



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

HARYAN LIMA DE TRENTO

**GRAU DE INFLAMABILIDADE, ZONEAMENTO E MANEJO DA VEGETAÇÃO
EM BREJO PALUDOSO NO PARQUE ESTADUAL DO COCÓ**
Implicações ecológicas e estratégias de mitigação de incêndios

FORTALEZA

2025

HARYAN LIMA DE TRENTO

GRAU DE INFLAMABILIDADE, ZONEAMENTO E MANEJO DA VEGETAÇÃO EM
UM BREJO PALUDOSO NO PARQUE ESTADUAL DO COCÓ

Implicações ecológicas e estratégias de mitigação de incêndios

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Ciências Biológicas (Bacharelado)
da Universidade Federal do Ceará, como
requisito parcial para a obtenção do grau de
Bacharel em Ciências Biológicas. Orientadora:
Prof^ª. Dr^ª. Roberta Boscaini Zandavalli.

FORTALEZA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

T729g Trento, Haryan Lima de.
Grau de inflamabilidade, zoneamento e manejo da vegetação em brejo paludoso no Parque Estadual do Cocó : implicações ecológicas e estratégias de mitigação de incêndios / Haryan Lima de Trento. – 2025.
54 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Curso de Ciências Biológicas, Fortaleza, 2025.
Orientação: Profa. Dra. Roberta Boscaini Zandavalli.

1. Ecologia. 2. Vegetação. 3. Restauração. 4. Inflamabilidade. 5. Áreas alagadas. I. Título.
CDD 570

HARYAN LIMA DE TRENTO

GRAU DE INFLAMABILIDADE, ZONEAMENTO E MANEJO DA VEGETAÇÃO EM
BREJO PALUDOSO NO PARQUE ESTADUAL DO COCÓ
Implicações ecológicas e estratégias de mitigação de incêndios

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Ciências Biológicas,
da Universidade Federal do Ceará, como
requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Ciências Biológicas.

Aprovado em: 09/01/2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr^ª. Selma Freire de Brito
Universidade Federal do Ceará

M.^a Andreza Maciel Rocha
Universidade Federal do Ceará

Prof^ª. Dr^ª. Roberta Boscaini Zandavalli. (orientadora)
Universidade Federal do Ceará

À minha mãe, Irlene Bezerra e ao meu padrasto, Antonio Jocélio.

AGRADECIMENTOS

Aos meus amigos, agradeço pela presença constante, pelo apoio, pelas trocas e por tornarem essa caminhada mais humana e possível.

Às políticas de ações afirmativas, em especial ao sistema de cotas, manifesto minha profunda gratidão. Sou filho das cotas, formado integralmente na escola pública, racializado de pele clara, cuja trajetória foi atravessada por desigualdades estruturais. Essas políticas foram fundamentais para que eu pudesse acessar e concluir minha formação na universidade pública.

À Universidade Federal do Ceará (UFC) e ao Curso de Ciências Biológicas, agradeço pela formação acadêmica, científica e crítica que me foi proporcionada ao longo da graduação.

A todas as professoras e a todos os professores da Universidade Federal do Ceará (UFC), em especial do Curso de Ciências Biológicas, agradeço pela dedicação à docência, pela produção e compartilhamento de conhecimento e pela contribuição fundamental para a minha formação acadêmica, científica e humana. Os ensinamentos, as orientações e os exemplos construídos ao longo da graduação foram essenciais para o desenvolvimento do pensamento crítico e para a consolidação da minha trajetória na universidade pública.

À assistência estudantil, agradeço por viabilizar minha permanência na universidade, oferecendo condições materiais essenciais para que a trajetória acadêmica fosse possível.

Ao Restaurante Universitário, expresso minha gratidão por contribuir diretamente para minha permanência e bem-estar, sendo parte indispensável da construção de uma educação pública de qualidade.

À minha mãe, Irilene Bezerra de Lima, ao meu padrasto, Antônio Jocélio de Mesquita do Nascimento, e à minha irmã, Haryane de Lima Mesquita, agradeço por todo o apoio, cuidado, incentivo e amor, fundamentais em cada etapa dessa caminhada.

Agradeço à minha família, tanto aos que estiveram sempre por perto quanto aos que acompanharam à distância, pelo apoio constante ao longo desta jornada. Cada palavra de

incentivo, gesto de cuidado e demonstração de confiança foi fundamental para que eu seguisse em frente.

Ao Laboratório de Ecologia e Anatomia Funcional (LEAF), agradeço por ter sido o espaço das minhas primeiras vivências laboratoriais, da iniciação à docência e do aprendizado em anatomia e fisiologia vegetal.

Ao Laboratório de Interações Vegetais, agradeço pelo aprofundamento na ecologia, pelo envolvimento em projetos de pesquisa, pelo desenvolvimento de trabalhos acadêmicos e pela construção deste Trabalho de Conclusão de Curso.

Ao Parque do Cocó, agradeço por ceder o espaço para a realização desta pesquisa, por autorizar e acompanhar os trabalhos de campo e por viabilizar o desenvolvimento das atividades necessárias à execução deste estudo. O apoio institucional e a abertura para a pesquisa científica foram fundamentais para a construção deste trabalho.

Ao Diretório Acadêmico, ao qual dediquei três anos de atuação, agradeço por ter contribuído decisivamente para a formação do meu caráter, por me ensinar convivência, liderança e, sobretudo, a potência da organização coletiva na transformação de vidas.

Ao Diretório Central dos Estudantes (DCE), registro minha gratidão, igualmente marcada pelo aprendizado político, pela construção coletiva e pela defesa da universidade pública.

Aos Conselhos Universitários, em especial ao Conselho de Ensino, Pesquisa e Extensão (CEPE), agradeço pela oportunidade de ter atuado como conselheiro, exercendo a representação estudantil e pautando as demandas da comunidade discente.

A mim, agradeço por não ter desistido, por ter resistido aos desafios e por ter seguido adiante mesmo nos momentos mais difíceis.

À minha orientadora, professora Roberta Boscaini Zandavalli, agradeço pela orientação, pelo apoio constante, pela confiança e pela motivação ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

“Se nesse mundo excludente, elitista, cheio de contrastes, você não tiver uma dose de rebeldia, é porque você se adaptou, se domesticou a esse modelo.” (Padre Júlio Lancelotti)

RESUMO

O Parque Estadual do Cocó, situado na capital do estado do Ceará, em Fortaleza, é o quarto maior parque urbano da América Latina e abriga um mosaico de ambientes naturais associados ao estuário e à planície de inundação do rio Cocó, incluindo manguezais, brejos paludosos, áreas alagáveis sazonais, campos inundáveis e formações de restinga. Inserido em área litorânea, o parque apresenta clima tropical chuvoso, quente e úmido, com chuvas irregulares ao longo do ano e elevados índices de temperatura, insolação e evaporação, o que pode provocar déficit hídrico acentuado. Geoambientalmente, integra a Planície Litorânea, com destaque para a planície flúvio-marinha, que sofre influência da maré até 13 km da foz do rio. Essa região se insere no complexo vegetacional costeiro, caracterizado por elevada heterogeneidade fitoecológica, agregando manguezais, matas de tabuleiro, cerrados costeiros, campos praianos e, particularmente para este estudo, brejos paludosos. Por estar inserido em área urbana, o Parque do Cocó sofre pressão antrópica constante e apresenta recorrência de incêndios, sobretudo nos brejos, ambientes localizados em depressões que podem manter lâmina d'água permanente ou sazonal e abrigam elevada diversidade biológica. No âmbito do projeto Restaura Cocó, o Laboratório de Interações Vegetais (LIVE/UFC) realizou levantamento da vegetação herbácea e testes de inflamabilidade das espécies mais abundantes, visando avaliar o risco de fogo na estação seca. O monitoramento da vegetação ao longo de 12 meses identificou as espécies *Ammannia sp.*, *Typha domingensis*, *Cyperus articulatus* e *Marsilea quadrifolia*, além da espécie arbórea *Annona glabra*. Os testes de inflamabilidade consideraram perda de biomassa, tempo e temperatura de queima, resultando no cálculo do índice de inflamabilidade. *Typha domingensis* e *Cyperus articulatus* apresentaram os maiores índices (1,9 e 2,0, respectivamente) e ocupam cerca de 70% da área do brejo paludoso, enquanto *M. quadrifolia* (1,30) e *A. glabra* (1,20) apresentaram valores inferiores. Os resultados indicam baixa resiliência ao fogo nos brejos do Parque, fornecendo subsídios para estratégias de manejo e prevenção de incêndios através do manejo dos filtros ambientais como o regime hídrico.

Palavras-chave: fogo; inflamabilidade; áreas alagadas.

ABSTRACT

The Cocó State Park, located in Fortaleza, the capital of the state of Ceará, is the fourth largest urban park in Latin America and encompasses a mosaic of natural environments associated with the estuary and floodplain of the Cocó River, including mangroves, marshy swamps, seasonal floodplains, flooded fields, and coastal vegetation formations. Situated in a coastal area, the park has a hot and humid tropical rainy climate, with irregular rainfall throughout the year and high levels of temperature, insolation, and evaporation, which can cause significant water deficits. Geoenvironmentally, it is part of the Coastal Plain, particularly the fluvial-marine plain, which is influenced by the tide up to 13 km from the river mouth. This region is part of the coastal vegetation complex, characterized by high phytoecological heterogeneity, including mangroves, tabuleiro forests, coastal savannas, beach fields, and, particularly for this study, marshy swamps. Located within an urban area, Cocó Park suffers constant anthropogenic pressure and experiences recurring fires, especially in the wetlands, environments situated in depressions that can maintain a permanent or seasonal water surface and harbor high biological diversity. Within the scope of the Restaura Cocó project, the Laboratory of Plant Interactions (LIVE/UFC) conducted a survey of herbaceous vegetation and flammability tests of the most abundant species, aiming to assess the fire risk during the dry season. Monitoring of the vegetation over 12 months identified the species *Ammannia sp.*, *Typha domingensis*, *Cyperus articulatus*, and *Marsilea quadrifolia*, in addition to the tree species *Annona glabra*. The flammability tests considered biomass loss, burning time, and temperature, resulting in the calculation of the flammability index. *Typha domingensis* and *Cyperus articulatus* showed the highest indices (1.9 and 2.0, respectively) and occupy about 70% of the swamp area, while *M. quadrifolia* (1.30) and *A. glabra* (1.20) showed lower values. The results indicate low fire resilience in the swamps of the Park, providing support for fire management and prevention strategies through the management of environmental filters such as the water regime.

Keywords: fire; flammability; wetlands.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Bacias Hidrográficas do município de Fortaleza (Plano Fortaleza 2040).	17
Figura 2 – Salinas no estuário do rio Cocó, Fortaleza (CE), início do século XX. Vista de tanques de evaporação de sal, com presença de edificações e vegetação costeira ao fundo, evidenciando o uso intensivo da planície estuarina para a atividade salineira antes do avanço da urbanização e da criação do atual Parque Estadual do Cocó.	19
Figura 3 – Pluviosidade anual média mensal do município de Fortaleza no ano de 2024.	20
Figura 4 - Delimitação da área do brejo paludoso no Parque Estadual do Cocó, Fortaleza–CE, com indicação do perímetro e da área total	22
Figura 5 - Mapa da delimitação dos bairros pelo qual perpassa o Rio Cocó e seu Parque no município de Fortaleza.	27
Figura 6 – Ensaio de queima da biomassa vegetal conduzido em ambiente controlado, com amostra posicionada sobre balança de precisão protegida por camada cerâmica, permitindo o registro contínuo da perda de massa durante a combustão e a aferição da temperatura máxima por termômetro infravermelho.....	30
Figura 7 – Vista aérea do brejo paludoso do Parque Estadual do Cocó, com a zonação da área de estudo de acordo com a espécie dominante, destacando as áreas de predominância de <i>Typha domingensis</i> e <i>Cyperus articulatus</i> , utilizadas como base para a análise espacial da biomassa e do risco de incêndios.	34
Figura 8 – Termo-higrômetro utilizado em campo, registrando temperatura do ar de 51 °C e umidade relativa de 35% durante o período seco, evidenciando condições microclimáticas favoráveis à ignição e propagação do fogo no brejo paludoso do Parque Estadual do Cocó.	35
Figura 9 – Rebrota de <i>Typha domingensis</i> observada em campo, evidenciando a regeneração vegetativa da espécie após período de estresse ambiental, associada à rápida resposta às primeiras chuvas no Parque Estadual do Cocó.....	45
Figura 10 – Caule rizomatoso de <i>Typha domingensis</i> exposto no solo, apresentando ramificação ativa, e a persistência da espécie em ambientes alagáveis e sazonalmente secos no Parque Estadual do Cocó.	46

Figura 11 – Área de dominância de <i>Typha domingensis</i> no brejo paludoso do Parque Estadual do Cocó, delimitada a partir da análise espacial da vegetação dominante. .	47
Figura 12 – Área de dominância de <i>Cyperus articulatus</i> no brejo paludoso do Parque Estadual do Cocó, delimitada a partir da análise espacial da vegetação dominante.	48
Figura 13 – Esquema de implantação das lagoas artificiais na área de brejo paludoso do Parque Estadual do Cocó, com lagoas de aproximadamente 50 m × 50 m, dispostas lado a lado, circundadas por espécies arbóreas nativas tolerantes ao alagamento.	49

LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 1 - Tempo médio de queima (em segundos) das espécies vegetais avaliadas no brejo paludoso do Parque Estadual do Cocó. As barras representam os valores médios de tempo de combustão para cada espécie, evidenciando diferenças no comportamento ao fogo entre os táxons analisados. 40
- Gráfico 2 - Temperatura média máxima da queima (°C) das espécies vegetais avaliadas no brejo paludoso do Parque Estadual do Cocó. Observa-se maior temperatura média de queima em *Typha domingensis*, seguida por *Cyperus articulatus*, enquanto *Ammania* sp. apresentou os menores valores. 41
- Gráfico 3 - Biomassa média queimada (g) das espécies herbáceas dominantes do brejo paludoso do Parque Estadual do Cocó. As barras representam a biomassa média consumida durante os ensaios de queima para *Ammania* sp., *Annona glabra*, *Cyperus articulatus*, *Marsilea quadrifolia* e *Typha domingensis*. 42
- Gráfico 4 - Índice médio de inflamabilidade das espécies vegetais avaliadas no brejo paludoso do Parque Estadual do Cocó. As barras representam os valores médios do índice de inflamabilidade, calculado a partir da soma dos componentes normalizados de temperatura máxima da queima, tempo de queima e biomassa consumida. As barras de erro indicam a variabilidade dos dados. Letras diferentes acima das colunas indicam diferenças estatisticamente significativas entre as espécies ($p < 0,05$). 43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados obtidos nos ensaios de queima e valor final do grau de inflamabilidade de <i>Typha domingensis</i> , considerando temperatura máxima de queima (MT), tempo de combustão (BT), biomassa queimada (BB) e índice sintético de inflamabilidade.	37
Tabela 2 – Dados obtidos nos ensaios de queima e valor final do grau de inflamabilidade de <i>Cyperus articulatus</i> , considerando temperatura máxima de queima (MT), tempo de combustão (BT), biomassa queimada (BB) e índice sintético de inflamabilidade.	37
Tabela 3 – Dados obtidos nos ensaios de queima e valor final do grau de inflamabilidade de <i>Annona glabra</i> , considerando temperatura máxima de queima (MT), tempo de combustão (BT), biomassa queimada (BB) e índice sintético de inflamabilidade.	38
Tabela 4 – Dados obtidos nos ensaios de queima e valor final do grau de inflamabilidade de <i>Ammannia sp.</i> , considerando temperatura máxima de queima (MT), tempo de combustão (BT), biomassa queimada (BB) e índice sintético de inflamabilidade.	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BB Biomassa queimada (Burned Biomass)

BT Tempo total de combustão (Burning Time)

HP Hydropeaking

MT Temperatura máxima da queima (Maximum Temperature)

sp. Espécie não determinada

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	16.
1.1 Parque Estadual do Cocó.....	17.
1.2 Áreas alagadas.....	20.
1.3 Áreas de brejo.....	21.
1.4 Espécies dominantes	22.
1.5 Inflamabilidade da Vegetação.....	23.
1.6 Biomassa e área foliar	24.
1.7 Objetivos	25.
MATERIAL E MÉTODOS	26.
2.1 Área de estudo	26.
2.2 Grau de inflamabilidade	27.
2.2.1 Coleta e preparação da biomassa	27.
2.2.2 Procedimentos de queima e obtenção das variáveis térmicas	28.
2.2.3 Cálculo do índice de inflamabilidade	30.
2.3 Zoneamento da área do brejo.....	31.
2.4 Levantamento de biomassa por área e área foliar	32.
RESULTADOS E DISCUSSÃO	32.
3.1 Zoneamento da área de brejo.....	32.
3.2 Condições abióticas da área de brejo	35.
3.3 Grau de inflamabilidade da vegetação.....	36.
3.4 Proposta de manejo da vegetação	44.
CONSIDERAÇÕES FINAIS	50.
REFERÊNCIAS	51.

1 INTRODUÇÃO

As áreas úmidas são ecossistemas de elevada importância ecológica, desempenhando funções essenciais na manutenção da biodiversidade, na regulação do regime hidrológico e na provisão de serviços ecossistêmicos, como a retenção de nutrientes, o controle de cheias e a melhoria da qualidade da água (MITSCH; GOSELINK, 2007; XU *et al.*, 2020). No entanto, em contextos urbanos, esses ambientes têm sido historicamente submetidos a intensas pressões antrópicas, incluindo alterações no regime hídrico, impermeabilização do solo, aporte de poluentes e mudanças na estrutura da vegetação, o que compromete sua integridade ecológica.

Entre os diferentes tipos de áreas úmidas, os brejos paludosos sazonais destacam-se por sua dinâmica hidrológica marcada pela alternância entre períodos de alagamento e estiagem. Essa sazonalidade favorece o acúmulo de biomassa vegetal durante a estação chuvosa e seu posterior ressecamento no período seco, criando condições propícias à ocorrência de incêndios, especialmente em áreas urbanas onde o fogo é frequentemente associado a ações antrópicas intencionais (G1 CEARÁ, 2014; DIÁRIO DO NORDESTE, 2021). A recorrência desses eventos pode comprometer a resiliência do ecossistema e intensificar processos de degradação ambiental.

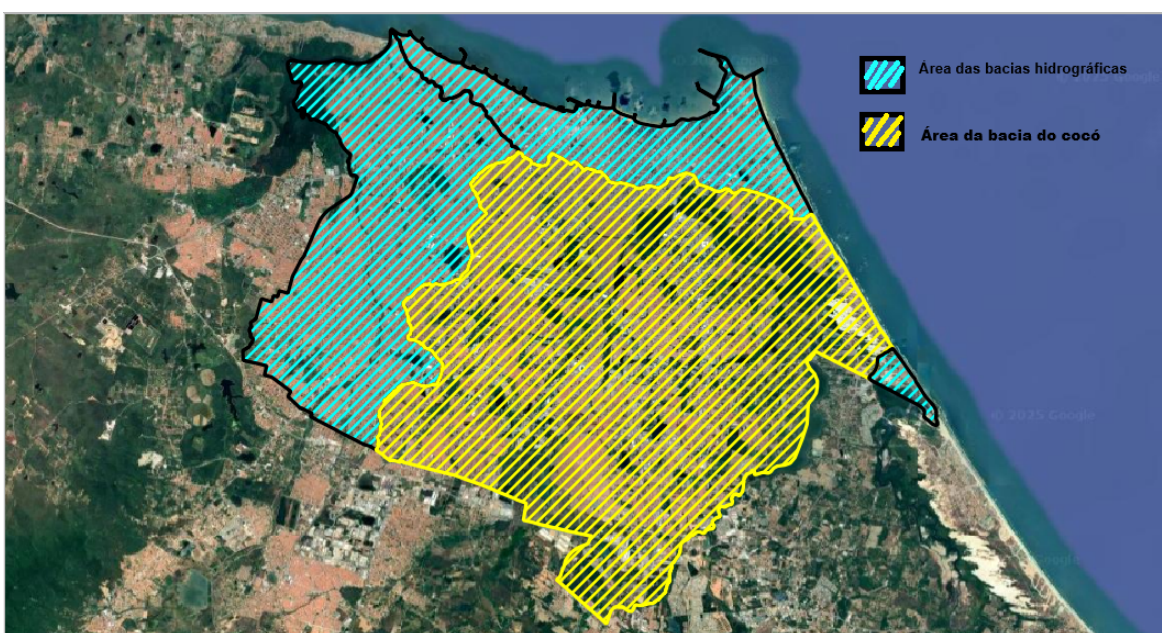
Nesse contexto, a inflamabilidade da vegetação constitui um traço funcional relevante para a compreensão do comportamento do fogo em áreas úmidas sazonais. Espécies dominantes, caracterizadas por rápido crescimento e elevada produção de biomassa, tendem a concentrar grande parte do material combustível disponível, aumentando o risco de ignição e propagação das chamas durante o período seco. A avaliação do potencial inflamável dessas espécies torna-se, portanto, fundamental para subsidiar estratégias de manejo, prevenção de incêndios e restauração ecológica.

O Parque Estadual do Cocó, localizado na Região Metropolitana de Fortaleza, abriga um brejo paludoso sazonal resultante de profundas transformações hidrológicas e geomorfológicas associadas à ocupação urbana e a atividades antrópicas pretéritas. A recorrência de incêndios observada na área evidencia a necessidade de estudos que integrem a estrutura da vegetação, o acúmulo de biomassa e o comportamento térmico das espécies dominantes.

1.1 Parque Estadual do Cocó

A área da bacia do rio Cocó situa-se na porção centro-norte do Estado do Ceará, dentro da Região Metropolitana de Fortaleza (Figura 1). Ela é cortada, no seu comprimento, pelas rodovias estaduais CE – 065 e CE – 040, além da BR - 116. Abrange parte dos municípios de Guaiúba, Pacatuba, Maranguape, Maracanaú, Itaitinga, Eusébio, Aquiraz e Fortaleza.

Figura 1. Mapa de Bacias Hidrográficas do município de Fortaleza (Plano Fortaleza 2040).



Fonte: Prefeitura Municipal de Fortaleza.

Disponível em: <https://mapas.fortaleza.ce.gov.br/mapa/91/bacias-hidrograficas>. Acesso em: 27 nov. 2025.

O rio Cocó encontra-se em área litorânea com clima tropical chuvoso, quente e úmido. As chuvas são bastante irregulares, no tempo e no espaço, ao longo do ano. Temperatura, insolação e índice de evaporação são elevados durante todo o ano, o que costuma provocar um déficit hídrico acentuado (SILVA, 1993). A planície flúvio-marinha destaca-se como a principal unidade geoambiental da região, apresentando influência de maré que se estende por cerca de 13 km a partir da foz (PMF/SEMAM, 2003). Essa região se integra na fitofisionomia do complexo vegetacional costeiro (MORO *et al.*, 2015), uma região fitoecológica bastante complexa por agregar manguezais, matas de tabuleiro, cerrados costeiros e campos praianos, e brejos. A planície faz fronteira em diversos pontos com cordões de dunas florestadas que marcam a segunda principal unidade geoambiental da região. Esse complexo de relações

fitoecológicas forma um ambiente propício para abrigar diversas espécies da biota do Ceará.

Este trabalho ocorreu no Parque Estadual do Cocó, que foi oficialmente criado como Unidade de Conservação de Proteção Integral pelo Decreto Estadual nº 32.248 de 07 de junho de 2017, em uma região que outrora fora um mangue à beira do Rio Cocó, a sudoeste do bairro conhecido como “Cidade 2000”. Esse mesmo rio foi dragado e teve seu curso retificado por volta de 1958 a 1969, período em que ocorreu o funcionamento da salina e de maior devastação do local, muitos dos antigos percursos do rio Cocó já foram aterrados, recobertos com construções, sofreram serviços de terraplenagem e dragagem, sem que se disponha de registros fotográficos anteriores à estas intervenções (LEAL, 2009). Noutros, os antigos documentos permitem uma reconstituição da trajetória pretérita do rio.

O processo de degradação do Parque do Cocó já se estende de forma documentada há pelo menos um século, em uma história que se intensifica com a ocupação advinda do êxodo rural, quase um século atrás, por volta de 1930 a 1950 (CASTRO, 1977). A cidade se expandiu às custas da degradação dos recursos naturais formados por rios, lagoas, dunas e manguezais, o que intensificou a transformação da paisagem.

Não há registros do início do estabelecimento das salinas, as imagens mais antigas mostram-nas apenas já estabelecidas, e datam das primeiras décadas do século XX (Figura 2), tanques rasos para a evaporação da água e produção de sal. Para evitar o escoamento de água salgada utilizada na salina para o rio, e a infiltração de água doce do rio na salina, foram criados diques às margens do rio, esses diques permanecem no local até hoje. Nas décadas que sucederam 1970, com o encerramento da atividade econômica no local, os regimes de chuva e acúmulo de matéria orgânica aos poucos reduziram e aprofundaram a salinidade do solo. Foi possível evidenciar que a estrutura de escoamento da atividade econômica salineira gerou uma impermeabilização do solo que impediu o escoamento da água ao lençol freático. Isso associado à planificação do terreno, criou uma depressão artificial do tipo pires, ou “saucer-shaped depressions”, caracterizadas por serem amplas e rasas geralmente associadas a ambientes alagadiços temporariamente inundados. Esses ambientes se destacam por apresentarem terras em planícies rebaixadas, dominadas por solos hídricos; inundadas ou saturadas por água superficial ou subterrânea; e que sustentam apenas vegetação hidrofílica (Balasubramanian, 2011).

Figura 2 – Salinas no estuário do rio Cocó, Fortaleza (CE), início do século XX.

