

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS DE CHAPADINHA  
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

RAUL FORTES SOUSA

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA DINÂMICA DO ESPELHO D'ÁGUA NA  
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MEARIM, MARANHÃO - BRASIL**

CHAPADINHA- MA

2022

RAUL FORTES SOUSA

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA DINÂMICA DO ESPELHO D'ÁGUA NA  
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MEARIM, MARANHÃO - BRASIL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a coordenação do curso de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Maranhão como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Orientadora: Prof. Dra. Kamilla Andrade de Oliveira

Coorientadora: Maiane Rodrigues do Nascimento

CHAPADINHA – MA

2022

RAUL FORTES SOUSA

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA DINÂMICA DO ESPELHO D'ÁGUA NA  
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MEARIM, MARANHÃO - BRASIL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a coordenação do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Maranhão como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Defendido e aprovado em: 31 / 05 / 2022, pela comissão examinadora constituída pelos professores:

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dra. Kamilla Andrade de Oliveira (Orientadora)

Doutora em Agronomia (Meteorologia Aplicada) pela Universidade Federal de Viçosa (UFV)

Professora adjunta do curso Engenharia Agrícola (CCC/UFMA)

---

Ricardo de Normandes Valadares (Examinador)

Doutor em Melhoramento Genético de Plantas pela Universidade Federal Rural de

Pernambuco (UFRPE)

---

Telmo José Mendes (Examinador)

Doutor em Ciências do Solo pela (FCAU/ UNESP)

Professor adjunto do curso de Engenharia Agrícola (CCC/UFMA)

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

FORTES SOUSA, RAUL.

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA DINÂMICA DO ESPELHO D'ÁGUA  
NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MEARIM, MARANHÃO-BRASIL /  
RAUL FORTES SOUSA. - 2022.

48 p.

Coorientador(a): MAIANE RODRIGUES DO NASCIMENTO.

Orientador(a): KAMILLA ANDRADE DE OLIVEIRA.

Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do  
Maranhão, CHAPADINHA-MA, 2022.

1. Geoprocessamento. 2. Mudanças Climáticas. 3.  
Recursos Hídricos. I. ANDRADE DE OLIVEIRA, KAMILLA. II.  
RODRIGUES DO NASCIMENTO, MAIANE. III. Título.

## DEDICATÓRIA

*Dedico a Deus, aos meus pais e familiares por sempre estarem comigo durante os momentos difíceis da minha jornada acadêmica, dando-me luz e sabedoria para que eu persistisse na realização deste sonho.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente, à Deus autor da minha vida, pelo sustento físico e emocional perante as adversidades vivenciadas durante toda a minha jornada acadêmica, à Ele minha gratidão eterna.

À minha querida mãe Maria da Conceição, uma verdadeira guerreira, pelo amor incondicional, por sempre acreditar e pelear junto comigo em todos os momentos, lutando de todas as formas possíveis para que pudéssemos alcançar este sonho, sem você nada disso seria possível.

Ao meu pai Rubem, pela criação e formação do meu caráter, que desde os meus primeiros passos sempre me apoiou e incentivou a trilhar nos caminhos que me levaram a chegar até aqui.

Aos meus avós paternos, José Jonas e Maria do Carmo, pelo exemplo de benevolência, mansidão, amor e carinho dados a mim ao longo da minha vida, sempre os terei guardados em meu coração.

Aos meus avós maternos Antônio Monteiro e Maria Monteiro (*in memoriam*), exemplos de integridade, seriedade, persistência e trabalho árduo, os quais serviram de referência para mim durante a graduação.

À minha querida e adorável filha Alana Vitória, por me ensinar o verdadeiro valor do amor paternal, a qual fostes minha maior inspiração neste trabalho.

À minha amada esposa, Arivane Moraes, que sempre esteve do meu lado nos momentos felizes da minha vida e também nas minhas aflições e preocupações, me incentivando a lutar por meus objetivos durante minha vida acadêmica desde que nos conhecemos.

À minha irmã, Caroline Fortes, que presenciou todas adversidades que enfrentei, sendo um porto seguro quando precisei, e hoje posso estar compartilhando com ela da minha alegria.

Ao meu pet, meu amigo inseparável Lupi, pela companhia, amor e alegria diária.

À minha tia Clarice, pelo incentivo, conselhos e advertências dados a mim ao longo dessa trajetória.

À minha orientadora professora Kamilla Andrade, com quem compartilhei minhas dúvidas e pelas suas valiosas contribuições, sempre me mostrando a direção correta que a pesquisa deveria rumar, o meu muito obrigado.

À minha coorientadora e grande amiga, Maiane Rodrigues, pelas suas ponderações, paciência e incentivo dados a mim durante a execução deste trabalho, muito obrigado.

À minha professora da época do ensino fundamental, Maria Mirtes (*in memoriam*), pelos seus ensinamentos e incentivo constante para a realização deste sonho.

Ao professor Maykon Araújo, que sempre acreditou no meu potencial, e acima de tudo pelo espírito de humildade e pela amizade construída no decorrer da minha graduação.

Ao professor Job Oliveira, pelas oportunidades dadas, bem como suas instruções que me foram de grande aporte para a escrita deste trabalho.

À minha amiga Mayara Rodrigues, pela valiosa amizade que conquistamos desde o início do curso, vivenciando e compartilhando dos mesmos desafios diariamente procurando sempre nos ajudar mutuamente.

Aos meus amigos Caio Antônio, Emerson e Camila Rodrigues pelas risadas e ajuda nas horas difíceis no decorrer desses cinco anos.

Ao corpo de docentes da Universidade Federal do Maranhão, especialmente, a professora Kamilla Andrade, Ricardo Valadares, Maykon Araújo, Ivan Hudson, Selma Maria, Telmo Mendes, Khalil de Menezes, Jocélio Araújo, Jordânio Inácio, Karlyene, Sinval Garcia, Fabiano Simas e Maryzélia Furtado pelo conhecimento transmitido e adquirido durante a graduação, obrigado.

Aos meus amigos de turma Tiago Monteles, Alessandro Lima, Gildo Filho, Marcos Douglas, Ana Karla, Leosvanyo, João Rodrigues e demais colegas pelo convívio e pelos momentos de descontração nas horas vagas, isso de algum modo suavizava as adversidades do dia a dia.

Ao coordenador do curso de Engenharia Agrícola, professor Jordânio Inácio pela ajuda e dedicação constante em favor dos discentes.

À secretária do curso de Engenharia Agrícola, Neliane Aguiar pela disposição imediata em ajudar, que com certeza foi de suma importância durante minha graduação, meu muito obrigado.

Aos taxistas, motoristas de transportes alternativos que de alguma forma tornavam os preços das passagens mais acessíveis ou ainda aqueles que simplesmente ofereciam carona para facilitar meu deslocamento diariamente do município de Anapurus à universidade, meus singelos agradecimentos.

À Universidade Federal do Maranhão e ao curso de Engenharia Agrícola, essenciais no meu processo de formação profissional, pela oportunidade concedida para realização deste sonho.

Por fim, faço meus sinceros agradecimentos com o sentimento de gratidão a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para realização deste sonho.

*A persistência é o melhor caminho do êxito.*

*(Charles Chaplin)*



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2. OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>11</b>
2.1 Objetivos Específicos .....	11
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>11</b>
3.1 A importância da água e da preservação dos recursos hídricos.....	11
3.2 Influência dos fenômenos naturais sobre os recursos hídricos .....	12
3.3 Crise hídrica no nordeste brasileiro .....	13
3.4 Fatores que comprometem a disponibilidade hídrica .....	13
3.5 A importância da conservação das nascentes .....	14
3.6 Sensoriamento remoto aplicado aos recursos hídricos .....	15
3.7 Gerenciamento hídrico no Brasil e no estado do Maranhão .....	15
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>17</b>
4.1 Localização e caracterização da área de estudo .....	17
4.2 Aquisição e processamentos dos dados .....	18
4.3 Balanço hídrico .....	19
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>19</b>
5.1 Análises quantitativas e espaço-temporal .....	19
5.2 Análise climatológica .....	32
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>36</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>37</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Área de estudo.....	17
<b>Figura 2</b>	Gráfico da variação do espelho d'água na Bacia do Rio Mearim entre os anos de 1985 a 2020.....	20
<b>Figura 3</b>	Mapa com o recorte da superfície hídrica correspondente ao ano de 1985.....	22
<b>Figura 4</b>	Mapa com o recorte da superfície hídrica correspondente aos anos de 1991 e 1993.....	23
<b>Figura 5</b>	Mapa com o recorte da superfície hídrica correspondente aos anos de 1994 e 2002.....	25
<b>Figura 6</b>	Mapa com o recorte da superfície hídrica correspondente aos anos de 2002 e 2010.....	27
<b>Figura 7</b>	Mapa com o recorte da superfície hídrica correspondente aos anos de 1985 e 2012.....	29
<b>Figura 8</b>	Mapa com o recorte da superfície hídrica correspondente aos anos de 1985 e 2013.....	30
<b>Figura 9</b>	Mapa com o recorte da superfície hídrica correspondente aos anos de 1985 e 2016.....	31
<b>Figura 10</b>	Gráfico do extrato do balanço hídrico completo normal mensal para as estações meteorológicas convencionais dos municípios de Bacabal, Barra do Corda e Zé Doca durante o período de 1985 a 2020.....	33

<b>Figura 11</b>	Gráfico comparativo entre a precipitação pluviométrica e as taxas de evapotranspiração potencial anuais para os municípios de Bacabal, Barra do Corda e Zé Doca no intervalo de 1985 a 2020.....	34
------------------	--	----

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	Resultado da área do espelho d'água em relação à média no período de 1985 a 1993.....	21
<b>Tabela 2</b>	Resultado da área do espelho d'água em relação à média no período de 1994 a 2002.....	24
<b>Tabela 3</b>	Resultado da área do espelho d'água em relação à média no período de 2003 a 2011.....	26
<b>Tabela 4</b>	Resultado da área do espelho d'água em relação à média no período de 2012 a 2020.....	28

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

<b>ANA</b>	Agência Nacional de Águas
<b>APP's</b>	Áreas de Preservação Permanente
<b>BHC</b>	Balço Hídrico Climatológico
<b>BHRM</b>	Bacia Hidrográfica do Rio Mearim
<b>CBH's</b>	Comitês de Bacias Hidrográficas
<b>CODEVASF</b>	Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba
<b>CONAMA</b>	Conselho Nacional do Meio Ambiente
<b>CONERH/MA</b>	Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Maranhão
<b>DEF</b>	Déficit hídrico
<b>ETP</b>	Evapotranspiração Potencial
<b>EXC</b>	Excedente hídrico
<b>IBGE</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<b>INMET</b>	Instituto Nacional de Meteorologia
<b>NUGEO</b>	Núcleo Geoambiental
<b>P</b>	Precipitação
<b>PERH</b>	Política Estadual de Recursos Hídricos
<b>PNRH</b>	Política Nacional de Recursos Hídricos
<b>SEMA</b>	Secretaria Estadual de Meio Ambiente
<b>SIG</b>	Sistema de Informação Geográfica
<b>SIRGAS</b>	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
<b>SNGRH</b>	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
<b>SR</b>	Sensoriamento Remoto
<b>UEMA</b>	Universidade Estadual do Maranhão
<b>ZCAS</b>	Zona de Convergência do Atlântico Sul
<b>ZCIT</b>	Zona de Convergência Intertropical

## RESUMO

Os recursos hídricos superficiais são fundamentais para a existência e manutenção da vida, no entanto, os efeitos das mudanças climáticas e antropização tem provocado alterações na dinâmica de ocorrência desses mananciais em bacias hidrográficas. O presente estudo visa analisar a dinâmica espaço-temporal do espelho d'água que recobre a Bacia Hidrográfica do Rio Mearim, Maranhão, Brasil, por meio do sensoriamento remoto entre os anos de 1985 a 2020. Para o desenvolvimento do presente trabalho foram obtidos dados de imagens da coleção 1.0 do projeto Mapbiomas Águas referentes a cobertura anual de água para a Bacia Hidrográfica do Rio Mearim. Posteriormente, esses dados foram trabalhados no *software* QGIS para a geração dos layouts dos mapas e realce do espelho d'água. Os dados da análise quantitativa para cada ano, foram manipulados no programa Excel® a fim de refiná-los para serem expressos em gráficos e tabelas. Para realização da análise climatológica foram utilizados dados de precipitação e temperatura para uma serie de 36 anos disponibilizados na plataforma do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) avaliando dados de três municípios situados na área da bacia para representar as condições climatológicas da mesma, em seguida esses dados foram submetidos a planilhas no formato Excel® para gerar os resultados do balanço hídrico climatológico. A área ocupada pelo espelho d'água na Bacia Hidrográfica do Rio Mearim retraiu cerca de 1.587,93 hectares. Os municípios de Bacabal, Barra do Corda e Zé Doca apresentam duas estações ao longo do ano, uma chuvosa, que está compreendida entre os meses de janeiro a maio, e outra seca, que engloba os meses de junho a dezembro. A estação chuvosa normalmente favorece o abastecimento hídrico das reservas superficiais, já a seca implica na redução/desaparecimento dos espelhos d'água. Por isso, é de suma importância o monitoramento dos espelhos d'água para oferecer aos órgãos de gestão pública o gerenciamento adequado dos recursos hídricos superficiais.

**Palavras-chaves:** Geoprocessamento; Mudanças climáticas; Recursos hídricos.

## ABSTRACT

The surface water resources are fundamental for the existence and maintenance of life, however, the effects of climate change and anthropization have caused changes in the dynamics of occurrence of these springs in hydrographic basins. The present study aims to analyze the space-time dynamics of the water mirror that covers the Mearim River Basin, Maranhão, Brazil, through remote sensing between the years 1985 to 2020. For the development of this work, data were obtained of images from the 1.0 collection of the Mapbiomas Águas project referring to annual water coverage for the Mearim River Basin. Subsequently, these data were worked on in the QGIS software for the generation of map layouts and water mirror enhancement. The quantitative analysis data for each year were manipulated in the Excel® program in order to refine them to be expressed in graphs and tables. To perform the climatological analysis, precipitation and temperature data were used for a series of 36 years made available on the platform of the National Institute of Meteorology (INMET) evaluating data from three municipalities located in the basin area to represent the climatological conditions of the same, then these data were submitted to spreadsheets in Excel® format to generate the results of the climatological water balance. The area occupied by the water mirror in the Mearim River Basin retracted about 1,587.93 hectares. The municipalities of Bacabal, Barra do Corda and Zé Doca have two seasons throughout the year, a rainy season, which runs from January to May, and a dry season, from June to December. The rainy season normally favors the water supply of surface reserves, while the dry season implies the reduction/disappearance of water bodies. Therefore, it is extremely important to monitor water bodies to offer public management bodies the proper management of surface water resources.

