

ANÁLISE MULTITEMPORAL DA EVOLUÇÃO DOS MEANDROS DO RIO MEARIM COMO RECURSO PARA GESTÃO TERRITORIAL

Deuzanir da Conceição Amorim Lima

Doutoranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Federal do Maranhão
São Luís, Maranhão, Brasil
deuzaniroceano@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0009-8432-5016>

Flávia Rebelo Mochel

Professora do Departamento de Oceanografia da Universidade Federal do Maranhão
São Luís, Maranhão, Brasil
flavia.mochel@ufma.br
<https://orcid.org/0000-0001-5911-3171>

André Luis Silva do Santos

Professor do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGGEO) da UFMA
São Luís, Maranhão, Brasil
andresantos@ifma.edu.br
<https://orcid.org/0000-0002-9590-6686>

Denilson da Silva Bezerra

Professor do Departamento de Oceanografia da Universidade Federal do Maranhão
São Luís, Maranhão, Brasil
denilson.bezerra@ufma.br
<https://orcid.org/0000-0002-9567-7828>

Recebido:05/2025

Avaliado:09/25

Publicado:10/25

RESUMO

A utilização das técnicas de sensoriamento remoto, foco do presente estudo, é embasado na compreensão das características que um dado elemento da superfície da terra assume em um determinado produto de sensoriamento remoto. O baixo Mearim tem como maior característica a meandricidade. Para elaboração do trabalho foram utilizadas imagens Landsat correspondentes ao período de 40 anos de 1975 a 2015. Foi feito a vetorização e cálculo de área para posterior análise temporal. Na sequência utilizou-se o recurso DSAS para realização de prognósticos futuros até o ano de 2055. A partir dos resultados gerados observou-se que para a linha de margem dos meandros, no cenário mais crítico de 2015, temos o comprometimento dos postes 4, os postes 9 e 10; os postes 12 e 13; os postes 14 e 15 e o poste 22. Quando é considerada a maior taxa de avanço anual observada (4,75m por ano) para um intervalo de 40 anos, teremos um avanço de 190 m, comprometendo principalmente os postes 8 e 15 a 17. Os resultados evidenciaram a necessidade de mudança de toda a linha de transmissão para uma distância de 200m a 250m da atual margem do meandro próximo aos postes de 1 a 18.

Palavras-chave: Análise multitemporal; Evolução de Meandros; Rio Mearim; Prognósticos.

MULTITEMPORAL ANALYSIS OF THE EVOLUTION OF THE MEARIM RIVER MEANDERS AS A RESOURCE FOR TERRITORIAL MANAGEMENT

ABSTRACT

The use of remote sensing techniques, the focus of this study, is based on understanding the characteristics of a given element of the Earth's surface in a given remote sensing product. The main characteristic of the lower Mearim is its meandering. Landsat images from the 40-year period from 1975 to 2015 were used to prepare this study. Vectorization and area calculations were

performed for subsequent temporal analysis. The DSAS resource was then used to perform future forecasts up to 2055. Based on the results, it was observed that, for the meander margin line, in the most critical scenario of 2015, the following would be compromised: posts 4, posts 9 and 10; posts 12 and 13; poles 14 and 15 and pole 22. When the highest observed annual advance rate (4.75 m per year) for a 40-year interval is considered, we will have an advance of 190 m, mainly compromising poles 8 and 15 to 17. The results highlighted the need to move the entire transmission line to a distance of 200 m to 250 m from the current meander margin close to poles 1 to 18.

Keywords: Multitemporal Analysis; Meander Evolution; Mearim River; Forecasts

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA EVOLUCIÓN DE LOS MEANDROS DEL RÍO MEARIM COMO RECURSO PARA LA GESTIÓN TERRITORIAL

246

RESUMEN

El uso de las técnicas de teledetección, objeto de este estudio, se basa en la comprensión de las características que adquiere un determinado elemento de la superficie terrestre en un determinado producto de teledetección. La principal característica del bajo Mearim es su meandricidad. El estudio utilizó imágenes Landsat correspondientes al período de 40 años comprendido entre 1975 y 2015. El área fue vectorizada y calculada para su posterior análisis temporal. A continuación, se utilizó el DSAS para realizar previsiones futuras hasta el año 2055. A partir de los resultados generados, se observó que para la línea de margen de meandro, en el escenario más crítico de 2015, se tiene el compromiso de los puestos 4, puestos 9 y 10; puestos 12 y 13; puestos 14 y 15 y puesto 22. Cuando se considera la tasa de avance anual más alta observada (4,75 metros por año) para un intervalo de 40 años, se tendrá un avance de 190 metros, comprometiendo principalmente los postes 8 y 15 a 17. Los resultados muestran que es necesario reubicar toda la línea de transmisión a una distancia de entre 200 m y 250 m de la orilla actual del meandro, cerca de los postes 1 a 18.

Palabras Clave: Análisis multitemporal; Evolución de los meandros; Río Mearim; Pronósticos.

ANALYSE MULTITEMPORELLE DE L'ÉVOLUTION DES MÉANDRES DE LA RIVIÈRE MEARIM COMME RESSOURCE POUR LA GESTION TERRITORIALE

RÉSUMÉ

Français L'utilisation des techniques de télédétection, au cœur de cette étude, repose sur la compréhension des caractéristiques d'un élément donné de la surface terrestre dans un produit de télédétection donné. La principale caractéristique du Mearim inférieur est son méandre. Des images Landsat de la période de 40 ans de 1975 à 2015 ont été utilisées pour préparer cette étude. La vectorisation et les calculs de surface ont été effectués pour l'analyse temporelle ultérieure. La ressource DSAS a ensuite été utilisée pour effectuer des prévisions futures jusqu'en 2055. Sur la base des résultats, il a été observé que, pour la ligne de marge du méandre, dans le scénario le plus critique de 2015, les éléments suivants seraient compromis: postes 4, postes 9 et 10; postes 12 et 13; pôles 14 et 15 et pôle 22. Si l'on considère le taux d'avancée annuel le plus élevé observé (4,75 m par an) pour un intervalle de 40 ans, on aura une avancée de 190 m, compromettant principalement les pôles 8 et 15 à 17. Les résultats ont mis en évidence la nécessité de déplacer l'ensemble de la ligne de transmission à une distance de 200 m à 250 m de la marge du méandre actuel proche des pôles 1 à 18.

