

Estado da publicação: O preprint foi publicado em um periódico como um artigo
DOI do artigo publicado: <https://doi.org/10.61389/geofronter.v10.8919>

PERFIL HISTÓRICO DE ÁREAS QUEIMADAS COM BASE EM PRODUTOS MODIS EM UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DO CEARÁ – BRASIL

Mauricio Alejandro Perea Ardila

<https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.9392>

Submetido em: 2024-07-13

Postado em: 2024-08-19 (versão 2)
(AAAA-MM-DD)

Justificativa da versão: Ajustes basados en las recomendaciones de los jurados previo a la publicación

PERFIL HISTÓRICO DE ÁREAS QUEIMADAS COM BASE EM PRODUTOS MODIS EM UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DO CEARÁ - BRASIL

HISTORICAL PROFILE OF THE BURNED AREAS BASED ON MODIS PRODUCTS IN
THE CONSERVATION UNITS OF CEARÁ - BRAZIL

PERFIL HISTÓRICO DE LAS ÁREAS QUEMADAS A PARTIR DE PRODUCTOS MODIS EN LAS UNIDADES DE CONSERVACIÓN DE CEARÁ – BRASIL

Mauricio Alejandro Perea-Ardila¹

¹Doutorando em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará (UFC). Fortaleza-CE. mauricio.perea@alu.ufc.br. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8117892224218287>. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4561-0251>

Resumo: Os incêndios florestais representam uma ameaça às Unidades de Conservação (UCs) no Brasil, afetando a biodiversidade e os ecossistemas. O estudo do perfil do fogo é fundamental para o desenvolvimento de estratégias eficazes de prevenção e combate. O objetivo deste estudo é compreender o perfil histórico das áreas queimadas nas UCs do Ceará, utilizando dados MODIS de 2001 a 2022. Foram utilizadas ferramentas de geoprocessamento para gerar estatísticas, incluindo o número de áreas queimadas, a área total afetada, a distribuição anual e mensal, o tamanho e a frequência dos incêndios. Os principais resultados indicaram 1006 áreas queimadas que cobrem 28.854,39 ha, com as UCs federais APA Chapada do Araripe e APA Serra da Ibiapaba liderando com 87,49% do total afetado. A APA estadual Serra de Baturité destacou-se com 634,83 ha queimadas. A APA Chapada do Araripe registrou queimadas todos os anos, sendo 2005 o mais impactante. Na segunda metade do ano, as maiores superfícies foram queimadas, especialmente em outubro, novembro e dezembro. A maioria dos incêndios (80,62%) foram de classe III (4,1 - 40,0 ha), e a APA Serra da Ibiapaba teve incêndios recorrentes na mesma área até 5 vezes, totalizando 11.505,76 ha. Com os resultados, pretende-se contribuir para o conhecimento dos incêndios florestais nas UCs do Ceará, nordeste do Brasil.

Palavras-chave: Geoprocessamento; Incêndios florestais, Nordeste, Sensoriamento remoto.

Abstract: Forest fires represent a threat to Conservation Units (CUs) in Brazil, affecting biodiversity and ecosystems. Studying the fire profile is crucial to develop effective prevention and combat strategies. The aims of this study is to understand the historical profile of burned areas in the CUs of Ceará, using MODIS data from 2001 to 2022. Geoprocessing tools were used to generate statistics, including the number of burned areas, the total affected area, the annual and monthly distribution, the size, and the frequency of fires. The main results indicated 1006 burned areas covering 28854.39 hectares, with the federal APA Chapada of Araripe and APA Serra of Ibiapaba leading with 87.49% of the total affected area. The state APA Serra de Baturité stood out with 634.83 hectares burned. The APA Chapada of Araripe recorded yearly burns, with 2005 being the most impactful. In the second half of the year, the largest areas were burned, especially in October, November, and December. Most fires (80.62%) were Class III (4.1 - 40.0 ha), and the APA Serra of Ibiapaba had recurring fires in the same area up to 5 times,

totaling 11505.76 hectares. The results aim to contribute to the understanding of forest fires in the CUs of Ceará, northeastern Brazil.

Keywords: Geoprocessing; Forest fires, Northeastern, Remote sensing.

Resumen: Los incendios forestales representan una amenaza para las Unidades de Conservación (UCs) en Brasil, afectando la biodiversidad y los ecosistemas, estudiar el perfil de incendios es crucial para desarrollar estrategias efectivas de prevención y combate. El objetivo de este estudio es comprender el perfil histórico de las áreas quemadas en las UCs de Ceará, utilizando datos MODIS de 2001 a 2022. Se utilizaron herramientas de geoprocésamiento para generar estadísticas, incluyendo el número de áreas quemadas, el área total afectada, la distribución anual y mensual, el tamaño y la frecuencia de los incendios. Los principales resultados indicaron 1006 áreas quemadas que cubren 28854,39 ha, con las UCs federales APA Chapada de Araripe y APA Serra de Ibiapaba a la cabeza con el 87,49% del total afectado. La APA estatal Serra de Baturité destacó con 634,83 ha quemadas. El APA Chapada de Araripe registró quemas todos los años, siendo 2005 el más impactante. En la segunda mitad del año se quemaron las mayores superficies, especialmente en octubre, noviembre y diciembre. La mayoría de los incendios (80,62%) fueron de clase III (4,1 - 40,0 ha), y el APA Serra de Ibiapaba tuvo incendios recurrentes en la misma área hasta 5 veces, totalizando 11505,76 ha. Con los resultados se pretende contribuir al conocimiento de los incendios forestales en las UCs de Ceará, nordeste de Brasil.

Palabras clave: Geoprocésamiento; Incendios forestales, Nordeste, Teledetección.

Introdução

Os incêndios representam um fator de alteração que afeta os ecossistemas, gerando um impacto significativo e substancial nos principais processos ecossistêmicos (ROCES-DÍAZ et al., 2022). Embora sejam um componente essencial para o funcionamento natural de diversos ecossistemas, sua ocorrência tem experimentado um aumento notável nas últimas décadas em várias regiões do mundo (TORRES et al., 2017). Todos os anos, no Brasil, durante a estação seca (entre agosto e novembro), ocorre um grande número de incêndios florestais em ecossistemas naturais (PINTO et al., 2021). Isso traz consigo perturbações e grandes perdas na biodiversidade dos principais biomas (MATAVELI et al., 2018; PIVELLO et al., 2021). Entre 2012 e 2017, aproximadamente 7% de todos os incêndios ativos no mundo ocorreram no Brasil (SCOTT, 2023). Em 2020, mais de 312.140 km² queimaram no país, sendo a Amazônia e o Cerrado os ecossistemas com maior afetação (PIVELLO et al., 2021).

