

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA NUTRICIONAL DO SOLO NA DINÂMICA DA VEGETAÇÃO DO MANGAL NO BAIRRO ICIDUA - CIDADE DE QUELIMANE

Analysis of the nutritional influence of soil on mangrove vegetation dynamics in the Icidua neighborhood, Quelimane city

Análisis de la influencia nutriocional del suelo en la dinámica de la vegetación de manglar en el barrio Icidua, ciudad de Quelimane

ANTÓNIO MANUEL GUZIA

Mestrado em Gestão Ambiental, Universidade Rovuma, Nampula, Moçambique
antonioguzia@gmail.com

ELIAS LUÍS MAXOMBE

Docente da Universidade Rovuma, Nampula, Moçambique
emaxombe@unirovuma.ac.mz

Resumo: Os ecossistemas de mangal destacam-se pela elevada produtividade biológica e pela complexa interacção entre factores edáficos, hidrológicos e biogeoquímicos, sendo o solo um elemento determinante para a estrutura e dinâmica da vegetação. O presente estudo teve como objectivo avaliar a influência das características físico-químicas do solo na disponibilidade de nutrientes e na dinâmica da vegetação do mangal localizado no bairro Icidua, cidade de Quelimane. A amostragem do solo foi realizada em dois campos distintos, utilizando-se tubo de PVC, totalizando doze amostras. Foram analisados os teores de manganês (Mn), ferro (Fe), potássio (K⁺), sódio (Na⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺) e fósforo (P), além de pH, matéria orgânica e granulometria. Os resultados evidenciaram elevadas concentrações de K⁺, Na⁺ e P, contrastando com baixos teores de Ca²⁺ e Mg²⁺, enquanto Mn, Fe e P apresentaram-se predominantemente indisponíveis para absorção vegetal. Os solos caracterizaram-se por baixos teores de matéria orgânica e textura predominantemente siltosa a argilosa, com reduzida fracção arenosa, condições típicas de ambientes de mangal. Os valores de pH mantiveram-se dentro da faixa considerada adequada para este ecossistema. Conclui-se que a dinâmica da vegetação do mangal na área de estudo é fortemente condicionada pelas propriedades edáficas, especialmente pela granulometria, teor de matéria orgânica e disponibilidade de nutrientes, ressaltando a importância da conservação desses solos para a manutenção do equilíbrio ecológico e da funcionalidade dos mangais costeiros.

Palavras-Chave: Vegetação do Mangal. Nutrientes do Solo. Dinâmica da Vegetação do Mangal. Bairro Icidua-Cidade de Quelimane.

/

Abstract: Mangrove ecosystems are characterized by high biological productivity and complex interactions among edaphic, hydrological, and biogeochemical factors, with soil playing a key role in structuring vegetation dynamics. This study aimed to evaluate the influence of soil physicochemical properties on nutrient availability and mangrove vegetation dynamics in the Icidua neighborhood, Quelimane city. Soil samples were

collected from two sampling sites using PVC tubes, totaling twelve samples. Laboratory analyses included the determination of manganese (Mn), iron (Fe), potassium (K⁺), sodium (Na⁺), calcium (Ca²⁺), magnesium (Mg²⁺), and phosphorus (P) contents, as well as pH, organic matter, and particle-size distribution. The results showed high concentrations of K⁺, Na⁺, and P, contrasting with relatively low levels of Ca²⁺ and Mg²⁺, while Mn, Fe, and P were predominantly unavailable for plant uptake. The soils exhibited very low organic matter content and a predominantly silty to clayey texture, with a minor sandy fraction, which is typical of mangrove environments. Soil pH values remained within the range considered suitable for mangrove ecosystems. It is concluded that mangrove vegetation dynamics in the study area are strongly controlled by soil properties, particularly particle-size distribution, organic matter content, and nutrient availability, highlighting the importance of soil conservation for maintaining ecological balance and ecosystem functionality in coastal mangroves.

keywords: Mangrove Vegetation. Soil Nutrients. Mangrove Vegetation Dynamics. Icidua Neighborhood-Quelimane City.

Resumen: Los ecosistemas de manglar se destacan por su elevada productividad biológica y por la compleja interacción entre factores edáficos, hidrológicos y biogeoquímicos, siendo el suelo un elemento determinante para la estructura y dinámica de la vegetación. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la influencia de las características físico-químicas del suelo en la disponibilidad de nutrientes y en la dinámica de la vegetación del manglar localizado en el barrio Icidua, ciudad de Quelimane. El muestreo del suelo se realizó en dos campos distintos, utilizando un tubo de PVC, totalizando doce muestras. Se analizaron los contenidos de manganeso (Mn), hierro (Fe), potasio (K⁺), sodio (Na⁺), calcio (Ca²⁺), magnesio (Mg²⁺) y fósforo (P), además del pH, materia orgánica y granulometría. Los resultados evidenciaron elevadas concentraciones de K⁺, Na⁺ y P, en contraste con bajos contenidos de Ca²⁺ y Mg²⁺, mientras que Mn, Fe y P se presentaron predominantemente indisponibles para la absorción vegetal. Los suelos se caracterizaron por bajos contenidos de materia orgánica y una textura predominantemente limosa a arcillosa, con una reducida fracción arenosa, condiciones típicas de ambientes de manglar. Los valores de pH se mantuvieron dentro del rango considerado adecuado para este ecosistema. Se concluye que la dinámica de la vegetación del manglar en el área de estudio está fuertemente condicionada por las propiedades edáficas, especialmente por la granulometría, el contenido de materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes, resaltando la importancia de la conservación de estos suelos para el mantenimiento del equilibrio ecológico y de la funcionalidad de los manglares costeros.

Palabras clave: Vegetación de Manglar, Nutrientes del Suelo, Dinámica de la Vegetación de Manglar, Barrio Icidua-Ciudad de Quelimane.