Mots-clés: Analyse multitemporelle; évolution des méandres; rivière Mearim; prévisions..

INTRODUÇÃO

Segundo o Zoneamento Geoambiental do Estado do Maranhão (1997), a bacia hidrográfica do rio Mearim possui uma área de aproximadamente 96.000 km², considerando o rio Pindaré, que deságua a apenas 20 km de sua foz e o Grajaú, que flui para o Mearim. Esta área corresponde a 30% da área total do estado do Maranhão abrangendo 77 municípios ao longo de seu percurso. É a maior entre todas as bacias hidrográficas do Estado.

O rio Mearim provém da serra da Menina, próximo a Fortaleza dos Nogueiras, a 650 m de altitude, sob a denominação de ribeirão Água Boa. Assume, durante longo trajeto, direção sudoeste-nordeste, até proximidades de Esperantinópolis, onde, após receber o afluente Flores, direciona-se para norte, persistindo mais ou menos neste rumo até desembocar na baía de São Marcos, entre São Luís e Alcântara, depois de percorrer mais de 930 km (BANDEIRA, 2013, p. 66).

Segundo Lima (2013) a Bacia Hidrográfica do Rio Mearim é composta pelos sedimentos das bacias sedimentares do Parnaíba, Alpercatas e Grajaú-São Luís, sendo que esta ocupa cerca de 90% da área total da bacia.

Para Lovato et al (1995, apud Santos & Carvalho, 2009), sua litologia é característica de ambientes de fluxos meandantes provenientes dos rios locais, com presença marcante de areias finas a médias com intercalações de pelitos; nos rios, são característicos os depósitos de transbordamentos nas planícies de inundação, com presença significativa de material siltico-argiloso e depósitos originados em condições de baixa energia, com fácies mais argilosas.

Os meandros desta região são constantemente erodidos, por conta do avanço natural das marés que integra a complexidade da dinâmica hidrológica. Naturalmente os meandros mudam. Esta erosão ocasiona impactos ainda não previstos, por conta da confluência das margens dos meandros que é a principal característica da dinâmica da paisagem local.

O sensoriamento remoto vem sendo utilizado em diversas áreas de pesquisa científica e ganha destaque nos estudos relacionados à análise, detecção e monitoramento do uso e cobertura terra (BRAZ, 2015).

A utilização das técnicas de sensoriamento remoto, foco do presente estudo, é embasado na compreensão das características que um dado elemento da superfície da terra assume em um determinado produto de sensoriamento remoto. Esta diferença se deve a parâmetros e fatores ambientais. O comportamento espectral da água, por exemplo, varia de acordo com os elementos que estão suspensos na mesma, pois cada elemento como matéria orgânica ou sedimentos se comportam de forma diferente em função de sua composição, morfologia e estrutura (PONZONI, 2002).

Um dos problemas atualmente destacados neste trabalho é a rede de média tensão da CEMAR que está localizada nas margens do rio Mearim e que possui postes a 10m de distância da margem. O que coloca a rede em risco considerando a dinâmica da paisagem local que envolve o curso do rio e a sinuosidade mutável das suas margens.

Nota se que a gestão do território na região é desafiadora para a indústria de energia elétrica, o que evidencia a necessidade de compreender e utilizar a paisagem local, especialmente no que diz respeito ao dinamismo do rio, como instrumento de ordenamento territorial e ambiental, o que segundo Rodrigues et al. (2022), trata-se de integrar a paisagem com a linguagem territorial, como recurso cognitivo, de ordenamento do território e como instrumento de ordenamento territorial e ambiental.

Diante do exposto, o objetivo do presente estudo é verificar o risco para os demais postes da rede verificando a evolução das margens do rio Mearim utilizando imagens de satélite, através do sensoriamento remoto, e simulando como estarão os meandros nos próximos 50 anos, como um importante recurso para gestão territorial das instalações da rede elétrica adequada na região.

MATODOLOGIA

Área de Estudo

A área de estudo são os meandros do baixo curso do Rio Mearim localizados na região da Baixada Maranhense norte do estado do Maranhão na cidade de Arari (Figura 2), e possui uma área de aproximadamente 16,00 Km².

