



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**SULIVAN PEREIRA DANTAS**

**AÇUDAGEM NO NORDESTE BRASILEIRO E NO CEARÁ: ESTIMATIVA DE  
EVAPORAÇÃO DO AÇUDE CASTANHÃO EM UM ANO SECO**

**FORTALEZA**

**2017**

SULIVAN PEREIRA DANTAS

AÇUDAGEM NO NORDESTE BRASILEIRO E NO CEARÁ: ESTIMATIVA DE  
EVAPORAÇÃO DO AÇUDE CASTANHÃO EM UM ANO SECO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito para obtenção do Título de Doutor em Geografia. Área de Concentração: Dinâmica Ambiental e Territorial do Nordeste Semiárido.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Marta Celina Linhares Sales

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

D215a Dantas, Sulivan Pereira Dantas.

Açudagem no nordeste brasileiro e no Ceará : estimativa de evaporação do açude  
Castanhão em um ano seco / Sulivan Pereira Dantas Dantas. – 2017.  
196 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de  
Pós-Graduação em Geografia , Fortaleza, 2017.

Orientação: Prof. Dr. Marta Celina Linhares Sales.

1. reservatórios. 2. semiárido. 3. ceará. 4. castanhão. 5. evaporação. I. Título.

CDD 910

---

SULIVAN PEREIRA DANTAS

AÇUDAGEM NO NORDESTE BRASILEIRO E NO CEARÁ: ESTIMATIVA DE  
EVAPORAÇÃO DO AÇUDE CASTANHÃO EM UM ANO SECO

Tese ou Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará, como requisito à obtenção do título de Doutor em Geografia. Área de concentração: Dinâmica Ambiental e Territorial do Nordeste Semiárido.

Aprovada em: 17/11/2017.

BANCA EXAMINADORA

---

Profa. Dra. Marta Celina Linhares Sales (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. José Nilson Bezerra Campos  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Ernane Cortez Lima  
Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA)

---

Profa. Dra. Maria Elisa Zanella  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Flavio Rodrigues do Nascimento  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

*“Eternidade é o tempo completo,  
esse tempo do qual a gente diz: “valeu a pena””  
(Rubens Alves).*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por ser meu guia e minha luz de proteção.

A família, por ser a base da minha estrutura e incentivo da caminhada.

Aos amigos, por dividir os momentos da vida.

Agradecido a Universidade Federal do Ceará, pela oportunidade de ter sido a minha casa de formação profissional.

Agradecido ao Departamento de Geografia da Universidade Federal do Ceará e aos professores que me ajudaram a construir meu perfil profissional

Agradecido, em especial, aos professores Marta Celina (minha orientadora querida e amada), Elisa Zanella (minha “tia acadêmica” competente e amada), Edivani Barbosa, Edson da Silva (Cacau), Alexandra de Oliveira, que tive a oportunidade de trabalhar diretamente e fortaleci laços de admiração, carinho e gratidão.

Agradecido ao Programa de Educação Tutorial (PET Geografia UFC), que me oportunizou, na Graduação, uma formação de qualidade e excelência.

Agradecido ao Laboratório de Climatologia Geográfica e Recursos Hídricos (LCGRH-UFC), que tive a oportunidade de fazer da origem e da consolidação enquanto grupo de pesquisa em Climatologia Geográfica e Recursos Hídricos.

Agradecido à banca examinadora desta tese, que se dispôs a ler o trabalho e contribuir com o enriquecimento desta pesquisa.

Agradecido à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES; Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FUNCAP; Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – DNOCS.

## RESUMO

A escassez de água em regiões semiáridas sempre foi motivo de questionamentos e discussões, visto que a disponibilidade hídrica é fator limitante a produção agrícola e, em situações severas, chega mesmo a pôr em risco a sobrevivência de populações inteiras. O conhecimento da distribuição espacial e temporal da transferência de vapor d'água para a atmosfera facilita o estabelecimento de políticas públicas visando o uso racional da água. Estudos sobre as perdas de água por evaporação em grandes reservatórios proporcionam melhor controle de aproveitamento das águas represadas. Este trabalho tem como objetivo estimar a evaporação do Açude Castanhão, localizado no setor do Médio/Baixo curso do Rio Jaguaribe – Ceará/Brasil, tomando como método de medição Penman (1948), este é um dos métodos clássicos para estudos de evaporação. Através de dados primários, de uma estação climática flutuante (DantaSales) instalada sobre o lago do Açude Castanhão, e dados secundários, de uma estação localizada em ambiente terrestre (PCD – Jaguaribe). Para este trabalho utilizou-se de métodos estatísticos – Método de correlação de Pearson ( $r$ ), Coeficiente de determinação ( $R^2$ ), Modelo de regressão normal e Teste U de Mann-Whitney – com o objetivo de correlacionar e discutir as variáveis estimadas. Diante do exposto, é possível concluir que as variáveis de maior influência sobre as perdas de água por evaporação foram Radiação Solar, Temperatura Máxima do Ar e Umidade Relativa do Ar. No geral, a evaporação na água é 0,79 pontos maiores que a evaporação medida na terra. Tirando a média de evaporação na água encontrou-se  $3,99 \text{ mm/dia}^{-1}$  e na terra  $3,29 \text{ mm/dia}^{-1}$ , portanto, a evaporação média na água é aproximadamente 17,68% maior que a média de evaporação terrestre.

**Palavras – chave:** Semiárido. Ceará. Reservatório. Perdas de Água.

## ABSTRACT

Water scarcity in semi-arid regions has always been the subject of questioning and discussion. Water availability is a limiting factor in agricultural production and, in severe situations, even threatens the survival of entire populations. The knowledge of the spatial and temporal distribution of the transfer of water vapor to the atmosphere greatly facilitates the establishment of public policies aimed at the rational use of water. Studies on the loss of water by evaporation in large reservoirs provide better control of the use of the dammed waters. The objective of this study is to estimate the evaporation of the Castanhão dam - Ceará/Brazil, taking Penman's (1948) method of measurement, being one of the classic methods for evaporation studies. By means of primary data, from a floating weather station (DantaSales) on the lake of the Castanhão dam, and secondary data, from a station located in terrestrial environment (PCD - Jaguaribe). For this study it was used statistical methods - Pearson correlation method ( $r$ ), Coefficient of determination ( $R^2$ ), Normal regression model and Mann-Whitney U test - with the objective of correlating and discussing the estimated variables. Considering the above, it is possible to conclude that the variables with the greatest influence on the water losses by evaporation were Solar Radiation, Maximum Air Temperature and Relative Humidity. In general, evaporation in water is 0,79 points greater than the evaporation measured on land. Taking the average evaporation in the water was found to be 3,99 mm/dia<sup>-1</sup> and on land 3,29 mm/dia<sup>-1</sup>, so the average evaporation in water is approximately 17,68% greater than the average of terrestrial evaporation.

**Keywords:** Semiarid. Ceará. Reservoirs. Water Loss.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Delimitação do semiárido brasileiro	25
Figura 2	Espacialização da precipitação média no semiárido brasileiro	28
Figura 3	Açude Cedro em Quixadá (CE)	33
Figura 4	Inventário aéreo, por dimensão em área (km <sup>2</sup> ), dos reservatórios do Nordeste brasileiro (1965)	38
Figura 5	Trechos do projeto do Cinturão de Águas do Ceará (CAC)	50
Figura 6	Distribuição das classes por Bacia Hidrográfica	66
Figura 7	Esquema de operação do Açude Castanhão	75
Figura 8	Definição do ano-padrão provisório	78
Figura 9	Perfil longitudinal do Rio Jaguaribe no trecho barragem do Castanhão – foz.	87
Figura 10	Área de instalação da atividade piscícola no setor leste do Castanhão	88
Figura 11	Percurso do canal da integração	91
Figura 12	Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF)	94
Figura 13	Balanço precipitação menos evaporação, média anual – 1994 a 2007 (mm/dia)	97
Figura 14	Balanço de déficit hídrico do setor norte da Região Nordeste do Brasil	98
Figura 15	Fluxograma teórico-metodológico da pesquisa	116
Figura 16	Estação meteorológica DRIA 0511	118
Figura 17	Etapa 1 da modelagem da balsa	119
Figura 18	Etapa 2 de colagem e compactação da fibra	119
Figura 19	Âncoras artesanais (“poitas”)	120
Figura 20	Localização das estações de coleta sobre o açude e sobre a terra	121

## **LISTA DE MAPAS**

Mapa 1	Mapa de localização do Açude Padre Cícero (Castanhão)	23
Mapa 2	Mapa de proposta de classificação dos açudes monitorados pela Cogerh do Estado do Ceará	63

## LISTA DE PRANCHAS

Prancha 1	Dados das variáveis climáticas da estação flutuante sobre o açude Castanhão (DantaSales)	143
Prancha 2	Dados das variáveis sobre o ambiente terrestre (PCD/JAGUARIBE)	168
Prancha 3	Dados de evaporação de terra e de balanço hídrico para o ano de 2015	169

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Distribuição dos açudes construídos no Nordeste até 1949	39
Gráfico 2	Número de açudes públicos construídos pelo DNOCS entre 1920 a 1988	49
Gráfico 3	Distribuição da dimensão dos açudes por Bacia Hidrográfica	64
Gráfico 4	Distribuição dos reservatórios quanto à classe	65
Gráfico 5	Gráfico do extrato do balanço hídrico médio (1994-2016)	79
Gráfico 6	Balanço hídrico normal médio (1994-2016)	80
Gráfico 7	Gráfico de capacidade de água disponível (1994-2016)	80
Gráfico 8	Gráfico hidroclimatológico médio (1994-2016)	81
Gráfico 9	Balanço Hídrico Normal do ano de 2009 para o Castanhão	82
Gráfico 10	Fluxograma de variáveis para estimativa de evaporação por Penman	123
Gráfico 11	Evaporação diária do açude Castanhão (Junho – Agosto/2015)	135
Gráfico 12	Evaporação em decêndios do Açude Castanhão	136
Gráfico 13	Dados diários de evaporação sobre a estação climática flutuante (DantasSales)	138
Gráfico 14	Solar em “MJ” X Evaporação em “mm”	147
Gráfico 15	Correlação/dispersão entre Radiação Solar e Evaporação (Trimestre)	148
Gráfico 16	Correlações mensais de $R^2$ entre Radiação e Evaporação.	149
Gráfico 17	Correlação/dispersão entre pressão atmosférica e evaporação (Trimestre)	150
Gráfico 18	Correlações mensais de $R^2$ entre evaporação e pressão atmosférica.	151
Gráfico 19	Correlação/dispersão entre temperatura média e evaporação (Trimestre)	152
Gráfico 20	Correlações mensais de $R^2$ entre evaporação e temperatura média	153

Gráfico 21	Correlação/dispersão entre temperatura mínima e evaporação (Trimestre)	154
Gráfico 22	Correlações mensais de $R^2$ entre evaporação e temperatura mínima	154
Gráfico 23	Correlação/dispersão entre temperatura máxima e evaporação (Trimestre)	155
Gráfico 24	Correlações mensais de $R^2$ entre evaporação e temperatura máxima	156
Gráfico 25	Correlação/dispersão entre umidade relativa do ar e evaporação (Trimestre)	158
Gráfico 26	Correlações mensais de $R^2$ entre evaporação e umidade relativa do ar	159
Gráfico 27	Correlação/dispersão entre velocidade do vento e evaporação (Trimestre)	160
Gráfico 28	Correlações mensais de $R^2$ entre evaporação e velocidade do vento	161
Gráfico 29	Dispersão entre a evaporação e as variáveis significantes do modelo de regressão para a evaporação em água	164
Gráfico 30	Resíduos do modelo normal ajustado para evaporação na água	165
Gráfico 31	Pontos de Alavanca do modelo ajustado, para evaporação na água	166
Gráfico 32	Envelope simulado para testar a distribuição normal pressuposta no modelo, para evaporação na água	167
Gráfico 33	Dispersão entre a evaporação e as variáveis significantes do modelo de regressão para a evaporação em terra	173
Gráfico 34	Comparação da dispersão entre os dados medidos em terra e em água	176
Gráfico 35	Resíduos do modelo de regressão normal ajustado, para evaporação em terra	117
Gráfico 36	Pontos de Alavanca do modelo ajustado, para evaporação em terra	178

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Notas sobre a política de açudagem do Nordeste brasileiro entre 1915 a 1960	35
Quadro 2	Histórico de atuação da Secretaria de Recursos Hídricos	46
Quadro 3	Comparativo das vantagens e desvantagens das dimensões dos reservatórios para o semiárido	54
Quadro 4	Classificação de reservatórios hídricos de 1878	55
Quadro 5	Classificação de reservatórios hídricos de 1909	56
Quadro 6	Classificação de reservatórios hídricos entre período 1909 a 1931	56
Quadro 7	Classificação de reservatórios de 1927	57
Quadro 8	Classificação de reservatórios hídricos do Ceará de 1981	57
Quadro 9	Classificação de reservatórios hídricos do Ceará de 2008	58
Quadro 10	Quadro comparativo dos métodos combinados de estimativa de evaporação	113

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	As maiores barragens do semiárido nordestino brasileiro	40
Tabela 2	Distribuição dos espelhos d'água artificiais dos Estados do Nordeste	41
Tabela 3	Composição dos açudes classificados por capacidade volumétrica	59
Tabela 4	Dados climáticos coletados pela estação climática flutuante (DantaSales)	140
Tabela 5	Correlações de Pearson (r) entre as variáveis climáticas e evaporação (Trimestral)	146
Tabela 6	Correlação mensal entre Radiação Solar e Evaporação	149
Tabela 7	Correlação mensal entre Radiação Solar e Pressão Atmosférica	151
Tabela 8	Correlação mensal entre Radiação Solar e Temperatura Média.	153
Tabela 9	Correlação mensal entre Radiação Solar e Temperatura Mínima	155
Tabela 10	Correlação mensal entre Radiação Solar e Temperatura Máxima	156
Tabela 11	Correlação mensal entre Radiação Solar e Umidade Relativa do Ar	159
Tabela 12	Correlação mensal entre Radiação Solar e Velocidade do Vento	161
Tabela 13	Ajuste do modelo de regressão para evaporação na água	162
Tabela 14	Ajuste do modelo de regressão para evaporação em terra, com as variáveis.	172

## LISTA DE SIGLAS

PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio ambiente
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
TSM	Temperatura de Superfície do Mar
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
IOCS	Inspetoria de Obras contra as Secas
COGERH	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
CODEVASF	Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba
CHESF	Companhia Hidrelétrica do São Francisco
EMBASA	Empresa Baiana de Águas e Saneamento
CERB	Companhia de Engenharia Hídrica e Saneamento da Bahia
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
SRH	Secretaria de Recursos Hídricos
SIGERH	Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos
SOHIDRA	Superintendência de Obras Hidráulicas
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PROAGUA	Programa Nacional de Desenvolvimento dos Recursos Hídricos
PROASIS	Programa de Apoio ao Saneamento Integrado do Sertão
PROGERIRH	Projeto de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Ceará
PROURB	Projeto de Desenvolvimento Urbano e Gestão de Recursos Hídricos
CAC	Cinturão das Águas do Ceará
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
RIMA	Relatório de Impacto do meio Ambiente
FPA	Frente polar Atlântica
VCANs	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis

OL	Ondas de Leste
EIA	Estudo do Impacto Ambiental
SEMACE	A Superintendência Estadual do Meio Ambiente
IPLANCE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
MAB	Movimento dos Atingidos por Barragens
IFOCS	Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas
PISF	Projeto de Integração do Rio São Francisco
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>18</b>
<b>2.</b>	<b>A AÇUDAGEM COMO POLÍTICA DE CONVIVÊNCIA COM A SECA NO NORDESTE BRASILEIRO E NO ESTADO DO CEARÁ.....</b>	<b>24</b>
2.1	A Seca como fenômeno propulsor à política de açudagem no semiárido nordestino brasileiro.....	24
2.2	A implantação do processo de açudagem no Nordeste Brasileiro e no Estado do Ceará.....	31
2.3	Os desafios da gestão dos reservatórios cearenses e as políticas atuais....	42
2.4	Dimensionamento dos reservatórios e a conjuntura do gerenciamento.....	51
2.5	O Ceará e o caminho das águas: uma proposta de classificação dos açudes cearenses.....	58
<b>3</b>	<b>AÇUDE CASTANHÃO: UM SONHO REALIZADO?.....</b>	<b>71</b>
3.1	Açude Castanhão: o “oásis” do sertão?.....	71
3.2	Localização e Caracterização Geoambiental do Açude Padre Cícero (Castanhão).....	74
3.3	Impactos socioambientais devido à construção do reservatório.....	82
3.4	Castanhão: águas sertanejas de potencialidade e desafios.....	89
<b>4.</b>	<b>A EVAPORAÇÃO DE RESERVATÓRIOS NO CONTEXTO DO SEMIÁRIDO.....</b>	<b>95</b>
4.1	Os estudos sobre evaporação em ambiente tropical semiárido e o comportamento da camada limite.....	95
4.1.1	<i>Experiências de estudos de evaporação no semiárido brasileiro.....</i>	<i>100</i>
4.2	Fatores que influenciam a evaporação.....	103
4.3	Métodos de estimativas de evaporação.....	107
4.3.1	<i>Método aerodinâmico.....</i>	<i>109</i>
4.3.2	<i>Método do balanço energético.....</i>	<i>109</i>
4.3.3	<i>Métodos combinados.....</i>	<i>110</i>

<b>5</b>	<b>PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS</b> .....	113
5.1	O objeto de estudo em questão.....	113
5.2	Etapas da pesquisa.....	115
5.3	Aplicação das técnicas de geoprocessamento.....	120
5.4	Descrição experimental do método de Penman.....	121
5.5	Coleta, tratamento estatístico e organização dos dados .....	126
<b>6</b>	<b>A ESTIMATIVA DE EVAPORAÇÃO DO AÇUDE CASTANHÃO</b> .....	133
6.1	Estimativa de evaporação medida sobre o lago.....	133
6.1.1	<i>Valores mensais e decendiais</i> .....	134
6.1.2	<i>Valores diários</i> .....	135
6.2	Correlações entre as variáveis climáticas e os valores de evaporação medidos sobre o lago.....	138
6.2.1	<i>Radiação Solar</i> .....	145
6.2.2	<i>Pressão atmosférica</i> .....	149
6.2.3	<i>Temperatura do Ar</i> .....	150
6.2.4	<i>Umidade Relativa do Ar</i> .....	156
6.2.5	<i>Vento</i> .....	159
6.3	Estimativa de evaporação medida sobre o ambiente terrestre (PCD – Jaguaribe).....	166
6.4	Correlações entre as variáveis climáticas medidas em ambiente sobre o lago e em ambiente terrestre (DantaSales x Jaguaribe).....	174
6.5	Teste U de <i>Mann-Whitney</i> entre as medidas de evaporação sobre o lago e sobre a terra.....	178
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	181
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	184

## 1 INTRODUÇÃO

A Geografia é uma ciência que tem o espaço geográfico como seu objeto de estudo e como objetivo compreender os movimentos e os fluxos que ocorrem nesse espaço. Essa análise é realizada a partir do entendimento da relação sociedade e natureza, sob um olhar dialético, com desdobramento para análise sociedade/espaço.

