

PROPOSTA DE LOCAIS PARA INSTALAÇÃO DE TORRES DE VIGILÂNCIA CONTRA INCÊNDIOS NO PARQUE ESTADUAL DO COCÓ

Proposed sites for the installation of forest fire lookout towers in Cocó State Park

Mauricio Alejandro Perea-Ardila

Doutorando em Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGGeo) pela Universidade Federal do Ceará (UFC)

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4561-0251>

mauricio.perea@alu.ufc.br

Sebastina Muñoz Vasquez

Doutorando em Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGGeo) pela Universidade Federal do Ceará (UFC)

Orcid: <https://orcid.org/0009-0001-4348-5795>

geo.smunozv@gmvail.com

Artigo recebido em junho/2025 e aceito em agosto/2025

RESUMO

O estudo analisa o uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para propor a instalação de torres de vigilância contra incêndios florestais no Parque Estadual do Cocó (PEC), no Ceará, Brasil. Este parque constitui um ecossistema urbano fundamental que enfrenta riscos crescentes de incêndios, resultantes de atividades humanas e condições climáticas adversas. Foram identificados locais estratégicos para a instalação das torres com base em três critérios principais: proximidade com áreas prioritárias para proteção contra incêndios, elevações topográficas favoráveis e acessibilidade por meio de rodovias. Utilizando um Modelo Digital de Elevação (MDE) e a ferramenta Viewshed do ArcGIS, foram avaliadas.

Palavras-chave: Fogo; Gestão de incêndios florestais; Monitoramento ambiental; Sistemas de Informação Geográfica.

ABSTRACT

The study examines the application of Geographic Information Systems (GIS) to recommend the installation of forest fire lookout towers in Cocó State Park (PEC), Ceará, Brazil. This park is a key urban ecosystem that faces increasing risks of fires resulting from human activities and adverse weather conditions. Strategic locations for the installation of the towers were identified based on three main criteria: proximity to priority areas for fire protection, favorable topographic elevations, and accessibility via highways. Using a Digital Elevation Model (DEM) and the ArcGIS Viewshed tool, tower heights of 10, 20, and 30 meters were evaluated. The results showed that with three 30-meter-high towers, strategically located, it is possible to achieve a combined visibility coverage of 94.54%. The results demonstrate that the implementation of these towers not only significantly improves early fire detection but also generates additional benefits, such as continuous monitoring of the territory,

mitigation of environmental impacts, and job creation. Additionally, the study highlights the potential of integrating geotechnologies, including remote sensing, drones, and artificial intelligence, to further enhance surveillance efficiency.

Keywords: Fire; Forest fire management; Environmental monitoring; Geographic Information Systems.

1. INTRODUÇÃO

Os incêndios florestais representam um problema global com graves consequências ecológicas, econômicas e sociais (Cochrane; Ryan, 2009). Seu impacto abrange desde a perda de biodiversidade e degradação de ecossistemas até a emissão de gases de efeito estufa que contribuem para as mudanças climáticas (Andela *et al.*, 2017). Atualmente, os incêndios estão ocorrendo com maior severidade e frequência, intensificação essa associada, em parte, à modificação dos regimes naturais do fogo, alterando ciclos ecológicos previamente estabelecidos e gerando consequências imprevisíveis nos níveis local, regional e global (Eugenio *et al.*, 2016; UNEP, 2022).

No Brasil, os incêndios florestais também constituem um grande desafio devido ao seu impacto na biodiversidade, no clima e nas comunidades locais. Grande parte desses incêndios está relacionada a atividades humanas, como a expansão agrícola, o desmatamento e queimadas controladas que frequentemente saem do controle (Almeida *et al.*, 2011). No entanto, as Unidades de Conservação (UCs), que desempenham papel fundamental na preservação da biodiversidade, também têm sido afetadas pelos incêndios. Estudos apontam que uma proporção significativa dos incêndios registrados em UCs é causada por fatores antrópicos, tais como a agricultura, o uso inadequado do fogo em práticas tradicionais e a invasão de áreas protegidas (Lima *et al.*, 2018; Morelli; Setzer; Cristina, 2009).

O Parque Estadual do Cocó (PEC), localizado em Fortaleza, Ceará, Brasil, é um dos espaços de conservação urbana mais destacados da América Latina (Ferreira Filho; Costa Araújo, 2021). O PEC protege um ecossistema de manguezal que desempenha um papel crucial na regulação do clima local, na conservação da biodiversidade e na provisão de serviços ecossistêmicos. Contudo, incêndios florestais têm se tornado um problema recorrente no PEC, gerando preocupação quanto ao futuro desse importante ecossistema urbano (Ferreira Filho; Costa Araújo, 2021). Eventos recentes, como os ocorridos em novembro de 2021 e janeiro de 2024, atingiram uma área considerável de 62,5 hectares, evidenciando a vulnerabilidade do PEC diante desses eventos (Perea-Ardila; Muñoz, 2024; Perea-Ardila; Muñoz; Sopchaki, 2023).