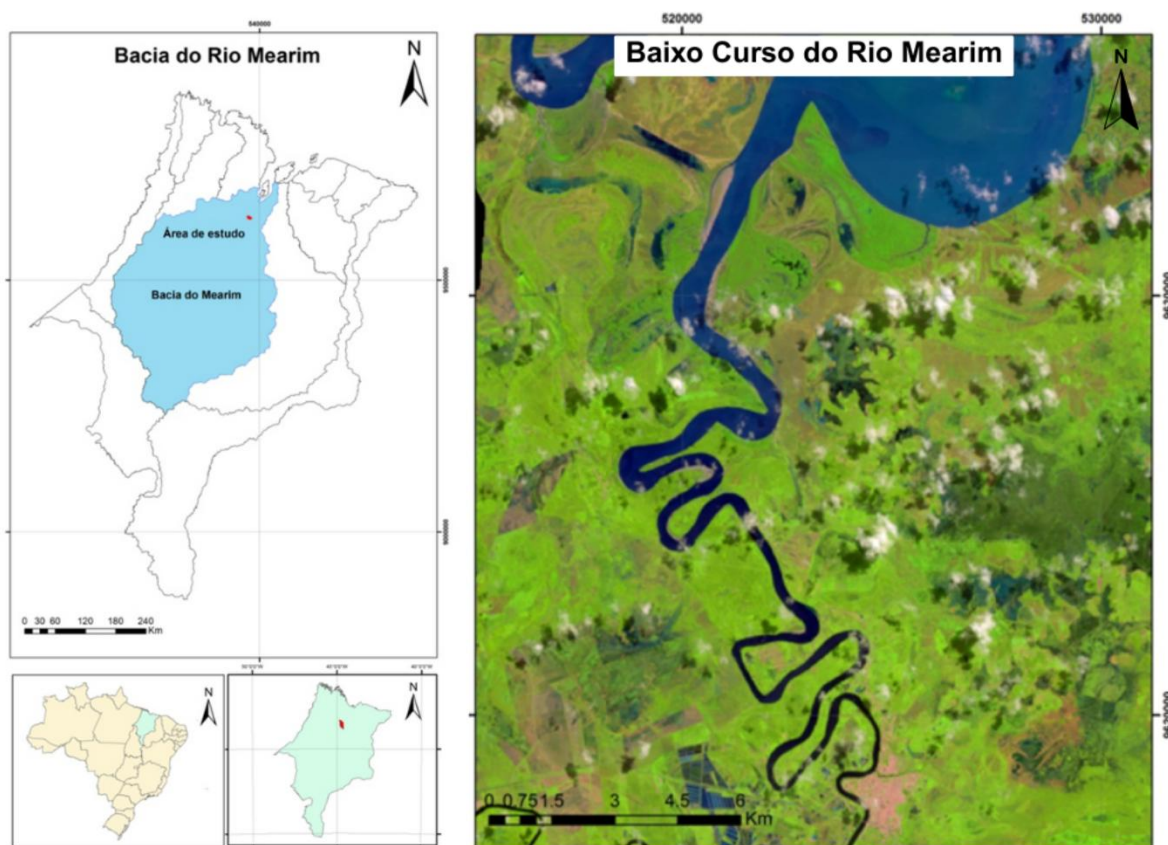


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo com destaque para os meandros do baixo Mearim.
Fonte: Autoria própria.

O baixo Mearim estende-se desde Porto Seco das Mulatas até a foz, na baía de São Marcos, onde se bifurca em dois braços que contornam a ilha dos Caranguejos, sendo sua maior característica neste trecho a meandricidade. A partir de Arari, no Golfão Maranhense, suas margens tornam-se alagadiças e pantanosas. A extensão da propagação das marés se estende a mais de 200 km, sendo responsável pelo alargamento do rio.

As baixas declividades, sobretudo no baixo curso, potencializam a formação de áreas de inundação devido à baixa energia para o transporte sedimentar, promovendo a formação de meandros no baixo curso das drenagens dos rios principais e de lagoas perenes e intermitentes (Lima, 2013). Geologicamente está inserida na região denominada de depósitos flúvio-lagunares, conforme descrição da CPRM (2008; 2013).

O desenvolvimento do trabalho foi realizado em 6 etapas, sendo elas: 1) Aquisição de imagens de satélite; 2) Processamento das imagens; 3) Vetorização do canal do rio; 4) Cálculo das áreas; 5) Análise multitemporal; e 6) Análise DSAS.

Aquisição de Imagens de Satélite

Para elaboração do trabalho foram utilizadas imagens da série Landsat órbita/ponto 221/062 correspondentes ao período de 40 anos de 1975 a 2015, utilizando as imagens dos anos de 1975, 1986, 1992, 2006 e 2015 conforme discriminado na Quadro 1. As imagens foram obtidas no site do serviço Geológico Americano – USGS disponíveis em earthexplorer.usgs.gov.

Quadro 1: Imagens utilizadas na pesquisa.

Satélite/Sensor	Órbita/Ponto	Datas
Landsat 2/MMS	237 / 062	1975
Landsat 5/TM	221 / 062	1986
Landsat 5/TM	221 / 062	1992
Landsat 5/TM	221 / 062	2006
Landsat 8/OLI	221 / 062	2015

Fonte: Autoria própria.

Processamento das Imagens de Satélite

Os procedimentos metodológicos constituíram-se na aplicação de diferentes rotinas de processamento digital de imagem, conforme descritas em Novo (2008), Jensen (2009) e Mochel et al. (2019), que podem ser sintetizadas em três principais etapas: a) Pré-processamento, b) Realce e, c) Composição colorida de imagens. Foram utilizadas as principais técnicas de PDI: NDVI, NDWI e Principais componentes para obter a imagem que pudesse realçar a interface rio/solo. O processamento das imagens se deu com os *softwares Envi e ArcGIS*.

Todas as imagens coletadas, estão representadas no Sistema UTM, referenciadas ao Meridiano Central 45° WGr, tendo como o *Datum* o WGS84.

Análise multitemporal

Para a análise multitemporal, os produtos obtidos em formato raster partir da composição colorida das imagens de satélite, foram vetorizados e convertidos para o formato shapefile. As imagens vetorizadas foram representadas em polígonos e o cálculo das áreas foi realizado utilizando-se o cálculo de geometrias do próprio polígono criado através da tabela de atributos do vetor criado. As modificações nos meandros resultantes da vetorização, ocorridas entre 1975 e 2015, foram analisadas com o software ArcGIS através da ferramenta Union no Bloco Analysis Tools

Digital Shoreline Analysis System - DSAS

Para prever a localização futura dos meandros, foi utilizado, em um ambiente de Sistema de Informação Geográfica, o *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)* desenvolvido pelo *United States Geological Survey (USGS)*, e usado no presente estudo por possibilitar, de maneira rápida e eficiente, a evolução da linha de costa ou de rios (THIELER; DANFORTH, 1994; THIELER et al., 2008). A validação da linha de margem do rio foi estimada a partir da regressão linear, a partir dos transectos ortogonais em uma linha de base determinada pelo operador em um espaçamento definido e de cálculos das taxas de mudanças através de métodos de regressão linear (LRR). Foram usados, principalmente, 3 elementos: as linhas de margem dos meandros; as linhas de base e os transectos (THIELER et al., 2009). As linhas de margem dos meandros foram coletadas a partir de margem dos meandros, as linhas de base foram feitas de maneira mais paralela possível em relação as linhas de margem, para atender com maior precisão a variação dos meandros em relação ao tempo e os transectos, que são linhas perpendiculares as linhas de base. Utilizaram-se as ferramentas de estatística de variação: *Shoreline Change Envelope (SCE)*, *Net Shoreline Movement (NSM)*, *End Point Rate (EPR)* e *Linear Regression Rate (LRR)* para qualificar e quantificar a variação da linha de costa e o

LRR e seus auxiliares *Standard Error of the Estimate* (LSE), *R-squared* (LR2) e *Standard Error of the Slope with Confidence Interval* (LCI) para o prognóstico

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na etapa de processamento digital das imagens de satélite, para cada satélite utilizado, houve o uso de diferentes bandas e procedimentos para realçar os meandros ao longo das décadas. No processamento digital de imagem Landsat 2 para o ano de 1975 a composição colorida que deu realce aos meandros foi RGB_SS567_PC1_B4, onde na banda vermelha utilizou-se o procedimento de saturação de uma composição colorida RGB_567, a principal componente 1 e a banda 4.

