

Estado da publicação: O preprint foi publicado em um periódico como um artigo
DOI do artigo publicado: <https://doi.org/10.29150/jhrs.v14i1.261692>

Caracterização de uma nova queimada utilizando sensoramento remoto do Parque Estadual do Cocó, Região Metropolitana de Fortaleza/CE, Brasil

Mauricio Alejandro Perea Ardila, Sebastián Isaias Muñoz Vásquez

<https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.9123>

Submetido em: 2024-06-12

Postado em: 2024-07-16 (versão 2)
(AAAA-MM-DD)

Justificativa da versão: Melhorias nas Figuras 1 e 4 e em algumas seções

Caracterização de uma nova queimada utilizando sensoriamento remoto do Parque Estadual do Cocó, Região Metropolitana de Fortaleza/CE, Brasil

Characterization of a new burnt using remote sensing in the Cocó State Park, Metropolitan Region of Fortaleza/CE, Brazil

Mauricio Alejandro Perea-Ardila* Sebastian Muñoz Vásquez**

*Doutorando em Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Brasil. mauricio.perea@alu.ufc.br, <https://orcid.org/0000-0003-4561-0251>

**Doutorando em Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Brasil. geo.smunozv@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-4348-5795>

Resumo: Os incêndios florestais no Parque Estadual do Cocó (PEC) estão se tornando mais frequentes, gerando preocupações sobre o futuro do parque devido às pressões antrópicas e à falta de manejo. Este estudo utilizou sensoriamento remoto para caracterizar um novo incêndio no PEC, visando melhorar o monitoramento e a gestão pós-incêndio. Dados de focos de calor do MODIS e VIIRS identificaram o evento em 18 de janeiro de 2024. Imagens do satélite PlanetScope delimitaram a cicatriz e derivaram o NDVI pré e pós-queimada para determinar as categorias de severidade. MODIS e VIIRS detectaram o fogo por 2 dias, alcançando um FRP de 35,66 MW, indicando sua intensidade. A cicatriz teve uma área de 16,95 ha e 2,56 km de perímetro. A reflectância NIR pós-queimada diminuiu um 57,6%, e o dNDVI máximo foi 0,83. O 51,21% da área mostrou uma severidade moderada-alta. A cicatriz pode ter afetado ambientes úmidos e floresta de manguezais. A área afetada é designada como "Zona de Preservação", embora as imagens de satélite questionem isso. Os resultados fornecem dados importantes para iniciativas de restauração e medidas de combate a incêndios no PEC, destacando a relevância do sensoriamento remoto para a análise de eventos relacionados com incêndios.

Palavras-chave: Incêndio florestal. NDVI. PlanetScope. Plano de manejo. Severidade.

Abstract: Forest fires in Cocó State Park (PEC) are becoming more frequent, raising concerns about the future of the park due to anthropogenic pressures and a lack of management. This study used remote sensing to characterize a new fire in the PEC to improve post-fire monitoring and management. MODIS and VIIRS heat spot data identified the event on January 18, 2024. PlanetScope satellite images delimited the scar and derived pre- and post-burn NDVI to determine severity categories. MODIS and VIIRS detected the fire for 2 days, reaching an FRP of 35.66 MW, indicating its intensity. The scar had an area of 16.16 ha and a perimeter of 2.43 km. The post-burn NIR reflectance decreased by 57.6%, and the maximum dNDVI was 0.83. 51.21% of the area showed moderate-high severity. The scar may have affected humid environments and mangrove forests. The affected area is designated as a "Preservation Zone", although the satellite images question this. The results provide important data for restoration initiatives and fire-fighting measures in the PEC, highlighting the relevance of remote sensing for analyzing fire-related events.

Keywords: Forest fire. NDVI. PlanetScope. Management plan. Severity.

1 INTRODUÇÃO

Todos os anos, as queimadas afetam grande parte das Unidades de Conservação (UCs) brasileiras (Tebaldi et al., 2013). A ocorrência desses incêndios florestais pode ser considerada uma séria ameaça à conservação da biodiversidade e à manutenção de processos ecológicos em ecossistemas sensíveis ao fogo (Medeiros e Fiedler, 2004; Morelli et al., 2009). No entanto, esse fenômeno não é exibido

apenas em UCs distantes das cidades, parques urbanos como o Parque Estadual do Cocó (PEC) localizado na cidade de Fortaleza (CE) também sofrem com incêndios constantes. A PEC representa grande parte do patrimônio litorâneo e da biodiversidade do Nordeste brasileiro e tem apresentado pressões constantes em decorrência da urbanização e dos incêndios florestais (Eufrásio et al., 2021; Queiroz, 2021).

Historicamente, a PEC apresentou 182 ocorrências documentadas de incêndios florestais em 17 anos (1999-2017) onde o pico desses eventos se concentra no segundo semestre, especificamente nos meses de menor precipitação entre agosto e novembro (Eufrásio et al., 2021). No entanto, um dos maiores eventos registrados na PEC foi o ocorrido em 18 de novembro de 2021, onde um incêndio criminoso deixou uma queima de 45,55 hectares (ha), afetando seriamente grande parte dos recursos vegetais na área oeste do trecho 1 (Perea-Ardila et al., 2023). Da mesma forma, no dia 18 de janeiro de 2024, a autoridade ambiental (SEMACE) informou através de um comunicado o evento em questão, eles alertaram para um novo incêndio florestal dentro da PEC, onde o deslocamento logístico de unidades de bombeiros foi necessário e apoio aéreo fez parte da emergência. A atenção deste evento durou 3 dias com sérios danos ambientais (morte da fauna e flora), deixando grandes rastros de fumaça e partículas no meio ambiente e uma paisagem devastadora para o patrimônio ambiental de Fortaleza.