Vista de tanques de evaporação de sal, com presença de edificações e vegetação costeira ao fundo, evidenciando o uso intensivo da planície estuarina para a atividade salineira antes do

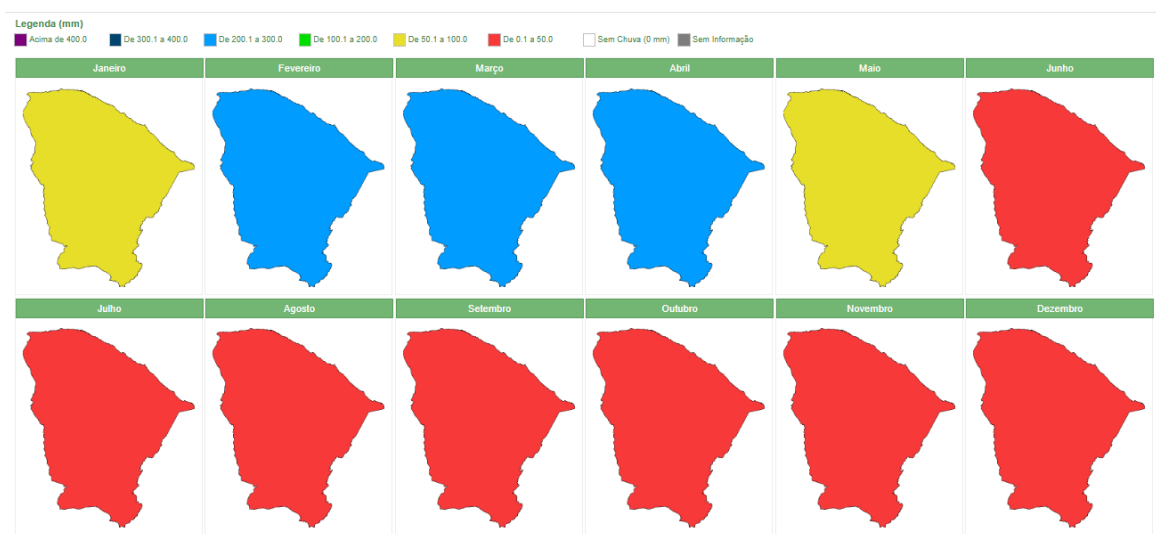
avanço da urbanização e da criação do atual Parque Estadual do Cocó.



Fonte: Biblioteca Nacional do Brasil, Brasileira Fotográfica. Registro histórico de salinas no litoral de Fortaleza (s.d.).

Essas transformações no ambiente resultaram no surgimento de um ambiente brejoso sazonal que surge durante a quadra chuvosa (fevereiro a março), fornecendo recursos hídricos para a fauna e flora local durante o período de cheia e parte do regime de estiagem entre os meses de agosto a novembro (Figura 3) (MOURA *et al.*, 2015).

Figura 3 – pluviosidade anual média mensal do município de Fortaleza no ano de 2024.



Fonte: Dados pluviométricos da FUNCEME (2024).

1.2 Áreas alagadas

Ambientes temporariamente alagados são ecossistemas de elevada importância ecológica, classificados conforme a vegetação associada, a origem e o regime da água, a forma de acúmulo e a frequência de inundação. As áreas úmidas constituem habitats fundamentais que fornecem numerosos serviços ecossistêmicos, incluindo a manutenção da biodiversidade, a atenuação de inundações, a recarga de aquíferos, o controle da erosão, a melhoria da qualidade da água e a retenção de nutrientes em excesso, contribuindo para a prevenção da eutrofização (MITSCH; GOSSELINK, 2007; BARBIER *et al.*, 2011; XU *et al.*, 2020). Em ambientes urbanos, esses ecossistemas desempenham ainda papel relevante como filtros naturais de poluentes de origem antrópica, embora estejam submetidos a pressões crescentes, o que torna sua conservação e restauração, estratégias urgentes para a mitigação de impactos ambientais e a preservação da diversidade biológica.

Essas áreas são influenciadas por processos naturais e antrópicos, como a liberação de efluentes domésticos, alagamentos periódicos, erosão, impermeabilização do solo e contaminação das áreas adjacentes. Alterações no regime hídrico podem comprometer a capacidade de armazenamento de água e a retenção de sedimentos, resultando em impactos negativos sobre a qualidade da água em trechos a jusante (BULLOCK; ACREMAN, 2003).

Do ponto de vista geomorfológico, as áreas úmidas frequentemente se desenvolvem em lençóis rasos com formato de bacia ou depressão, cuja dinâmica superficial varia em função das entradas de água — como precipitação e escoamento superficial — e das perdas

por evaporação, transpiração e infiltração profunda (MITSCH; GOSSELINK, 2007). As condições hidrológicas constituem o principal fator estruturante desses ecossistemas, influenciando diretamente variáveis abióticas como salinidade, disponibilidade de oxigênio no solo e oferta de nutrientes, que, por sua vez, condicionam a composição, a estrutura e a produtividade da vegetação, bem como a diversidade da fauna associada (BULLOCK; ACREMAN, 2003; GOSSELINK, 2007). Alterações no regime hidrológico, na profundidade da lâmina d'água e na frequência de inundação afetam processos como o acúmulo de matéria orgânica, a ciclagem de nutrientes e a disponibilidade de recursos para organismos aquáticos e terrestres. A literatura recente reforça que mudanças na hidrologia natural e no uso do solo comprometem a integridade ecológica das áreas úmidas, resultando em perdas de biodiversidade e de serviços ecossistêmicos em escala local e global (CHAKRABORTY *et al.*, 2023).

1.3 Áreas de brejo

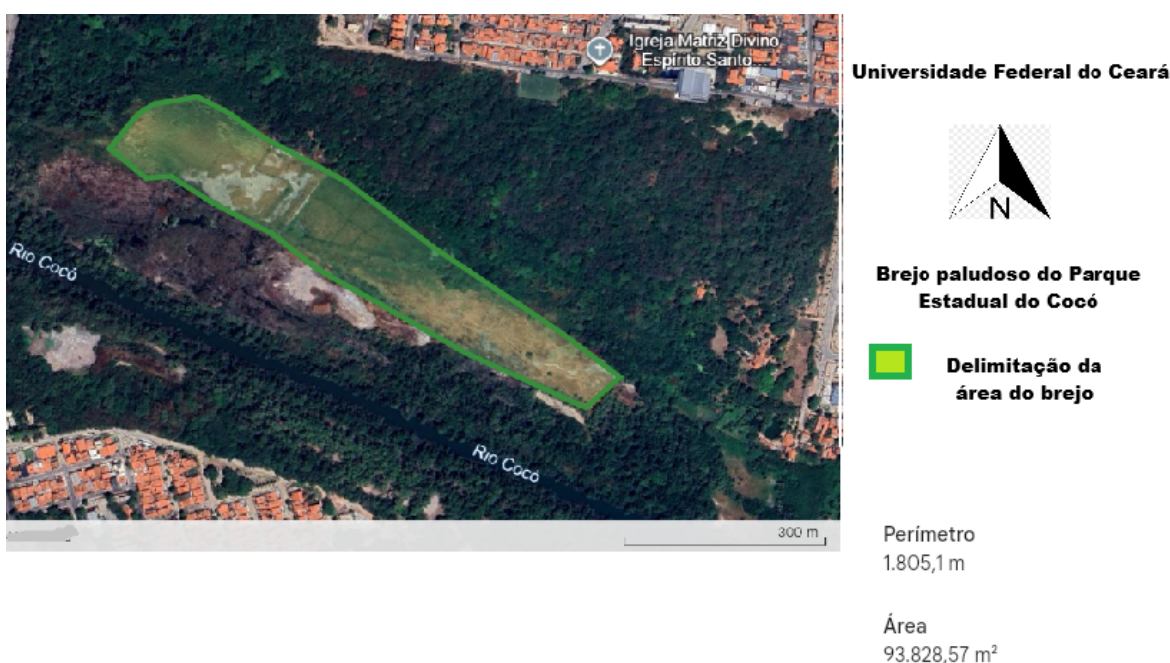
Os brejos constituem um subtipo de áreas úmidas localizadas em depressões do relevo, podendo manter lâmina d'água permanente ou sazonal, e são reconhecidos por abrigar elevada diversidade de invertebrados e vertebrados. Além de seu papel na manutenção da biodiversidade, esses ambientes desempenham funções biogeoquímicas relevantes, atuando como importantes reservatórios de carbono orgânico, que podem concentrar entre 20 e 25% do carbono presente nos solos globais (GILL *et al.*, 2022).

Do ponto de vista geomorfológico, essas áreas úmidas frequentemente se desenvolvem em depressões do relevo, assumindo formas que influenciam a retenção de água e a dinâmica hidrológica local. Ambientes em formato de “prato” tendem a ser temporários, com ampla exposição de solo à medida que a água diminui, enquanto aqueles em formato de “tigela” geralmente mantêm água por períodos mais longos, mesmo diante de pequenas variações de nível. Nessas condições, as áreas úmidas permanecem inundadas ou saturadas dentro da zona radicular durante grande parte da estação de crescimento, favorecendo o desenvolvimento de hidrófitas e a formação de solos hídricos, com implicações diretas na disponibilidade de recursos para comunidades biológicas e na ciclagem de nutrientes.

No brejo paludoso do Parque Estadual do Cocó (Figura 4), a lâmina d'água se mantém predominantemente durante a estação chuvosa, enquanto, no período seco, ocorre a perda significativa de umidade, resultando no acúmulo de grande quantidade de biomassa vegetal seca. A vegetação paludosa, majoritariamente herbácea, pode ultrapassar dois metros de altura

e, quando seca, tem sido historicamente alvo de incêndios criminosos recorrentes, com registros que se estendem por mais de uma década (G1 CEARÁ, 2014). Com o retorno das chuvas, a matéria orgânica acumulada entra em decomposição e as espécies vegetais dotadas de rizomas subterrâneos apresentam rápida regeneração, renovando o estoque de biomassa e, consequentemente, o potencial inflamável do ambiente. Esse ciclo sazonal contribui para a recorrência dos incêndios ilegais, evidenciando a necessidade de compreender os fatores ecológicos que influenciam a inflamabilidade da vegetação nesses ecossistemas.

Figura 4 - Delimitação da área do brejo paludoso no Parque Estadual do Cocó, Fortaleza–CE, com indicação do perímetro e da área total.



Fonte: Elaboração própria, a partir de imagem de satélite do Google Earth (2025).

1.4 Espécies dominantes

Entre as espécies dominantes do brejo do Parque Estadual do Cocó, destacam-se *Typha domingensis* Pers. (junco) e *Cyperus articulatus* L. (capim-do-brejo), ambas herbáceas aquáticas ou semi-aquáticas, amplamente associadas a ambientes sazonalmente alagados. Essas espécies apresentam adaptações morfofisiológicas, como a presença de aerênquima e sistemas radiculares rizomatosos, que permitem a sobrevivência tanto sob condições de alagamento prolongado quanto durante períodos de seca (BALADRÓN *et al.*, 2023).

Nessas espécies, os rizomas subterrâneos asseguram a manutenção de tecidos vivos mesmo após a senescência das partes aéreas, favorecendo a rápida regeneração da vegetação com o retorno das condições hídricas favoráveis. Essa estratégia funcional contribui para sua persistência e dominância no ambiente, bem como para o acúmulo recorrente de biomassa aérea ao longo dos ciclos hidrológicos. Em contextos de estresse ambiental, como períodos de estiagem prolongada, esse acúmulo de biomassa aérea pode aumentar a disponibilidade de material combustível fino, influenciando diretamente a inflamabilidade da vegetação e o comportamento do fogo em áreas úmidas degradadas (FAUSS *et al.*, 2025).

1.5 Inflamabilidade da vegetação

Apesar de muitos autores definirem, de maneira ampla, a inflamabilidade como a capacidade de queimar, ainda não existe uma definição operacional consensual. A inflamabilidade é um traço funcional complexo, composto por vários elementos cuja combinação e interpretação diferem entre autores e disciplinas, sendo cada vez mais reconhecida como resultado da interação entre atributos morfológicos, fisiológicos e estruturais das plantas (ANDERSON, 1970; MARTIN *et al.*, 1994; HOGENBIRK; SERRAZIN-DELAY, 1995; GILL; ZYLSTRA, 2005; JIAN *et al.*, 2024).

A compreensão atual indica que a inflamabilidade é composta por quatro elementos principais. O primeiro é a ignitabilidade, que expressa a facilidade com que um combustível pode iniciar a combustão. Em seguida, a sustentabilidade refere-se ao tempo durante o qual a queima consegue se manter. O terceiro elemento é a combustibilidade, relacionada à rapidez com que o material queima, enquanto a consumibilidade diz respeito à proporção do material que é efetivamente consumida pelo fogo. A importância relativa de cada um desses componentes na análise da inflamabilidade, bem como a forma como são mensurados, varia consideravelmente em função dos objetivos e da escala do experimento adotado (ANDERSON, 1970; MARTIN *et al.*, 1994; HOGENBIRK; SERRAZIN-DELAY, 1995; GILL; ZYLSTRA, 2005).

Poucos estudos sobre inflamabilidade foram realizados com materiais vegetais em condições controladas. Entre eles, destacam-se as análises conduzidas por Stephens *et al.* (1994), que avaliaram o comportamento da queima em zimbros maduros (*Juniperus communis*) secos ao ar, utilizando uma mesa de queima. Também se insere nesse contexto o trabalho de Etlinger e Beall (2004), que investigou seis espécies vegetais por meio de um calorímetro de biomassa. Em ambos os casos, os estudos não contemplaram medições diretas

de ignitabilidade, concentrando-se na avaliação da combustibilidade a partir de variáveis como o calor emitido durante a queima, a taxa de perda de massa e a taxa de liberação de calor, esta última apontada por Martin *et al.* (1994) como a principal variável nas análises do comportamento do fogo.