As principais componentes deram destaque aos meandros para o ano de 1986, utilizando imagem do satélite Landsat 5. A melhor composição colorida para realce aos meandros foi a RGB_PC2_PC1_B1, onde, na banda vermelha, utilizou-se o a principal componente 2, o verde, a principal componente 1 e a banda azul com a faixa do visível na região de 0,41 micrometros, destacando os meandros em tons róseos.

Em 1992 foi utilizando imagem do satélite Landsat 5. No processamento digital de imagem, a melhor composição colorida para realce aos meandros foi a RGB_NDVI_PC1_B7. Foi utilizado o índice de vegetação (NDVI) para o vermelho, a principal componente 1 para o verde e na banda azul utilizou-se a faixa do infravermelho distante, destacando os meandros em tons escuros.

Para o ano de 2006, utilizando imagem do satélite Landsat 5, a melhor composição colorida para realce aos meandros foi a RGB_751, onde na banda vermelha utilizou-se o a faixa do infravermelho distante, a banda verde na faixa do infravermelho próximo e a banda azul na faixa do visível na região de 0,41 micrometros, destacando os meandros em tons azuis.

A composição colorida RGB_654 foi a utilizada para o ano de 2015, utilizando imagem do satélite Landsat 8, destacando os meandros em tons azuis escuros. Esta composição foi formada com a faixa do infravermelho distante para o vermelho, a faixa do infravermelho próximo para o verde e faixa do vermelho para a banda azul.

A partir da composição colorida das imagens de satélite acima relacionadas foi possível gerar os vetores para cada década de estudo. O vetor (no formato *shapefile*) possibilitou o cálculo das áreas de cada polígono representante dos meandros (Tabela 1).

Tabela 1: Área dos meandros para os anos analisados.

Ano	Área (m2)	Área (km2)
1975	10.978.258,0569	10,978
1986	13.567.344,7773	13,357
1992	11.915.819,6855	11,915
2006	13.484.420,3859	13,484
2015	15.021.833,6996	15,021

Fonte: Autoria própria.

Observa-se que para o ano de 1975 a área do meandro era de 10,978 km² e aumentou 17,81% em 1986. De 1986 para 1992 houve uma redução na área total do meandro com perda de 1,442 km², ou seja, 10,79%.

Para a década seguinte, 1992 a 2006, houve novamente um acréscimo da área do meandro, com 13,16% de acréscimo, ultrapassando o aumento de 1975-1986. Houve novamente um acréscimo de 2006 a 2015 com 11,39%.

Análise Multitemporal

De maneira geral, nos quarenta anos do estudo realizado, nota se através dessa análise multitemporal que, houve um acréscimo da área na ordem de 4,043km², ou seja, 36,82% da área inicial de 1975 (Figura 2). Este aumento é resultado da erosão sofrida ao longo das décadas nas suas margens.

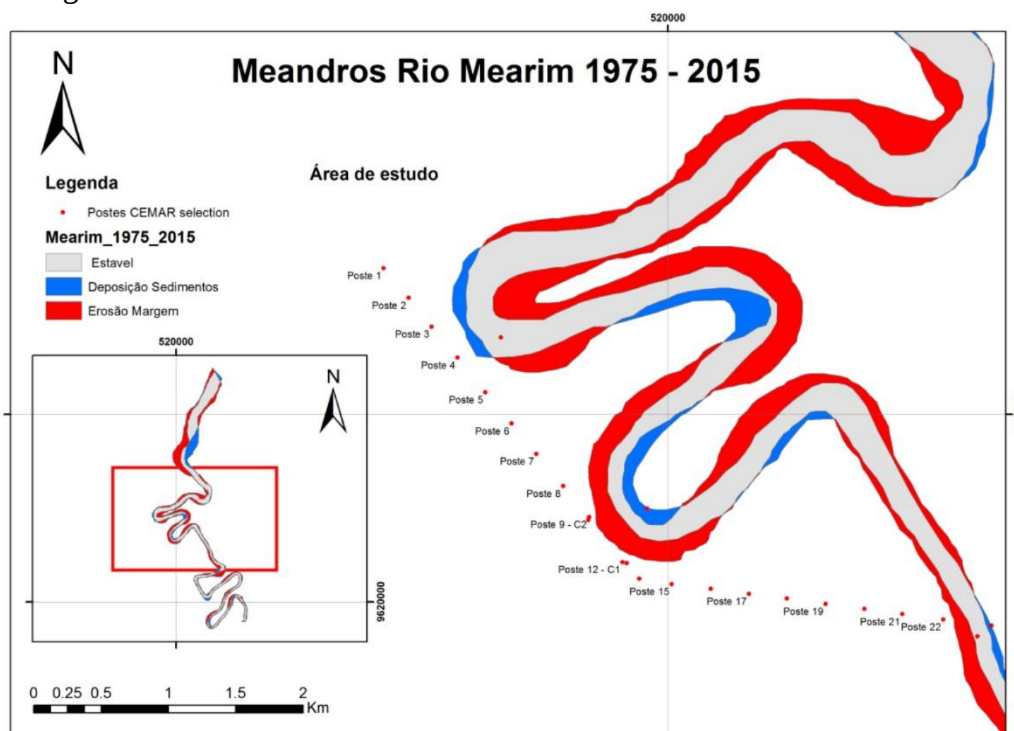


Figura 2: Análise multitemporal de 1975 a 2015 com destaque a área de estudo em 3 partes, sendo esta a parte 2. As áreas em cinza são aquelas em que o canal permanece estável, em azul os locais dentro do canal que tiveram deposição de sedimentos e em vermelho as regiões que sofreram erosão readequando o canal.

Fonte: Autoria própria.