Na compreensão dessa relação sociedade/natureza não há dúvidas que a Geografia tem um papel de entender o trabalho humano sobre o ambiente natural e vice-versa. Essas relações estão dentro do conceito de organização espacial, onde a produção do espaço está diretamente relacionada com a intensidade e interesse dessas relações.

Relações essas que estão cotidianamente presentes nas nossas vidas. Como o clima se relaciona com as sociedades urbanas e rurais, como se relacionam os relevos com o desenvolvimento econômico, como as paisagens foram transformadas em função do trabalho humano e natural, etc. Talvez, essa infinidade de temas e abordagens faz da Geografia uma ciência do todo. Não mais importante que as demais, apenas necessária para compreender as dinâmicas espaciais.

Cabe, sem dúvida, ao geógrafo propor uma visão totalizante do mundo, mas é indispensável que o faça a partir de sua própria província do saber, isto é, de um aspecto da realidade global. Para isso, a primeira tarefa é a construção de uma filosofia menor, isto é, uma meta geografia que ofereça um sistema de conceitos capaz de reproduzir na inteligência, as situações reais enxergadas do ponto de vista dessa província do saber. A primeira tarefa, sem a qual o requisito da pertinência não será atingido, é bem circunscrever o nosso objeto de trabalho. (SANTOS, 2004, p.114)

Os geógrafos estudam esses processos em todas as escalas, seja em uma escala local onde afeta diretamente a organização de uma pequena população ou em escala global onde é possível identificar quais as consequências à humanidade podem advir daquele processo ocorrido. Para nós geógrafos, não cabe apenas compreender esse processo ocorrido no passado ou persistente no presente, mas garantir que as populações futuras tenham as mesmas chances de usufruir dos elementos que compõem o meio ambiente como as sociedades atuais.

Portanto, o conhecimento geográfico passa a ter seu valor científico. A ciência tem como objetivo fundamental chegar à veracidade dos fatos. Nesse

sentido não se distingue de outras formas de conhecimento. Porém, o que torna o conhecimento científico distinto dos demais é a sua verificabilidade.

A ideia de confrontar as observações, a teoria e os dados no contexto da Geografia e dos estudos no semiárido apresentou-se inquietante a percepção da ocorrência de um processo natural sobre um ambiente com alta vulnerabilidade e com necessidade de compreensão científica.

Diante deste entendimento é que se propõe este trabalho de tese de doutoramento: verificar como um processo físico-natural (evaporação) ocorre, enquanto ambiente semiárido, e interfere na organização social. Tratar essa verificabilidade como ineditismo para cumprir o critério acadêmico e analisar esse verificabilidade como relevância social.

Este trabalho tem como tema central o estudo da evaporação de grandes reservatórios do semiárido. Para tanto, toma como reflexão o semiárido brasileiro - uma região com extrema vulnerabilidade ambiental e uma região de estudos importantíssima para a ciência geográfica. Estudos contínuos são necessários em prol do desenvolvimento socioeconômico.

Compreender a problemática dos recursos hídricos nas regiões semiáridas é uma questão fundamental para superação dos obstáculos ao desenvolvimento. É nítido que a política de construção de infraestruturas capazes de armazenar água para garantir o abastecimento humano e animal e viabilizar a irrigação é a mais utilizada no mundo. Todavia, esse esforço que não exime a população de continuar a vivenciar alta vulnerabilidade à disponibilidade hídrica em situações de eventos extremos de seca. De qualquer modo, essas políticas com adequada gestão viabilizam critérios essenciais para o desenvolvimento.

Nesse contexto, surge do processo de açudagem, com intuito de proporcionar o desenvolvimento através da disponibilidade hídrica para as atividades agrícolas, industriais e serviços e, principalmente, ao abastecimento humano.

Portanto, tomou-se o Açude Padre Cícero (Castanhão), localizado no Médio/Baixo curso do Rio Jaguaribe – Ceará – Brasil (Mapa 1) como objeto de estudo deste trabalho. Este representa o “pulmão” das águas cearenses e o responsável por abastecer 74% da capital, Fortaleza (DNOCS, 2016). Um lago artificial exposto à atmosfera e vulnerável a intensificar ou alterar o ciclo da água local, diante de uma situação de altas taxas de insolação e temperaturas.

Através do conhecimento sobre o tema de grandes reservatórios, sobre a região do sertão central do Ceará, sobre a importante relação entre os conhecimentos da Climatologia Geográfica e Recursos Hídricos e a experiência trazida da graduação e do mestrado em Geografia que surgiu a necessidade de estudar como ocorre o processo de evaporação do lago artificial do Açude Castanhão. Por que o Ceará, como o estado que concentra a maior quantidade de reservatórios do país, não se preocupa com as perdas de água por evaporação? Seria possível realizar as medidas dos atributos climáticos que influenciam a evaporação sobre o próprio açude? Quais dos atributos climáticos que mais influenciam nesse processo de evaporação do Açude Castanhão? E como inserir essa estimativa de evaporação na gestão dos recursos hídricos do Ceará?

Esses questionamentos subsidiaram elaborar duas hipóteses principais:

- Estimar os valores de evaporação a partir de uma estação climática flutuante sobre o lago artificial é possível e apresenta uma melhor acurácia sobre a discussão do processo de evaporação em comparação às estimativas realizadas sobre o ambiente terrestre.
- Diante do quadro climático do Estado do Ceará com as altas taxas de insolação, a temperatura do ar, a umidade relativa do ar e a velocidade dos ventos são os fatores responsáveis pelas perdas de água por evaporação do açude Castanhão.

Evaporation occurs when liquid water is converted into water vapour. The rate is controlled by the availability of energy at the water surface, and the ease with which water vapour can mix into the atmosphere. Estimates of evaporation from open water are increasingly required for several Environment. These estimates are used mainly for water balance studies. and still waters management, and will increasingly be used in modelling work in future (FINCH and HALL, 2001, p. 17).

É justamente por essa exposição de uma extensa área de espelho d'água, 325 quilômetros quadrados, quando em sua cota máxima (DNOCS, 2016), que torna o Castanhão um excelente objeto de estudo para os pesquisadores da Climatologia Geográfica e Recursos Hídricos. Portanto, a partir do conhecimento desses valores será possível aprimorar as técnicas de gestão de grandes reservatórios inseridos no contexto do semiárido.

Em regiões semiáridas, onde a disponibilidade hídrica é fator limitante da produção agrícola e, em situações menos favoráveis, chegam mesmo a pôr em risco a sobrevivência de populações inteiras, o conhecimento da distribuição espacial e

temporal da transferência de vapor d'água para a atmosfera facilita bastante o estabelecimento de políticas visando ao uso racional da água. Estudos dessa natureza possibilitam a aquisição de conhecimentos que proporcionem melhor controle do aproveitamento de grandes reservatórios, racionalizando a demanda de água para fins industriais, domésticos e agrícolas (VAREJÃO e SILVA, 2006).

Diante da reflexão sobre a temática, os questionamentos levantados, as hipóteses apresentadas e as justificativas defendidas, este trabalho tem como objetivo geral compreender a política de açudagem do Nordeste brasileiro e do Ceará, estimando as perdas de água por evaporação do Açude Castanhão – Ceará/Brasil em um ano seco. Discutir a historicidade da política de açudagem no Nordeste do Brasil e no Ceará; Propor uma tipologia de classificação dos reservatórios monitorados do Ceará; Estimar a evaporação mensal, decenal e diária do Açude Castanhão por meio de uma estação climática flutuante e uma estação terrestre; Comparar as estimativas de evaporação sobre o lago artificial (DantaSales) e sobre o ambiente terrestre (Jaguaribe); Correlacionar e discutir a influência das variáveis climáticas com a evaporação estimada.

O trabalho está apresentado da seguinte forma:

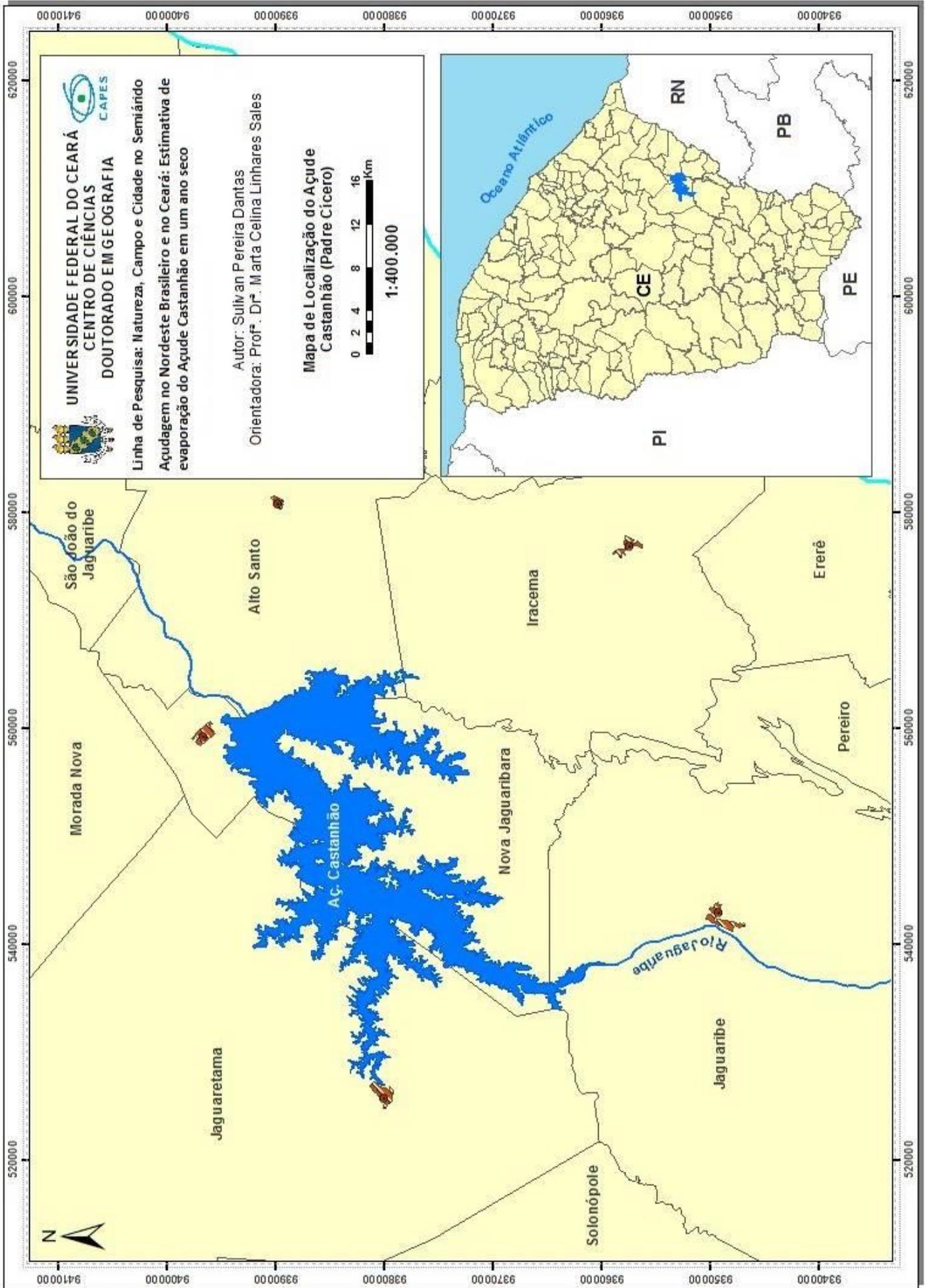
No capítulo dois, discutiu-se a contribuição da política de açudagem no processo de convivência com a seca e no desenvolvimento econômico do Nordeste brasileiro, especialmente no estado do Ceará. Além de apresentar uma proposta de classificação dos açudes monitorados no Estado. No capítulo três, apresenta-se o açude Padre Cícero (Castanhão); seus aspectos históricos, geofísicos e sociais, a partir de diversos olhares a respeito de grandes obras de infraestrutura hídrica no semiárido brasileiro.

Já no capítulo quatro, apresentam-se os aspectos teóricos sobre a estimativa de evaporação de reservatórios, abordando as potencialidades e fragilidades dos métodos de estimativa de evaporação, além da discussão sobre a evaporação no contexto do semiárido brasileiro.

No capítulo cinco, buscou-se detalhar os procedimentos metodológicos desta pesquisa, do pensar a execução das etapas programadas para este trabalho, as equações de estimativas utilizadas, os métodos e modelos estatísticos trabalhados.

No capítulo seis estão os resultados obtidos por meio da discussão dos valores mensais, decendiais e diários de evaporação sobre o ambiente do lago artificial do açude Castanhão e também das correlações estatísticas da evaporação em função dos atributos climáticos; a estimativa da evaporação sobre o ambiente terrestre e suas correlações com os atributos climáticos; por fim, a discussão sobre a análise comparativa dos valores de evaporação sobre o lago e sobre o terra, também através de modelos estatísticos.

No capítulo sete apresentam-se as conclusões do trabalho, além de direcionamentos e sugestões para trabalhos futuros que venham fortalecer e contribuir com a discussão sobre evaporação em reservatórios no semiárido.



## 2 A AÇUDAGEM COMO POLÍTICA DE CONVIVÊNCIA COM A SECA NO NORDESTE BRASILEIRO E NO ESTADO DO CEARÁ

*“Feição marcante da paisagem, elemento vital da vida sertaneja, o açude no Nordeste é como um templo – e se os milagres da fé fizeram surgir, a cada canto, as igrejas nordestinas onde se abriga a devoção do sertanejo, por que descrever da multiplicação dos açudes, também baluartes contra as incertezas do futuro?”*

*(Vinícius Barrêdo (1984) em Obras contra as secas)*

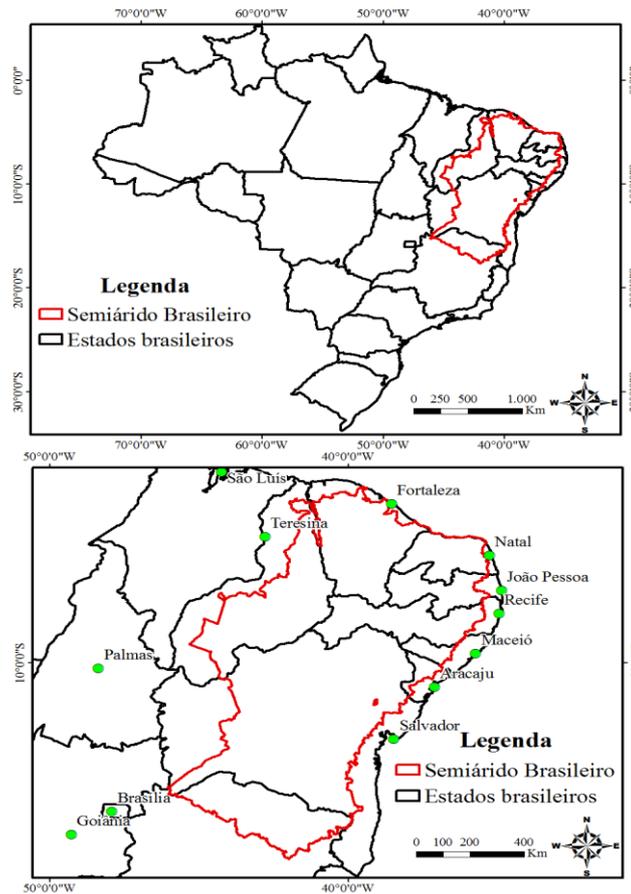
### 2.1 A Seca como fenômeno propulsor à política de açudagem no semiárido brasileiro

As regiões semiáridas são caracterizadas, de modo geral, pela irregularidade climática, pela escassez hídrica, pela imprevisibilidade das precipitações pluviométricas, por longos períodos de estiagens e por consequências diretas sobre a economia e a população. Assim como Sales (2003) afirma sobre disponibilidade dos recursos naturais das regiões semiáridas, que reflete diretamente as condições geoambientais diversas que constituem a região.

Verifica-se que, na América do Sul, além da região semiárida do Brasil, encontram-se áreas de semiaridez no norte do continente, na Venezuela e Colômbia, e no cone sul, estendendo-se desde a Patagônia na Argentina até o norte do Chile, Peru e Equador. Para Ab' Sáber (1999), a região semiárida do Brasil é a mais homogênea delas, do ponto de vista fisiográfico, ecológica e social.

Segundo a delimitação atual (figura 1), o semiárido brasileiro abrange 1.133 municípios com uma área de 969.589,4 km<sup>2</sup>, corresponde a quase 90% da região nordeste (no estado do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia) e mais a região setentrional de Minas Gerais. Esta delimitação levou em consideração os critérios de precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 mm; índice de aridez (PNUMA) de até 0,5 calculado pelo balanço hídrico (no período entre 1961 e 1990), e risco de seca maior que 60% no período entre 1970 e 1990 (BRASIL, 2005). Como se pode observar na delimitação realizada por BUAINAIN e GARCIA (2013):

Figura 1 - Delimitação do semiárido brasileiro



Fonte: BUAINAIN e GARCIA (2013).