INTRODUÇÃO

Os mangais são ecossistemas costeiros de transição entre os ambientes terrestre e marinho, reconhecidos pela sua elevada produtividade biológica e pela prestação de serviços ecossistêmicos essenciais, como a proteção da linha de costa, o sequestro de carbono, a manutenção da biodiversidade e o suporte

aos meios de subsistência das populações costeiras (Alongi, 2012; Spalding et al., 2010). A estrutura e a dinâmica da vegetação de mangal estão fortemente condicionadas pelas características edáficas, em particular pela disponibilidade de nutrientes, teor de matéria orgânica, textura dos sedimentos, pH e condições redox do solo, factores que regulam o estabelecimento, crescimento e sobrevivência das espécies (Donato et al., 2011; Ferreira et al., 2010).

Em contextos urbanos costeiros, os mangais encontram-se especialmente vulneráveis à pressão antrópica, incluindo a ocupação desordenada, a deposição de resíduos sólidos e efluentes domésticos, o pisoteio e o corte da vegetação. Estas perturbações alteram significativamente as propriedades físico-químicas do solo, podendo comprometer os processos de regeneração natural e reduzir a eficácia dos projectos de restauração ecológica (Medeiros, 2015). Em muitos casos, intervenções de reflorestamento falham por desconsiderarem as condições edáficas locais, resultando em elevadas taxas de mortalidade das mudas e em comunidades vegetais empobrecidas.

No bairro Icídua, localizado no estuário do rio Bons Sinais, na cidade de Quelimane (Moçambique), têm sido implementadas diversas iniciativas de restauração de mangais nas últimas décadas. Contudo, observa-se um padrão recorrente de insucesso, caracterizado por baixo crescimento vegetal, elevada mortalidade pós-plantio e regeneração natural limitada. A vegetação remanescente é frequentemente dominada por *Avicennia marina*, espécie reconhecida pela sua elevada tolerância a solos salinos, compactados e com baixos teores de nutrientes, o que sugere uma selectividade ecológica imposta pelas condições edáficas degradadas (Barbosa et al., 2001; Spalding et al., 2010).

A predominância de *Avicennia marina*, em detrimento de espécies estruturalmente importantes, como *Rhizophora mucronata* e *Bruguiera gymnorhiza*, pode indicar um processo de simplificação florística e perda de funcionalidade ecológica do mangal, com implicações directas para a resiliência

do ecossistema. Apesar da relevância desse fenómeno, ainda são escassos os estudos que avaliam, de forma integrada, a influência da composição nutricional e granulométrica dos solos na dinâmica da vegetação de mangal em ambientes urbanos costeiros da África Oriental. Diante deste contexto, o presente estudo tem como objectivo analisar a influência dos nutrientes do solo, do teor de matéria orgânica, do pH e da composição granulométrica dos sedimentos na dinâmica da vegetação do mangal no bairro Icídua, na cidade de Quelimane. Ao identificar os principais condicionantes edáficos associados ao fracasso dos projectos de restauração, este trabalho pretende contribuir para o desenvolvimento de estratégias de reflorestamento mais eficazes, baseadas em evidências científicas e adaptadas às condições ambientais locais.

REFERENCIAL TEÓRICO

Mangal

O mangal tem sido caracterizado por vários autores (Flores et al., 2005) como um ecossistema complexo de flora e fauna, constituindo, por sua vez, uma importante fonte de vida, alimento e abrigo. O mangal é considerado um ecossistema autossuficiente, oferecendo habitats eficazes para o desenvolvimento de organismos marinhos jovens (Chávez, 2018).

Os mangais são ecossistemas costeiros característicos das regiões estuarinas das zonas tropicais e subtropicais. Possuem plantas típicas do mangal e espécies associadas, bem como microalgas e macroalgas adaptadas às flutuações de salinidade. Estes ecossistemas caracterizam-se por colonizarem sedimentos lodosos, ricos em matéria orgânica e com baixo teor de oxigénio (Schaeffer-Novelli, 1995).

Espécies de mangal

Cerca de oito espécies de mangal ocorrem em Moçambique (FAO, 2005), sendo as principais *Avicennia marina*, *Rhizophora mucronata*, *Ceriops tagal*,

Bruguiera gymnorhiza, Sonneratia alba, Lumnitzera racemosa e Xylocarpus granatum (Barbosa et al., 2001).

Características do ecossistema do mangal

A natureza e a dinâmica do ecossistema da floresta de mangal são caracterizadas pela presença de comunidades vegetais capazes de sobreviver tanto em ambientes marinhos quanto em ambientes terrestres. Considerando a diversidade de plantas que caracteriza esse ambiente, a floresta apresenta uma estrutura definida em termos de composição de espécies e padrões de distribuição. Compreender a estrutura da floresta de mangal é importante, pois permite identificar as formações florestais predominantes e as possíveis interações ambientais associadas (Hemati, 2015).

Importância do ecossistema do mangal

Os mangais possuem grande importância econômica e ecológica para as populações costeiras, servindo também como áreas de viveiro para diversas espécies marinhas de elevado valor comercial (Ronnback et al., 1999). Além disso, desempenham um papel fundamental na proteção das vidas e propriedades das comunidades costeiras, uma vez que funcionam como barreiras naturais contra tempestades e ciclones (Badola & Hussain, 2005).

A importância dos mangais pode ser dividida em quatro categorias de serviços ecossistêmicos, a saber:

- **Serviços reguladores:** proteção da linha costeira, regulação atmosférica e climática, controlo de enchentes e erosão;
- **Serviços de fornecimento:** bens e produtos que incluem madeira, lenha, pescado, produção de sal, carvão vegetal, materiais de construção e palha;
- **Serviços culturais:** benefícios não materiais, como valor estético, recreação e turismo, locais sagrados e uso em práticas medicinais tradicionais;

- **Serviços de suporte:** reciclagem de nutrientes, fornecimento de habitats para viveiros de peixes, retenção de sedimentos, filtragem da água e tratamento de resíduos (USAID, 2014).