Inúmeras áreas do PEC apresentam sinais de degradação devido às pressões associadas à urbanização, (presença de construções residenciais e comerciais), acúmulo de resíduos, incêndios frequentes devido à queima de lixo, bem como a introdução de espécies exóticas invasoras, embora o vandalismo não esteja descartado (Pasquini, 2020). Essas queimadas representam uma ameaça significativa para as UCs que abrigam ecossistemas altamente suscetíveis ao fogo (Medeiros e Fiedler, 2004). Em espécies vegetais não adaptadas ao fogo, os incêndios podem ser letais. Os incêndios podem alterar significativamente a dinâmica e a composição do ecossistema, afetando a vegetação e a cadeia alimentar (Jaksic e Fariña, 2015).

Nesse cenário, faz-se necessária a implementação de ferramentas tecnológicas que forneçam informações rápidas sobre as características dos incêndios. Identificar locais, medir a magnitude dos incêndios florestais, mapear áreas afetadas por queimadas, avaliar sua severidade, é necessário para fornecer informações rápida, isso acelera a tomada de decisão e possibilita a realização de estudos mais especializados. (Cardil et al., 2019; Silva e Beltrão, 2021). O sensoriamento remoto é uma das ferramentas fundamentais para investigar e identificar incidentes com incêndios florestais (Payra et al., 2023). O sensoriamento remoto demonstrou a utilidade desse método ao examinar todas as fases temporais de perturbação causada por um incêndio, oferecendo a capacidade de monitorar incêndios em diferentes escalas espaciais (Silva e Beltrão, 2021).

O objetivo deste estudo foi caracterizar uma nova área queimada na PEC ocorrida em 18 de janeiro de 2024 utilizando sensoriamento remoto. Pretende-se: 1) utilizar as informações da fonte de calor fornecidas pelos satélites MODIS e VIIRS para localizar o fogo dentro do PEC e definir alguns atributos como duração e ter uma medida do poder radiativo do fogo (FRP). 2) Através do uso de imagens do PlanetScope (pré e pós-queimada), delimitar a queimada e gere o polígono para saber a extensão, perímetro e centroide da cicatriz. 3) Utilizar o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) derivado de imagens PlanetScope para determinar a severidade da queimada, e 4) Utilizar cartografia oficial do plano de manejo da PEC (cobertura do solo e zoneamento) para discutir o possível impacto no interior da PEC pela ação do fogo. Espera-se que as informações contidas neste documento sejam úteis para a motivação de novas pesquisas na PEC e para que as

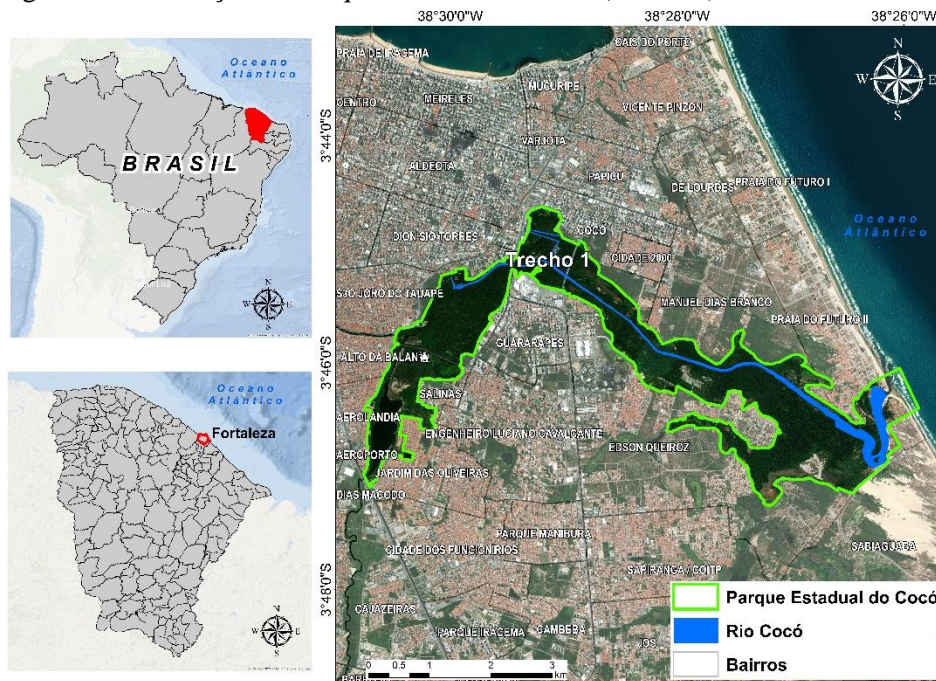
autoridades responsáveis disponham de ferramentas de tomada de decisão que auxiliem a gestão e conservação de uma das mais importantes UCs da área urbana de Fortaleza.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área de estudo está concentrada no trecho 1 do Parque Estadual do Cocó (PEC), localizado em Fortaleza nas coordenadas geográficas $3^{\circ} 44' 37,44''$ e $3^{\circ} 47' 15,41''$ S e $38^{\circ} 30' 45,96''$ e $38^{\circ} 25' 52,36''$ W (Figura 1). O PEC é caracterizado por um clima tropical quente durante todo o ano (classificação de Köppen Aw), com os meses mais chuvosos entre fevereiro e maio (Pasquini, 2020). A região vive um clima semiárido, com temperaturas médias de 26°C e índice pluviométrico médio anual de 1.600 mm (Branco, 2014). O PEC exibe uma rica biodiversidade, com uma composição variada de flora e fauna, destacando-se a presença de extensos manguezais, um grande complexo estuarino e planícies flúvio-marinhas que representam o patrimônio ambiental de Fortaleza (Sousa e Santos, 2016). A PEC tem papel fundamental na qualidade de vida da comunidade do entorno. Não só atua como um pulmão verde e espaço de lazer para os moradores locais, mas também tem um impacto econômico significativo, incentivando o ecoturismo e atividades ao ar livre (Queiroz e Garcez, 2021).

