ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

O cenário de fragilidade ambiental do baixo curso do rio Mearim

Juliana Lopes Almeida¹, Vilena Aparecida Ribeiro Silva², Juliana Sales dos Santos³, Jessflan Rafael Nascimento Santos⁴, Mayara Lucyanne Santos de Araújo⁵, Marcela Venelli Pyles⁶ e Fabrício Brito Silva⁷

¹ Engenheira Ambiental, Pesquisadora colaboradora no Laboratório de Geotecnologias, Universidade Ceuma, Rua Josué Montello, nº1, Bairro-Renascença, 65075-120, São Luís, Maranhão. julianaalmeida.engenharia@outlook.com (autor correspondente). ² Mr. Professora, Instituto Federal do Maranhão – IFMA, MA-006 (Estrada de Pacas), Km 04, Enseada, 65200-00, Pinheiro, Maranhão. vilenaribeiroasilva@gmail.com. ³ Engenheira Ambiental, Pesquisadora colaboradora no Laboratório de Geotecnologias, Universidade Ceuma, Rua Josué Montello, nº1, Bairro-Renascença, 65075-120, São Luís, Maranhão. julianasales.engenharia@gmail.com. ⁴ Mestre em Meio Ambiente, Pesquisadora colaboradora no Laboratório de Geotecnologias, Universidade Ceuma, Rua Josué Montello, nº1, Bairro-Renascença, 65075-120, São Luís, Maranhão. jessflan@ymail.com. ⁵ Doutoranda em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Rua Aprígio Veloso, 882 – Universitário, 58429-900, Campina Grande, Paraíba. mayara.araujo.eng@gmail.com. ⁶ Doutoranda em Ecologia Aplicada, Universidade Federal de Lavras – UFLA, Aqunta Sol, 37200-00, Lavras, Minas Gerais. marcelav.pyles@gmail.com. ⁷ Dr. Coordenador do Programa de Mestrado em Meio Ambiente, Universidade Ceuma, Rua Josué Montello, nº1, Bairro-Renascença, 65075-120, São Luís, Maranhão. fabricaoagro@gmail.com.

Artigo recebido em 09/10/2019 e aceito em 14/02/2020

RESUMO

Este estudo tem como objetivo avaliar o cenário de fragilidade ambiental do baixo Mearim através da caracterização ambiental. Esta região consiste em um ambiente estuarino que abriga uma complexa interface de ecossistemas. O avanço da salinidade proveniente do mar tem alterado drasticamente as paisagens da região. A avaliação desses impactos, passa inicialmente pela compreensão dos ecossistemas de uma forma integrada, contrapondo as abordagens que avaliam isoladamente os atributos ambientais. Para a caracterização ambiental obtiveram-se dados de geologia, geomorfologia, solos, geodiversidade, vegetação, além das séries temporais de desmatamento e queimadas para a avaliação do avanço da antropização. A análise dos resultados indicou sete formações geológicas, cinco unidades geomorfológicas, sete tipos de solos, seis classes de vegetação e um relevo que abrange elevações de 0 a 318 metros em relação ao nível do mar. A partir dos resultados do avanço da antropização, o desmatamento mostrou que a série histórica foi proporcional a da área total da bacia hidrográfica; e as queimadas evidenciaram que a média da precipitação anual interfere na quantidade de focos de calor. Desta forma, o ambiente apresenta-se frágil por ser suscetível a inundações devido à suas características topográficas levemente planas e às intervenções antrópicas, como o desmatamento e as queimadas, que facilitam a baixa proteção dos solos, sendo vulneráveis à erosão pluvial e ao escoamento.

Palavras-chave: Hidrogeologia, Geotecnologias, Geoprocessamento.

The scenario of environmental fragility from the low course of the Mearim River

ABSTRACT

This study aims to evaluate the environmental fragility scenario of the low Mearim through the environmental characterization. This region consists of an estuarine environment that houses a complex interface of ecosystems. The advancement of salinity from the sea has drastically changed the landscape of the region. The evaluation of these impacts initially involves the understanding of the ecosystems in an integrated way, opposing the approaches that evaluate the environmental attributes alone. For the environmental characterization, geology, geomorphology, soils, geodiversity, vegetation, besides the time series of deforestation and fires were obtained for the evaluation of the advance of the anthropization. The analysis of the results indicated seven geological formations, five geomorphological units, seven types of soils, six vegetation classes and a relief that covers elevations from 0 to 318 meters in relation to sea level. The results of the advancement of anthropization, deforestation showed that the historical series was proportional to that of the total area of the river basin; and fires have shown that the average annual precipitation interferes with the amount of heat sources. As a result, the environment is fragile because it is susceptible to flooding due to its slightly flat topographic features and anthropogenic interventions, such as deforestation and fires, which facilitate low soil protection and are vulnerable to rainfall erosion and runoff.

Keywords: Hydrogeology, Geotechnology, Geoprocessing.

Introdução

O baixo Mearim é uma região de transição entre o rio e o mar, configurando-se em um ambiente de elevada produtividade e diversidade biológica (Maia et al., 2016). Esta área caracteriza-se pela grande quantidade de meandros e por sua dinâmica fluvial a qual, contribui para os processos erosivos, principalmente na época de cheia, quando as velocidades das correntes se tornam mais intensas, acentuando o assoreamento. Essas alterações associadas às interferências antrópicas na cobertura vegetal podem produzir alterações no curso do rio ou influenciar o avanço da salinidade em magnitude ainda desconhecida (Silva et al., 2015; D'Agostin et al., 2017).

A intrusão marinha ocorre quando o avanço da água do mar mistura-se com as águas do rio (De Paiva et al., 2014; Signa et al., 2017). No baixo Mearim este processo estende-se a mais de 120km, contribuindo para eventos de alagamento (Bandeira, 2013). Além disso, as atividades socioeconômicas desenvolvidas nos municípios dessa região, tais como queimadas, desmatamentos e conversão de florestas em pastagens e lavouras, aumentam a erosão dos meandros, influenciando na hidrodinâmica dos rios e ocasionando a salinidade (De Sousa Medeiros et al., 2014; Rodrigues et al., 2014; Machado et al., 2017).

Segundo Do Couto et al. (2018), a presença de vegetação em torno desses rios contribuiria para os processos de equilíbrio ambiental como, o controle da temperatura, do ciclo hidrológico, fertilização dos solos e entre outros fatores.

Entretanto, o desmatamento e as queimadas contribuem para os impactos, promovendo assim, o acúmulo de gases na atmosfera, como CO₂ e metano (CH₄) associados a outros de origem industrial, que proporcionam o aumento da temperatura, o comportamento da pluviosidade (Borges et al., 2014; Röpke, 2016; Röpke et al., 2017), além de promover a fragilidade de ambientes no globo terrestre.

Essas alterações são provocadas pela sociedade nos diferentes componentes naturais, afetando a funcionalidade do sistema, induzindo aos graves processos de degradação. Por isso, há a necessidade de que as intervenções antrópicas, como barragens, estradas, edifícios e entre outras, sejam compatíveis com a potencialidade dos recursos e com a fragilidade dos ambientes naturais. Para obtenção de tais informações, é importante que se faça levantamentos dos solos, relevo, rochas e minerais, das águas, do clima, da flora e fauna, ou seja, todos os componentes geográficos que dão suporte a vida no planeta. A

aplicação dos estudos de planejamento ambiental em ambientes antropizados é necessária avaliar as fragilidades dos ecossistemas naturais (Ross, 1994).