**Keywords:** Geoprocessing; Climate changes; Water resources.

## 1. INTRODUÇÃO

A água representa uma fonte de energia fundamental para o sustento do planeta. De fato, os seres vivos não têm autossuficiência em seus organismos que os condicione a viver sem a água. A interferência da água traz alterações significantes nos ambientes, tendo em vista que pode ser um instrumento de movimentação ou de transformação na economia (SOUZA e AZEVEDO, 2020). Os mananciais superficiais constituem uma pequena fração dos recursos hídricos existentes no planeta, entretanto o seu valor econômico e social para as populações humanas é inestimável (PEKEL et al., 2016).

As chuvas são fenômenos naturais que estão irregularmente distribuídas entre as diversas regiões do globo, favorecendo ou na abundância ou na carência hídrica (SOUZA; PAIXÃO e SANTOS CARVALHO, 2018). O Nordeste brasileiro segundo Silva et al. (2016), é caracterizado como sendo uma região muito suscetível a ocorrência de eventos climatológicos extremos, que por consequência, causam secas prologadas com graves déficits hídricos nessa região, assim também como eventos de cheias, que afetam a qualidade e a quantidade de águas das reservas hídricas superficiais em diversas bacias hidrográficas.

Considerada umas das mais importantes regiões hidrográficas do Estado do Maranhão, a Bacia Hidrográfica do Rio Mearim (BHRM) é uma região que durante a estação chuvosa tem picos de inundação, mas, durante o período de seca tem redução acentuada do volume de água das reservas hídricas superficiais, provocando mudanças no padrão de ocorrência desse recurso natural (MELLO; PESSOA e SANTANA, 2020). Além disso, esse território apresenta um cenário de fragilidade dos recursos hídricos, haja visto que em função de suas características topográficas vem sofrendo com os resultados de atividades antrópicas, que naturalmente interferem no regime hídrico de diversas localidades inseridas na bacia (ALMEIDA et al., 2020).

Em meio à crise hídrica que afeta várias regiões do Brasil nos últimos anos e por se tratar de um tema de grande relevância, visto que os recursos hídricos são imprescindíveis para a humanidade, o monitoramento periódico dos sistemas hídricos superficial é essencial para promover o gerenciamento adequado das águas superficiais (SILVA BARBOSA et al., 2021). Nesse sentido, o geoprocessamento surge como uma ferramenta de baixo custo e de fácil utilização responsável por revelar estudos mais detalhados sobre a dinâmica de ocorrência das águas superficiais em diversas regiões do globo terrestre (SOUZA et al., 2020).

Diante das modificações que vem acontecendo nas reservas hídricas e das aplicações que o sensoriamento remoto vem oferecendo para o monitoramento dos recursos naturais e



gestão dos recursos hídricos (LEONARDO et al., 2021). O projeto Mapbiomas é uma plataforma nacional que disponibiliza dados geoespaciais que revelam a dinâmica da superfície hídrica anual de todo Brasil, por meio de imagens de satélite que possuem elevado grau de detalhamento sobre a ocorrência de áreas úmidas e pequenos corpos hídricos com grande acurácia (PROJETO MAPBIOMAS, 2021).

Nesse contexto, esta pesquisa tem como objetivo analisar a dinâmica da superfície hídrica na Bacia Hidrográfica do Rio Mearim no período de 1985 à 2020 por meio de dados espaciais do projeto Mapbiomas, e de dados de bases climáticas, e investigar a dinâmica do comportamento da lâmina d'água.

## **2. OBJETIVO GERAL**

Avaliar a dinâmica espaço-temporal do espelho d'água que recobre a Bacia Hidrográfica do Rio Mearim, Maranhão, por meio do sensoriamento remoto no intervalo de tempo entre 1985 e 2020.

### **2.1 Objetivos Específicos**

- Quantificar as possíveis retrações e expansões no espelho d'água ao longo de uma série temporal de 36 anos;
- Subsidiar elementos à investigação das causas pelas modificações no recursos hídricos superficiais na BHRM;
- Realizar análise climatológica da região com base em variáveis hidrometeorológicas e correlacioná-las com o estudo.

## **3. REVISÃO DE LITERATURA**

### **3.1 A importância da água e da preservação dos recursos hídricos**

Segundo Marchesan e Comassetto (2019), a água assume papel principal e fundamental para a existência das mais variadas formas de vidas existente no planeta, uma vez que possui propriedades específicas capazes de dissolver praticamente a maioria das substâncias responsável por manter as funções vitais do ser humano. Ela possui elevado poder de coesão e adesão e grande capacidade de absorver calor, sendo considerada solvente universal.

A água é uma substância fundamental para os ecossistemas da natureza, importante para a absorção de nutrientes do solo pelas plantas, e sua elevada tensão superficial possibilita a formação de franja capilar no solo, além de imprescindível às formações hídricas atmosféricas,

influenciando o clima das regiões; no ser humano, é responsável por aproximadamente três quartos de sua constituição (PAZ; TEODORO e MENDOÇA, 2000).

Entretanto, o mau uso recursos hídricos em decorrência de ações antrópicas intensivas sobre os recursos naturais ao longo dos anos tem colocado em risco a disponibilidade deste recurso imprescindível à vida. As primeiras questões relacionadas a preservação ambiental começaram em meados da década de 1970 marcado principalmente pelo surgimento da revolução industrial, e os impactos desta sobre os recursos hídricos e no meio ambiente com o um todo (SOUZA e BIZAWU, 2017).

Atualmente, existe a necessidade vital de uma postura mais voltada para a relação homem e natureza, devendo o sujeito posicionar-se em defesa dos recursos hídricos e do meio ambiente como uma ação que é, antes de qualquer coisa, de defesa a vida, a preservação das espécies e do homem que conjuntamente concorrem a passos largos para uma possível extinção dos recursos vitais à continuação da vida no planeta (SOUZA PINHEIRO; OLIVEIRA NETO e MACIEL, 2021).

### **3.2 Influência dos fenômenos naturais sobre os recursos hídricos**

O Nordeste do Brasil está entre as regiões brasileiras mais suscetíveis aos efeitos do aquecimento global e a ocorrência de fenômenos naturais, em razão das condições climáticas e políticas existentes. O regime de chuvas dessa região está frequentemente associado a fenômenos climáticos como El Niño e La Niña (MARENGO, 2010; SANTOS et al., 2020).

O El Niño é caracterizado pelo aquecimento anormal do Oceano Pacífico Equatorial que combinado com o enfraquecimento dos ventos alísios na mesma região provocam mudanças na circulação atmosférica e o deslocamento meridional da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), responsável pela distribuição das chuvas no Nordeste brasileiro. Por outro lado, os episódios de La Niña são caracterizados pela intensificação dos ventos alísios e resfriamento das águas do Oceano Pacífico Equatorial, e por isso é tido como oposto ao El Niño (FREIRE; LIMA e CAVALCANTI, 2011).

A ocorrência de El Niño traz como consequências diminuição das chuvas e secas severas no Nordeste do Brasil, especialmente em regiões com estações chuvosas durante os meses de fevereiro a maio, e o aumento das chuvas sobre a região Sul (GEO BRASIL, 2002). Já episódios de La Niña são caracterizados pela ocorrência de chuvas acima da média, causando enchentes e tempestades na região Norte e Nordeste e estiagem nas regiões Centro-Oeste e Sul do Brasil (PINHEIRO e ARAÚJO, 2019). Esses eventos estão diretamente relacionados a recarga dos aquíferos superficiais e subterrâneos (MARENGO et al., 2011; ARSEGO et al., 2018)

Episódios de La Niña e El Niño possuem uma tendência a se alternarem entre períodos que variam em média de 2 a 7 anos, embora há evidências de que a La Niña tem ocorrido em menor quantidade nas últimas décadas. Por vezes, por condições normais esses fenômenos podem acontecer de forma intercalada. Quanto ao tempo de duração o El Niño tem em média duração de 12 a 18 anos, o La Niña, no entanto, apresenta menor período de duração, em média de 9 a 12 meses (OLIVEIRA, 2001).

### **3.3 Crise hídrica no nordeste brasileiro**

Dentre os nove países mais ricos em água doce no mundo (Brasil, Rússia, USA, Canadá, China, Indonésia, Índia, Colômbia, Peru), o volume médio da descarga do Brasil ( $\text{km}^3$  /ano) representa cerca de 22 % do volume total descarregado por todos eles no oceano e quase 12 % do volume total de água doce disponível no mundo. Esses dados fazem supor que o Brasil não enfrenta problemas semelhantes aos relatados para o mundo (BARBOSA; MORAES NOVO e MARTINS, 2019).

Segundo Mendes; Martins e Castro Pereira (2017), mesmo com 12% de toda água existente no planeta, o Brasil possui problemas relacionados a má distribuição desse recurso. A região amazônica caracterizada por cerca de 81% dos recursos hídricos presente no território brasileiro é a mais privilegiada no que diz respeito a abundância desse recurso, o que representa um contraste com a região Nordeste que enfrenta sérios déficits hídricos ao longo de cada ano.

A região Nordeste é caracterizada pela escassez de recursos hídricos provocada pelos baixos índices pluviométricos decorrentes da distribuição irregular das chuvas visto que é uma característica peculiar do que chamamos polígonos das secas. Essa área é conhecida pelas suas altas temperaturas provenientes das condições climáticas existentes, possui sua vegetação típica xerófita, solos rasos e pedregosos, além de apresentar longos períodos de estiagem que provocam grandes déficits hídricos na região (PEREIRA, 2018).

### **3.4 Fatores que comprometem a disponibilidade hídrica**

Nos últimos dois séculos e meio, a humanidade considerou a água doce como recurso inextinguível, sem avaliar as consequências ambientais relacionadas à sua quantidade e qualidade. A atual forma de apropriação da água para atender a alta demanda dos diversos usos dos recursos hídricos pela sociedade têm configurado intensas transformações nas relações do Homem com a natureza e por consequência, com a água (DICTORO e HANAI, 2020).

Segundo Silva; Herreros e Borges (2017), a disputa pelos recursos naturais vem crescendo significativamente nas últimas décadas, e as discussões sobre uso da água compreendem as esferas interestatais e intraestatais, e estão associadas tanto pela má

distribuição como pela qualidade desse recuso. Ainda segundo o autor supracitado, as constantes mudanças climáticas pelas quais o planeta vem sofrendo, a poluição dos mananciais, a necessidade de saneamento básico, as crescentes taxas de desmatamento para cultivo agrícola e crescimento populacional, colaboram para um grande déficit hídrico e um futuro ainda mais alarmante.

O estado do Maranhão, segundo Júnior et al. (2018), vem ganhando destaque no cenário nacional como um dos estados brasileiros com maiores índices de queimadas nos últimos anos. O uso dos recursos naturais para pecuária extensiva, bem como a abertura novas de áreas de cultivos pelos produtores rurais anualmente com o uso do fogo tem provocado grandes alterações na dinâmica desse território. Com isso o regime hidrológico de chuvas locais tem sido afetado, gerando modificações nos mananciais superficiais com conseqüente redução do volume de água de rios, lagos e lagoas, comprometendo o abastecimento para as populações.

No mesmo sentido, Santos, Oliveira e Silva (2018), ressaltam que o uso dos recursos naturais em massa para processos produtivos compromete a capacidade de renovação dos recursos renováveis em bacias hidrográficas, sobretudo do bem fundamental a existência de vida na terra, a água.

### **3.5 A importância da conservação das nascentes**

Segundo Machado, Selva e Santos (2018), as nascentes são fontes de água fundamentais para o abastecimento hídrico tanto no meio rural, de forma majoritária, como no meio urbano, uma vez que as águas superficiais são mais bem distribuídas e mais facilmente encontradas no planeta. São essências para a existência de várias formas de vidas, contribuindo com a biodiversidade local.

As nascentes e suas áreas de recargas hídricas são fundamentais à vida da bacia hidrográfica, pois delas dependem a formação dos cursos d'água e, quando bem conservadas, contribuem de forma permanente e abundante para as vazões dos rios e qualidade de suas águas. São, portanto, áreas especiais e de grande importância para a sustentabilidade da bacia hidrográfica (CODEVASF, 2019).

No entanto, segundo Belizário (2015), o uso dos recursos naturais de forma indiscriminada pelo homem para processos produtivos, ou atividades poluidoras tem causado a fragilidade dos recursos hídricos e o desaparecimento das nascentes. Com o intuito promover a conservação das nascentes a Lei 12.651 de 25 de maio de 2012 e a Resolução CONAMA 303, de 20 de março de 2002 estabelece entre suas diretrizes a conservação das nascentes e das cabeceiras de rios, ressaltando entre outras medidas a importância na preservação ambiental do

entorno desses ambientes naturais por meio da criação de Áreas de Preservação Permanente (APP).

### **3.6 Sensoriamento remoto aplicado aos recursos hídricos**

O uso do Sensoriamento Remoto (SR) vem sendo empregado em medições multitemporais da variabilidade espacial do espelho d'água em reservatórios naturais ou artificiais, apresentando uma gama de informações para o mapeamento dos recursos hídricos (SILVA BARBOSA et al., 2021), que associado ao uso de ferramentas computacionais como o geoprocessamento permitem avaliar possíveis mudanças na configuração das reservas hídricas superficiais, permitindo uma percepção clara e evidente dos acontecimentos ao longo dos anos (SOUZA et al., 2019).

Nas imagens óticas de satélites, por exemplo, as superfícies lacustres apresentam baixa reflectância, que dependendo das bandas espectrais analisadas, permitem uma fácil identificação e separação do seu padrão de ocorrência dos demais tipos de alvo independentemente das condições climáticas existentes (PIZANI et al., 2021). Sendo assim, estimativas de ganhos e perdas de água em períodos seca e de chuva são relevantes para o desenvolvimento de manejo e políticas públicas mais eficientes (SOUZA; PAIXÃO e SANTOS CARVALHO, 2018).