Essa realidade destaca a urgente necessidade de implementar estratégias mais eficazes de prevenção, monitoramento e combate aos incêndios, bem como enfrentar as pressões humanas que

contribuem para sua ocorrência. A detecção precoce de incêndios florestais é essencial para evitar que grandes extensões de vegetação sejam consumidas, dado que a recuperação pode demandar muito tempo. Identificar o fogo em suas fases iniciais facilita o controle antes que ele se espalhe e se torne difícil de conter (Hernández-Hostaller, 2017). É fundamental dispor de um sistema eficiente de detecção e localização de incêndios florestais para garantir o adequado funcionamento dos planos de prevenção (Eugenio *et al.*, 2016).

As torres de vigilância contra incêndios surgem como uma alternativa promissora para a detecção precoce de focos de fogo, especialmente em regiões onde a cobertura de monitoramento é limitada (Jaiswal *et al.*, 2002; Venturi; Antunes, 2007). Localizadas em pontos estratégicos, essas estruturas permitem que observadores identifiquem rapidamente sinais de incêndios e coordenem respostas eficazes de combate (Göлтаş; Demirel; Çağlayan, 2017). Além disso, as torres podem ser utilizadas no monitoramento ambiental, conservação da biodiversidade, sistemas de telecomunicações, telemetria e outras aplicações complementares (Eugenio *et al.*, 2016). Os sistemas de Informações Geográficas (SIG) são ferramentas valiosas, ao possibilitarem integrar múltiplas camadas de informações, otimizando a relação entre o número necessário de torres e a máxima área de cobertura visual (Nogueira *et al.*, 2002). A análise de visibilidade por meio de ferramentas de SIG também é útil para avaliar a capacidade de monitoramento das torres de vigilância contra incêndios, melhorando a cobertura para uma resposta mais rápida e eficaz (Akay; Erdoğan, 2017). Apesar dessas vantagens, o PEC ainda não conta com uma proposta de torres de vigilância capazes de viabilizar a detecção precoce de incêndios. A instalação dessas estruturas poderia melhorar significativamente a capacidade de vigilância em locais críticos, onde atualmente os recursos disponíveis são insuficientes para garantir uma cobertura contínua e ágil (Akay; Erdoğan, 2017).

Nesse contexto, o objetivo deste estudo é propor locais estratégicos para a instalação de torres de vigilância contra incêndios florestais no PEC, utilizando como apoio técnicas de SIG. Com os resultados obtidos, espera-se contribuir para o fortalecimento da estratégia de detecção precoce de incêndios no PEC, aumentando a capacidade de resposta e reduzindo os impactos negativos provocados pelos incêndios florestais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área do estudo

O Parque Estadual do Cocó (PEC) está localizado em Fortaleza, no estado do Ceará, Brasil (Figura 1). O PEC se estende geograficamente entre as coordenadas 3° 44' 37,44" e 3° 47' 15,41" de

latitude sul e entre 38° 30' 45,96" e 38° 25' 52,36" de longitude oeste (Perea-Ardila; Muñoz; Sopchaki, 2023). O Trecho 1 do PEC compreende uma área de 1080,74 hectares.

Este parque representa uma das principais áreas verdes urbanas da cidade e desempenha um papel fundamental na conservação dos ecossistemas locais (Ferreira Filho; Costa Araújo, 2021). O PEC abriga diversos tipos de habitats, como manguezais, florestas de galeria, caatinga e áreas úmidas, o que lhe confere uma rica biodiversidade, sendo habitat de diversas espécies de aves, mamíferos, répteis e uma grande variedade de flora nativa. Enquanto a vegetação regula o microclima urbano, reduzindo temperaturas e sequestrando carbono.

O clima da região é um clima tropical semiárido, com temperatura média de 26 °C e precipitação anual média de 1600 mm (Branco, 2014). O PEC não somente preserva a biodiversidade, mas também desempenha um papel crucial na mitigação das mudanças climáticas e na sustentabilidade da cidade de Fortaleza, funcionando como um pulmão verde indispensável para o equilíbrio ecológico da região.