Causas de degradação de florestas do mangal

Nos países em desenvolvimento, a degradação dos mangais está intimamente associada à forte dependência das comunidades costeiras em relação aos recursos naturais (Bosire et al., 2016).

Em Moçambique, as causas da degradação dos mangais estão relacionadas a factores antropogénicos e naturais. Os factores antropogénicos constituem a principal ameaça aos mangais no país e estão, em grande medida, ligados às formas de utilização dos seus recursos. De acordo com Barbosa et al. (2001), as principais formas de uso dos mangais em Moçambique incluem o corte para obtenção de combustível lenhoso, madeira e estacas (para venda e consumo doméstico), bem como a construção de barcos, vedações e diversos utensílios domésticos. Algumas áreas de mangal também foram convertidas em salinas e, por vezes, utilizadas para a pastagem de gado (Taylor et al., 2003).

Nutrientes do solo

A disponibilidade de nutrientes no solo depende de diversos factores (Salvador et al., 2011), tais como a capacidade do solo de disponibilizar nutrientes, a quantidade de nutrientes que pode ser absorvida pelas plantas e a habilidade do solo de repor os nutrientes retirados pelas plantas. Quanto maior for a fertilidade do solo, maior será o período em que a concentração de nutrientes se mantém disponível para as plantas.

Tipos de nutrientes essenciais nas plantas

Segundo Milénio (2006), os nutrientes essenciais nas plantas correspondem aos elementos minerais e são classificados em dois grupos: macronutrientes e micronutrientes. Os macronutrientes podem ser subdivididos

em primários ou principais e secundários. Os macronutrientes primários o Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K), são absorvidos pelas plantas em maiores quantidades do que os secundários que são Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S). Os micronutrientes são elementos minerais absorvidos em menores quantidades pelas plantas. Entre eles destacam-se Boro (B), Cloro (Cl), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Molibdênio (Mo) e Zinco (Zn). Existem ainda alguns elementos considerados não essenciais, mas benéficos para o desenvolvimento das plantas, como sódio (Na), cobalto (Co), vanádio (V), níquel (Ni) e silício (Si).

Matéria Orgânica

A matéria orgânica do solo é formada por organismos vivos da flora e da fauna do solo, raízes de plantas vivas ou mortas, materiais orgânicos parcialmente decompostos e substâncias orgânicas novas sintetizadas a partir de resíduos de origem vegetal ou animal (Schroeder, 1984). Por convenção, a definição de matéria orgânica do solo não inclui materiais vegetais muito grossos (raízes com diâmetro superior a 2 cm) nem vertebrados do solo (Schroeder, 1984).

Solos

O solo é o produto da transformação de substâncias orgânicas e minerais presentes na superfície da Terra sob a influência de factores ambientais que actuam ao longo de longos períodos de tempo, resultando em um sistema com organização e morfologia definidas. Constitui o meio de crescimento das plantas superiores e a base da vida para os animais e os seres humanos. Como um sistema espaço-temporal, o solo apresenta quatro dimensões fundamentais (Schroeder, 1984). A distribuição do tamanho das partículas e as classes texturais estão intimamente relacionadas com a dinâmica da água, do ar e dos nutrientes no solo, além de influenciarem o desenvolvimento das raízes e a trabalhabilidade do solo. Em conjunto com outros factores, a classe textural determina a fertilidade do solo (Schroeder, 1984).

pH do Solo

A reação do solo, ácida, neutra ou alcalina, é expressa pelo pH, que indica a concentração de íons de hidrogénio presentes no solo (Schaeffer-Novelli, 1995). Em geral, a acidez do solo é um problema mais frequente do que a alcalinidade (Schroeder, 1984).