Os incêndios florestais são uma ameaça constante às Unidades de Conservação (UCs) brasileiras (COSTA et al., 2023). Embora as UCs tenham o objetivo de proteger o patrimônio natural, a ocorrência de incêndios nessas áreas constitui uma das principais fontes de perturbação e danos à biodiversidade, ameaçando os recursos naturais desses ambientes (MORELLI et al., 2009). Investigações como a de Santos et al., (2006) demonstraram a

vulnerabilidade das UCs ao fogo, constatando que os estados de Minas Gerais, Espírito Santo e São Paulo foram os estados com maior ocorrência de queimadas entre 1998 e 2002, afetando 85735,02 ha dentro das UCs. Da mesma forma, Torres et al., (2017) determinaram que as UCs do estado do Ceará e Tocantins foram as mais afetadas pelas queimadas entre 2008 e 2012, com área queimada de 471254,43 ha. Outro exemplo é o de Perea-Ardila; Muñoz; Sopchaki (2023) que estudaram a severidade do fogo após um dos maiores incêndios em uma UC urbana em Fortaleza (Parque do Cocó), encontrando uma severidade média-alta em termos de danos à cobertura vegetal e delimitação dos polígonos queimados. Esse pano de fundo permite ter uma ideia do aumento das áreas queimadas e do impacto nas UCs dos diferentes estados brasileiros.

Os produtos de área queimada MCD64A1 são um conjunto global mensal de pixels de 500 metros derivado do Terra e do Aqua que fornece dados sobre áreas queimadas usando imagens MODIS e observações de fogo ativo MODIS com resolução de 1 km (GIGLIO, et al., 2021). O sensoriamento remoto de incêndios, baseado em produtos MODIS, tem permitido a coleta de dados e o mapeamento das áreas queimadas após incêndios, facilitando a medição de parâmetros e da extensão da área afetada em diferentes níveis (SANCHEZ et al., 2022). Isso facilita a identificação e quantificação de regiões afetadas pelo fogo, sendo uma ferramenta para a formulação de estratégias de gestão ambiental (BENFICA et al., 2020).

Diferentes pesquisas têm utilizado produtos MODIS para o monitoramento de incêndios florestais, como é o caso do estudo desenvolvido por Da Silva et al., (2023) que estudaram a variabilidade espaço-temporal da ocorrência e recorrência de incêndios no bioma Caatinga no período de 2001 a 2018 utilizando o produto MCD64A1, entre os resultados mais relevantes eles constataram que o estado do Piauí apresentou as maiores ocorrências de queimadas. Os meses com maior área queimada foram agosto, setembro e outubro. Por outro lado, Benfica et al., (2020) validaram o produto MCD64A1 no Parque Nacional da Chapada Diamantina, no estado da Bahia, demonstrando o potencial do produto área queimada para auxiliar estudos de compreensão da dinâmica do fogo em UCs. Da mesma forma, Hoffmann et al., (2020) utilizaram o produto MCD64A1 no período de 2001 a 2018 para determinar a dinâmica de queimadas em UCs do Cerrado brasileiro e zonas de amortecimento, demonstrando a variação das áreas queimadas em três UCs do estado de Goiás. Esse pano de fundo permite conhecer melhor as abordagens utilizadas para o estudo das áreas queimadas e o uso dos produtos MODIS para o monitoramento dos ecossistemas brasileiros.

Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi compreender o perfil histórico das áreas queimadas com base nos produtos MODIS (MCD64A1) nas UCs do Ceará, Brasil, no período de 2001 a 2022. Com os resultados deste estudo, espera-se obter informações relevantes sobre

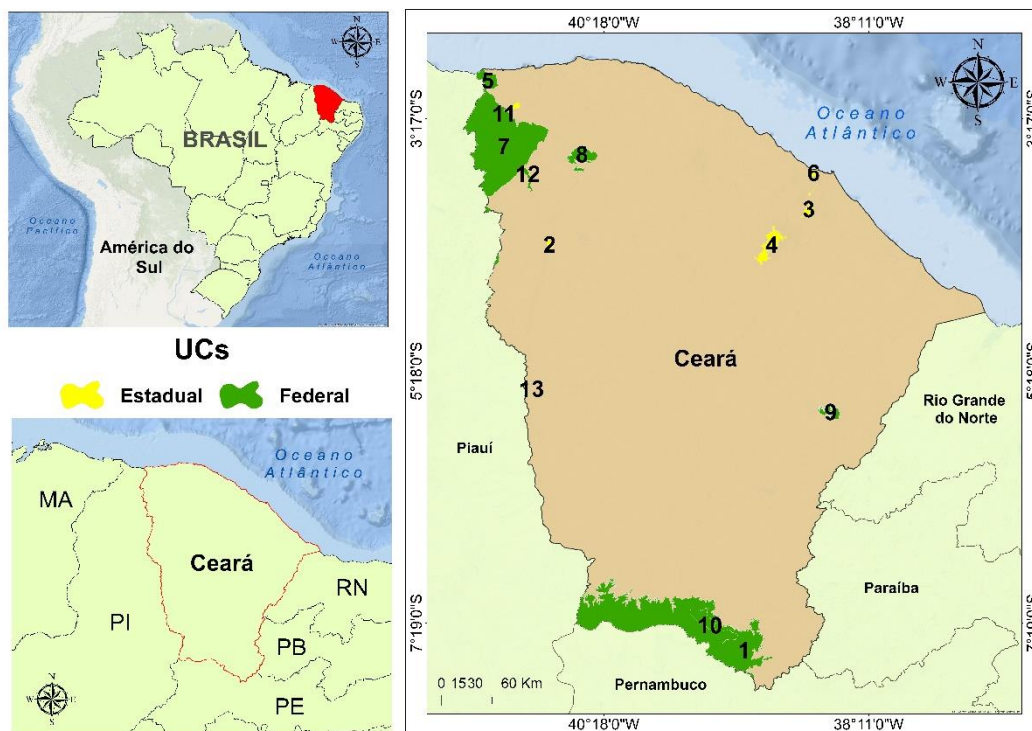
o perfil das áreas queimadas que possam ser utilizadas para o manejo integrado do fogo em UCs e como suporte para diferentes sistemas nacionais e regionais de registro e combate a incêndios florestais em Brasil.

Material e métodos

Área de Estudo

As UCs em estudo estão localizadas no Nordeste brasileiro, no estado do Ceará, situadas entre as coordenadas geográficas 2°53'19" e 7°45'8" S e entre 41°25'25" e 38°24'41" W (Figura 1). Essas áreas são caracterizadas por um clima semiárido, com temperaturas variando entre 22 e 27°C, e precipitação pluviométrica abaixo de 800 mm por ano (SOARES, 2015). A paisagem é composta por ecossistemas como a Caatinga, que possui vegetação arbustiva decídua. A Serra úmida, composta por ilhas úmidas e florestas perenes (BÉTARD et al., 2007). O Cerrado apresenta categorias de vegetação onde são comuns espécies arbóreas que constituem um dossel contínuo e áreas costeiras com a presença de manguezais.