Figura 1. Localização do Parque Estadual do Cocó (Trecho1) - Fortaleza, Brasil.



Fonte: Autoria própria (2023).

2.2 Análise da queimada

Através da notícia do jornal local, a situação do incêndio na PEC foi alertada no dia 18 de janeiro de 2024 nas primeiras horas da manhã. O evento foi identificado através de logs de dados de fontes de calor do sistema FIRMS (<https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>) onde foi confirmado o local do evento. Além disso, foram baixadas duas imagens do PlanetScope do sensor PS2.SD, uma correspondente à pré-queimada e outra à pós-queimada (Tabela 1). Essas imagens foram dispostas no nível de reflectância da superfície com 8 bandas espectrais.

Tabela 1. Parâmetros técnicos das imagens do PlanetScope.

| Atributo | Pré-queimada | Pós-queimada |
|--------------|---------------------------------|-------------------------|
| ID | 20240110_120600_17_24b | 20240124_120713_09_24b4 |
| Data | 10/01/2024 | 24/01/2024 |
| Nuvens | 16% | 13% |
| Ângulo solar | 48,4° | 48,4° |
| EPSG | 31984: SIRGAS 2000 UTM Zona 24S | |
| Banda | Nome de banda | longitude de onda (nm) |
| 1 | Azul costeiro | 431 - 452 |
| 2 | Azul | 465 - 515 |
| 3 | Verde 1 | 513 - 549 |
| 4 | Verde | 547 - 583 |
| 5 | Amarelo | 600 - 620 |
| 6 | Vermelho | 650 - 680 |
| 7 | Borda vermelho | 697 - 713 |
| 8 | NIR | 845 - 885 |

Fonte: Elaboração própria com base nos metadados do produto.

Combinações espectrais verdadeiro cor (RGB 642) e infravermelho cor (RGB 864) foram realizadas para identificar visualmente mudanças nos elementos de superfície. Da mesma forma, foi realizada a digitalização da cicatriz para obtenção do polígono da queimadura usando um sistema de informação geográfica (ArcGIS 10,8).

2.3 Índice de vegetação e severidade do fogo

O NDVI foi calculado para pré e pós-queimada com as imagens PlanetScope (Equação 1). Esse índice facilita a detecção de alterações fenológicas, como a atividade fotossintética entre diferentes tipos de vegetação. Seu cálculo envolve a diferença entre a reflectância no infravermelho próximo e a refletância vermelha, dividida pela soma das duas (Defries e Townshend, 1994).

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{Vermelho}}{\text{NIR} + \text{Vermelho}} \quad (1)$$

Onde:

NIR: Corresponde a banda do NIR [banda 8].

Vermelho: Corresponde a banda vermelha [banda 6].

Por outro lado, o dNDVI (Equação 2) foi determinado. Isso é para calcular a severidade. Refere-se à medição do grau ou magnitude de alteração dos ecossistemas afetados e do impacto global dos incêndios ao nível da paisagem (Chuvieco, 2008).

$$dNDVI = NDVI_{pré} - NDVI_{pós} \quad (2)$$

Onde:

NDVI_{pré}: NDVI calculado para a imagem antes da queimada.

NDVI_{pós}: NDVI calculado para a imagem depois da queimada.

A severidade do fogo foi classificada de acordo com os valores do dNDVI (Tabela 2). o índice foi classificado de acordo com os intervalos estabelecidos por Key e Benson (2006).

Tabela 2. Classificação de severidade da queimada

| Severidade | Intervalo de dNDVI |
|----------------|--------------------|
| Sem queimada | -0.100 - +0.099 |
| Baixa | +0.100 - +0.269 |
| Moderada-baixa | +0.270 - +0.439 |
| Moderada-alta | +0.440 - +0.659 |
| Alta | +0.660 - +1.300 |

. Fonte: Intervalos estabelecidos por Key; Benson (2006).

2.4 Análise do plano de manejo

O documento oficial do plano de manejo consolidado foi baixado do site da entidade ambiental SEMACE, que a partir de 2020 possui as medidas de zoneamento para a gestão do PEC (Pasquini, 2020). O mapeamento da cobertura vegetal e o zoneamento foram extraídos e referenciado. Da mesma forma, o polígono queimado foi adicionado para investigar visualmente a possível vegetação afetada pelo fogo e as áreas descritas no zoneamento dentro da categoria estabelecida para conhecer as medidas de manejo (usos permitidos e proibidos) definidas no referido plano.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise da queimada