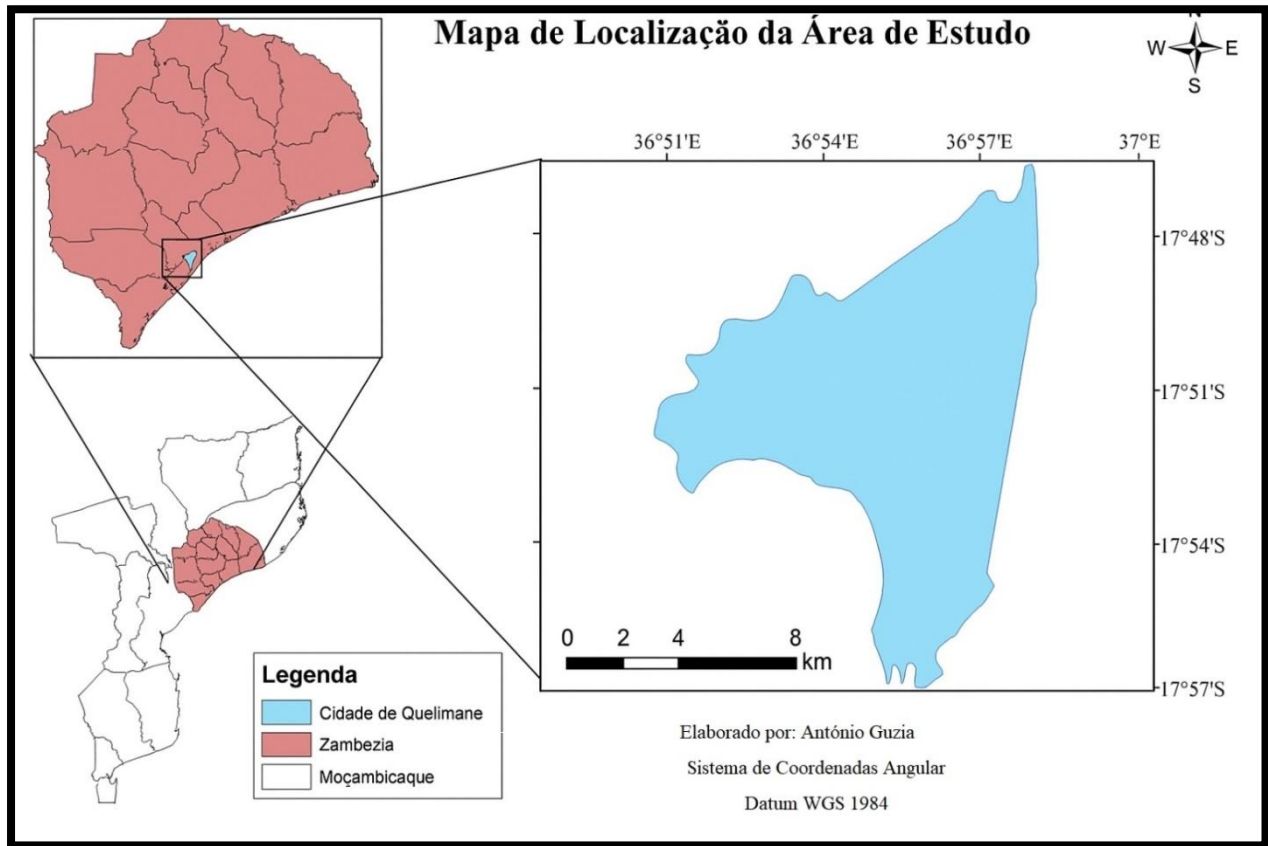
Causas da Acidez do solo

A acidez do solo é causada pela produção de íons H^+ e pela consequente lixiviação de cátions básicos. O pH do solo mineral é inicialmente determinado pelo teor de bases presentes no material de origem. Essas bases são liberadas pelo processo de intemperização, e a capacidade de troca catiónica (CTC) dos colóides do solo é saturada em diferentes graus (Schroeder, 1984).

METODOLOGIA

estudo foi conduzido em áreas reflorestadas de mangal no bairro Icídua, na cidade de Quelimane, província da Zambézia, Moçambique ($17^{\circ}53'5,81''S$; $36^{\circ}55'15,17''E$). A região é caracterizada por apresentar clima tropical húmido, com estação chuvosa (Novembro-Abril) e estação seca (Maio-Setembro), sendo influenciada pela corrente quente do Canal de Moçambique (Unaite, 2017).

Figura 1. Mapa de localização geográfica da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelos Autores, 2025.

Colecta de amostras

A colecta de solo seguiu as recomendações da Embrapa (2017), utilizando tubos de PVC com 25 cm de profundidade e 10 cm de diâmetro, correspondentes à camada arável do solo. Foram seleccionados dois campos de amostragem:

Campo I: 50 × 100 m (17°53.491'S; 36°54.471'E)

Campo II: 50 × 80 m (17°53.491'S; 36°54.471'E)

Em cada campo foram colectadas três amostras em pontos distintos, totalizando seis amostras. As colectas consideraram diferentes níveis de cobertura vegetal: área totalmente coberta, parcialmente coberta e desprovida de mangal, permitindo analisar a influência da vegetação na dinâmica e distribuição de nutrientes no solo.

Materiais e instrumentos

Foram utilizados GPS, luvas, máscaras cirúrgicas, botas, máquina fotográfica, blocos de notas, etiquetas, enxada, tubos de PVC, pás, fita métrica, sacos plásticos e materiais de escrita. Esses instrumentos garantiram a precisão da colecta, a preservação das características do solo e a segurança do pesquisador.

Procedimentos de campo

O trabalho de campo ocorreu em duas etapas. A primeira etapa consistiu no reconhecimento e na delimitação dos pontos de amostragem, realizada em 15 de Outubro de 2024, com mapeamento preliminar e caracterização ambiental da área. A segunda etapa correspondeu à colecta efectiva das amostras, realizada em 17 de Fevereiro de 2025, seguindo os pontos previamente definidos. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados, preservando as condições originais para análises posteriores da dinâmica e distribuição de nutrientes do solo.

Tratamento e Análises Laboratoriais

As amostras de solo colectadas foram acondicionadas em sacos plásticos identificados e encaminhadas ao Laboratório de Solos e Plantas do Instituto de Investigação Agrária de Moçambique (IIAM), em Nampula, para determinação de macronutrientes, micronutrientes, matéria orgânica, pH e granulometria dos sedimentos.

Determinação de nutrientes

Os nutrientes foram extraídos utilizando a solução Mehlich-1 (HCl 0,05 M + H₂SO₄ 0,0125 M) e KCl 1 mol/L, conforme apropriado, e quantificados por métodos específicos:

- Ferro (Fe): Formação do complexo Fe²⁺-o-fenantrolina, medido por espectrofotometria a 508 nm.
- Manganês (Mn): Oxidação de Mn²⁺ a permanganato, com leitura espectrofotométrica a 550 nm.

- Fósforo (P): Formação do complexo fosfomolibdático reduzido por ácido ascórbico, com leitura a 660 nm.
- Sódio (Na⁺) e Potássio (K⁺): Determinados por espectroscopia de chama após extracção com Mehlich-1.
- Cálcio (Ca²⁺) e Magnésio (Mg²⁺): Determinados por titulação volumétrica após extracção com KCl 1 mol/L.

Para todos os elementos foram utilizadas curvas de calibração com soluções padrão para a quantificação.

