

## Variação temporal e espacial da cobertura do mangue (mangal) na Baía de Sofala (Moçambique)

Baptista João Boanha<sup>1</sup>; Óscar José Madeira<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Doutorando em Ecologia e Conservação, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil (\*Autor correspondente: baptistabuan@gmail.com)

<sup>2</sup>Doutorando em Energia e Meio Ambiente, Universidade Pedagógica de Maputo, Moçambique.

*Histórico do Artigo:* Submetido em: 26/05/2024 – Revisado em: 10/08/2024 – Aceito em: 25/09/2024

### RESUMO

As florestas de manguezais estão entre os ecossistemas mais produtivos do mundo, sendo responsáveis por grande parte da produtividade marinha e costeira, pela estabilidade da zona costeira e pela qualidade da água do mar. Embora seja reconhecida a importância destas florestas, nos últimos 50 anos, os manguezais têm registrado uma crescente perda. Nesta pesquisa, analisou-se a variação temporal e espacial da cobertura de mangue na Baía de Sofala, situada na zona centro de Moçambique. A pesquisa utilizou imagens dos satélites Landsat 5, 7 e 8 referentes aos anos de 1990 a 2020. A análise de dados consistiu na classificação supervisionada das imagens, tendo em conta três categorias principais: mangue, não mangue e corpos de água. Foram designadas como manguezais as áreas florestais situadas na transição entre o mar e a terra. Utilizou-se o ArcGIS 10.8 para o processamento dos dados. Os resultados da pesquisa demonstraram que, em 1990, a área coberta pelos manguezais era de 20.174 ha, enquanto em 2020 era de 6.783,667 ha, correspondendo a uma redução de 66,37%, com uma perda anual de 6%. Concluiu-se que a cobertura dos manguezais mudou consideravelmente durante os 30 anos de análise, sendo que nos últimos 5 anos ocorreu a maior perda de mangue.

**Palavras-Chaves:** Florestas de mangue, Sensoriamento remoto, Variação temporal, Variação espacial.

### Temporal and spatial variation of mangrove cover in Sofala Bay (Mozambique)

### ABSTRACT

Mangrove forests are among the most productive ecosystems in the world and are responsible for much of the marine and coastal productivity, the stability of the coastal zone and the quality of seawater. Although the importance of these forests is recognized, in the last 50 years, mangroves have been increasingly lost. This research analyzed the temporal and spatial variation of mangrove cover in Sofala Bay, located in central Mozambique. The research used images from the Landsat 5, 7 and 8 satellites from 1990 to 2020. The data analysis consisted of supervised classification of the images, taking into account three main categories: mangrove, non-mangrove and water bodies. Forest areas located in the transition between sea and land were designated as mangroves. ArcGIS 10.8 was used to process the data. The results of the research showed that, in 1990, the area covered by mangroves was 20,174 ha, while in 2020 it was 6,783.667 ha, corresponding to a reduction of 66.37%, with an annual loss of 6%. It was concluded that mangrove cover has changed considerably over the 30 years of analysis, with the greatest loss of mangroves occurring in the last 5 years.

**Keywords:** Mangrove forests, Remote sensing, Temporal variation, Spatial variation.

### 1. Introdução

As florestas de manguezais (mangals) estão entre os ecossistemas mais produtivos do mundo (Wang'ondú et al., 2014). Segundo as Nações Unidas, esses ecossistemas ocupam 0,7% das florestas tropicais e constituem um dos maiores fornecedores de biomassa e o maior sequestrador de carbono a nível mundial (Torres, 2021). Estimativas recentes da extensão global do mangue revelam uma variação entre 14 a 24 milhões de hectares (Kaufman e Donato, 2012). Em África, os ecossistemas de mangue (mangal) cobrem uma área de 3,2 milhões de hectares e representam 19% do total mundial, sendo a área mais conservada

Boanha, B.J., Madeira, O.J. (2024). Variação temporal e espacial da cobertura de mangue na Baía de Sofala (Moçambique). *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, v.5, n.3, p.02-09.



(Torres, 2021). Moçambique tem a terceira maior costa de África (Canhanga, 2018), com uma linha de costa de aproximadamente 2.700 km<sup>2</sup> (EGM, 2020). As florestas de mangue do país são a 13<sup>a</sup> maior cobertura global e 3<sup>a</sup> maior de África, com cerca de 300.000 ha e 9 espécies (Biofund, 2021).