Os recursos hídricos brasileiros estão constantemente ameaçados. Em vista disso, estudos promovidos pelo projeto Mapbiomas Águas objetivando investigar a dinâmica e a frequência de ocorrência da superfície hídrica no Brasil através de imagens de satélites demonstraram alterações da configuração espacial da superfície hídrica de diversas regiões do território nacional (SOUZA et al., 2020). Por isso, quantificar a variabilidade espacial e temporal da área e armazenamento da água superficial é fundamental para a gestão eficaz dos recursos hídricos, testes de modelos de inundação e avaliação dos impactos das mudanças ambientais e climáticas (COOLEY et al., 2017).

### **3.7 Gerenciamento hídrico no Brasil e no estado do Maranhão**

No Brasil a gestão dos recursos hídricos é baseada na Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, também conhecida como a Lei das Águas (SPINOLA; VITORIA e CERQUEIRA, 2016). Esse marco regulatório estabeleceu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), que estabelece em seu art. 1º seis princípios fundamentais:

- I - a água é um bem de domínio público;
- II - a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- III - em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;

IV - a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;

V - a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

VI - a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades (BRASIL, 1997).

A execução das diretrizes estabelecidas no PNRH é feita pela Agência Nacional de Águas (ANA) criada mediante a Lei 9.984, de 17/7/2000 (MESQUITA, 2018). O Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH) é composto por instrumentos que contribuem para a realização das metas estabelecidas na Lei das Águas, e compõem órgãos desde as escalas municipais até as estaduais e distritais, dando efetividade ao conteúdo dos princípios que regem a Política Nacional e assegurando a execução de medidas de planejamento, fiscalização e contenção do uso das águas (SOUZA e BIZAWU, 2017).

Segundo Azevedo e Maciel (2013), ao final do ano de 2004, em razão dos crescentes debates acerca do uso da água, o estado do Maranhão instituiu sua política estadual de recursos hídricos (PERH) promulgado pela Lei estadual 8.149/04, posteriormente essa Lei foi regulamentada pelo decreto 34.847 de 14 de maio de 2019. As normativas e diretrizes estabelecidas pela política estadual de recursos hídricos são consoantes as do PNRH.

O Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Maranhão - (CONERH/MA), regulamentado pelo decreto supracitado, constitui-se como a instância máxima do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos responsável por estabelecer diretrizes complementares para implementação da Política Estadual de Recursos Hídricos, e dá suporte à criação de comitês e agências de bacias hidrográficas (SEMA, 2021).

Uma vez instituída como unidade territorial para gestão dos recursos hídricos, os comitês de bacias hidrográficas e agências de bacias são os seus instrumentos de gestão e dispõem em seus artigos 33 e 37 os seguintes instrumentos:

Art. 33. Compete aos comitês estaduais de bacias hidrográficas:

I - promover o debate das questões relacionadas a recursos hídricos e articular a atuação das entidades intervenientes;

II - propor planos, programas e projetos para utilização dos recursos hídricos da respectiva bacia hidrográfica e aprovar o Plano de Recursos Hídricos da bacia;

[...]

VI - estabelecer os mecanismos de cobrança pelo uso das águas e sugerir os valores a serem cobrados.

Art. 37. As agências de bacias estão designadas à:

I – manter o balanço atualizado da disponibilidade de recursos hídricos em sua área de atuação;

[...]

III - efetuar, mediante delegação do outorgante, a cobrança pelo uso de recursos hídricos;

[...]

IX - promover os estudos necessários para a gestão dos recursos hídricos em sua área de atuação (MARANHÃO, 2019).

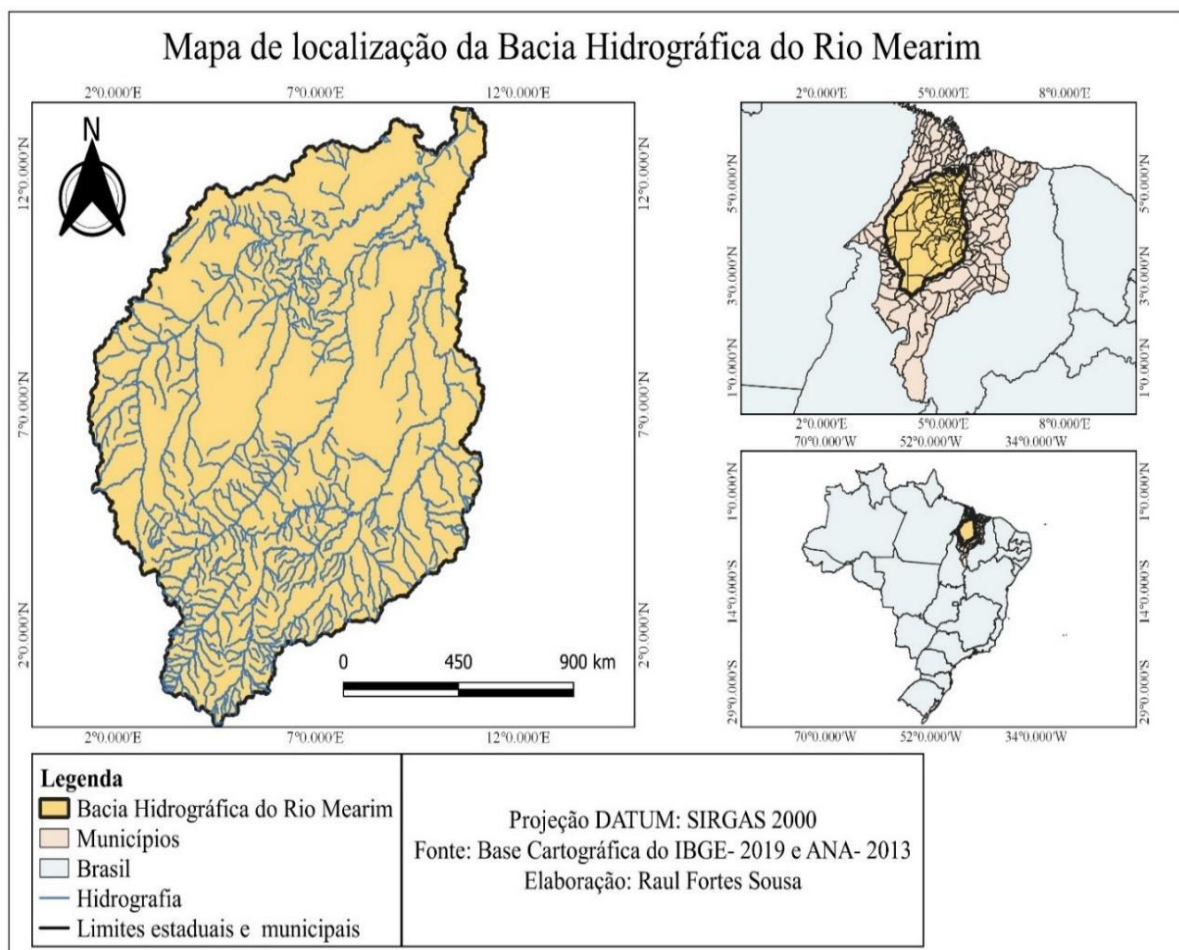
Os Comitês de Bacias Hidrográficas (CBH's) são compostos por membros do poder público, comunidades indígenas e os usuários da água, e devem juntamente buscar soluções para manter a qualidade e quantidade da água (AMERICO-PINHEIRO et al., 2019). Já as agências de bacias, em associação aos comitês fornecem subsídios com assistência aos técnica-administrativa, financeira e cobrança pelo uso dos recursos hídricos (MESQUITA, 2018).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Localização e caracterização da área de estudo

A área de estudo corresponde a uma bacia hidrográfica que está situada no estado do Maranhão e responsável pelo abastecimento hídrico de diversas cidades (Figura 1).

**Figura 1.** Área de estudo



Fonte: Autor, 2022.

A Bacia Hidrográfica do Rio Mearim é a maior do Estado do Maranhão com 99.058,68 km<sup>2</sup> de extensão, equivalente a 29,84% da área total do território maranhense. O principal rio é o Mearim, que nasce na serra da Menina, entre os municípios de Formosa da Serra Negra, Fortaleza dos Nogueiras e São Pedro dos Crentes, recebendo a denominação de ribeirão Água Boa, seguindo um longo trajeto na direção Sudoeste-Nordeste, até Esperantinópolis, onde após receber as contribuições do rio Flores, direciona-se para o Norte, até desembocar na baía de São Marcos, entre São Luís e Alcântara. Todo esse percurso ocorre em cerca de 930 km de extensão. Seus principais afluentes são o rio Pindaré e o rio Grajaú. O rio Pindaré deságua no rio Mearim a cerca de 20 km da sua foz. O rio Grajaú flui para o rio Mearim por meio do canal do Rigô encontrando-o na área do Golfão Maranhense (IBGE, 2010; UEMA/NUGEO, 2016).

Esta bacia possui 83 municípios, destes, 65 têm suas sedes em seu perímetro, enquanto 50 estão totalmente inseridos na bacia que possui uma população de 1.681.307 habitantes, o que equivalente a (25,6%) da população do estado do Maranhão. Destaca-se entre os municípios mais populosos: Bacabal, Barra do Corda, Grajaú, Lago da Pedra, Presidente Dutra, Viana e Zé Doca (IBGE, 2010; UEMA/NUGEO, 2016).

#### **4.2 Aquisição e processamentos dos dados**

Para o desenvolvimento do presente trabalho foram obtidos dados da coleção 1.0 do projeto Mapbiomas Águas, lançado no ano de 2021; as imagens são referentes aos dados de cobertura de água para a Bacia Hidrográfica do Rio Mearim geradas pelos satélites Landsat 5, 7 e 8 do programa de monitoramento da Terra do governo norte-americano e compreendeu o período de 1985 a 2020. As imagens foram adquiridas a partir do toolkit de ferramentas do projeto Mapbiomas que fornece suporte para *downloads* na plataforma *Google Earth Engine* responsável pelo processamento de dados geoespaciais (PROJETO MAPBIOMAS, 2021).

Foram baixados dados quantitativos de área em hectares (ha) e imagens (*rasters*) no formato GeoTIFF para uma série de 36 anos, a análise começa a partir do ano de 1985, até a última imagem referente ao ano de 2020.

Após a aquisição das imagens foi utilizado o *software* QGIS (Versão 3.14, π “PI”) e o Sistema de Informação Geográfica (SIG) para realização do processamento e análise dos dados. As imagens foram analisadas conforme a sequência estabelecida para cada ano de estudo, em seguida reprojetaadas para o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000) para a obtenção de layouts para os mapas da área de estudo e realce dos limites do espelho d’água.

A etapa seguinte consistiu em reorganizar as cenas através do processo de vetorização, visando a separação do espelho d’água (objeto de interesse). Com isso foi possível fazer a



distinção entre as cenas numa fase seguinte, verificando se houve mudanças na configuração espacial da superfície hídrica. Os cálculos da área espelhada por água para cada ano foram baseados nos valores de pixel a pixel já pré-processados em hectares (ha) pelo projeto Mapbiomas, em seguida os dados foram trabalhados no programa Excel®, para serem refinados e posteriormente expressos em gráficos e tabelas.

### **4.3 Balanço hídrico**

Foram utilizados dados de temperatura média e precipitação total média para uma série temporal de 36 anos (1985 a 2020) disponibilizados por meio da plataforma do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para três estações meteorológicas convencionais situadas nos municípios de Bacabal, Barra do Corda e Zé Doca pertencentes à Bacia do Rio Mearim, situadas nas seguintes coordenadas 4° 21'(S) e 44° 77'(W), 5° 50'(S) e 45° 23'(W), 3°26'(S) e 45° 65(W), respectivamente.

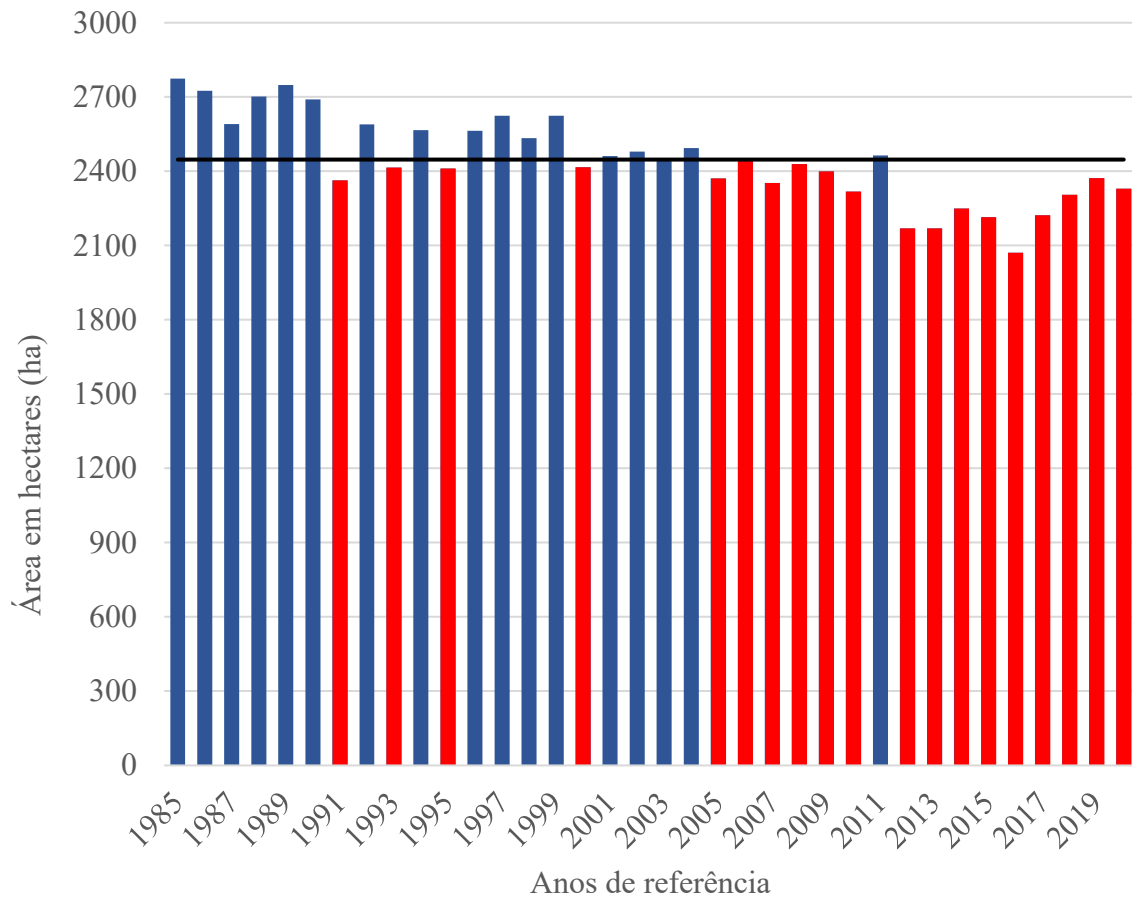
Considerando as características físicas do solo e a variabilidade do suprimento de água nesse sistema, adotou-se um valor de 100 mm em observância ao que determina Thornthwaite e Mather (1955). Em seguida foram utilizados os dados mensais de precipitação e temperatura extraíndo os totais médios mensais para cada ano da série, não sendo empregados quaisquer métodos para preenchimento de lacunas (falhas) na base de dados. Após isso, esses dados foram submetidos a planilhas no formato Excel® como estabelece Souza Rolim, Sentelhas e Barbieri (1998), para finalmente serem gerados os resultados do balanço hídrico de Thornthwaite e Mather (1955), que incluem entre outras variáveis a Precipitação (P); evapotranspiração potencial (ETP); excedente hídrico (EXC) e Déficit hídrico (DEF).