Matéria orgânica

A matéria orgânica foi determinada pelo método de oxidação úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico, seguido de titulação do excesso de dicromato com sulfato ferroso amoniacal (sal de Mohr). O teor de matéria orgânica foi calculado a partir do carbono orgânico, multiplicado pelo factor 1,724.

pH

O pH do solo foi medido em suspensão solo:solução (1:2,5), utilizando água destilada, KCl 1 mol/L ou CaCl₂ 0,01 mol/L, com eléctrodo combinado e potenciómetro calibrado com soluções padrão (pH 4 e 7).

Granulometria dos sedimentos

A fracção granulométrica do solo foi determinada pelo método da pipeta, após dispersão com solução de NaOH e hexametáfosfato de sódio. As partículas foram classificadas em areia grossa, areia fina, silte e argila, sendo os resultados expressos em percentagem da terra fina seca ao ar (TFSA).

Tratamento e análise de dados

Os dados obtidos foram organizados no Microsoft Excel e analisados estatisticamente para interpretação e discussão dos resultados, relacionando a fertilidade do solo com a distribuição e o crescimento da vegetação do mangal.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Identificação dos nutrientes

Durante o processamento e a análise laboratorial das amostras de solo do mangal do bairro Icídú, foram identificados dois micronutrientes e cinco macronutrientes. Entre os micronutrientes destacam-se o manganês (Mn) e o ferro (Fe), enquanto os macronutrientes incluem potássio (K^+), sódio (Na^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e fósforo (P). Esses elementos são essenciais para a fisiologia e o crescimento das plantas de mangal e influenciam diretamente a dinâmica do ecossistema.

Níveis de concentração dos micronutrientes

As concentrações de Mn e Fe nos pontos de amostragem dos Campos I e II variaram conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Concentrações de micronutrientes nos solos do mangal do bairro Icídú.

	Pontos de Amostragem	Profundidade Cm	Mn	Fe
			<i>ppm</i>	
Campo I	A1	00-50	113	203
	A2	00-50	172	406
	A3	00-50	265	118
Campo II	B1	00-50	52	252
	B2	00-50	233	30
	B3	00-50	88	133

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

As concentrações de Mn variaram de 52 a 265 ppm, com média aproximada de 154 ppm, enquanto o Fe variou de 30 a 406 ppm, com média de

190 ppm. Observa-se uma distribuição irregular das concentrações em todos os pontos, reflectindo a heterogeneidade local do solo.

Segundo Kabata-Pendias (2011), o teor total de Mn em solos varia amplamente entre 20 e 3.000 ppm, com média de 600 ppm, enquanto o Fe varia entre 7.000 e 550.000 ppm, com média global de 38.000 ppm. Assim, os valores de Mn encontram-se dentro dos padrões esperados para solos tropicais húmidos, típicos de mangais, indicando disponibilidade natural adequada. Já os teores de Fe estão abaixo dos padrões globais, mas não indicam contaminação ou anomalia ambiental, uma vez que os micronutrientes são absorvidos em pequenas quantidades e o seu excesso pode ser tóxico para as plantas (Marschner, 2012). A solubilidade e a biodisponibilidade desses metais em solos de mangal são influenciadas pelas condições redox, pela matéria orgânica, pelo pH e pela complexação com substâncias húmicas (Silva et al., 2020). Portanto, a presença total de Fe e Mn não garante disponibilidade directa para absorção pelas raízes, podendo limitar o crescimento da vegetação, especialmente em áreas com baixa matéria orgânica e forte competitividade química (Sousa et al., 2018).

Figura 2. Zona reflorestada e sem cobertura do mangal, resultado do fraco crescimento e desenvolvimento.



Fonte: Acervo fotográfico dos autores, 2025.

Souza et al. (2017) demonstram que ambientes com alto teor de matéria orgânica tendem a apresentar maiores concentrações de Mn e Fe devido à maior

retenção por complexação e à menor drenagem oxidativa. De acordo com Lima et al. (2016), a fracção fina do solo (silte e argila) apresenta correlação positiva com a retenção de Mn e Fe em ambientes estuarinos. Portanto, as variações nas concentrações destes micronutrientes essenciais podem também reflectir diferenças na matéria orgânica e na textura do solo entre os pontos amostrados.

Níveis de concentração dos macronutrientes

Foram identificados cinco macronutrientes nas amostras, com variações apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Concentrações de macronutrientes nos solos do mangal do bairro Icídua.

	Pontos de Amostragem	Profundidade e Cm	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	P
			Cmol _c /kg	Cmol _c /kg	Cmol _c /kg	Cmol _c /kg	ppm
Campo I	A1	00-50	48,18	25,8 3	0,5	1	22
	A2	00-50	43,58	2,6	0,5	0,75	21
	A3	00-50	32,07	1,29	1,75	1	39
Campo II	B1	00-50	37,44	1,73	1,5	0,75	31
	B2	00-50	35,14	2,6	1,5	0,75	22
	B3	00-50	38,21	1,08	1,25	0,75	26

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

O potássio (K⁺), o sódio (Na⁺), o cálcio (Ca²⁺) e o magnésio (Mg²⁺) encontram-se em fracções disponíveis para absorção pelas raízes das plantas de mangal. O fósforo (P), por sua vez, encontra-se predominantemente em formas totais, nem sempre disponíveis para absorção vegetal. Os dados laboratoriais indicam concentrações elevadas de potássio (K⁺), sódio (Na⁺) e fósforo (P), além de níveis relativamente baixos de cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) no solo dos

mangais estudados. Essas características têm implicações significativas para a dinâmica da vegetação do mangal.

Potássio (K^+): apresentou valores extremamente elevados (32,07-48,18 cmolc/kg) quando comparados aos solos típicos de mangal (0,3-1,2 cmolc/kg; Medina et al., 2010). Concentrações elevadas de K^+ podem inibir a absorção de Ca^{2+} e Mg^{2+} , prejudicando a nutrição vegetal. Esse desequilíbrio pode explicar o crescimento limitado da vegetação e a predominância de *Avicennia marina*, espécie tolerante à salinidade e ao desequilíbrio nutricional (Lovelock, 2010).