Os ecossistemas de mangue são responsáveis pela maior parte da produtividade marinha e costeira, pela estabilidade da zona costeira e pela qualidade da água do mar. Além da função que desempenham na prevenção da erosão da costa e das margens dos rios, na atenuação das cheias e na reprodução das espécies marinhas, constituem fontes de medicamentos tradicionais, material de construção e combustível lenhoso para as comunidades locais (Langa, 2007). As florestas de mangue estão também entre os principais sequestradores de carbono dos trópicos, podendo sequestrar cerca de 22,8 milhões de toneladas de carbono por ano. Estima-se que a quantidade de carbono sequestrado e depositado nas florestas de mangue seja tão grande que o torna um importante fator para a mitigação das mudanças climáticas (Koufman e Donato, 2012).

Embora reconhecida a sua importância, nos últimos 50 anos, o mangue tem registrado uma crescente perda, impactada pelos fatores antropogénicos e mudanças climáticas globais, com estimativa de perda anual de cerca de 1 a 2% (Jones et al., 2014). Em Moçambique, a área coberta por mangue reduziu de 408.000 ha em 1972 para 357.000 ha em 2004, com uma perda total de 51.000 ha em um período de 32 anos (MICOA, 2008). A província de Sofala localizada na zona centro do país apresentou a segunda maior taxa de desmatamento, com 4,9% (Francisco et al., 2019).

A Baía de Sofala, tem um grande potencial de floresta de mangue, essas florestas estão ameaçadas devido ao desmatamento e a degradação. A faixa costeira da baía de Sofala apresenta vários indicadores de destruição ou degradação do mangue (mangal), aumentando o risco de erosão para a cidade. Relatos indicam que até à década 80 grandes partes das actuais áreas de cobertura dos manguezais eram cobertas por densas árvores de mangue contrariamente ao período actual onde em alguns locais apenas se observam alguns vestígios dessa espécie (Luís, 2011).

A degradação e desflorestação do mangue resultam num aumento substancial das emissões dos Gases de Efeito Estufa (GEE), causando um acréscimo ao efeito de estufa natural e um aquecimento médio adicional da superfície da Terra e da atmosfera, afetando assim os ecossistemas naturais e a humanidade (IPCC, 2021).

Reconhecendo o valor social, económico e ecológico deste ecossistema, e a crescente preocupação da manutenção da biodiversidade biológica a nível nacional e internacional, torna-se necessária a condução de pesquisas nos ecossistemas de mangue. O objetivo desta pesquisa foi mapear a variação temporal e espacial da cobertura do mangue (mangal) na Baía de Sofala.

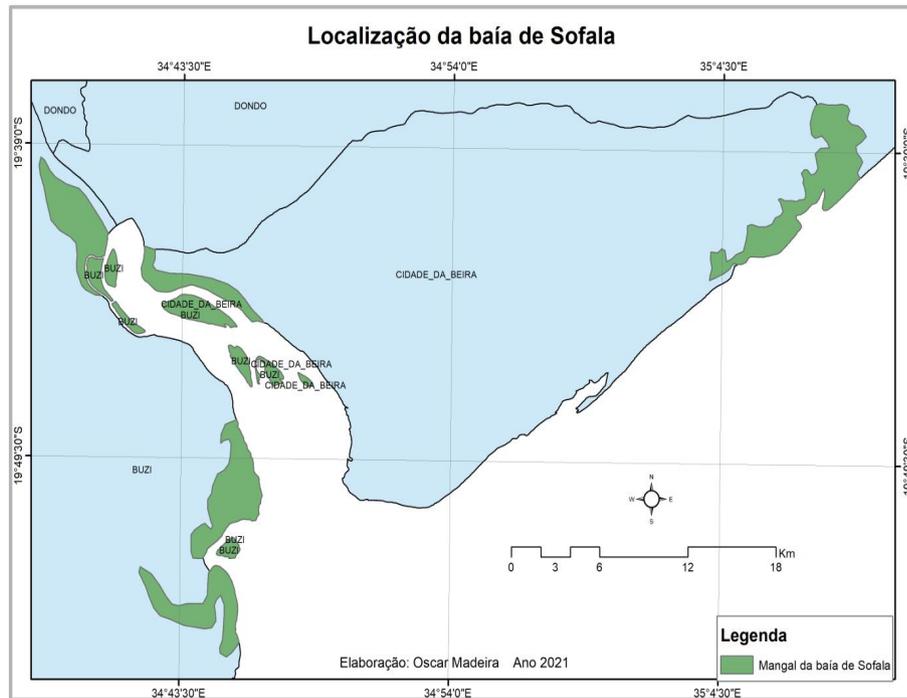
## **2. Material e Métodos**

### *2.1 Descrição da área de estudo*

A Baía de Sofala está localizada na província de Sofala, região centro de Moçambique, entre as latitudes 16° S e 21° E, distando-se entre a costa e a quebra da plataforma continental aproximadamente 20 m. A Baía de Sofala é um sistema de águas rasas, em que a profundidade média não excede os 10 m (Consultec, 2007).