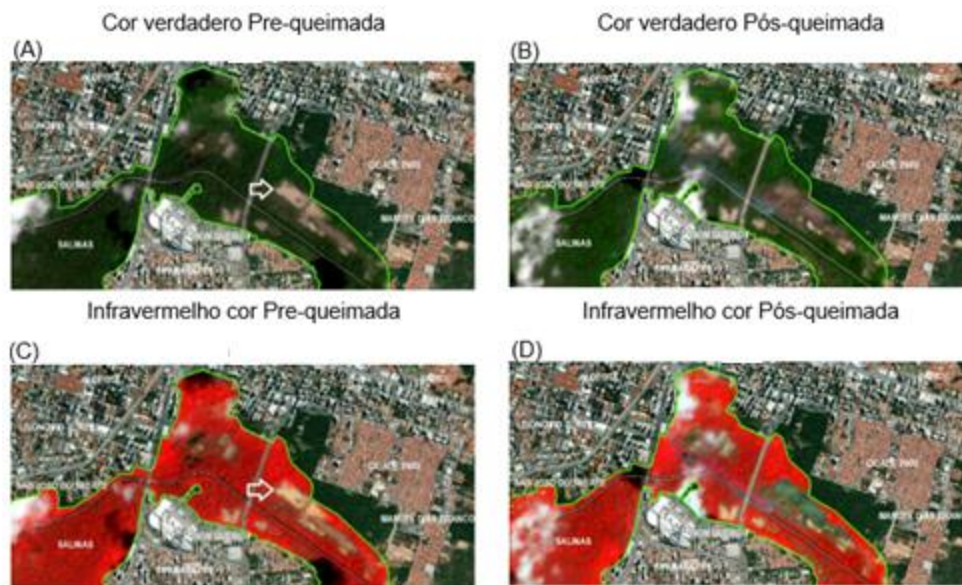
A identificação das fontes de calor por MODIS e VIIRS foi correta, 3 focos foram detectados entre 18 e 19 de janeiro de 2014 (Tabela 3). Observou-se que até o dia 18 de janeiro o fogo permaneceu durante o dia e registrou uma FRP máxima de 35,66 MW. A FRP está ligada à emissão de energia radiativa do fogo, o que possibilita diferenciar incêndios de diferentes magnitudes (Ichoku et al., 2008).

Tabela 3. Registro de fontes de calor para identificação de queimaduras na PEC

| Produto | Coordenadas | | Data | Hora | FRP (MW-megawatts) | Tempo |
|---------|-------------|----------|------------|-------|-----------------------|-------|
| | Lat S | Long W | | | | |
| MODIS | 3.75385 | 38.48154 | 18/01/2024 | 13:41 | 35.66 | Dia |
| | 3.75382 | 38.48101 | 19/01/2024 | 21:28 | 4.96 | Noite |
| VIIRS | 3.7526 | 3.7526 | 18/01/2024 | 13:45 | 5.02 | Dia |

Na combinação da cor verdadeiro, a vegetação se distingue com tons verdes, algumas formas geométricas foram observadas onde se detalha algum tipo de intervenção antrópica de cor marrom claro com vegetação escassa (figura 2A). Após o incêndio, observou-se uma tonalidade marrom-escura a preta como resultado da combustão da vegetação (Figura 2B). Por outro lado, na combinação de infravermelho cor, a vegetação se distingue em tons avermelhados, parte do solo exposto com pouca vegetação florestal torna-se marrom claro (figura 2C). Por outro lado, nessa mesma combinação, destaca-se a queimada em tons acinzentados (figura 2D), a diminuição da cobertura florestal também foi observada devido à mistura entre tons acinzentados e vermelhos como resultado da afetação da floresta.

Figura 2. Combinação colorida para a identificação da queimada do PEC.



Fonte: Autoria própria (2024).

A queimada obteve uma área de 16,95 hectares (ha), localizando-se na área central do trecho 1 nas proximidades do bairro Cidade 2000 e na área noroeste do bairro Edson Queiroz (Figura 3). A queimada tem um perímetro de 2,56 km e seu centroide está localizado nas coordenadas geográficas 3°45'0" S e 38°28'48" W.

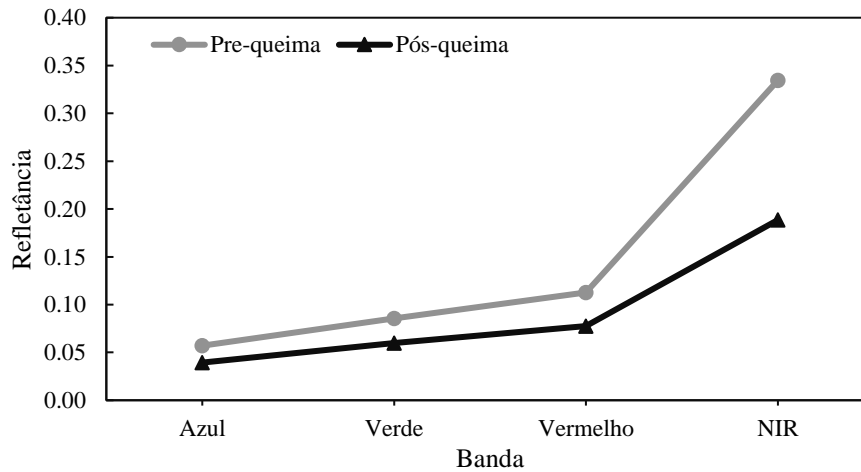
Figura 3. Localização da nova cicatriz da área queimadas do PEC.



Fonte: Autoria própria (2024).

Por outro lado, a assinatura espectral obteve a resposta típica da vegetação (Figura 4). Observou-se uma alta absorção de luz nas bandas visíveis (especialmente a banda vermelha) devido aos processos de fotossíntese e pigmentos das folhas e uma alta refletância de luz na NIR devido ao fato de uma folha saudável oferecer alta refletividade nessa banda (Chuvieco, 2010). Para a pré-queimada, o valor de refletância do vermelho foi de 0,11 e um alto valor de refletância foi de 0,33. Para a pós-queimada, observou-se decréscimo na refletância para essas mesmas bandas de 0,08 e 0,19, respectivamente. Após a queima, a banda NIR apresentou um decréscimo na refletância de 57,6%, o que refletiu um efeito sobre a vegetação.

Figura 4. Assinaturas espectrais pré e pós-queimada do PEC.