Figura 3. Espécie *Avicennia marina* predominante na área de estudo (Bairro Icidua Quelimane).



Fonte: Acervo fotográfico dos autores, 2025.

Sódio (Na^+): apresentou valores extremamente elevados no ponto A1 (25,83 cmolc/kg), indicando condições de elevada salinidade. Esse factor pode limitar a diversidade de espécies vegetais, favorecendo espécies com maior capacidade de excreção de sal, como *Avicennia* spp., e restringindo o crescimento de espécies menos tolerantes, como *Rhizophora mangle* (Lacerda, 2002). Segundo Ukpong (1997), níveis de sódio superiores a 10 cmolc/kg reduzem significativamente a diversidade florística em mangais tropicais. Contudo, nos demais pontos amostrados, os valores de Na^+ encontram-se abaixo

desse limite, sugerindo que a redução da diversidade florística na área de estudo não está exclusivamente associada à concentração de sódio.

Cálcio (Ca^{2+}) e Magnésio (Mg^{2+}): apresentaram valores relativamente baixos, variando entre 0,5 e 1,75 cmolc/kg. Esses nutrientes desempenham papel fundamental na estrutura celular e no processo fotossintético, influenciando directamente a regeneração da vegetação do mangal (Kauffman & Donato, 2012). Segundo Cuevas (2011), em mangais bem conservados o cálcio varia entre 2 e 5 cmolc/kg. Assim, os valores observados na área de estudo, inferiores a 2 cmolc/kg, reforçam o estado de degradação do mangal local.

O magnésio (Mg^{2+}) variou entre 0,75 e 1 cmolc/kg. Os pontos A1 e A2 apresentaram as maiores concentrações (1 cmolc/kg), enquanto os demais pontos apresentaram valores ligeiramente inferiores. Essa baixa variação é consistente com a literatura, embora os valores estejam abaixo do ideal em alguns casos. Conforme Lacerda (2002) e Wood (2023), o magnésio é susceptível à lixiviação em ambientes salinos, o que pode afectar a produção de clorofila e comprometer o processo de fotossíntese.

Talvez a situação da dinâmica do mangal em Icídua esteja de acordo com a tese dos autores Lacerda (2002) e Wood (2023), dada importância do magnésio (Mg^{2+}) na produção da clorofila para o processo da fotossíntese, mas os locais amostrados demonstram crescimento e desenvolvimento fraco do mangal, o que cogita-se que o magnésio (Mg^{2+}) esteja a sofrer lixiviação para fora do alcance das raízes das plantas dos mangais, empobrecendo nutricionalmente o solo.

Fósforo (P): apresentou valores elevados (21-39 ppm), superiores aos normalmente observados em mangais (2-15 ppm; Adame et al., 2014). Embora elevados, esses valores nem sempre correspondem a fósforo disponível para absorção pelas plantas. Segundo Lacerda (2002), níveis superiores a 20 ppm são considerados elevados em ambientes de mangal. Assim, o excesso desse nutriente pode alterar a dinâmica ecológica do ecossistema e contribuir para o crescimento limitado da vegetação.

Matéria Orgânica

Tabela 4. Teores de matéria orgânica (%) nos solos do mangal.

	Pontos de Amostragem	Profundidade	Matéria Orgânica
		cm	%
Campo I	A1	00-50	0,26
	A2	00-50	0,17
	A3	00-50	0,37
Campo II	B1	00-50	0,47
	B2	00-50	0,47
	B3	00-50	0,16

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

Os teores encontrados (0,16-0,47%) são extremamente baixos para solos de mangal, que normalmente apresentam valores entre 5 e 20% (Alongi, 2014). Esses resultados reflectem sedimentos pobres em nutrientes e com baixa capacidade de suporte à regeneração vegetal. Esse déficit está associado à degradação antrópica da área, incluindo lançamento de esgoto, urbanização e corte da vegetação (Sanders et al., 2014; Fernandes et al., 2010).

A regeneração natural do mangal depende da presença de sedimentos ricos em matéria orgânica, capazes de fornecer nutrientes e humidade para o estabelecimento das mudas. Com teores tão baixos, a regeneração pode ser comprometida, resultando na redução gradual da cobertura vegetal ao longo do tempo (Donato et al., 2011).

Granulometria dos sedimentos

Tabela 5. Composição granulométrica dos solos (%).

	Pontos de Amostragem	Profundidade cm	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
			%			
Campo I	A1	00-50	0	1	43	55
	A2	00-50	1	14	31	54
	A3	00-50	1	14	31	55
Campo II	B1	00-50	0	2	37	60
	B2	00-50	1	12	33	55
	B3	00-50	0	11	32	57

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

Observa-se predominância de argila (54-60%) e silte (31-43%), com baixa presença de areia. Esse padrão favorece a retenção de nutrientes e matéria orgânica, mas pode limitar a bioturbação e a aeração do solo, afetando o crescimento da vegetação (Machado et al., 2008; Alongi, 2002; Aschenbroich et al., 2019).

Solos com elevado teor de argila e silte apresentam alta capacidade de troca catiónica (CTC), essencial para o acúmulo de macronutrientes como K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , fundamentais para o crescimento das espécies de mangal (Lacerda et al., 1993; Silva et al., 2016). Segundo Schaeffer-Novelli et al. (2000), a predominância de partículas finas indica ambientes de baixa turbulência hidrodinâmica, típicos das zonas internas do mangal.