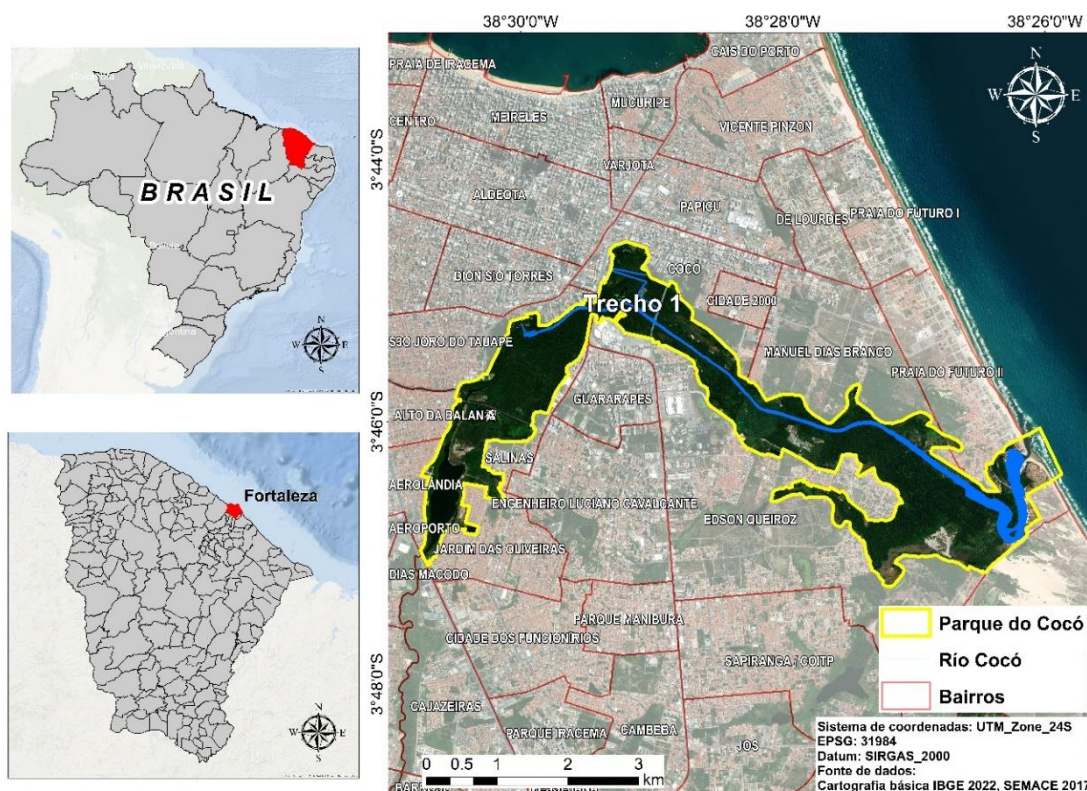


Figura 1 – Localização do Parque Estadual do Cocó.

2.2. Critérios para a localização das torres

O insumo principal deste estudo deriva da pesquisa de Perea-Ardila (2024), que identificou as áreas prioritárias para a proteção contra incêndios no PEC com base em quatro cenários de ênfase

(Figura 2). O objetivo principal da instalação de torres de vigilância contra incêndios florestais é garantir uma observação mais detalhada e abrangente das zonas com maior risco de incêndio (Ragner; Assis; Lima, 2014). Neste contexto, trata-se de assegurar a conservação das áreas previamente identificadas como prioritárias para proteção contra incêndios no PEC. Embora seja desejável alcançar uma cobertura completa, a total visibilidade da área através das estruturas constitui um desafio operacional e economicamente inviável. Segundo Soares e Batista (2007), atingir entre 70% e 80% de cobertura visual na região de interesse pode ser considerado um nível adequado e eficiente para sistemas de vigilância contra incêndios.