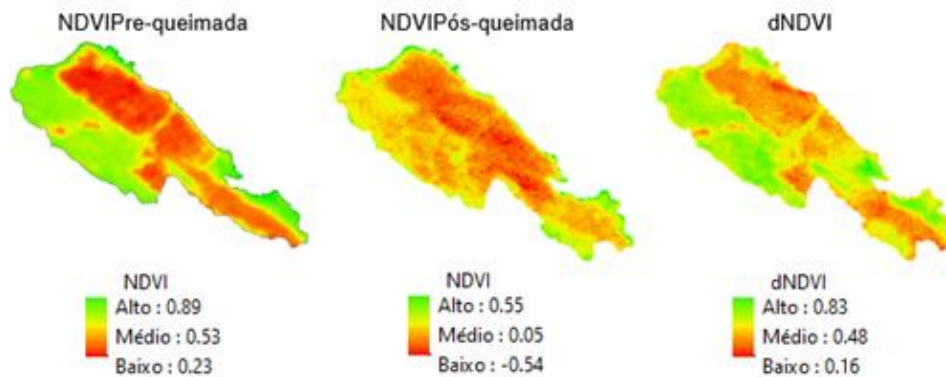


Fonte: Autoria própria (2024).

3.2 Índice de vegetação e severidade do fogo

No NDVIpre, obteve valores médios de 0,54 e observou vegetação florestal em tons verdes, que atingiu o valor de 0,90 (Figura 5). Da mesma forma, tons avermelhados representaram solos com vegetação escassa de tamanho baixo (López-Pérez et al., 2015). Para NDVIpós, o valor médio foi de 0,05. Da mesma forma, observou-se aumento de tons avermelhados, refletindo visualmente o afetado pela queimada. Por outro lado, no dNDVI, as áreas afetadas pelo fogo apresentam valores positivos (0,83), permitindo discriminar a variabilidade espectral associada à intensidade do fogo (Díaz-Delgado et al., 2003).

Figura 5. Identificação de queimadas com NDVI do PEC.

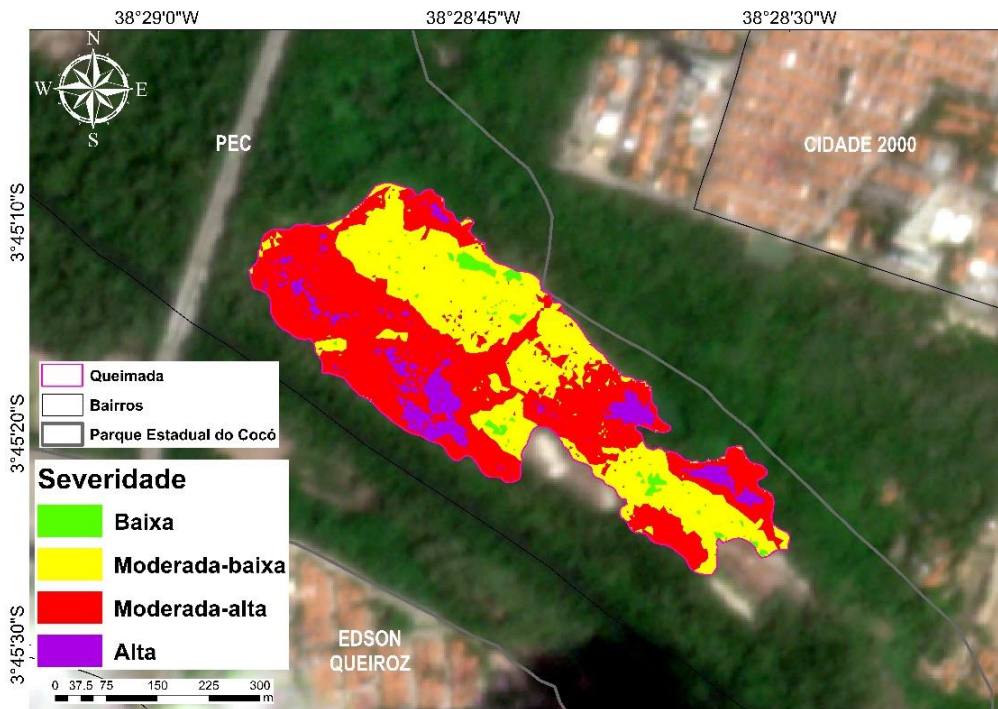


Fonte: Autoria própria (2024).

A categoria identificada como severidade baixa correspondeu a 0,34 ha (2,01%) localizados em áreas onde os valores de dNDVI foram muito baixos (Figura 6). Da mesma forma, a severidade moderada-baixa obteve 6,64 ha (39,17%). Nessa categoria, o fogo pode ter ocorrido no solo, afetando plantas herbáceas e alguns arbustos, e alguns troncos de árvores podem ter queimado até 20% de sua altura (Hayes e Robeson, 2009). Essa categoria coincide com algumas áreas com a presença de manguezais.

A severidade moderada-alta e alta obteve uma área de 8,68 ha (51,21%) e 1,29 ha (7,61%), respectivamente. Aqui, o fogo pode ter ocorrido na superfície, queimando os galhos inferiores das árvores e causando a morte de plantas e arbustos, também a carbonização do tronco de algumas árvores a aproximadamente um 50 ou 75% da altura das árvores (Hayes e Robeson, 2009).

Figura 6. Identificação da severidade da queimada do PEC.



Fonte: Autoria própria (2024).

