

EXPANSÃO DO MANGUEZAL E ESTIMATIVA DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS NO ESTUÁRIO DO RIO COCÓ, FORTALEZA/CE

MANGROVE EXPANSION AND ESTIMATION OF ECOSYSTEM SERVICES IN THE COCÓ RIVER ESTUARY, FORTALEZA/CEARÁ, BRAZIL

Luís Henrique da Silva Uchôa¹

Vitor Menezes de Freitas²

Paulo Henrique Gomes de Oliveira Sousa³

João Victor Dantas Mulato⁴

Edson Vicente da Silva⁵

¹ Universidade Federal do Ceará (UFC). E-mail: luishenrico74@gmail.com

² Universidade Federal do Ceará (UFC). E-mail: vitormenezes.vm1@gmail.com

³ Universidade Federal do Ceará (UFC). E-mail: paulosousa@ufc.br

⁴ Universidade Federal do Ceará (UFC). E-mail: victormulato@alu.ufc.br

⁵ Universidade Federal do Ceará (UFC). E-mail: cacauceara@gmail.com

RESUMO: O estudo que subsidiou este artigo buscou analisar a dinâmica espaço-temporal do manguezal no estuário do rio Cocó, Fortaleza, Ceará, entre 1985 e 2023 e estimar o valor econômico dos serviços ecossistêmicos gerados por sua expansão. Utilizando dados do MapBiomass e o método de transferência de benefícios, os resultados apontam um crescimento de aproximadamente 70% na cobertura vegetal, que saltou de 3,4 km para 5,9 km no período analisado. Esse incremento, associado à desativação de salinas e à proteção legal conferida pelo Parque Estadual do Cocó, resultando em um benefício ambiental. Conclui-se que a cessação de pressões antrópicas e a implementação de políticas de conservação são fundamentais para a resiliência e recuperação desses ecossistemas em contextos urbanos.

Palavras-chave: Dinâmica espaço-temporal. unidade de conservação. MapBiomass.

ABSTRACT: The study underpinning this article sought to analyze the spatial-temporal dynamics of mangroves in the Cocó River estuary, Fortaleza, Ceará, Brazil, between 1985 and 2023, and to estimate the economic value of the ecosystem services generated by their expansion. Using MapBiomass data and the benefit transfer method, the results indicate an approximately 70% increase in vegetation cover, which expanded from 3.4 km² to 5.9 km² during the period analyzed. This increase, associated with the decommissioning of saltworks and the legal protection provided by Cocó State Park, resulted in an environmental benefit. The study concludes that the cessation of anthropogenic pressures and the implementation of conservation policies are fundamental to the resilience and recovery of these ecosystems in urban contexts.

Keywords: Spatial-temporal dynamics. Protected area. MapBiomass.

Sumário: Introdução – 1 Metodologia – 2 Resultados e Discussão – Considerações – Referências.

INTRODUÇÃO

Os manguezais estão entre os ecossistemas costeiros mais produtivos e biologicamente relevantes do planeta, desempenhando papel fundamental na proteção da linha de costa, na ciclagem de nutrientes e na manutenção da biodiversidade fluvial, marinha e estuarina (Alongi, 2008; Friess et al, 2019). Esses ambientes atuam como importantes sumidouros de carbono, contribuindo significativamente para a mitigação das mudanças climáticas globais (Alongi, 2012).

Esse ecossistema vem sofrendo pressões em todo mundo, principalmente em decorrência da expansão urbana, da ocupação desordenada do litoral e de alterações hidrológicas associadas a atividades antrópicas (Barbier et al, 2011; Friess et al, 2019). Estudos indicam que esses ecossistemas apresentam taxas significativas de perda em diversas regiões tropicais, sendo frequentemente convertidos para usos urbanos, aquicultura e infraestrutura costeira (Giri et al, 2011; Friess et al, 2019). Em áreas urbanizadas, os impactos são ainda mais intensos, resultando na fragmentação, degradação e, em muitos casos, na eliminação completa desses ambientes.

O Brasil é responsável por abrigar uma das maiores extensões de manguezais do mundo, esses ecossistemas desempenham papel fundamental na dinâmica costeira e na conservação da biodiversidade, assim, sendo componentes essenciais dos sistemas costeiros tropicais, além de serem, segundo o Instituto Chico Mendes da Biodiversidade (ICMBio), um apoio ecossistêmico para a economia pesqueira/mariscagem artesanal de diferentes comunidades tradicionais (ICMBio, 2018).

Em Fortaleza, os manguezais encontram-se inseridos em contextos de intenso processo de urbanização. Os estuários dos rios Ceará, Cocó e Pacoti, representam os principais remanescentes de manguezal em área urbana no estado do Ceará, destacando-se por sua relevância ecológica e por sua inserção em um dos maiores centros urbanos da região.

O Decreto nº 32.248, de 07 de junho de 2017 institui o Parque Estadual do Cocó, baseou-se na Constituição Estadual do Ceará, de 1989 e na Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que estabeleceu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC). A área tem relevância ecológica, caracterizada por um complexo de ecossistemas costeiros, incluindo manguezais, restingas e campos de dunas ao longo do rio Cocó, cuja biodiversidade se encontra ameaçada pela expansão urbana e pela especulação imobiliária na Região Metropolitana de Fortaleza.