A Figura 1 representa a localização geográfica da área de estudo.

**Figura 1 – área de estudo**



**Fonte:** autores (2023).

O clima da região é tropical húmido com duas estações climáticas, a estação chuvosa vai de Outubro á Março e a estação seca vai de Abril a Setembro (Consultec, 2007), na Baía de Sofala desaguardam os rios Púngue e Buzi (Luís, 2011). A flora aquática e de transição que se destaca são os manguezais que se desenvolvem nas planícies lodosas, riachos e ilhas estuarinas, nos riachos perto do Savane e Nhangau desenvolvem-se manguezaiss em grande número e em pequena quantidade na margem sul do rio Púngue (Consultec, 2007). No manguê da Baía de Sofala existem seis espécies nomeadamente: *Avicennia marina*, *Rhizophora mucronata*, *Brugueira gymnorrhiza*, *Xylocarpus granatum*, *Hiritiera littoralis* e *Ceriops tagal*. *Avicennia marina* é a espécie com maior abundância (Mandlate, 2013).

## 2.2 Dados

Foram usadas imagens Landsat 5, 7 e 8 referentes aos anos 1990 e 2000 (primeiro período) e 2015 a 2020 (segundo período), Tabela 01. Estas imagens foram obtidas gratuitamente na plataforma Earthexplorer. Para cada ano, foi obtida uma imagem com preferência para o mês de setembro. Recorreu-se ao período seco para obtenção das imagens para evitar a interferência das nuvens sobre as imagens.

**Tabela 1 – obtenção de dados e fonte**

<b>Versao da imagem</b>	<b>Ano</b>	<b>Path</b>	<b>Row</b>
Landsat 5	1990	167	074
Landsat 7	2000	167	074
Landsat 8	2015 á 2020	167	074

**Fonte:** autores (2023)

### 2.3 Procedimentos metodológicos

Após a obtenção das imagens Landsat, foi realizado o processamento inicial das imagens. Este processo incluiu a correção atmosférica e geométrica, bem como a combinação das bandas. A correção atmosférica e geométrica das imagens Landsat foi feita com o software QGIS 3.22. Em seguida, as bandas (3, 4 e 5) foram combinadas para realçar a distribuição da vegetação. As imagens foram então recortadas para a área de estudo e convertidas para o sistema UTM, Datum WGS-84, zona 36S, usando o software ArcGIS 10.8.

Prosseguiu-se com a classificação supervisionada das imagens, tendo em conta três categorias principais: mangue, não mangue e corpos de água. Foram designadas como mangue as áreas florestais situadas na transição entre o mar e a terra. Na categoria não mangue, foram englobadas outras áreas florestais, zonas residenciais, agrícolas, dunas costeiras e instalações. Por fim, na categoria água, foram considerados todos os corpos hídricos encontrados na região de estudo.

Depois de realizar a categorização supervisionada das cenas, foi efetuada a medição da extensão de cada categoria e a avaliação da mudança na vegetação de mangue (mangal) ao longo de três décadas.

Foi realizado um processo de validação dos mapas de cobertura de mangue (mangal), utilizando imagens provenientes do Google Earth. Posteriormente, o índice Kappa foi utilizado para verificar a precisão dos mapas, bem como para avaliar possíveis erros de omissão e comissão.