No presente estudo, adotou-se como referência a abordagem proposta por Jaureguiberry *et al.* (2011), que considera três componentes do comportamento térmico da vegetação: temperatura máxima da queima (MT), tempo de queima (BT) e biomassa consumida (BB). Esse método foi utilizado como base para a adaptação do protocolo adotado neste trabalho, por se tratar de uma das poucas propostas que incorporam, ainda que indiretamente, aspectos relacionados à ignitabilidade do material vegetal. A escolha desse modelo analítico mostrou-se particularmente adequada às características da flora local, uma vez que a heterogeneidade morfológica entre as diferentes espécies vegetais do brejo — sobretudo entre ervas emergentes e plantas de porte maior — inviabiliza métodos baseados apenas na área foliar queimada, como adotado em outros trabalhos. Assim, o uso da biomassa foliar como parâmetro central permitiu abranger de maneira mais fiel às diferenças estruturais entre os hábitos vegetativos presentes na área de estudo.

Haja vista a recorrência dos incêndios criminosos que ocorrem no parque a mais de uma década, este estudo buscou identificar as espécies mais sensíveis a esses eventos de piromania, a fim de realizar o manejo das mesmas na intenção de aumentar a resiliência do parque e possibilitar sua restauração a longo prazo.

1.6 Biomassa e área foliar

A biomassa vegetal e a área foliar são características estruturais essenciais para a compreensão do funcionamento ecológico de áreas úmidas, uma vez que refletem diretamente a produtividade primária, a capacidade de interceptação de luz, a transpiração e a ciclagem de nutrientes nesses sistemas (MITSCH; GOSSELINK, 2007; XU *et al.*, 2020). Em brejos paludosos, em especial aqueles submetidos a pressões antrópicas e inseridos em contextos urbanos, a distribuição da biomassa e da área foliar tende a expressar padrões de dominância ecológica. Isso ocorre porque intervenções humanas, como alteração da topografia do solo, drenagens parciais, aporte excessivo de nutrientes e mudanças no regime hidrológico natural, atuam como filtros ambientais que reduzem a diversidade do ambiente e limitam o estabelecimento de espécies menos tolerantes a variações hidrológicas e a distúrbios frequentes. Nestas condições, as espécies com estratégias morfofisiológicas adaptadas à

alternância entre alagamento e seca, elevada plasticidade fenotípica e rápido crescimento vegetativo passam a concentrar grande parte da biomassa aérea e da área foliar, resultando em comunidades simplificadas e fortemente dominadas (BULLOCK; ACREMAN, 2003; MORO *et al.*, 2015).

Espécies emergentes como *Typha domingensis* e *Cyperus articulatus* apresentam elevada plasticidade morfofisiológica, rápido crescimento e alta capacidade de acumular biomassa aérea, características que favorecem sua expansão em ambientes alagados sujeitos a variações sazonais da lâmina d'água e ao enriquecimento nutricional (BANSAL *et al.*, 2019; CORRÊA *et al.*, 2017). A elevada produção de biomassa e a grande extensão da área foliar dessas espécies promovem; sombreamento do substrato; maiores taxas de transpiração, que que influenciam no consumo do recurso hídrico; redução da diversidade vegetal e consolidação de comunidades estruturalmente homogêneas, frequentemente observadas em áreas alagadas antropizadas (LARKIN *et al.*, 2012; BARBIER *et al.*, 2011).

Desta forma, a biomassa aérea e a área foliar assumem papel central na avaliação do potencial inflamável de brejos sazonais. Durante o período seco, a redução da lâmina d'água favorece o ressecamento do material vegetal acumulado, transformando a biomassa aérea em combustível disponível e aumentando a susceptibilidade do sistema ao fogo (JAUREGUIBERRY *et al.*, 2011; GILL *et al.*, 2022). Em ambientes com dominância de macrófitas emergentes, esse acúmulo tende a ser mais expressivo, intensificando o risco de ignição e propagação das chamas, sobretudo quando associado a condições microclimáticas extremas, como altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar (MOURA *et al.*, 2015; XU; ZHANG; XIE *et al.*, 2020).

1.7 Objetivos

Diante da relevância ecológica do brejo e do risco de incêndios de caráter periódico anual, este estudo teve como objetivo, avaliar o grau de inflamabilidade das espécies dominantes, realizar o zoneamento das espécies com maior potencial de risco e propor estratégias de manejo e restauração, visando mitigar incêndios e conservar o ecossistema. Essa área do Parque Estadual do Cocó vem recebendo crescentes pressões humanas, tornando sua restauração uma estratégia urgente para mitigar impactos e recuperar a diversidade biológica.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área de estudo corresponde a um brejo paludoso localizado no interior do Parque Estadual do Cocó, município de Fortaleza, Ceará, inserido na planície flúvio-marinha do rio Cocó. O brejo encontra-se em uma depressão topográfica sujeita à influência do regime hidrológico sazonal, com manutenção de lâmina d'água permanente em alguns setores e alagamento temporário em outros, especialmente durante a estação chuvosa.

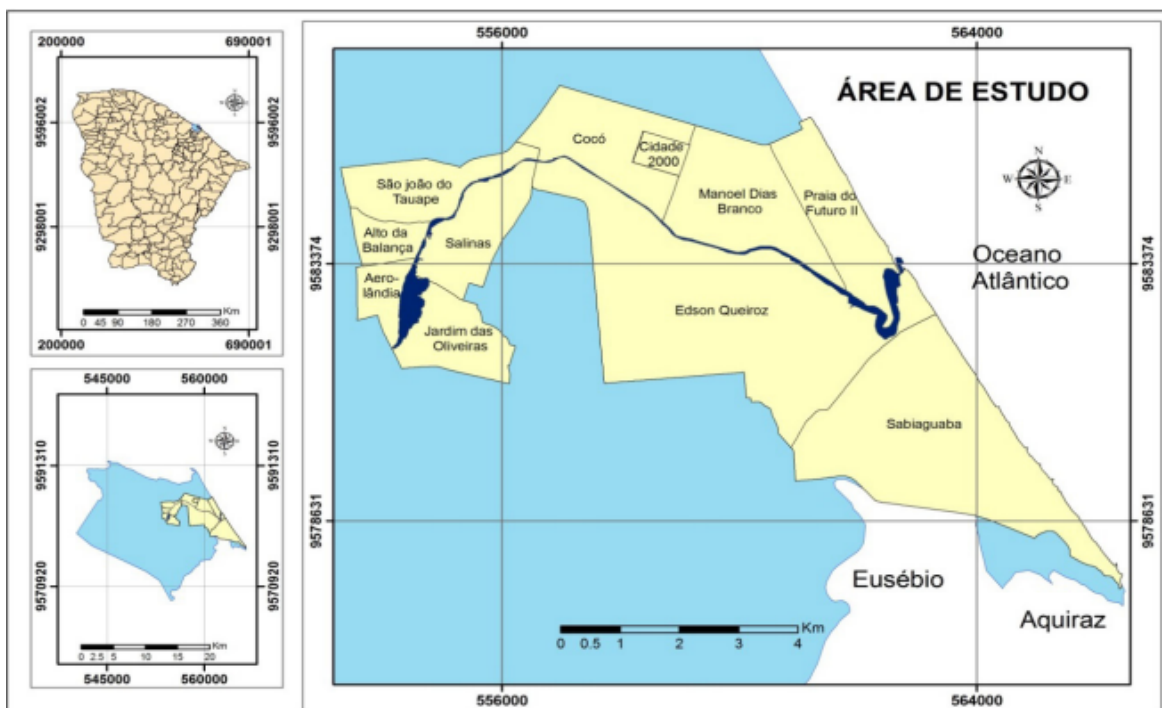
O clima da região é tropical quente, com elevada insolação e temperaturas médias elevadas ao longo do ano, além de precipitação irregular, concentrada principalmente entre os meses de fevereiro e maio. Durante a estação seca, a redução da lâmina d'água, associada a altas taxas de evaporação, favorece o ressecamento do material vegetal superficial e do solo orgânico, criando condições propícias à ocorrência e propagação de incêndios criminosos.

Os solos do brejo apresentam elevado teor de matéria orgânica, com presença de sedimentos finos e acúmulo de biomassa vegetal em diferentes estágios de decomposição, o que contribui para a formação de substratos potencialmente combustíveis durante períodos de estiagem prolongada. A vegetação é dominada por espécies herbáceas emergentes, principalmente *Typha domingensis* e *Cyperus articulatus*, que formam extensos maciços monoespecíficos, intercalados por trechos alagados sem vegetação emergente.

O entorno imediato da área de estudo é fortemente urbanizado, com a presença de vias de acesso, áreas residenciais e circulação frequente de pessoas, fatores que intensificam as pressões antrópicas sobre o brejo. Esse contexto urbano, aliado ao histórico recorrente de incêndios criminosos no Parque Estadual do Cocó, aumenta a vulnerabilidade da área à ocorrência de eventos de fogo, sobretudo durante o período seco, quando as condições microclimáticas e estruturais da vegetação favorecem a ignição.

A delimitação da área de estudo e o reconhecimento das principais feições ambientais foram realizados a partir da análise de imagens de satélite do Google Earth (Figura 5), utilizadas em sua forma original para identificação dos limites aproximados do brejo e planejamento das atividades de campo, complementadas por visitas sistemáticas in loco para observação direta da vegetação, do solo e da lâmina d'água.

Figura 5 - mapa da delimitação dos bairros pelo qual perpassa o Rio Cocó e seu Parque no município de Fortaleza.



Fonte: Freires *et al.* (2013).

2.2 Grau de inflamabilidade

2.2.1 Coleta e preparação da biomassa

As coletas de material vegetal foram realizadas por meio de amostragem sistemática em parcelas distribuídas ao longo do brejo sazonal, de modo a representar a variabilidade estrutural e hidrológica do ambiente. As parcelas contemplaram tanto áreas de margem, caracterizadas por menor saturação hídrica, quanto trechos alagados, quando presentes no momento da coleta. As campanhas de campo ocorreram ao longo de diferentes períodos do ano, incluindo datas registradas em 06/06/2024, 08/08/2024, 27/09/2024, 28/11/2024, 23/01/2025 e 04/04/2025, abrangendo a transição para a estação seca (agosto–setembro), a estação seca (outubro–dezembro) e períodos subsequentes, permitindo avaliar o comportamento da vegetação sob distintas condições hidrológicas sazonais.

Nos mesmos pontos de coleta na vegetação da área do brejo, foram observadas as variáveis abióticas, para a profundidade do corpo hídrico utilizou-se um bastão graduado, colocado diretamente ao longo dos transectos estabelecidos no brejo. Aliado a isso, as

condições microclimáticas da área foram avaliadas por meio de medições in loco com termo-higrômetros digitais portáteis. Os registros foram realizados durante cinco dias consecutivos na primeira semana de dezembro, período correspondente à fase de estiagem local, sempre ao meio-dia e sob máxima insolação, a fim de padronizar as medições e representar o cenário de maior estresse térmico para a vegetação. Os equipamentos foram posicionados em área aberta do brejo, expostos diretamente à radiação solar, buscando caracterizar o microclima ao qual a biomassa vegetal estava submetida durante o período seco.

Em cada campanha, ao longo de um transecto previamente definido no brejo, foram demarcadas dez linhas perpendiculares ao caminho principal, sendo cinco à direita e cinco à esquerda, espaçadas entre si por 5 m. Em cada linha foram estabelecidos dois pontos de amostragem: um localizado na margem do brejo e outro a 10 m de distância em direção ao interior da área alagada. Em cada ponto, foi delimitada uma parcela de 1 m × 1 m, na qual toda a biomassa vegetal aérea foi coletada integralmente. O material coletado foi identificado ainda em campo e posteriormente encaminhado ao laboratório.

No laboratório, a biomassa coletada foi separada por espécie, submetida à limpeza do material e seca em estufa até peso constante, sendo então pesada em balança de precisão, permitindo a obtenção da biomassa seca por espécie e por unidade de área. Esse procedimento possibilitou a estimativa do estoque de biomassa das espécies dominantes do brejo.

Dentre as espécies herbáceas coletadas, foram selecionadas as mais representativas para os ensaios de inflamabilidade, são elas: *Ammannia sp.*, *Annona glabra* L. (araticum-do-brejo), *Cyperus articulatus* L., *Marsilea quadrifolia* L. (trevo-d'água) e *Typha domingensis* Pers. Com o objetivo de possibilitar a comparação entre espécies com arquiteturas vegetativas contrastantes, adotou-se um protocolo baseado na biomassa foliar seca, evitando métricas dependentes exclusivamente de área foliar, consideradas inadequadas para morfologias distintas. Para isso, foram padronizadas amostras contendo 10 g de material vegetal seco de cada espécie, submetidas à secagem em estufa a 65 °C por 48 horas, garantindo a remoção completa da umidade antes dos ensaios de inflamabilidade.