A Zona de Preservação Ambiental (ZPA), no Plano Diretor de Fortaleza, voltada à conservação dos recursos naturais, ver na criação do parque a garantia a proteção desses ecossistemas, pois, objetiva promover pesquisas científicas, educação ambiental, recreação em contato com a natureza e turismo ecológico,

além de fortalecer a conscientização da população sobre a importância da preservação ambiental. A unidade abrange territórios dos municípios de Fortaleza, Maracanaú, Pacatuba e Itaitinga, totalizando 1.080 hectares.

A Figura 1 apresenta a localização da área de estudo no contexto regional e municipal, destacando o estuário do rio Cocó no município de Fortaleza, Ceará, Nordeste do Brasil. O Parque Estadual do Cocó está inserido em meio a área urbana da cidade.

Figura 1 - Mapa de localização geográfica do Parque Estadual do Cocó



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Observa-se que o parque acompanha o canal estuarino desde porções mais internas do município até a região próxima à desembocadura no Oceano Atlântico. Sendo o principal remanescente dos ecossistemas costeiros dentro da área urbana de Fortaleza, reforçando sua relevância ambiental e territorial.

Sua permanência e estado de conservação, encontra-se ameaçado por processos de especulação imobiliária e pela ocupação urbana desordenada, a retrospectiva espaço temporal do estuário do rio Cocó, também, registra atividades econômicas que, foram alterando significativamente a paisagem natural, abrindo algumas vezes caminhos para processos de regeneração natural após seu declínio (ICMBio, 2018).

É o caso das Salinas Diogo, cuja operação remonta ao contexto da produção salineira no Nordeste brasileiro, historicamente relevante, segundo o

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e a Secretaria do Meio Ambiente do Ceará (SEMA/CE), desde o período colonial e intensificada ao longo do século XX (IBGE, 2010; SEMA/CE, 2017). Essa atividade perdurou até o final da década de 1970, quando entrou em declínio devido, sobretudo, à concorrência com a produção salineira mais eficiente do Rio Grande do Norte (IBGE, 2010).

Com a modernização da indústria salineira e a perda de relevância econômica dessa atividade em âmbito regional, a maior parte das salinas artesanais foi abandonada, cedendo espaço à expansão dos manguezais sobre essas áreas, processo semelhante ao registrado em outras localidades da Costa Nordeste do Brasil (Lacerda et al, 2007).

As áreas anteriormente ocupadas pelos tanques de evaporação passaram por um processo de recolonização espontânea pela vegetação de mangue, favorecido pela cessação das pressões antrópicas e pela elevada resiliência do ecossistema (Alongi, 2008; Friess et al., 2019). A dinâmica histórica das Salinas Diogo (Figura 2) ilustra trajetória distinta daquela observada nas áreas de expansão urbana, enquanto estas impõem pressões contínuas e frequentemente irreversíveis sobre os manguezais, a desativação das salinas criou condições propícias para a regeneração ecológica em uma área atualmente inserida no Parque Estadual do Rio Cocó (Duke et al, 2007; Barbier et al, 2011; SEMA/CE, 2017).

Figura 2 - Antiga Salina Diogo



Fonte: Fortaleza Nobre, Arquivo Carlos Jançaba (2025).

Essa transição de uso e cobertura da terra, de áreas de produção de sal para florestas de mangue, pode ser analisada temporalmente por meio de técnicas de sensoriamento remoto, amplamente utilizadas para monitoramento de mudanças em ecossistemas costeiros (Giri et al, 2011; Hamilton; Casey, 2016). Estudos realizados em estuários adjacentes, como o do rio Ceará, demonstram a eficácia dessa abordagem, evidenciando aumento expressivo na área de manguezal associado à redução de áreas ocupadas por salinas ao longo das últimas décadas.

Embora aplicado a contexto distinto, esse tipo de análise espaço-temporal valida a utilização de geotecnologias para quantificar a resiliência ecológica pós-desativação, sugerindo que, no caso do estuário do rio Cocó, a regeneração do manguezal na área da antiga Salina Diogo está diretamente relacionada à cessação das atividades salineiras, processo que pode ser mapeado e quantificado por meio da análise de séries históricas de imagens de satélite (MapBiomas, 2023).

A instalação do Shopping Iguatemi Fortaleza, inaugurado em 1982, insere-se em um contexto mais amplo de expansão urbana acelerada sobre áreas ambientalmente sensíveis no litoral nordestino, configurando um exemplo emblemático da substituição de ecossistemas naturais por infraestruturas urbanas. Implantado em área originalmente integrada ao sistema estuarino do rio Cocó, como pode ser visto na Figura 3.

Figura 3 - Shopping Iguatemi nos anos de 1990



Fonte: Fortaleza Nobre, Arquivo Fortal104 (2025).