### 3. Resultados e Discussão

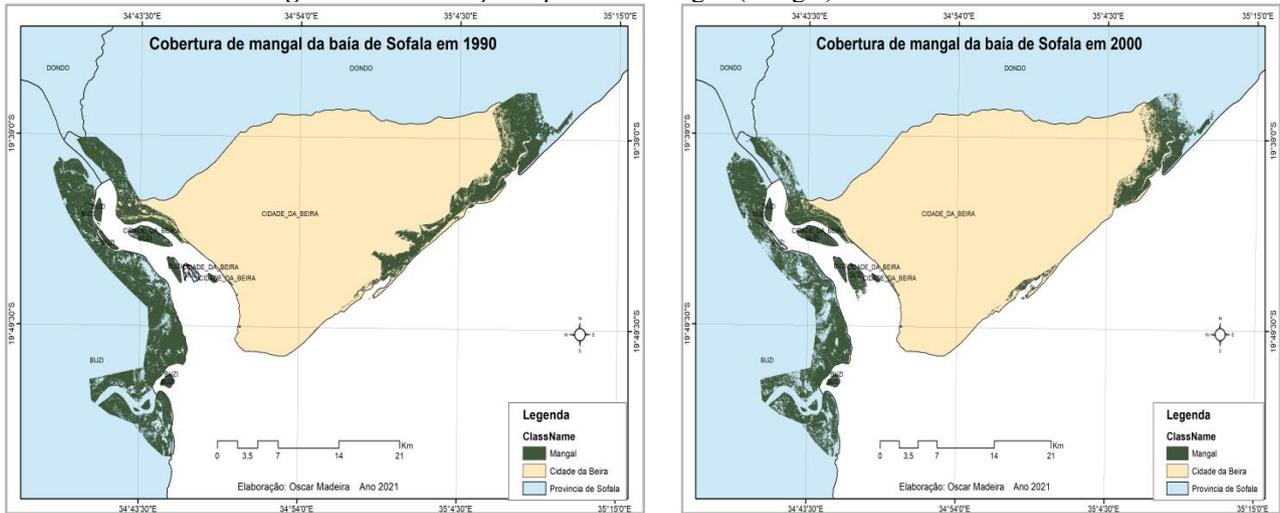
A tabela 2 apresenta a evolução da cobertura de mangue na Baía de Sofala e as figuras 2 e 3 ilustram a distribuição espacial de mangue (mangal) entre 1990 à 2020.

**Tabela 2** - Evolução da cobertura de mangue (mangal) na Baía de Sofala

Ano	Área coberta por mangue (ha)	Mudança (ha)	Porcentagem de incremento/decrécimo (%)
1990	20.174,0	-	-
2000	16.524,9	-3.649,60	-22%
2015	8.450,47	-8.073,93	-96%
2016	9.259,38	808,91	9%
2017	9.691,01	431,63	4%
2018	8.482,88	-1.208,13	-14%
2019	6.101,53	-2.381,35	-39%
2020	6.783,66	682,13	10%

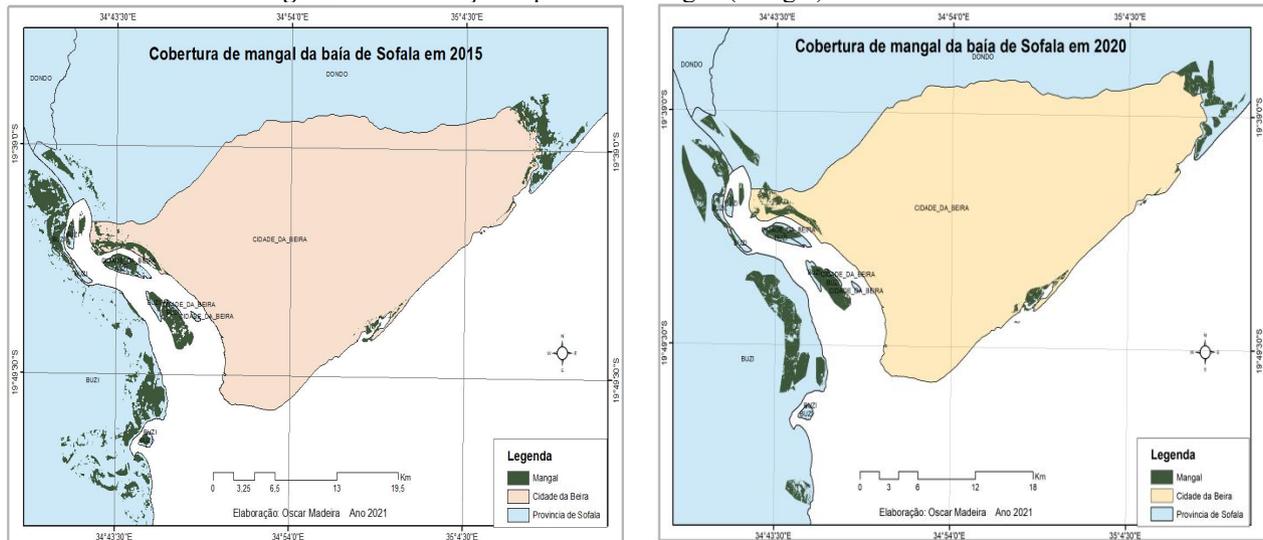
Fonte: autores (2023)