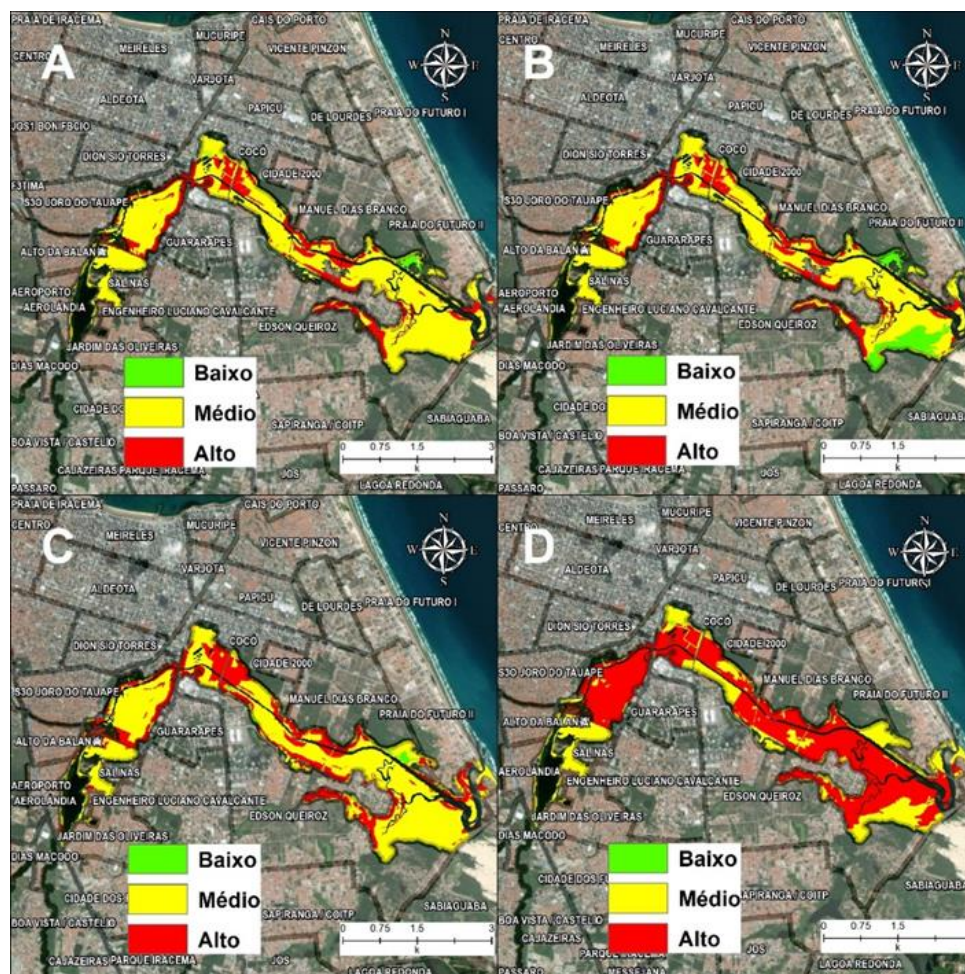


Figura 2 – Identificação de áreas prioritárias contra incêndios florestais no PEC.

A) Ponderação igual, B) Ponderação de 50% do perigo, C) Ponderação de 50% do risco e D) Ponderação de 50%.

A identificação dos locais adequados para a instalação das torres foi baseada na metodologia proposta por Ragner; Assis; Lima (2014), que considera fatores essenciais para uma eficiente detecção precoce de focos de fogo. Foram selecionados três critérios principais para a análise: (1) proximidade com as áreas prioritárias de proteção contra incêndios, conforme os cenários de ênfase

definidos em estudo anterior (perigo, risco e valor), garantindo assim o monitoramento das zonas mais vulneráveis; (3) presença de elevações mais altas, que proporcionam maior amplitude de visibilidade e, conseqüentemente, uma cobertura visual mais ampla; (3) cercania com estradas e vias de acesso, uma vez que facilitam tanto o deslocamento humano quanto as ações de prevenção e combate ao fogo.

Com base nesses três fatores, foram identificados pontos potenciais para a instalação das torres no formato vetorial, integrando-se à análise espacial realizada posteriormente. Além disso, foi gerado um Modelo Digital de Elevação (MDE) a partir das curvas de nível obtidas na plataforma Estadual de Dados Espaciais Ambientais do Ceará (PEDEA-CE). Utilizou-se o módulo de análise espacial do software ArcGIS, particularmente a ferramenta “Viewshed”, para determinar as áreas visíveis a partir de cada ponto candidato à instalação da estrutura. Foram testadas diferentes alturas para as torres, 10, 20 e 30 metros de alturas comumente adotadas em sistemas de vigilância contra incêndios, permitindo avaliar como cada uma delas influenciaria na cobertura visual total.

Posteriormente, foi calculado o percentual de visibilidade de cada torre em relação às áreas prioritárias de proteção contra incêndios, bem como sua contribuição para a cobertura geral do território do PEC. Quando o nível de visibilidade obtido não era satisfatório, novas localizações eram propostas e analisadas com o objetivo de alcançar uma cobertura superior a 70%, considerada um patamar aceitável segundo a literatura (Soares; Batista, 2007). Por fim, foi elaborada uma cartografia temática representando a distribuição espacial das torres de vigilância propostas, integrando os resultados da análise de visibilidade e dos critérios de priorização. Essa cartografia constituiu um insumo fundamental para subsidiar futuras ações de planejamento e gestão ambiental do PEC.

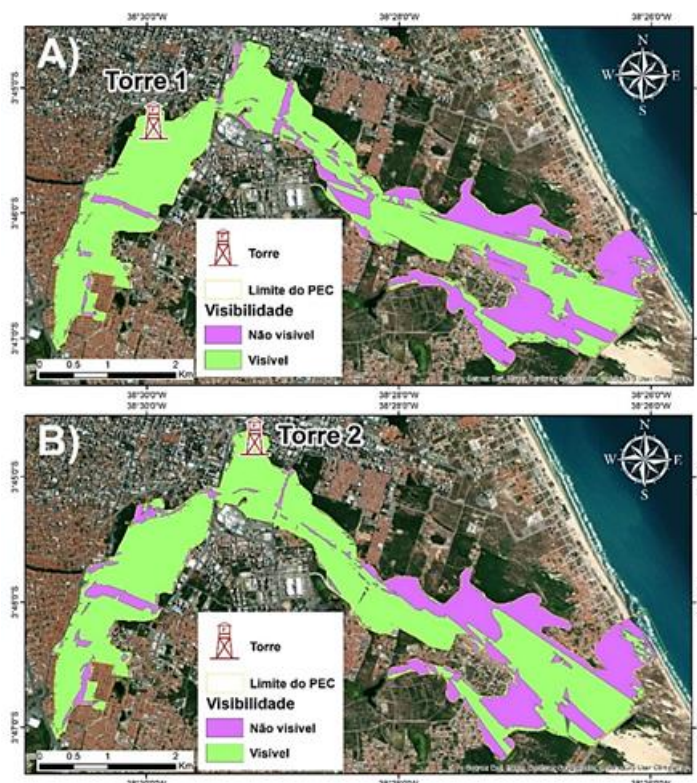
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da visibilidade das três torres propostas no PEC revelou que a altura das estruturas é um fator determinante para a cobertura visual, com a densa vegetação arbórea como principal limitante (Tabela 1). A Torre 1 alcançou 48,65% de visibilidade a 10 metros, 61,09% a 20 metros e 68,26% a 30 metros. A Torre registrou 51,29%, 62,70% e 62,70% nas mesmas alturas, respectivamente. Já a Torre 3 apresentou os melhores resultados, com 55,62% a 10 metros, 65,88% a 20 metros e 72,25% a 30 metros, sendo a única a superar o patamar de 70% de cobertura, considerado eficiente para monitoramento contra incêndios. Esses dados demonstram que o aumento da altura amplia significativamente a visibilidade, especialmente em áreas prioritárias, apesar de limitações impostas pela vegetação densa no sudeste do parque.