Percebe-se, pela Figura 3 que o empreendimento contribuiu para a supressão de porções de manguezal e para a reconfiguração da dinâmica hidrogeomorfológica local, por meio de processos como aterramento, drenagem artificial e impermeabilização do solo. Tais intervenções comprometem funções ecossistêmicas essenciais dos manguezais, incluindo a ciclagem de nutrientes, a proteção costeira e a provisão de *habitats* para diversas espécies (Alongi, 2008; Barbier et al, 2011).

Além dos impactos diretos, a presença do shopping atuou como vetor de valorização imobiliária e adensamento urbano em seu entorno, intensificando pressões antrópicas sobre o sistema estuarino, como o aumento do escoamento superficial, da carga de poluentes e da fragmentação da vegetação (SEMA/CE, 2017, 2005). Esse processo, segundo o Millennium Ecosystem Assessment (MEA), reflete um padrão recorrente em cidades costeiras brasileiras, no qual a lógica de ocupação territorial prioriza interesses econômicos em detrimento da integridade ecológica, resultando em perda de biodiversidade e redução da resiliência dos ecossistemas (MEA, 2005).

Paradoxalmente, a intensificação dessas pressões, também, contribuiu para a emergência de respostas institucionais e sociais voltadas à conservação, culminando na criação do Parque Estadual do Cocó, unidade de conservação, do grupo de proteção integral, que se configura como instrumento fundamental para a proteção dos remanescentes de manguezal na área. Nesse sentido, a relação entre o empreendimento e o manguezal evidencia a dualidade entre degradação e conservação, característica dos processos de urbanização em zonas costeiras, nos quais a própria ameaça ambiental atua como catalisadora de políticas de proteção.

Nesse contexto, o uso de dados derivados de sensoriamento remoto, como aqueles disponibilizados pelo projeto MapBiomas, permite a análise sistemática da dinâmica da cobertura do solo ao longo do tempo, fornecendo subsídios importantes para a avaliação de mudanças ambientais em larga escala temporal. A utilização dessas séries históricas possibilita identificar padrões de expansão, retração ou estabilidade dos manguezais, contribuindo para a compreensão dos processos ecológicos e antrópicos que influenciam esses ecossistemas.

Embora de elevada importância, o estuário do rio Cocó, ainda, se limita aos estudos que investigam a dinâmica espacial e temporal da cobertura de

manguezal ao longo de séries históricas extensas, especialmente em ambientes urbanos. Embora existam iniciativas de monitoramento em escala global, há lacunas no entendimento de como esses ecossistemas têm respondido às transformações ambientais e territoriais em contextos urbanos específicos ao longo das últimas décadas.

A perspectiva para a área estuarina do rio Cocó é que a descontinuidade de atividades antrópicas intensivas, aliada ao fortalecimento de instrumentos legais de proteção ambiental, tem favorecido a recuperação de áreas anteriormente degradadas. O encerramento das atividades salineiras, ao eliminar intervenções como a manutenção de tanques e a modificação artificial do regime hidrológico, permitiu o restabelecimento gradual das condições naturais, abrindo espaço para a recolonização por espécies típicas de manguezal.

Paralelamente, a criação do Parque Estadual do Cocó e o enquadramento da área como Zona de Preservação Ambiental contribuíram para restringir novos processos de ocupação e degradação. Atualmente se vê um cenário propício à regeneração natural, no qual a combinação entre a cessação de pressões antrópicas e a implementação de políticas de conservação tem desempenhado papel fundamental na recuperação e manutenção dos ecossistemas costeiros locais.

Ao analisar dados sobre a vegetação de diferentes datas no MapBiomas é possível observar a expansão da área de manguezal no Parque Estadual do Cocó e a relevância ecológica desses ecossistemas, o presente estudo objetiva estimar o incremento potencial dos serviços ecossistêmicos associados a essa dinâmica, utilizando o método de transferência de benefícios a partir de valores médios reportados na literatura para zonas úmidas costeiras. Ao aplicar esses valores à variação espacial observada, busca fornecer aproximações da magnitude econômica dos benefícios ambientais gerados pela regeneração do manguezal, contribuindo para evidenciar a importância dos ecossistemas no contexto urbano.

1 METODOLOGIA

Ao apresentar os procedimentos metodológicos da pesquisa que embasou este artigo, que discute a cobertura do solo, das transferências de benefícios ao ecossistema manguezal, executando ainda uma estimativa dos seus serviços

ecossistêmicos, de forma que o leitor possa entender a síntese das análises científicas realizadas.

a) Análise da cobertura do solo

A pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de analisar a dinâmica espaço-temporal da cobertura de manguezal no estuário do rio Cocó, bem como, estimar o incremento potencial dos serviços ecossistêmicos associados à expansão dessas áreas ao longo das últimas décadas. Para a análise da cobertura do solo, foram utilizados dados do projeto MapBiomass, que disponibiliza séries históricas anuais de uso e cobertura da terra para todo o território brasileiro, com base em imagens de satélite do programa Landsat. Foram selecionados os anos de 1985 e 2023, sendo esse último os dados mais recentes disponibilizados, representando o período inicial e final da série temporal analisada.