Com base no exposto, De Sousa Filho e Crósta (2016) afirmam que as geotecnologias fornecem subsídios para o manejo e o planejamento ambiental, devido ao seu baixo custo, aplicabilidade e disponibilidade. Desse modo, o sensoriamento remoto é uma ferramenta que vem se tornando cada vez mais importante em estudos ambientais, auxiliando na compreensão dos aspectos de formação do relevo, dos atributos que formam as paisagens e da dinâmica do comportamento de áreas que vem sofrendo impactos (Fonseca et al., 2016). Trabalhos como o de Caña et al. (2015) mostram que métodos simples de processamento de dados provenientes de satélites podem ser utilizados para avaliar a dinâmica espaço-temporal de sistemas fluviais.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o cenário da fragilidade do ambiente através da caracterização ambiental que tem sua importância sustentada na escassez de informações sobre a região do baixo Mearim. Esta região apresenta certa diversidade de ambientes e pode ser considerada uma área vulnerável por apresentar meandros nos quais os impactos da erosão são ainda desconhecidos pela comunidade científica.

Material e métodos

Área de Estudo

O baixo Mearim localiza-se na parte norte do Maranhão e abrange 39 municípios, iniciando-se no Porto Seco das Mulatas e estendendo-se até a Foz, na Baía de São Marcos, compondo o Golfão Maranhense, região da zona costeira marcada por estuários e de número significativo de manguezais (Figura 1). O clima predominante da área de estudo é tropical úmido, com estações seca (julho a dezembro) e chuvosa (janeiro a junho) bem definidas, com temperatura média em torno de 26 °C (Teixeira e Souza Filho, 2009).

Esta região também é caracterizada por abranger uma diversidade de ecossistemas, proporcionando características peculiares, tais como, o alargamento das margens dos rios e número de acentuado de meandros, além de sofrer influência do avanço das marés até uma faixa de aproximadamente 120 km. Pode-se destacar, que próximo a foz deságuam as duas maiores afluentes, os rios Grajaú e Pindaré, os quais estão localizados em uma região que apresenta terrenos baixos,

planos e vastas bacias lacustres interligadas, denominadas de Baixada Maranhense (Bandeira, 2013).

Figura 1. Mapa de Localização da Área de Estudo

Caracterização dos Dados do meio Físico

Obtiveram-se dados do Modelo Digital de Elevação (MDE) com resolução espacial de 30 metros do sensor SRTM exportados da base de dados USGS da NASA. Para a delimitação da área de estudo e o delineamento da drenagem, as imagens foram mosaicadas e processadas no Software Quantum GIS 2.18 (QGIS 2.18), um Sistema de Informação Geográfica Livre e gratuito, apresentando simplicidade e facilidade no manuseio, contendo várias ferramentas que

possibilitam gerenciar, visualizar e compor mapas (QGIS, 2019).

A declividade foi obtida através do modelo digital de elevação SRTM, calculado em porcentagem através da função MDE do QGIS 2.14. A partir dos resultados do processamento, utilizou-se as nomenclaturas das classes do relevo de acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (Tabela 1).

Tabela 1. Classificação da Declividade

Declividade (%)	Relevo
0 - 3	Plano
3 - 8	Suave Ondulado
8 - 20	Ondulado
20 - 45	Forte Ondulado
45 - 75	Montanhoso
>75	Forte Montanhoso

Fonte: Ross, 1994

Foram utilizados dados temáticos dos atributos ambientais (geologia, geomorfologia, solos, geodiversidade e vegetação) provenientes da Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM) e Instituto Brasileiro de Geografia e

Estatística (IBGE). Os dados vetoriais foram recortados referente à área de estudo e em seguida elaborou-se mapas temáticos individuais.

Precipitação

Os dados climatológicos referentes a precipitação foram adquiridos através das estações meteorológicas de Zé Doca e Bacabal, do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, escolhidas

Focos de Calor e Precipitação

Para a caracterização dos focos de calor, foram usados dados do Banco Dados de Queimadas (BDQ) do INPE, referentes aos anos de 2001 a 2016. Construiu-se uma base de dados em um SIG, inserindo os arquivos shapefile referente ao limite do estado do Maranhão, onde foram recortados através da delimitação do baixo Mearim, fazendo em seguida a interpolação dos pontos utilizando a densidade de *Kernel*.

O método de *Kernel* desenha uma vizinhança ao redor de cada ponto da amostra, correspondendo ao raio de influência, desta forma, é aplicada uma função matemática de 1, na posição do ponto, a 0, ao redor da vizinhança. O valor para a célula é a soma dos valores *Kernel* sobrepostos e divididos pela área de cada raio de pesquisa (De Andrade Filho et al., 2017; Lopes et al., 2017).

Para uma melhor interpretação dos dados, foram elaborados dezesseis mapas correspondendo ao avanço anual dos focos e a identificação dos locais onde obtiveram maior concentração de cada ano. Além disso, também foi montado dois gráficos individuais relacionando a quantidade de focos de calor com os dados de precipitação das estações meteorológicas, Zé Doca e Bacabal, com o objetivo de analisar a variação das queimadas no período de 2001 a 2016.

Análise Estatística

A análise da variabilidade espacial e temporal dos dados de precipitação das estações meteorológicas, Zé Doca e Bacabal, foram feitas através do teste de tendência Mann-Kendall, sendo este um teste não paramétrico desenvolvido por Mann (1945), proposto pela *World Meteorological Organization* (WMO) para avaliar tendências em séries temporais em dados ambientais (Yue et al., 2002).

Seja uma série temporal de observações, $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, representando n pontos em que x_j representa o ponto no tempo j . Então a estatística de Mann-Kendall (S) é dado por:

(1)

por estarem inseridas na área de estudo. Utilizou-se os registros mensais de precipitação no período de 2001 a 2016.

$$S = \sum_{k=1}^{n_j-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (2)$$

em que:

$$S = \sum_{k=1}^{n_j-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k)$$

Os valores positivos de S indicam uma tendência de crescimento onde os valores crescem com o tempo e o valor negativa refere-se a uma tendência negativa. Todavia, é necessário computar a probabilidade associada com S e a dimensão da amostra, n , para quantificar estatisticamente a significância da tendência.

Para uma dimensão da amostra >10 , as aproximações normais para o teste de Mann-Kendall pode ser usado.

Para esta, a variância de S pode ser obtida com,

$$V(S) = \frac{n(n-1)(2n-1) \sum_{j=1}^p t_j(t_j-1)(2t_j+5)}{18} \quad (3)$$

Em que p é número de grupos contendo valores iguais na série de dados e t_j é o número de dados com valores iguais em um certo grupo j .

Sabendo-se que S é normalmente distribuído e tem média zero e variância dada pela Eq. (1), pode checar se tendência é positiva ou negativa, significante igual a zero. Se S é significativamente diferente de zero, H_0 pode ser rejeitada para um nível de significância indicando a existência de tendência (H_1 é aceita).

Valores menores de n podem assumir uma distribuição normal desde que o valor de estatística Z seja concedido por:

$$|z| = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{V(S)}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{V(S)}} & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Desmatamento

Para a análise espacial, utilizaram-se dados de desmatamento fornecidos pelo Programa de Monitoramento do Desmatamento (PRODES) do

105

Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) em formato vetorial (*Shapefile*), da região Amazônica do estado do Maranhão. Em seguida este dado foi recortado a área do baixo Mearim para a construção de um mapa da área desmatada a partir do ano de 1997 a 2015, além da elaboração de um gráfico da ocorrência do desmatamento anual comparando a área desmatada da região total da bacia hidrográfica com a do baixo Mearim no período de 2001 a 2015.

Análise da Fragilidade Ambiental

Sabendo-se que a fragilidade dos ambientes naturais devido às intervenções humanas pode ser maior ou menor em função das suas características genéticas (Ross, 1994), utilizou-se neste estudo a análise dos atributos

da caracterização ambiental realizando um paralelo com a exploração dos recursos naturais a partir dos dados de queimadas e desmatamento.