O vetor de cada década com a comparação entre a primeira e a segunda década, a segunda com a terceira e assim por diante permitiram constatar a evolução da modificação dos meandros e onde ele se dá com maior ênfase. Percebe-se que as maiores alterações nas margens se dá nos meandros próximos a linha de transmissão da CEMAR.

Ao analisar mais de perto os meandros próximos a rede, observamos que, os postes mais próximos das margens, em 1975, são os postes 4, 9 e 10. Para a linha de margem dos meandros, no referido ano, o poste 4 está a 120 m da margem e os postos 9 e 10 estão a 200 m, conforme pode ser visualizado na Figura 03.

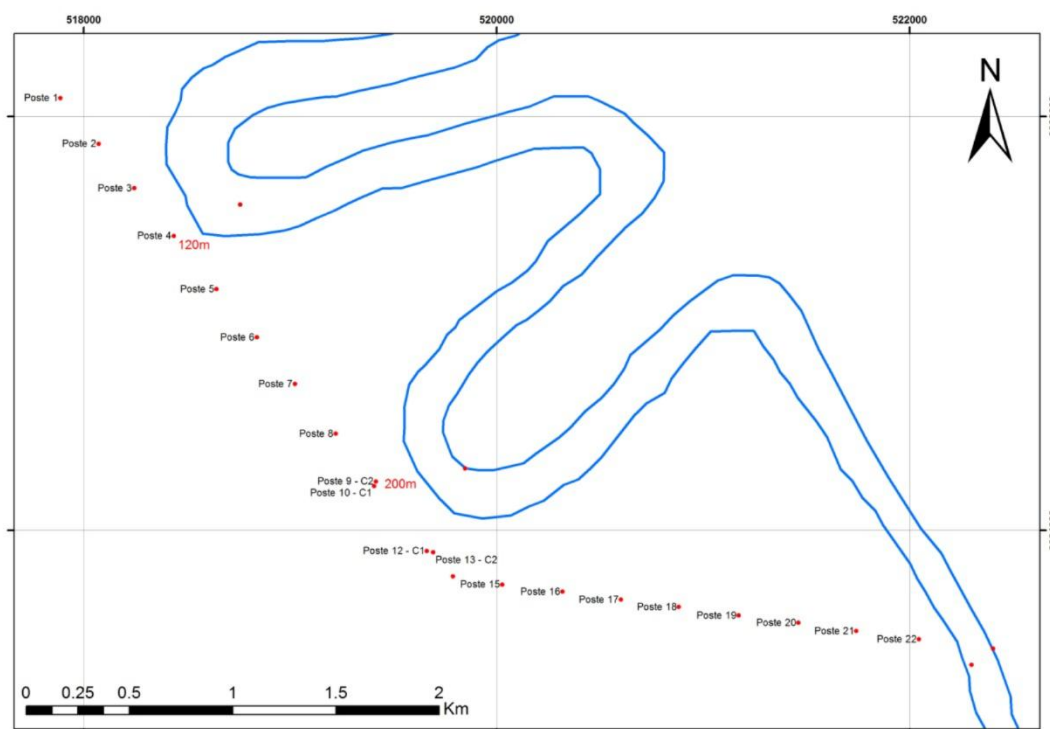


Figura 3: Vetorização dos meandros para o ano de 1975.

Fonte: Autoria própria.

Já em 2015, se observou um cenário mais alarmante, onde existem diversos postes em risco por conta da proximidade das margens do rio. Nesse cenário, os postes da rede da CEMAR mais próximos das margens são: os postes 4, 9, 10, 12, 13, 14, 15 e 22. Para a linha de margem dos meandros temos que o poste 4 está a 220 m da margem; os postes 9 e 10 estão a 30 m; os postes 12 e 13 estão a 54 m; os postes 14 e 15 estão a 130 m e o poste 22 está a 60 m. Conforme pode ser visualizado na Figura 4.

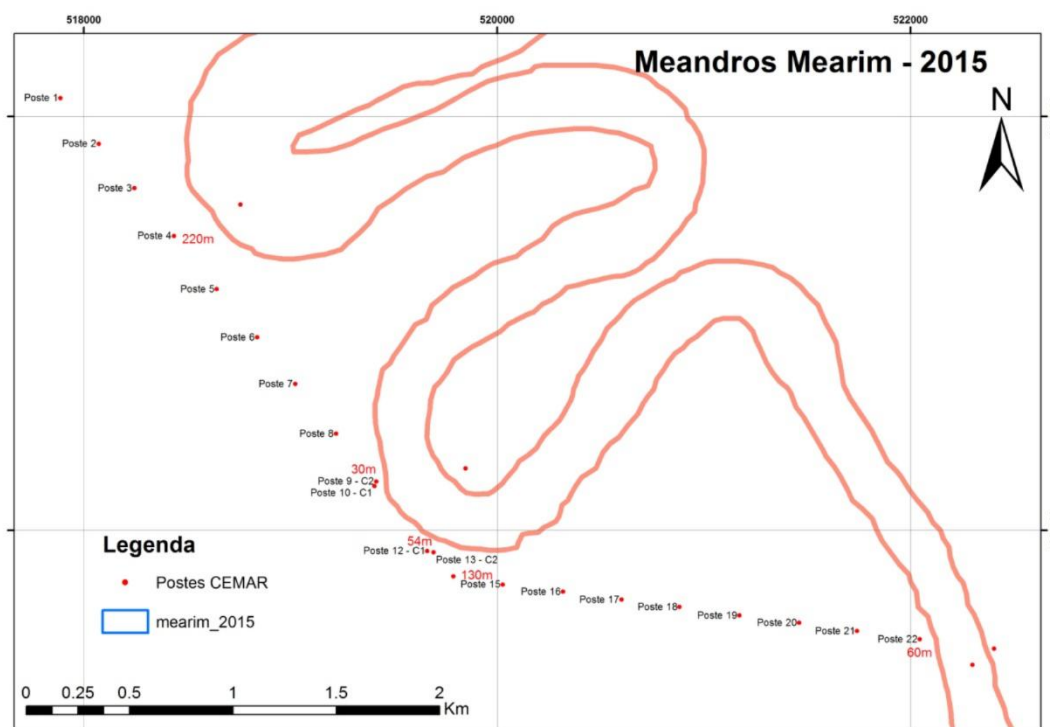


Figura 4: Vetorização dos meandros para o ano de 2015.
Fonte: Autoria própria.