2.2.2 Procedimentos de queima e obtenção das variáveis térmicas

Os parâmetros adotados neste estudo estabelecem correspondência direta com os componentes clássicos da inflamabilidade descritos na literatura. O tempo total de combustão (BT) representa a sustentabilidade da queima, enquanto a temperatura máxima registrada

(MT) expressa a combustibilidade do material vegetal, associada à intensidade do fogo. A biomassa queimada (BB), por sua vez, reflete a consumibilidade, indicando a proporção do material efetivamente consumida durante o processo de combustão. Embora a ignitabilidade não tenha sido mensurada de forma direta, sua influência foi considerada de maneira operacional a partir do estabelecimento ou não da combustão sob condições controladas e padronizadas de ignição, conforme proposto por Jaureguiberry *et al.* (2011). Dessa forma, o conjunto de variáveis utilizadas permite uma avaliação integrada do grau de inflamabilidade das espécies estudadas, em consonância com as definições conceituais apresentadas na introdução.

A ignitabilidade, definida como a facilidade com que um combustível inicia a combustão, foi avaliada neste estudo por meio da resposta do material vegetal à aplicação controlada de uma fonte de ignição. O tempo máximo de exposição à chama foi fixado em 10 segundos como critério experimental, com o objetivo de padronizar a avaliação e evitar a superestimação artificial da resposta ao fogo. Tempos curtos e controlados de exposição são amplamente recomendados em estudos de inflamabilidade vegetal, pois permitem discriminar materiais que entram espontaneamente em combustão daqueles que apresentam baixa ignitabilidade, sem forçar a queima por exposição prolongada à fonte de calor (Jaureguiberry *et al.*, 2011). Assim, o limite de 10 segundos foi considerado suficiente para testar a capacidade inicial de ignição da biomassa foliar seca, assegurando que a combustão observada refletisse propriedades intrínsecas do material vegetal.

Para cada espécie avaliada, foram realizadas 10 réplicas independentes, cada uma composta por 10 g de biomassa foliar seca. As amostras foram posicionadas sobre uma balança de precisão, protegida por dupla camada de cerâmica preenchida com areia, permitindo o registro contínuo da perda de massa durante a combustão sem comprometer o equipamento (Figura 6). O tempo total de combustão (BT) foi determinado por meio de gravação em vídeo, possibilitando aferição precisa e posterior conferência. A temperatura máxima da queima (MT) foi obtida com o uso de termômetro infravermelho, cujo visor também foi registrado em vídeo, aumentando a confiabilidade das medições. A biomassa queimada (BB) foi calculada a partir da diferença entre a massa inicial e a massa final do material após a queima.

Figura 6 – Ensaio de queima da biomassa vegetal conduzido em ambiente controlado, com amostra posicionada sobre balança de precisão protegida por camada cerâmica, permitindo o registro contínuo da perda de massa durante a combustão e a aferição da temperatura máxima por termômetro infravermelho.



Fonte: Elaboração própria.

O tempo total de combustão (BT) foi determinado por meio de gravação em vídeo, possibilitando aferição precisa e posterior conferência. A temperatura máxima da queima (MT) foi obtida com o uso de termômetro infravermelho, cujo visor também foi registrado em vídeo, aumentando a confiabilidade das medições. A biomassa queimada (BB) foi calculada a partir da diferença entre a massa inicial e a massa final do material após a queima.

2.2.3 Cálculo do índice de inflamabilidade

Após a obtenção das variáveis, temperatura máxima da queima (MT), tempo de combustão (BT) e biomassa queimada (BB), os dados foram normalizados em uma escala adimensional variando de 0 a 1, dividindo-se cada valor pelo maior valor observado no conjunto total de amostras para o respectivo componente (Jaureguiberry *et al.*, 2011). Esse procedimento elimina diferenças de unidade entre as variáveis e corresponde a uma forma simplificada de normalização do tipo mínima-máxima, na qual o valor mínimo não é

considerado.

Em seguida, os três componentes normalizados foram somados, resultando em um índice sintético de inflamabilidade, com valores variando de 0 a 3, correspondendo, respectivamente, à mínima e à máxima resposta ao fogo observada. Esse índice permitiu a comparação padronizada do grau de inflamabilidade entre as espécies emergentes avaliadas, todas submetidas ao mesmo protocolo experimental.

2.3 Zoneamento da área do brejo

O zoneamento da área de estudo foi realizado a partir da dominância das espécies emergentes presentes no brejo paludoso do Parque Estadual do Cocó. A área total do brejo foi delimitada e subdividida de acordo com a ocupação espacial das espécies dominantes, desta maneira foi possível a identificação das zonas caracterizadas pela predominância de *Typha domingensis* e *Cyperus articulatus*.

A delimitação das áreas e a quantificação da ocupação espacial de cada espécie foram realizadas a partir da visualização de imagens de satélite de alta resolução, obtidas por meio do software Google Earth que permite dentro de sua interface a delimitação de polígonos no mapa e realizam o cálculo de seu perímetro e área, associada à verificação em campo. uma vez mensuradas as áreas dominadas por cada espécie, tornou-se possível a estimativa da proporção do brejo ocupada por *T. domingensis* e *C. articulatus*.

A integração entre as observações diretas, as imagens de satélite e os registros fotográficos de campo permitiu construir uma descrição detalhada da área, subsidiando as análises posteriores de zonamento, caracterização ambiental e avaliação da dinâmica ecológica do brejo.

Esse zoneamento foi utilizado como base para a extrapolação dos dados de biomassa seca e área foliar, assim como para a análise da relação entre a distribuição espacial das espécies dominantes e os resultados obtidos nos ensaios de inflamabilidade, permitindo avaliar o acúmulo de material combustível nas diferentes zonas do brejo e mapear as áreas mais vulneráveis a fogo, para assim elaborar estratégias de manejo e mitigação do risco de incêndios.

2.4 Levantamento de biomassa por área e área foliar

A relação entre biomassa e área foliar de *Typha domingensis* e *Cyperus articulatus* foi medida a fim de se quantificar a biomassa seca com potencial inflamável na zona de dominância dessas espécies, sendo obtida a partir da coleta das folhas completamente expandidas de dez indivíduos selecionados aleatoriamente em campo para cada espécie, sendo a área foliar medida diretamente durante a coleta em campo utilizando uma fita métrica, com o registro individual dos valores para cada amostra coletada; após a mensuração, as folhas foram separadas, identificadas e acondicionadas em sacos individuais, sendo então encaminhadas ao laboratório para secagem em estufa até peso constante, e, concluída a secagem, a biomassa seca de cada amostra foi determinada em uma balança de precisão, gerando os valores necessários para a análise da relação entre as variáveis; os dados de área foliar e biomassa foram organizados em uma planilha eletrônica e analisados, com o objetivo de avaliar a relação entre a área foliar e a biomassa seca para cada espécie, obtidos por meio de proporção direta, após a obtenção da média das dez amostras de massa seca e de área foliar das espécies, sendo a área foliar estimada a partir das medidas de base e altura das folhas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Zoneamento da área de brejo

Após o abandono da salina, décadas de precipitação associadas à antropização do local e à ausência de manejo adequado promoveram alterações progressivas nas condições hidrológicas e edáficas, criando um conjunto de filtros ambientais favoráveis à expansão de espécies oportunistas, como *Typha domingensis* e *Cyperus articulatus*. Essas espécies passaram a dominar o processo de colonização do brejo, ampliando sua ocupação espacial e reduzindo a diversidade vegetal. Tal redução não decorre do estabelecimento de uma competição assimétrica, na qual as espécies dominantes modificam o ambiente de forma a torná-lo progressivamente mais hostil à permanência de outras espécies.

O acúmulo de biomassa aérea, o sombreamento intenso do substrato, a alteração do microclima e da dinâmica hidrológica, bem como a homogeneização estrutural da vegetação atuam como filtros ambientais, excluindo espécies que não apresentam atributos funcionais compatíveis com essas condições. Distúrbios fluviais e alterações antrópicas, portanto, não apenas influenciam a composição florística, mas moldam ativamente a estrutura da

comunidade vegetal, favorecendo espécies com elevada plasticidade ecológica e alta capacidade de monopolização de recursos (VENN *et al.*, 2011; KEDDY, 1992; BANSAL *et al.*, 2019).

Em alguns locais do brejo do Parque do Cocó, pode haver a secagem total da água em decorrência do regime hídrico de chuvas sazonais e da reduzida profundidade da lâmina d'água. Nesses ambientes sujeitos à alternância entre períodos de alagamento e seca, impõe-se elevada seletividade ambiental, favorecendo a ocorrência de um conjunto restrito de espécies altamente adaptadas a essas condições hidrológicas. Nesses sistemas, observa-se frequentemente a dominância de poucas espécies com estratégias morfológicas e fisiológicas especializadas (BANSAL *et al.*, 2019). Tal dominância é frequentemente intensificada em áreas alagadas inseridas em ambientes urbanos, onde o aporte de nutrientes — oriundo de escoamento superficial e de resíduos antrópicos — pode promover condições eutróficas que favorecem o crescimento rápido e a superpopulação dessas espécies tolerantes (LARKIN *et al.*, 2012; CORRÊA *et al.*, 2017).

Segundo o zoneamento realizado (Figura 7), a área total do brejo paludoso corresponde a 93.828,57 m², dos quais 51.018,13 m² (54,36%) são dominados por *Typha domingensis* e 34.788,96 m² (37,70%) por *Cyperus articulatus*, totalizando 85.807,09 m², o equivalente a 92,06% da área do brejo ocupada por essas duas espécies dominantes. As médias obtidas a partir das amostras foliares indicaram que *T. domingensis* apresentou área foliar média de 35.981,35 cm² associada a uma massa seca média de 34,98 g, enquanto *C. articulatus* apresentou maior área foliar média (53.904,25 cm²), porém com menor massa seca média (9,22 g), evidenciando padrões contrastantes de alocação de biomassa entre as espécies.

Figura 7 – Vista aérea do brejo paludoso do Parque Estadual do Cocó, com a zonação da área de estudo de acordo com a espécie dominante, destacando as áreas de predominância de *Typha domingensis* e *Cyperus articulatus*, utilizadas como base para a análise espacial da biomassa e do risco de incêndios.



Fonte: Elaboração própria (2025), a partir de imagens do Google Earth.

A razão entre área foliar e massa seca (área foliar específica – AFE) reforça essas diferenças funcionais, com valores aproximados de 1.028 cm² g⁻¹ para *T. domingensis* e 5.847 cm² g⁻¹ para *C. articulatus*, indicando que *C. articulatus* apresenta folhas proporcionalmente mais extensas e menos densas, enquanto *T. domingensis* investe em maior densidade estrutural e acúmulo de biomassa.

Além disso, essas duas espécies estão presentes durante todo o ano. A extrapolação dos dados de unidade de área foliar por biomassa seca para a área total de dominância no brejo resultou em um estoque estimado de aproximadamente 496 kg de biomassa seca para *T. domingensis*, enquanto *C. articulatus* acumulou cerca de 59,5 kg. Apesar de *C. articulatus* apresentar folhas individualmente mais numerosas e maior área foliar específica, sua menor massa seca por unidade de área resultou em um estoque total inferior. A elevada dominância espacial de *T. domingensis*, associada ao acúmulo expressivo de biomassa aérea, contribui diretamente para o aumento do material combustível disponível durante a estação seca, reforçando o papel dessa espécie na amplificação do risco de incêndios no brejo paludoso.

3.2 Condições abióticas da área de brejo

As medições microclimáticas realizadas durante cinco dias consecutivos da primeira semana de dezembro, sempre ao meio-dia e sob máxima insolação, evidenciaram condições térmicas e higrométricas severas na área de brejo durante o período de estiagem. A temperatura do ar apresentou média de 42,9 °C, com picos superiores a 49 °C, enquanto a umidade relativa registrou média de 45,6%, com valores mínimos próximos de 35%. Esses dados indicam um cenário de elevado estresse ambiental para a vegetação, favorecendo o ressecamento da biomassa aérea e o aumento do material combustível disponível (Figura 8).

Figura 8 – Termo-higrômetro utilizado em campo, registrando temperatura do ar de 51 °C e umidade relativa de 35% durante o período seco, evidenciando condições microclimáticas favoráveis à ignição e propagação do fogo no brejo paludoso do Parque Estadual do Cocó.



Fonte: Elaboração própria (2025).

Essas condições configuram um microambiente altamente favorável à ignição e à propagação do fogo, sobretudo em áreas com elevado acúmulo de biomassa aérea seca e

baixa ventilação. Esses resultados reforçam a baixa resiliência do brejo paludoso ao fogo durante a estação seca e evidenciam a necessidade de estratégias de manejo direcionadas à redução da dominância de espécies altamente inflamáveis e ao controle do acúmulo de material combustível.

3.3 Grau de inflamabilidade da vegetação

As espécies *T. domingensis* e *C. articulatus*, apresentaram os maiores índices de inflamabilidade, 1,9 e 2,0 respectivamente. As espécies *M. quadrifolia* (1,30) e *A. glabra* (1,20) mostraram índices menores. Os resultados revelam a baixa resiliência ao fogo no brejo, dado importante para subsidiar planos de estratégias de manejo e prevenção de incêndios.

A diminuição do nível de água durante o período seco provoca o ressecamento da biomassa aérea, favorecendo o acúmulo de material combustível e, conseqüentemente, elevando o risco de incêndios no brejo paludoso. Nesse contexto, os ensaios de inflamabilidade indicam que as espécies mais abundantes no brejo paludoso apresentam, de modo geral, maior potencial inflamável, o que pode contribuir para a recorrência dos incêndios observados na área de estudo.