Para análise da fragilidade do baixo Mearim utilizaram-se duas variáveis, a declividade e a proteção do solo, que tem como base a metodologia de Ross (1994), que propõem estudos a partir das concepções das unidades ecodinâmicas, onde um ambiente pode estar em equilíbrio dinâmico ou em desequilíbrio, baseado em Tricart (1977).

A Categoria Hierárquica da Declividade (Tabela 2) estabelecida por Ross (1994), sugere que quanto maior a declividade maior a potencial fragilidade do terreno.

Tabela 2. Classificação da fragilidade a partir da Declividade

Categorias Hierárquicas	
Muito Fraca	Até 6%
Fraca	de 6 a 12%
Média	de 12 a 20%
Forte	de 20 a 30%
Muito Forte	acima de 30%

Fonte: Ross, 1994

A Classificação de graus de proteção do solo (Tabela 3) proposta por Ross (1994) estabelece uma hierarquia de graus de proteção

dos solos pela cobertura vegetal, obedecendo em ordem decrescente da capacidade de proteção, estabelecido da seguinte forma:

Tabela 3. Classificação do grau de proteção do solo

Graus de Proteção	Tipos de Cobertura Vegetal
1- Muito Alta	Florestas/Matas naturais, florestas cultivadas com biodiversidade.
2- Alta	Formações arbustivas densas (Mata nativa/secundária e Capoeira densa).
3- Média	Cultivo de ciclo longo como café e laranja e baixo pisoteio.
4- Baixa	Cultura de ciclo longo (café) e ciclo curto (arroz).
5-Muito baixa a nula	Áreas desmatadas e queimadas recentemente, solo exposto por arado/gradação, solo exposto ao longo de caminhos e estradas, terraplanagens, cultura de ciclo curto sem práticas conservacionistas.

Fonte: Ross, 1994

Resultados e discussão

Caracterização Física do Baixo Mearim

Declividade

O mapa da declividade do baixo Mearim apresenta classes de relevo segundo a (EMBRAPA, 2006) Plano (0 - 3%), Suave Ondulado (3 - 8%), Ondulado (8 - 20%), Forte Ondulado (20 - 45%) e Montanhoso (45 - 75%) (Figura 2a).

Observa-se no mapa (Figura 2a) que as classes mais predominantes na área de estudo são as plana e suave ondulado, com 0 - 3% e 3 - 8%, respectivamente. A partir desse dado nota-se que o Baixo Mearim possui um terreno moderadamente plano, característico da região da Baixada Maranhense.

Bandeira (2013) afirma que esta região é caracterizada por terrenos planos a suavemente ondulados, apresentando baixas declividades e amplitudes, abrangendo em sua área formação de lagos e rios com escoamento superficial muito lento, além de facilitar a intrusão da cunha salina na Baixada.

Geologia

A partir do mapa de geologia, constata-se alta heterogeneidade de rochas, totalizando sete unidades geológicas: Formação Itapecuru, Depósitos Flúvio-lagunares, Grupo Barreiras, Cobertura Lateríticas Imaturas e Matuas, Depósitos Aluvionares, Depósitos de Pântanos e Mangues e Depósitos Flúvio-lagunares (Figura 2b).

Na região do baixo Mearim, ocorre predominância das rochas do Grupo Itapecuru e dos Depósitos Flúvio-lagunares. O grupo Itapecuru é composto por vários tipos de rochas, como arenitos, siltitos, argilitos, folhelhos associados com arenitos depositados com vários ambientes fluvial lagunar e deltaico (Bandeira, 2013). Os arenitos cretácicos da formação Itapecuru sustentam os vastos terrenos baixos e alagadiços da extensa zona deposicional da Baixada Maranhense (Bandeira, 2013). Essa Formação se concentra na região leste e sul do baixo curso do rio Mearim.

Os Depósitos Flúvio-lagunares são recobertos por extensos lagos da Baixada Maranhense e mangues abrangendo áreas favoráveis para o ecoturismo. Esta unidade está associada a ambientes constituídos por areias e lamas com restos orgânicos vegetais de origem

lagunar interligados a areias grossas e finas, relacionadas à sedimentação fluvial (Bandeira, 2013). No Baixo curso do Mearim, esta Formação está presente na parte rebaixada da região, pois são associados as planícies fluvio-marinhas, caracterizadas por amplitudes, declividade e cotas topográficas muito baixas, de 0 a 10 metros de altura.

Geomorfologia

A compartimentação geomorfológica do baixo Mearim apresenta cinco unidades de formas e litologias, são elas: Golfão e Baixada Maranhense, Litorânea e Reentrâncias Maranhense, Superfície Sublitorânea Bacabal, Superfície Aplainadas do Noroeste do Maranhão e Tabuleiros de São Luís de Alcântara-Guimarães. Dentre elas, destacam-se pela abrangência a Superfície Sublitorânea de Bacabal e Golfão e Baixada Maranhense (Figura 2c).

A Superfície Sublitorânea de Bacabal, denominação por Barbosa et al. (1973), é um relevo monótono, caracterizado por vastas superfícies aplainadas com topografia plana. Esse domínio cerca a Baixada Maranhense, entrecruzando os rios Pindaré, Grajaú e Itapecuru.

O Golfão integra a grande reentrância litorânea central do Maranhão, constituídas pelas Baías de São Marcos, São José, Cumã e Tubarão (González-Gorbeña et al., 2015). Possuindo uma vasta planície fluvio-marinha de topografia plana e relativamente ajustada a base do nível da base geral, denominada de Baixada Maranhense. Essa extensa planície é formada por uma superfície sazonalmente inundada de pântanos de água doce, mangues, lagos intermitentes, campos halófilos de várzea, pântanos salinos, planícies de marés lamosas e ambientes estuarinos, para onde desaguam os legítimos rios maranhenses: Mearim, Grajaú, Itapecuru, Itapecuru e Munin (Souza Filho, 2005).

Pedologia

O mapa pedológico do Baixo Mearim apresentou grande diversidade de solos, com sete tipologias distintas: Argissolo vermelho amarelo, Argissolo vermelho amarelo eutrófico, Gleissolo, Latossolo amarelo, Plintossolo, Solos Aluviais e Solos de Mangue (Figura 2d).

O Plintossolo é constituído por material mineral apresentando material plântico iniciando

dentro de 40 cm, ou 200 cm quando abaixo dos horizontes A e E ou de qualquer outro que apresenta cores pálidas, variegadas ou mosqueadas em grande quantidade. Essa classe é formada sob condições a restrição à percolação de água, sujeitos a efeitos temporários de excesso de umidade, que tem como consequência a formação de horizonte plíntico. Esse solo possui pouco uso para a agricultura, pois o excesso de água prejudica o desenvolvimento radicular, necessitando de drenagem para conter a erosão (Pedreira et al., 2014).

O Gleissolo apresenta uma textura argilosa, pertencente a classe de solos hidromórficos, que representa a oxidação e redução do ferro através da oscilação do lençol freático, são constituídos por material mineral que apresentam o horizonte glei. Esses solos são mal drenados, pouco profundos, fortemente ácidos, possuem limitações para agricultura. Os cultivos mais comuns são de açaí e buriti (Lepsch, 2016).

Os Solos de Mangue são halomórficos de áreas alagadas, formados sob a influência de mares com vegetação característica denominada de mangue (De Oliveira, 2007). Observando o mapa (Figura 2d) esta unidade está inserida no Golfão maranhense, esses terrenos são argilosos e ricos em matéria orgânica (Bandeira, 2013).