No contexto do semiárido brasileiro os recursos hídricos são dependentes na maior parte do comportamento climático, assim como da gestão hídrica local. As secas são caracterizadas, dependendo da demanda, pela escassez hídrica e pela má distribuição das chuvas espaço-temporalmente, o que torna comum longos períodos de estiagens, caracterizando a região com sucessão de anos seguidos de seca. Vale ressaltar que, essa situação de seca depende mais da gestão hídrica do que das condições climáticas.

A deficiência de absorção de água no solo é dificultada pela degradação do ambiente e a presença de solos rasos e pedregosos, solos estes derivados em grande parte de rochas cristalinas, o que limita o acúmulo da água em ambientes subterrâneos. Destaca-se também, a paisagem da vegetação da caatinga, com grande biodiversidade e formação xerófila, com adaptações morfológicas em seu caule e raízes espalhadas para capturar o máximo de água durante o período chuvoso.

Além das características gerais de complexidade do semiárido brasileiro, com altas vulnerabilidades ambientais e sociais, com realidade de altas pressões de ocupação humana e exploração dos recursos naturais, a região torna-se um excelente objeto de estudo devido a sua diversidade de ambientes e desafios com a convivência.

A história da seca no Nordeste brasileiro está diretamente ligada a essas condições geofísicas da região. A seca é um fenômeno natural que traz algumas diferenciações dos demais desastres naturais. O que marca tais diferenciações são as questões espaço-temporais, uma vez que a seca atinge grandes extensões territoriais e é um fenômeno que, quase sempre, tem um início lento e uma longa duração, diferentemente do que ocorre com as demais catástrofes como cheias, furacões e terremotos, que tendem a durar por pouco tempo e em sua grande maioria espacialmente localizados.

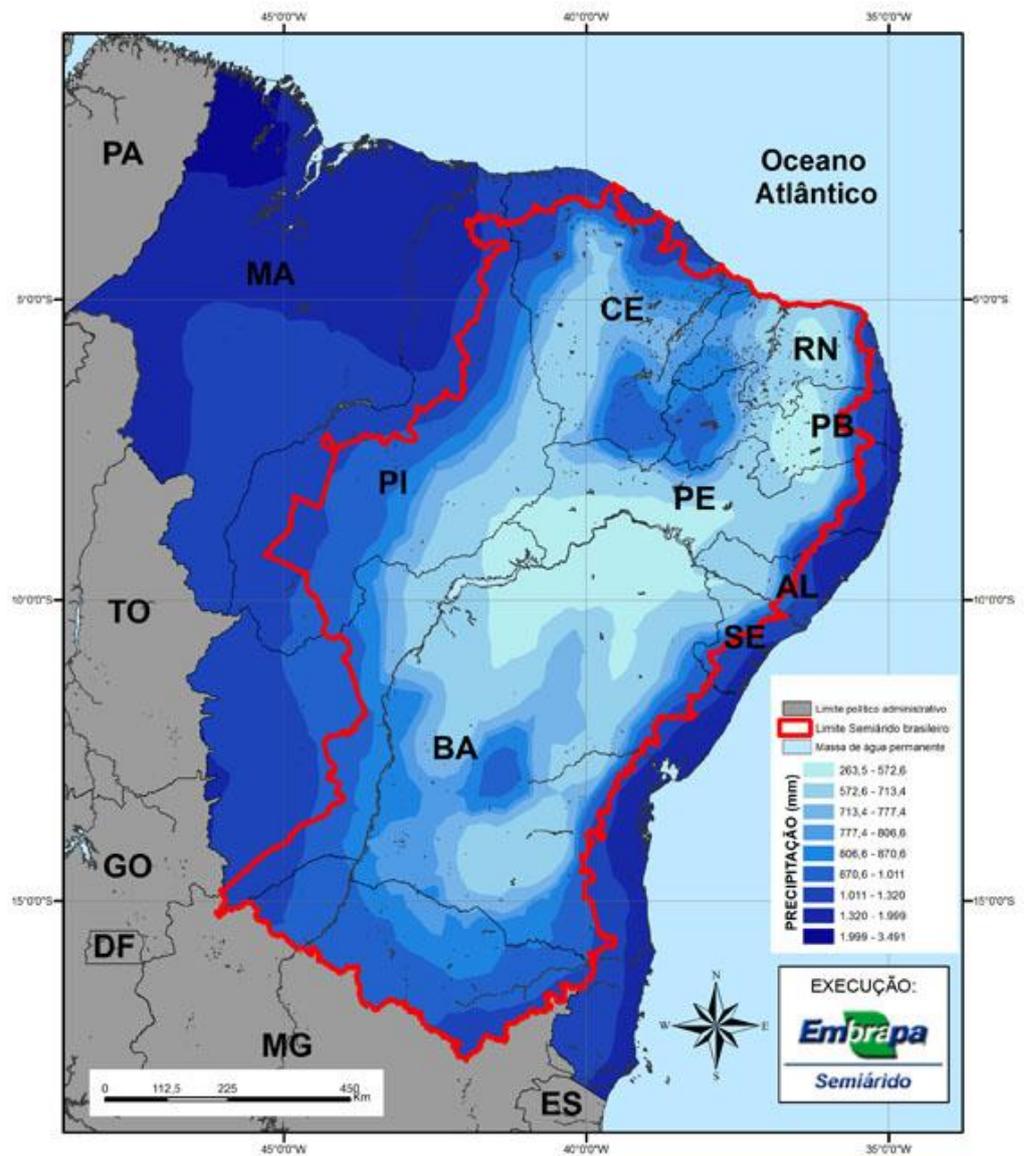
Segundo Freitas (2010):

A seca é um fenômeno dito recorrente em regiões semiáridas. Os efeitos de um duradouro período de seca em uma determinada região dependem, entretanto, não somente da duração e intensidade da seca, mas também das condições socioeconômicas e culturais da população atingida (p. 24).

Isso traz consequências mais severas de secas em regiões que demandam de grande quantidade de água, maior do que a disponibilidade ou grande variabilidade de oferta de água, ocasionando quase sempre consequências em larga escala quanto o acesso à água. O aumento da demanda, aliado à escassez em quantidade e à deterioração da qualidade dos recursos hídricos ocasiona sérios conflitos ao uso múltiplo da água, requerendo novos paradigmas de gestão.

O Nordeste brasileiro é um exemplo típico de região onde a maioria da população é muito sensível às questões climáticas. Na sua maior parte prevalece o uso agrícola bastante dependente da sazonalidade da precipitação. Que apresenta precipitação média anual varia, predominantemente, de 400 a 1300 mm (GHEYI *et al.*, 2012), como pode ser observado na figura 2.

Figura 2 - Espacialização da precipitação média no semiárido brasileiro



Fonte: EMBRAPA (s/d).

A variabilidade interanual da pluviometria nesta região de semiárido está associada a variações de padrões de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) sobre os oceanos tropicais, os quais afetam a posição e a intensidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o Oceano Atlântico (CAVALCANTI *et. al.* 2009). Isso ocasiona a má distribuição das chuvas na região e a dependência de ações que proporcionem uma gestão da seca eficiente.

Trata-se de uma região onde os problemas de disponibilidade hídrica se acumulam, levando-se a atingir situações críticas. Além das tradicionais medidas emergenciais durante os períodos de secas, foram construídos inúmeros reservatórios superficiais, que condicionam a população a depender das ações governamentais em detrimento da convivência com o fenômeno da seca no semiárido nordestino.

De acordo com Yevjevich *et. al.* (1978) haviam três estratégias frequentes no âmbito da gestão das secas: I) medidas para aumento da oferta de água; II) redução da demanda de água e III) mitigação dos efeitos de secas. A maioria das instituições estaduais e federais que, direta ou indiretamente, está ligada às ações estratégicas e táticas de planejamento lança mão de uma ou mais dessas ações.

como medidas típicas de aumento de oferta de água podemos, por exemplo, citar a busca de novas fontes (água fósseis e instalações de dessalinização), o uso conjunto das águas subterrâneas e superficiais, bem como transposições de águas de outras bacias. Para demanda de água são, em geral, feitas restrições legais (medidas de racionalizações) e campanhas de informações, implementações de instrumentos econômicos para a redução do consumo de água, além do uso de sistemas de reciclagem ou reuso da água. Como exemplos usuais de ações de mitigação dos efeitos da secas, o uso de plantas que demandam pouca água, o emprego de sistemas de proteção e seguros, assim como programas de emergências (FREITAS, 2010, p. 25).

Apesar das ações mitigadoras há muito tempo serem utilizados como sistemas de convivência no semiárido, encontram-se desde o início pouco eficiente quanto ao estudo da origem desse fenômeno e o monitoramento dos efeitos danosos em tempo hábil. Deve-se a isso ao pouco conhecimento de métodos de previsão de secas, não tão fiáveis (em muitos casos não há fidelidade quanto à validade dos dados), inadequado monitoramento do início, durante e no fim do período de seca, falhas nos planos de ações em períodos de longas estiagens etc. Justifica-se essa situação pela ausência de um controle sobre o que temos,

enquanto monitoramento quantitativo, e de que maneira esses dados estão sendo utilizados para subsidiar um levantamento da realidade do semiárido brasileiro.

Junto ao que foi mencionado, ainda recai sobre a ineficiência do monitoramento de dados meteorológicos e hidrológicos na região, comprometendo a base de levantamentos dos estudos hidroclimáticos locais.

Desde o início de sua história, percebe-se que o Nordeste semiárido tem sido caracterizado pelo estigma da seca. Souza (1979) *apud* Campos e Studart (2006) acredita que a primeira marca antecede à colonização portuguesa, relatada por Fernão Cardin “houve uma grande seca e esterilidade na província (Pernambuco) e desceram do sertão, ocorrendo-se aos brancos cerca de quatro ou cinco mil índios”. Nesse contexto, percebe-se que, mesmo com baixas densidades populacionais, devido à ausência de infraestrutura de reservas de água, a seca hidrológica favoreceu o processo migratório intenso na região Nordeste do Brasil.

Até meados da primeira metade do século XVII os índios ocupavam as áreas secas do interior do Nordeste de Pernambuco ao Ceará. Essa situação se intensifica no século XVIII quando uma Carta Régia determinava a criação de gado numa faixa contida desde o litoral até uma distância de 10 léguas em direção aos sertões. A partir dessas condições a pecuária e o algodão tornaram-se protagonistas do desempenho econômico regional (MOLLE, 1994).

Vieram então períodos de secas severas que assolaram o vulnerável ambiente semiárido do Nordeste Brasileiro e a sociedade despreparada, foi a grande seca de 1777-1779. Desde então deu-se início a um período de poucos registros de secas severas na região até meados da primeira metade do século XIX, quando houve um crescimento do rebanho e, portanto o aquecimento da economia, além do aumento populacional da região, tornando-se o povo cada vez mais vulnerável devido à ausência de infraestruturas capazes de suportar tais pressões demográficas (MOLLE, 1994).

No final do século XIX outra grande seca e duradoura atingiu a região, foi a seca de 1888, conhecida popularmente como a seca *dos três oitos*, Demonstrando o quanto a alternância de situações de seca é comum na região, portanto, necessitando-se de medidas eficientes de convivência com o fenômeno.

Em diante é conhecida a promessa de Dom Pedro II, no auge das grandes secas do final do século XIX, de que empenharia as joias da sua coroa se isto fosse preciso para acabar com o drama das secas (MOLLE, 1994). A partir de então o debate sobre as possíveis soluções dos problemas das secas tornam-se cada vez mais presentes nos governos da época; basicamente haviam três linhas: I) os favoráveis à açudagem e à irrigação; II) os favoráveis à transposição do rio São Francisco e irrigação; III) os favoráveis às mudanças no perfil econômico da Região e os proponentes de soluções pontuais de impacto (CAMPOS E STUDART, 2001).

Devido as suas características favoráveis à construção de represas, de fato, o Nordeste Brasileiro, na figura da esfera federal, passa a investir nos estudos sobre as áreas propícias a receberem tais intervenções hidráulicas.

O açude se constitui como o “oásis” para o povo nordestino assolado pelas secas severas e por todos os efeitos deste fenômeno. Um espelho d’água para o sertanejo torna-se como o meio de vida, uma esperança, diante da situação de espera por chuvas no solo do sertão. Segundo Molle (2004: 10) “até a própria língua parece atestar a relação vital entre o açude e o sertanejo: o açude sangra quando transborda e chora quando a sua fralda fica umedecida pelas infiltrações”.

Nesse contexto “nasce” uma política de combate (termo amplamente utilizado na época) a seca com incentivo governamental, a construção de reservatórios, que se intensifica no Nordeste brasileiro como o processo propulsor de mitigação dos efeitos das secas e de longos períodos de estiagens a fim de garantir água durante o período de escassez.

## **2.2 A implantação do processo de açudagem no Nordeste Brasileiro e no Estado do Ceará**

A história da açudagem reflete, antes de tudo, o colossal e repetido esforço do sertanejo na sua luta contra a adversidade. No entanto, a história da açudagem no Nordeste é tão antiga como a história da colonização pelos portugueses. Na realidade o próprio nome – açude – derivado da palavra árabe *as-sadd* (barragem) comprova origem ainda mais remota, se nos debruçarmos sobre a história do homem e de suas técnicas (MOLLE, 2004, p. 16).

De acordo com Suassuna (1993) no rol das alternativas de abastecimento das populações, a açudagem é considerada como uma das mais importantes, a presença de água no solo do sertão traz a esperança de permanência do sertanejo na região, sem se preocupar com o intenso processo migratório e esvaziamento das terras interiores.

No século XVII, durante o processo de colonização, as fontes d'água eram as lagoas naturais (ou poucos remanescentes no leito dos rios), as conhecidas cacimbas<sup>1</sup>, além das ressurgências naturais no sopé das serras (olhos d'água) e os caldeirões<sup>2</sup>.

Os açudes sempre foram os meios empregados pelos sertanejos para neutralizar os efeitos das secas. Com o seu bom senso prático, compreenderam que era esse o único meio de suprir a falta de rios perenes e de lagos ou lagoas permanentes e, aguilhoados pela lei da necessidade, iniciaram as represas, trabalho que afinal tornou-se o primeiro e mais necessário em qualquer situação nascente (MOLLE, 2004, p. 19).

Com o aumento da população, a intensa pressão sobre os recursos naturais e a necessidade cada vez mais por água intensificou a busca por soluções para o armazenamento do precioso líquido nos sertões nordestinos. Em parte, esse crescimento corresponde ao desenvolvimento da cultura algodoeira, acarretando sérios problemas de abastecimento de água.

Até o início do século XIX, era apenas através de depoimentos de viajantes que se apresentavam a difusão de inúmeros açudes, pois somente a construção desses reservatórios poderia contrapor-se a todas as ruinosas consequências das secas prolongadas. Durante toda a segunda metade do século XIX observou-se uma situação de intensa construção de reservatórios no território sertanejo devido, principalmente, ao incentivo da lei de 1832, que concedia gratificação a quem construísse um açude de certa dimensão.

Portanto, a alternativa de retenção de água durante o período chuvoso foi institucionalizada no Estado do Ceará pela Resolução de 25 de agosto de 1832, quando a província estava sob o governo do tenente José Mariano de Albuquerque Cavalcante.

---

<sup>1</sup> O termo cacimba vem do quimbundo e não de uma língua indígena, embora esta fonte d'água se tornou uma referência para convivência do índio no sertão.

<sup>2</sup> Local de grandes e frequentes pescarias depois que o rio sessa de correr (M.C. MACEDO in 14º Livro das Secas)

O século XIX é marcado pelo início da intervenção do governo na construção de açudes, seja direta ou indiretamente, pelo incentivo das gratificações: o ritmo das construções bem como a ação do governo já se encontrava em consonância com o das secas, fenômeno presente na história de convivência com o semiárido brasileiro até os dias atuais.

Como pode ser observado por Silva e Sampaio (2014), o problema do acesso à água é histórico, geográfico, político, econômico, ambiental, antigo e atual. A solução depende principalmente da intervenção estatal, e as soluções têm sido historicamente apresentadas, porém a complexidade propicia o surgimento de ações por diferentes atores que compõem o espaço, do qual se destacam dois: o Estado e as comunidades rurais.

Com a grande seca de 1877-79 e seus efeitos sobre a população, constituiu um marco importante na história da açudagem pública, pois motivou e provocou intensos debates que deviam resultar em propostas que vigoram até os dias de hoje. Considerando-se os levantamentos feitos durante o período de construção de reservatórios como incentivo de política pública, o Ceará apresenta-se como o estado pioneiro no processo de açudagem.

Segundo Molle (2004), em 1884, iniciou-se a construção do Açude Cedro (figura 3) – Quixadá (CE), primeira e grandiosa concretização do investimento público na grande açudagem.

Figura 3 - Açude Cedro em Quixadá (CE)



Fonte: do autor (2015).

Após sua execução ter sido paralisada por duas vezes, somente em 1906 essa obra ficaria concluída. As grandes despesas ocasionadas por esse empreendimento acirraram o debate em volta das ações governamentais para o Nordeste Brasileiro.

Em contrapartida, em 1904, foram criadas a comissão de Açudes e Irrigação, a Comissão de Perfuração de Poços e a “Comissão de Estudos e Obras contra os efeitos da seca”, às quais coube implementar no âmbito da União de construção de obras hidráulicas em maior escala. Com a criação dessas comissões, nasce, em 1909, a Inspetoria de Obras Contra as Secas – IOCS.

Esses estudos foram de suma importância não só para a implantação dos reservatórios, mas também pelo conhecimento detalhado das condições geofísicas da região do sertão nordestino. Vê-se a lista de trabalhos que foram atribuídos ao IOCS (MOLLE, 1994):

I – Estudo sistematizado das condições meteorológicas, geológicas, topográficas e hidrológicas de toda a região sujeita às secas, compreendida entre o Piauí e o norte de Minas Gerais;

III - Estradas (rodagens ou trilhos) que facilitem o acesso entre produtores e consumidores;

IV – Perfuração de poços e estudos de pequenos açudes particulares;

V – Estudo e construção direta, à custa da União, dos açudes públicos que venham a beneficiar o combate à seca;

VI – A proposta de barragens subterrâneas;

VII – Drenagens dos vales alagadiços, a fim de que possam concorrer para a salubridade e para a cultura;

VIII – Piscicultura, hortos florestais, etc.