A dinâmica da cobertura de manguezal foi avaliada por meio da comparação dos anos de 1985 e 2023. A variação da área foi calculada pela diferença entre os valores obtidos para os dois anos analisados, expressa em km², possibilitando a quantificação do incremento líquido de vegetação de mangue no período.

Os benefícios, denominados serviços ecossistêmicos, incluem funções essenciais como regulação climática, proteção contra eventos extremos, provisão de recursos naturais e suporte à biodiversidade, sendo fundamentais para o bem-estar humano e a manutenção dos sistemas ecológicos (Costanza et al, 1997; MEA, 2005). Em ecossistemas costeiros, como os manguezais, tais serviços assumem papel ainda mais relevante, atuando como barreiras naturais contra erosão e tempestades, áreas de berçário para diversas espécies e importantes sumidouros de carbono (Barbier et al, 2011; Alongi, 2012).

Por não serem majoritariamente transacionados em mercados formais, esses serviços tendem a ser subvalorizados em processos de tomada de decisão, o que contribui para sua degradação. Nesse contexto, a valoração ambiental emerge como ferramenta estratégica para evidenciar a importância econômica desses ecossistemas, subsidiando políticas públicas, instrumentos de gestão ambiental e estratégias de conservação, de acordo com o the Economics of Ecosystems And Biodiversity (TEEB, 2010; Groot et al, 2012).

b) Transferência de benefícios aplicada aos manguezais

Dentre os métodos empregados na valoração ambiental, a transferência de benefícios se destaca como uma abordagem prática e consolidada, especialmente em contextos em que não há disponibilidade de dados primários locais. Esse método consiste na utilização de estimativas monetárias previamente obtidas em estudos de referência, aplicando-as a novas áreas com características semelhantes (Brouwer, 2000; Johnston; Rosenberger, 2010).

No caso específico dos manguezais, a transferência de benefícios mostra-se particularmente adequada, dada a complexidade ecológica desses sistemas e a escassez de estudos locais de valoração detalhada. Sínteses globais, como a proposta por Groot et al (2012), fornecem valores médios por hectare para diferentes serviços ecossistêmicos, os quais podem ser aplicados para estimar a magnitude dos benefícios associados à presença ou expansão desses ambientes. Apesar das limitações inerentes ao método, relacionadas à heterogeneidade ecológica e socioeconômica entre regiões, sua utilização é amplamente reconhecida na literatura como uma ferramenta válida para estimativas iniciais e análises comparativas em estudos ambientais.

Vale ressaltar que a abordagem de transferência de benefícios apresenta limitações, pois os valores utilizados são derivados de estudos realizados em diferentes contextos ecológicos e socioeconômicos. Assim, os resultados obtidos devem ser interpretados como estimativas aproximadas, úteis para indicar a ordem de grandeza dos benefícios ecossistêmicos, e não como valores absolutos específicos para a área de estudo.

c) Estimativa dos serviços ecossistêmicos

Para estimar o incremento potencial dos serviços ecossistêmicos associados à expansão do manguezal, aplicou-se o método de transferência de benefícios, utilizado em estudos de valoração ambiental. Método que consiste em aplicar valores monetários previamente estimados em estudos de referência a um novo contexto geográfico, ajustando-os à área analisada. Utilizou-se valores médios de serviços ecossistêmicos para zonas úmidas costeiras (Groot et al, 2012), expressos em dólares, hectare e ano (Int\$/ha/ano), unificados para 2007. O incremento do valor dos serviços ecossistêmicos foi calculado com a expressão:

$$V = \Delta A \times V_m$$

Onde:

- V = valor estimado dos serviços ecossistêmicos (Int\$/ano)
- ΔA = variação da área de manguezal (ha)
- V_m = valor médio dos serviços ecossistêmicos por hectare (Int\$/ha/ano)

Posteriormente, os valores foram atualizados para preços correntes (2023-2024) com base em índices inflacionários e convertidos para moeda nacional (reais), com o objetivo de facilitar a interpretação dos resultados no contexto brasileiro.

2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 4 apresenta a distribuição espacial da cobertura de manguezais no estuário do rio Cocó (entre 1985 e 2023). Em 1985, as áreas de mangue se encontravam fragmentadas e concentradas, principalmente nas porções centrais e próximas à desembocadura do estuário. No polígono referente a 2023, pode ser observado maior continuidade da cobertura vegetal ao longo do canal estuarino, indicando expansão das áreas ocupadas por manguezal. Essa expansão ocorre principalmente nas margens do rio e em setores anteriormente ocupados por outras coberturas, sugerindo processos de regeneração e colonização natural.