Tabela 1: Visibilidade das torres de acordo com a altura.

	Visível	Não visível	NA
Torre 1			
10 m	48,65%	49,79%	1,56%
20 m	61,09%	37,5%	1,39%
30 m	68,26%	30,36%	1,38%
Torre 2			
10 m	51,29%	47,33%	1,38%
20 m	62,70%	35,92%	1,38%
30 m	69,05%	29,57%	1,38%
Torre 3			
10 m	55,62%	42,64%	1,75%
20 m	65,88%	32,73%	1,38%
30 m	72,25%	26,36%	1,38%

A Torre 1, localizada em 38°29'56,813" O e 3°45'15,695" S, no bairro São João do Tauape, e a Torre 2, posicionada em 38°29'08,58" O e 3°44'40,58" S, no bairro Cocó, ambas no PEC, apresentam visibilidade limitada no sudeste do parque (Figura 3A, 3B). Já a Torre 3, situada em 38°26'07,24" O e 3°46'46,94" S, também no bairro Cocó, oferece melhor cobertura visual, especialmente nas áreas prioritárias para proteção contra incêndios, com menor impacto de obstáculos naturais (Figura 3C).



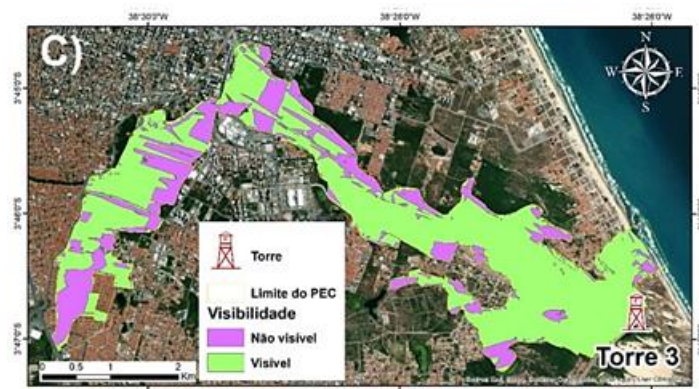


Figura 3 – Localização das torres de vigilância. A) Torre 1 com visibilidade total, B) Torre 2 com visibilidade total e C) Torre 3 com visibilidade total.

A visibilidade conjunta das três torres alcançou um percentual elevado de 94,54%, destacando a eficácia da cobertura espacial proporcionada por sua localização estratégica (Figura 4A). A maior proporção da área analisada (40,05%, correspondente a 432,85 hectares) apresenta visibilidade simultânea para as três torres (T1, T2 e T3), reforçando a sinergia entre as estruturas e a qualidade do monitoramento nessas zonas. Em seguida, aparecem áreas com visibilidade combinada da T1 e T2, representando 17,66% (190,84 Ha), e as áreas visíveis somente pela T3, com 14,95% (161,57 Ha). As áreas visíveis pelas torres T2 e T3 juntas cobrem 9,85% (106,43 Ha), enquanto aquelas visíveis pelas torres T1 e T3 correspondem a 7,40% (80,02 Ha). Por fim, as áreas visíveis exclusivamente pela T1 (3,14%, ou 33,95 Ha) e pela T2 (1,49%, ou 16,1 Ha) são menos expressivas, assim como as áreas sem visibilidade alguma, que representam 4,07% (44,03 Ha) do total analisado (Figura 4B). Esses resultados demonstram que a configuração proposta permite uma ampla e eficiente cobertura visual no PEC, essencial para a detecção precoce de focos de incêndio.