Segundo dados da Fundação Rosado (1981), por conta das dotações da Inspetoria, foram realizados os seguintes serviços até 31 de dezembro de 1918: 23 açudes públicos construídos, 19 açudes particulares construídos, 455 poços perfurados, 341 estações pluviométricas instaladas nos Estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia, além de estradas.

A partir da severa seca de 1915 surgiram diversos desafios quanto à permanência do processo de açudagem, dentre elas a quantidade excessiva de gastos públicos e problemas com a conclusão das grandes barragens planejadas (MOLLE, 2004). No quadro I, seguem as principais mudanças ocorridas durante a política de açudagem na primeira metade do século XX:

A política de açudagem teve, na primeira metade do século XX, ciclos quanto à construção de reservatórios. Essa realidade ocorreu devido, principalmente, à adoção da açudagem como política de prioridade dos governos que assumiram a liderança nesse período. Destacam-se os governos de Epitácio Pessoa e de Juscelino Kubitschek como grandes incentivadores da construção de reservatórios no Nordeste brasileiro.

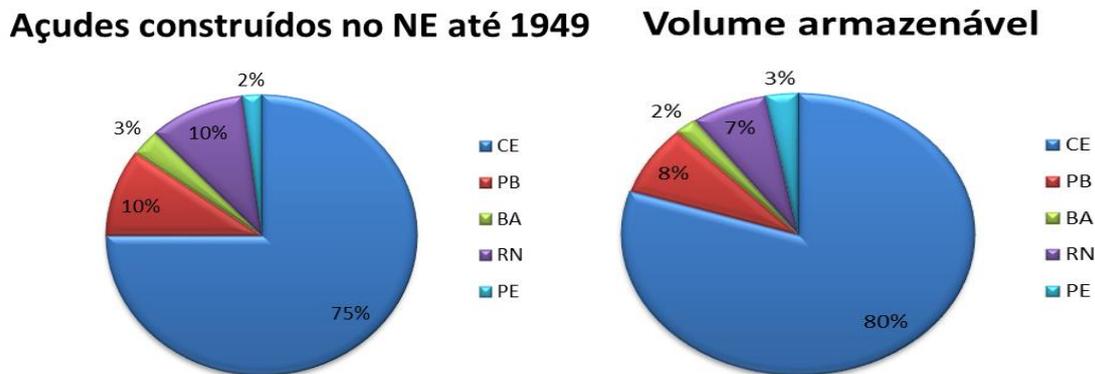
Quadro 1 - Notas sobre a política de açudagem do Nordeste brasileiro entre 1915-1960.

<b>Ano</b>	<b>Notas sobre a açudagem (1915 – 1960)</b>
<b>1915</b>	Substituição do IOCS pela Comissão das “Obras Novas Contra as Secas”
<b>1919</b>	Criação da Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas – IFOCS
<b>1921</b>	Importação de máquinas inglesas e americanas para intensificar a construção de açudes
<b>1922</b>	Construção e reconstrução de 196 açudes no estado da Paraíba
<b>1924</b>	Paralisação das obras (açudes, ferrovias, estradas, etc) por falta de verbas
<b>1931/1932</b>	Investimentos em outras atividades (agricultura, irrigação, reflorestamento, piscicultura)
<b>1932</b>	Criação da Comissão Técnica de Reflorestamento e Postos Agrícolas do Nordeste
<b>1937</b>	Intromissão política e subestimativas de custos na elaboração dos projetos de construção de novos açudes
<b>1945</b>	Substituição do IFOCS pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS)
<b>1956/1959</b>	Incentivo pelo presidente Kubitschek à política de açudagem, concluindo 36 açudes durante seu governo.
<b>1959</b>	Criação da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE

Fonte: elaborado pelo autor de acordo com dados da Cogerh.

Desde início foram construídos 622 açudes até 1949, sendo: 466 no Ceará, 64 no Rio Grande do Norte, 60 na Paraíba, 20 na Bahia e 12 em Pernambuco. Gerando 80% do volume total, em m<sup>3</sup>, no Ceará, 8% na Paraíba, 7% no Rio Grande do Norte, 3% em Pernambuco e 2% na Bahia (MOLLE, 1994)

Gráfico 1 - Distribuição dos açudes construídos no Nordeste até 1949.



Fonte: Adaptado de Molle (1994).

No gráfico 1, ressalta-se novamente a preferência dada ao Estado do Ceará onde encontravam-se 75% das obras e 80% do volume armazenável total, esse interesse está associado a dois principais fatores: maior conhecimento do levantamento físico-geográfico e social do sertão cearense (principalmente pelas condições climáticas e populacional) e conjuntura política.

Levando-se em conta paradigmas diferentes, a política de combate à seca no Nordeste passou por diferentes fases que se concretizaram. Conhecida como fase Hidráulica, (CAMPOS, 2014), em um primeiro momento a solução para a seca era unicamente o armazenamento de água,

Após esse período, de 1959, com a entrada de Celso Furtado (1959 – 1964) na SUDENE, até 1991, se estabelecem novos paradigmas sobre a seca, que deixa de ser um fenômeno puramente natural e ganha um caráter social. Segundo ele, a seca e suas consequências são frutos da desigualdade social. Esse período também é marcado por uma tentativa mais arrojada de diminuir as desigualdades regionais e proporcionar o desenvolvimento do Nordeste. Assim,

em consequência da atuação da SUDENE a economia nordestina, [...], experimentou no período de 1960/1970, um crescimento médio anual de seu Produto Interno Bruto (PIB) de 3,5%, enquanto a economia brasileira, nela incluída a do Nordeste, pode crescer, no mesmo período, à elevada

taxa média anual de 6,1%. Já no período de 1970/1980, época do chamado “milagre brasileiro”, o crescimento médio anual de 8,7% do PIB do Nordeste contribuiu para o incremento médio anual da economia brasileira estimado em 8,6%, (SUDENE, 2015).

Deste modo, é importante salientar que órgãos como a SUDENE e o DNOCS trabalharam para criar no Nordeste Brasileiro uma infraestrutura que possibilitasse a alocação de investimentos e indústrias na região. As obras que eles desenvolveram vão desde a construção de estradas até o investimento nas universidades públicas por meio do incentivo à pesquisa.

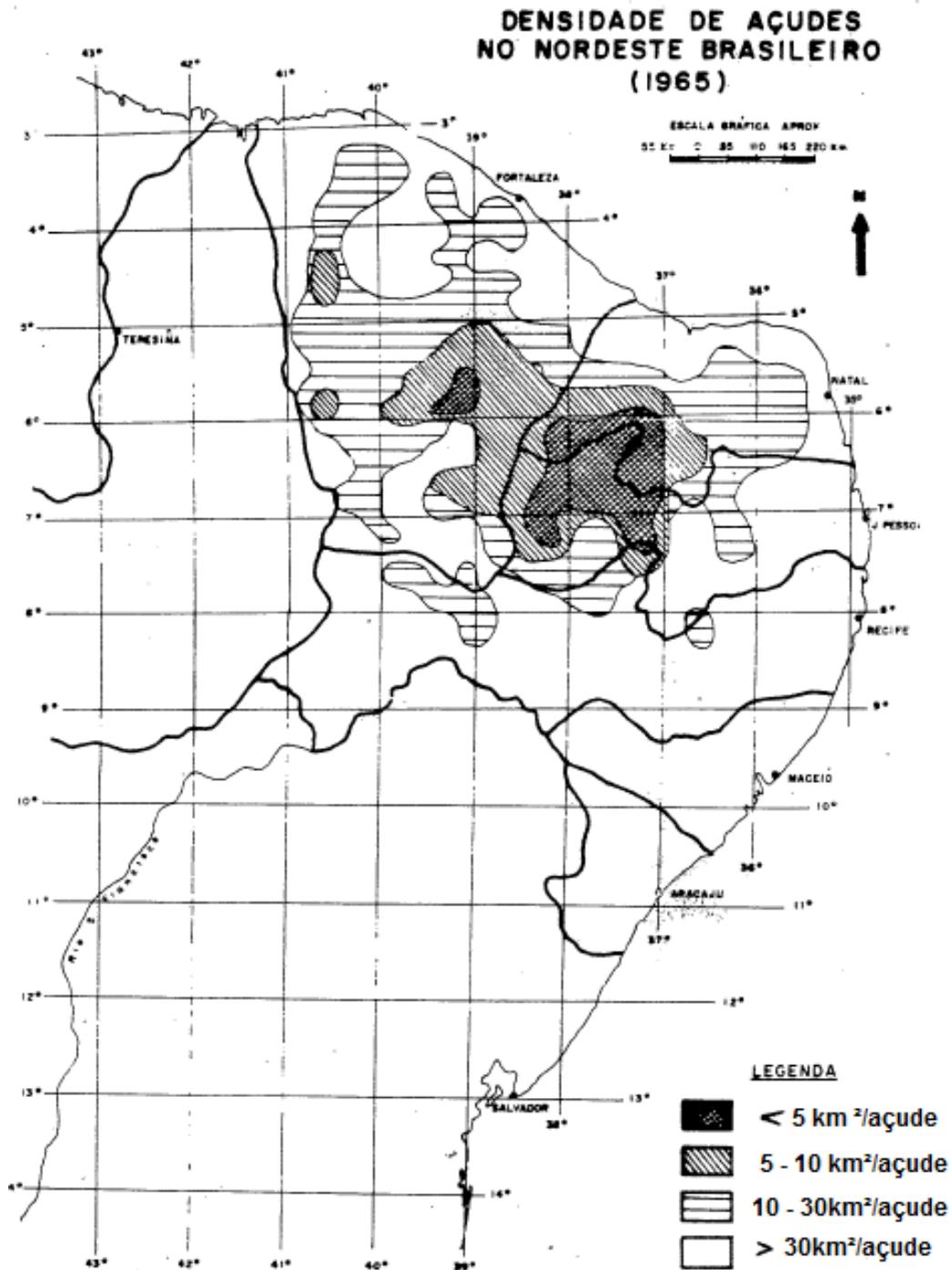
Durante a década de 1960 foi realizado pela SUDENE o primeiro inventário aéreo, com escala de 1:100.000, dos açudes de pequeno (superior a 8.000m<sup>2</sup>), médio e grande porte do Nordeste brasileiro (figura 4). Este compreendido entre os anos de 1962 a 1969, sobretudo entre os anos de 1962 e 1965 (MOLLE, 1994)

Cabe ressaltar que partes do Maranhão e da Bahia não foram cartografadas, mas, segundo a própria SUDENE, a densidade em açudes nessas regiões é notoriamente baixa ou até nula. Ressalta-se que nesse levantamento considerou-se a extensão em área dos reservatórios, não a capacidade armazenável.

O número total de açudes levantados foi de aproximadamente 17 mil reservatórios no ano de 1965. Destacam-se como áreas de maior densidade, o médio Jaguaribe, o Alto Apodi, e a bacia do Rio Piranhas, a qual inclui a região do Seridó. Segundo Molle e Cadier (1992) os açudes encontram-se principalmente em regiões de maior densidade de população, de maior ocorrência de secas, de relevo favorável e de geologia cristalina.

Percebe-se que a atuação do DNOCS e da SUDENE foi fundamental no desenvolvimento da política de açudagem na região Nordeste. Esses órgãos trouxeram por meio das intervenções de obras hidráulicas a oportunidade de o sertanejo permanecer no seu local de origem. No gráfico 2 é possível visualizar as intervenções realizadas pelo DNOCS durante boa parte do século XX.

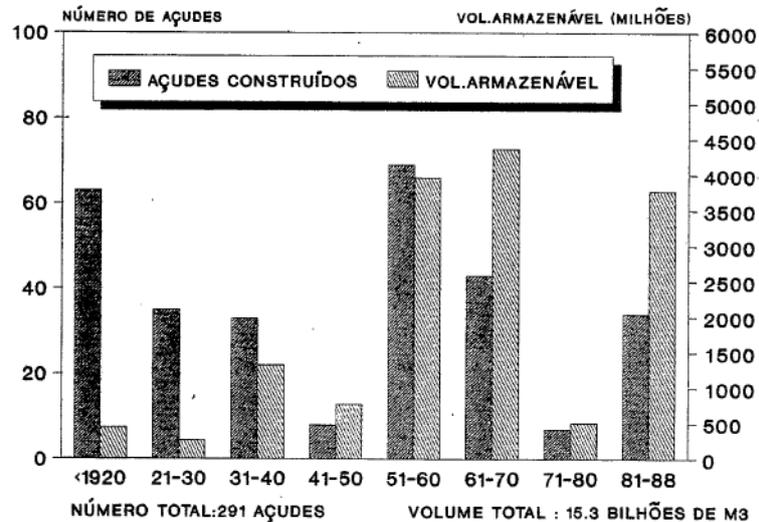
Figura 4 - Inventário aéreo, por dimensão em área (km<sup>2</sup>), dos reservatórios do Nordeste Brasileiro (1965)



Fonte: Adaptado de SUDENE (1981).

Gráfico 2 - Número de açudes públicos construídos pelo DNOCS entre 1920 a 1988.

### AÇUDES PÚBLICOS CONSTRUÍDOS PELO DNOCS NÚMERO E VOLUME ARMAZENÁVEL POR DECÊNIO



Fonte: DNOCS (1991).

O gráfico 2 permite apresentar um balanço da ação dessa autarquia no fim de 1988. Esses números não representam o total da açudagem pública, já que muitos outros órgãos, como a CODEVASF, CHESF, EMBASA, CERB, Secretarias da Agricultura, Prefeituras etc também foram responsáveis por tais construções. Se considerarmos a repartição por estado, o Ceará abarca grande parte, sobretudo no que diz respeito aos volumes com 58% do volume armazenável até o final da década 1980, o que se deve parcialmente ao açude Orós, construído na década de 1960 com capacidade de 1.940 bilhões de m<sup>3</sup>.

A seguir é possível visualizar (Tabela 1) as 48 maiores reservatórios do semiárido do Nordeste brasileiro com volume acima de 100 milhões de metros cúbicos de água para fins de abastecimento urbano. Não consta nessa tabela os grandes açudes destinados à geração de energia elétrica, como é o caso de Sobradinho, na Bahia.

Tabela 1 - Os maiores reservatórios do semiárido brasileiro.

<b>Barragem</b>	<b>Capacidade (m3)</b>	<b>Cidade</b>	<b>Estado</b>
01. Castanhão	6,700 bilhões	Alto Santo	Ceará
02. Armando Ribeiro	2,400 bilhões	Açu	R.G.do Norte
03. Orós	1,940 bilhões	Orós	Ceará
04. Banabuiú	1,600 bilhões	Banabuiú	Ceará
05. Pedras	1.640 bilhões	Pedras	Bahia
06. Mae d'agua	1,400 bilhões	Coremas	Paraíba
07. Araras	891 milhões	Varjota	Ceará
08. Sta. Cruz do Apodi	600 milhões	Apodi	R.G.do Norte
09. Boqueirão	536 milhões	Boqueirão	Paraíba
10. Poço da Cruz	504 milhões	Ibimirim	Pernambuco
11. Serrinha	500 milhões	Serrinha	Pernambuco
12 Pedra Branca	434 milhões	Quixadá	Ceará
13. Boqueirão	418 milhões	Cabaceiras	Paraíba
14. Pentecoste	396 milhões	Petencoste	Ceará
15. Salinas	387 milhões	Nazaré	Piauí
16. Pacoti	380 milhões	Horizonte	Ceará
17. S.José Jacuibe	361 milhões	S.José Jacuibe	Bahia
18. Entremontes	339 milhões	Parnamirim	Pernambuco
19. Jucazinho	327 milhões	Surubim	Pernambuco
20. General Sampaio	322 milhões	Gal.Sampaio	Ceará
21. Serrinha II	311 milhões	Serra Talhada	Pernambuco
22. Trussu	301 milhões	Iguatu	Ceará
23. Umari	293 milhões	Upanema	R.G.do Norte
24. Lagoa do Carro	270 milhões	Lag. do Carro	Pernambuco
25. Eng.Ávidos	255 milhões	Cajazeiras	Paraíba
26. Edson Queiroz	250 milhões	Sta Quitéria	Ceará
27. Acauã	253 milhões	Itatuba	Paraiba
28. Anaje	256 milhões	Anajé	Bahia
29. Jenipapo	246 milhões	Jenipapo	Piauí
30. Cocorobo	245 milhões	Canudos	Bahia
31. Pacajus	240 milhões	Pcajus	Ceara
32. Pedra Redonda	216 milhões	Pedra Redonda	Piauí
33. Jaburu	210 milhões	Ubajara	Ceará
34. Caxitoré	202 milhões	Umirim	Ceará
35. Arneiro II	197 milhões	Arneiroz	Ceará
36. Chapéu	188 milhões	Parnamirim	Pernambuco
37.Petrônio Portela	181 milhões	Brasileira	Piauí
38. Araçoiaba	171 milhões	Araçoiaba	Ceará
39. Miroro	158 milhões	Ibipeba	Bahia

40. Jacurici	147 milhões	Jacurici	Bahia
41. Pompeu Sobrinho	143 milhões	Choró	Ceará
42. Poço Branco	136 milhões	Poço Branco	R.G.do Norte
43. Cedro	126 milhões	Quixada	Ceará
44. Sítios Novos	126 milhões	Sítios Novos	Ceará
45. Saco	124 milhões	Serra Talhada	Pernambuco
46. Saco II	124 milhões	S.M. Boa Vista	Pernambuco
47. Fogareiro	119 milhões	Quixeramobim	Ceará
48. Antenor Ferreira	118 milhões	Quixeramobim	Ceará

Fonte: Adaptada de RODRIGUES (2014).

A tabela 1 apresenta o Estado do Ceará com mais de 40% do total das 48 maiores reservatórios, para abastecimento urbano, do semiárido nordestino, além do Estado que possui a maior quantidade de reservatórios do país, com aproximadamente seis mil açudes (tabela 2) e o maior reservatório para usos múltiplos do Brasil.

Tabela 2 - Distribuição dos espelhos d'água artificiais dos Estados do Nordeste.

<b>Estado</b>	<b>Quantidade de espelhos artificiais</b>
<b>Ceará</b>	6129
<b>Rio Grande do Norte</b>	3025
<b>Paraíba</b>	2014
<b>Bahia</b>	1006
<b>Pernambuco</b>	981
<b>Piauí</b>	281
<b>Maranhão</b>	237
<b>Alagoas</b>	134
<b>Sergipe</b>	73
<b>Nordeste</b>	13870

Fonte: Elaborado pelo autor de acordo com dados da FUNCEME (2012).