Figura 1 - Localização da UCs da área de estudo



Fonte: Elaborado pelo autor. A partir de áreas territoriais (IBGE, 2022) e Unidades de conservação (ANA, 2019)

No estado do Ceará existem 14 UCs (Tabela 1). cinco pertencentes ao tipo Estadual (5,50%) e nove pertencentes ao tipo Federal (94,50%). Essas UCs estão dentro do Sistema Estadual de Unidades de Conservação (SEUC), responsável pela gestão e tomada de decisões.

Tabela 1 – Ucs estaduais e federais do estado do Ceará

Nº	Nome UCs	Tipo	Área	(%)
1	APA Chapada do Araripe		3470.09	0.36
2	APA da Bica do Ipú		10004.98	1.03
3	APA da Serra da Aratanha	Estadual	6448.22	0.66
4	APA da Serra de Baturité		30214.13	3.10
5	APA Delta do Parnaíba		3444.69	0.35
6	APA do Estuário do Rio Ceará - Rio Maranguapinho		457185.60	46.91
7	APA Serra da Ibiapaba		38889.57	3.99
8	APA Serra da Meruoca		12570.56	1.29
9	EE do Castanhão		29342.31	3.01
10	FN do Araripe-Apodi	Federal	356125.71	36.54
11	PE das Carnaúbas		48.62	0.005
12	PN de Ubajara		14.99	0.002
13	RP do Patrimônio Natural Olho D'água do Tronco		6271.36	0.64
14	RP do Patrimônio Natural Vó Belar		20658.47	2.12
Total			974689.31	100

Fonte: Elaborado pelo autor. Onde APA: Área de Proteção Ambiental, EE: Estação Ecológica, FN: Floresta Nacional, PE: Parque Estadual, PN: Parque Nacional e RP: Reserva Particular.

Metodologia

São 14 UCs que juntas possuem uma área de 974689,31 ha. Destaca-se a APA Cahapada do Araripe (1), ocupando a maior área (46,91%) das UCs estudadas.

Os produtos das áreas queimadas (cicatrizes MODIS MCD64A1) foram extraídos conforme Giglio et al. (2021) y por meio da plataforma do Google Earth Engine (GEE) para o período de 2021 a 2022. Os dados foram baixado em formato raster, esses dados foram convertidos para o formato vetorial usando ferramentas de geoprocessamento (ArcGIS 10,8), também os limites das UCs foram acessados por meio dos dados geoespaciais do catálogo de metadados da Agência Nacional de Águas (ANA) para o ano de 2019 (ANA, 2019).

Além disso, o produto MCD64A1 foi cruzado (intersect) com as UCs, com o objetivo de registrar o número de queimadas em cada UCs, a área total das queimadas e seu respectivo percentual. Da mesma forma, cada UC foi classificada de acordo com seu grupo (estadual ou federal) e foi realizado um mapeamento para determinar a localização. A área de afetação foi determinada com base no sistema de referência SIRGAS 2000 UTM zona 24 sul.

Por outro lado, a distribuição do tamanho das áreas queimadas segundo o ano (2001-2020) foi registrada em planilha para determinar a quantidade de área afetada e a continuidade dos eventos anualmente. Da mesma forma, por meio dos resumos, foi identificada a quantidade de área afetada por mês, isso para identificar os meses mais críticos e a continuidade dos eventos mensalmente.

Os tamanhos das áreas queimadas foram classificados em 5 classes, classe I, < 0,1 ha, classe II, 0,1 a 4,0 ha, classe III, 4,1 a 40,0 ha, classe IV, 40,1 a 200,0 ha, e classe V, >200,0 ha (RAMSEY e HIGGINS, 1985; SANTOS et al., 2006) com o objetivo de identificar os tamanhos das cicatrizes nas UCs. Os polígonos foram unidos (union) com as áreas queimadas e foi definida as áreas que queimaram uma ou mais vezes no período analisado, isso foi representado por meio de mapeamento.

Resultados e discussão

Para o período analisado, foram registradas 1006 cicatrizes, com área total de 28854,39 ha (13888,20±11,69) e superfície cicatricial média de 2061,03 ha (Tabela 2). A APA Chapada do Araripe e a APA Serra da Ibiapaba foram as UCs com maior número de áreas queimadas, acumulando uma área de 25244,91 ha, equivalente a 87,49% da área total queimada nas UCs do estado do Ceará.

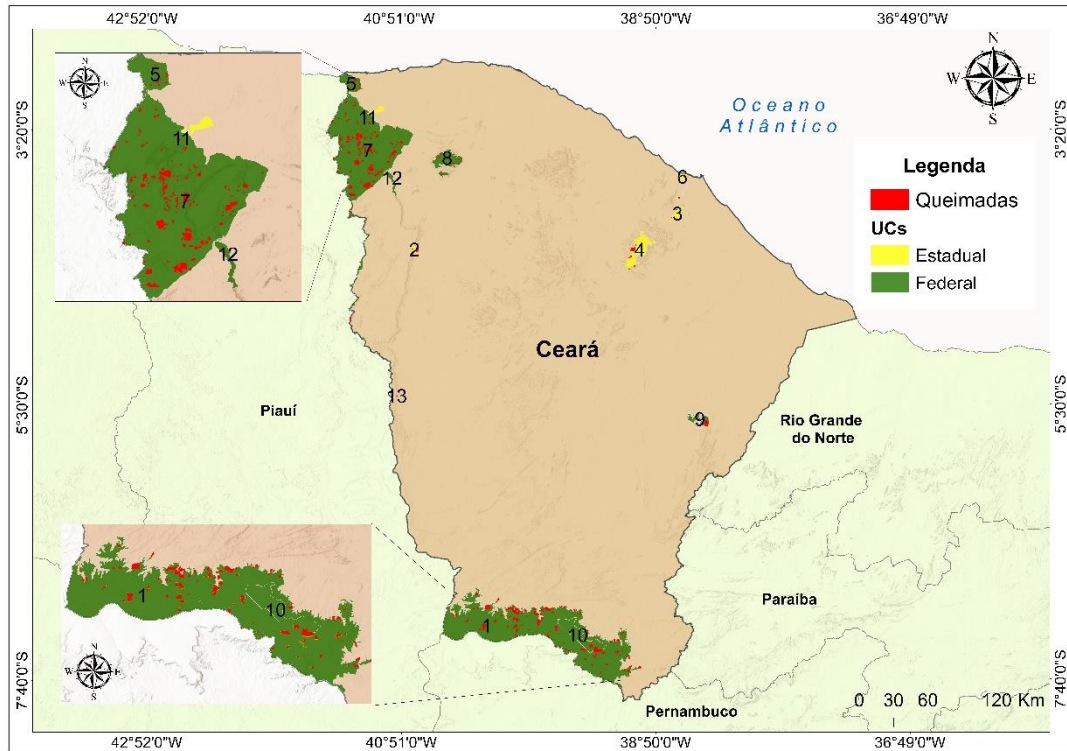
Tabela 2 - Cadastro superficial de áreas queimadas segundo UCs