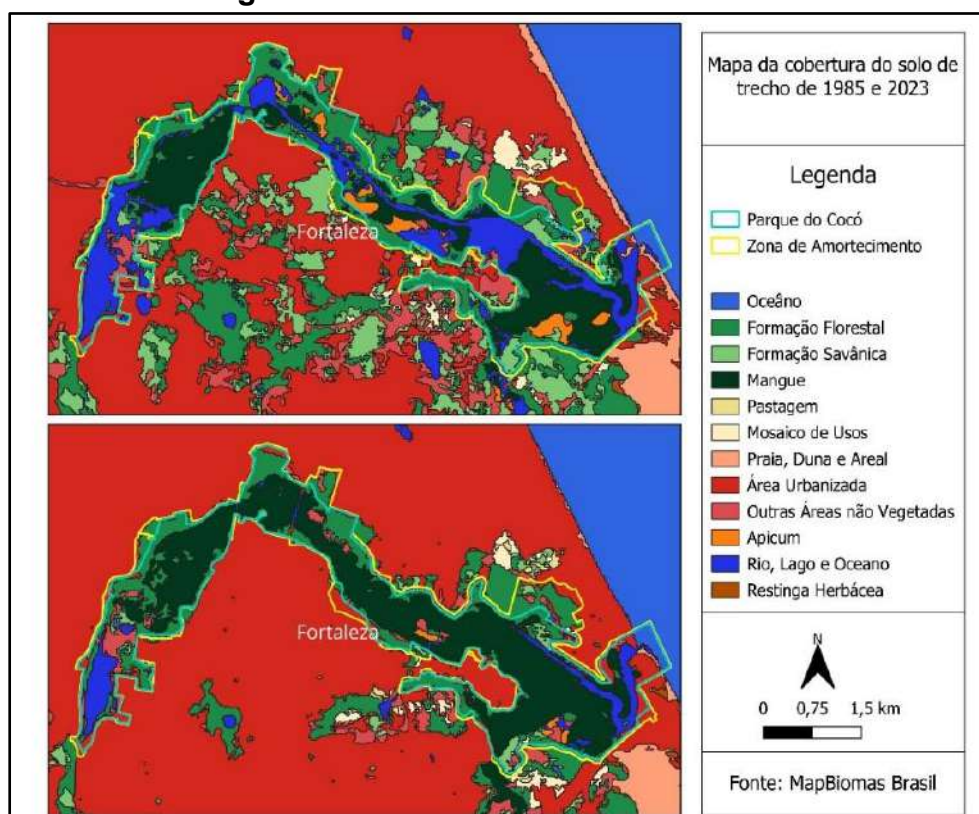
Figura 4 - Área de mangue do Parque do Cocó, entre 1985 e 2023



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Os manguezais parecem ter expandido principalmente ao longo do canal principal do estuário, nas margens internas do rio e em áreas próximas à desembocadura. A Figura 5 apresenta a classificação de cobertura e uso do solo para o estuário do rio Cocó, com base nos dados do projeto MapBiomas, comparando os anos de 1985 e 2023. O manguezal constitui a principal formação vegetal associada ao ambiente estuarino, distribuindo-se ao longo das margens do rio e em áreas sujeitas à influência das marés.

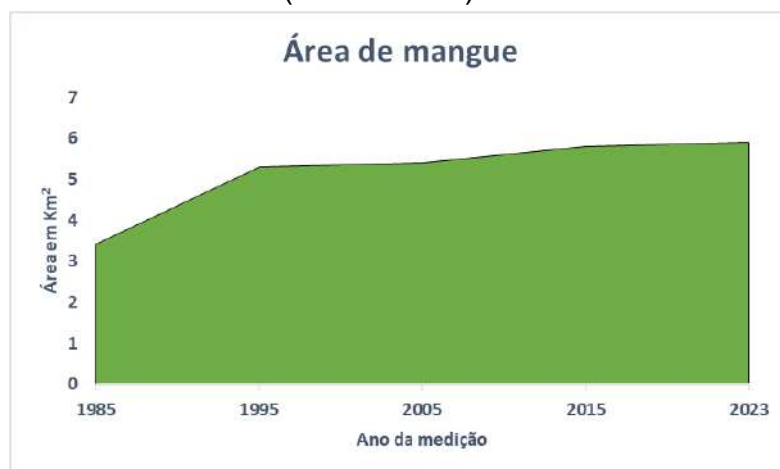
Figura 5 - Cobertura do solo 1985 e 2023



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Outras classes presentes incluem formações florestais e savânicas, além de áreas de apicum e ambientes aquáticos, como rios e lagoas. Outro aspecto relevante evidenciado no mapa da Figura 5 é a presença expressiva de áreas urbanizadas no entorno do estuário, refletindo o intenso processo de urbanização de Fortaleza, ao longo das últimas décadas. Apesar deste contexto urbano, a área ocupada por manguezais apresenta expansão entre os períodos analisados, indicando possível regeneração da vegetação estuarina ao longo do tempo, como indica a Figura 6, no período de 1985 a 2023.

Figura 6 - Expansão das áreas de manguezais no Parque Estadual do rio Cocó (1985 - 2023)



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A análise da série temporal da cobertura de manguezal no estuário do rio Cocó indica uma tendência de expansão ao longo das últimas décadas (Figura 6). Em 1985, a área ocupada por manguezal era de aproximadamente 3,4 km². Em 1995, nota-se aumento significativo para cerca de 5,3 km². A partir desse período, a expansão ocorreu de forma mais gradual, com valores de aproximadamente 5,4 km², em 2005, 5,8 km², em 2015 e cerca de 5,9 km², em 2023. No total, a área de manguezal apresentou aumento aproximado de 2,5 km², entre 1985 e 2023, representando expansão de cerca de 70% ao longo do período analisado.