Os Argissolos Vermelho Amarelos são solos que desenvolvem-se no Grupo Barreiras de rochas cristalinas ou sob influência destas. Apresentam horizontes argilosos, com coloração que vai do vermelho ao amarelo devido a presença de dióxido de ferro hematita e goethita. Quando estes solos são desenvolvidos em planaltos em rochas cristalinas ou sob influência destas, apresentam um caráter eutrófico ou distrófico, porém, raramente com alta saturação por alumínio, indicando média a baixa fertilidade natural (Dos Santos et al., 2003; Dantas et al., 2014). Os Argissolos de maior fertilidade natural são os eutróficos, que apresentam boas condições físicas e estão situados em relevos mais suaves que tem características de maior potencialidade agrícola (EMBRAPA, 2006; Bezerra Maia e Ramos Gomes, 2018). Observando o mapa (Figura 2d), o Argissolo vermelho amarelo está concentrado na parte sul e sudeste do baixo Mearim.

Geodiversidade

A partir da geodiversidade é possível conhecer os recursos minerais, a geologia e as paisagens naturais inerentes à determinada região

composta por tipos específicos de rochas, relevo, solos e clima. Através da caracterização da geodiversidade, identifica-se sete grupos de interações geológicas na região do baixo Mearim, estas estão representadas no mapa como, Geounidade 1, Geounidade 2, Geounidade 3, Geounidade 4, Geounidade 5, Geounidade 6 e Geounidade 7 (Figura 2e).

Alternância Irregular entre camadas de sedimentos de composição diversa (arenito, siltito, argilito e cascalho), representada como Geounidade 1, caracteriza-se por depósitos arenoargilosos e argiloarenosos, ocasionalmente conglomerados, intemperizados, com alguns locais ferruginizados/laterizados, correspondendo geologicamente aos sedimentos siliciclásticos do Grupo Barreiras. Associam-se a relevo de tabuleiros, tabuleiros dissecados, platôs, superfícies aplainadas, relevos residuais, colinas, morros e serras baixas com cotas que variam de 30 a 220m (Bandeira, 2013).

A Geounidade 2 identifica-se como Ambiente de planícies aluvionares recentes (Material inconsolidado e de espessura variável) associa-se a relevos de planícies fluviais ou fluviolacustres, caracterizados por superfícies sub-horizontalizadas, pouco elevadas, acima do nível dos rios, riachos, igarapés e córregos, periodicamente inundados em época de cheia (Bandeira, 2013).

A Geounidade 3, refere-se a unidade Ambiente fluviolacustre (Predomínio de sedimentos arenosos, intercalados com camadas argilosas, ocasionalmente com presença de turfa) constitui-se por areias e lamas com restos orgânicos vegetais, de origem lagunar, interdigitados com cascalhos de areias grossas e finas, relacionados a sedimentação fluvial. Geologicamente, associa-se aos depósitos fluviolagunares recentes e antigos denominados de pós-Barreiras (Bandeira, 2013).

Ambiente Misto (marinho/Continental), apresentada no mapa (Figura 2e) como Geounidade 4, é representada por mangues, constituindo um dos maiores sistemas contínuos de manguezais do mundo. São zonas de transição entre ambientes terrestres e marinhos, sujeitas a regimes de marés instantâneas em áreas úmidas, características de zonas tropicais e subtropicais. Desenvolvem-se a partir de sedimentos marinhos e fluviais, formando terrenos constituídos por terrenos irregulares de sedimentos argilosos e arenosos que são ricos em matéria orgânica em zonas de intermarés os quais sustentam a vegetação com domínio de espécies *Rhizophora* e *Avicenia* (Lebige, 1994). Ocorrem

em regiões com topografia plana, denominadas de Planícies Fluvio-marinhas com cotas entre 2 a 10m, em alguns casos, cotas de até 35m (Bandeira, 2013).

A Geounidade 5 identificada como Depósitos detrítico-lateríticos são provenientes de processos de laterização em rochas de composição diversas, sem a presença de crostas. No ponto de vista geológico, esta unidade corresponde às coberturas lateríticas imaturas, formadas em clima úmido em um período geológico mais recente. Possuem um perfil laterítico menos profundo sem depósitos minerários como o caulim e o alumínio ou crosta laterítica. Mesmo sem a presença dessa crosta, essa unidade mostra-se muito estável sustentando relevos como superfícies aplainadas, platôs, colinas e relevos residuais (Bandeira, 2013).

Como os Depósitos detrítico-lateríticos, a unidade Horizonte laterítico in situ (proveniente de processos de laterização em rochas de composição diversas, formando crosta), desvrita no mapa (Figura 2e) como Geounidade 6, é oriunda de rochas mais antigas, como as formações Itapecuru e Ipixuna, diferenciando-se apenas no tempo de formação e no processo intempérico. Esta unidade corresponde às coberturas lateríticas imaturas definidas como depósitos sedimentares formados sob clima tropical a temperado úmido, que condicionou processos de intensa lixiviação dos elementos mais solúveis (sódio, potássio, cálcio e magnésio), concentração dos mais resistentes (ferro e magnésio) e a produção de minerais secundários do grupo das argilas em um perfil laterítico profundo com grande probabilidade de ocorrência de depósitos minerários, como a presença quase frequente de crosta laterítica. Esses terrenos possibilitam a sustentação de relevos com topos planos, como platôs, planaltos, morros, superfícies aplainadas, mas devidos a processos erosivos, formaram também colinas, vales encaixados, degraus estruturados e rebordos erosivos (Bandeira, 2013).

A Geounidade 7, denominada originalmente como Intercalações de sedimentos arenosos, siltico-argiloso e folhelhos, composta por rochas semiconsolidadas, pouco a moderadamente fraturada, com grande diversificação litológica na horizontal e na vertical, como areitos, siltitos, argilitos e calcários. Ou seja, as áreas mais ao norte contêm maior proporção de material siltico-argiloso, próximo as áreas litorâneas registra-se a presença de calcário, enquanto as áreas da porção centro-sul caracterizam-se por serem mais arenosas, mas ainda com presença de material argiloso, mas com a presença de material argiloso

e caulínítico. Na porção do estado, essa unidade se encontra muito alterada, formando um espesso perfil laterítico (Bandeira, 2013).

Vegetação

Segundo o mapa de vegetação da região, encontramos seis categorias de formações vegetais: Atividades Agrárias, Floresta Ombrófila Densa Submontana, Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas, Vegetação Secundária e Atividades Agrárias, Áreas de Formações Pioneiras e Vegetação com Influência Fluvial e /ou Lacustre e Áreas das Formações Pioneiras Vegetação com Influência Fluvio-marinha (Figura 2f).

A formação Floresta Ombrófila Densa Submontana ocupam as áreas dissecadas dos relevos montanhosos e dos planaltos com solos medianamente profundos. A submata é integrada por plântulas de regeneração natural, poucos nanofanerófitos e caméfitos, além da presença de palmeiras de pequeno porte e lianas herbáceas em grande quantidade. Esta formação é composta principalmente por fanerófitos de alto porte, na Amazônia alguns ultrapassam 50 metros (IBGE, 2012; Lingner, 2015).

A formação Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas ocupa em geral planícies costeiras, capeadas por tabuleiros polipleistocênicos do Grupo Barreiras. Ocorre desde a região amazônica, estendendo-se por todo o Nordeste até proximidades do Estado do Rio de Janeiro. Estes tabuleiros apresentam uma florística bastante típica, caracterizadas por ecótipos dos gêneros *Ficus*, *Alchornea*, *Handroanthus* e pela *ochlospécie Tapirira guianensis Aubl.* Entretanto a grande parte da área do baixo Mearim é formada pela tipologia denominada Vegetação Secundária e Atividades Agrárias. A Vegetação secundária ocorre em áreas onde a vegetação foi retirada para fins de extrativistas, em especial agricultura e pecuária. Após o abandono dessas áreas a vegetação adota características distintas de acordo com o tempo e uso da terra (IBGE, 2012).