Nº	Nome	Nº queimadas	Área (ha)	Área (%)
1	APA Chapada do Araripe	535	13888,20	48,13
2	APA da Bica do Ipú	8	208,30	0,72
3	APA da Serra da Aratanha	2	32,37	0,11
4	APA da Serra de Baturité	29	634,83	2,20
5	APA delta do Parnaíba	13	218,25	0,76
6	APA do Estuário do Rio Ceará - Rio Maranguapinho	2	48,13	0,17
7	APA Serra da Ibiapaba	341	11356,71	39,36
8	APA Serra da Meruoca	15	365,45	1,27
9	EE do Castanhão	18	952,96	3,30
10	FN do Araripe-Apodi	36	1044,18	3,62
11	PE das Carnaúbas	3	51,25	0,18
12	PN de Ubajara	1	17,12	0,06
13	RP do Patrimônio Natural Olho D'água do Tronco	2	24,96	0,09
14	RP do Patrimônio Natural Vó Belar	1	11,69	0,04
Total		1006	28854,39	100

Fonte: Elaborado pelo autor.

Por outro lado, o PN de Ubajara e a RP do Patrimônio Natural Vó Belar registraram apenas uma queimada com área de 17,12 e 11,69 ha, respectivamente. As maiores ocorrências ocorreram no noroeste na divisa com o estado do Piauí e no sul com a divisa com o estado de Pernambuco (Figura 2).

Figura 2 - Localização de superfícies queimadas nas UCs do Ceará



Em nível estadual, destacou-se a APA da Serra de Baturité com 634,83 ha de áreas queimadas (Tabela 3). Ao contrário, a APA Da Serra Da Aratanha obteve 32,37 ha de áreas queimadas, sendo a menos afetada nessa categoria. No âmbito federal, destacaram-se a APA Chapada do Araripe e a APA Serra da Ibiapaba, acumulando uma área afetada de 25244,91 ha. Por outro lado, a PN de Ubájará, a RP Do Patrimônio Natural Olho D'água do Tronco e a do Patrimônio Natural Vó Belar apresentaram área afetada inferior a 25 ha durante todo o período de estudo.

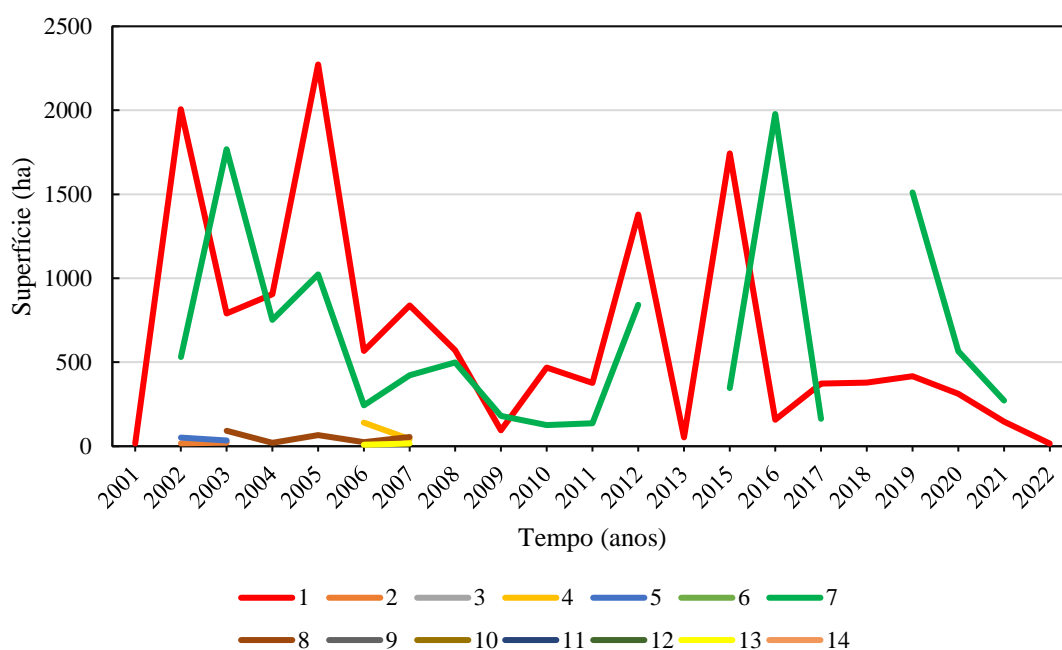
Tabela 3 - Cadastro superficial de áreas queimadas segundo UCs

Nº	Nome	Estadual (ha)	Federal (ha)	Total
1	APA Chapada do Araripe	-	13888,20	13888,20
2	APA da Bica do Ipú	208,30	-	208,30
3	APA da Serra da Aratanha	32,37	-	32,37
4	APA da Serra de Baturité	634,83	-	634,83
5	APA delta do Parnaíba	-	218,25	218,25
6	APA do Estuário do Rio Ceará - Rio Maranguapinho	48,13	-	48,13
7	APA Serra da Ibiapaba	-	11356,71	11356,71
8	APA Serra da Meruoca	-	365,45	365,45
9	EE do Castanhão	-	952,96	952,96
10	FN do Araripe-Apodi	-	1044,18	1044,18
11	PE das Carnaúbas	51,25	-	51,25
12	PN de Ubajara	-	17,12	17,12
13	RP do Patrimônio Natural Olho D'água do Tronco	-	24,96	24,96
14	RP do Patrimônio Natural Vó Belar	-	11,69	11,69
Total		974,88	27879,51	28854,39

Fonte: Elaborado pelo autor.

A APA Chapada do Araripe (1) registrou áreas queimadas todos os anos (exceto 2014), sendo 2002, 2005 e 2015 os anos de maior impacto nas áreas queimadas, acumulando uma área de 6023,49 ha (Figura 3). Da mesma forma, a APA Serra da Ibiapaba (7) apresentou 17 anos com registro de áreas queimadas, destacando-se o ano de 2016 onde foi atingido o recorde de 1977,88 ha.

Figura 3 - Distribuição do tamanho das áreas queimadas por ano



Destacaram-se as UCs 1, que apresentaram 7 meses com zonas queimadas, os meses de janeiro, outubro, novembro e dezembro ultrapassaram 2 mil ha e são os meses com maior

registro de área queimada mensal (Tabela 4). Da mesma forma, as UCs 7 se destacaram com 6 meses de áreas queimadas, os meses de outubro, novembro e dezembro registraram áreas queimadas de mais de 3 mil ha. Para o período de estudo analisado, obteve-se que os meses de outubro, novembro e dezembro concentram 78,70% da área queimada devido a eventos em áreas queimadas.