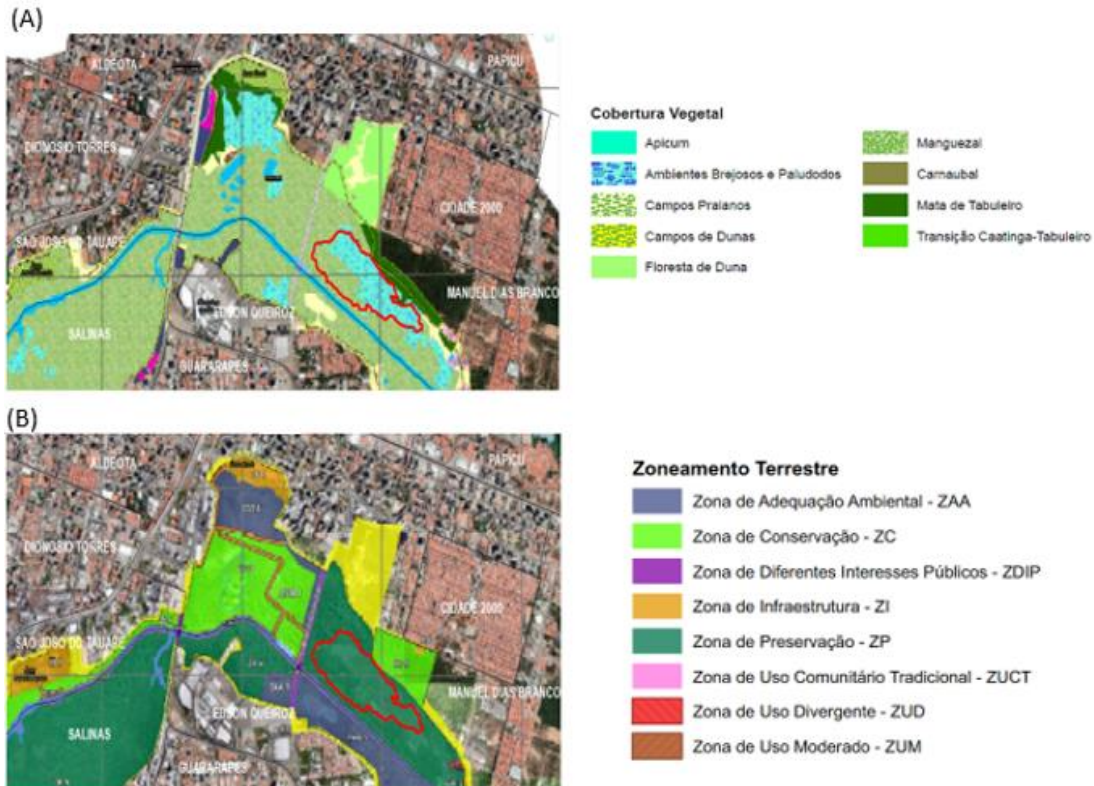
3.3 Análise do plano de manejo

Como pode ser visto na Figura 7A, as novas áreas afetadas por queimadas com ambientes úmidos foram os brejosos e paludosos, essas áreas se distinguem por possuírem zonas úmidas, permanentes ou sazonais, com água doce ou salobra, áreas estas onde o solo permanece encharcado por muitos meses e espécies de macrófitas (plantas aquáticas) são encontradas (Pasquini, 2020).

O manguezal também foi afetado pelo fogo (Figura 7B). Os manguezais caracterizam-se por estarem relacionados a campos halofíticos e por serem um dos principais atrativos ambientais do PEC. Espécies de manguezais como *Avicennia germinans* (Mangue-preto), *Rhizophora mangle* (Mangue-vermelho), *Avicennia schaueriana* (Mangue-preto) e *Conocarpus erectus* (Mangue-de-botão) e muitas espécies da fauna que são fonte de alimento e renda para os ribeirinhos (Pasquini, 2020; Sousa e Santos, 2016).

Da mesma forma, a área afetada permanece em um local que foi definido como "Zona de Preservação". Essa área se destaca por abrigar ecossistemas com alta conservação e mínima alteração, englobando locais prioritários para preservar um nível máximo de biodiversidade e garantir a manutenção das espécies (Pasquini, 2020). No entanto, na imagem do PlanetScope havia uma área com formas geométricas que refletia algum tipo de intervenção, é importante ressaltar que, dentro das atividades não permitidas no plano de manejo, em nenhum momento há menção de proibição de queimadas que modifiquem ou alterem a paisagem, sendo este um ponto importante nas ações a serem aprimoradas dentro do plano de manejo do PEC.

Figura 7 – A) Principais coberturas afetadas pela queimada. B) Zoneamento do Parque do Cocó no contexto da queimada.



Fonte: Modificado de Pasquini (2020).

Dados de sensoriamento remoto, como os fornecidos pelo MODIS e VIIRS, permitiram saber a localização das novas queimadas. O evento foi anunciado através de as notícias locais. Da mesma forma, foram conhecidas algumas características do fogo que permitiram observar a duração inicial e a FRP que durante seu início atingiu 35,66 MW, medida que evoca a intensidade do fogo e com seu acompanhamento é possível indagar sobre as ações de combate do evento (Turney et al., 2023). Também pode ser uma medida importante para complementar as informações sobre as emissões de gases de efeito estufa provenientes da combustão de biomassa e a medição da qualidade do ar (Kaiser et al., 2012).

A utilização de imagens do PlanetScope (3m/pixel) permitiu a delimitação de uma nova cicatriz (polígono de 16,95 ha) no PEC. Estudos semelhantes como o realizado por Perea-Ardila et al. (2023) mostraram a utilidade de produtos derivados de sensoriamento remoto para a realização de análises de áreas queimadas do PEC. Por outro lado, este é o primeiro estudo que utiliza imagens de alta resolução para a caracterização de uma queimada no PEC. Cerca de 51,21% da área queimada sofreu moderada-alta severidade, o que pode mostrar que os incêndios que ocorrem na PEC são superficiais e afetam principalmente vegetação herbácea, arbustiva e carbonização de troncos.