Estudos recentes indicam que áreas com maior proporção de areia fina são mais vulneráveis a impactos antropogênicos, devido à maior permeabilidade e menor coesão do solo (Sippo et al., 2020). Nos pontos A2, A3, B2 e B3 foram observados maiores teores de areia fina, coincidindo com áreas que apresentam cobertura vegetal reduzida ou ausente.

pH do solo

Tabela 1. pH do solo em diferentes pontos amostrados do ecossistema do mangal no Bairro Icídua.

	Pontos de Amostragem	Profundidade	pH
		cm	-
Campo I	A1	00-50	7,41
	A2	00-50	7,45
	A3	00-50	6,78
Campo II	B1	00-50	6,91
	B2	00-50	6,87
	B3	00-50	7,24

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

Os valores de pH variaram entre 6,78 e 7,45, com média de 7,11, indicando solos neutros a ligeiramente ácidos. Esses valores são compatíveis com os encontrados em mangais tropicais estuarinos (Ferreira et al., 2010; Wakushima et al., 1994; Alongi, 2022; Bhomia et al., 2016).

Valores mais baixos de pH (6,78-6,91) podem indicar maior acumulação de matéria orgânica ou influência de poluição urbana e agrícola. Por outro lado, valores ligeiramente mais elevados (7,24-7,45) podem reflectir melhor drenagem e maior influência das marés, favorecendo espécies como *Avicennia marina*.

CONCLUSÃO

A análise da fertilidade do solo do mangal do bairro Icídúá revelou um sistema nutricional desequilibrado. Foram identificados dois micronutrientes (Mn e Fe) e cinco macronutrientes (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e P). Destacam-se:

- Elevadas concentrações de K^+ e P;
- Baixos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e matéria orgânica;
- Distribuição irregular dos nutrientes;
- Predominância de sedimentos finos (argila e silte);
- pH neutro a ligeiramente ácido, compatível com mangais tropicais estuarinos.

Essas condições resultam em crescimento limitado da vegetação, baixa regeneração natural e redução da diversidade florística, favorecendo espécies tolerantes à salinidade e ao desequilíbrio nutricional, como *Avicennia marina*. O déficit de matéria orgânica e de nutrientes essenciais, aliado à influência antropogênica (urbanização, lançamento de esgoto e corte de vegetação), compromete a dinâmica ecológica e a resiliência do ecossistema do mangal.

REFERÊNCIAS

ADAME, M. F. et al. **Root biomass and production of mangroves surrounding a karstic oligotrophic coastal lagoon**. *Wetlands*, Dordrecht, v. 34, n. 3, p. 479-488, 2014.

ALONGI, D. M. **Present state and future of the world's mangrove forests**. *Environmental Conservation*, Cambridge, v. 29, n. 3, p. 331-349, 2002.

ALONGI, D. M. **Carbon sequestration in mangrove forests**. *Carbon Management*, London, v. 3, n. 3, p. 313-322, 2012.

ALONGI, D. M. **Carbon cycling and storage in mangrove forests**. *Annual Review of Marine Science*, Palo Alto, v. 6, p. 195-219, 2014.

ALONGI, D. M. **Nutrient cycling in mangrove ecosystems: a review**. *Science of the Total Environment*, Amsterdam, v. 832, p. 155076, 2022.

ASCHENBROICH, A. et al. **Bioturbation functional roles in mangrove ecosystems: a review**. *Marine Environmental Research*, Amsterdam, v. 148, p. 1-11, 2019.

BADOLA, R.; HUSSAIN, S. A. **Valuing ecosystem functions: an empirical study on the storm protection function of Bhitarkanika mangrove**

ecosystem. Environmental Conservation, Cambridge, v. 32, n. 1, p. 85-92, 2005.

BARBOSA, F. M. A.; CUAMBE, C. C.; BANDEIRA, S. O. **Status and distribution of mangroves in Mozambique.** South African Journal of Botany, Pretoria, v. 67, n. 3, p. 393-398, 2001.

BHOMIA, R. K. et al. **Impacts of mangrove management systems on mangrove changes in the northern coast of Aceh, Indonesia.** Estuarine, Coastal and Shelf Science, London, v. 179, p. 128-135, 2016.

BOSIRE, J. O. et al. **Mangroves of the Western Indian Ocean: status and management.** Zanzibar: Western Indian Ocean Marine Science Association (WIOMSA), 2016.

CHÁVEZ, M. B. **Corredor ecológico do mangal: restauro do ecossistema do mangal-caso de estudo: municípios de Eloy Alfaro e Rio Verde no Equador.** Lisboa: Universidade de Lisboa, 2018.

CUEVAS, E. **Annual report 2010–2011.** San Juan: University of Puerto Rico, 2011.

DONATO, D. C. et al. **Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics.** Nature Geoscience, London, v. 4, n. 5, p. 293-297, 2011.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo.** 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

FAO-FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Global forest resources assessment: thematic study on mangroves.** Rome: FAO, 2005.

FERNANDES, S. O. et al. **Nitrogen-limited mangrove ecosystems conserve N through dissimilatory nitrate reduction to ammonium.** Scientific Reports, London, v. 1, p. 1-8, 2010.

FERREIRA, T. O. et al. **Dynamics of iron and organic matter in mangrove soils under different tidal inundation regimes.** Geoderma, Amsterdam, v. 160, n. 3-4, p. 401-408, 2010.

FERREIRA, T. O. et al. **Effects of biogeochemical factors on the development of mangrove vegetation in estuarine environments of southeastern Brazil.** Plant and Soil, Dordrecht, v. 330, n. 1, p. 227-243, 2010.

FLORES, F. J. V.; AGRAZ, C. M. H.; BENÍTEZ, D. P. **Creación y restauración de ecosistemas de manglar: principios básicos.** In: BARRAGÁN, J. M. (org.). Manejo costero integral: el enfoque municipal. Madrid: CYTED, 2005.

HEMATI, Z. **A comparative study of biomass and carbon pool between natural and degraded mangrove forests in Peninsular Malaysia.** Kuala Lumpur: University of Malaya, 2015.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. 4. ed. Boca Raton: CRC Press, 2011.