Um resumo geral temos que: o poste 4 teve uma grande deposição de sedimentos e um recuo de 100m de distância em relação a 1975; os postes 9 e 10 estão em uma situação crítica com uma distância em 2015 de apenas 10m da margem do rio, com um avanço de 190m em 40 anos, com uma média anual de 4,75 m por ano; os postes 12 e 13 também se encontram em uma situação crítica com uma distância de 54m da margem do rio, com um avanço de 146m em 40 anos, com uma média anual de 3,65 m por ano; os postes 14 e 15 possuem um avanço de 70m em 40 anos e hoje está a 130m da margem do rio; o poste 22 possuía uma distância de 150m da margem do rio em 1975 e hoje apresenta uma situação crítica com uma distância de 60m com um avanço de 90m em 40 anos, com uma média anual de 2,25 m por ano.

A média da taxa de avanço das margens dos meandros junto a rede de alta tensão da CEMAR é da ordem de 3,22m por ano. Ao considerarmos o atual cenário, em 2025, ganham ênfase os postes 8 as 16 situados na margem próxima ao meandro de rio, uma vez que para o poste 8, por exemplo, já aparece a 143 m de distância da margem (na Figura 5), bem mais próximo do que é possível observar visualmente nos anos anteriores.

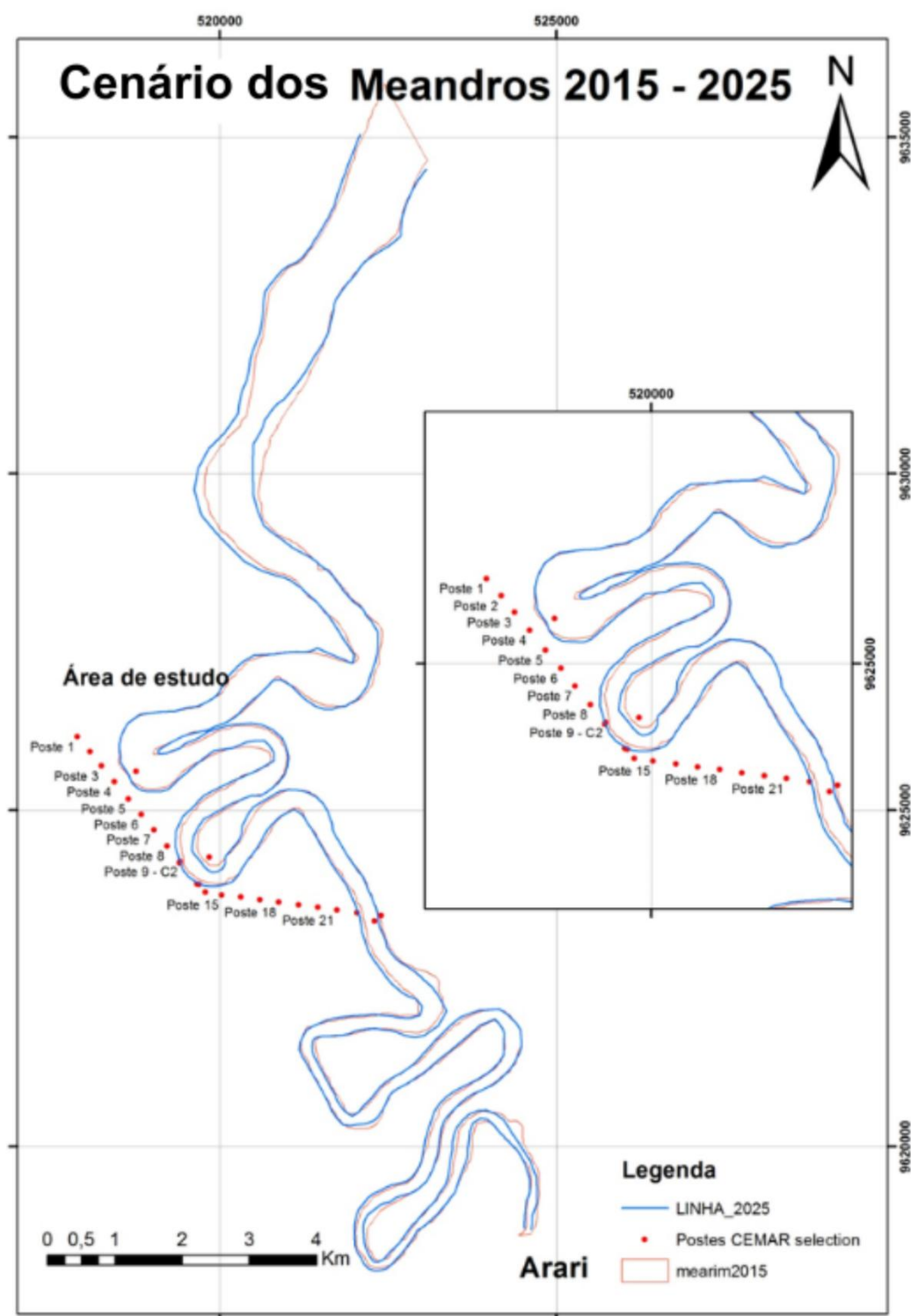


Figura 5: Cenário dos meandros do rio Mearim 2015 – 2025 com destaque à área de estudo. A linha em vermelho mostra a linha de margem para o ano de 2015 e em azul a atual linha de margem para o ano de 2025.
Fonte: Autoria própria.

Se considerarmos um prognóstico de mudança dos meandros para os próximos 50 anos, a contar do cenário mais crítico que foi 2015, teremos um avanço na ordem de 160m da linha que compõem as margens, comprometendo os postes 3 a 5 e os postes 8 a 17 da atual linha de transmissão. Ao levar em consideração a maior taxa de avanço anual observada (4,75 m por

ano), teremos um prognóstico de mudança dos meandros com um avanço na ordem de 238m da linha atual que compõem as margens, comprometendo os postes 3 as 17 da atual linha de transmissão.