Nas áreas mais baixas do Baixo Mearim, encontram-se as Formações Pioneiras - Vegetação com Influência Fluvial e/ou Lacustre, apresentam comunidades vegetais que refletem os efeitos das cheias dos rios nos períodos de maior precipitação. Conforme a quantidade de água empoçada e o tempo em que ela permanece na área, forma-se uma vegetação pantanosa a criptofítica (hidrófila). Nas planícies alagáveis mais bem drenadas ocorrem influência de

comunidades campestres. Nas áreas mais enxutas encontra-se os nanofaterófitos dos gêneros *Acacia* e *Mimosa* (IBGE, 2012).

As Formações Pioneiras - Vegetação com Influência Fluvio-Marinha, encontram-se em ambientes salobros, situados em desembocaduras de rios e regatos no mar, onde nos solos limosos cresce uma vegetação especializada e adaptada a uma salinidade das águas, como as seguintes espécies: *Rhizophora mangle* L. e *Avicennia* sp. que variam conforme a altitude, característico de ambientes de mangue. No estado do Maranhão,

frequentemente observa-se Manguezal apenas com espécies *Rhizophora*, pois a *Laguncularia* só aparece apenas quando existe terreno firme nos terraços e nas planícies salobras no fundo das baías e dos rios. Em algumas dessas planícies, justamente quando a água do mar fica represada pelos terraços dos rios, a área salobra é densamente povoada por *Spartina alterniflora* Loisel. e *Blutaparon portulacoides* (A. St. – Hil.) Mears. (Amaranthaceae), que imprimem ao “campo salino” o caráter de um “manguezal camefítico” (IBGE, 2012).

Figura 2. Mosaico de Mapas do Meio Físico: (a) Mapa de Declividade; (b) Mapa de Geologia; (c) Mapa de Geomorfologia; (d) Mapa de Pedologia; (e) Mapa de Geodiversidade; (f) Mapa de Vegetação

Elevação, Área e Rede de Drenagem

A partir do mapa de elevação da região do Baixo Mearim, constatou-se uma variação de amplitude de relevo que vai de 0 a 318 metros em relação ao nível do mar (Figura 3a).

A área do baixo Mearim utilizando os dados SRTM, foi de 21.065,84 km², enquanto a área total da Bacia é de 102.014,8 km². O baixo curso do rio abrange aproximadamente 21% da área total da Bacia Hidrográfica.

A extensão da drenagem do baixo curso Mearim através dos dados SRTM foi de 3.641,1 km, enquanto o comprimento total da rede da Bacia Hidrográfica é de 16.898,41 km, obtendo uma diferença de aproximadamente de 21% (Figura 3b).

O Rio Mearim tem a sua nascente localizada na Serra da Menina, próxima ao município Fortaleza dos Nogueiras, onde se direciona para o norte e desemboca no Golfão Maranhense. Na região do Baixo Mearim, na

Baixada Maranhense, suas margens tornam-se alagadiças. No município de Arari ocorre o fenômeno da pororoca, que caracteriza o encontro da água doce com a maré e assim formando o estuário do rio Mearim. Os Rios Pindaré e Grajaú, são as duas maiores afluentes da Bacia do Mearim, estes desagüam na região do baixo curso da Bacia Hidrográfica (Bandeira, 2013).

O rio Pindaré tem seus afluentes situados nas Serras do Gurupi e Tiracambu. Sua nascente localiza-se a Leste de Montes Altos, com suas principais afluentes, os rios Buriticupu, Novo, Verde Zutiua, Juriti, Arapapa, Timbira, Santa Rita, Cipoeiro, Zutiua e Jeju. A nascente do Rio Grajaú localiza-se entre as Serras da Canela e Negra, tendo como principais afluentes os rios Santana, Gameleiras, Água Fria, Pitombeira, riacho Água Boa, Barriguda, Baixão do Timbiras, Camaça, Jacaré e outros. Sua foz situa-se na influência do estuário do rio Mearim (Bandeira, 2013).

Figura 3. (a) Mapa de Elevação; (b) Mapa de Drenagem

Precipitação

Foram analisadas as duas estações pluviométricas localizadas no Baixo Mearim, Bacabal e Zé Doca, durante uma série temporal de 16 anos (2001 a 2016). Percebe-se no gráfico (Figura 4) que não houve muita variação entre as duas estações, ambas seguiram um padrão similar de distribuição de chuvas durante a série temporal.

O ano de 2008 ocorreu a maior média de precipitação na estação pluviométrica de Bacabal, apresentando 208,62 mm e em Zé Doca houve um aumento em 2009, com média 184,1 mm. Enquanto no ano de 2012 indicou a menor média de chuvas nas duas estações, a primeira com 104,6 mm e a segunda apresentando 105,7 mm.

Figura 4. - Gráfico da variação da precipitação das estações Bacabal e Zé Doca

Silva et al. (2014) diz quem em 2012 foi considerado o ano mais seco, apresentando as mais baixas médias de precipitação, não apenas nas estações de Bacabal e Zé Doca, mas em todas as do estado do Maranhão. Percebe-se que tais valores na diminuição da precipitação tem influência do crescimento demográfico e de atividades antrópicas, como a exploração da madeira, a pecuária, como a criação bubalina e agricultura de grãos tem promovido mudanças abruptas no regime hídrico do Estado, principalmente na Baixada Maranhense.

De acordo com a tabela 4, considera-se a série total dos dados, representando os índices do teste de Mann-Kendall referentes as estações pluviométricas, Bacabal e Zé Doca.

Para a estação pluviométrica de Bacabal, os valores do Tau de Kendall e o p-valor foram de -0,283 e 0,139 respectivamente. Enquanto os valores para a de Zé Doca apresentou o resultado do Tau de Kendall de -0,383 e p-valor de 0,041.

Por mais que os valores do Tau de Kendall sejam negativos em ambas as estações, apenas a de Zé Doca apresenta diminuição significativa, indicando o p-valor menor que 0,05.

Tabela 4. Teste de Mann-Kendall para a variação da precipitação das estações de Bacabal e Zé Doca

Estações	Duração		Anual	
	Início	Fim	Tau de Kendall	p-valor
Bacabal	2001	2016	-0.283	0.139
Zé Doca	2001	2016	-0.383	0.041

A partir dos resultados, percebe-se que há evidências de diminuição da precipitação, principalmente na região em que abrange a estação pluviométrica de Zé Doca. Silva et al. (2014) apontou estas evidências na região de domínio da

zona de transição Amazônia-Cerrado do Maranhão.

A região do baixo Mearim é crítica em relação as mudanças de uso e cobertura da terra, pois as atividades de exploração madeireira, pecuária, agricultura e até mesmo a criação de búfalos têm promovido diversas alterações,

provocando transformações na biosfera e, consequentemente, no regime hídrico local (De Sousa et al., 2016; De Sousa et al., 2019).

Foco de Calor e Precipitação

A análise de agrupamentos de Kernel indicou a distribuição espacial dos focos de

calor ao longo do período de 2001 a. Observa-se no mosaico de mapas (Figura 7), que a maior densidade de focos de calor localizam-se nas regiões Oeste e Sul do baixo Mearim.

Figura 5. Mosaico de Mapas da distribuição anual dos focos de calor

Através do mosaico de mapas (Figura 5) podemos observar a distribuição anual de focos de calor no baixo Mearim durante os anos de 2001 a 2016. Essa distribuição é apresentada quantitativamente nos gráficos (Figura 6) o qual apresenta no primeiro ano a quantidade mínima de queimadas na série temporal, com 1.183 focos de

calor e em 2015 indicou a sua máxima com 16.506 focos de calor na região do baixo Mearim.

Em relação às quantidades de focos de calor e as médias anuais das estações

meteorológicas de precipitação de Bacabal e Zé Doca (Figura 6), percebe-se nos dois gráficos que a quantidade de focos variou em relação a precipitação, pois nos anos de maiores precipitação há uma diminuição na quantidade de focos, enquanto nos anos em que houve uma maior redução na média da precipitação há picos do número de queimadas. Assim, percebe-se que quanto maior a média de precipitação, menor o número de queimadas.