Posterior à fase de construção destes reservatórios, a última etapa dessa política é tida como de gerenciamento e sustentabilidade, que tem como preocupação fundamental o destino da água e seus usos. Essa dispõe de um quadro institucional em todas as esferas: federal, estadual e municipal.

Nesse contexto surge também a preocupação com as perdas por evaporação, numa época em que pouca informação existia a esse respeito. Baseando-se na observação de Quixadá, os açudes perdem um metro e meio por ano pela evaporação e infiltração conjuntamente (MEDEIROS e SOUZA, 1988).

a evaporação sob um solo de brasas, favorecida por constante e forte ventania que domina as secas, arrebatada as águas, cujo consumo também é aumentado. Nas secas as águas desaparecem a “olhos vistos” como dizem os sertanejos (MOLLE, 2004, p. 81).

É verdade que essas excessivas perdas por evaporação tornam o açude ineficiente quanto a sua capacidade de guardar água nos períodos de estiagens. Portanto, se faz necessário o planejamento estratégico, visando um estudo das reais condições naturais do local onde será construído o reservatório. E essa preocupação vem de encontro com a nova fase da política de açudagem no Nordeste brasileiro, a política de gestão dos reservatórios.

### **2.3 Os desafios da gestão dos reservatórios cearenses e as políticas atuais**

O fenômeno das secas é muito mais universal do que ordinariamente se supõe. Cerca da metade da superfície terrestre experimenta os seus maléficos efeitos. A ocorrência e a intensidade destes efeitos variam muito, dependem de diversas circunstâncias ligadas à posição geográfica e às condições climáticas gerais das diferentes regiões assoladas.

A calamidade das secas, que a intervalos diversos aflige o Nordeste, é hoje um fenômeno não só plenamente explicado, como também previsível. No entanto, em 1958, o geógrafo e professor Hilgard Sternberg, já falava sobre a falta de espírito científico no tratamento de nossos problemas de convivência com a Seca. Ainda hoje o cenário não é diferente, o que é motivado, pelo desinteresse político em solucionar os efeitos da seca sobre a população.

De antemão é necessário esclarecer a diferença entre estiagem e seca; quando se refere à periodicidade, por exemplo, no Ceará, as chuvas, escassas ao longo do ano, concentram-se no período do verão/outono, seguindo-se logo depois um período seco e rigoroso, esse é o período de estiagem; Já a seca é caracterizada quando as chuvas não caem no período costumeiro, ocasionando o prolongamento da estiagem no princípio do ano, seguido da estiagem habitual no

restante do período, tendo como resultado um ano inteiro sem chuvas, o que pode se repetir, sem interrupção, por um, dois ou mais anos.

Como abordado por Ab' Saber (1999), que define o Nordeste como uma região sob intervenção, onde o planejamento estatal define projetos e incentivos econômicos de alcance desigual, mediante os programas incompletos e desintegrados do desenvolvimento regional. A mais grave e repelente falácia sobre o Nordeste seco ocorre quando se pretende o nordestino a conviver com a seca. Trata-se de uma atitude que atinge em cheio a dignidade da população assolada por esses efeitos das secas.

A maioria da população civilizada é de colonização africana ou portuguesa que aqui chegou trazendo uma fórmula de reserva de água, o açude, que ele aprendeu a construir com o árabe na invasão da Península Ibérica. Esta fórmula de guardar num copo fundo o que chove numa bacia, talvez tenha sido a equação aritmética que o cearense aprendeu para resolver o problema da convivência com a seca. Só que não é um clima tropical, é um clima trópico-equatorial. E por isso a evaporação é três vezes a média da precipitação da chuva. Portanto, a equação é negativa (MACÊDO, 1981, p. 110).

A partir dessa correlação negativa, de três vezes o valor de perda contra um de chuva faz-se necessário entender que o diagnóstico eficiente deve ser realizado a partir de dois elementos-chave: a transferência de água por meio da movimentação no território e equipamentos eficientes; ou seja, uma política de gestão das águas que considere tanto a oferta como a demanda de água.

No contexto do semiárido, a gestão de recursos hídricos deve considerar dois conceitos-chave para uma eficiência deste gerenciamento: a gestão otimizada e a gestão de demanda. Uma não deve excluir a outra, pois enquanto a primeira se preocupa com a distribuição igual, visando satisfazer todos os seus usos e necessidades, a segunda se preocupa com a alocação das ofertas disponíveis e o monitoramento e medição dos usos.

Para Freitas (2010), a gestão otimizada deve considerar: o escalonamento das demandas locais por água, segundo uma sequência de prioridades de atendimento; considerar as variáveis econômicas que expressam prejuízos de não abastecimento de cada uma das demandas; regras de racionamento quando da impossibilidade de atender todas as demandas simultaneamente (acionamento total ou parcial); minimização das perdas por

evaporação; minimização dos custos econômicos de não abastecimento pelo critério de racionamento total ou parcial.

Quanto à gestão de demanda, Simpson (1994) afirma que se deve considerar: o contexto legal e institucional, consideração a administração e distribuição das ofertas de água disponíveis de uma área; tarifas e encargos da água, este implica diretamente no usuário onde a oferta de água tem seu valor real; mecanismos de mercado para ajustar a oferta com demandas variáveis; tecnologias eficientes, o incentivo a adoção destas para o uso eficiente da água; renovação dos sistemas de armazenamento e um programa de manutenção sustentável para manter um alto nível de eficiência quanto as perdas; criação de uma consciência pública na conservação e uso inteligente da água.

Portanto, ambas são estratégias de gestão complementares que devem ser cuidadosamente implementadas. É dever de todos os gestores observar esses aspectos, especialmente quando se trata de região semiárida com escassez de água. E o Estado do Ceará, como se enquadra na política de gestão discutida anteriormente?

O Ceará vem realizando uma gestão e monitoramento dos recursos hídricos, especialmente com os reservatórios, várias alternativas de gerenciamento vêm sendo implementadas buscando a eficiência do controle de água, como a própria criação dos comitês de bacias, imposta por determinação federal na Lei das Águas em 1997.

Com a inserção de novas necessidades, o Estado cria estruturas de abastecimento de água, conseqüentemente novos investimentos do capital privado são implantados, gerando cada vez mais demanda e tornando-se necessário o estabelecimento de novas políticas para o gerenciamento das águas.

Nesse contexto, a partir da década de 80 o Ceará passa a se preocupar com a organização do setor de recursos hídricos institucional, buscando amenizar a convivência traumática com o fenômeno das secas. O Estado é apontado como um dos pioneiros na política de recursos hídricos efetivada, a partir de uma gestão controlada no local, embora seja uma intervenção emergencial e sem a perspectiva de solução permanente.

Esse planejamento integrado surge na perspectiva do desenvolvimento de uma visão abrangente do planejamento, políticas públicas, tecnológicas e de

educação, com o objetivo de promover a integração participativa de usuários, autoridades, cientistas e do público em geral, além das organizações e instituições públicas e privadas. No entanto, na prática, esse planejamento integrado não apresenta a eficiência desejada pelo programa inicial, pois o interesse público quanto à solução de problemas gerados pela escassez hídrica estão trabalhando por meio de soluções emergenciais e provisórias, que não é de grande interesse a qualidade de vida da população.

Contudo, no Ceará, a assertiva seguinte de Tundisi e Tundisi (2011) parece representar o que ocorre no Nordeste, em geral, e no Ceará, em específico.

O gerenciamento integrado de recursos hídricos é uma das soluções propostas no final da década de 1980 e decorre da incapacidade de construir um processo dinâmico e interativo somente com uma visão parcial e exclusivamente tecnológica (p. 163).

A resolução de conflitos, a otimização dos usos múltiplos de rios, lagos e represas e a promoção de bases científicas sólidas estão relacionadas não somente na ampla e completa análise do ecossistema, e também da avaliação em um contexto local, regional e global (ROSENGRANT, 1996).

Como a história da política de açudagem no Estado do Ceará está concomitante relacionada com a história da açudagem do Nordeste, passando por quatro momentos importantes: primeira fase (1880-1909), estudos e levantamentos físico-geográficos da região para construção dos açudes; segunda fase (1909-1959), conhecida com fase DNOCS devido à ação institucional nas questões das águas; a terceira fase (1959-1980), com a mudança da ação institucional devido à criação da SUDENE em 1959 onde passa a compreender o fenômeno da seca na ótica das estruturas socioeconômicas; e a quarta fase (1980-atual), que para Souza Filho (2001) caracteriza-se pela fase Estado em que apresenta alguns momentos importantes segundo histórico da Secretaria de Recursos do Estado do Ceará (SRH-CE), a saber.

Durante muito tempo a escassez hídrica no estado do Ceará foi justificada apenas por suas condições naturais. Atualmente, porém, com a abertura de mercados implantados no Estado pelo Governo das Mudanças, essa escassez deixa de ser exclusivamente um fator natural para ser, também, de crescente demanda. Isso devido ao território cearense passar a desenvolver outras atividades, dentre as

quais citam-se a agricultura irrigada e a indústria, dependentes de grande quantidade de água para sua realização (LINS, 2011).

Entretanto, essa gestão não busca solução mais consistente quanto à capacidade de enfrentamento da população a tornar-se independente dos “favores” do Estado. Nascimento (2012), afirma que o sistema de barramentos enfrenta problemas com relação ao seu uso ótimo no contexto hidroclimático do semiárido (alta evaporação e salinidade) produz modificações ambientais à montante ou à jusante das barragens e, de pronto, altera o ciclo hidrológico. Portanto, a população tende a continuar refém das ações do governo incentivar ou não uma política de planejamento e gestão que apenas minimizem os efeitos da seca na região.

Quadro 2 - Histórico de atuação da Secretaria de Recursos Hídricos do CE.

<b>1982</b>	Criação do Conselho Estadual de Recursos Hídricos-CONERH.
<b>1987</b>	Criação da Secretaria dos Recursos Hídricos-SRH
<b>1987</b>	Criação da Superintendência das Obras Hidráulicas-SOHIDRA (integrante do Sistema SRH)
<b>1989/1992</b>	Elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos-PLANERH
<b>1993</b>	Criação da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos-COGERH (integrante do Sistema SRH)
<b>1993</b>	Construção do canal do trabalhador
<b>1994</b>	Implementação do Programa de Desenvolvimento Urbano e Gerenciamento dos Recursos Hídricos-PROURB
<b>1995</b>	Início das atividades de Outorga e Licença para uso da água
<b>1997/1999</b>	Lei das Águas Elaboração e implantação dos Planos de Bacias Hidrográficas
<b>2000</b>	Assinatura do contrato de financiamento do Projeto de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos-PROGERIRH celebrado entre Estado e Banco Mundial.
<b>2003</b>	Inauguração do Açude Castanhão o maior do Ceará.
<b>2004</b>	Inaugurado Trecho I do Eixão, ligando Açude Castanhão ao Açude Curral Velho, em Morada Nova.
<b>2005</b>	Iniciadas as obras dos Trechos 2 e 3 do Eixão, entre Açude Curral Velho-Serra do Félix e Serra do Félix-Açude Pacajus, na Região Metropolitana de Fortaleza.
<b>2008</b>	Concluídas negociações financeiras, com recursos do Governo Federal, via PAC, BNDES e Banco Mundial para construção dos Trechos 4 e 5 do Eixão.
<b>2011</b>	Inserção do Ceará nas obras de adutoras pelo PAC 2.

<b>2012</b>	Conclusão do trecho 4 do Eixão.
<b>2013</b>	Início das construções de adutoras externas no Ceará, por meio do PAC 2.
<b>2015</b>	A SRH Ceará assina contrato para realizar consultorias no Nordeste brasileiro sobre a política de integração de Recursos Hídricos.

Fonte: elaborado pelo autor de acordo com dados da COGERH.

Por décadas o gerenciamento de recursos hídricos do Estado do Ceará ficou sob a responsabilidade institucional do DNOCS, porém com restritas ações quanto a sua participação na gestão das águas do Estado. Essas eram limitadas à construção de açudes, barragens e poços artesianos sem comprometer-se a estudos detalhados quanto às localidades que receberiam tais empreendimentos. Atualmente, com um quadro de funcionários bastante reduzido, o órgão é responsável pela construção destes fixos e pela implantação de perímetros irrigados.

No ano de 1992, a consolidação da gestão dos recursos hídricos no Estado foi estabelecida através do Plano Estadual de Recursos Hídricos e instituído o Sistema de Gestão dos Recursos Hídricos (SIGERH) pela Lei Estadual nº11.996, de 24 de junho do mesmo ano. Em consonância com os princípios da Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que tem a bacia hidrográfica como unidade básica de gestão; o gerenciamento seria integrado, participativo e descentralizado; a água seria reconhecida como bem econômico; a outorga, vista como um instrumento indispensável ao gerenciamento; defendia-se o reconhecimento da indissociabilidade quantidade/qualidade; e, por último, a necessidade da implantação de um órgão que auxiliasse a SRH na gestão das águas (no Ceará, essa função foi delegada à COGERH). Subordinadas à Agência Nacional das Águas (ANA), atualmente todas essas instituições fazem parte do SIGERH: a FUNCEME, a SRH, a SOHIDRA e a COGERH (COGERH, 2008)

A criação da Secretaria dos Recursos Hídricos – SRH, da Superintendência de Obras Hidráulicas – SOHIDRA, a aprovação da Lei Estadual de Recursos Hídricos, a criação da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos - COGERH e o monitoramento de tempo e do clima realizado pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME fazem parte da política de estruturação da gestão hídrica estadual.

Após essa estruturação da gestão das águas estaduais, a pressão se volta para os representantes ou gestores destas instituições, principalmente, quanto ao problema na insuficiência na consolidação da integração interinstitucional. Levando em conta a experiência desenvolvida na região e o acervo de conhecimento desenvolvido ao longo dos anos pode-se listar problemas relacionados à gestão e monitoramento de reservatórios no estado:

- Segurança das obras hídricas realizadas;
- Integração interinstitucional;
- O uso da água como bem econômico e social;
- Monitoramento hidroclimático dos reservatórios e do entorno;
- Instrumentalização institucional e tecnológica;
- Capacitação e valorização do quadro de funcionários;
- Gestão participativa eficiente;
- Sistema de alerta para desastres naturais e eventos extremos;
- Política permanente de racionamento de água.

Essas atividades visavam garantir a manutenção, em longo prazo, dos reservatórios e minimizar os efeitos adversos sobre esses e outros recursos. Pressupunha também que a eficiência no uso da água seja o elemento-chave do gerenciamento estratégico, pois os recursos hídricos têm a capacidade de regeneração limitada.

Aliada a política de açudagem encontram-se diversas outras alternativas de convivência com a seca, dentre elas destacam-se: as ações de infraestruturas e as ações emergenciais. Essas, como políticas públicas de caráter institucional, nas esferas federal, estadual e municipal.

Essas ações fazem parte das “Políticas Públicas”, que são diretrizes, princípios norteadores de ação do poder público; regras e procedimentos para as relações entre poder público e sociedade, mediações entre atores da sociedade e do Estado. São, nesse caso, políticas explicitadas, sistematizadas ou formuladas em documentos (leis, programas, linhas de financiamentos) que orientam ações que normalmente envolvem aplicações de recursos públicos (TEIXEIRA, 2002). Essas visam responder às demandas, principalmente dos setores marginalizados da

sociedade, considerados como vulneráveis e submetidos a condições desfavoráveis em relação aos demais cidadãos.

Para o Governo Federal, a construção de açudes está inserida no quadro de obras estruturantes, que, além de servirem para o abastecimento humano, também se destinam à utilização de água para a irrigação e para a geração de energia, o que aumenta a capacidade de sustentabilidade econômica regional (BRASIL, 2013).

Outro tipo de obra estruturante bastante recorrente nas políticas atuais é a construção de adutoras, inseridas em diversos programas do governo que subsidiam as obras, dentre eles destacam-se: Adutoras Regionais; Adutoras do Sertão; ESTADUAL; PAC; PROAGUA; PROAGUA NACIONAL, PROASIS; PROGERIRH; PROGERIRH NACIONAL; PROURB. O estado do Ceará conta, atualmente, com 128 adutoras construídas nas 12 bacias hidrográficas do território cearense com extensão total de 1.738,00 km e vazão total de 4.760,24 l/s, o Estado ainda conta com mais duas adutoras em construção, a de Alto Santo (extensão de 10,87 km e vazão de 16,80 l/s) e a do Ipaumirim/Baixio/Umari (extensão de 35,59 km e vazão de 30,37 l/s) (SRHCE, 2015).

Tem-se ainda a transposição de água entre Bacias no estado do Ceará, na qual, através de grandes obras hídricas de transporte de água foram concluídas para abastecer grandes cidades. Um exemplo é o Canal da Integração, que conduz água desde o Reservatório do Castanhão até a região da capital cearense, ao longo de 225 quilômetros.

Outra obra de grande porte prevista é o Projeto do Cinturão de Águas do Ceará (CAC – figura 6), Terá como objetivo interligar as 12 bacias hidrográficas do Estado, numa extensão total de 1.300 quilômetros, a partir da transposição do Rio São Francisco, no município de Jati, localizado no extremo Sul do Ceará. Este tem previsão de conclusão para o ano de 2040 (SRH/CE, 2015).

O Canal da Integração (Eixão) constitui importante trecho no Cinturão das Águas. Trata-se de um complexo de estação de bombeamento, canais, sifões, adutoras e túneis, que realizam a transposição das águas do Açude Castanhão para reforçar o abastecimento da Região Metropolitana de Fortaleza, numa extensão de 255 quilômetros até o Complexo Portuário e Industrial do Pecém, fazendo a

integração das bacias hidrográficas do Jaguaribe e Região Metropolitana (SRH/CE, 2015).

Figura 5 - Trechos do projeto do Cinturão de Águas do Ceará (CAC).



Fonte: SRH/CE (2015).

Quanto às políticas de ações emergenciais no Estado do Ceará, destacam-se: Operação carro-pipa; Construção de cisternas; Perfuração e

Recuperação de Poços; além de programas como Bolsa Estiagem, Garantia Safra, Venda de Milho, Linha Crédito. O Ceará conta com 1.227 pipeiros contratados e 126 municípios atendidos; com 183.933 cisternas de consumo construídas entre os anos de 2011 e 2014; com 346 poços com recuperação concluída e mais 761 previstos (BRASIL, 2014).