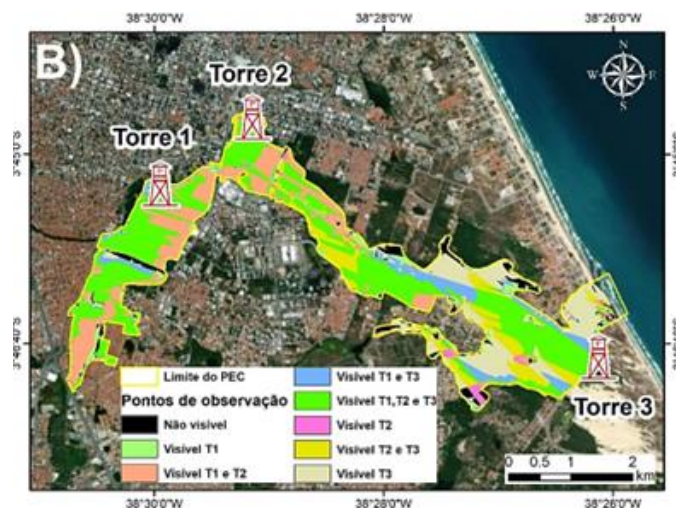


Figura 4 – Visibilidade das torres de vigilância. A) visibilidade geral das torres, B) pontos de observação.

O uso das ferramentas SIG, por meio de análises espaciais de superfície, permite na maioria a localização ótima das torres para o manejo de incêndios florestais (Moreira; Mendes; Santos, 2020). Para prevenir os incêndios florestais, é fundamental que a equipe de bombeiros chegue ao local do incidente com a maior rapidez possível, pois isso aumenta as chances de controlar o fogo (Akay *et al.*, 2020). Com base nas áreas propostas para proteção contra incêndios por Perea-Ardila (2024), evidencia-se a vulnerabilidade do PEC. Nesse contexto, as torres de vigilância representam uma alternativa eficaz para a monitoria e medidas preventivas relacionadas aos incêndios no PEC, integrando-se ao plano de manejo da unidade (Pasquini, 2020).

Além da detecção precoce, as torres contribuem para o monitoramento contínuo das condições ambientais por meio de sensores, como umidade, temperatura e velocidade do vento, fatores que influenciam diretamente no comportamento do fogo (Asefoga, 2024). A instalação das torres no PEC gera empregos diretos para observação, comunicação e manutenção, além de indiretos na construção, gestão florestal e combate a incêndios, promovendo oportunidades profissionais em regiões com opções limitadas.

Por outro lado, este estudo revelou que a altura adequada para as torres deve ser de pelo menos 30 metros, já que, em todos os casos analisados, foi ultrapassado o índice de 68% de visibilidade individual. Por exemplo, o estudo realizado por Nogueira *et al.* (2002), utilizando a mesma altura para instalação de torres em Belo Oriente-MG, alcançou uma visibilidade de 98,3% da área estudada. Da mesma forma, Moreira *et al.* (2020) obtiveram cobertura visual de 71,1% ao utilizar torres de 30 metros em duas Unidades de Conservação no estado de Goiás. Esses resultados destacam a importância de estabelecer torres com altura mínima de 30 metros, garantindo uma cobertura visual mais eficiente, especialmente em áreas com alta vulnerabilidade a incêndios florestais. As três torres

conjuntamente poderiam proporcionar até 94,54% de visibilidade, o que demonstra que alcançar uma cobertura superior a 70% na área de estudo pode ser considerado satisfatório para esse objetivo (Soares; Batista, 2007). Somente 4,07% da área apresentou dificuldade de visualização, sendo possível adotar métodos alternativos de vigilância, como patrulhas terrestres, veículos não tripulados, câmeras e outras tecnologias (Assis *et al.*, 2014).

Além disso, as torres de vigilância podem se beneficiar significativamente do uso de tecnologias emergentes. Por exemplo, o sensoriamento remoto permite o monitoramento em tempo real de grandes extensões de território a partir do espaço, oferecendo às torres dados mais detalhados e abrangentes, melhorando a precisão na detecção precoce de incêndios (Szpakowski; Jensen, 2019). Os drones também podem ser utilizados para sobrevoar áreas específicas de difícil acesso, equipados com câmeras térmicas para detectar focos de calor invisíveis do solo, ajudando na identificação de incêndios subterrâneos (Özel; Alam; Khan, 2024). Adicionalmente, algoritmos de inteligência artificial, como redes neurais profundas ou aprendizado de máquina (Machine Learning), podem analisar dados provenientes de sensores remotos e drones para identificar padrões e prever o comportamento dos incêndios, permitindo que as torres de vigilância tomem decisões mais informadas e rápidas (Giannakidou *et al.*, 2024).

Um aspecto importante a ser considerado é o número e o tipo de torre a ser instalado. Estudos recentes indicam que o custo de construção de uma única torre pode ultrapassar os 46 mil dólares (Ramalho *et al.*, 2023). Esse gasto deve ser avaliado como um investimento estratégico em mitigação de riscos com um alto retorno a longo prazo. A eficácia da proposta reside na sua capacidade de garantir a detecção precoce de focos de incêndio, um fator crucial que reduz drasticamente a escala e a intensidade dos eventos.