As Tabelas 1, 2 e 3 reúnem os valores obtidos nos ensaios de inflamabilidade para cada repetição experimental, considerando o tempo de queima (BT), a temperatura máxima da queima (MT) e a porcentagem de biomassa consumida (BB) (Tabelas 1 a 3).

Tabela 1 – Dados obtidos nos ensaios de queima e valor final do grau de inflamabilidade de *Typha domingensis*, considerando temperatura máxima de queima (MT), tempo de combustão (BT), biomassa queimada (BB) e índice sintético de inflamabilidade.

Testes de inflamabilidade			
Especie	Tempo de queima (Sg)	Temperatura Max da queima (c°)	Biomassa queimada (%)
Typha domingensis 1	77	600	69,42
Typha domingensis 2	85	600	89,07
Typha domingensis 3	72	600	90,09
Typha domingensis 4	64	441	67,69
Typha domingensis 5	63	509	60,5
Typha domingensis 6	50	600	59,82
Typha domingensis 7	67	512	68,6
Typha domingensis 8	100	510	49,45
Typha domingensis 9	93	510	67,6
Typha domingensis 10	82	546	76,48
Especie	Média Tempo de queima	Média Temperatura Max da queima	Média Biomassa queimada
Typha domingensis	75,3	542,8	69,872
		Inflamabilidade Typha domingensis >>>>	1,985104942

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 2 – Dados obtidos nos ensaios de queima e valor final do grau de inflamabilidade de *Cyperus articulatus*, considerando temperatura máxima de queima (MT), tempo de combustão (BT), biomassa queimada (BB) e índice sintético de inflamabilidade.

Testes de inflamabilidade			
Especie	Tempo de queima (Sg)	Temperatura Max da queima (c°)	Biomassa queimada (%)
Cyperus articulatus 1	98	370	63,67
Cyperus articulatus 2	111	519	68,95
Cyperus articulatus 3	102	549	79,71
Cyperus articulatus 4	127	512	67,6
Cyperus articulatus 5	132	545	78,75
Cyperus articulatus 6	120	518	81,64
Cyperus articulatus 7	85	508	58,94
Cyperus articulatus 8	115	403	63,46
Cyperus articulatus 9	87	450	75,52
Cyperus articulatus 10	110	459	71,49
Especie	Média Tempo de queima	Média Temperatura Max da queima	Média Biomassa queimada
Cyperus articulatus	108,7	483,3	70,973
		Inflamabilidade Cyperus articulatus >>>	2,033382059

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 3 – Dados obtidos nos ensaios de queima e valor final do grau de inflamabilidade de *Annona glabra*, considerando temperatura máxima de queima (MT), tempo de combustão (BT), biomassa queimada (BB) e índice sintético de inflamabilidade.

Testes de inflamabilidade			
Especie	Tempo de queima (Sg)	Temperatura Max da queima (c°)	Biomassa queimada (%)
Araticum 1	10	454	8,9
Araticum 2	9	479	7,7
Araticum 3	33	480	46,9
Araticum 4	13	420	23,1
Araticum 5	50	526	76,66
Araticum 6	32	495	25,09
Especie	Média Tempo de queima	Média Temperatura Max da queima	Média Biomassa queimada
Araticum	16,25	458,25	21,65
		Inflamabilidade araticum >>	1,24041591

Fonte: Elaboração própria.

As amostras que não apresentaram combustão após 10 segundos de exposição a chama receberam valor zero para ignitabilidade e foram desconsideradas das análises subsequentes, uma vez que não permitiam a obtenção das variáveis térmicas e de massa necessárias à avaliação da inflamabilidade.

Os resultados evidenciam elevada variabilidade entre espécies. O tempo de queima apresentou ampla amplitude, variando aproximadamente de 60 a 250 segundos, enquanto a temperatura máxima da queima oscilou entre valores inferiores a 220 °C e superiores a 500 °C. A biomassa consumida também variou de forma expressiva, com registros desde cerca de 10% até valores superiores a 75%, indicando diferenças marcantes na consumibilidade do material vegetal.

A síntese desses resultados encontra-se apresentada na Tabela 4 , que reúne as médias de BT, MT e BB e o respectivo índice sintético de inflamabilidade, permitindo a comparação geral do comportamento térmico das espécies avaliadas (Tabela 4).

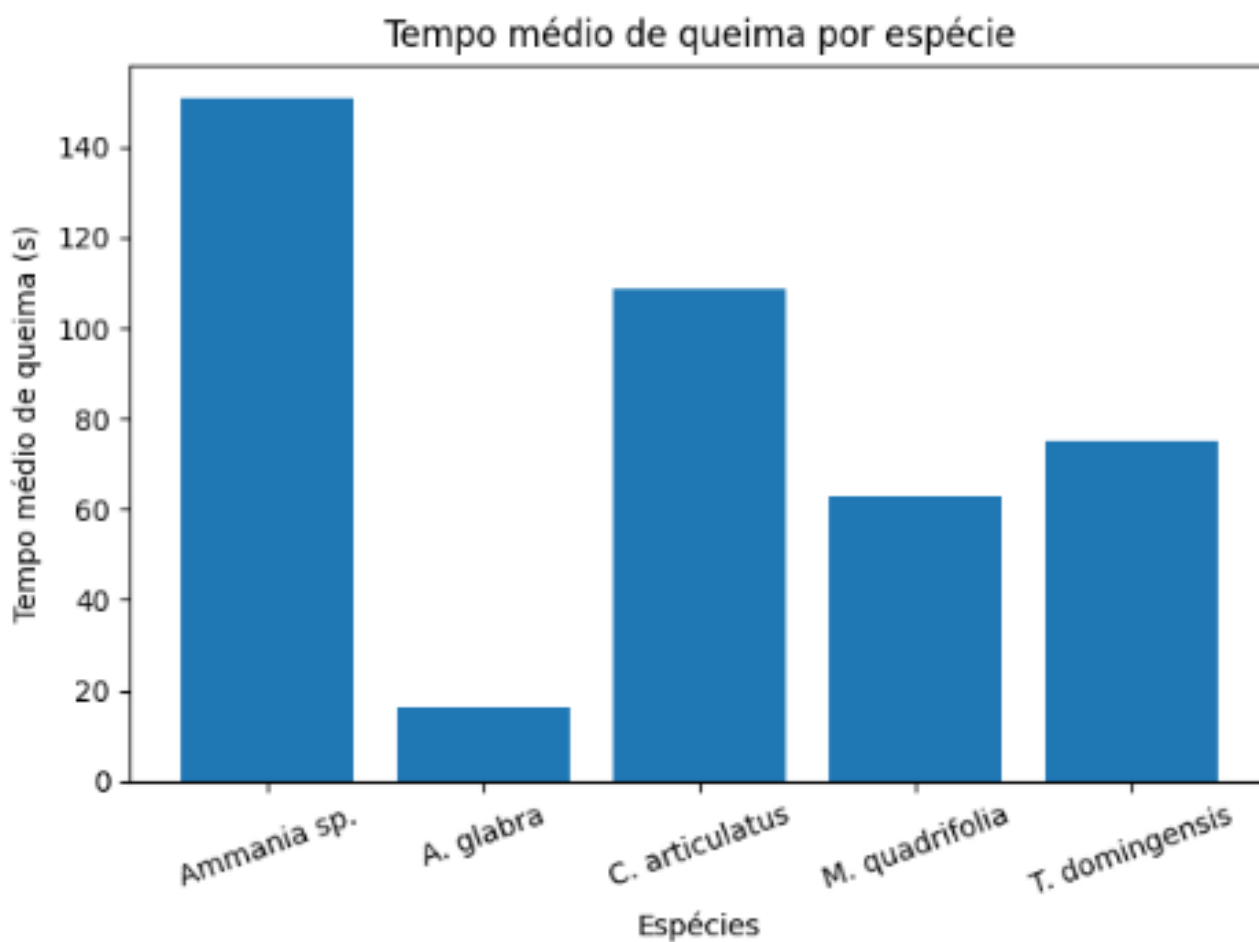
Tabela 4 – Dados obtidos nos ensaios de queima e valor final do grau de inflamabilidade de *Amannia sp.*, considerando temperatura máxima de queima (MT), tempo de combustão (BT), biomassa queimada (BB) e índice sintético de inflamabilidade.

Testes de inflamabilidade			
Especie	Tempo de queima (Sg)	Temperatura Max da queima (c°)	Biomassa queimada (%)
Amania 1	138	463	32,67
Amania 2	231	434	48,6
Amania 3	65	219	10,49
Amania 4	100	492	63,31
Amania 5	98	335	60,1
Amania 6	200	402	57,67
Amania 7	125	510	77,16
Amania 8	145	411	63,5
Amania 9	247	401	57,85
Amania 10	157	396	63
Especie	Média Tempo de queima	Média Temperatura Max da queima	Média Biomassa queimada
Amania	150,6	406,3	53,435
		Inflamabilidade da amania >>	1,880012359

Fonte: Elaboração própria.

Conforme ilustrado no Gráfico 1, as espécies avaliadas apresentaram diferenças consistentes no tempo médio de queima, com algumas exibindo maior duração da combustão, enquanto outras apresentaram queimas mais rápidas, indicando contrastes na sustentabilidade do fogo entre os táxons analisados (Gráfico 1).

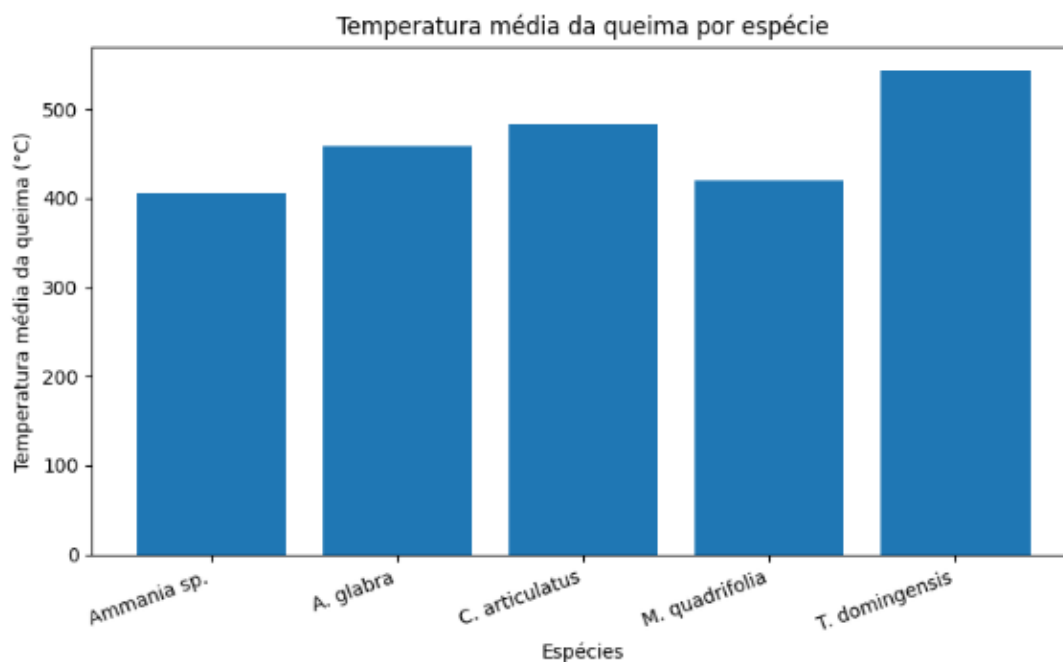
Gráfico 1 - Tempo médio de queima (em segundos) das espécies vegetais avaliadas no brejo paludoso do Parque Estadual do Cocó. As barras representam os valores médios de tempo de combustão para cada espécie, evidenciando diferenças no comportamento ao fogo entre os táxons analisados.



Fonte: Elaboração própria.

O Gráfico 2 evidencia as variações na temperatura máxima média da queima, destacando espécies com maior liberação de energia térmica durante o processo de combustão (Gráfico 2).