Esse tipo de informação é essencial para direcionar ações para a realização de iniciativas de restauração ecológica de espécies vegetais (López-García, 2020). No entanto, recomenda-se complementar esse tipo de análise com trabalho de campo para avaliar os danos à vegetação causados pelo fogo, já que historicamente a PEC tem queimadas durante grande parte do ano (Eufrásio et al.,

2021). A avaliação e o mapeamento da intensidade do fogo após incêndios florestais são ações cruciais para gerenciar a reabilitação imediata das áreas afetadas e melhorar o planejamento pós-incêndio (Arellano et al. 2017). Também é importante testar outros índices específicos (como o NBR) para identificar queimaduras e complementar a análise com outros tipos de imagens multiespectrais.

Por outro lado, o evento pode afetar ambientes brejosos e paludosos, bem como florestas de mangue que são ecossistemas independentes do fogo (Armenteras et al., 2020). No entanto, o fogo pode se tornar uma ameaça quando há modificação da estrutura original dos ecossistemas (Myers, 2006). Os incêndios, mesmo quando ficam com baixa severidade, podem causar alta mortalidade (Jaksic e Fariña, 2015). Da mesma forma, de acordo com o plano de manejo, a área afetada estava localizada em uma "Zona de Preservação" que indica locais onde os ecossistemas existentes estão em ótimo estado de conservação e menos intervencionados (Pasquini, 2020). No entanto, ficou evidente nas imagens do PlanetScope que houve intervenção antrópica no local do evento. Por outro lado, o plano de manejo permite atividades de prevenção e combate a incêndios florestais (manejo integrado do fogo), o que poderia reduzir a ameaça constante que a PEC permanece devido à ação do fogo.

4. CONCLUSÕES

Os dados obtidos por sensoriamento remoto foram essenciais para identificar a localização de novos focos de calor (queimada). Eles forneceram informações detalhadas sobre o início e a intensidade inicial do fogo, que podem ser cruciais para entender e abordar as ações conservação em ecossistemas independentes do fogo.

O uso de imagens de alta resolução, como as fornecidas pelo PlanetScope, possibilitou delimitar a área afetada pelo incêndio, revelando uma nova cicatriz do PEC. Essa abordagem destaca a utilidade de imagens de alta resolução para caracterizar queimaduras na área, é o primeiro estudo a usar o PlanetScope para esse fim. Além disso, identificou-se que quase metade da área queimada apresentou uma severidade moderada-alta, possivelmente indicando fogos superficiais que afetam principalmente a vegetação herbácea, arbustiva e árvores do PEC. Esses resultados podem se tornar insumos fundamentais nos processos de restauração ecológica do PEC.

Embora, a área afetada pelo incêndio seja designada como "Zona de Preservação" de acordo com o plano de manejo, as imagens do PlanetScope mostraram intervenção antrópica no local do evento. Isso destaca a importância de integrar dados de campo para avaliar danos específicos à vegetação e entender a relação entre intervenção humana e incêndios florestais. Destaca-se ainda que o manejo integrado do fogo, permitido pelo plano de manejo, pode ser fundamental para mitigar a ameaça constante de incêndios do PEC, desde que sejam implementadas medidas efetivas de prevenção e combate.

5. AGRADECIMENTOS

O autor principal agradece ao Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), pela bolsa concedida no âmbito do doutorado do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFC e da chamada para a Primeira Edição do Programa de Mobilidade Internacional GCUB 001/2022. Também, Agradecimentos especiais ao programa "Education and Research" de Planet Labs, pela disponibilidade de imagens PlanetScope para a análise do incêndio.

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

Declaração de Conflito de Interesses: OS autores declaram não terem qualquer conflito de interesse.

6. REFERÊNCIAS

Arellano, S., Vega, J. A., Rodríguez y Silva, F., Fernández, C., Vega-Nieva, D., Álvarez-González, J. G., & Ruiz-González, A. D. (2017). Validación de los índices de teledetección dNBR y RdNBR para determinar la severidad del fuego en el incendio forestal de Oia-O Rosal (Pontevedra) en 2013. *Revista de Teledetección*, 49, 49–61. <https://doi.org/10.4995/raet.2017.7137>

Armenteras, D., González, T. M., Vargas, J. O., Meza Elizalde, M. C., & Oliveras, I. (2020). Incendios en ecosistemas del norte de Suramérica: avances en la ecología del fuego tropical en Colombia, Ecuador y Perú. *Caldasia*, 42(1), 1–16. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v42n1.77353>

Branco, K. (2014). Microclimas e áreas verdes na cidade de Fortaleza – CE. [Dissertação, Universidade Federal do Ceará]. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/20229> Acesso em: 31 de janeiro 2021

Cardil, A., Mola-Yudego, B., Blázquez-Casado, Á., & González-Olabarria, J. R. (2019). Fire and burn severity assessment: Calibration of Relative Differenced Normalized Burn Ratio (RdNBR) with field data. *Journal of Environmental Management*, 235, 342–349. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.01.077>

Chuvieco, E. (2008). Earth Observation of Global Change: The Role of Satellite Remote Sensing in Monitoring the Global Environment. In *Earth Observation of Global Change*. Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6358-9_9

Chuvieco, E. (2010). *Teledetección Ambiental* (Tercera Ed). Ariel Editorial.