Vale salientar que, embora se tenha uma intenção de política de incentivo ao planejamento e gestão de recursos hídricos local, o Ceará ainda necessita avançar bastante na política de soluções permanentes contra os efeitos da seca. Falta a integração do gerenciamento dos órgãos públicos com as prioridades da população e do desenvolvimento econômico local, aumentar o número de funcionários nestes órgãos, capacitar o corpo de funcionários, ampliar a rede de monitoramento direto das águas do Estado, promover análises mais precisas quanto à oferta e a demanda de água, criar uma rede de atendimento ao cidadão que favoreça a participação da sociedade no planejamento e gestão dos recursos hídricos.

Levantamento feito pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (Funceme) em 2017 mostra que nos últimos cinco anos, de 2012 a 2016, foram apenas 516 milímetros de chuva, em média, no Ceará. O índice é o menor desde 1910. Em 2017, até o momento, o Ceará conta com apenas 10% de água armazenada em seus açudes (FUNCEME, 2017).

#### **2.4 Dimensionamento dos reservatórios e a conjuntura do gerenciamento**

A partir das duas vertentes de convivência com a seca, a estruturante e a emergencial, a política de construção de reservatórios destaca-se como a obra estruturante mais consolidada no Estado do Ceará. Porém, abre espaço para um debate que se propõe a discutir a dimensão dos reservatórios e sua eficiência, para o armazenamento de água no ambiente semiárido cearense.

Portanto, qual a dimensão do açude seria mais eficiente no contexto do semiárido, os açudes de pequeno ou de grande porte? Essa questão já levou a inúmeras discussões como os de, Assunção e Liviggstone (1993), Suassuna (1993), Campos (1997, 2001, 2003), Molle (1994), Aragão e Oliveira (2011), Silans (2003), Malveira *et al* (2012), Pereira e Curi (2013) que discutem o tema e defendem a pequena e/ou a grande açudagem.

Segundo Assunção e Livigstone (1993) os açudes têm sido subaproveitados para promover atividades produtivas como agricultura, piscicultura e criação de gado; sendo, realmente utilizados apenas em período de longas estiagens (plurianual).

Um dos argumentos de quem defende a pequena açudagem é que os grandes reservatórios perdem muita água por evaporação, além disso, os pesquisadores que a defendem alegam que não demanda de tanto investimento financeiro público como os grandes açudes, logo, é uma estratégia mais econômica. Molle (1994) corrobora com essa ideia, afirmando que os pequenos açudes não têm gastos com desapropriação e manutenção, visto que, cabe aos proprietários gerenciar os mesmos.

No contexto dos pequenos e médios açudes estima-se uma taxa de evaporação de cerca de 40% no período de estiagem em anos de precipitação normal. Nesse ritmo, um açude, por exemplo, com 100 mil m<sup>3</sup> de água armazenada durante o período chuvoso perde até 15 mil m<sup>3</sup> de sua lâmina de água por evaporação logo no início do período de estiagem (SILANS, 2003). Portanto, isso compromete a eficiência desse reservatório quanto a oferta de água durante o período de estiagem.

Já os pequenos açudes funcionam “como importantes marcos sinalizadores para a organização produtiva e, principalmente, cultural” das comunidades rurais (ARAGÃO E OLIVEIRA, 2011, p. 40). Os autores afirmam ainda que, apesar da baixa eficiência de regularização dos pequenos açudes, estes devem ser considerados nas políticas de gestão devido a sua importância no atendimento das necessidades das populações nordestinas, além de participar diretamente no processo produtivo local.

Um fato que prejudica a utilização mais eficiente dos grandes açudes e dos rios que foram perenizados por eles, é que estas áreas são de posse de grandes proprietários de terras que dificultam a desapropriação para poder gerar projetos de irrigação, por exemplo. (FAO/World Bank, 1983 *apud* ASSUNÇÃO e LIVIGSTONE, 1993).

Também como argumento contra os grandes reservatórios os autores Assunção e Livigstone (1993), e Molle (1994), colocam que a única vantagem a

favor dos mesmos é que estes servem para o abastecimento em períodos de longa estiagem. Todavia, os autores afirmam que “O fornecimento de água de última instância mediante uma combinação de grandes açudes e caminhões-tanque foi feito em quantidades muito pequenas, insignificantes quando comparadas ao volume acumulado disponível” (ASSUNÇÃO e LIVIGSTONE, 1993, p.15). Os autores ainda colocam que uma rede de cisternas seria mais eficiente que os grandes açudes.

Em contrapartida, os defensores da grande açudagem colocam em questão que os pequenos reservatórios são incapazes de oferecer suprimento em caso de secas que se prologuem por mais de um ano. Segundo Campos (1997) se a profundidade média do barramento for igual à lâmina evaporada a capacidade de regularização interanual é inexistente, sendo assim, não ajuda a minimizar a vulnerabilidade da região à seca.

Levando em consideração que os rios do Nordeste são intermitentes e que em, praticamente, metade do ano esses rios ficam “secos” logo os pequenos reservatórios ficam sujeitos à imprevisibilidade do escoamento e das chuvas (CEARÁ, 2008). Há então a necessidade de construir barramentos que tenham capacidade de acumulação igual ao volume médio escoado pelo mesmo para que se possa ter uma regularização interanual (CAMPOS, 1997).

Outro ponto de discussão seria a interferência, entre os açudes, pois, como já dito, os barramentos de pequeno porte são feitos, de modo geral, por iniciativa particular sem estudos aprofundados a cerca do impacto e localização dos mesmos. Quando esses barramentos são feitos a montante de um grande açude podem provocar a perda de eficiência do último.

Estudos realizados por Campos *et al* (2003) demonstram, em análise estatística feita com 40 reservatórios no vale do Rio Jaguaribe, que em média, os grandes reservatórios são mais eficientes que os pequenos, enquanto a existência de pequenos açudes à montante prejudica o volume de regularização dos grandes açudes. Em estudo realizado foi possível observar que:

Açude Várzea do Boi regularizava, sem a interferência dos reservatórios, um volume anual de 7,4 hm<sup>3</sup>/ano. Ao adicionar-se os pequenos reservatórios a sua montante, sua vazão regularizada individual passa para 4,4 hm<sup>3</sup>/ano. Tal diferença não é suprida pelas vazões regularizadas individualmente por cada reservatório que, juntas, somam apenas 1,03

hm<sup>3</sup>/ano. Os resultados apontam uma redução da ordem de 40% nas vazões regularizadas pelo reservatório, devido à pequena açudagem a montante (p.15).

Campos *et al* (2003) comprovam que a eficiência dos açudes de grande capacidade são maiores em relação ao fator adimensional de evaporação, esse fator leva em consideração a lâmina de água evaporada, a forma do reservatório e o deflúvio médio afluente anual. Os pequenos reservatórios regularizam, “em média, 23% do deflúvio médio anual ( $\mu^1$ ) e evaporam 18%. Os grandes reservatórios têm um desempenho muito melhor; em termos médios, regularizam 33% de  $\mu$  e evaporam apenas 7% de  $\mu$ .”.

Campos (1997, p. 294) pontuou elementos de vantagens e desvantagens acerca da açudagem de pequeno e grande porte:

- 1) Para fins de regularização interanual, os grandes açudes, por terem um fator adimensional de evaporação mais baixo, são mais eficientes que os pequenos açudes;
- 2) os pequenos açudes, localizados próximos às cabeceiras dos rios, são, em geral, incapazes de resistir a secas mais prolongadas; a estes deve caber somente o papel de regularização intra-anual;
- 3) os pequenos açudes constituem-se na única possibilidade do aproveitamento das terras próximas às nascentes dos rios; a estes cabem o papel de distribuidor espacial do recurso *água*; entretanto, paga-se um alto preço em perdas por evaporação;
- 4) a disseminação descontrolada de açudes de pequeno porte a montante dos grandes açudes resulta em redução da capacidade de regularização dos grandes açudes, e, muitas vezes, na redução da eficiência de todo o sistema; e
- 5) o papel de reservas estratégicas de águas só deve caber aos grandes açudes; a esses devem ser atribuídas regras compatíveis com a segurança que deve ser atribuída a essas obras.

No quadro 3 é possível visualizar o resumo das principais vantagens e desvantagens da pequena e da grande açudagem, considerando o ambiente semiárido:

Quadro 3 - Comparativo das vantagens e desvantagens das dimensões dos reservatórios para o semiárido.

<b>Pequena açudagem</b>	<b>Grande açudagem</b>
Baixo custo de construção e manutenção;	Alto custo de construção e manutenção;
Fácil acesso para pequena agricultura e pecuária;	Alto custo para a distribuição da água em períodos de estiagem (carros-pipa).

<sup>1</sup> Deflúvio médio anual: capacidade do reservatório de manter uma altura média efetiva maior.

Incapacidade de regularização interanual; Única forma de aproveitar as águas próximas as nascentes;	Regulação interanual;
Grandes perdas de água por evaporação;	Menor perda de água por evaporação;
Única forma de aproveitar as águas próximas as nascentes;	Sub-aproveitamento devido à dificuldade de acesso a água;
Má localização que prejudica a eficiência de açudes a sua jusante;	Fonte segura de água em períodos de longa estiagem;

Fonte: Adaptado de Campos (1997) e Assunção e Livigstone (1993).

Porém, diante do que foi evidenciado ressalta-se a necessidade de estudos mais detalhados para sua implementação e para o seu uso. O debate permanece vigente devido, principalmente, à questão de eficiência das águas realocadas, que implica diretamente no processo de gerenciamento local.

A decisão sobre a dimensão do reservatório recai diretamente sobre as questões de gestão, devido principalmente a potencialização destes reservatórios ao desenvolvimento local da região onde serão construídos. Reflexo disso, há tempos torna-se imprescindível classificá-los, o dimensionamento, para aperfeiçoar a gestão e demanda da água.

A primeira classificação de açudes no Nordeste brasileiro foi realizada em 1878, pelo Dr. José Júlio de Albuquerque, Presidente da Província do Ceará, assim classificava os açudes (Quadro 4):

Quadro 4 - Classificação de reservatórios hídricos de 1878

<b>Pequenos açudes</b>	<b>São aqueles destinados aos usos das fazendas de criação e lavoura, a cargo dos particulares;</b>
<b>Médios açudes</b>	São destinados a fornecer água para uso dos habitantes de uma cidade, vila ou povoado, a cargo das municipalidades;
<b>Grandes açudes</b>	São destinados a formar lagos que facilitassem a cultura de vastos terrenos, mediante aperfeiçoado sistema de irrigação que fosse estabelecido.

Fonte: Adaptado de Molle (1994)

Esta classificação baseia-se no uso previsto dos açudes e na diferenciação dos órgãos responsáveis por sua construção.

Em 1909, o IOCS apresentou uma classificação, em que os açudes seriam em pequeno, médio e grande porte, de acordo com o critério da capacidade volumétrica do açude (Quadro 5):

Quadro 5 - Classificação de reservatórios hídricos de 1909

<b>Grandes açudes</b>	<b>Capacidade superior a 10 milhões de metros cúbicos e profundidade média maior que 6 metros;</b>
<b>Médios açudes</b>	Capacidade entre 2 e 10 milhões de metros cúbicos, e profundidade superior a 5 metros;
<b>Pequenos açudes</b>	Capacidade entre 500 mil e 2 milhões de metros cúbicos, e profundidade de 4 metros, no mínimo.

Fonte: Adaptado de Molle (1994)

Essa classificação, baseada na capacidade de armazenamento dos reservatórios, refletia uma política preocupada, em primeiro lugar, em armazenar o maior volume de água possível, como se a segurança hídrica deste fosse proporcional a este volume. Esta concepção norteou a política da grande açudagem até os dias de hoje.

De 1909 a 1931 houve algumas modificações nessas escalas (Quadro 6):

Quadro 6 - Classificação de reservatórios hídricos entre período 1909 a 1931

<b>Grandes açudes</b>	<b>Capacidade superior a 10 milhões de metros cúbicos e profundidade média superior a 8 metros;</b>
<b>Médios açudes</b>	Capacidade entre 3 e 10 milhões de metros cúbicos, e profundidade superior a 6 metros;
<b>Pequenos açudes</b>	Capacidade entre 500 mil e 3 milhões de metros cúbicos, e profundidade de 5 metros, no mínimo.

Fonte: Adaptado de Molle (1994)

Em contraponto, em 1927, considerando o costume do sertanejo de classificar os açudes a partir de sua resistência à seca, Phelippe Guerra, transcreve a seguinte classificação (Quadro 7):

Quadro 7 - Classificação de reservatórios de 1927

<b>Barreiro</b>	<b>É uma pequena represa de barro, com sangradouro lateral rudimentar, que seca todo ano e serve principalmente de bebedouro intermitente para o gado;</b>
<b>O pequeno açude</b>	Sendo o mais difundido, serve principalmente para assegurar o abastecimento durante a estação seca, de maneira a estabelecer a junção entre dois períodos chuvosos, embora não tenha eficiência para combater longos períodos de estiagem;
<b>O médio açude</b>	Sua capacidade faz com que a probabilidade de secar seja muito inferior àquela do pequeno açude. Ele permite, no mínimo, atravessar um ano de seca, o que significa, não raro, ser ele a principal fonte de abastecimento da propriedade;
<b>O grande açude</b>	Trata-se de um reservatório perene (quando não utilizado) e geralmente público

Fonte: Adaptado de Molle (1994)

Essas definições não contemplam o volume armazenável, mas a funcionalidade do açude, integrando assim a hidrologia (há açudes grandes que não enchem), as perdas (há açudes fundos cujo nível baixa muito depressa por causa das infiltrações), a disponibilidade d'água etc.

Macêdo (1981) apresenta uma proposta de classificação de açudes para o estado do Ceará (Quadro 8), esta levou em consideração a extensão do reservatório:

Quadro 8 - Classificação de reservatórios hídricos do Ceará de 1981

<b>Muito pequeno (MP)</b>	<b>De 5 a 20 hectares;</b>
<b>Pequeno (P)</b>	21 a 100 hectares;
<b>Médio (M)</b>	101 a 500 hectares;
<b>Grande (G)</b>	501 a 2000 hectares;
<b>Muito grande (MG)</b>	Acima de 2000 hectares.

Fonte: Adaptado de Molle (1994)

Em 2008, a COGERH apresenta sua proposta de classificação de reservatórios para o estado do Ceará, seguindo o critério de capacidade volumétrica

com objetivo de contribuir com o gerenciamento e monitoramento dos açudes cearenses (Quadro 9):

Quadro 9 - Classificação de reservatórios hídricos do Ceará de 2008

<b>Macro porte</b>	<b>&gt; que 750.000.000m<sup>3</sup></b>
<b>Grande porte</b>	de 75.000.000 a 750.000.000m <sup>3</sup>
<b>Médio porte</b>	de 7.500.000 a 75.000.000m <sup>3</sup>
<b>Pequeno porte</b>	de 0.5 a 7.500.000m <sup>3</sup>

Fonte: SRH (2008).

Verificou-se acima que para classificar os açudes foi necessário atribuir critérios e dentre os critérios utilizados pode-se listar: uso previsto dos açudes, a diferenciação dos órgãos responsáveis por sua construção, em função de sua resistência à seca, a funcionalidade do açude, dimensão do lago e capacidade volumétrica do açude, prioritariamente.

## **2.5 O Ceará e o caminho das águas: uma proposta de classificação dos açudes cearenses**

Considerando a importância da classificação de reservatório para otimizar o gerenciamento das águas redimensionados no Estado do Ceará, apresenta-se neste trabalho uma proposta de classificação pelo critério de capacidade volumétrica, considerando para a atualização e ampliação dos reservatórios monitorados pela COGERH e destaque para o açude Castanhão quanto a sua eficiência hídrica.

Diante do quadro de sustentabilidade dos grandes reservatórios do Estado e sua relação direta com o gerenciamento das Bacias Hidrográficas que compõem o arcabouço de gestão hídrica estadual, vale ressaltar importância de classificar os reservatórios de acordo com suas características de suporte e de eficiência na rede de redimensionamento das águas cearenses.

Totalizando 153 açudes (Tabela 7), o objetivo além de priorizar pelas principais bacias hidrográficas, é ressaltar a importância do Açude Castanhão quanto a sua capacidade de suportar longas estiagens.