Tabela 4 - Distribuição do tamanho das áreas queimadas por mês

UCs	Mês												Total
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
1	2478,25	-	57,02	-	-	16,01	-	-	799,05	3986,9	4458,69	2092,28	13888,2
2	-	-	0	-	-	-	-	-	-	170,21	20,97	17,12	208,3
3	-	-	0	-	-	-	-	-	22,59	-	9,78	-	32,37
4	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	139,56	495,27	634,83
5	85,58	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	132,67	218,25
6	-	-	0	-	-	-	-	-	-	48,13	-	-	48,13
7	-	-	0	17,12	-	-	-	931,03	768,26	3035,39	3413,92	3190,99	11356,71
8	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	240,45	125	365,45
9	6,99	-	-	-	-	-	-	780,03	165,94	-	-	-	952,96
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	146,95	109,12	788,11	1044,18
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	51,25	-	51,25
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17,12	17,12
13	16,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,79	24,96
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11,69	-	11,69
Total	2587	-	57,02	17,12	-	16,01	-	1711,06	1755,85	7387,57	8455,44	6867,34	28854,39
%	8,97	-	0,2	0,06	-	0,06	-	5,93	6,09	25,6	29,3	23,8	100

Fonte: Elaborado pelo autor.

Verificou-se que 80,62% das queimadas correspondem a queimadas de classe III, onde o tamanho médio dessa área foi de 20,10 ha (Tabela 5). Essa classe acumulou uma área de 16297,31 ha (56,48%). Por outro lado, registrou-se que apenas 0,40% das áreas queimadas corresponderam a incêndios maiores que 200 ha pertencentes a grandes incêndios.

Tabela 5 - Distribuição das queimadas por classe de tamanho

Classe	Queimadas			Área	
	n°	%	ha	ha média	%
I (0 - 0,09 ha)	-	-	-	-	-
II (0,1 - 4,0 ha)	43	4,27	60,77	1,41 (3.95±0.38)	0,21
III (4,1 - 40,0 ha)	811	80,62	16297,97	20,10 (38.97±4.05)	56,48
IV (40,1 - 200 ha)	148	14,71	11271,31	76,16 (200±40.27)	39,06
V (>200 ha)	4	0,40	1224,34	306,08 (403.05±232.93)	4,24
Total	1006	100	28854,39	-	100

Fonte: Elaborado pelo autor.

As 14 UCs registraram pelo menos uma queimada no período analisado e atingiram uma área queimada de 26690,87 ha (Tabela 6). Nas UCs 1, os incêndios foram registrados na

mesma área em até 4 vezes, representando 13131,81 ha (45,51%). Da mesma forma, as UCs 7 apresentaram queimadas na mesma área em até 5 vezes, acumulando 11505,76 ha (39,88%), juntas essas duas UCs representam 85,39% das áreas queimadas no período estudado. por outro lado, as UCs 4, 5 e 10 registraram menos de três incêndios na mesma área.

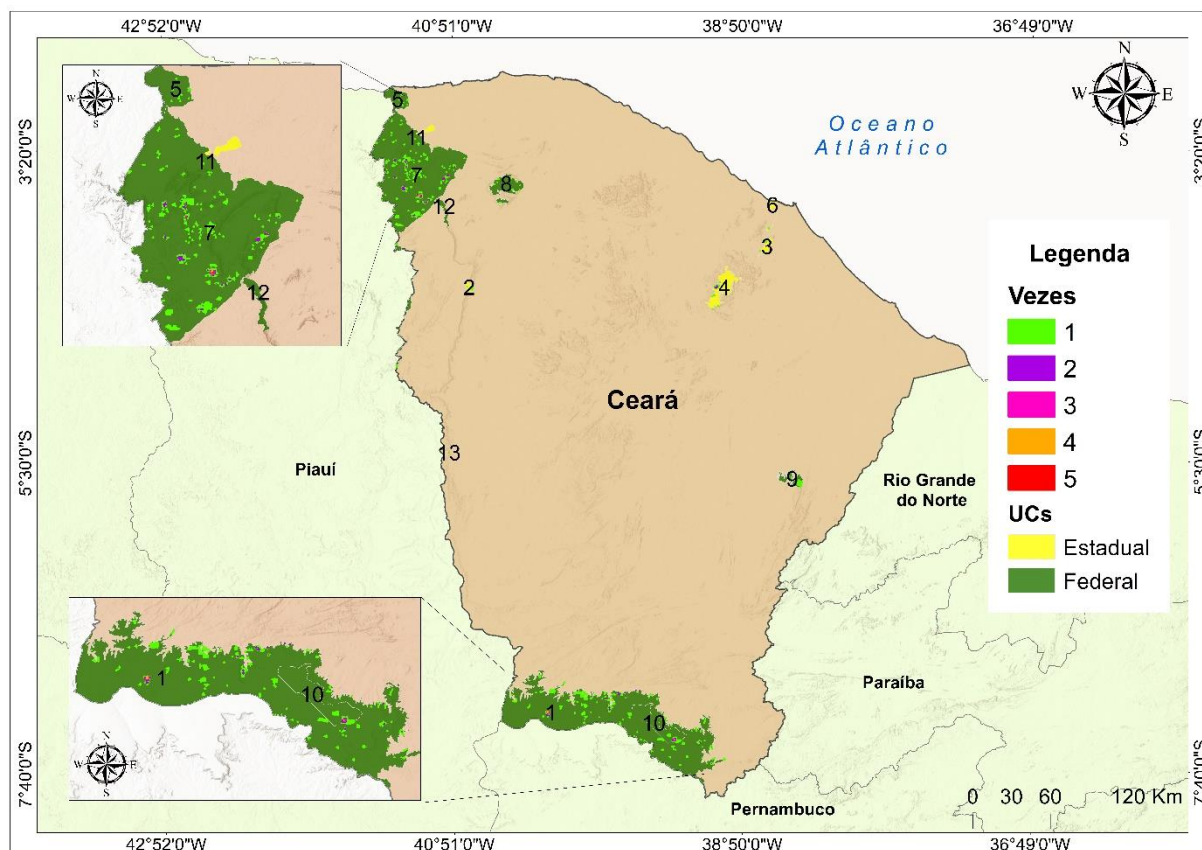
Tabela 6 - Frecuencia de zonas queimadas em las UCs 2001-2022

UCs	Nº Frecuência de queimadas					Total	%
	1	2	3	4	5		
1	12189,63	652,53	179,76	109,89	-	13131,81	45,51
2	230,32	-	-	-	-	230,32	0,8
3	48,03	-	-	-	-	48,03	0,17
4	641,01	91,01	-	-	-	732,02	2,54
5	221	0,21	-	-	-	221,2	0,77
6	50	-	-	-	-	50	0,17
7	10529,64	781	142,49	51,58	1,05	11505,76	39,88
8	401,12	-	-	-	-	401,12	1,39
9	981,74	-	-	-	-	981,74	3,4
10	1194,81	86,31	67,7			1348,82	4,67
11	51,35	-	-	-	-	51,35	0,18
12	17,12	-	-	-	-	17,12	0,06
13	41,01	-	-	-	-	41,01	0,14
14	94,1	-	-	-	-	94,1	0,33
Total	26690,87	1611,05	389,95	161,47	1,05	28854,39	100
%	92,5	5,58	1,35	0,56	0,004	100	

Fonte: Elaborado pelo autor.