Independente da média ou da maior taxa de avanço podemos concluir que a linha de transmissão corre perigo com a atual localização, tendo em vista as mudanças pelas quais passam os meandros do Rio Mearim, o que infere diretamente em dois dos princípios estabelecidos por Gómez Mendoza, desde 1999, que são o princípio de ação e propostas normativas e o princípio de regras formais de ação que baseia-se na tomada do conceito de paisagem como recurso de conhecimento e intervenção de acordo principalmente centrado em três pontos, dos oito listados pelo autor, que aqui destaco: (1) o ponto sobre demarcar ou reestabelecer o domínio público, evitando ocupações ilegais em espaços marginais; (2) o ponto sobre estabelecer as determinações da paisagem, como é o caso da meandricidade do rio Mearim, nos documentos de ordenamento do território sobre essas paisagens e (3) o ponto sobre a necessidade de manter um inventário vivo de paisagens de alto valor, baseado em cartografia, como o aqui proposto e executado.

Considerando a análise multitemporal do presente estudo, é interessante observar ainda o que destaca o autor Lima (2013) que ressalta que a transição do médio ao baixo curso da bacia hidrográfica em questão, promove um efeito nas drenagens principais que mudam de direcionamento, saindo de um sentido SW-NE, para os rios Grajaú e Mearim e tomando sentido S-N, enquanto o rio Pindaré, por exemplo, sai de uma direção SW-NE para um sentido próximo a W-E.

Digital Shoreline Analysis System - DSAS

A partir do DSAS, foram gerados e enumerados 100 transectos perpendiculares com comprimento de 100 m e espaçados 300 metros paralelamente a partir de uma linha de base na margem direita do rio Mearim.

O método LRR calculou as taxas de recuo de linha de margem através de regressão linear simples, considerando para tal, os desvios existentes ao longo de cada linha de margem. Este é um método que utiliza conceitos estatísticos, onde todos os transectos são considerados para efeito de cálculo, cujos valores negativos apresentados representaram as áreas onde pôde ser constatado índices de erosão ou recuo, enquanto que os positivos expressaram as tendências de deposição na área.

Foi necessário que os transectos (linhas de análise) contemplassem as duas margens do rio, a razão disso é porque se a projeção fosse feita em cada margem com transectos independentes a integração de uma margem com a outra poderia ser inviabilizada.

A análise foi seccionada em várias partes devido a sinuosidade do rio. Apesar de compartilharem os mesmos transectos duas análises foram realizadas (margem direita e margem esquerda).

Foram utilizados o máximo de linhas de margem possível tendo em vista que havia várias imagens com 6 e 8 anos de diferença e que a temporaneidade utilizando uma imagem de cada década iria ficar muito irregular.

A partir desse processo, foram feitos 3 cenários de prognóstico (Figura 6) das linhas de margens do rio Mearim para os próximos 40 anos (2015 a 2055), levando-se em consideração as linhas de margens dos últimos 40 anos (1975 a 2015). São apresentadas as linhas de margem a cada 10 anos a partir do corrente ano, 2025, comparando com a linha de margem de 2015.

Cenários futuros dos meandros com 3 intervalos decadais 2015 - 2055

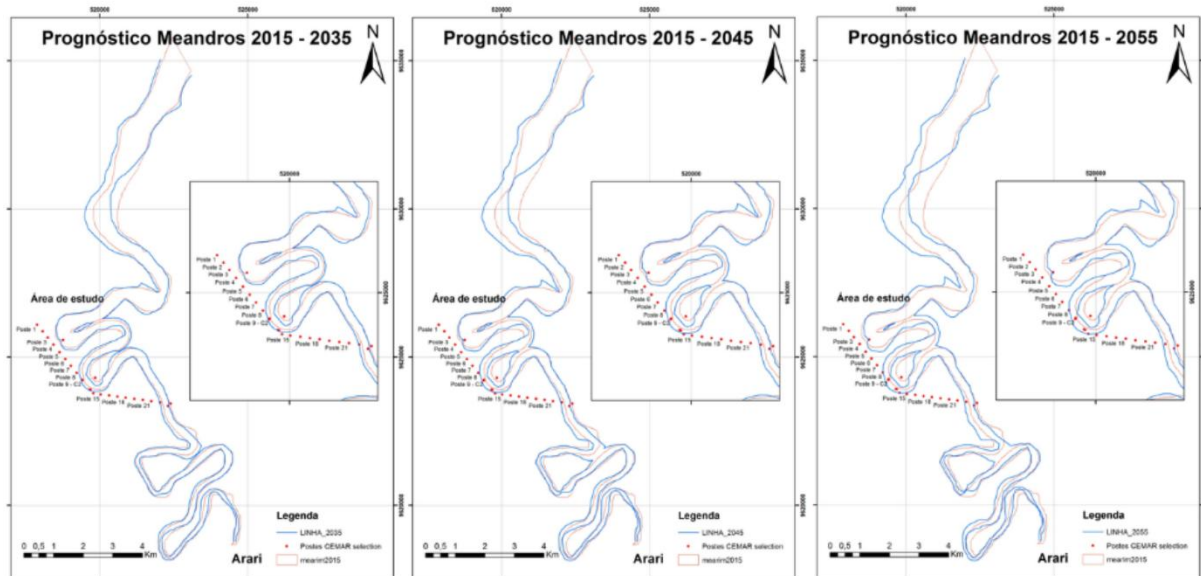


Figura 5: Prognósticos para os meandros do rio Mearim 2015 – 2055 em 3 intervalos decadais. A linha em vermelho mostra a linha de margem para o ano de 2015 e em azul a futura linha de margem para o ano de 2055.
Fonte: Autoria própria.

Nesta análise do prognóstico das futuras linhas de margem, observa-se que o poste 8, em 2035 estará a 75 metros, em 2045 estará a 36 m e em 2055 dentro o rio. Semelhante a esta análise, o mesmo ocorre para os postes 15 a 17. Neste sentido houve um deslocamento de 200 m para esta região de postes.

Ao compararmos a análise que projeta 238 m de avanço em 50 anos, que considera a maior taxa de avanço anual observada (4,75 m por ano) como já observado neste trabalho, analogamente fazendo cálculo para 40 anos, temos um avanço na ordem de 190m.