Tabela 3 - Composição dos açudes classificados por capacidade volumétrica

Bacia Hidrográfica	Município	Reservatório	Capacidade (m³)	Classificação dos Reservatórios Segundo a Capacidade
Acarauá	Meruoca	Jenipapo	2.100.000	Pequeno
	Sobral	Sobral	4.675.000	Pequeno
	Ipú	Bonito	6.000.000	Pequeno
	Ipueiras	Jatobá II	6.000.000	Pequeno
	Santana do Acaraú	São Vicente	9.845.200	Médio
	Nova Russas	Farias de Sousa	12.230.000	Médio
	Catunda	Carmina	13.628.000	Médio
	Forquilha	Arrebita	19.600.000	Médio
	Tamboril	Carão	26.230.000	Médio
	Forquilha	Forquilha I	50.132.000	Médio
	Massapê	Acaraú Mirim	52.000.000	Médio
	Sobral	Aires de Sousa	104.430.000	Grande
	Santa Quitéria	Edson Queiroz	254.000.000	Grande
	Cariré	Taquara	274.000.000	Grande
Varjota	Araras	891.000.000	Grande	
Alto Jaguaribe	Parambu	Facundo	20.000	Pequeno
	Araripe	Monte Belo	210.000	Pequeno
	Araripe	João Luís	810.000	Pequeno
	Antonina do Norte	Do Coronel	1.770.000	Pequeno
	Potengi	Pau Preto	1.808.767	Pequeno
	Altaneira	Valério	2.020.000	Pequeno
	Tauá	Forquilha II	3.400.000	Pequeno
	Saboeiro	Caldeirões	5.000.000	Pequeno
	Acopiara	Quincoé	7.130.000	Pequeno
	Parambu	Parambu	8.530.000	Médio
	Tauá	Trici	16.500.000	Médio
	Tauá	Broco	17.500.000	Médio
	Catarina	Rivaldo Carvalho	19.520.000	Médio
	Aiuaba	Benguê	19.560.000	Médio
	Antonina do Norte	Mamoeiro	20.680.000	Médio
	Quixelô	Faé	24.408.688	Médio
	Tauá	Favelas	30.100.000	Médio
	Cariús	Muquém	47.643.406	Médio
	Tauá	Várzea do Boi	51.910.000	Médio
	Campos Sales	Poço da Pedra	52.000.000	Médio
Assaré	Canoas	69.250.000	Médio	
Arneiroz	Arneiroz II	197.060.000	Grande	
Iguatu	Trussu	301.000.000	Grande	
Orós	Orós	1.940.000.000	Grande	
Coreaú	Uruoca	Premuoca	5.202.625	Pequeno
	Coreaú	Trapiá III	5.510.000	Pequeno
	Marco	Diamantino II	8.100.000	Médio
	Moraújo	Várzea da Volta	12.500.000	Médio
	Coreaú	Diamante	13.200.000	Médio
	Martinópolis	Martinópolis	23.200.000	Médio
	Senador Sá	Tucunduba	41.430.000	Médio
	Coreaú	Angicos	56.050.000	Médio
	Granja	Gangorra	62.500.000	Médio
Granja	Itaúna	77.500.000	Grande	

Médio Jaguaribe	Iracema	Santo Antônio	832.000	Pequeno
	Pereiro	Medeiro	2.810.000	Pequeno
	Solonópole	Tigre	3.510.000	Pequeno
	Pereiro	Adauto Bezerra	5.250.000	Pequeno
	Ereré	Santa Maria	5.868.800	Pequeno
	Potiretama	Potiretama	6.330.000	Pequeno
	Jaguaribe	Nova Floresta	7.610.000	Médio
	Iracema	Ema	10.390.000	Médio
	Iracema	Canafístula	13.110.000	Médio
	Deputado Irapuan Pinheiro	Jenipapeiro	17.000.000	Médio
	Alto Santo	Riacho da Serra	23.470.000	Médio
	Jaguaribe	Joaquim Távora (Feiticeiro)	26.772.800	Médio
	Solonópole	Riacho do Sangue	61.424.000	Médio
	Alto Santo	Figueiredo	519.600.000	Grande
Alto Santo	Castanhão	6.700.000.000	Muito Grande	
Baixo Jaguaribe	Russas	S. Ant. de Russas	24.000.000	Médio
Banabuiú	Milhã	Jatobá	1.070.000	Pequeno
	Pedra Branca	Capitão Mor	6.000.000	Pequeno
	Boa Viagem	São José I	7.670.000	Médio
	Mons. Tabosa	Monsenhor Tabosa	12.100.000	Médio
	Morada Nova	Curral Velho	12.165.745	Médio
	Pedra Branca	Trapiá II	18.190.000	Médio
	Boa Viagem	Vieirão	20.960.000	Médio
	Piquet Carneiro	São José II	29.140.000	Médio
	Madalena	Umari	35.040.000	Médio
	Mombaça	Serafim Dias	43.000.000	Médio
	Quixeramobim	Quixeramobim	54.000.000	Médio
	Morada Nova	Poço do Barro	54.703.500	Médio
	Senador Pompeu	Patu	71.829.000	Médio
	Quixeramobim	Pirabibu	74.000.000	Médio
	Morada Nova	Cipoada	86.090.000	Grande
	Quixeramobim	Fogareiro	118.820.000	Grande
	Quixadá	Cedro	125.694.000	Grande
Quixadá	Pedras Brancas	434.051.500	Grande	
Banabuiú	Banabuiú	1.601.000.000	Grande	
Curu	Caridade	São Domingos	3.035.000	Pequeno
	Canindé	Escuridão	3.700.000	Pequeno
	Itapajé	Itapajé	4.850.000	Pequeno
	Caridade	Desterro	5.010.000	Pequeno
	Canindé	Salão	6.049.200	Pequeno
	Irauçuba	Jerimum	20.500.000	Médio
	Tejuçuoca	Tejuçuoca	28.110.000	Médio
	Canindé	São Mateus	30.840.000	Médio
	Canindé	Sousa	30.840.000	Médio
	Umirim	Frios	33.020.000	Médio
	Umirim	Caxitoré	202.000.000	Grande
	General Sampaio	General Sampaio	322.200.000	Grande
	Pentecoste	Pentecoste	395.638.000	Grande

Litoral	Sobral	Gerardo Antibone	350.000	Pequeno
	Itapipoca	Quandú	4.000.000	Pequeno
	Sobral	Patos	7.550.000	Médio
	Sobral	S. Maria do Aracatiagu	8.200.000	Médio
	Itapipoca	Poço Verde	13.650.000	Médio
	Miraima	S. Pedro Timbaúba	19.259.000	Médio
	Uruburetama	Mundaú	21.300.000	Médio
	Sobral	S. Ant. do Aracatiagu	24.340.000	Médio
	Itapipoca	Gameleira	52.642.000	Médio
	Miraima	Missi	65.301.000	Médio

Salgado	Granjeiro	Junco	2.030.000	Pequeno
	Cariíraçu	São Domingos II	2.250.000	Pequeno
	Mauriti	Gomes	2.394.000	Pequeno
	Ícó	Tatajuba	2.720.000	Pequeno
	Brejo Santo	Atalho	3.340.000	Pequeno
	Várzea Alegre	Olho D'água	21.000.000	Médio
	Crato	Thomás Osterne	28.780.000	Médio
	Mauriti	Quixabinha	31.780.000	Médio
	Cedro	Ubalzinho	31.800.000	Médio
	Barro	Prazeres	32.500.000	Médio
	Aurora	Cachoeira	34.330.000	Médio
	Juazeiro do Norte	Manoel Balbino	37.180.000	Médio
	Baixio	Jenipapeiro II	43.400.000	Médio
	Lavras da Mangabeira	Rosário	47.200.000	Médio
Ícó	Lima Campos	66.382.000	Médio	
Serra da Ibiapaba	Ubajara	Jaburu I	138.127.743	Grande
Sertões de Crateús	Crateús	Carnaubal	20.000	Pequeno
	Crateús	Batalhão	770.000	Pequeno
	Quiterianópolis	Colina	3.250.000	Pequeno
	Independência	Cupim	4.550.000	Pequeno
	Ipaporanga	São José III	7.960.000	Médio
	Tamboril	Sucesso	10.000.000	Médio
	Crateús	Realejo	31.551.120	Médio
	Independência	Barra Velha	99.500.000	Grande
	Novo Oriente	Flor do Campo	111.300.000	Grande
	Independência	Jaburu II	116.000.000	Grande
Metropolitana	Baturité	Tijuquinha	881.235	Pequeno
	Maranguape	Penedo	2.414.000	Pequeno
	Capistrano	Pesqueiro	8.200.000	Médio
	Maranguape	Itapébussu	8.800.000	Médio
	Maranguape	Maranguapinho	9.350.000	Médio
	Ibaretama	Macacos	10.320.337	Médio
	Maranguape	Amanary	11.010.000	Médio
	Caucaia	Cauhipe	12.000.000	Médio
	Aquiraz	Catucinzenta	27.130.000	Médio
	Ocara	Batente	28.900.000	Médio
	Redenção	Acarape do Meio	31.500.000	Médio
	Pacatuba	Gavião	32.900.000	Médio
	Cascavel	Malcozinhado	37.840.000	Médio
	Itaitinga	Riachão	46.950.000	Médio
	Itapiúna	Castro	63.900.000	Médio
	Caucaia	Sítios Novos	126.000.000	Grande
	Choró	Pompeu Sobrinho	143.000.000	Grande
	Aracoiaba	Aracoiaba	170.700.000	Grande
	Pacajus	PACajus	240.000.000	Grande
Horizonte	Pacoti	380.000.000	Grande	

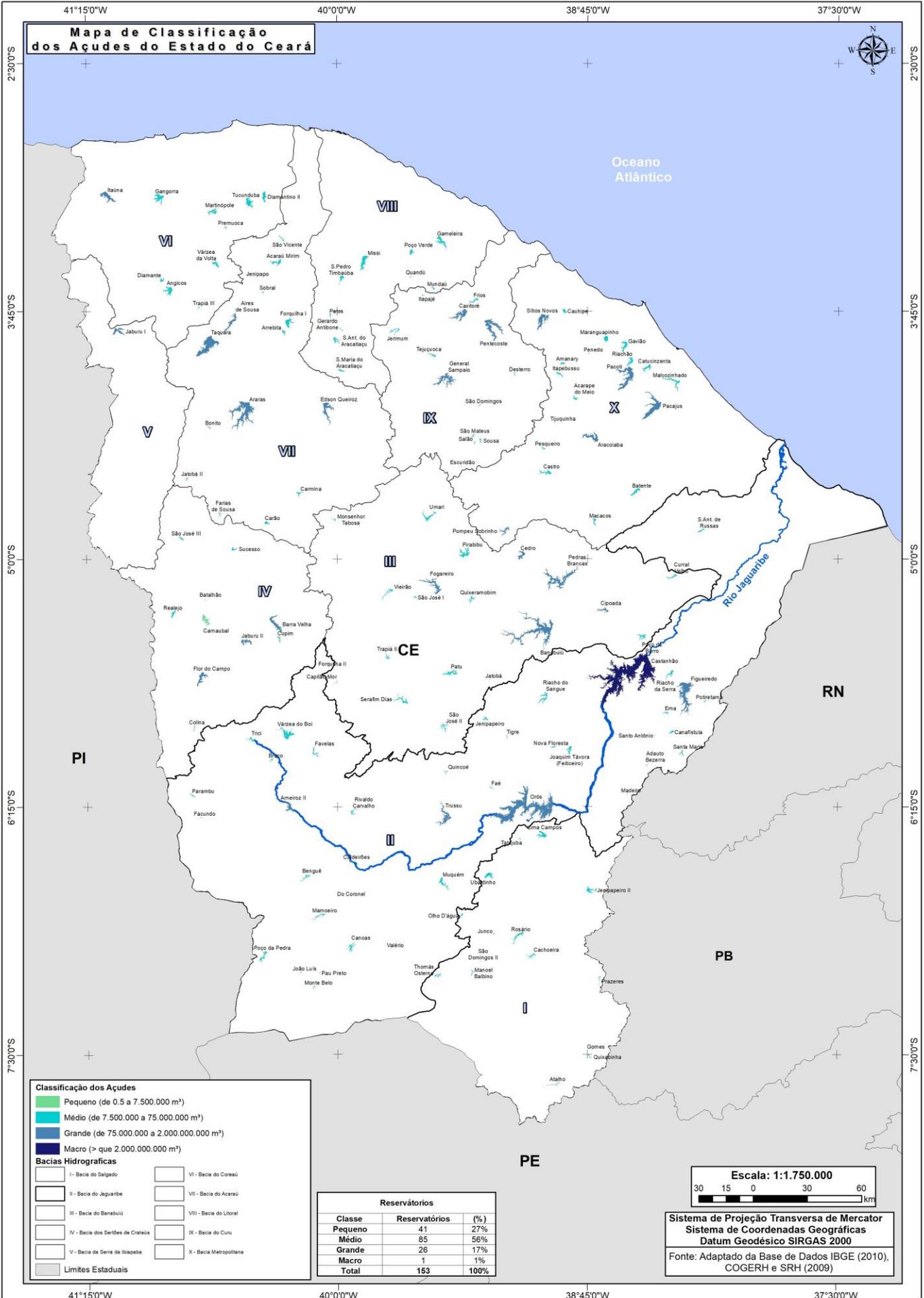
Fonte: Elaborado pelo autor por base de dados da COGERH

A classificação dos reservatórios baseou-se na dimensão da capacidade máxima de armazenamento.

Classificação dos Reservatórios	
Pequeno (de 0.5 a 7.500.000 m³)	
Médio (de 7.500.000 a 75.000.000 m³)	
Grande (de 75.000.000 a 2.000.000.000 m³)	
Macro (> que 2.000.000.000 m³)	

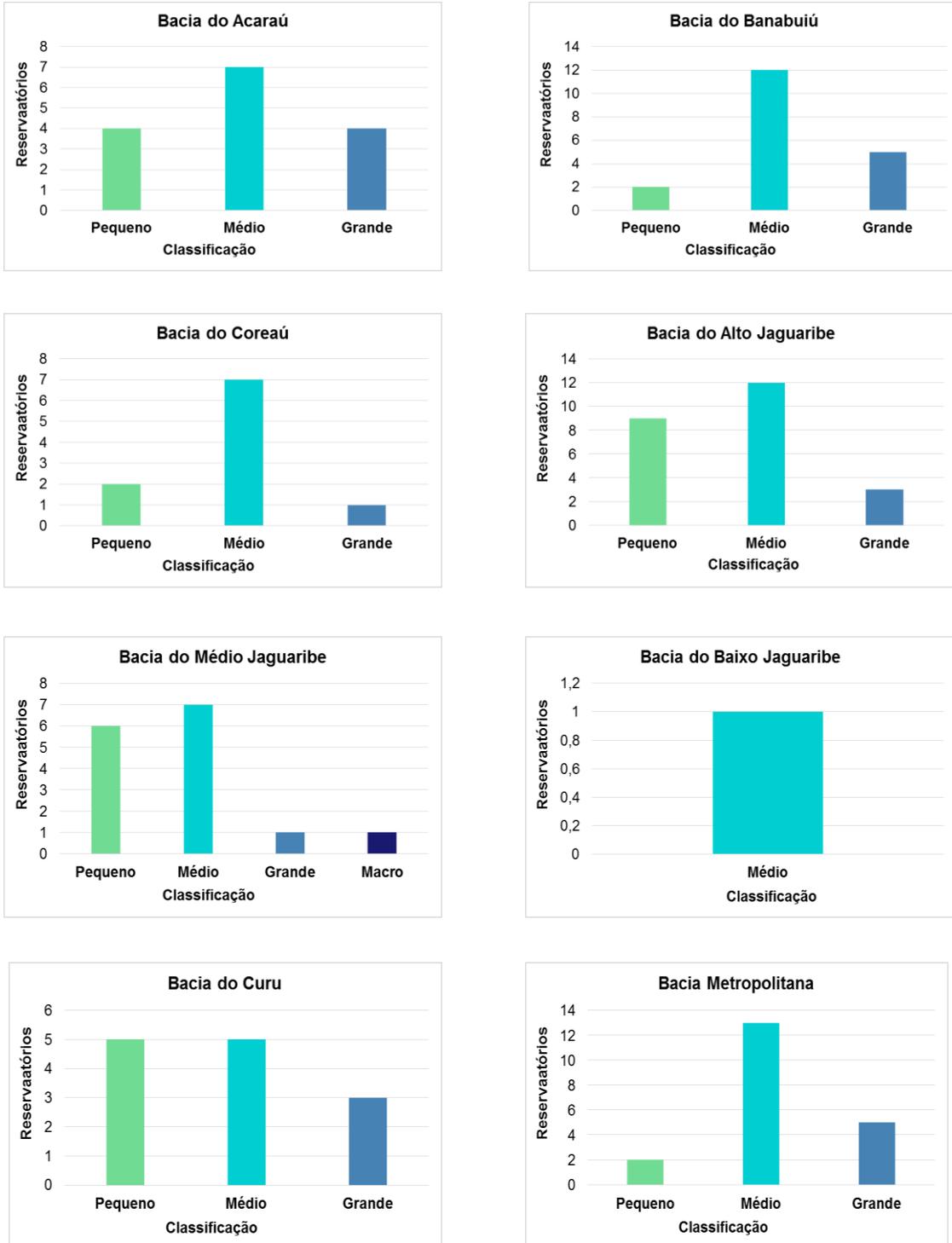
Perfazendo uma distribuição dos reservatórios, com 56% de médio porte, 27% de pequeno porte, 17% de grande porte e 1% de macro porte, conforme o quadro abaixo:

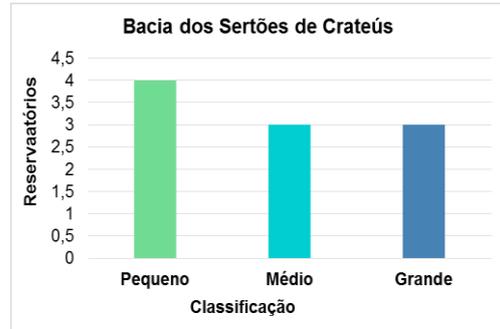
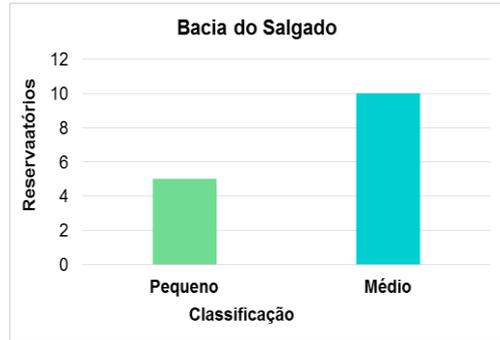
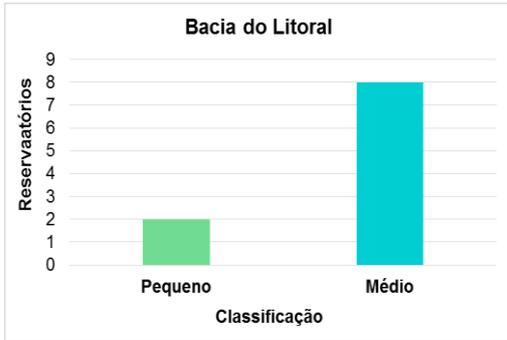
<b>Reservatórios</b>		
<b>Classe</b>	<b>Reservatórios</b>	<b>(%)</b>
<b>Pequeno</b>	41	27%
<b>Médio</b>	85	56%
<b>Grande</b>	26	17%
<b>Macro</b>	1	1%
<b>Total</b>	<b>153</b>	<b>100%</b>



Diante da observação do mapa 2 percebe-se que os açudes cearenses obedecem a seguinte distribuição:

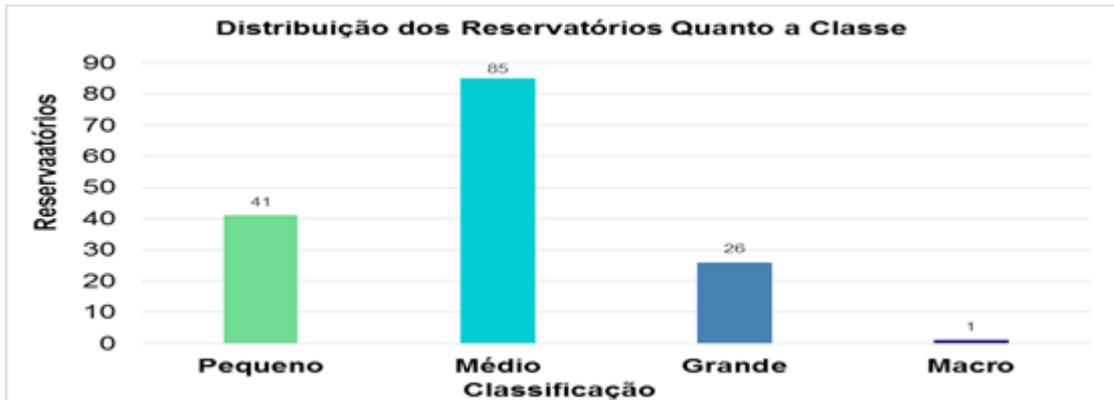
Gráfico 3: Distribuição da dimensão dos açudes por Bacia Hidrográfica.