É essencial otimizar sua localização por meio do uso de ferramentas de apoio, como os SIG, essas ferramentas possibilitam a análise de fatores críticos, garantindo que as torres sejam posicionadas em locais estratégicos capazes de maximizar sua eficiência e reduzir custos operacionais (Romero Esteban; Clavero Forcén, 2005). Este estudo destaca-se pela aplicação de análises de visibilidade com SIG no PEC, adaptando-as a um contexto urbano tropical semiárido com densa vegetação. Além disso, a pesquisa gera subsídios práticos para políticas de prevenção dos incêndios florestais e gestão ambiental (plano de manejo).

4. CONCLUSÕES

A pesquisa destaca a relevância das ferramentas SIG na otimização da localização de torres de vigilância no PEC, alcançando até 94,54% de cobertura visual com três torres de 30 metros. A análise reforça a necessidade de alturas mínimas para monitoramento eficiente em áreas vulneráveis aos

incêndios florestais, podendo integrar tecnologias como sensoriamento remoto, drones e inteligência artificial para aprimorar a prevenção e resposta a incêndios. Além disso, a implantação das torres gera benefícios socioeconômicos, criando empregos diretos e indiretos na operação, manutenção e gestão de recursos naturais. Contudo, o alto investimento exige planejamento rigoroso, com SIG assegurando a instalação estratégica das torres para maximizar eficiência. Assim, a combinação de infraestrutura física, tecnologias emergentes e gestão espacial planejada é a melhor estratégia para prevenir e controlar incêndios, reduzindo riscos ambientais e fornecendo informações essenciais para o manejo do PEC.

AGRADECIMENTOS

O autor principal agradece à 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 Universidade Federal do Ceará (UFC) e da chamada para a Primeira Edição do Programa de Mobilidade Internacional GCUB 001/2022.

REFERÊNCIAS

- AKAY, A. E.; ERDOĞAN, A. Assessment of fire watch towers by using visibility analysis: the case of Dursunbey, Balıkesir. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NEW HORIZONS IN FORESTRY, 1., 2017, Esparta. **Proceedings...** Esparta: ISFOR, 2017.
- AKAY, A. E.; WING, M.; BÜYÜKSAKALLI, H.; MALKOÇOĞLU, S. Evaluation of fire lookout towers using GIS-based spatial visibility and suitability analyzes. **Sumarski List**, v. 144, n. 5–6, p. 279–288, 2020.
- ANDELA, N.; MORTON, D. C.; CHEN, L. G. Y.; VAN DER WERF, G. R.; KASIBHATLA, P. S.; DEFRIS, R. S.; COLLATZ, G. J.; HANTSON, S.; KLOSTER, S.; BACHELET, D.; FORREST, M.; LASSLOP, G.; LI, F.; MANGEON, S.; MELTON, J. R.; YUE, C.; RANDERSON, J. T. A human-driven decline in global burned area. *Science*, v. 356, n. 6345, p. 1356–1362, 2017.
- ASEFOGA. **Soluciones TIC para prevención y mitigación de incendios**. Asociación Sectorial Forestal Galega. 2024. Disponível em: <https://asefoga.org/wp-content/uploads/2024/07/Manual-sobre-soluciones-TIC-para-prevención-y-mitigación-incendios.pdf>. Acesso em: 25. abr. 2025.
- ASSIS, F. R. V.; MENDONÇA, I. F. C de; DA SILVA, J. E. R.; DE LIMA, J. R. Uso de geotecnologias na locação espacial de torres para detecção de incêndios florestais no semiárido nordestino. **Floresta**, v. 44, n. 1, p. 133–142, 2014.
- BRANCO, K. G. C. **Microclimas e áreas verdes na cidade de Fortaleza - CE**. 2014. 212 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.
- COCHRANE, M. A.; RYAN, K. C. Fire and fire ecology: concepts and principles. In: COCHRANE, M. A. (Org.). **Tropical Fire Ecology**. Berlin: Springer, 2009. p. 25–62.

EUGENIO, F. C.; SANTOS, A. R. dos.; FIEDLER, N. C.; RIBEIRO, G. A.; SILVA, A. G. da.; JUVANHOL, R. S.; SCHETTINO, V. R.; MARCATTI, G. E.; DOMINGUES, G. F.; SANTOS, G. M. A. D. A. do.; PEZZOPANE, J. E. M.; PEDRA, B. D.; BANHOS, A.; MARTINS, L. D. GIS applied to location of fires detection towers in domain area of tropical forest. **Science of the Total Environment**, v. 562, p. 542–549, 2016.

FERREIRA FILHO, J. E.; ARAÚJO, A. C. Análise de ocorrências de incêndios florestais na área do Parque Estadual do Cocó, região metropolitana de Fortaleza, CE. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, n. 3, p. 563–569, 2021.

GIANNAKIDOU, S.; RADOGLU-GRAMMATIKIS, P.; LAGKAS, T.; ARGYRIOU, V.; GOUDOS, S.; MARKAKIS, E. K.; SARIGIANNIDIS, Pa. Leveraging the power of internet of things and artificial intelligence in forest fire prevention, detection, and restoration: **A comprehensive survey. Internet of Things**, v. 26, p. 1-46, 2024.