As áreas queimadas estão distribuídas de forma heterogênea nos UCs (Figura 4). Nas UCs 1, duas zonas a oeste e sudeste estão localizadas a oeste e sudeste que registraram até 4 queimadas no mesmo local. Para as UCs 7, há especificamente uma área ao sul que atingiu até 5 vezes queimadas no mesmo local.

Figura 4 - Frecuência de queimadas em UCs 2001-2022



Fonte: Elaborado pelo autor.

Estes resultados revelaram que a APA Chapada do Araripe e a APA Serra da Ibiapaba foram as UCs federais com maior número de áreas queimadas (87,49%). Estudos no contexto do fogo no Brasil têm mostrado que o Ceará é um dos estados em que historicamente tem mais ocorrências de queimadas nas UCs (COSTA et al., 2023; LIMA et al., 2018; TORRES et al., 2017; FUNCEME, 2023). Além disso, a questão da diminuição das chuvas e do aumento das secas a partir do segundo semestre torna-se um fator desencadeante para a ocorrência de incêndios florestais (VALLEJO, 2016). Apesar de seu status de "UCs", essas áreas estão sujeitas a múltiplas pressões, como incêndios, turismo, atividades recreativas, pastoreio, agricultura, silvicultura, extração mineral, ocupação humana, poluição, caça, entre outras (VALLEJO, 2016). Araripe destaca-se por suas paisagens, por abrigar dentro de sua biodiversidade uma ave endêmica conhecida como soldadinho-do-Araripe (*Antilophia bokermanni*) e também por abrigar a maior área do bioma Caatinga (OLIVEIRA et al., 2016; SOUZA, 2016).

Da mesma forma, a Ibiapaba é composta principalmente por vegetação de Carrasco, caracteriza-se por arbustos densamente distribuídos e caducifólios e é de grande importância na região para a conservação de florestas secas (CHAVES e BARROS, 2012; LIMA et al., 2022). No entanto, o fogo é uma pressão constante para a conservação do patrimônio ambiental da

região. Evidências relacionadas às infrações ambientais revelam que essas UCs sofrem o maior número de incêndios no segundo período do ano, onde a precipitação pluviométrica é muito baixa e os eventos estão associados à limpeza do solo para atividades agropecuárias (BRITO et al., 2021; DA SILVA et al., 2022).

Por outro lado, o estudo realizado por Souza, (2016) determinou para o Araripe a relação entre o número de focos de calor e as áreas queimadas entre o período de 2008 e 2015, mostrou que um aumento no número de focos de calor registrados indica um aumento da área queimada no bioma Caatinga. A pesquisa de Oliveira et al., (2016) apontou que no ano de 2015 foram registradas 1444 focos de calor, sendo um ano crítico para essas UCs, essa mesma pesquisa identificou 838 focos de calor para o ano de 2014 o que indicaria uma afetação ampla para aquele ano que não pôde ser identificada no produto MCD64A1. Da mesma forma, o estudo de Vallejo (2016) apontou que Ibiapaba registrou 3373 fontes de calor no período entre 2006-2015 e que os maiores registros de focos de calor ocorreram entre 2010 e 2015, o que coincide com os resultados deste estudo no aumento da área queimada.

Na análise dos registros mensais das áreas afetadas pelas queimadas corroboram com muitos trabalhos (NETO et al., 2011; da SILVA et al., 2021; SOUZA, 2016; VALLEJO, 2016), os quais indicaram que o segundo semestre correlaciona-se com o período seco onde há o registro elevado das ocorrências de queimadas, especificamente entre os meses de outubro a dezembro. Os resultados do tamanho das áreas queimadas coincidem com os relatados de Lima et al., (2018) que verificaram que o tamanho médio das queimadas em UCs no estado do Ceará entre 2008 e 2018 foi de 16,42 ha e pertencentes à classe III, em este estudo o 80,62% coincidiram com essa classe e com um tamanho médio de 20,10 ha registrando um aumento gradual.

No contexto da frequência de áreas queimadas, destaca-se o estudo realizado por Neto et al., (2011) que encontraram 3166 focos de calor distribuídas de forma heterogênea sobre o Araripe para os anos de 1998, 2003 e 2006. No entanto, um grande número de focos de calor (61,2%) estava localizado na zona de amortecimento nas proximidades de áreas urbanas. Da mesma forma, Vallejo, (2016) afirmou que a Ibiapaba é uma área muito destacada para a ocorrência de incêndios florestais, uma vez que apresentou uma média de 337 focos de calor em 10 anos (2006-2015) o que se traduz em uma alta frequência de incêndios florestais. Nosso estudo registrou as superfícies, frequência e localização espacial das queimadas nas UCs em estudo, destacando-se as UCs Araripe e Ibiapaba, que possuem uma frequência de queimadas superficiais de um mesmo local de até 4 e 5 vezes respectivamente, entretanto, o monitoramento dessas áreas deve incorporar as áreas circunvizinhas. Por exemplo Vallejo (2016) afirmou que

as queimadas em zonas de amortecimento vêm aumentando ao longo dos anos, o que poderia afetar os esforços de conservação e aumentar a pressão sobre os ecossistemas.

Dentro dos desafios da redução de áreas queimadas em UCs no Brasil, diferentes sistemas nacionais e regionais de registro e combate a incêndios florestais tornaram-se uma ferramenta fundamental para fornecer informações confiáveis para conhecer o perfil dos incêndios no campo para a elaboração de estratégias de prevenção e minimização de ocorrências. No entanto, muitas das UCs em nível regional não apresentam esse tipo de informação devido a diferentes fatores logísticos (BONTEMPO et al., 2011; LIMA et al., 2018). Por isso, com o uso de produtos derivados do sensoriamento remoto (MCD64A1) seria possível obter informações complementares para subsidiar estratégias de prevenção e minimização de ocorrências de incêndios florestais.

Considerações finais

Este estudo proporcionou uma compreensão do perfil histórico das áreas queimadas nas UCs do Ceará, usando dados MODIS de 2001 a 2022. Os resultados de este estudo evidenciaram que a APA Chapada do Araripe e a APA Serra da Ibiapaba são as UCs federais com maior número de áreas queimadas, representando 87,49% do total em um período de 21 anos. Esse fenômeno está historicamente relacionado à alta frequência de queimadas no estado do Ceará, principalmente durante o segundo semestre, quando há menos chuvas e secas prolongadas, sendo outubro, novembro e dezembro os meses mais afetados. Apesar de serem classificadas como "Áreas de Conservação", essas áreas enfrentam diversas pressões, como incêndios florestais, turismo e atividades agrícolas, evidenciando a necessidade de implementação de estratégias abrangentes de conservação.