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1 Análises quantitativas e espaço-temporal**

Ao aplicar as ferramentas que o geoprocessamento oferece para o processamento de imagens foi possível realizar a separação da classe, a qual foi o objeto do estudo, possibilitando a realização de uma análise temporal do espelho d'água na Bacia do Rio Mearim (BHRM), e ainda quantificar expansões e retrações no que se refere a área para efeito de comparação. O gráfico abaixo (Figura 2) evidencia os anos de estudo e suas respectivas áreas de superfície hídrica em hectares (ha) que recobriam essa região.

**Figura 2.** Gráfico da variação do espelho d'água na Bacia do Rio Mearim entre os anos de 1985 a 2020



Fonte: Autor, 2022.

Considerando o valor médio de 2.447,22 hectares (linha paralela escura) de superfície hídrica para a série analisada, a área do espelho d'água na Bacia do Rio Mearim sofreu oscilações constantes ao longo dos anos de estudo, aqueles anos em que a área espelhada por água esteve abaixo da média são representados pela coloração vermelha, enquanto que aqueles que se mantiveram acima ou na média estão na coloração azul. A Tabela 1 demonstra um comparativo entre os valores do espelho d'água para os primeiros 9 anos de estudo em relação a constante de valor médio observada.

**Tabela 1.** Resultado da área do espelho d'água em relação à média no período de 1985 a 1993

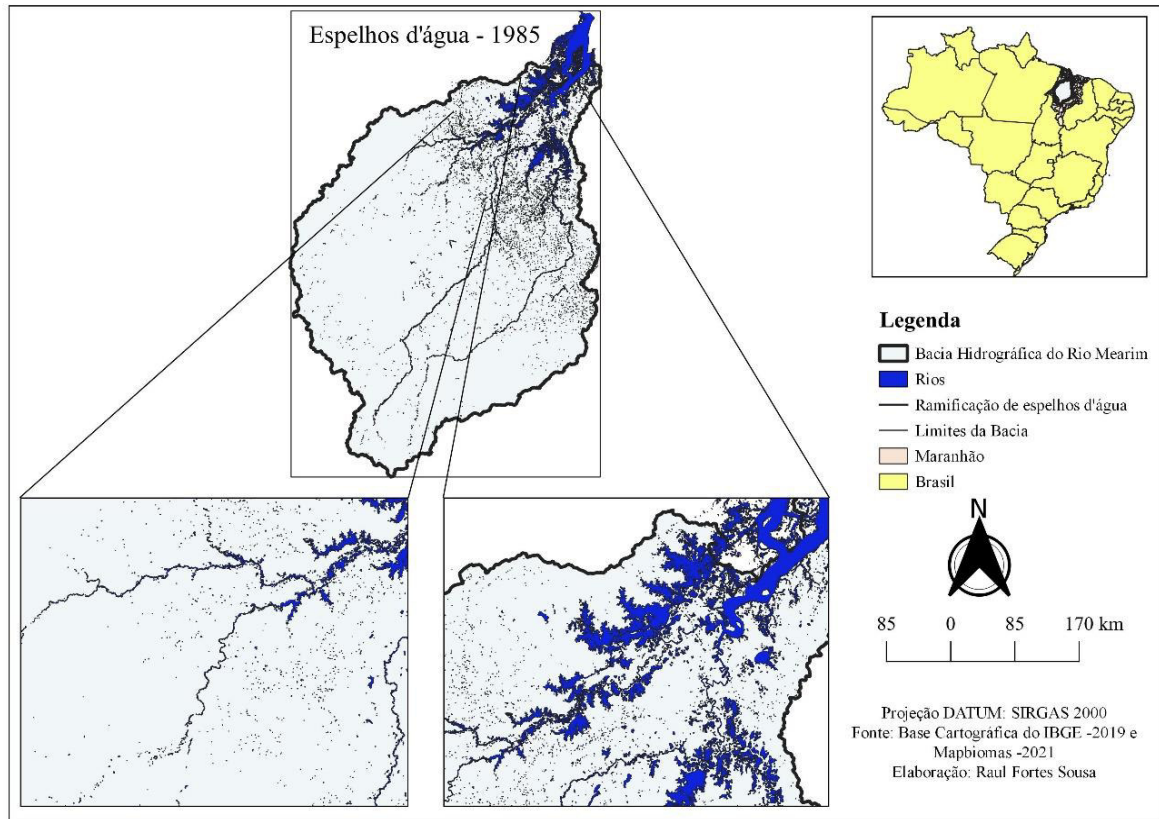
<b>Anos de referência</b>	<b>Variação da área do espelho d'água em hectares (ha)</b>	<b>Variação área do espelho d'água em porcentagem (%)</b>
1985	327,15	13,36
1986	277,57	11,34
1987	143,04	5,84
1988	254,86	10,41
1989	301,76	12,33
1990	243,29	9,94
1991	-83,65	-3,41
1992	142,39	5,81
1993	-32,77	-1,33

Fonte: Autor, 2022

A partir dos resultados observados na Tabela 1 percebe-se que no decorrer dos primeiros 6 anos da análise, sobretudo nos anos de 1985, 1986, 1988 e 1989 e 1990 em que houveram eventos de chuvas intensas (SILVA et al., 2019), a Bacia do Rio Mearim apresentava uma elevada área do espelho d'água, que embora acompanhados de pequenas oscilações aos anos que sucederam a estes, mantiveram superávit hídricos superiores à média de 2.447,22 hectares; é importante salientar que a demanda pelos recursos hídricos naquele período também era menor.

De acordo com o que evidencia a frequência e distribuição espacial do espelho d'água no mapa abaixo (Figura 3) pode-se correlacionar como se encontrava visualmente a condição hidrológica da Bacia do Rio Mearim em meados de 1985, período inicial do estudo, reforçando a quantidade que excede a média de 2.774,37 hectares (ha) no gráfico que demonstra a variação do espelho d'água.

**Figura 3.** Mapa com o recorte da superfície hídrica correspondente ao ano de 1985



Fonte: Autor, 2022.

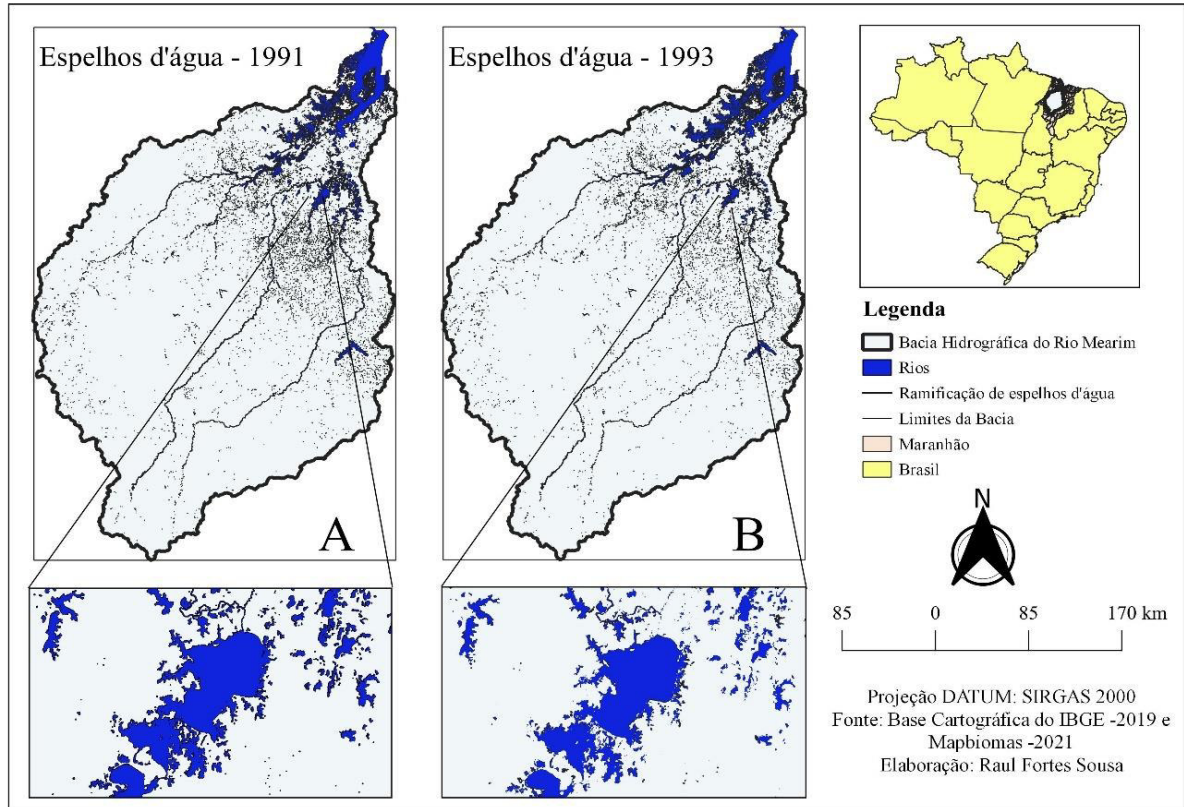
De acordo com Marengo (1992) e Gomes et al. (2018), esse aumento acentuado do espelho d'água nesses primeiros anos está associado a ocorrência de fenômenos naturais de La Niña que ocorreram no Nordeste brasileiro naquela época. Segundo Pinheiro e Araújo (2019), relataram que diversas regiões do estado do Maranhão foram acometidas severamente por eventos de chuvas intensas entre os anos de 1985 a 1989 em função do alto volume de chuva precipitado, o que segundo Zanandrea; Michel e Munoz Espinosa (2017) causou vários prejuízos à população naquela época, com várias enchentes e pontos de alagamentos, principalmente nas cidades de Barra do Corda e Pedreiras, que se encontram às margens do Rio Mearim.

Conforme estabelecido pelo Plano Diretor da BHRM (MARANHÃO, 2014), vários pontos da bacia estão sujeitos a inundação em períodos em que se tenham precipitação acima da média, pois o curso do Rio Mearim não apresenta declividades acentuadas.

Entretanto, constata-se que a partir da década de 1990 (Tabela 1), houve maior recuo da lâmina d'água quando comparado aos anos anteriores mostrando também os primeiros indícios da modificação na dinâmica do uso dos recursos naturais. Os anos de 1991 e 1993 mais

precisamente, sinalizavam as primeiras retrações da área ocupada pelo espelho d'água ficando ambos abaixo da média, como demonstra o recorte comparativo abaixo (Figura 4).

**Figura 4.** Mapa com o recorte da superfície hídrica correspondente aos anos de 1991 e 1993



Fonte: Autor, 2022.

Observa-se através da (Figura 4B) uma leve fragilização das reservas hídricas superficiais na BHRM quando comparada com a visualização anterior referente ao ano de 1991 (Figura 4A). Em estudo envolvendo a análise climatológica Marengo; Tomasella e Uvo (1998), constataram que os anos de 1991 e 1993 o estado do Maranhão e suas regiões hidrográficas, tiveram o regime de chuvas alterado em razão da ocorrência do fenômeno El Niño, que por efeito casou secas contínuas no estado, provocando, portanto, mudanças aparentes na distribuição espacial dos recursos hídricos superficiais.

Segundo a CODEVASF (2019), embora o processo de degradação dos recursos naturais já tivesse começado, foi na década de 1990 que diversas regiões e bacias do estado Maranhão começavam a ser utilizadas de maneira mais intensiva com atividades ligadas a agricultura e a pecuária sem levar em consideração até mesmo áreas eventualmente protegidas (APP's/matias ciliares). A água dos rios passou a ser utilizada em larga escala não apenas para suprir os diversos setores da cadeia produtiva como industrial e produção agropecuária, que se instalaram na época, mas também para abastecimento humano, uma vez que, o processo de urbanização e crescimento das cidades aumentava.

Dessa forma, a BHRM começava também a sentir os primeiros indícios da ação antrópica sobre os recursos hídricos. Pois de acordo com esse modelo cultural provocaram condições de solo exposto ano após ano com elevadas taxas de evapotranspiração o que inferiu sucessivamente na fragilização dos recursos hídricos e em mudanças no regime hídrico, principalmente naquelas regiões da bacia com baixos índices pluviométricos e condições climáticas relativamente heterogêneas.

Entre o transcorrer dos anos de 1994 a 2002 como observado na Tabela 2, embora a maioria deles se mantiveram acima do valor médio, quando comparado aos primeiros anos da série (Tabela 1), a área ocupada pelo espelho d'água na Bacia do Rio Mearim retraiu relevantemente.