Com base no valor médio de serviços ecossistêmicos atribuído a zonas úmidas costeiras por Groot et al (2012), de 193.845 Int\$/ha/ano considerando o incremento de 247 ha de manguezal no Parque Estadual do Cocó, estimou-se um valor atualizado pela inflação do consumidor dos Estados Unidos, compatível com a referência do dólar internacional convencional, o valor corresponde a cerca de 193.845 Int\$/ha/ano (valor convertido de 2024) Após conversão aproximada para moeda nacional, esse valor corresponde a cerca de R\$ 242 milhões por ano.

Considerando a área total de manguezal mapeada no estuário do rio Cocó em 2023, estimada em aproximadamente 5,9 km² (590 ha), e aplicando o valor médio de 193.845 Int\$/ha/ano para zonas úmidas costeiras, obtém-se um valor potencial anual de cerca de 114,37 milhões de dólares internacionais em serviços ecossistêmicos. Mantendo-se a conversão aproximada adotada neste estudo, esse montante corresponde a aproximadamente R\$ 571,8 milhões, por ano. Tal

estimativa reforça a magnitude da contribuição ecológica e econômica do manguezal no contexto urbano de Fortaleza, ainda que os valores devam ser interpretados com cautela, por se tratar de aproximações derivadas do método de transferência de benefícios.

Ou seja, por ano, o manguezal provém a sociedade alto valor em serviços ecossistêmicos que sustentam tanto processos ecológicos, quanto atividades humanas. Dentre os serviços de regulação, destacam-se a proteção costeira contra erosão e eventos extremos, sequestro de carbono (*blue carbon*) e melhoria da qualidade da água por meio da retenção de sedimentos e poluentes. No âmbito dos serviços de suporte, esses ecossistemas atuam como berçários para diversas espécies de peixes, crustáceos e moluscos, além de desempenharem papel fundamental na ciclagem de nutrientes e na manutenção da biodiversidade.

Os serviços de provisão incluem a oferta de recursos pesqueiros e o sustento de comunidades tradicionais que dependem da mariscagem e da pesca artesanal. Por fim, os manguezais, também, apresentam importância cultural, contribuindo para atividades de educação ambiental, lazer e valorização paisagística. Assim, o elevado valor econômico estimado para o manguezal do estuário do rio Cocó reflete a integração desses múltiplos serviços, cuja perda implicaria impactos significativos tanto do ponto de vista ecológico quanto socioeconômico.

No contexto urbano de Fortaleza, os serviços ecossistêmicos fornecidos pelo manguezal do estuário do rio Cocó assumem relevância, ainda, mais evidente, uma vez que atuam diretamente na mitigação de problemas ambientais típicos de áreas urbanizadas. Destacam-se a estabilização das margens do rio e a redução de processos erosivos, a atenuação de eventos de alagamento por meio da regulação do fluxo hídrico, e a melhoria da qualidade da água decorrente da retenção de sedimentos e poluentes provenientes do escoamento urbano.

Além disso, o manguezal desempenha papel fundamental como berçário de espécies de importância ecológica e econômica, contribuindo para a manutenção da pesca artesanal e da biodiversidade estuarina. Em escala local, também, influencia o microclima urbano, auxiliando na redução de temperaturas e no aumento da umidade relativa do ar. Por fim, sua inserção no Parque Estadual do Cocó amplia seu valor cultural, científico e educacional, consolidando-o como

elemento central na relação entre sociedade e natureza no ambiente urbano. Nesse sentido, o manguezal pode ser compreendido como uma forma de infraestrutura ecológica, essencial para a sustentabilidade e resiliência da cidade.

Os resultados obtidos evidenciam uma tendência consistente de expansão da cobertura de manguezal no estuário do rio Cocó ao longo das últimas décadas, mesmo em um contexto de intensa urbanização. Esse padrão contrasta com a tendência global de redução desses ecossistemas, amplamente documentada na literatura, especialmente em regiões tropicais submetidas à conversão do uso do solo e à expansão de infraestruturas urbanas (Friess et al, 2019; Giri et al, 2011). Nesse sentido, o caso do rio Cocó representa dinâmica atípica, na qual processos locais de desintensificação de uso antrópico parecem sobrepor-se às pressões estruturais de urbanização.

A expansão observada pode ser interpretada como resultado direto da interrupção de atividades econômicas intensivas, notadamente a produção salineira, associada à implementação de instrumentos legais de proteção ambiental. A cessação dessas atividades promoveu a restauração parcial das condições hidrológicas naturais do estuário, permitindo a recolonização por espécies típicas de manguezal. Esse comportamento reforça a literatura que aponta a elevada resiliência desses ecossistemas, sobretudo quando há restabelecimento dos regimes de inundação e redução das perturbações antrópicas (Alongi, 2008; Duke et al, 2007).