DeFries, R. S., & Townshend, J. R. G. (1994). NDVI-derived land cover classifications at a global scale. *International Journal of Remote Sensing*, 15(17), 3567–3586. <https://doi.org/10.1080/01431169408954345>

Díaz-Delgado, R., Lloret, F., & Pons, X. (2003). Influence of fire severity on plant regeneration by means of remote sensing imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24(8), 1751–1763. <https://doi.org/10.1080/01431160210144732>

Eufrásio, J., Filho, F., & Araújo, A. C. (2021). Análise de ocorrências de incêndios florestais na área do Parque Estadual do Cocó, região metropolitana de Fortaleza, CE. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 36(3), 563–569.

Hayes, J., & Robeson, S. (2009). Spatial variability of landscape pattern change following a ponderosa pine wildfire in northeastern New Mexico, USA. *Physical Geography*, 30(5), 410–429. <https://doi.org/10.2747/0272-3646.30.5.410>

Ichoku, C., Giglio, L., Wooster, M. J., & Remer, L. A. (2008). Global characterization of biomass-burning patterns using satellite measurements of fire radiative energy. *Remote Sensing of Environment*, 112(6), 2950–2962. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.02.009>

Jaksic, F. M., & Fariña, J. M. (2015). Incendios, sucesión y restauración ecológica en contexto. *Anales Instituto Patagonia*, 43(1), 23–34.

Kaiser, J. W., Heil, A., Andreae, M. O., Benedetti, A., Chubarova, N., Jones, L., Morcrette, J. J., Razinger, M., Schultz, M. G., Suttie, M., & Van Der Werf, G. R. (2012). Biomass burning emissions estimated with a global fire assimilation system based on observed fire radiative power. *Biogeosciences*, 9(1), 527–554. <https://doi.org/10.5194/bg-9-527-2012>

Key, C. H., & Benson, N. C. (2006). Landscape Assessment (LA) sampling and analysis methods. In USDA Forest Service - General Technical Report RMRS-GTR. Disponível em: <https://www.fs.usda.gov/research/treearch/24066> Acesso em: 31 de janeiro 2021.

López-Pérez, A., Martínez-Menes, M. R., & Fernández-Reynoso, D. S. (2015). Priorización de áreas de intervención mediante análisis morfométrico e índice de vegetación. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 6(1), 121–137.

López García, A. R. (2020). Estudio de la severidad y regeneración de la vegetación por el incendio de 2012 en el Bosque La Primavera (México) mediante imágenes LANDSAT 7. *Revista Cartográfica*, 101, 35–50. <https://doi.org/10.35424/rcarto.v0i101.420>

Medeiros, M. B. de, & Fiedler, N. C. (2004). Incêndios florestais no parque nacional da Serra da Canastra: desafios para a conservação da biodiversidade. *Ciência Florestal*, 14(2), 157–168. <https://doi.org/10.5902/198050981815>

Morelli, F., Setzer, A., & Cristina, S. (2009). Focos de queimadas nas unidades de conservação e terras indígenas do pantanal, 2000-2008. *Geografia*, 34, 681–695.

Myers, R. L. (2006). Convivir con el fuego- Manteniendo los ecosistemas y los medios de subsistencia mediante el Manejo Integral del Fuego. The Nature Conservancy.

Pasquini, B. (2020). Plano de manejo do Parque Estadual do Cocó. Disponível em: https://www.sema.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/36/2021/03/PMPC_01.pdf . Acesso em: 31 de janeiro 2021.

Payra, S., Sharma, A., & Verma, S. (2023). Application of remote sensing to study forest fires. In *Atmospheric Remote Sensing* (pp. 239–260). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99262-6.00015-8>

Perea-Ardila, M. A., Muñoz, S. I., & Sopchaki, C. H. (2023). Análise de áreas queimadas utilizando imagens Sentinel-2 no Parque Estadual do Cocó, Região Metropolitana de Fortaleza (Ceará). *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, 4(3), 67–83. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10440566>

Queiroz, B. O. De, & Garcez, D. S. (2021). Importância do Parque Estadual do Cocó no fornecimento de serviços ecossistêmicos de provisão, regulação e culturais para moradores de Fortaleza (CE). *Encontros Universitários Da UFC*, 6(2), 1381. <http://periodicos.ufc.br/eu/article/view/74504>

Silva, A. B. N. da, & Beltrão, N. E. S. (2021). Metodologias de sensoriamento remoto para análise de queimadas com base em índices espectrais e diagnóstico de severidade. *Ciência Geográfica*, 25(3), 968–982. https://www.agbbauru.org.br/publicacoes/revista/anoXXV_3/agb_xxv_3_web/agb_xxv_3-10.pdf

Sousa, É. N. C., & Santos, F. A. (2016). O processo de implantação do Parque Estadual do Cocó, Fortaleza (CE): conflitos e perspectivas. *Revista de Geociências Do Nordeste*, 2, 781–790. <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2016v2n0id10526>

Tebaldi, A. L. C., Fiedler, N. C., Juvanhol, R. S., & Dias, H. M. (2013). Ações de prevenção e combate aos incêndios florestais nas Unidades de Conservação Estaduais do Espírito Santo. *Floresta e Ambiente*, 20(4), 538–549. <https://doi.org/10.4322/floram.2013.036>

Turney, F. A., Saide, P. E., Jimenez Munoz, P. A., Muñoz-Esparza, D., Hyer, E. J., Peterson, D. A., Frediani, M. E., Juliano, T. W., DeCastro, A. L., Kosović, B., Ye, X., & Thapa, L. H. (2023). Sensitivity of Burned Area and Fire Radiative Power Predictions to Containment Efforts, Fuel Density, and Fuel Moisture Using WRF-Fire. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 128(18), 1–21. <https://doi.org/10.1029/2023JD038873>

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.