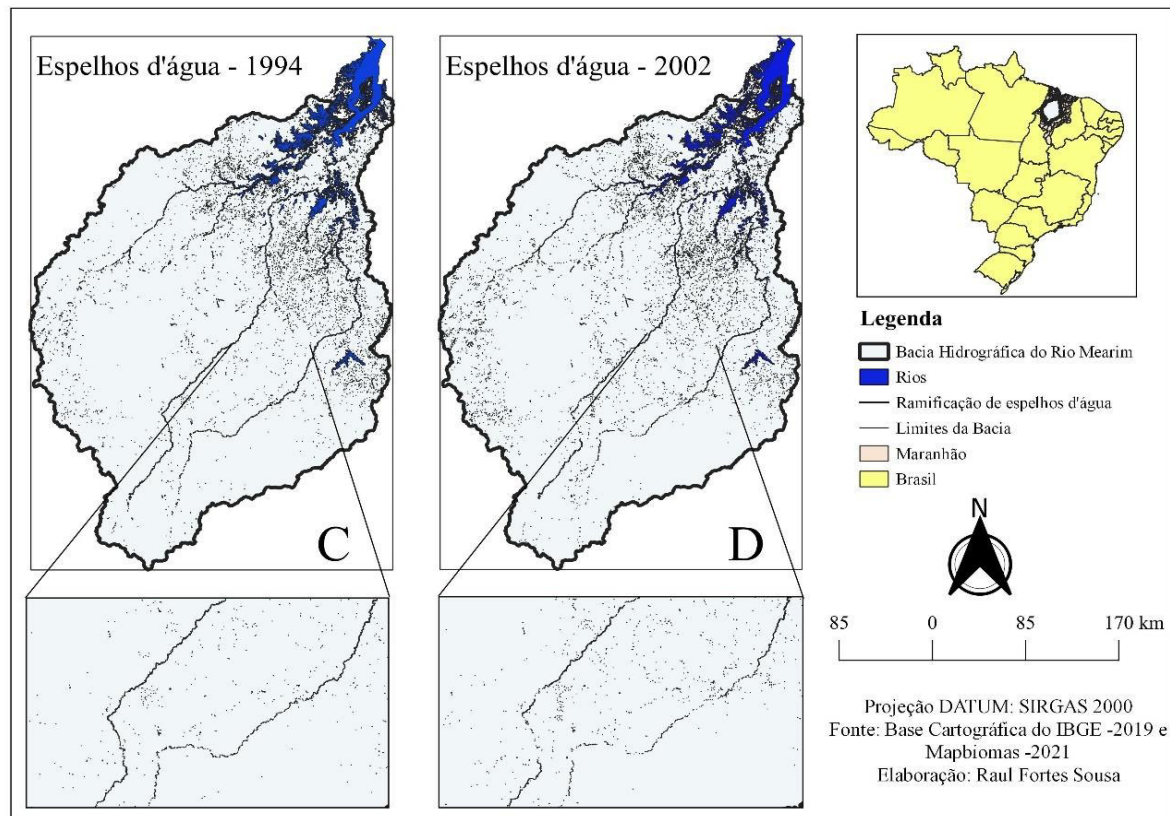
**Tabela 2.** Resultado da área do espelho d'água em relação à média no período de 1994 a 2002

<b>Anos de referência</b>	<b>Varição área do espelho d'água em hectares (ha)</b>	<b>Varição área do espelho d'água em porcentagem (%)</b>
1994	118,85	4,85
1995	-36,85	-1,50
1996	116,60	4,76
1997	177,24	7,24
1998	86,16	3,52
1999	176,77	7,22
2000	-30,86	-1,26
2001	14,67	0,59
2002	31,92	1,30

Fonte: Autor, 2022.

Observa-se que os anos de 1994, 1996, 1997, 1998 e 1999, foram os que ficaram levemente acima do valor da constante de superfície hídrica média na BHRM somando um total de 675,62 (ha), excetuando-se apenas os anos de 1995 e 2000 com área reduzida de 67,71 (ha), configurando-os como os anos que ficaram abaixo da média para o período analisado. O recorte do mapa da (Figura 5) mostra um comparativo entre o ano de 1994 e 2002.

**Figura 5.** Mapa com o recorte da superfície hídrica correspondente aos anos de 1994 e 2002



Fonte: Autor, 2022.

Observando o recorte comparativo da Figura 5D percebe-se que houveram mudanças aparentes na distribuição espacial de certo ponto da superfície hídrica da BHRM havendo o desaparecimento e a fragmentação dos espelhos d'água da região, corroborando com os resultados observados na Tabela 2.

Segundo Nascimento; Braga e Araújo (2017) nos anos de 1994, 1996, 1997, 1998 e 1999 ocorreram eventos extremos de chuva moderados em praticamente todas as regiões do estado do Maranhão causados pelos fenômenos de La Niña, culminando com formação de pequenas reservas hídricas, bem como, a recarga hídrica dos rios e lagos, enquanto os anos que ficaram abaixo da média (1995 e 2000) foram marcados por eventos de secas leves o que consequentemente causou leves mudanças na configuração do espelho d'água na região da BHRM.

Entretanto, é importante salientar que a partir dos anos 2000, especialmente nos anos 2001 e 2002 (Tabela 2), a expansão do espelho d'água não foi tão expressiva como em anos anteriores, mantendo-se mais ou menos na média, pois Segundo Silva et al. (2011) a região da BHRM não recebeu grandes volumes de chuva da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), uma das grandes indutoras nesta região.

A partir dos dados da Tabela 3 que compreende o período de 2003 a 2011, percebe-se que a área de superfície hídrica da Bacia do Rio Mearim retraiu consideravelmente, mantendo-se em sua maioria, abaixo da média.

**Tabela 3.** Resultado da área do espelho d'água em relação à média no período de 2003 a 2011

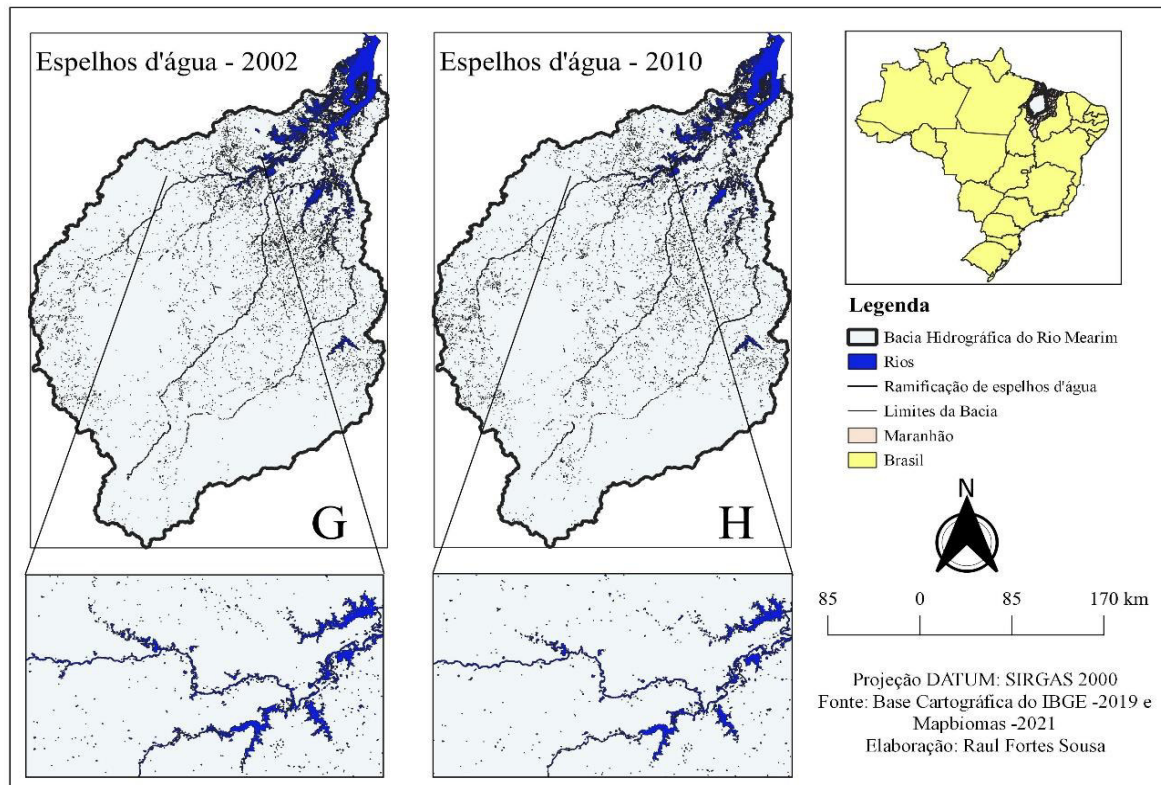
<b>Anos de referência</b>	<b>Variação da área do espelho d'água em hectares (ha)</b>	<b>Variação da área do espelho d'água em porcentagem (%)</b>
2003	2,66	0,10
2004	45,90	1,87
2005	-76,73	-3,13
2006	-2,63	-0,10
2007	-93,95	-3,83
2008	-18,83	-0,76
2009	-47,64	-1,94
2010	-130,05	-5,31
2011	16,41	0,67

Fonte: Autor, 2022.

Observa-se que entre os anos de 2005 e 2010 a área ocupada pelo espelho d'água na Bacia do Rio Mearim retraiu progressivamente ano após ano, sobretudo em 2005, 2007, 2009 e 2010 somando um total de 348,37 hectares de água desaparecidas, enquanto no período de 2003, 2004 e 2011 soma-se apenas uma expansão de 64,97 hectares. O recorte do mapa da Figura 6 demonstra um comparativo entre o ano de 2002 e 2010 realçando a frequência e distribuição espacial do espelho d'água na referida bacia.



**Figura 6.** Mapa com o recorte da superfície hídrica correspondente aos anos de 2002 e 2010



Fonte: Autor, 2022.

Com base na Figura 6 que evidencia o recorte da superfície hídrica na BHRM é evidente a mudança na configuração dos espelhos d'água que se apresentava no ano de 2010 (Figura 6H) quando comparado com a frequência observada em 2002 (Figura 6G). A superfície hídrica da região foi visualmente fragmentada havendo o desaparecimento de algumas reservas e o recuo da largura efetiva dos corpos hídricos. É importante ressaltar que no ano de 2010 até então, houve também a maior retração da área do espelho d'água considerando os dados das Tabelas 1, 2 e 3.

Em estudo envolvendo a análise climatológica em alguns municípios do estado do Maranhão Júnior et al. (2018) observou que os anos 2005, 2007, 2009 e 2010, principalmente este último, foram os que mais apresentaram estiagens prolongadas no estado, corroborando, Silva et al. (2017) e Costa et al. (2018), que constaram que a Bacia Atlântico Nordeste Ocidental que engloba além da Bacia do Rio Mearim diversas outras sub-bacias maranhenses e paraenses foram seriamente acometidas por eventos extremos de seca no ano de 2010 em virtude de um evento severo de El Niño.

Ao avaliar tendências de precipitação em escala temporal Silva et al. (2014), confirmaram a redução do regime hídrico a partir do ano de 2005 em diversas regiões que compunham a Bacia Hidrográfica do Rio Mearim, sendo 2010 o ano caracterizado como aquele

que apresentou maior redução da precipitação pluviométrica, não apenas na referida bacia, mas em todo o estado do Maranhão, causando grandes déficits hídricos em rios e na vegetação, que consecutivamente provocaram a retração da superfície hídrica na BHRM.

Entretanto, os anos que ficaram acima da média (2003, 2004 e 2011) estão relacionados à fenômenos meteorológicos responsáveis pela formação de chuvas no Nordeste brasileiro. Segundo Campos et al. (2015) e Souza et al. (2017), a região Atlântico Nordeste Ocidental foi afetada nos anos de 2003, 2004 e 2011 (Tabela 3) pelas Zona de Convergência Intertropical (ZCI) que incidiram mais ao Sul do estado do Maranhão provocando chuvas com intensidade de duração moderada, mas que registraram alguns pontos de alagamentos em diversas cidades da BHRM.

Notavelmente, o período entre 2012 a 2020 a superfície hídrica da Bacia do Rio Mearim sofreu decréscimos acentuados. A tabela 4 expressa os cálculos das áreas de espelho d'água imageadas durante os últimos nove anos da análise.

**Tabela 4.** Resultado da área do espelho d'água em relação à média no período de 2012 a 2020

<b>Anos de referência</b>	<b>Variação da área do espelho d'água em hectares (ha)</b>	<b>Variação da área do espelho d'água em porcentagem (%)</b>
2012	-277,58	-11,34
2013	-278,11	-11,36
2014	-198,31	-8,10
2015	-233,45	-9,53
2016	-376,03	-15,36
2017	-224,45	-9,17
2018	-141,77	-5,79
2019	-75,70	-3,09
2020	-117,67	-4,80

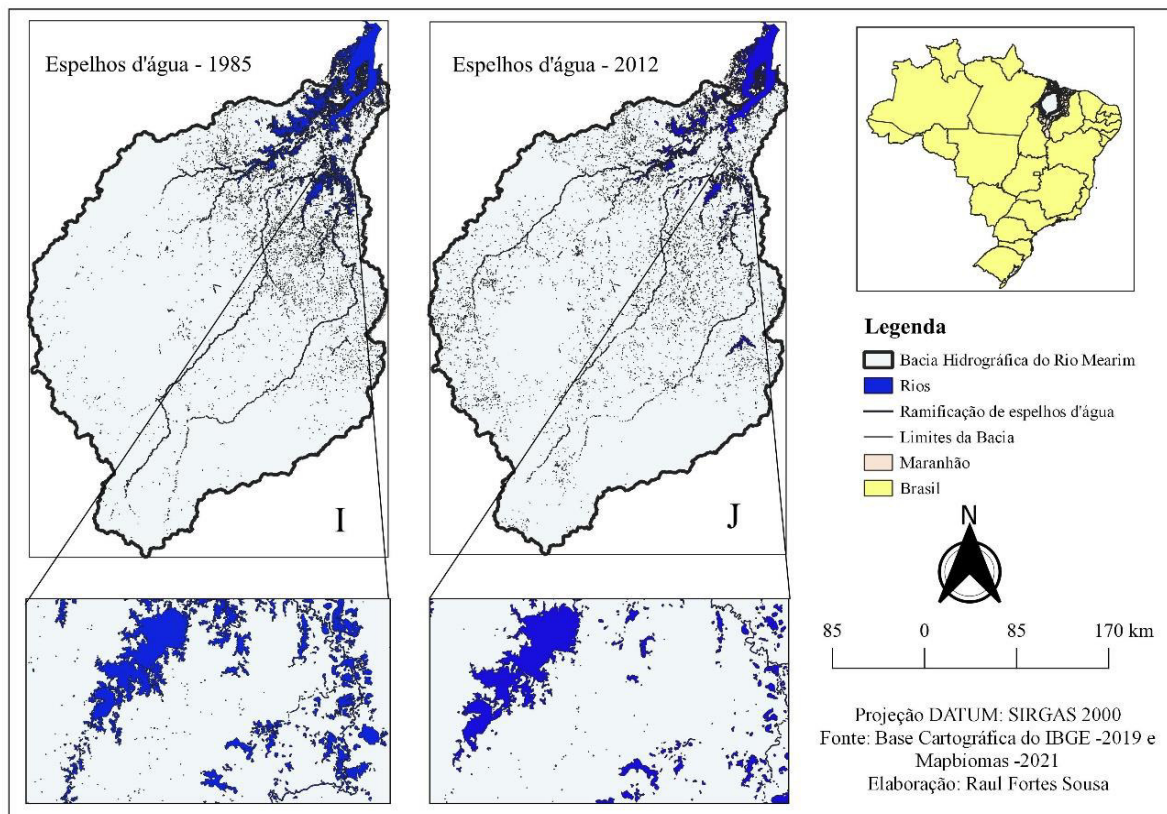
Fonte: Autor, 2022.