Além disso, a criação do Parque Estadual do Cocó e o enquadramento da área como Zona de Preservação Ambiental desempenharam papel fundamental na contenção da expansão urbana sobre o estuário, contribuindo para a manutenção e regeneração dos remanescentes de manguezal. Esse resultado evidencia a efetividade de instrumentos legais de conservação em ambientes urbanos, especialmente quando associados à redução de pressões diretas sobre o ecossistema.

Do ponto de vista espacial, a expansão ao longo das margens do canal estuarino e em áreas anteriormente ocupadas por salinas sugere processo de sucessão ecológica secundária, no qual a disponibilidade de propágulos, a conectividade hidrológica e as condições edáficas favorecem a colonização progressiva do manguezal. Esse padrão é consistente com observações realizadas

em outros estuários do litoral cearense, como o rio Ceará, indicando que a regeneração de manguezais em áreas de salinas abandonadas pode constituir um processo recorrente em escala regional.

Entretanto, é fundamental reconhecer as limitações inerentes à abordagem adotada. O método se baseia em valores médios derivados de contextos distintos, o que pode introduzir incertezas associadas às especificidades ecológicas e socioeconômicas locais (Brouwer, 2000; Johnston; Rosenberger, 2010). Dessa forma, os valores estimados devem ser interpretados como aproximações da ordem de grandeza dos benefícios ecossistêmicos e não como mensurações absolutas.

Os resultados deste estudo contribuem para o avanço do entendimento sobre a dinâmica de manguezais em ambientes urbanos, destacando que, mesmo sob forte pressão antrópica, esses ecossistemas podem apresentar significativa capacidade de regeneração quando associada à cessação de usos degradantes e à implementação de políticas de conservação. Nesse contexto, o estuário do rio Cocó se configura como um caso relevante para a compreensão das interações entre urbanização, resiliência ecológica e serviços ecossistêmicos, oferecendo subsídios importantes para a gestão costeira em regiões tropicais urbanizadas.

CONSIDERAÇÕES

A análise espaço-temporal da cobertura de manguezal no estuário do rio Cocó evidenciou uma tendência consistente de expansão ao longo do período de 1985 a 2023, indicando processos de regeneração natural associados à descontinuidade de atividades antrópicas intensivas e à implementação de instrumentos legais de proteção ambiental. Esse resultado reforça a elevada resiliência dos ecossistemas de manguezal, particularmente quando há restabelecimento das condições hidrológicas e redução das pressões antrópicas.

Em um contexto de intensa urbanização, como o da cidade de Fortaleza, a expansão observada assume relevância ainda maior, uma vez que contraria a tendência global de degradação desses ecossistemas em áreas costeiras urbanizadas. Nesse sentido, o estuário do rio Cocó se configura como um caso emblemático, no qual a interrupção de usos degradantes e a atuação de políticas públicas de conservação possibilitaram não apenas a manutenção, mas também, a recuperação de áreas anteriormente impactadas.

A estimativa do incremento dos serviços ecossistêmicos, ainda que baseada no método de transferência de benefícios, aponta a magnitude dos ganhos ambientais associados à expansão do manguezal, reforçando sua importância no fornecimento de serviços essenciais, como proteção costeira, sequestro de carbono e suporte à biodiversidade. Tais resultados destacam a necessidade de incorporação do valor dos serviços ecossistêmicos nos processos de planejamento urbano e gestão territorial, especialmente em regiões sujeitas a fortes pressões antrópicas.

Por fim, os resultados deste estudo sugerem que, mesmo em ambientes altamente modificados, a dinâmica ecológica dos manguezais pode persistir e se reorganizar quando são restabelecidas condições mínimas de funcionamento do sistema. Nesse contexto, a trajetória observada no estuário do rio Cocó evidencia que a conservação desses ecossistemas não depende exclusivamente de intervenções ativas, mas também, da capacidade de reduzir pressões e permitir que processos naturais de regeneração se desenvolvam ao longo do tempo.

Tal compreensão amplia as perspectivas para a gestão de ecossistemas costeiros urbanos, ao indicar que estratégias de conservação podem se beneficiar não apenas da proteção direta, mas, da criação de condições para que a própria natureza conduza processos de recuperação.

REFERÊNCIAS

ALONGI, D. M. Carbon sequestration in mangrove forests. **Carbon Management**, v. 3, n. 3, p. 313–322, 2012. Doi: <https://doi.org/10.4155/cmt.12.20>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/274116107_Carbon_sequestration_in_mangrove_forests. Acesso em: 20 mar. 2025.

ALONGI, D. M. Mangrove forests: resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 76, p. 1-13, 2008. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.08.024>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0272771407003915?via%3Dihub>. Acesso em: 20 mar. 2025.

BARBIER, E. B. et al. The value of estuarine and coastal ecosystem services. **Ecological Monographs**, v. 81, n. 2, p. 169–193, 2011. Doi: <https://doi.org/10.1890/10-1510.1>. Disponível em: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1890/10-1510.1>. Acesso em: 20 mar. 2025.

BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm. Acesso em: 19 fev. 2025.