Dessa maneira as duas análises se correlacionam para uma projeção de um avanço médio de 200 metros para as atuais linhas de margem do rio Mearim.

É observado na projeção do DSAS que em 2025 inicia-se a junção dos meandros e que entre 2035 e 2045 todos os meandros estarão unidos. Ou seja, em pelo menos 20 anos haverá uma grande modificação das margens, e que podem produzir paleocanais corroborando com a identificação atual de antigos canais que foram observados por imagem de satélite durante a análise e tratamento dos dados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nota-se através do presente trabalho que a região estudada possui um alto e complexo grau de dinamismo hidrossedimentológico e que sua relação com um importante fator de desenvolvimento local, que é o alocamento das linhas de transmissão que abastecem a região da Baixada Maranhense no norte do estado do Maranhão, tem sido desafiadora fazendo se necessário um monitoramento contínuo e a adaptação da estrutura atual já estabelecida, diante dos cenários futuros projetados neste estudo. Após a realização da análise multitemporal e da simulação da modificação das margens dos meandros, recomendasse, através do presente trabalho que o empreendedor responsável pelas linhas, considere as seguintes ações: mudança de toda a linha de transmissão para uma distância de 200m a 250m da atual margem do meandro próximo aos postes de 1 a 18 e que seja feito um estudo de acompanhamento das modificações

dos meandros anualmente por conta da junção dos meandros e da potencialização da pororoca por conta do alargamento do canal proveniente desta junção.

A tomada de decisão imediata, cabe ao empreendedor, mas é papel da universidade mediar esses conflitos entre ambiente e desenvolvimento no intuito de mitigar as consequências desses conflitos e contribuir para uma relação mais sustentável entre sociedade e natureza, para ambos os atores dessa relação, de forma a respeitar e integrar a dinâmica da paisagem na gestão do território, especialmente quando trata-se das condições de instalação da linha de transmissão da rede elétrica do empreendedor.

Considera-se também, este trabalho, como um recurso indispensável que traz uma forte contribuição para a gestão territorial da baixada maranhense no que diz respeito ao desenvolvimento sustentável para a região, uma vez que, justificando fundamentadamente os custos das adaptações para evitar maiores prejuízos futuros, a pesquisa incentiva a empresa a buscar práticas sustentáveis com planejamento da distribuição das suas linhas suportado em embasamento científico.

AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Fundo Brasileiro para a Biodiversidade (FUNBIO) que através do Projeto Re-MARE suportaram financeiramente a publicação da presente pesquisa.

REFERÊNCIAS

BANDEIRA, Iris Celeste Nascimento (org.). **Geodiversidade do estado do Maranhão**. Teresina: CPRM, 2013. 294 p. Il. 30 cm + 1 DVD-ROM. (Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade).

BRAZ, S. S. Mapeamento da cobertura e uso da terra: uma abordagem utilizando dados de sensoriamento remoto óptico multitemporais e provenientes de múltiplas plataformas. 2014. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/bitstream/ri/21105/3/Artigo%20%20Silvio%20Braz%20de%20So%20usa%20-%20202014.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2025.

BUSMAN, D. V. et al. Shoreline changes from 1986 to 2010 on Ponta Negra beach, Natal/RN, Northeast Brazil. In: SCACR INTERNATIONAL SHORT COURSE/CONFERENCE ON APPLIED COASTAL RESEARCH, 2013, Lisboa. **Book of Abstracts**. Lisboa: SCACR, 2013b.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa geológico do Estado do Maranhão**. Brasília, 2008.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Geodiversidade do Estado do Maranhão**. Organização: Iris Celeste Nascimento. Teresina: CPRM, 2013.

GÓMEZ MENDOZA, J. **Los paisajes de Madrid**: naturaliza y médio rural. Madrid: Alianza Editorial S. A, 1999. p. 303.

JENSEN, John R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

LIMA, Alex de Sousa. Análise geomorfológica da bacia hidrográfica do rio Mearim-MA a partir do quadro geológico regional. 2013. **Tese** (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

LOVATO, O. G.; CAYE, B. R.; ARAÚJO, C. C. de. **Programa Levantamentos Geológicos do Brasil**: carta geológica de Itapecuru-Mirim, folha SA.23-Z-C, estado do Maranhão. Escala 1:250.000. Brasília: CPRM, 1995. 100 p.

MOCHEL, Flávia Rebelo; CARDOSO, Cássio Ibiapina; FONSECA, Ivanilson Luís Alves. Análise por sensoriamento remoto de áreas sob erosão em manguezais e sistemas costeiros no município de Apicum Açu, Área de Proteção Ambiental – APA – das Reentrâncias Maranhenses, Brasil. In: MOCHEL, Flávia Rebelo (Org.). **Gerenciamento costeiro e gerenciamento portuário** [recurso eletrônico]. Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. v. 2, cap. 11. DOI: 10.22533/at.ed.20119110911.

MORTON, R. A. Accurate shoreline mapping, past, present and future. **Coastal Sediments**, v. 91, n. 1, p. 997–1010, 1991.

NOVO, Evlyn Márcia Leão de Moraes. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2008.

PONZONI, F. J. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação: comportamento espectral de alvos. In: NOVO, E. M. L. M. (Org.). **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São José dos Campos: INPE, 2002. p. 137–174. Disponível em: https://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.13.11/doc/CAP8_FJPonzoni.pdf. Acesso em: 28 abr. 2025.

RODRIGUEZ, José Manuel Mateo; SILVA, Edson Vicente da; CAVALCANTI, Agostinho de Paula Brito. **Geoecologia das paisagens**: uma visão geossistêmica da análise ambiental. 6. ed. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2022.

SANTOS, M. E. de C. M.; CARVALHO, M. S. S. de. **Paleontologia das bacias do Parnaíba, Grajaú e São Luís**. Rio de Janeiro: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, DGM/DIPALE, 2009. 215 p.

THIELER, E. R.; DANFORTH, W. W. Historical shoreline mapping (II): application of the Digital Shoreline Mapping and Analysis Systems (DSMS/DSAS) to shoreline change mapping in Puerto Rico. **Journal of Coastal Research**, v. 10, n. 3, p. 600–620, 1994.