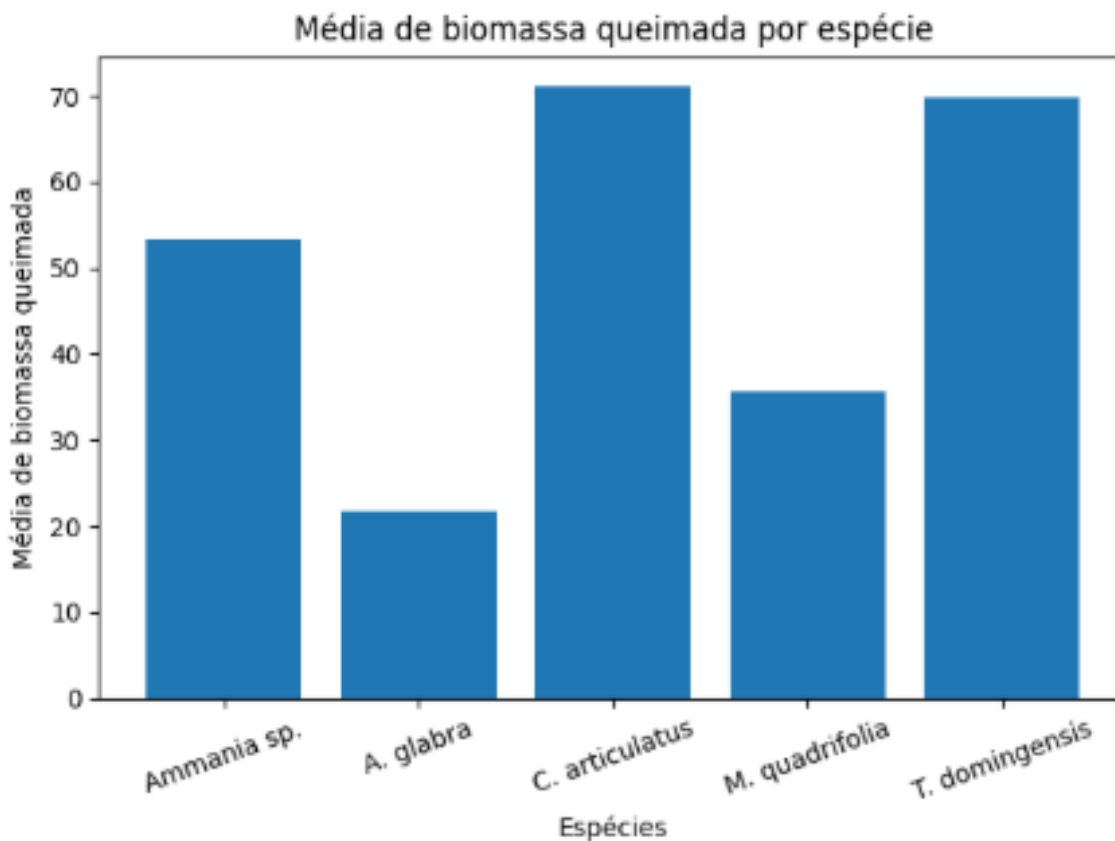
Gráfico 2 - Temperatura média máxima da queima (°C) das espécies vegetais avaliadas no brejo paludoso do Parque Estadual do Cocó. Observa-se maior temperatura média de queima em *Typha domingensis*, seguida por *Cyperus articulatus*, enquanto *Ammania* sp. apresentou os menores valores.



Fonte: Elaboração própria.

Já o Gráfico 3 apresenta a biomassa média consumida, reforçando as diferenças na proporção de material vegetal efetivamente queimado e indicando espécies potencialmente mais perigosas do ponto de vista do comportamento do fogo (Gráfico 3).

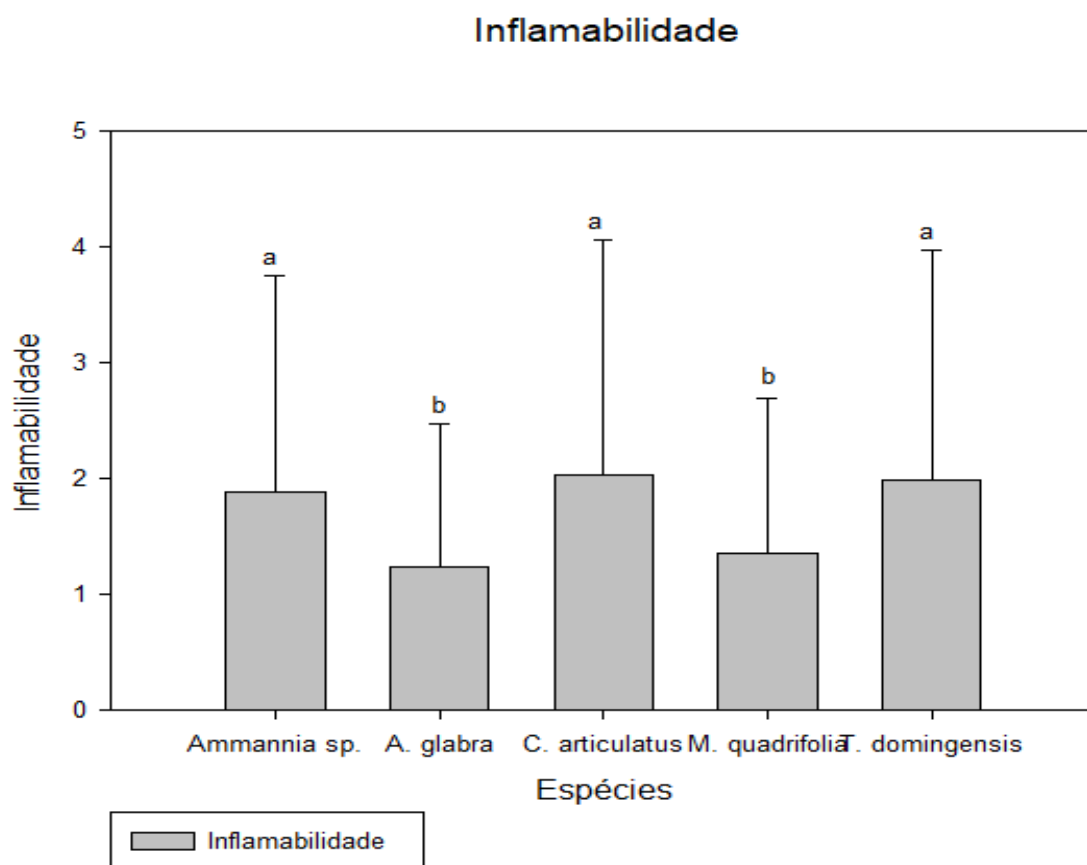
Gráfico 3 - Biomassa média queimada (g) das espécies herbáceas dominantes do brejo paludoso do Parque Estadual do Cocó. As barras representam a biomassa média consumida durante os ensaios de queima para *Ammania sp.*, *Annona glabra*, *Cyperus articulatus*, *Marsilea quadrifolia* e *Typha domingensis*.



Fonte: Elaboração própria.

Por fim, o Gráfico 4 sintetiza o índice final de inflamabilidade das espécies avaliadas, integrando os três parâmetros (BT, MT e BB) em um único valor comparativo (Gráfico 4). Esse índice evidencia que as espécies dominantes no brejo paludoso são também aquelas que apresentam maior potencial inflamável, o que reforça a relação entre dominância ecológica, acúmulo de biomassa e risco de incêndios. Tal padrão indica que a estrutura atual da comunidade vegetal favorece a propagação do fogo, contribuindo para a manutenção de um ciclo de degradação ambiental associado a incêndios recorrentes no Parque Estadual do Cocó.

Gráfico 4 - Índice médio de inflamabilidade das espécies vegetais avaliadas no brejo paludoso do Parque Estadual do Cocó. As barras representam os valores médios do índice de inflamabilidade, calculado a partir da soma dos componentes normalizados de temperatura máxima da queima, tempo de queima e biomassa consumida. As barras de erro indicam a variabilidade dos dados. Letras diferentes acima das colunas indicam diferenças estatisticamente significativas entre as espécies ($p < 0,05$).



Fonte: Elaboração própria.

Embora os gráficos permitam a identificação visual de padrões entre as espécies, é importante esclarecer que os testes estatísticos inferenciais não foram aplicados de forma uniforme a todos os parâmetros analisados. Os resultados apresentados nos Gráficos 1 a 3 e nas Tabelas 1 a 4 correspondem a análises descritivas, baseadas em médias e amplitudes observadas, não sendo empregados testes de significância para avaliar diferenças estatísticas entre as espécies nesses casos. Em contraste, o Gráfico 4 constitui uma exceção, uma vez que, para o índice sintético de inflamabilidade, foi realizada análise estatística inferencial, permitindo a identificação de diferenças significativas entre as espécies avaliadas ($p < 0,05$).

Dessa forma, as interpretações relativas aos parâmetros individuais de inflamabilidade devem ser compreendidas como comparações exploratórias, enquanto as diferenças observadas no índice final de inflamabilidade possuem respaldo estatístico, reforçando a maior vulnerabilidade ao fogo associada às espécies dominantes do brejo paludoso.

3.4 Proposta de manejo da vegetação

Propõe-se uma intervenção de recuperação ambiental voltada à redução do risco de incêndios no brejo paludoso do Parque Estadual do Cocó, por meio de escavações pontuais destinadas a aumentar a profundidade da lâmina d'água, atualmente rasa. Essa condição favorece a dominância de *Typha domingensis* e *Cyperus articulatus*, espécies herbáceas emergentes que apresentam elevado acúmulo de biomassa aérea e ampla distribuição espacial na área de estudo.

Por se tratarem de espécies rizomatosas, essas macrófitas mantêm estruturas subterrâneas viáveis durante o período de estiagem, uma vez que os rizomas atuam como órgãos de reserva, fornecendo carboidratos, nutrientes, água e outros metabólitos essenciais à manutenção do crescimento em ambientes estressantes e à recuperação após danos causados por déficit hídrico, o que garante rápida rebrota com o retorno das chuvas (Figuras 9 e 10) (MA *et al.*, 2020; YOSHIDA *et al.*, 2016).

Figura 9 – Rebrotas de *Typha domingensis* observada em campo, evidenciando a regeneração vegetativa da espécie após período de estresse ambiental, associada à rápida resposta às primeiras chuvas no Parque Estadual do Cocó.



Fonte: Elaboração própria (2025).

Figura 10 – Caule rizomatoso de *Typha domingensis* exposto no solo, apresentando ramificação ativa, e a persistência da espécie em ambientes alagáveis e sazonalmente secos no Parque Estadual do Cocó.



Fonte: Elaboração própria (2025).

As duas espécies citadas apresentam preferência por nichos ecológicos específicos, sobretudo em relação à profundidade da lâmina d'água (Figuras 11 e 12). Pequenas alterações no relevo, com aumento da profundidade do alagamento, podem dificultar a colonização e o crescimento de macrófitas emergentes dominantes, ao modificar as condições ambientais que sustentam sua elevada competitividade (YANG *et al.*, 2020). Embora plantas ribeirinhas possuam mecanismos e adaptações para suportar picos de vazão, períodos de seca prolongados, correntes rápidas e mudanças bruscas no nível da água (KAWECKI; EBERT, 2004), variações frequentes e abruptas nos parâmetros hidráulicos podem exceder seus limites de tolerância, afetando a germinação, o crescimento e a sobrevivência em longo prazo, além de induzir alterações morfológicas e fisiológicas (BEJARANO *et al.*, 2018; BALADRÓN *et al.*, 2022).

Figura 11 – Área de dominância de *Typha domingensis* no brejo paludoso do Parque Estadual do Cocó, delimitada a partir da análise espacial da vegetação dominante.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 12 – Área de dominância de *Cyperus articulatus* no brejo paludoso do Parque Estadual do Cocó, delimitada a partir da análise espacial da vegetação dominante.

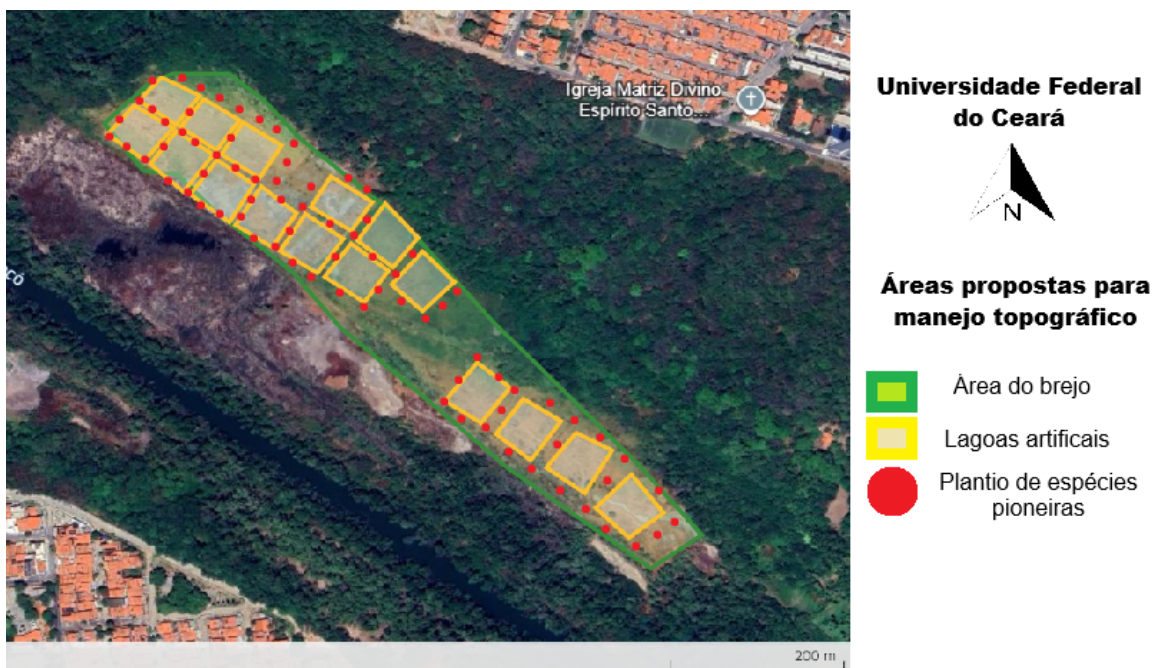


Fonte: Elaboração própria.

Nesse contexto, as escavações localizadas configuram uma estratégia de manejo capaz de atuar diretamente sobre o nicho ecológico favorável a *T. domingensis* e *C. articulatus*, ao promover a redistribuição espacial da lâmina d'água e reduzir a permanência de condições rasas durante o período seco. Com o uso de uma retroescavadeira, propõe-se a escavação de 16 lagoas artificiais, com profundidade média de 80 cm e dimensões aproximadas de 50 m × 50 m cada.