GÖLTAŞ, M.; DEMIREL, T.; ÇAĞLAYAN, I. Visibility analysis of fire watchtowers using GIS: A case study in Dalaman State Forest Enterprise. **European Journal of Forest Engineering**, v. 3, n. 2, p. 66–71, 2017.

HERNÁNDEZ-HOSTALLER, N. Evaluación de tecnologías de sensores para la detección temprana de incendios forestales. **Revista Tecnología en Marcha**, v. 29, n. 4, p. 123, 2017.

JAISWAL, R. K.; MUKHERJEE, S.; RAJU, K. D.; SAXENA, R. Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 4, n. 1, p. 1–10, 2002.

LIMA, G. S.; TORRES, F. T. P.; COSTA, A. da G.; FÉLIX, G. de A. SILVA JÚNIOR, M. R. da. Avaliação da eficiência de combate aos incêndios florestais em unidades de conservação brasileiras. **Floresta**, v. 48, n. 1, p. 113-122, 2018.

MOREIRA, P. A. G.; MENDES, T. A.; DOS SANTOS, D. F. Avaliação de locais potenciais para instalação de torres de observação para prevenção de risco de incêndios florestais. **Ciência Florestal**, v. 30, n. 4, p. 1266–1282, 2020.

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

NOGUEIRA, G. S.; RIBEIRO, G. A.; RIBEIRO, C. A. A. S.; SILVA, E. P. Escolha de locais para instalação de torres de detecção de incêndio com auxílio do SIG. **Revista Árvore**, v. 26, n. 3, p. 363–369, 2002.

ÖZEL, B.; ALAM, M. S.; KHAN, M. U. Review of modern forest fire detection techniques: Innovations in image processing and deep learning. **Information**, v. 15, n. 9, p. 1-32, 2024.

PASQUINI, B. **Plano de manejo do Parque Estadual do Cocó**. Fortaleza, 2020. Disponível em: https://www.sema.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/36/2021/03/PMPC_01.pdf. Acesso em: 25 abr. 2025.

PEREA-ARDILA, M. A. Identificação de áreas prioritárias para proteção contra incêndios florestais no parque estadual do cocó, Fortaleza, Brasil. **Geoconexões**, v. 3, n. 20, p. 5–22, 2024.

PEREA-ARDILA, M. A.; MUÑOZ, S. I. Caracterização de uma nova queimada utilizando sensoriamento remoto do Parque Estadual do Cocó, Região Metropolitana de Fortaleza/CE, Brasil. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 14, n. 1, p. 858–869, 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.

RAGNER, F.; ASSIS, V. de; LIMA, J. R. de. Uso de geotecnologias na locação espacial de torres para detecção de incêndios florestais no semiárido nordestino. **Floresta**, v. 44, n. 1, p. 133–142, 2014.

RAMALHO, A. H. C.; FIEDLER, N. C.; SANTOS, A. R. dos; JUVANHOL, R. S.; PELÚZIO, T. M. DE O.; DIAS, H. M.; PEREIRA, R. S.; MAFFIOLETTI, F. D.; ARAÚJO, J. S.; ARAGÃO, M. de A.; GUANAES, G. M. da S.; BIAZATTI, L. D.; LUCAS, F. M. F. Optimal allocation model of forest fire detection towers in protected areas based on fire occurrence risk: Where and how to act? **Canadian Journal of Forest Research**, v. 54, n. 1, p. 68–82, 2023.

ROMERO ESTEBAN, A. M.; CLAVERO FORCÉN, M. A. Estudio de los puestos fijos de vigilancia contra incendios forestales en la comunidad autónoma de Aragón. aplicación a la zona de sobrepuerto (huesca). In: CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL. 4., 2005. Zaragoza. **Anais...** Zaragoza: 2005.

SILVESTRINI, S. A.; SOARES-FILHO, B. S.; NEPSTAD, D.; COE, M.; RODRIGUES, H.; ASSUNÇÃO, R. Simulating fire regimes in the Amazon in response to climate change and deforestation. **Ecological Applications**, v. 21, n. 5, p. 1573–1590, 2011.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. **Incêndios florestais: controle, efeitos e uso do fogo**. Curitiba: Curitiba, 2007. 250p.

SZPAKOWSKI, D.; JENSEN, J. A review of the applications of remote sensing in fire ecology. **Remote Sensing**, v. 11, n. 22, p. 1–31, 2019.

UNEP. **Spreading like Wildfire: The Rising Threat of Extraordinary Landscape Fires**. A UNEP Rapid Response Assessment. Nairobi: United Nations Environment Programme, 2022. 126p.

VENTURI, N. L.; ANTUNES, A. F. B. Determinação de locais ótimos para implantação de torres de vigilância para detecção de incêndios florestais por meio de sistema de informações geográficas. **Floresta**, v. 37, n. 2, p. 159–173, 2007.