**Figura 2 - Distribuição espacial de mangue (mangal) entre 1990/2000**



Fonte: autores (2023)

**Figura 2- Distribuição espacial de mangue (mangal) entre 2015/2020**



Fonte: autores (2023)

A classificação das cenas Landsat multitemporais para a análise da variação da cobertura de mangue na baía de Sofala demonstrou um decréscimo de 13.390,34 ha entre os anos de 1990 e 2020, correspondendo a uma perda de 66,37% da área coberta por mangue. Em média, a baía de Sofala perde 6% de mangue anualmente. Em 2000, a área coberta por mangue era de 16.524,9 ha, e em 2015 houve um decréscimo de 96%. Em 1990, registou-se uma área coberta de mangue de 20.174,0 ha, enquanto em 2020 esta área era de 6.783,667 ha

Houve uma redução substancial da cobertura de mangue de 1990 a 2015. Conforme a tabela 2, o ano 2019 registou a menor extensão de cobertura de mangue (mangal), com 6.101,53ha correspondente a 39% de perda. A tabela 3 ilustra a matriz de confusão que foi obtida através da comparação da interpretação das imagens Landsat e as imagens de Google Earth.

**Tabela 3 - Matriz de confusão**

	Vegetação de mangue	Outro tipo ocupação do solo	Corpo de água	$\sum X_{+i}$	$\sum (X_i) * (X_{+i})$	Erro de comissão
Vegetação de mangue	210	2	9	221	47073	5%
Outro tipo ocupação do solo	1	43	2	46	2208	7%
Corpo de água	2	3	52	57	3591	10%
$\sum X_{i+}$	213	48	63	324	52872	
Erro de omissão	1%	10%	17%		-	
Acurácia global:.....						94%
Índice Kappa:.....						88%

Fonte: autores (2023)

De acordo com os resultados, os mapas apresentaram uma acurácia global de 94% e índice Kappa de 88% demonstrando que a classificação dos mapas é excelente. Segundo Landis e Koch (1977) os valores positivos próximos de 1 exprimem a boa qualidade de classificação do mapa, sendo que índice Kappa na faixa de 0,8 a 1 é considerado a qualidade de mapa excelente.

Este estudo analisou a variação da cobertura de mangue (mangal) na Baía de Sofala. As constatações da pesquisa sublinham que o mangue (mangal) na Baía de Sofala tem uma tendência decrescente. Pesquisa feita por Luis (2011) constatou que o mangue (mangal) da Cidade da Beira vem diminuindo gradualmente. De aproximadamente 5.420 ha em 1979 para 3.214,9 ha representando uma taxa de crescimento negativo na ordem de 41%, notando-se uma drástica redução na zona pesqueira da Praia Nova. Malua (2016) também constatou que durante 2005 a 2015 o mangue do bairro Muave, próximo de Nhangau teve um declínio na ordem de -4.09% e houve aumento nas restantes categorias tais como residências, campos cultivados e espaços descobertos.

Os trabalhos evidenciados acima, corroboram com os resultados encontrados nesta pesquisa, durante 2015 a 2020 constatou-se uma redução significativa do ecossistema de mangue (mangal). Esta redução pode estar relacionada a causas antrópicas e naturais. De acordo com Francisco et al (2019), a redução da cobertura de mangue (mangal) na Baía de Sofala deve-se a causas antropogénicas tais como o corte para a obtenção do combustível lenhoso, construção de habitações, conversão para construção de salinas e tanques de aquacultura, poluição entre outras causas antropogénicas. Outras possíveis causas são os naturais tais como tempestades e chuvas fortes que assolam a região.

Malua (2016) constatou que a tendência de diminuição do manguemangue na ordem de fatores naturais estão relacionadas aos agentes erosivos que verificar quase ao longo da linha da costa, a acção das marés, das mudanças climáticas bem como em grande medida a acção dos factores humanos.