KAUFFMAN, J. B.; DONATO, D. C. **Protocols for the measurement, monitoring and reporting of structure, biomass and carbon stocks in mangrove forests**. Bogor: CIFOR, 2012.

LACERDA, L. D. **Mangrove ecosystems: function and management**. Berlin: Springer, 2002.

LACERDA, L. D.; REZENDE, C. E.; OVALLE, A. R. C. **Dinâmica de nutrientes em ecossistemas de manguezal**. In: LACERDA, L. D. (org.). Conservação dos manguezais do Brasil. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 1993. p. 25-45.

LIMA, A. T.; RIBEIRO, C. A.; COSTA, A. C. S. **Influência da granulometria na retenção de metais em solos estuarinos**. Revista de Ciências Ambientais, Canoas, v. 10, n. 1, p. 42-51, 2016.

LOVELOCK, C. E. **Nutrition of mangroves**. Tree Physiology, Oxford, v. 30, n. 9, p. 1148-1159, 2010.

MACHADO, W.; LACERDA, L. D.; OVALLE, A. R. C. **Composição granulométrica e geoquímica de sedimentos de manguezais da Baía de Guanabara (RJ)**. Geochimica Brasiliensis, Rio de Janeiro, v. 22, n. 1, p. 44-58, 2008.

MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. London: Academic Press, 2012.

MEDEIROS, A. E. **Intervenções urbanas: reabilitação ambiental sustentável arquitetônica e urbanística**. Brasília: Universidade de Brasília, 2015.

MEDINA, E.; CUEVAS, E.; LUGO, A. E. **Nutrient relations of dwarf *Rhizophora mangle* L. mangroves on peat in eastern Puerto Rico**. Estuarine, Coastal and Shelf Science, London, v. 40, n. 6, p. 587-602, 2010.

MILÉNIO, S. **Influência da densidade arbórea e da humidade no carbono contido no solo na floresta de mangal de Mirazane, estuário dos Bons Sinais**. Maputo: Universidade Eduardo Mondlane, 2006.

RONNBACK, P. et al. **Distribution pattern of shrimps and fish among *Avicennia* and *Rhizophora* microhabitats in the Pagbilao mangroves, Philippines**. Estuarine, Coastal and Shelf Science, London, v. 48, p. 223-234, 1999.

SALVADOR, J. T.; CARVALHO, T. C.; LUCCHESI, L. A. C. **Relações cálcio e magnésio presentes no solo e teores foliares de macronutrientes**. Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 47-54, 2011.

SANDERS, C. J. et al. **Organic carbon burial in a mangrove forest, margin and intertidal mud flat.** Estuarine, Coastal and Shelf Science, London, v. 90, n. 3, p. 168-172, 2014.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Mangal: ecossistema entre a terra e o mar.** São Paulo: Caribbean Ecological Research, 1995.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. et al. **Variabilidade de estrutura e biomassa de manguezais no Brasil.** Revista Brasileira de Biologia, Rio de Janeiro, v. 60, n. 2, p. 361-373, 2000.

SCHROEDER, D. **Solos: fatos e conceitos.** São Paulo: Nobel, 1984.

SILVA, C. A. R.; LACERDA, L. D.; REZENDE, C. E. **Biogeoquímica dos manguezais.** In: PEREIRA, R. C.; SOARES-GOMES, A. (org.). Biologia marinha. Rio de Janeiro: Interciência, 2016. p. 293-308.

SILVA, J. F.; GOMES, L. C.; FERREIRA, T. O. **Micronutrient dynamics in mangrove soils under redox fluctuations.** Journal of Soils and Sediments, Heidelberg, v. 20, n. 2, p. 759-771, 2020.

SIPPO, J. Z.; LOVELOCK, C. E.; SANTOS, I. R. **Greenhouse gas emissions from mangrove soils: a review.** Science of the Total Environment, Amsterdam, v. 720, p. 137617, 2020.

SOUSA, L. P. et al. **Disponibilidade de ferro e manganês em solos de manguezal sob diferentes coberturas vegetais.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 42, e0170484, 2018.

SOUZA, J. M. A.; NASCIMENTO, C. W. A.; SANTOS, D. R. **Matéria orgânica e metais pesados em solos de manguezais.** Revista Ciência Agronômica, Fortaleza, v. 48, n. 4, p. 642-649, 2017.

SPALDING, M.; KAINUMA, M.; COLLINS, L. **World atlas of mangroves.** London: Earthscan, 2010.

UNAITE, M. C. **Analysis of causes and possible methods of dealing with mangrove deforestation in Mozambican coastal areas: a case study of Quelimane District in Zambézia Province.** Malmö: World Maritime University, 2017.

UKPONG, I. E. **Vegetation and soil relations in mangrove swamps of southeastern Nigeria.** Journal of Tropical Ecology, Cambridge, v. 13, n. 2, p. 215-230, 1997.

USAID. **Mapping of healthy and degraded mangrove vegetation in the Limpopo Basin.** Washington, DC: United States Agency for International Development, 2014.

WAKUSHIMA, S.; KURAIISHI, S.; SAKURAI, N. **Soil salinity and pH in Japanese mangrove forests and growth of cultivated mangrove plants**

in different soil conditions. Journal of Plant Research, Tokyo, v. 107, n. 1, p. 39-46, 1994.

251

WANG'ONDU, V. W. et al. **Phenology of Avicennia marina (Forsk.) Vierh. in a disjunctly-zoned mangrove stand in Kenya.** Western Indian Ocean Journal of Marine Science, Zanzibar, v. 9, n. 2, p. 135-144, 2010.

WOOD, T. E. **People.** Washington, DC: U.S. Forest Service Research and Development, 2023.