Observando a Tabela 4, percebe-se que os resultados são alarmantes. Em todos os anos houveram retrações severas da área ocupada pelo espelho d'água, particularmente em 2012, 2013, 2014, 2015, 2016 e 2017 pois quando comparados a média e aos primeiros 6 anos de estudo (Figura 2) apresentaram grandes déficits hídricos. Levando em consideração apenas estes cinco anos, a área ocupada pelo espelho d'água na Bacia do Rio Mearim retraiu cerca de

1.587,93 hectares, que se persistindo poderia acarretar em um cenário crítico num futuro próximo.

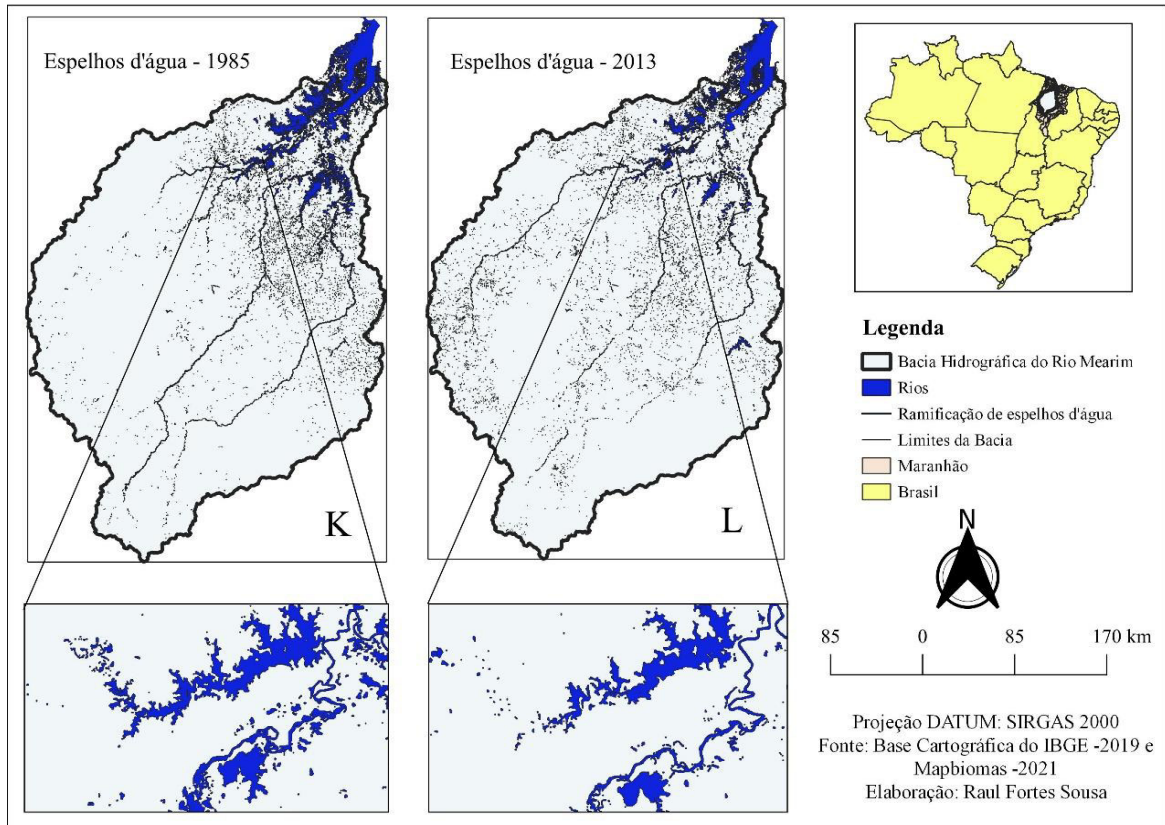
De acordo com o que expressa o comportamento espacial e a frequência de ocorrência da superfície hídrica em determinados pontos da BHRM, a área espelhada por água perceptivelmente teve retrações acentuadas quando comparadas a visualização inicial (1985), aos anos que mais sofreram tal impacto 2012, 2013 e 2016 (Figuras 7, 8 e 9).

**Figura 7.** Mapa com o recorte da superfície hídrica correspondente aos anos de 1985 e 2012



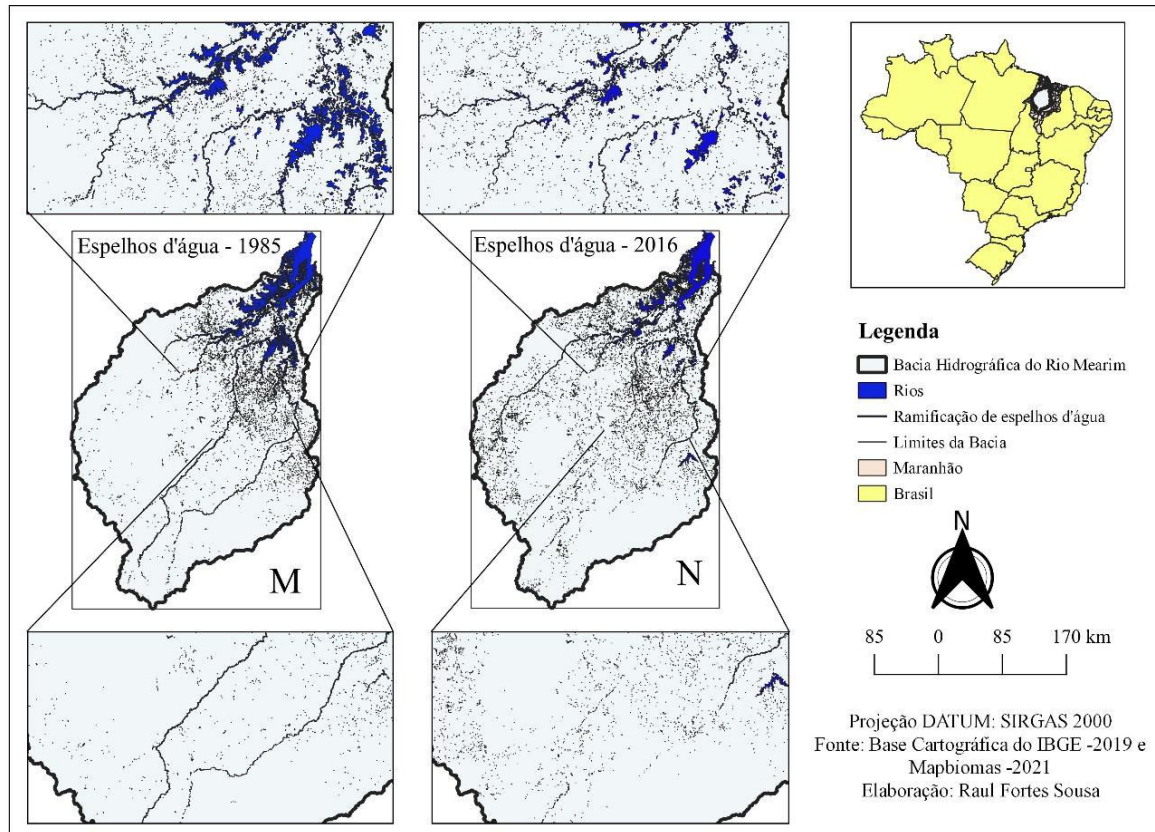
Fonte: Autor, 2022.

**Figura 8.** Mapa com o recorte da superfície hídrica correspondente aos anos de 1985 e 2013



Fonte: Autor, 2022.

**Figura 9.** Mapa com o recorte da superfície hídrica correspondente aos anos de 1985 e 2016



Fonte: Autor, 2022.

Segundo Souza et al. (2017), ao analisar os padrões climatológicos e tendências de precipitação por meio de estações meteorológicas, constatou que o regime de chuvas foi acentuadamente alterado desde o ano de 2010 em diversas regiões pertencentes a BHRM e se estendeu aos anos subsequentes, resultando em alterações na dinâmica de ocorrências de chuvas e longos períodos de seca com altos índices térmicos.

Segundo Silva et al. (2016) e Pinheiro e Araújo (2019), diversas regiões do Maranhão e do Nordeste de uma forma geral foram acometidas por episódios de El Niño severos entre 2012 a 2016 até meados de 2017, determinando o predomínio de eventos de seca sobre os eventos chuvosos, reduzindo as médias pluviométricas anuais em todos os anos de ocorrência, alterando, portanto, as normais climatológicas, e acarretando em reduções de vazões de rios, lagos e reservatórios em bacias hidrográficas.

Souza et al. (2019), afirma que as alterações na configuração da superfície hídrica de bacias hidrográficas normalmente estão associadas a mudanças climáticas, que exercem forte influência na retração ou expansão do espelho d'água dessas regiões. Em estudo envolvendo a análise espacial do espelho d'água, Cooley et al. (2017), constatou que os lagos e reservatórios perderam cerca de 89% da área máxima espelhada por água durante períodos de verões

prolongados, ao passo que a largura efetiva dos rios também foi influenciada, uma vez que perderam vazões significativas.

Todavia, a partir do ano de 2018 até 2020 (Tabela 4), verificou-se um aumento gradual da área espelhada por água em relação a sequência de redução que vinha sendo continuamente observada, a recuperação foi de 944.53 hectares (ha), demonstrando que a ocorrência de eventos extremos de seca vem diminuindo à medida que as médias anuais de precipitação na BHRM vêm se regularizando, ainda que, a área espelhada por água esteja consideravelmente abaixo da média. Em suma, percebe-se que a ocorrência de eventos de cheias foi inversamente proporcional aos eventos de secas, causando também alterações inversamente opostas no espelho d'água.

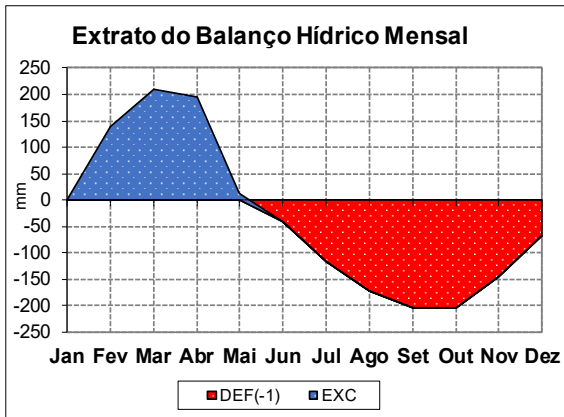
Portanto, sequências de anos com eventos de secas representam as principais causas para o desaparecimento da água superficial de bacias hidrográficas, por outro lado, é necessário igualmente uma sequência de anos com eventos chuvosos para que gradualmente a área espelhada por água seja recuperada. Marengo et al. (2009), ressalta que a alta e baixa disponibilidade de água em bacias hidrográficas estão associadas a ocorrência de fenômenos naturais, a variabilidade interanual do clima e a ação antrópica que normalmente corroboram tanto para expansão como para retração do espelho d'água nessas regiões.

Levando em conta toda a série temporal (36 anos) a área do espelho d'água da BHRM retraiu um total de 2.447,03 (ha) de superfície hídrica em relação a constante média observada, o que corresponde a uma perda de 2,8 % (ha) da área de superfície hídrica total de 88.100 (ha) para essa unidade territorial. Embora os resultados encontrados neste estudo representem apenas um pequeno percentual quando comparados com o restante das regiões hidrográficas do Brasil, corroboram diretamente com os resultados demonstrados pelo Mapbiomas Águas que revelaram que a superfície do Brasil retraiu cerca de 15% da sua área total entre o intervalo de tempo de 1985 a 2020 (PROJETO MAPBIOMAS, 2021), e que praticamente todas as regiões hidrográficas do país tiveram perda da superfície hídrica.

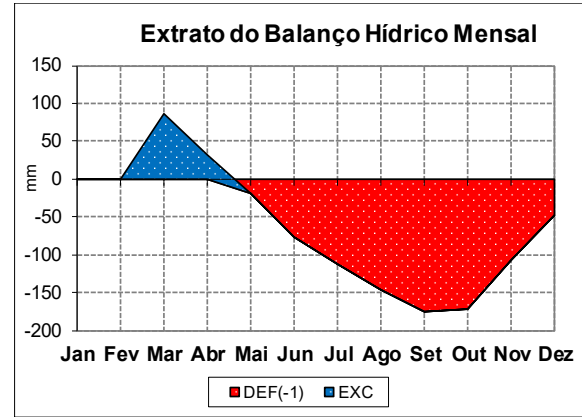
## **5.2 Análise climatológica**

O conhecimento dos padrões climatológicos de uma região é de fundamental importância para auxiliar ações de monitoramento, preservação gestão dos recursos hídricos superficiais. Diante disso, foi empregado o método do Balanço Hídrico Climatológico (BHC), visto que tal ferramenta pode expressar o comportamento dos recursos hídricos em bacias hidrográficas considerando o método de comparação de vizinho mais próximo. Neste caso, o BHC representa a dinâmica do regime hidrológico para três importantes municípios situados na BHRM, Bacabal – MA, Barra do Corda – MA e Zé Doca – MA (Figura 10).