Figura 6. (a) Gráfico de Focos de Calor X Precipitação de Bacabal; (b) Gráfico de Focos de Calor X Precipitação de Zé Doca

Desmatamento

Os dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2013) apontam que em 2013 Maranhão perdeu mais de 70% da sua floresta original, percentual que equivale a aproximadamente 105.195 km². Essa taxa no primeiro semestre de 2017 subiu para 75% de área

de floresta desmatada da Amazônia Legal do Estado (Celentano et al., 2017). O mapa de desmatamento mostra o avanço dessas áreas a partir do ano de 1997 a 2015 na região do baixo curso do rio Mearim (Figura 5).

Figura 7. Mapa de desmatamento

A partir do gráfico de desmatamento do baixo Mearim, relacionando com a região total da bacia (Figura 6), observa-se que a área desmatada não seguiu um padrão definido de aumento ou diminuição na série temporal de 2005 a 2015.

A área desmatada anual na bacia do rio Mearim apresenta a sua máxima no ano de 2008

com uma área de 655,29 km² e a mínima de 115,04 km² em 2015. Enquanto na região do baixo curso também apresentou a máxima no ano de 2008 com uma área de 55,99 km² e a mínima em 2015 constando uma área de 2,15 km². A partir desses dados pode-se verificar que o baixo Mearim seguiu o mesmo padrão proporcional de desmatamento da área total da bacia.

Figura 8. Gráfico do desmatamento anual da área do Baixo Mearim comparando com a área total da Bacia

As principais causas do desmatamento, principalmente na floresta Amazônica, são as conversões das florestas em pastagens, o corte e queima para cultivos anuais da agricultura familiar e a implantação do cultivo de grãos pelas agroindústrias. A pecuária é a forma mais comum de desmatamento e também a menos produtiva. Esta atividade ocorre em grandes propriedades, embora esta prática esteja cada vez mais presente entre os pequenos agricultores (Das Neves et al., 2014; Ferreira e Coelho, 2015). No Maranhão, o desmatamento ilegal na área da Amazônia Legal tem como objetivo ceder espaço, principalmente, para atividades como agricultura e pecuária. Os 25% da floresta original mantida neste bioma estão distribuídos na seguinte forma: 70% estão dentro de área protegidas (terras indígenas e Unidades de Conservação), 10% nos assentamentos da reforma agrária e cerca de 20% dispersos nas propriedades rurais (Alencar et al., 2016; Celentano et al., 2017).

Na região amazônica uma das principais causas do desmatamento é a pecuária e a agricultura (Castelo e De Almeida, 2015; De Mello

e Artaxo, 2017). No Maranhão a grande parte da produção agrícola advém da produção familiar, os produtos relacionados a agricultura de pequeno porte, como o milho, o arroz, mandioca e o feijão, apresentando parte da produção econômica do Estado (Fonseca et al., 2015).

Fragilidade Ambiental

Segundo Cruz et al. (2010), a fragilidade ambiental pode ser classificada a partir dos elementos que compõem o ambiente, considerando, os aspectos naturais e antrópicos. Por esta razão, o estudo da vulnerabilidade passa por análises das feições geológicas, dos tipos de solos, cobertura vegetal, grau de antropização, além do reconhecimento da declividade do terreno, que apresenta um importante fundamento para definição do potencial de fragilidade.

Desse modo, a classificação da declividade sugerida por Ross (1994), utiliza-se Categorias Hierárquicas de Muito Fraca (1), onde os valores são até 6%, a Muito Forte (5), representando as classes acima de 30%, sugerindo que regiões com

terrenos com declividade alta possuem maior susceptibilidade aos processos erosivos. No entanto, há que se considerar que regiões muito planas como a área de estudo, podem ser consideradas frágeis devido à maior susceptibilidade à enchentes por exemplo.

De acordo com Bandeira (2013) a Baixada Maranhense apresenta um relevo moderadamente plano, predominando declividades que variam de 0 a 3%, identificando um baixo potencial de erosão hídrica com lenta circulação das águas por apresentarem um escoamento superficial e subsuperficial muito precários, facilitando um alto potencial para a formação das poças d'água e alagamentos temporários. O lençol freático dessa região é predominantemente muito próximo à superfície, característico de ambientes com alto índice pluviométrico, solos e sedimentos consolidados e saturados em água (Plintossolo e Gleissolo).

As unidades geoambientais Ambiente de planícies aluvionares recentes (Material inconsolidado e de espessura variável); Ambiente Fluvio-lacustre - Predomínio de sedimentos arenosos, intercalados com camadas argilosas, ocasionalmente com presença de turfa e Ambiente Misto (marinho/continental) correspondem a região de interesse, apresentando vulnerabilidade por serem regiões periodicamente inundáveis, com grandes cheias que se prolongam de janeiro a maio. Entretanto, com a expansão da população, as residências são instaladas nas planícies dos principais rios que compõem o ambiente, acelerando os processos erosivos na região. A ocupação inadequada associada a variação dos níveis dos rios e o alto índice pluviométrico condicionam um alto risco de desastres naturais relacionados as inundações. Além desses aspectos ambientais, estas áreas estão sujeitas aos impactos em decorrência da dinâmica das marés. Consequentemente esta região é facilmente deformada quando submetida a fortes impactos (Bandeira, 2013).

Outra característica utilizada para determinar a fragilidade ambiental de uma região, é a cobertura do solo. Segundo Tricart (1977) a cobertura vegetal tem o papel de fornecer ao solo detritos vegetais que desempenham a função amortecedora e de absorção de energia, além de proteger o solo contra a erosão pluvial e o escoamento, comuns em ambiente que predominam solos argilosos, como o caso da característica litológica da região do baixo Mearim.

Baseando-se nesses parâmetros, Ross (1994) estabeleceu uma hierarquia de graus de

proteção ao solo pela cobertura vegetal, obedecendo a ordem decrescente da capacidade de preservação, que vai do grau Muito Alta (1) ao Muito Baixa a Nula (5). Considerando a região do baixo Mearim, pode-se afirmar que seu grau de proteção está em torno de (5), Áreas desmatadas e queimadas recentemente, solo exposto por arado/gradagem, solo exposto ao longo de caminhos e estradas, terraplanagens, cultura de ciclo curto sem práticas conservacionistas. No Maranhão, principalmente na região das planícies inundáveis, é comum a utilização do método de agricultura "corte e queima", que utiliza, segundo Rocha (2014) o fogo para a limpeza e a fertilização do solo, implicando na redução da vegetação nativa e a necessidade de um período de pousio. Por esta razão, Freire et al. (2014) afirma que as lavouras causam grandes impactos, por suprimirem a biodiversidade e a produtividade do solo. O sistema de cultivo Vazante, é o principal fator de expansão das lavouras na Baixada, realizado em áreas mais baixas, favorecendo assim, o cultivo do arroz, que contribui para a produção agrícola, porém tem causado grande preocupação, por suscitar o desmatamento nestes locais (Farias Filho e Júnior, 2009).

Destaca-se também, nessa região, o desenvolvimento da pecuária extensiva, como a criação bovina e bubalina, que trazem consequências como a degradação dos aquíferos, da vegetação e compactação dos solos, pois essas áreas sofrem com o sobre pastejo animal, denominação dada para relacionar a quantidade de animais com a capacidade de suporte de alimentos (pastagem e forragem) (Freire et al., 2014).

Conclusões

A caracterização ambiental teve a finalidade de identificar a fragilidade do baixo Mearim, buscando compreender a influência dos processos naturais e das ações antrópicas na dinâmica da área. Nesse aspecto, o estudo mostrou a importância do levantamento de dados ambientais como subsídio para realização de planejamentos que envolvam análises sobre a fragilidade ambiental na área de estudo.