BROUWER, R. Environmental value transfer: state of the art and future prospects. **Ecological Economics**, v. 32, p. 137–152, 2000. Doi: [10.1016/S0921-8009\(99\)00070-1](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00070-1). Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/222523384_Environmental_Value_Transfer_State_of_the_Art_and_Future_Prospects. Acesso em: 15 mar. 2025.

CEARÁ. **Constituição do Estado do Ceará**. 1989. Disponível em: <https://www.al.ce.gov.br/paginas/constituicao-do-estado-do-ceara>. Acesso em: 19 fev. 2025.

CEARÁ. **Decreto nº 32.248, de 07 de junho de 2017**. Dispõe sobre a criação da unidade de conservação estadual do grupo de proteção integral denominada Parque Estadual do Cocó, no município de Fortaleza e dá outras providências. Disponível em: https://www.mpce.mp.br/wp-content/uploads/2017/06/Decredo-Estadual-32.248-2017-Cria%C3%A7%C3%A3o-Parque-do-Coc%C3%B3.pdf?_gl=1*qt7p9b*_ga*ODA0MjcxNjY5LjE3ODc1MDM4MDA.*_ga_33LF3RDVJK*czE3ODc1MDM3OTkkbzEkZzAkdDE3ODc1MDM3OTkkaJYwJGwwJGgxMTU4ODU5NDkw&_ga=2.51061481.1543144281.1787503800-804271669.1787503800. Acesso em: 19 fev. 2025.

COSTANZA, R. et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, v. 387, p. 253–260, 1997. Doi: <https://doi.org/10.1038/387253a0>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/387253a0>. Acesso em: 20 mar. 2025.

DUKE, N. C. et al. A world without mangroves? **Science**, v. 317, n. 5834, p. 41–42, 2007. Doi: <https://doi.org/10.1126/science.317.5834.41>. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.317.5834.41b>. Acesso em: 10 mar. 2025.

FORTALEZA NOBRE. Disponível em: <http://www.fortalezanobre.com.br/search/label/Salina%20do%20Diogo?m=0>. Acesso em: 19 fev. 2025.

FRIESS, D. A. et al. The state of the world's mangrove forests: past, present, and future. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 44, p. 89–115, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-101718-033302>. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev-environ-101718-033302>. Acesso em: 15 mar. 2025.

GIRI, C. et al. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. **Global Ecology and Biogeography**, v. 20, n. 1, p. 154–159, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00584.x>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1466-8238.2010.00584.x>. Acesso em: 15 mar. 2025.

GROOT, R. de. et al. Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. **Ecosystem Services**, v. 1, p. 50–61, 2012. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.005>. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/233390595> Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. Acesso em: 20 mar. 2025.

HAMILTON, S. E; CASEY, D. Creation of a high spatio-temporal resolution global database of continuous mangrove forest cover. **Remote Sensing of Environment**, v. 182, p. 1–15, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.04.004>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/geb.12449>. Acesso em: 20 mar. 2025.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção de sal marinho no Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 20 mar. 2025.

ICMBio. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Atlas dos manguezais do Brasil**. Brasília: ICMBio, 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/centrais-de-conteudo/atlas-dos-manguezais-do-brasil-pdf/view>. Acesso em: 18 mai. 2024.

JOHNSTON, R. J; ROSENBERGER, R. S. Methods, trends and controversies in contemporary benefit transfer. **Journal of Economic Surveys**, v. 24, n. 3, p. 479–510, 2010. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1467-6419.2009.00592.x>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1467-6419.2009.00592.x>. Acesso em: 24 fev. 2025.

LACERDA, L. D; MENEZES, M. O. T; MOLISANI, M. M. Changes in mangrove extension at the Pacoti River estuary (CE, NE Brazil) due to regional environmental changes between 1958 and 2004. **Biota Neotropica**, v. 7, n. 3, 2007. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1676-06032007000300007>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bn/a/zm8fQXLgR3BdF7R9vCMw8Bj/?lang=en>. Acesso em: 24 fev. 2025.

MAPBIOMAS. **Projeto MapBiomas**: coleção de mapas anuais de cobertura e uso da terra do Brasil. Disponível em: <https://mapbiomas.org>. Acesso em: 10 mar. 2025.

MEA. Millennium Ecosystem Assessment. **Ecosystems and human well-being: synthesis**. Washington, DC: Island Press, 2005. Disponível em: <https://share.google/9rFFQGa6v4i5cwpZt>. Acesso em: 19 fev. 2025.

SEMA – Secretaria do Meio Ambiente do Ceará. **Plano de manejo do Parque Estadual do Cocó**. Fortaleza: SEMA, 2017. Disponível em: <https://www.ce.gov.br/sema/planos-de-manejos-das-unidades-de-conservacao/plano-de-manejo-do-parque-estadual-do-coco/>. Acesso em: 19 fev. 2025.

TEEB. The economics of ecosystems and biodiversity. **Mainstreaming the economics of nature**: a synthesis of the approach, conclusions and recommendations. 2010. Disponível em: <https://portals.iucn.org/library/node/9684>. Acesso em: 19 fev. 2025.