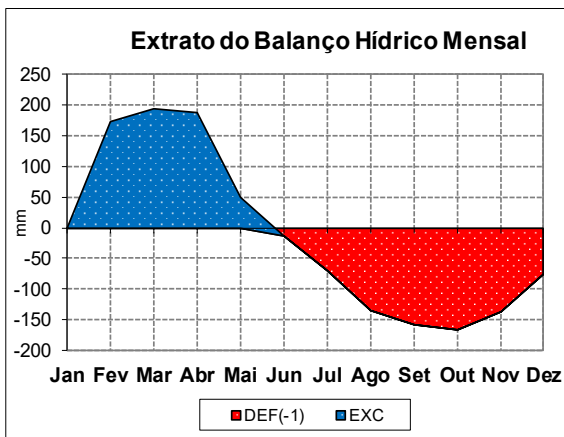
**Figura 10.** Gráfico do extrato do balanço hídrico completo normal mensal para as estações meteorológicas convencionais dos municípios de Bacabal, Barra do Corda e Zé Doca durante o período de 1985 a 2020



a) Bacabal



b) Barra do Corda



c) Zé Doca

Fonte: Autor, 2022.

Observa-se que os três municípios apresentam duas estações ao longo do ano, uma chuvosa e outra seca. A estação chuvosa tem início no mês de janeiro e se estende até maio para os municípios de Bacabal (Figura 1a) e Zé Doca (Figura 1c), ao passo que no município de Barra do Corda (Figura 1b) começa em janeiro e vai até abril. Vale ressaltar que o mês de março é o mais chuvoso com totais médios mensais precipitados de 378,8 mm, 348,8 mm e 230,8 mm para os três municípios, respectivamente.

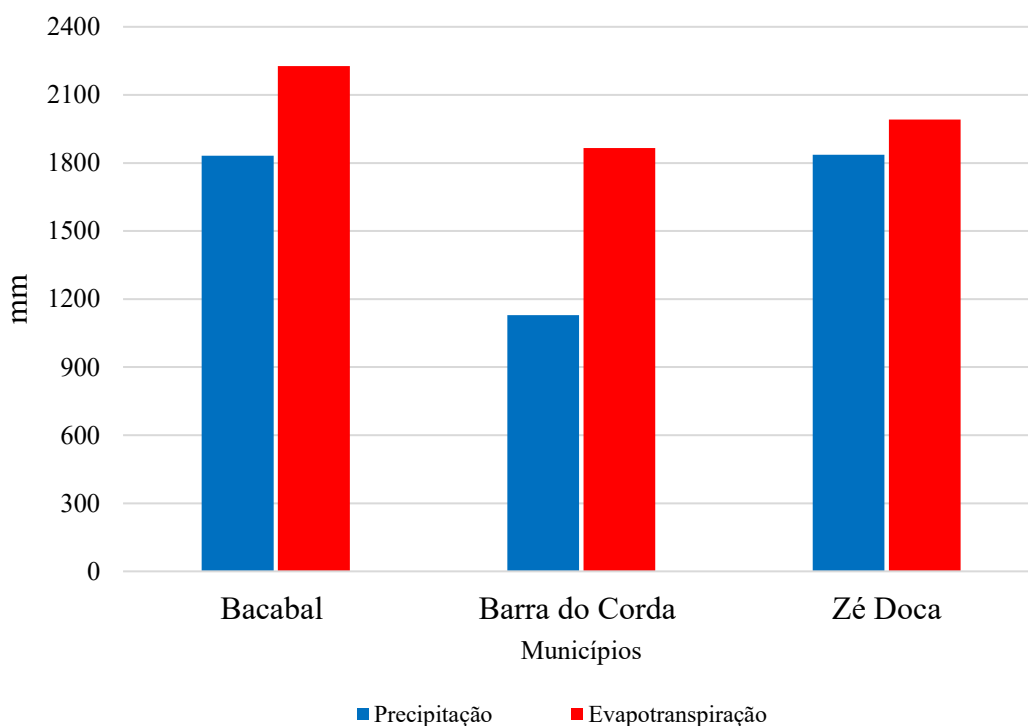
A estação seca começa no mês de junho e vai até o mês de dezembro para os municípios de Bacabal e Zé Doca (Figuras 1a e 1c), e de maio a dezembro para Barra do Corda (Figura 1b). Os meses de agosto e setembro caracterizam-se como os mais secos, registrando índices pluviométricos de 11,8 mm, 16,7 mm e 7,0 mm respectivamente, obedecendo a ordem dos municípios supracitados. Esse período é marcado por apresentar grandes déficits hídricos, compreende maior parte dos meses do ano e é marcado pela escassez no regime das chuvas e

elevados índices térmicos que aumentam as taxas de evapotranspiração da água de rios, lagos, solo e das plantas.

Segundo Nascimento; Braga e Araújo (2017), o estado do Maranhão assim como suas regiões hidrográficas são caracterizadas por apresentar duas estações bem definidas ao longo do ano, uma chuvosa e outra seca. A estação chuvosa tem início no mês de janeiro e estende-se até o mês de maio, enquanto que a seca começa em julho e prolonga-se até o final do mês de dezembro, onde são registrados baixos índices pluviométricos e ocorrência de eventos de estiagem e incêndios florestais no estado.

Embora as regiões que compunham a Bacia Hidrográfica do Rio Mearim apresentem médias pluviométricas anuais consideráveis, as taxas de evapotranspiração dos três municípios (Bacabal – MA, Barra do Corda – MA, Zé Doca) excedem os volumes de chuvas anuais como mostra a (Figura 11).

**Figura 11.** Gráfico comparativo entre a precipitação pluviométrica e as taxas de evapotranspiração potencial anual para os municípios de Bacabal, Barra do Corda e Zé Doca no intervalo 1985 a 2020



Fonte: Autor, 2022.

O volume de chuvas que alimenta os principais municípios que compõem a BHRM permite o abastecimento hídricos dos rios, lagos e do solo, principalmente no primeiro semestre do ano, favorecendo a recuperação da superfície hídrica na região. Entretanto, durante o período



de seca com a redução da pluviometria e aumento das temperaturas ocorre o aumento das taxas de evapotranspiração potencial (Figura 10 e Figura 11) provocando a transferência da água dos rios, lagos e superfícies d'água para a atmosfera e conseqüentemente a retração/desaparecimento dos espelhos d'água. Segundo Pereira (2020), o município de Barra do Corda é o que mais sofre com períodos longos de seca e estiagem na região do Mearim, logo é o que apresenta menor índice pluviométrico anual e elevada taxa de evapotranspiração anual.

Portanto, compreende-se a importância do regime pluviométrico para a manutenção dos recursos hídricos na BHRM, pois segundo Nobrega Oliveira et al. (2019) a recarga dos aquíferos superficiais são feitas por meio das precipitações pluviométricas diretas e que acontecimentos de eventos extremos associados à variabilidade sazonal do clima são os principais responsáveis pelas mudanças na configuração e distribuição dos recursos hídricos superficiais.

## 6. CONCLUSÃO

A utilização das técnicas de geoprocessamento para o presente estudo mostrou-se eficaz para análise e monitoramento dos espelhos d'água através da quantificação da área. A partir desta análise, conclui-se que as mudanças climáticas provocadas pelos eventos extremos associados a variabilidade natural do clima e ação do homem são os principais responsáveis pelas mudanças na configuração espacial da superfície hídrica na Bacia Hidrográfica do Rio Mearim.

Considerando a importância das reservas hídricas superficiais e da escassez de pesquisas científicas relacionadas ao espelho d'água no estado do Maranhão, é fundamental o monitoramento dos recursos hídricos superficiais tanto em grandes unidades territoriais como em escalas municipais para oferecer subsídios aos órgãos de gestão dos recursos hídricos estaduais como comitês e agências de bacias medidas para o gerenciamento adequado dos recursos hídricos, e essa forma garantir a disponibilidade dos recursos naturais para todos.

Além disso, é necessário estudos que investiguem os anos de ocorrências de eventos extremos e os impactos que estes trazem para a sociedade, bem como uma postura da sociedade voltada para conscientização da preservação do meio ambiente e dos recursos hídricos através do cumprimento das leis e legislações vigentes que incluem entre outras medidas, a proteção das nascentes e das matas ciliares.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. L.; SILVA, V. A. R.; SANTOS, J. S.; SANTOS, J. R. N.; ARAÚJO, M. L. S.; PYLES, M. V.; & SILVA, F. B. O cenário de fragilidade ambiental do baixo curso do Rio Mearim. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.13, n.01, p.102-120, (2020).  
<https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.1.p102-120>
- AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P.; VANZELA, L. S.; CASTRO, C. V.; MANSANO, C. F. M.; & TAGLIAFERRO, E. R. A gestão das águas no Brasil: uma abordagem sobre os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v.7, n.53, p.30-44, (2019).  
<https://doi.org/10.17271/2318847275320192169>
- ARSEGO, D. A.; FERRAZ, S. E. T.; STRECK, N. A.; CARDOSO, A. D. O.; & ZANON, A. J. Estudo do impacto de diferentes índices associados ao El Niño Oscilação Sul na produtividade de soja no Rio Grande do Sul. **Ciência e Natura**, v.40, p.82-87, (2018).  
 DOI:10.5902/2179460X30684
- AZEVEDO, K. M. D.; & MACIEL, R. F. O Comitê de Bacia Hidrográfica como instrumento para a gestão sustentável das águas no Maranhão. **XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, (2013). Disponível em: < [https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/155/f726363b3e7850ad894d837dd5d4366f\\_34ca01cb8c126e0c9818e847cb6e14a7.pdf](https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/155/f726363b3e7850ad894d837dd5d4366f_34ca01cb8c126e0c9818e847cb6e14a7.pdf)>. Acesso em: 27/12/2021.
- BARBOSA, C. C. F.; MORAES NOVO, E. M. L.; & MARTINS, V. S. (Eds.). **Introdução ao Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos: princípios e aplicações**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 1 ed. 161p., (2019).
- BELIZÁRIO, W. D. S. Avaliação da qualidade ambiental de nascentes em áreas urbanas: um estudo sobre bacias hidrográficas do município de aparecida de Goiânia/GO. **Revista Mirante, Anápolis**, v.8, n.1, p.122-148, (2015). Disponível em: <<https://www.revista.ueg.br/index.php/mirante/article/view/3918>>. Acesso em: 12/01/2022
- BRASIL. Lei nº 9.433/1997. **Instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 09 jan. 1997. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm)>. Acesso em: 13/10/2021.
- CAMPOS, A. R.; SANTOS, G. G.; DOS ANJOS, J. C. R.; STEFANOSKI, D. C.; & MORAES, J. M. F. Equações de intensidade de chuvas para o estado do Maranhão. **Revista Engenharia Na Agricultura-Reveng**, v.23, n.5, p.435-447, (2015).  
<https://doi.org/10.13083/reveng.v23i5.597>
- CODEVASF – Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba. Plano Nascente Mearim: plano de preservação e recuperação de nascentes da bacia hidrográfica do rio Mearim / Organizadores, Leila Lopes da Mota Alves Porto, Eduardo Jorge de Oliveira Motta, Camilo Cavalcante de Souza. Brasília: Codevasf, 188 p., (2019). Disponível em: <<https://www.codevasf.gov.br/aceso-a-informacao/institucional/biblioteca-geral-rocha/publicacoes/planos/capa-plano-nascente-mearim.jpg/view>>. Acesso em: 19/01/2022.
- COOLEY, S.W.; SMITH, L.C.; STEPAN, L.; & MASCARO, J. Rastreado as mudanças dinâmicas das águas superficiais ao norte com imagens de alta frequência do planeta CubeSat. **Sensoriamento Remoto**, v.9, n.12, p.1306, (2017). <https://doi.org/10.3390/rs9121306>

- COSTA, V. R. M.; SILVA, G. S. O.; FERREIRA, A. R. T.; LIMA, J. M.; JUNIOR, R. N.; & SILVA BEZERRA, D. AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS SOCIAIS DA SECA NO MARANHÃO NO PERÍODO DE 2010 A 2016. **Revista Ceuma Perspectivas**, v.30, n.2, p.43-48, (2018). <https://doi.org/10.24863/rccp.v30i1.204>
- DICTORO, V. P.; & HANAI, F. Y. Contribuições para a conservação da água: pesquisa com membros de Comitês de Bacias Hidrográficas. **Caderno de Geografia**, v.27, n.49, p.227-246, (2017). <https://doi.org/10.5752/p.2318-2962.2017v27n49p227>
- FREIRE, J. L. M.; LIMA, J. R. A.; & CAVALCANTI, E. P. Análise de aspectos meteorológicos sobre o Nordeste do Brasil em anos de El Niño e La Niña. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.3, p.429-444, (2011). <https://doi.org/10.26848/rbgf.v4i3.232719>
- GEO BRASIL. Santos, T.C.C., Câmara, J.B.D. (Org.). **Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil**. Edições IBAMA, Brasília, 440p.:il, (2002). Disponível em: <<https://www.terrabrasil.org.br/ecotecadigital/pdf/geo-brasil-2002-perspectivas-do-meio-ambiente-no-brasil.pdf>>. Acesso em: 29/01/2022.
- GOMES, D. C.; LIMA, A. M. M.; JUNIOR, J. D. A. S.; & OLIVEIRA SERRÃO, E. A. Impactos das mudanças de uso da terra e dos eventos climáticos extremos em sistemas hidrológicos da Amazônia Oriental-Bacia do rio Capim (PA-MA). **Revista Geográfica Acadêmica**, v.12, n.2, p.153-172, (2018). Disponível em: <<https://revista.ufr.br/rga/article/view/5162>>. Acesso em: 10/01/2022.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Atlas do Estado do Maranhão. Censo 2010. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados.html?view=municipio>>. Acesso em: 29/11/2021.
- JUNIOR, C. H. L. S.; ANDERSON, L. O.; OLIVEIRA, L. E.; ARAGÃO, C.; & RODRIGUES, B. D. Dinâmica das queimadas no Cerrado do Estado do Maranhão, Nordeste do Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, v.35, p.1-14, (2018). <https://doi.org/10.11606/rdg.v35i0.142407>
- LEONARDO, H. R. D. A. L.; BRITTO SALGUEIRO, C. O.; NATÁLIA, D.; ALMEIDA, O.; SANTOS, S. M.; & OLIVEIRA, L. M. M. Sensoriamento Remoto Aplicado na Geoespacialização do Reservatório Poço da Cruz-PE e seu Entorno. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.14, n.06, p.3614-3629, (2021). <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v14.6.p3614-3629>
- MACHADO, L. C.; SELVA, V. S. F.; & SANTOS, S. M. Proposta metodológica interdisciplinar como ferramenta para o potencial de conservação de nascentes. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 03, n. 01, p.008-023, (2018). <https://doi.org/10.24221/jeap.3.1.2018.1660.008-023>
- MARANHÃO. **Decreto nº 34.847 de 14 de maio de 2019**. Regulamenta a Lei nº 8.149 de 15 de junho de 2004, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e sobre o Sistema Estadual de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos, e dá outras providências. Disponível em: <<http://stc.ma.gov.br/legisla-documento/?id=5480>>. Acesso em: 27/12/2021.
- MARANHÃO. Secretaria de Estado das Cidades e Desenvolvimento Urbano. **Plano Diretor da Bacia Hidrográfica do Mearim: diagnóstico da bacia: resumo do diagnóstico**. São Luís: MPB Engenharia, v.1, (2014). Disponível em: <<https://secid.ma.gov.br/files/2014/10/RESUMO-DIAGNOSTICO-MEARIMAP-v1.pdf>>. Acesso em: 12/01/2021.