O baixo Mearim apresenta uma grande diversidade em seus atributos ambientais. Tais como, uma declividade em que domina as classes *plana* (0 – 3%) e *suave ondulada* (3 - 8%), desta forma apresentando um terreno moderadamente plano; apresenta sete formações geológicas, predominando a *Itapecuru* e *Depósitos Fluvio-*

lagunares; cinco unidades geomorfológicas, destacando-se a *Superfície Sublitorânea de Bacabal e Golfão e Baixada Maranhense*; sete tipos de solos, sendo o mais abrangente o *Plintossolo*, *Gleissolo* e *Argissolo Vermelho Amarelo*; seis classes de vegetação, dominando as seguintes classes, *Vegetação Secundária e Atividades Agrárias e Formações Pioneiras Vegetação com Influência Fluvial e/ou Lacustre*; possuindo um relevo que abrange elevações de 0 a 318 metros em relação ao nível do mar; além dos resultados de desmatamento evidenciarem que no ano 2008 a região do baixo apresentou a máxima de área desmatada de 55,99 km e em 2015 diminuiu para 2,15 km em relação a série temporal de 2005 a 2015. E os resultados da caracterização dos focos de calor, mostraram que os anos em que ocorreram maior precipitação obteve uma queda no número de queimadas, enquanto nos anos em que houve a redução na média da precipitação ocorreram picos de queimada, apresentando 16.506 focos de calor na região.

De acordo com esses aspectos, o baixo Mearim identifica-se como um ambiente frágil por apresentar geounidades susceptíveis a inundações devido características de uma topografia levemente plana e altos índices pluviométricos em determinadas épocas do ano (janeiro a maio), influenciando na variação dos níveis dos rios, que são agravadas, sobretudo, pelas ocupações inadequadas próximos aos seus leitos. Além de ser uma área submetida aos impactos da dinâmica das marés, um dos fatores preocupantes na região, principalmente por acelerar o assoreamento dos meandros, facilitando a entrada da cunha salina nos rios da Baixada Maranhense. Além de apresentar vulnerabilidade por conta das altas incidências de queimadas, provocadas, principalmente, por influências antropogênicas. Assim, tais aspectos ambientais provocam impactos em relação a baixa proteção dos solos, por agravar o desmatamento e consequentemente a perda da biodiversidade na região.

Agradecimentos

A Universidade Ceuma e a fonte financiadora, FPEMA, sem o apoio destas não seria possível a realização desse trabalho.

Referências

Alencar, A., Pereira, C., Castro, I., Cardoso, A., Souza, L., Costa, R., Bentes, A.J., Stella, O., Azevedo, A., Gomes, J., Novaes, R., 2016. Desmatamento nos Assentamentos da Amazônia: Histórico, Tendências e

Oportunidades. IPAM, Brasília. Disponível: <http://ipam.org.br/wp-content/uploads/2016/02/Desmatamento-nos-Assentamentos-da-Amaz%C3%B4nia.pdf>. Acesso 25 set. 2019.

Bandeira, I.C.N., 2013. Geodiversidade do Estado do Maranhão, 1 ed. CPRM, Teresina.

Barbosa, G.V., Boaventura, R.S., Novaes Pinto, M. 1973. Folha SB.23 Teresina e parte da folha SB.24 Jaguaribe; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra, 1 ed. Projeto RADAMBRASIL, Rio de Janeiro.

Bezerra Maia, M.R., Ramos Gomes, R.L., 2018. Estudo técnico para regulamentação e redefinição da poligonal Apa da Lagoa do Saco do barro no município de Tabuleiro do Norte-CE. Caribeña de Ciencias Sociales [Online]. Disponível:

<https://www.eumed.net/rev/caribe/index.html>. Acesso: 26 set. 2019

Borges, C.S., Ribeiro, B.T., Wendling, B., Cabral, D.A., 2015. Agregação do solo, carbono orgânico e emissão de CO₂ em áreas sob diferentes usos no Cerrado, região do Triângulo Mineiro. Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science 3, 660-675. DOI: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1573>.

Caña, B.B., Da Rosa, K.K., Costella, R.Z., 2015. Análise da transformação da Floresta Amazônica a partir do uso de geotecnologias: Google Earth engine-nas aulas de geografia do Ensino Fundamental. Boletim gaúcho de geografia 2, 554-568.

Castelo, T.B., De Almeida, O.T., 2015. Desmatamento e uso da terra no Pará. Revista de política agrícola 1, 99-111.

Celentano, D., Rousseau, G.X., Muniz, F.H., Varga, I.V.D., Martinez, C., Carneiro, M.S., Miranda, M.V.C., Barros, M.N.R., Freitas, L., Narvaes, I.S., Adami, M., Gomes, A.R., Rodrigues, J.C., Martins, M.B., 2017. Towards zero deforestation and forest restoration in the Amazon region of Maranhão state, Brazil. Land use policy 68, 692-698. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.07.041>.

Cruz, L.M., Júnior, J.F.P., Rodrigues, S.C., 2010. Abordagem cartográfica da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do glória-MG. Revista Brasileira de Cartografia 62/3, 505-516.

D'Agostin, A., Glusczak, A., Lavnitcki, L., Becegato, V.A., 2017. Caracterização de área de degradada por atividade antrópica. Geoambiente (Online) 28, 80-92. DOI:

- <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i28.4742>
2.
- Dantas, M.E., Shinzato, E., Brandão, R. de L., Freitas, L.C.B., Teixeira, W.G., 2014. Origem das paisagens, in: Brandão, R. de L., Freitas, L.C.B. (Orgs.). Geodiversidade do Estado do Ceará. Editora Serviço Geológico do Brasil-CPRM, Fortaleza, pp. 37-60.
- Das Neves, P.A.P.FG., Da Silva, L.M., Pontes, A.N., De Paula, M.T., 2014. Correlação entre pecuária e desmatamento em municípios da mesorregião sudeste do estado do Pará, Brasil (Correlation among livestock and deforestation in municipalities of southeast region of Pará state, Brazil). *AMBIÊNCIA* 3, 795-806. DOI:10.5935/ambiencia.2014.03.11
- De Andrade Filho, V.S., Artaxo Netto, P.E., Hacon, S.S., Do Carmo, C.N., 2017. Distribuição espacial de queimadas e mortalidade em idosos em região da Amazônia Brasileira, 2001–2012. *Ciência & Saúde Coletiva* 22, 245-253. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-81232017221.09622015>.
- De Mello, N.G.R., Artaxo, P., 2017. Evolução do plano de ação para prevenção e controle do desmatamento na Amazônia legal. *Revista do Instituto de Estudos Brasileiros* 66, 108-129. DOI: <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2316-901x.v0i66p108-129>.
- De Oliveira, V.A., 2007. Manual técnico de pedologia, 2 ed. IBGE. Rio de Janeiro.
- De Paiva, A.L.R., Cabral, J.J.S.P., Montenegro, S.M.G.L., Costa Sobrinho, A.F., 2014. Aumento do risco de salinização da água subterrânea na planície de recife devido à elevação do nível do mar. *Águas Subterrâneas*, 1-14.
- De Sousa Medeiros, E.C., Maia, L.P., De Araújo, R.C.P., 2014. Percepção ambiental da erosão costeira em uma praia no litoral do Nordeste do Brasil (Praia da Taíba, CE). *Revista de Gestão Costeira Integrada* 3, 471-482. Doi: <http://dx.doi.org/10.5894/rgci488>.
- De Sousa, E.R., De Castro, A.C.L., Azevedo, J.W.J., De Araújo, G.M.C., 2016. Evolução espaço-temporal do uso e cobertura da terra em áreas propostas para a implantação de unidades de conservação no município de Bacabeira-MA. *Revista Espacios* [online] 37. Disponível: <https://www.revistaespacios.com/a16v37n12/16371227.html>. Acesso: 26 de set. 2019.
- De Sousa, E.R., Soares, L.S., Pinheiro Junior, J.R., De Castro, A.C.L., 2019. Indicadores do grau de mudanças ambientais em áreas protegidas do município de Bacabeira (MA). *Revista Equador* 2, 152-169.
- De Souza Filho, C.R., Crósta, A.P., 2016. Geotecnologias aplicadas à Geologia. *Revista Brasileira de Geociências* 2, 1-4.
- Do Couto, R., Garcia, K.J., Da Silva, M.L., 2018. *Revista Brasileira de Geografia Física. Revista Brasileira de Geografia Física* 7, 2244-2259. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v11i.07.p2244-2259>.
- Dos Santos, H.G, Coelho, M.R., Dos Anjos, L.H.C., Jacomine, P.K.T., De Oliveira, V.A., Lumberreras, J.F., De Oliveira, J.B., De Carvalho, A.P., Faloso, J.P., 2003. Propostas de revisão e atualização do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, 1 ed. EMBRAPA, Brasília.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2006. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, 1 ed. CNPS - Centro Nacional de Pesquisas de Solos, Rio de Janeiro.
- Farias Filho, M.S., Júnior, A.S. de L.F., 2009. A cultura do arroz em sistema de vazante na Baixada Maranhense, periferia do sudeste da Amazônia. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 2, 82-91.
- Ferreira, M.D.P., Coelho, A.B., 2015. Desmatamento Recente nos Estados da Amazônia Legal: uma análise da contribuição dos preços agrícolas e das políticas governamentais. *Revista de Economia e Sociologia Rural* 1, 91-108. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1234-56781806-9479005301005>.
- Fonseca, J.R., Vieira, E.H.N., Pereira, J.A., Cutrim, V.A., 2015. Descritores morfoagronômicos e fenológicos de cultivares tradicionais de arroz coletados no Maranhão. *Ceres* 293.
- Fonseca, S.F., Hermano, V.M., Silva, A.C., 2016. Mapeamento do uso da terra nos municípios de Janaúba e Nova Porteirinha (MG) usando dados de sensoriamento remoto. *Élisée-Revista de Geografia da UEG* 5, 103-119.
- Freire, A.T.G., Mendes, J.J., Brito, F.S., Silva Junior, C.H.L., Neto, R.N.L., 2014. O ambiente geológico-pedológico das Planícies Inundáveis do Maranhão e sua fragilidade às ações antrópicas. COPEC, Cubatão. (Proceedings of Safety, Health And Environment World Congress, 14).
- González-Gorbeña, E., Rosman, P.C.C, Qassim, R.Y., 2015. Assessment of the tidal current energy resource in São Marcos Bay, Brazil. *Journal of Ocean Engineering and Marine*

- Energy 4, 421-433. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40722-015-0031-5>.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2012. Manual técnico da vegetação brasileira, 2 ed, IBGE. Rio de Janeiro.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2013. Clipping. Maranhão perdeu mais de 70% de mata nativa com desmatamento. Gestão de Comunicação Institucional. Disponível em: <http://www.inpe.br/noticias/namidia/img/clip22042013_03.pdf>. Acesso em: 02 ago. 2017.
- Lepsch, I.F., 2016. Formação e conservação dos solos, 2 ed. Oficina de Textos. São Paulo.
- Lingner, D.V., Schorn, L.A., Sevegnani, L., De Gasper, A.L., Meyer, L., Vibrans, A.C., 2015. Floresta Ombrófila Densa de Santa Catarina-Brasil: agrupamento e ordenação baseados em amostragem sistemática. Ciência Florestal 4, 339-349.
- Maia, B.P., Nunes, Z.M.P., Holanda, F.C.A.F., Silva, V.H.S., Silva, B.B., 2016. Gradiente latitudinal da beta diversidade da fauna acompanhante das pescarias industriais de camarões marinhos da costa Norte do Brasil. Biota Amazônia (Biota Amazonie, Biota Amazonia, Amazonian Biota) 1, 31-39. DOI: <http://dx.doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v6n1p31-39>.
- Mann, H.B., 1945. Nonparametric test against trend. Econometria 13, 245 - 259.
- Pedreira, B.C., Dias Filho, M.B., De Andrade, C.M.S., Ribeiro, L.F.C., Pedreira, D.H., Carnevali, R.A., Costa, F.C., Felipe, F. de L., 2014. Síndrome da morte do braquiário em Mato Grosso, in: Bolson, D.C. (Org. Geral). Intensificação da produção animal em pastagens: Anais do 1º Simpósio de Pecuária Integrada. Editora Embrapa Agrossilvipastoril-Capítulo em livro científico (ALICE), Brasília, pp. 217-238.
- Quantum GIS. QGIS, 2019. User Guide Versão 2.18. Project QGIS. Disponível: https://docs.qgis.org/2.18/pdf/pt_BR/QGIS-2.18-UserGuide-pt_BR.pdf. Acesso: 27 de set. 2019.
- Rocha, C.M.M., 2014. Modo de vida e estratégias de produção da comunidade quilombola Bonsucesso, no município de Mata Roma-MA, sua relação com o cerrado do maranhense e percepção sobre os riscos decorrentes do avanço do agronegócio para o ambiente. Dissertação (mestrado). São Luís, UFMA.
- Rodrigues, F.H., Coelho, J.M., Dos Santos, F.S.M., Do Amaral, A.M.C., Zaine, J.E., 2014. Avaliação da possibilidade de erosão natural e induzida na bacia hidrográfica do ribeirão das pedras, Quirinópolis (GO). Geociências (São Paulo) 2, 339-359.
- Röpke, C.P., 2016. O papel de mudanças hidrológicas de ordem sazonal e climática na estrutura da assembleia e história de vida de peixes na confluência dos rios Negro e Amazonas. 2016. Tese (Doutorado). Manaus, INPA.
- Röpke, C.P., Amadio, S., Zuanon, J., Ferreira, E.J.G., De Deus, C.P., Pires, T.H.S., Winemiller, K.O., 2017. Simultaneous abrupt shifts in hydrology and fish assemblage structure in a floodplain lake in the central Amazon. Scientific Reports 40170, 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep40170>.
- Ross, J.L.S., 1994. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. Revista do Departamento de Geografia 8, 63-74. DOI: <https://doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0006>.
- Signa, G., Mazzola, A., Tramati, C.D., Vizzini, S., 2017. Diet and habitat use influence Hg and Cd transfer to fish and consequent biomagnification in a highly contaminated area: Augusta Bay (Mediterranean Sea). Environmental Pollution 230, 394-404. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.06.027>.
- Silva, F.B., Santos, J.R.N., De Araújo, M.L.S., Silva Junior, C.H.L., 2014. Análise espaço-temporal da precipitação no estado do Maranhão no período de 2003 a 2012. COPEC, Cubatão. (Proceedings of Safety, Health and Environment World Congress, 123).
- Silva, R.A., Pereira, J.A.A., De Barros, D.A., Borges, L.A.C., Teixeira, M.D., Acerbi-jr, F.W., 2015. Avaliação da cobertura florestal na paisagem de Mata Atlântica no ano de 2010, na

- região de Ouro Preto–MG. *Cerne* 2, 301-309.
DOI: 10.1590/01047760201521021539.
- Souza Filho, P.W.M., 2005. Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando imagens de sensores remotos. *Revista Brasileira de Geofísica*. 4, 427-435.
Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-261X2005000400006>.
- Teixeira, Sheila Gatinho; Souza Filho, Pedro Walfir Martins. 2009. Mapeamento de ambientes costeiros tropicais (Golfão Maranhense, Brasil) utilizando imagens de sensores remotos orbitais. *Revista Brasileira de Geofísica* 27, 69-82.
- Tricart, J., 1977. *Ecodinâmica*, 1 ed. SUPREN/IBGE, Rio de Janeiro.