Analisando os trabalhos evidenciados acima, podemos aferir que tanto as causas antrópicas bem como naturais estão a influenciar para a redução da cobertura do mangue. As causas antrópicas podem estar relacionadas a baixa renda das populações sobre as quais habitam nas imediações das áreas de ocorrência de ecossistema do mangue, pós que é do mangue (mangal) onde garantem o seu sustento. As causas naturais podem estar relacionadas as mudanças climáticas e as frequentes intempéries como ciclones e cheias que tem assolado a zona centro de Moçambique. Constatou-se que os últimos cinco anos, o ano de 2019 ocorreu a maior perda de cobertura de mangue (mangal) na ordem de 39%, num espaço de tempo relativamente, por

consequente, neste ano ocorreu o maior ciclone Iдай, essa perda pode ser a resposta do impacto do ciclone Iдай no mangue.

#### 4. Conclusão

A cobertura do mangue durante 30 anos de análise (1990 a 2020) mudou consideravelmente. Em 1990 a área coberta pelo mangue era de 20.174,0 ha e em 2020 reduziu para 6.783,66 ha. Os resultados da classificação das áreas de mangue (mangal) demonstraram um decréscimo na ordem de 66,37% correspondente a 13.390,34ha e uma perda anual de 6%. Nos últimos 5 anos, o ano 2019 ocorreu a maior perda de mangue na ordem de 39%. Concluiu-se também que tanto as causas antrópicas bem como naturais estão a influenciar para a degradação da cobertura de mangue na Baía de Sofala.

#### 5. Agradecimentos

Os autores agradecem sinceramente a todos que contribuíram para elaboração deste trabalho. Gostaria de expressar a nossa gratidão a todos os colaboradores e colegas que compartilharam seus conhecimentos durante o processo da pesquisa e processamento dos dados. Gostaríamos de destacar que não há nenhum conflito de interesse para a publicação desta pesquisa.

#### 6. Referências

BIOFUND - Fundação Para a Conservação da Natureza (2021). **Mangais: Ecossistemas indispensáveis para os seres vivos e para a natureza.**

Canhanga, S. (2018). **Relatório do Plano de Ação Tecnológico – Para a Transferência das Tecnologias De Adaptação Às Mudanças Climáticas Em Moçambique – Zonas Costeiras.**

Consultec. (2007). **Estudo de Impacto Ambiental Simplificado da Dragagem do Porto da Beira, Província de Sofala,** pp. 28-58.

Francisco, L, Ribeiro, N, & Siteo, A. (2019). **Análise de Mudança de Cobertura do mangal na Baía de Sofala, Moçambique.** Seminário Internacional. Alterações Climáticas, Biodiversidade e Sociedade: Desafios no contexto Africano.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2021). **The Physical Science Basis.** Sixth Assessment Report, Climate Change 2021.

Jones, T. G, Ratsimba R, Ramorinorotsihorana L, Cripps G, & Bey A. (2014). **Ecological Variability and Carbon Stock estimates of Mangrove Ecosystem in Northwestern Madagascar.** Forest 5, 177-205.

Landis, J. R, & Koch, G. G. (1977). **The measurement of observer agreement for categorical data.** Biometrics, 33, 159-74.

Langa, J. V. (2007). Problemas na zona costeira de Moçambique com ênfase para a costa de Maputo. **Revista de Gestão Costeira Integrada,** 7 (1), 33-44.

Luís, A. A. (2011). **Aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica e Detecção Remota no Monitoramento do Mangal**. Dissertação de Mestrado, Universidade Católica de Moçambique, Beira, 70 p.

Mandlate, L. J. C. (2013). **Mangal da Baía de Sofala: Caracterização Ecológica e Estimativa de Carbono Sequestrado**. Dissertação de Mestrado, Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal, Maputo, 89 p.

MICOA - Ministério para a Coordenação da Ação Ambiental (2008). **Relatório do estudo de avaliação da interação entre a biodiversidade e pobreza em Moçambique**. Direção Nacional de Gestão Ambiental. Maputo.

MOÇAMBIQUE. (2020). **Estratégia de Gestão do Mangal (Estratégia do Mangal) 2020 – 2024. Resolução n.º 33/2020 de 18 de Maio**. I Série-Número 93.

Wang'ondu, V. W., Bosire, J.O., Kairo, J.G. & Koedam, N. (2014). Litter fall dynamics of restored mangroves (*Rhizophora mucronata* Lam. and *Sonneratia alba* Sm.) in Kenya. **Restoration Ecology**, 22(6), 824–831.