- MARCHESAN, J.; & COMASSETTO, V. Água e desenvolvimento regional: o caso da mesorregião oeste de Santa Catarina. **Revista Baru-Revista Brasileira de Assuntos Regionais e Urbanos**, v.5, n.1, p.19-38, (2019). <http://dx.doi.org/10.18224/baru.v5i1.7348>
- MARENCO, J. A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semiárido do Brasil. **Parcerias estratégicas**, v.13, n.27, p.149-176, (2010). Disponível em: <[http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias\\_estrategicas/article/viewFile/329/323](http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewFile/329/323)>. Acesso em: 20/01/2022.
- MARENCO, J. A.; ALVES, L. M.; BESERRA, E. A.; & LACERDA, F. F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**, v.1, p.385-422, (2011). Disponível em: <[http://plutao.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/plutao/2011/09.22.18.52.30/doc/Marengo\\_Variabilidade.pdf](http://plutao.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/plutao/2011/09.22.18.52.30/doc/Marengo_Variabilidade.pdf)>. Acesso em: 19/01/2022.
- MARENCO, J.A. Variabilidade interanual do clima de superfície na bacia amazônica. **Jornal internacional de climatologia**, v.12, n.8, p.853-863, (1992). <https://doi.org/10.1002/joc.3370120808>
- MARENCO, J.A.; JONES, R.; ALVES, L.M.; & VALVERDE, M.C. Mudanças futuras nos extremos de temperatura e precipitação na América do Sul derivadas do sistema de modelagem climática regional PRECIS. **International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society**, v.29, n.15, p.2241-2255, (2009). <https://doi.org/10.1002/joc.1863>
- MARENCO, J.A.; TOMASELLA J.; UVO C.R. Tendências de vazão e precipitação pluviométrica na América do Sul tropical: Amazônia, leste do Brasil e noroeste do Peru. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v.103, n.D2, p.1775-1783, (1998). <https://doi.org/10.1029/97JD02551>
- MELLO, F. W. P. J.; PESSOA, F. C. L.; & SANTANA, L. R. Regionalização de vazões mínimas da bacia hidrográfica do Rio Mearim no estado do Maranhão. **Research, Society and Development**, v.9, n.6, e114962651-e114962651, (2020). <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i6.2651>
- MENDES, J. J.; MARTINS, B. N.; & CASTRO PEREIRA, R. C. Problematização dos recursos hídricos superficiais da bacia hidrográfica do Rio Aurá e subterrâneos da bacia hidrográfica do Rio Bacanga-Maranhão–Brasil. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v.1, p.171-182, (2017). <https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.1787>
- MESQUITA, L. F. G. Os comitês de bacias hidrográficas e o gerenciamento integrado na Política Nacional de Recursos Hídricos. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 45, p. 56-80, (2018). <https://dx.doi.org/10.5380/dma.v45i0.47280>
- NASCIMENTO, F. D. C. A. D.; BRAGA, C. C.; & ARAÚJO, F. R. D. C. D. Análise estatística dos eventos secos e chuvosos de precipitação do Estado do Maranhão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.32, n.3, p.375-386, (2017). <https://doi.org/10.1590/0102-77863230005>
- NÓBREGA OLIVEIRA, A.; KOIDE, S.; COSTA, M. E. L.; & de LIMA BEZERRA, M. D. C. Padrões urbanos facilitadores da recarga de aquíferos. **Revista de Morfologia Urbana**, v.7, n.2, p.e00117-e00117, (2019). <https://doi.org/10.47235/rmu.v7i2.117>

- OLIVEIRA, G. S. **O El Niño e Você - o fenômeno climático**. Livro - O El Niño e Você – o fenômeno climático. Editora Transtec - São José dos Campos (SP), (2001). Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/lanina/pt>>. Acesso em: 27/01/2022.
- PAZ, V. P. D. S.; TEODORO, R. E. F.; & MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.3, p.465-473, (2000). <https://doi.org/10.1590/S1415-43662000000300025>
- PEKEL, J.F.; COTTAM, A.; GORELICK, N.; & BELWARD, A.S. Mapeamento de alta resolução das águas superficiais globais e suas mudanças de longo prazo. **Nature**, v.540, n.7633, p.418-422, (2016). <https://doi.org/10.1038/nature20584>
- PEREIRA, A.S. Uso de poços artesianos como fonte temporária de abastecimento hídrico no município de Bonito de Santa Fé-PB. (2018). Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/8372>>. Acesso em: 22/10/2021
- PINHEIRO, J. M.; & ARAÚJO, R. R. IMPACTOS DO FENOMENO EL NIÑO E LA NIÑA NO MUNICÍPIO DE SÃO LUÍS–MARANHÃO. **Revista GeoUECE**, v.8, n.15, p.124-136, (2019). Disponível em: <<https://revistas.uece.br/index.php/GeoUECE/article/view/2174/5706>>. Acesso em 22/01/2022.
- PIZANI, F. M. C.; PEREIRA, M. P. R.; SILVA, M. M.; & ELMIRO, M. A. T. Técnicas de sensoriamento remoto para análise temporal do espelho d’água da Lagoa Grande na cidade de Sete Lagoas–MG. **Revista GEOgrafias**, v.29, n.1, p.81-102, (2021). <https://doi.org/10.35699/2237-549X%20.2021.25893>
- Projeto MapBiomias – Mapeamento da Superfície de Água do Brasil Coleção 1.0, acessado em 28 de novembro de 2021 através do link: <<https://mapbiomas.org>>”.
- SANTOS, J. R. N.; ARAÚJO, M. L. S.; JUNIOR, C. H. L. S.; SANTOS, J. S.; ALMEIDA, J. L.; LIMA, T. V.; ... & SILVA, F. B. Tendências de extremos climáticos na região de transição Amazônia-Cerrado no Estado do Maranhão. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.26, (2020). <https://dx.doi.org/10.5380/abclima.v26i0.62883>
- SANTOS, T. M. M.; OLIVEIRA, J. L. S.; & SILVA, E. Vulnerabilidade Hídrica no Nordeste Brasileiro: entre a urbanização e a Educação Ambiental. **REMEA-Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, v.35, n.3, p.184-199, (2018). <https://doi.org/10.14295/remea.v35i3.8206>
- SEMA – SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURIAS DO MARANHÃO. Saiba o que é e como funciona o Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Maranhão. (2021). Disponível em: < <https://www.sema.ma.gov.br/saiba-o-que-e-e-como-funciona-o-conselho-estadual-de-recursos-hidricos-do-maranhao-2/>>. Acesso em: 15/ 10/ 2021.
- SILVA BARBOSA, A. H.; CUELLAR, M. D. Z.; MOREIRA, M. M.; & ALVES, K. Seis anos de seca: Análise Espaço-temporal dos Espelhos d’água dos Reservatórios do Ceará por Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.14, n.04, p.2220-2241, (2021). <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.4.p2220-2241>
- SILVA, F. B.; SANTOS, J. R. N.; FEITOSA, F. E. C. S.; SILVA, I. D. C.; ARAÚJO, M. L. S. D.; GUTERRES, C. E.; ... & NERES, R. L. Evidências de mudanças climáticas na região de transição Amazônia-Cerrado no Estado do Maranhão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.31, n.3, p.330-336, (2016). <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778631320150149>

- SILVA, F. B.; SANTOS, J.; ARAÚJO, M.; & SILVA JUNIOR, C. Análise espaço-temporal da precipitação no estado do Maranhão no período de 2003 a 2012. In **XIV Safety, Health and Environment World Congress, Cubatão. Anais... Cubatão: COPEC**, v.23, p.123-125, (2014). <http://dx.doi.org/10.14684/shewc.14.2014.123-125>
- SILVA, M. B.; HERREROS, M. M. A. G.; & BORGES, F. Q. Gestão integrada dos recursos hídricos como política de gerenciamento das águas no Brasil. **Revista de Administração da Universidade Federal de Santa Maria**, v.10, n.1, p.101-115, (2017). <https://doi.org/10.5902/19834659>
- SILVA, M. N. D.; TEREZA, A.; BEZERRA, D. D. S.; PEREIRA, L., ELOI, C. M. D. A.; & SANTOS, A. L. S. D. A seca no Maranhão no período de 2010 a 2016 e seus impactos. **Parcerias Estratégicas**, v.22, n.44, p.119-138, (2017). Disponível em: <[http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias\\_estrategicas/article/viewFile/848/776](http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewFile/848/776)>. Acesso em: 28/03/2022.
- SILVA, P. E.; SANTOS, C. M.; SPYRIDES, M. H. C.; & ANDRADE, L. D. M. B. Análise de Índices de Extremos Climáticos no Nordeste e Amazônia Brasileira para o Período entre 1980 a 2013. **Anuário do Instituto de Geociências**, v.42, n.2, p.137-148, (2019). [http://dx.doi.org/10.11137/2019\\_2\\_137\\_148](http://dx.doi.org/10.11137/2019_2_137_148)
- SILVA, V. P.; PEREIRA, E. R.; AZEVEDO, P. V. D.; SOUSA, F. D. A.; & SOUSA, I. F. D. Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.2, p.131-138, (2011). DOI: 10.1590/S1415-43662011000200004
- SOUZA PINHEIRO, A. A.; OLIVEIRA NETO, B. M.; & MACIEL, N. M. T. C. A importância da educação ambiental para o aprimoramento profissional, docente e humano. **Ensino em Perspectivas**, v.2, n.1, p.1-12, (2021). Disponível em: <<https://revistas.uece.br/index.php/ensinoem perspectivas/article/view/4544/6194>>. Acesso em: 28/10/2021.
- SOUZA ROLIM, G.; SENTELHAS, P.C; & BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL TM para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Rev. Bras. Agrometeorologia**, v.6, n.1, p.133-137, (1998). Disponível em: <<http://www.sbagro.org/files/biblioteca/171.pdf>>. Acesso em: 21/11/2021.
- SOUZA, C. M.; KIRCHHOFF, F. T.; OLIVEIRA, B. C.; RIBEIRO, J. G.; & SALES, M. H. Long-term annual surface water change in the Brazilian Amazon Biome: Potential links with deforestation, infrastructure development and climate change. **Water**, v.11, n.3, p.566, (2019). <https://doi.org/10.3390/w11030566>
- SOUZA, E. B.; SILVA FERREIRA, D. B.; GUIMARÃES, J. T. F.; SANTOS FRANCO, V.; & AZEVEDO, F. T. M. Padrões climatológicos e tendências da precipitação nos regimes chuvoso e seco da Amazônia oriental. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.21, (2017). <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v21i0.41232>
- SOUZA, F. P. D.; & AZEVEDO, J. P. S. Panorama das lagoas urbanas no Rio de Janeiro: aspectos relevantes na gestão das Lagoas Rodrigo de Freitas, Araruama e Complexo Lagunar de Jacarepaguá. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.25, n.1, p.197-204, (2020). DOI: 10.1590/S1413-41522020147571
- SOUZA, C. M.; Z SHIMBO, J.; ROSA, M. R.; PARENTE, L. L.; A ALENCAR, A.; RUDORFF, B. F.; ... & AZEVEDO, T. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in brazilian biomes with landsat archive and earth engine. **Remote Sensing**, v.12, v.17, p.2735, (2020). <https://doi.org/10.3390/rs12172735>

SOUZA, J. C.; & BIZAWU, S. K. Preservação dos recursos hídricos e a limitação regulatória administrativa decorrente da outorga de direito de uso das águas subterrâneas no Brasil.

**Revista da Faculdade de Direito da UFG**, v.41, n.3, p.184-205, (2017).

<https://doi.org/10.5216/rfd.v41i3.48704>

SOUZA, J. R.; PAIXÃO, M. S.; & SANTOS CARVALHO, J. AVALIAÇÃO MULTITEMPORAL DO ESPELHO D'ÁGUA DO AÇUDE INGAZEIRAS USANDO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS E DADOS DE PLUVIOSIDADE. **Revista Eletrônica da Escola de Gestão e Negócio**, v.7, n.2, p.42-55, (2018). Disponível em:

<<https://repositorio.unp.br/index.php/connexio/article/view/1751>>. Acesso em: 25/11/2021.

SPINOLA, C. D. A.; VITORIA, F.; & CERQUEIRA, L. A Lei das Águas e o São Francisco: os limites da gestão descentralizada dos recursos hídricos no Brasil. **RDE-Revista de Desenvolvimento Econômico**, v.1, n.33, p.70–90, (2016).

<http://dx.doi.org/10.21452/rde.v1i33.4176>

THORTHWAITE, C.W.; & MATHER, J.R. The water balance. **Publications in Climatology**. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 104p., (1955).

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO. CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS. NÚCLEO GEOAMBIENTAL. Bacias hidrográficas e climatologia no Maranhão / Universidade Estadual do Maranhão. São Luís, 165p., (2016). Disponível em:

<<https://www.nugeo.uema.br>>. Acesso em: 30/11/2021.

ZANANDREA, F.; MICHEL, G. P.; & MUNOZ ESPINOSA, H. R. Análise de frequência de volumes, durações e picos de inundações na Bacia do Rio Mearim-MA. **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (22.: Florianópolis, 2017). Anais [recurso eletrônico]. [Porto Alegre: ABRH, 2017]**, (2017). Disponível

em:<<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/173687/001059395.pdf?sequence1>>. Acesso em: 17/01/2022.