Pesquisas anteriores corroboram nossos achados, mostrando um aumento e relação entre focos de calor e áreas queimadas na região. Apesar do aumento da dimensão média das zonas, a elevada frequência de incêndios nas UCs indica a necessidade de aumentar o registro e o combate aos incêndios florestais. Este estudo oferece uma compreensão global do problema dos incêndios florestais nas UCs do estado do Ceará, destacando a necessidade de ações imediatas para preservar esses ecossistemas essenciais na região.

Contribuição de autoria: Mauricio: Conceitualização, curadoria de dados, análise formal, investigação, metodologia, validação, escrita, visualização, escrita-rascunho original.

Declaração de Conflito de Interesses: O autor declara não ter nenhum conflito de interesses.

Referências

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Unidades de Conservação**. 2019. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/9407d38f-84d2-48ea-97dd-ee152c493043> Acesso em: 30 jul. 2024.

BENFICA, N. S.; DA SILVA, D. P.; FIGUEIREDO, R. M.; BRUNOW, J. C. Validação do Produto de Área Queimada MCD64A1 de Resolução Moderada. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 11, 91164-91171, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n11-504

BÉTARD, F.; PEULVAST, J.-P.; CLAUDINO SALES, V. Caracterização morfopedológica de uma serra úmida no semi-árido do nordeste brasileiro: O caso do maciço de Baturité-CE. **Mercator**, Fortaleza, v. 12, 107-126, 2007.

BONTEMPO, G. C.; LIMA, G. S.; RIBEIRO, G. A., DOULA, S. M.; SILVA, E.; JACOVINE, L. A. G. Registro de Ocorrência de Incêndio (ROI): evolução, desafios e recomendações. **Biodiversidade Brasileira**, Brasília, v.1, n. 2, 247-263, 2001. DOI: 10.37002/biodiversidadebrasileira.v1i2.108

BRITO, A. P. M. DE, SANTOS, Í. M. DE M.; SILVA, R. M. (2021). Variabilidade espaço-temporal da estrutura da paisagem e fragmentação florestal na apa da Serra de Baturité no Ceará. **Ambiente: Gestão e Desenvolvimento**, Boa Vista, v. 1, n. 1, 96-104, 2021. DOI: 10.24979/ambiente.v1i1.945

CHAVES, E. M. F.; BARROS, R. F. M. Diversidade e uso de recursos medicinais do carrasco na APA da Serra da Ibiapaba, Piauí, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v.14, n. 3, 476-486, 2012.DOI: 10.1590/S1516-05722012000300009

COSTA, A. D. G.; LIMA, G. S.; TORRES, F. T. P.; RODRIGUES, V. B.; DA SILVA JÚNIOR, M. R.; DE ALMEIDA, M. P. Causes and period of occurrence of forest fires in Brazilian federal protected areas from 2006 to 2012. **Ciencia Florestal**, Santa Maria, v. 33, n. 2, 1-16, 2023. DOI: 10.5902/1980509869028

DA SILVA, E. M.; CARVALHO, H. C. M.; DA SILVA, L. L.; BARBOSA, W. A. Registros de queimadas em vegetação (incêndios) e a climatologia das chuvas no estado do Ceará: Estudo de caso no período de 2015 a 2019. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 36, n. 3, 571-577, 2021. DOI: 10.1590/0102-77863630040

DA SILVA, A. C.; JUVANHOL, R. S.; MIRANDA, J. DA R. Variabilidade espaço-temporal de ocorrência e recorrência de fogo no Bioma Caatinga usando dados do sensor MODIS. **Ciencia Florestal**, Santa Maria, v. 33, n. 1, 1-23, 2023. DOI: 10.5902/1980509870195

DA SILVA, E. M.; DE SOUSA, M. N. M.; DA SILVA, F. B. S.; DA SILVA, L. L.; BARBOSA, W. A. A Relação entre a climatologia e as infrações ambientais na Área de Proteção Ambiental da Serra de Baturité no Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 37, n. 2, 157-165, 2022. DOI: 10.1590/0102-77863710024

FUNCEME - FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. **Anuário de focos de calor do estado do Ceará**. Fortaleza, (2023). Disponível em: <http://www.funceme.br/wp-content/uploads/2024/03/Anuário-de-Focos-de-Calor-2023.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2024.

GIGLIO, L.; BOSCHETTI, L.; ROY, D.; HOFFMAN, A.; HUMBER, M.; HALL, J. V. Collection 6.1 MODIS Burned Area product User Guide. 2023. Disponível em: https://modis-land.gsfc.nasa.gov/pdf/MODIS_C61_BA_User_Guide_1.0.pdf. Acesso em: 12 fev. 2024.

GIGLIO, L.; JUSTICE, C.; BOSCHETTI, L.; ROY, D. MODIS/Terra+Aqua burned area monthly 13 global 500m SIN Grid V061. NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center. Sioux Falls, 2021. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.5067/MODIS/MCD64A1.061>. Acesso em: 10 fev. 2024.

HOFFMANN, T. B.; DUTRA, A. C.; SHIMABUKURO, Y. E.; ARAI, E.; GODINHO CASSOL, H. L.; DI GIROLAMO NETO, C.; DUARTE, V. Fire occurrence in the brazilian savanna conservation units and their buffer zones. IGARSS 2020 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Waikoloa, 2020. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9324164>. Acesso em: 15 dez. 2023.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malha Municipal**. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 30 jul. 2024.

LIMA, G. S.; TORRES, F. T. P.; COSTA, A. D. G.; GLEIDSON DE ARAÚJO, F.; DA SILVA JÚNIOR. Avaliação da eficiência de combate aos incêndios florestais em unidades de conservação brasileiras. **Floresta**, Curitiba, v. 48, n. 1, 1-10, 2018. DOI: 10.5380/ufv.v48i1.53550

LIMA, S. S.; CORDEIRO, J. L.; TEIXEIRA, L. P.; MAIA, R. P.; DA SILVA, M. V. C.; MORO, M. F. Caracterização geográfica e dinâmica de uso da terra da Ibiapaba e seu entorno, domínio fitogeográfico da Caatinga. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 15, n. 5, 2500-2524, 2022. DOI: 10.26848/rbgf.v15.5.p2500-2524

MATAVELI, G. A. V., SILVA, M. E. S., PEREIRA, G., DA SILVA CARDOZO, F., SHINJI KAWAKUBO, F., BERTANI, G., CEZAR COSTA, J., DE CÁSSIA RAMOS, R., DA SILVA, V. V. Satellite observations for describing fire patterns and climate-related fire drivers in the brazilian savannas. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, Alemanha, v. 18, n. 1, 125-144, 2018. DOI: 10.5194/nhess-18-125-2018

MORELLI, F.; SETZER, A.; CRISTINA, S. Focos de queimadas nas unidades de conservação e terras indígenas do pantanal, 2000-2008. **Geografia**, Recife, v. 34, 681-695, 2009.

