25;193(7):444. doi: 10.1007/s10661-021-09190-z. Erratum in: Environ Monit Assess. 2021 Aug 6;193(9):555. PMID: 34173073.

DIAS, Genebaldo Freire. **Queimadas e incêndios florestais: cenários e desafios: subsídios para a educação ambiental.** – Brasília: MMA, Ibama, 2008. 32 p. : il. ; 21 cm.

FERNANDES, L. C; NERO, M. A; TEMBRA, P & ELMIRO, M. A. T. **Uso de técnicas de sensoriamento remoto utilizando imagens Modis (MCD45A1) para identificação e avaliação de áreas queimadas na Região Metropolitana de Belo Horizonte - MG, Brasil,** 2019. Revista Sustainability in Debate - Brasília, v. 11, n.2, p. 158-172, ago/2020.

FLANNIGAN, M.; HARRINGTON, J.B. A Study of the Relation of Meteorological Variables to Monthly Provincial Area Burned by Wildfire in Canada (1953-80). **Journal of Applied Meteorology**, v. 27, n. 4, p. 441-452, 1988.

FRANÇA, D.A.; FERREIRA, N.J. Considerações sobre o uso de satélites na detecção e avaliação de queimadas. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 3017-3023.

FRANCISCO, Wagner de Cerqueira e. "**Aspectos naturais do Ceará** "; *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/brasil/aspectos-naturais-ceara.htm>. Acesso em 29 de outubro de 2020.

FUNCEME. **Fundação Cearense de Meteorologia**. Disponível em: http://www.funceme.br/?page_id=2383 Acessado em 24 de outubro de 2020.

FUNCEME. **Fundação Cearense de Meteorologia**. Disponível em: http://www.funceme.br/?page_id=2383 Acessada em 25 de maio de 2021.

GOMES, D.T.; SAKAMOTO, M.S.; SILVA, A.E.F. da. Avaliação da Distribuição de Focos de Calor às Margens de Rodovias Federais no Estado do Ceará/Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 3, 467 475, 2020.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <https://downloads.ibge.gov.br/> Acessado em 15 de maio de 2021.

INPE. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. Disponível em: <http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal/informacoes/apresentacao> Acessado em 20 de maio de 2020.

IPECE. **Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará**. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/12.htm> Acessado em 19 de maio de 2021.

IPECE (CEARÁ). **Ceará em mapas**. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/11.htm>. Acesso em 28 de outubro de 2020.

LAZZARINI, G.M.J. FERREIRA, L.C.C. FELICÍSSIMO, M.F.G. LIRA, R.G. JUSTINO, A.G. GOMES, C.S. RIBEIRO, J.C.N. MAGALHÃES, G.R.D. **Análise da distribuição de focos de calor no Tocantins entre 2002 e 2011**. 2012. Disponível em: <http://revista.uft.edu.br/index.php/interface/article/viewFile/362/258> Acessado em 31 de maio de 2021.

LEAL, I. R.; SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M. & LACHER Jr., T. E. Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil. *Revista Megadiversidade*, 1:139-146, 2005.

LEMES, G. P; MATRICARDI, E. A. T; COSTA, O. B; & LEAL, F. A. **Avaliação espaço-temporal dos incêndios florestais no Parque Nacional Serra da Canastra no período de 1991 a 2011**. *Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais* V10 Suplemento 1, Ago.2014.

MACHADO, N.G.; SILVA, F.C.P.; BIUDES, M.S. Efeito das condições meteorológicas sobre o risco de incêndio e o número de queimadas urbanas e focos de calor em Cuiabá-MT, Brasil. *Ciência e Natura*, Santa Maria, v. 36 n. 3 set-dez. 2014, p. 459 – 469. **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas** – UFSM ISSN impressa: 0100-8307 ISSN on-line: 2179-460X.

MAPBIOMAS. https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/Fact_Sheet.pdf. 2021.

MAPBIOMAS. O Projeto. [s. l.], 2019. Disponível em: <https://mapbiomas.org/oprojeto>.

PESSÔA, M.L. **Análise de Perigo de Incêndios Florestais no Estado do Ceará.** Monografia. Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, 48 pp. 2017.

SENA, Liana Mara Mendes de. **Conheça e Conserve a Caatinga – O Bioma Caatinga.** Vol. 1. Fortaleza: Associação Caatinga, 2011. 54p.

SILVA, E.M.; CARVALHO, H.C.M.; SILVA, L.L.; & BARBOSA, W.A. **Registros de Queimadas em Vegetação (Incêndios) e a Climatologia da Chuvas no Estado do Ceará: Estudo de Caso no Período de 2015 a 2019.** Revista Brasileira de Meteorologia, v. 36, n. 3 (Suplemento), 571-577, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-77863630040>.

SOARES, R. V. & SANTOS, J. F. **Perfil dos Incêndios Florestais no Brasil de 1994 a 1997.** 2002. Revista Floresta, 32 (2) 219-232.

SOARES, T.B.O.; RESENDE, F.C.; MATAVELI, G.A.V.; PEREIRA, G.; GONTIJO, B.M. Análise da influência da precipitação na dinâmica de focos de incêndio no Parque Nacional das Sempre Vivas-MG. **Revista Estudos Geográficos – XIII Seminário da Pós-Graduação em Geografia**, Rio Claro, 15(0): 123-141, jan./jun. 2017 (ISSN 1678—698X)

SOUZA, Paulo Fernando Maier. **Padrões de ocorrência de fogo na APA Chapada do Araripe e atividade agropecuária.** 2016.

SSPDS. **Secretaria de Segurança Pública e Defesa Social.** Disponível em: <https://www.sspds.ce.gov.br/> Acessado em 19 de maio de 2021.

TORRES, T.R.C. **Deteção e Análise de Áreas Queimadas No Ceará Com Uso De Imagens De Satélite.** Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Climatologia e Aplicações nos países da CPLP e África no Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual do Ceará, 82 pp. 2022.

TRIGUEIRO, E. R. C.; OLIVEIRA, V. P. V. & BEZERRA, C. L. F. **Indicadores biofísicos e a dinâmica da degradação/desertificação no bioma Caatinga: estudo de caso no município de Tauá, Ceará.** Revista Eletrônica do Prodepa, 3:62-82, 2009.