Essas intervenções implicam a modificação direta da profundidade do solo em cerca de 2.500 m² por unidade, totalizando aproximadamente 40.000 m² de área manejada, distribuída ao longo de todo o brejo paludoso (Figura 13). Essa distribuição espacial busca maximizar os efeitos hidrológicos e ecológicos das escavações, evitando intervenções concentradas e promovendo maior heterogeneidade ambiental no sistema.

Figura 13 – Esquema de implantação das lagoas artificiais na área de brejo paludoso do Parque Estadual do Cocó, com lagoas de aproximadamente 50 m × 50 m, dispostas lado a lado, circundadas por espécies arbóreas nativas tolerantes ao alagamento.



Fonte: Elaboração própria (2025), a partir de imagens do Google Earth.

Considerando a extensão da área de estudo, essa proposta de manejo deve ser compreendida como um objetivo final, e não como uma intervenção a ser implementada de forma imediata ou simultânea em toda a área. A aplicação da estratégia pressupõe uma execução gradual, setorizada e adaptativa, compatível com a escala do brejo, permitindo o acompanhamento da resposta da vegetação, da dinâmica hidrológica e do comportamento da biomassa ao longo do tempo. Essa abordagem possibilita ajustes progressivos no planejamento, reduzindo riscos ecológicos associados a intervenções abruptas e ampliando o controle sobre os impactos gerados.

Além das escavações, propõe-se o plantio de mudas de espécies arbóreas nativas tolerantes ao alagamento e às variações da lâmina d'água, priorizando espécies já presentes no Parque Estadual do Cocó, de modo a assegurar maior adaptabilidade às condições locais. O plantio deverá ocorrer nas margens das lagoas artificiais, com aproximadamente 1.000 mudas por espécie e até três espécies distintas, conforme disponibilidade. Após o plantio, as mudas serão monitoradas por um período de 12 meses, com avaliações periódicas de crescimento em

altura e diâmetro do caule.

Dessa forma, o manejo proposto baseia-se na modificação pontual da topografia e na diversificação estrutural da vegetação, considerando explicitamente a escala espacial do brejo paludoso e a necessidade de intervenções progressivas. A estratégia apresentada busca reconfigurar, de maneira controlada e monitorável, as condições ambientais que sustentam a dominância das macrófitas emergentes e o acúmulo de biomassa inflamável, sem desconsiderar as limitações operacionais e ecológicas inerentes a áreas úmidas urbanas de grande extensão.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após os resultados da identificação, do zoneamento e da inflamabilidade, foi possível concluir que as espécies com maior distribuição na área, *T. domingensis* e *C. articulatus*, também apresentam o maior grau de inflamabilidade, contribuindo imensamente para os incêndios criminosos ocorridos periodicamente na área. Ao estudarmos a vegetação e a dinâmica hidrográfica, conseguimos elaborar um plano de manejo que alterasse a hidrodinâmica do espaço através do manejo das profundidades do solo e da abertura de canais para a água, diminuindo o nicho dessas espécies e aumentando a duração do período de alagamento do brejo paludoso, aumentando sua resiliência.

Após os resultados deste estudo foi possível evidenciar que o brejo paludoso do Parque Estadual do Cocó apresenta baixa resiliência ao fogo, fortemente associada às espécies que possuíam maior distribuição na área e ao seu acúmulo de biomassa aérea, tratando-se de espécies herbáceas emergentes, especialmente *Typha domingensis* e *Cyperus articulatus*. Essas espécies, além de ocuparem cerca de 70% da área do brejo, apresentaram os maiores índices de inflamabilidade, sendo eles: menores tempos de queima, maiores temperaturas máximas e maiores perdas de biomassa durante os ensaios experimentais.

A integração entre os resultados de zoneamento da vegetação, a estimativa de biomassa seca por área e a análise da área foliar permitiu a identificação de setores do brejo com maior concentração de material combustível, particularmente durante o período seco, quando a retração da lâmina d'água favorece o ressecamento da biomassa aérea. As condições microclimáticas registradas em campo, com temperaturas superiores a 51 °C e umidade relativa em torno de 35%, reforçam a vulnerabilidade do sistema à ocorrência e propagação de incêndios, sobretudo em um contexto urbano marcado por pressões antrópicas recorrentes.

Estes resultados confirmam a hipótese de que as espécies dominantes, em especial as

macrófitas emergentes rizomatosas, assumem um papel de destaque na estruturação da comunidade vegetal, atuando como filtro ambiental, e na amplificação do risco de incêndios no brejo paludoso. As estratégias de manejo propostas, baseadas na modificação pontual da topografia para aumentar a profundidade da lâmina d'água e na diversificação estrutural da vegetação por meio do plantio de espécies arbóreas nativas tolerantes ao alagamento, mostram-se ecologicamente fundamentadas e potencialmente eficazes para reduzir o acúmulo de biomassa inflamável.

Desse modo, este estudo contribui para o entendimento dos processos que regulam a inflamabilidade em áreas úmidas urbanas sazonais e oferece subsídios técnicos para o planejamento de ações de manejo e restauração no Parque Estadual do Cocó, reforçando a importância da integração entre ecologia funcional, zoneamento espacial e gestão ambiental na mitigação de incêndios e na conservação dos serviços ecossistêmicos associados a essas áreas.

REFERÊNCIAS

BALADRÓN, A.; BEJARANO, M. D.; BOAVIDA, I. Functional traits: the pathways to riverine plant resistance in times of hydropeaking. *Ecological Processes*, v. 12, p. 63, 2023. DOI: 10.1186/s13717-023-00475-4.

BALASUBRAMANIAN, A. Ecology of wetlands. Presentation, July 2011. DOI: 10.13140/RG.2.2.31591.24489.

BANSAL, S.; LISHAWA, S. C.; NEWMAN, S. *et al.* Typha (cattail) invasion in North American wetlands: biology, regional problems, impacts, ecosystem services, and management. *Wetlands*, v. 39, p. 645–684, 2019.

BARBIER, E. B.; HACKER, S. D.; KENNEDY, C.; KOCH, E. W.; STIER, A. C.; SILLIMAN, B. R. The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Science*, Washington, v. 330, n. 6006, p. 127–130, 2011.

BULLOCK, A.; ACREMAN, M. The role of wetlands in the hydrological cycle. *Hydrology and Earth System Sciences*, Göttingen, v. 7, n. 3, p. 358–389, 2003.

CASTRO, J. L. de. Fatores de localização e expansão da cidade de Fortaleza. 1. ed. Fortaleza: Imprensa Universitária da Universidade Federal do Ceará, 1977. 46 p.

CASTRO, V. S. O Parque do Cocó e a cidade de Fortaleza: oportunidades de adaptação como infraestrutura verde. 2024. 119 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo – Paisagem e Ambiente) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024.

CHAKRABORTY, S. K.; SANYAL, P.; RAY, R. Ecology and history of wetland research: reframing scientific principles of eco-dynamics of wetland ecosystem with special reference to East Kolkata Wetlands. *Inland Wetlands Ecology*, v. 3, p. 165–182, 2023.

CLAUDINO-SALES, V. Paisagem dunar em área urbana consolidada: natureza, ciência e política no espaço urbano de Fortaleza, Brasil. *Sociedade & Natureza*, p. 1–13, 2010.

CORRÊA, F. F.; PEREIRA, M. P.; MADAIL, R. H.; SANTOS, B. R.; BARBOSA, S.; CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J. Anatomical traits related to stress in high density populations of *Typha angustifolia* L. (Typhaceae). *Brazilian Journal of Biology*, v. 77, p. 52–59, 2017.

DIÁRIO DO NORDESTE. 43 incêndios médios e grandes foram registrados no Cocó em sete anos. *Diário do Nordeste*, Fortaleza, 19 nov. 2021. Disponível em: <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/metro/43-incendios-medios-e-grandes-foram-registrados-no-coco-em-sete-anos-1.3161459>. Acesso em: 01 jan. 2026.

FAUSS, K.; CELEBREZZE, J. V.; FITCH, R. L.; BOVING, L.; DYE, R.; MORITZ, M. A. Designing defensible space: plant flammability testing informs recommendations to reduce community fire hazard. *Landscape and Urban Planning*, v. 264, p. 105483, 2025.

FREIRES, E. V. *et al.* Caracterização ambiental da planície flúvio-marinha do rio Cocó, Fortaleza–CE. *Revista de Geologia*, Fortaleza, v. 26, n. 1, p. 45–60, 2013.

G1 CEARÁ. Incêndio atinge área do Parque Ecológico do Cocó, em Fortaleza. G1, 16 out. 2014. Disponível em:

<https://g1.globo.com/ceara/noticia/2014/10/incendio-atinge-area-do-parque-ecologico-do-coco-em-fortaleza.html>

. Acesso em: 7 dez. 2025.

GILL, L. W.; O’SULLIVAN, A. *et al.* Review of the ecosystem services of temperate wetlands and their valuation tools. *Water*, v. 14, n. 9, p. 1345, 2022. DOI: 10.3390/w14091345.

JAUREGUIBERRY, P.; BERTONE, G.; DÍAZ, S. Device for the standard measurement of shoot flammability in the field. *Austral Ecology*, v. 36, p. 821–829, 2011. DOI: 10.1111/j.1442-9993.2010.02222.x.

JIAN, M.; ZANG, Y.; CAO, H.; CUI, X. Plant flammability as a functional trait: mechanisms, metrics and ecological implications. *Journal of Plant Ecology*, v. 17, n. 1, p. 1–14, 2024.

KAWECKI, T. J.; EBERT, D. Conceptual issues in local adaptation. *Ecology Letters*, Oxford, v. 7, n. 12, p. 1225–1241, 2004. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2004.00684.x.

KEDDY, P. A. Assembly and response rules: two goals for predictive community ecology. *Journal of Vegetation Science*, v. 3, p. 157–164, 1992.

LARKIN, D. J.; FREYMAN, M. J.; LISHAWA, S. C.; GEDDES, P.; TUCHMAN, N. C. Mechanisms of dominance by the invasive hybrid cattail *Typha × glauca*. *Biological Invasions*, Dordrecht, v. 14, n. 1, p. 65–77, 2012.

LEAL, J. R. L. V. Estudo da evolução do rio Cocó para determinação de sua capacidade de suporte e proposta de recuperação. 2009. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009. Disponível em:

<https://acervo.fortaleza.ce.gov.br/download-file/documentById?id=a6cc87de-4641-4aafae19-92f5158af339>

. Acesso em: 14 ago. 2023.

MA, X.; YU, J.; ZHUANG, L.; SHI, Y.; MEYER, W.; HUANG, B. Differential regulatory pathways associated with drought-inhibition and post-drought recuperation of rhizome

development in perennial grass. *Annals of Botany*, v. 126, n. 3, p. 481–497, 2020. DOI: 10.1093/aob/mcaa099.

MORO, M. F. *et al.* Vegetação e diversidade paisagística do estado do Ceará. *The Botanical Review*, p. 1–77, 2015.

MITSCH, W. J.; GOSSELINK, J. G. *Wetlands*. 4. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2007.

MOURA, Í. J. M.; SANTOS, D. F.; PINHEIRO, F. G. M.; OLIVEIRA, C. J. Caracterização dos períodos seco e chuvoso da cidade de Fortaleza (CE). *Ciência e Natura*, Santa Maria, v. 37, ed. especial SIC, p. 3–7, 2015. DOI: 10.5902/2179460X16206.

PREFEITURA MUNICIPAL DE FORTALEZA. *Bacias hidrográficas. Plano Fortaleza 2040*. Fortaleza, 2016. Atualizado em 16 jun. 2023. Disponível em: <https://mapas.fortaleza.ce.gov.br/mapa/91/bacias-hidrograficas>. Acesso em: 27 nov. 2025.

PREFEITURA MUNICIPAL DE FORTALEZA (PMF). SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE (SEMAM). *Diagnóstico ambiental do Parque Estadual do Cocó*. Fortaleza, 2003.

SILVA, F. B. R. *et al.* Zoneamento agroecológico do Nordeste: diagnóstico do quadro natural e agrossocioeconômico. Petrolina: Embrapa-CPATSA, 1993. v. 2.

VENN, A.; TAMBUTTÉ, E.; HOLCOMB, M.; ALLEMAND, D.; TAMBUTTÉ, S. Live tissue imaging shows reef corals elevate pH under their calcifying tissue relative to seawater. *PLOS ONE*, v. 6, n. 5, e20013, 2011. Disponível em: <https://journals.plos.org>. Acesso em: 7 dez. 2025.

XU, J.; ZHANG, X.; XIE, G.; ZHANG, C.; ZHANG, L. Ecosystem services provided by wetlands: a review. *Science of the Total Environment*, v. 698, p. 134–147, 2020.

XU, X. *et al.* Wetland ecosystem services research: a critical review. *Global Ecology and Conservation*, v. 22, e01027, 2020. DOI: 10.1016/j.gecco.2020.e01027.

YANG, Z.-D.; YUAN, S.-B.; LIU, X.-Q.; WANG, H.-Z. Water level fluctuation requirements of emergent macrophyte *Typha angustifolia* L. *Water*, v. 12, n. 1, p. 127, 2020. DOI: 10.3390/w12010127.