NETO, S. F. N., VIEIRA, R. M. DA S. P., ALVALÁ, R. C. DOS S., CUNHA, A. P. M. DO A., CANAVESI, V., & SESTINI, M. F. Análise da dinâmica dos focos de calor em áreas degradadas de caatinga. In: **Anais do IV Simpósio Internacional de Climatologia**, João Pessoa, 2011. Disponível em: <http://sic2011.com/sic/arq/69321840757186932184075.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2024.

DE OLIVEIRA, U. C.; DE OLIVEIRA, P. S.; PINHEIRO, V. J. C. Análise da concentração de focos de calor na área de proteção ambiental (APA) da Chapada do Araripe nos anos de 2010 a 2015. In: **Anais do VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, Campina Grande, 2016. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2016/VI-023.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2024.

PEREA-ARDILA, M. A.; MUÑOZ, S. I.; SOPCHAKI, C. H. Análise de áreas queimadas utilizando imagens Sentinel-2 no Parque Estadual do Cocó, Região Metropolitana de Fortaleza (Ceará). **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v. 4, n. 3, p. 67–83, 2023. DOI: 10.5281/zenodo.10440565

PINTO, D. L.; SPLETOZER, A. G.; BARBOSA, S. G.; LIMA, G. S.; TORRES, C. M. M. E.; TORRES, F. T. P. Periods of highest occurrence of forest fires in Brazil. **Floresta**, Curitiba, v. 51, n. 2, 484-491, 2021. DOI: 10.5380/rf.v51i2.70286

PIVELLO, V. R.; VIEIRA, I.; CHRISTIANINI, A. V.; RIBEIRO, D. B.; DA SILVA MENEZES, L.; BERLINCK, C. N.; MELO, F. P. L.; MARENGO, J. A.; TORNQUIST, C. G.; TOMAS, W. M.; OVERBECK, G. E. Understanding Brazil's catastrophic fires: Causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies. **Perspectives in Ecology and Conservation**, Países Baixos, v. 19, n. 3, 233-255, 2021. DOI: 10.1016/j.pecon.2021.06.005

RAMSEY, G. S.; HIGGINS, D. G. **Fire statistics 1981, 1982, 1983**. Canadian Forestry Service, Petawawa, 1985. Disponível em: <https://d1ied5g1xfqpx8.cloudfront.net/pdfs/24169.pdf>. Acesso em: 07 fev. 2024.

ROCES-DÍAZ, J. V.; SANTÍN, C.; MARTÍNEZ-VILALTA, J.; DOERR, S. H. A global synthesis of fire effects on ecosystem services of forests and woodlands. **Frontiers in Ecology and the Environment**, Washington, v. 20, n. 3, 170-178, 2022. DOI: 10.1002/fee.2349

SANCHEZ, S.; GRILLI, M.; KARLIN, M.; FACHINETTI, R.; RAVELO, A. Determinación de regímenes de incendios y sequías usando información satelital y meteorológica para Córdoba, Argentina. **AgriScientia**, Córdoba, v. 39, n. 1, 1-13, 2022. DOI: 10.31047/1668.298x.v39.n1.33798

SANTOS, J. F.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Perfil dos incêndios florestais no Brasil em áreas protegidas no período de 1998 a 2002. **Floresta**, Curitiba, v. 36, n. 1, 93-100, 2006. DOI: 10.5380/rf.v36i1.5510

SCOTT, E. Brazilian Forest fires cause toxic air pollution. **Nature Reviews Earth & Environment**, Suíça, v. 4, n. 7, 431-431, 2023. DOI: 10.1016/j.envres.2023.115522

SOARES, L. P. (2015). **Caracterização climática do estado do Ceará com base nos agentes da circulação regional produtores dos tipos de tempo**. 240 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

SOUZA, F. P. M. (2016). Padrões de ocorrência de fogo na APA Chapada do Araripe e atividade agropecuária. In: **Anais do I Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido**, Campina Grande, 2016. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/24021>. Acesso em: 02 an. 2020.

TORRES, F. T. P.; LIMA, G. S.; COSTA, A. DAS G.; FÉLIX, G. DE A.; DA SILVA JÚNIOR, M. R. Perfil dos incêndios florestais em unidades de conservação brasileiras no período de 2008 a 2012. **Floresta**, Curitiba, v. 46, n. 4, 531-541, 2017. DOI: 10.5380/ufv.v46i4.44199

VALLEJO, L. R. Os incêndios nas unidades de conservação federais, estado do Piauí - Brasil (2006-2015). **Revista Equador**, Teresina, v. 5, n. 5, 111-129, 2016. DOI: 10.26694/equador.v5i5.5293

Este preprint foi submetido sob as seguintes condições:

- Os autores declaram que estão cientes que são os únicos responsáveis pelo conteúdo do preprint e que o depósito no SciELO Preprints não significa nenhum compromisso de parte do SciELO, exceto sua preservação e disseminação.
- Os autores declaram que os necessários Termos de Consentimento Livre e Esclarecido de participantes ou pacientes na pesquisa foram obtidos e estão descritos no manuscrito, quando aplicável.
- Os autores declaram que a elaboração do manuscrito seguiu as normas éticas de comunicação científica.
- Os autores declaram que os dados, aplicativos e outros conteúdos subjacentes ao manuscrito estão referenciados.
- O manuscrito depositado está no formato PDF.
- Os autores declaram que a pesquisa que deu origem ao manuscrito seguiu as boas práticas éticas e que as necessárias aprovações de comitês de ética de pesquisa, quando aplicável, estão descritas no manuscrito.
- Os autores declaram que uma vez que um manuscrito é postado no servidor SciELO Preprints, o mesmo só poderá ser retirado mediante pedido à Secretaria Editorial do SciELO Preprints, que afixará um aviso de retratação no seu lugar.
- Os autores concordam que o manuscrito aprovado será disponibilizado sob licença [Creative Commons CC-BY](#).
- O autor submissor declara que as contribuições de todos os autores e declaração de conflito de interesses estão incluídas de maneira explícita e em seções específicas do manuscrito.
- Os autores declaram que o manuscrito não foi depositado e/ou disponibilizado previamente em outro servidor de preprints ou publicado em um periódico.
- Caso o manuscrito esteja em processo de avaliação ou sendo preparado para publicação mas ainda não publicado por um periódico, os autores declaram que receberam autorização do periódico para realizar este depósito.
- O autor submissor declara que todos os autores do manuscrito concordam com a submissão ao SciELO Preprints.