Fonte: elaborado pelo autor.

Gráfico 4: distribuição dos reservatórios quanto à classe.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 6: Distribuição das classes por Bacia Hidrográfica

Distribuição das Classes Por Bacia					
<b>Acaraú</b>		<b>Reservatórios</b>		<b>Curu</b>	
Pequeno	4	15		Pequeno	5
Médio	7			Médio	5
Grande	4			Grande	3
					<b>Reservatórios</b>
					13
<b>Alto Jaguaribe</b>		<b>Reservatórios</b>		<b>Litoral</b>	
Pequeno	9	24		Pequeno	2
Médio	12			Médio	8
Grande	3				
					<b>Reservatórios</b>
					10
<b>Médio Jaguaribe</b>		<b>Reservatórios</b>		<b>Metropolitana</b>	
Pequeno	6	15		Pequeno	2
Médio	7			Médio	13
Grande	1			Grande	5
Macro	1				
					<b>Reservatórios</b>
					20
<b>Baixo Jaguaribe</b>		<b>Reservatórios</b>		<b>Salgado</b>	
Médio	1	1		Pequeno	5
				Médio	10
					<b>Reservatórios</b>
					15
<b>Banabuiú</b>		<b>Reservatórios</b>		<b>Serra da Ibiapaba</b>	
Pequeno	2	19		Grande	1
Médio	12				
Grande	5				
					<b>Reservatórios</b>
					1
<b>Coreaú</b>		<b>Reservatórios</b>		<b>Sertões de Crateús</b>	
Pequeno	2	10		Pequeno	4
Médio	7			Médio	3
Grande	1			Grande	3
					<b>Reservatórios</b>
					10

Fonte: elaborado pelo autor.

Diante do levantamento realizado percebe-se que a concentração de açudes de pequeno porte está, predominantemente, nas bacias do alto e médio Jaguaribe. O estado do Ceará, de acordo com a historicidade da política de açudagem, se preocupou por muito tempo em atender principalmente as margens do Rio Jaguaribe, e isso veio a apresentar desde a intensificação dos estudos e da construção de reservatórios a partir do final século XIX.

Quanto aos açudes de Médio Porte verifica-se que em todas as bacias do Ceará, com exceção da Serra da Ibiapaba, predominam a construção de reservatórios de médio porte. Tal concentração tem como representação, principalmente, pelos grandes estudos realizados em terras cearenses durante os séculos XVIII e XIX, indicando que ao contexto natural do Estado seria mais interessante construir reservatórios de médio porte. Dentre as justificativas devem-se lembrar do ambiente natural favorável para tais construções, pelo menor custo com as obras e com o deslocamento de população do entorno e a eficiência quanto à

necessidade de represar água para os períodos de estiagens que assolavam o Estado do Ceará.

Quanto aos açudes de grande porte apresentam-se espacialmente bem distribuído se comparados com os de pequeno e médio porte. Vale ressaltar que no vale do Rio Jaguaribe a concentração de açudes de grande porte é maior, o que pode ser justificado também pela concentração de políticas públicas de recursos hídricos para o principal rio do Estado. Além de concentrar a maior demanda de água devido ao elevado índice de concentração da população interiorana e de atividades econômicas do Ceará às margens do Jaguaribe, drena 52% do território.

A Bacia do Rio Jaguaribe detém, aproximadamente, 26% (40) do total de reservatórios monitorados pela COGERH. No contexto da sub-bacia do Alto Jaguaribe, as disponibilidades hídricas giram em torno de 21,22m<sup>3</sup>/s, com 90% de garantia que podem ser armazenados em 24 reservatórios gerenciados em parceria com o DNOCS e Estado, propiciando um balanço hídrico positivo da ordem de 4,35m<sup>3</sup>/s, embora a disponibilidade de 15,77m<sup>3</sup>/s do Orós, tenham ficado fora desse balanço devido a sua localização nas proximidades da confluência com a Sub-bacia do Médio Jaguaribe, para onde derivam grande parte dos seus benefícios.

Quanto à região do médio Jaguaribe, apresenta-se, sem dúvida, como a região com maior quantidade de conflitos de uso da água e como uma das mais importantes regiões hidrográficas do Estado. Nela, também está o maior reservatório de água do Ceará, Castanhão, além de ser o responsável pela distribuição de água para a capital Fortaleza. Detentora da maior concentração de água represada, a sub-bacia do médio Jaguaribe enfrenta sérios problemas como a falta de política de segurança hídrica local; mau gerenciamento entre suas sub-bacias do mesmo eixo de demanda e oferta (Alto e Baixo); ausência de políticas de racionamento de água, que vise à proteção direta da água em favor da sustentabilidade das águas redimensionadas; etc.

Considere-se também que esta Sub-bacia será beneficiada com as águas do Projeto de Integração do São Francisco e ao mesmo tempo transferirá água para a Região Metropolitana de Fortaleza através do Eixão das Águas. Há necessidade de se realizar um novo planejamento dos recursos hídricos da sub-bacia, priorizando o aproveitamento racional desses recursos, desenvolvendo projetos que atendam a

população, estimulando a sociedade organizada a realizar aquelas ações para as quais a região tem suas vocações, incluindo a indústria do turismo nos grandes lagos do Açude Castanhão e do Açude Figueiredo.

A região hidrográfica da Sub-bacia do Baixo Jaguaribe compreende o terço inferior do Vale do Jaguaribe, que pela sua situação na Bacia caracteriza-se como uma região tipicamente receptora de água das zonas produtoras que se situam à sua montante. Dispõe de um único reservatório, o Santo Antonio de Russas, com capacidade de acumulação de 24hm<sup>3</sup>, o que não disponibiliza vazão importante. Em compensação, essa região apresenta grande potencial de solos para irrigação e já concentra grandes áreas em produção irrigada. Nestas condições, há necessidade de se realizar um novo planejamento dos recursos hídricos da Sub-bacia, priorizando o aproveitamento racional desses recursos, desenvolvendo projetos que atendam a população, estimulando a sociedade organizada a realizar aquelas ações para as quais a região tem suas vocações.

Quanto à proposta de açudes de macro porte, considerando a proposta escalar de redirecionar o Castanhão como um reservatório que apresenta suas características de porte singular e, portanto isolá-lo dos demais reservatórios do Estado quanto a sua capacidade volumétrica, justifica-se não somente pela sua capacidade diferenciada de armazenamento de água mas também pela sua magnitude de manter a oferta de água mesmo diante do quadro de escassez hídrica que o Estado vem enfrentando com cinco anos consecutivos de secas severas.

A Região Metropolitana de Fortaleza depende 74% das águas represadas pelo Açude Castanhão. O colapso hídrico atingindo este reservatório, provavelmente tornaria o sistema de abastecimento de Fortaleza bastante precário e preocupante. Isso gera uma discussão enorme quanto o papel dos reservatórios de macro porte para atender populações e demandas econômicas por longos períodos de estiagem. O problema de escassez hídrica associada à alta pressão de consumo torna preocupante o quadro de abastecimento hídrico, isso demonstra a importância de se discutir políticas alternativas de convivência com a seca.

No gráfico de distribuição dos reservatórios quanto à classe, observa-se que dos 153 açudes levantados e monitorados pela Gestão de Recursos Hídricos local, o Ceará apresenta 41 reservatórios de pequeno porte (27%); 85 de médio

porte (56%); 26 de grande porte (17%) e 1 reservatório de macro porte (1%). Isso respeitando a proposta de escala deste trabalho.

A elevada concentração de açude de médio porte está associada à origem da política de açudagem no Estado, que prioriza a indicação de construção de reservatórios de médio porte por grande parte dos técnicos responsáveis pelos levantamentos realizados no Ceará. No mapa 2, percebe-se a importância do Rio Jaguaribe na concentração de açudes em seu leito. Além de ser o maior e principal rio do Estado, o Jaguaribe apresenta uma melhor estrutura natural e de demanda e uso para receber obras de infraestrutura hídrica.

Diante das questões gerenciais das águas superficiais, o Estado assume a responsabilidade de disponibilizar o abastecimento a população de maneira a garantir a sustentabilidade hídrica, nesse contexto, surge à necessidade do monitoramento em tempo real da quantidade e da qualidade da água disponível.

Cabe destacar, por exemplo, o monitoramento preditivo dos reservatórios (Tundisi e Tundisi, 2011), ou seja, em tempo real. Esse pode ser uma das ferramentas mais expressivas de controle da água, como a instalação de equipamentos sobre o próprio lago para medidas de evaporação, parâmetros de qualidade da água, condutividade, turbidez, etc. Dando condições de planejar o tratamento e reforçar a capacidade de gestão sobre a situação de lagos e represas, na gestão da água, variam com a localização, com as diferenças climáticas, com as características do reservatório e com as práticas de uso e manejo (WURBS e AYALA, 2014).

Em reservatórios e lagos, a evaporação é um dos principais processos envolvidos no balanço hídrico e de calor: os impactos da evaporação dos reservatórios.

Monitoramento em tempo real é um dos instrumentos de gestão mais eficientes para o gerenciamento integrado e preditivo, e deverá ser adotado como rotina em muitas represas, lagos e rios que fornecem água para abastecimento público ou hidroeleticidade e irrigação. O monitoramento em tempo real pode proporcionar economia de milhões de reais no tratamento de água e no bombeamento de água de qualidade adequada a partir das informações em tempo real (TUNDISI e TUNDISI, 2011, p. 177).

Atualmente, esses sejam os grandes desafios do monitoramento de reservatórios no estado do Ceará, a situação não é confortável quando se pensa

numa política de gerenciamento eficiente em que a população possa confiar na segurança hídrica do seu Estado. Toma-se como exemplo o Açude Castanhão, o maior reservatório do Ceará e com o desafio de entrar em colapso hídrico a qualquer momento diante das condições de secas prolongadas. No segundo semestre de 2017, por exemplo, iniciou com apenas 4% de sua capacidade (DNOCS, 2017).

### **3 AÇUDE CASTANHÃO: UM SONHO REALIZADO?**

Neste capítulo, apresentam-se o histórico da construção da obra hidráulica do reservatório Padre Cícero, o Castanhão. Desde os estudos sobre a possibilidade de construir um reservatório de macro porte na região Jaguaribana às problemáticas ambientais.

#### **3.1. Açude Castanhão: o “oásis” do sertão?**

A idealização quanto à construção de reservatórios no local onde se encontra o Castanhão se confunde com a implementação da política de açudagem, durante o século XX, no território cearense.

Após a institucionalização da Inspeção de obras Contra as Secas (IOCS) em 1909, no ano seguinte a IOCS contratou o geólogo estadunidense Roderic Crandal para investigar as possibilidades de construção de reservatórios no vale do Jaguaribe. Como resultado do levantamento, o referido geólogo identificou o local denominado Boqueirão do Cunha (local onde está construída a Barragem do Castanhão) como indicado para a construção de uma barragem. Porém, a indicação foi feita para a construção de um reservatório de pequeno porte (DNOCS, 2010).

No ano de 1956, o presidente Juscelino Kubitschek ficou em dúvida sobre a qual barragem construir, a do Orós ou do Castanhão, dando privilégio a primeira. O que fez com que não se discutisse sobre o projeto do reservatório Castanhão por um longo período (DNOCS, 2010). Em 1980, a barragem na localidade de Boqueirão do Cunha volta a ser estudada, então pelo Departamento Nacional de Obras e Saneamento – DNOS. Segundo Lima e Botão (2007) esse órgão, entre 1982 e 1984, no âmbito de um programa sobre irrigação para o Nordeste que envolvia a transposição do rio São Francisco retoma a discussão sobre a possibilidade de construção de uma grande barragem no vale do Jaguaribe.

Após a apresentação, em 1985, da proposta de viabilidade da construção do Castanhão no vale de Jaguaribe, o DNOCS embora concordando com a construção de reservatórios no semiárido nordestino, discordou do projeto apresentado pelo DNOS em razão do tamanho do reservatório. Em contrapartida, foi sugerida a construção de 10 a 12 açudes de médio porte que resolveriam os

problemas de enchentes e secas na região, dispensando assim a construção de reservatórios de macro porte como o caso do Açude Castanhão.

No ano de 1987, o DNOS contratou o consórcio *Hidroservice-Noronha* para a elaboração do projeto básico da referida barragem. Em 1989, os estudos sobre a viabilidade técnica da barragem foram concluídos. Em 1990, o DNOS é extinto através da Medida Provisória nº 151, de 15 de março deste mesmo ano, pelo presidente Fernando Collor de Melo. Assim, em 1992, a continuidade do projeto da barragem Castanhão passou a ser responsabilidade do DNOCS, que em 1993 elaborou o projeto executivo do empreendimento (LIMA e BOTÃO, 2007).

A sugestão apresentada por alguns técnicos do DNOCS para a construção de açudes de médio porte não foi bem aceita pela maioria da comunidade técnica. No próprio órgão existiam opiniões divergentes quanto a construção ou não de um reservatório de macro porte e com capacidade de 6,7 bilhões de metros cúbicos. Mesmo sabendo que uma das consequências seria o alagamento de grandes extensões de terras de vários municípios cearenses localizados no vale do Jaguaribe e a submersão de todo o município de Jaguaribara. Assim como aponta Claudino-Sales (1993, p. 25):

O Castanhão, se construído, será o maior açude do mundo, comportando um total de 6,8 bilhões de m<sup>3</sup> de água - três vezes e meio maior que a capacidade do açude Óros [...] na qual se situa todo o município de Jaguaribara. O movimento ecológico local tenta evitar a aprovação irresponsável da obra, que deixará desabrigada 14.000 pessoas, consumirá bilhões de cruzeiros em benefício de empreiteiras e causará acentuado impacto ambiental, com poucos retornos sociais e econômicos para o Estado. Pois trata-se de uma obra a ser instalada em área sujeita a abalos sísmicos e na qual, segundo já demonstrado por diversos estudos técnicos, não há disponibilidade de água, o que quer dizer que o volume do reservatório, apesar dos custos, jamais alcançará a cifra estimada.

Embora a autora aponte a impossibilidade do reservatório atingir seu volume máximo, no ano de 2004, oito meses após a sua inauguração, o Castanhão atingiu o volume de 5.000.000 m<sup>3</sup>, 74,6% do volume total. Já no ano de 2009, o volume atingiu 97% do total, com 6.500.000 m<sup>3</sup> (DNOCS, 2015). Fato esse que foi possível devido, principalmente, às situações de eventos pluviométricos extremos que contribuem para recarregar tais reservatórios.

Também em oposição ao projeto de construção do reservatório Borges (1999) – à época engenheiro do DNOCS – defendeu os seguintes argumentos:

A comunidade técnica e a população do vale do Jaguaribe atingida se ressentem de uma participação efetiva nos estudos e discussões; (...) procedem, a nosso ver, diversos questionamentos técnicos, não podendo ser considerados satisfatórios os resultados dos estudos até agora apresentados; (...) há carência de fundamentação técnica, comprovada através de estudos, que justifiquem a importância, os benefícios e o porte da obra (cota e capacidade, principalmente), sem o que não deixam de ser subjetivas as opiniões emitidas. (P.99).

Como se percebe, alguns técnicos duvidavam dos reais benefícios da obra, pois para eles não ficou comprovada a eficiência técnica do projeto e muito menos os impactos que envolviam tanto o deslocamento de toda a população de Jaguaribara como a ausência da participação da mesma nas decisões governamentais sobre o projeto.

O Castanhão foi construído sobre uma falha geológica, passível de abalos sísmicos. Durante todo o período de discussão da viabilidade da obra este assunto também foi motivo de polêmica e divergência entre especialistas em geologia. A Associação Brasileira de Geógrafos - AGB foi contrária à construção do reservatório naquele local devido à ausência de informações geológicas suficientes.

Nesse mesmo debate o Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT de São Paulo alertou, em 1992, que “a barragem do Castanhão será edificada numa das principais zonas de sismogênicas do Brasil”. Entretanto, de acordo com o DNOCS, não eram comuns tremores de terras na região onde se localiza o açude e, por isso, o projeto não pode ser embargado (DNOCS, 2010).

Após várias discussões a favor e contra a construção desta grande obra, em 12 de novembro de 1995, o DNOCS efetivou a ordem de serviço para o início das obras do “Complexo Castanhão”. O DNOCS contribuiu com 70% do valor total da obra, enquanto o Estado se responsabilizou com os demais 30% dos recursos (DNOCS, 2009). O mesmo ficou concluído em 23 de dezembro de 2002 e em 2003 sua inauguração.

Como justificativa para a construção da obra o Governo Federal apontou os seguintes benefícios: desenvolvimento econômico do Ceará, abastecimento de água para Fortaleza (por meio do Eixo de Integração Castanhão – Região Metropolitana de Fortaleza), dinamização dos projetos de irrigação, produção de energia elétrica, além da transformação do Castanhão em adutor da transposição de água da bacia do Rio São Francisco.

### **3.2 Localização e Caracterização Geoambiental do Açude Padre Cícero (Castanhão)**

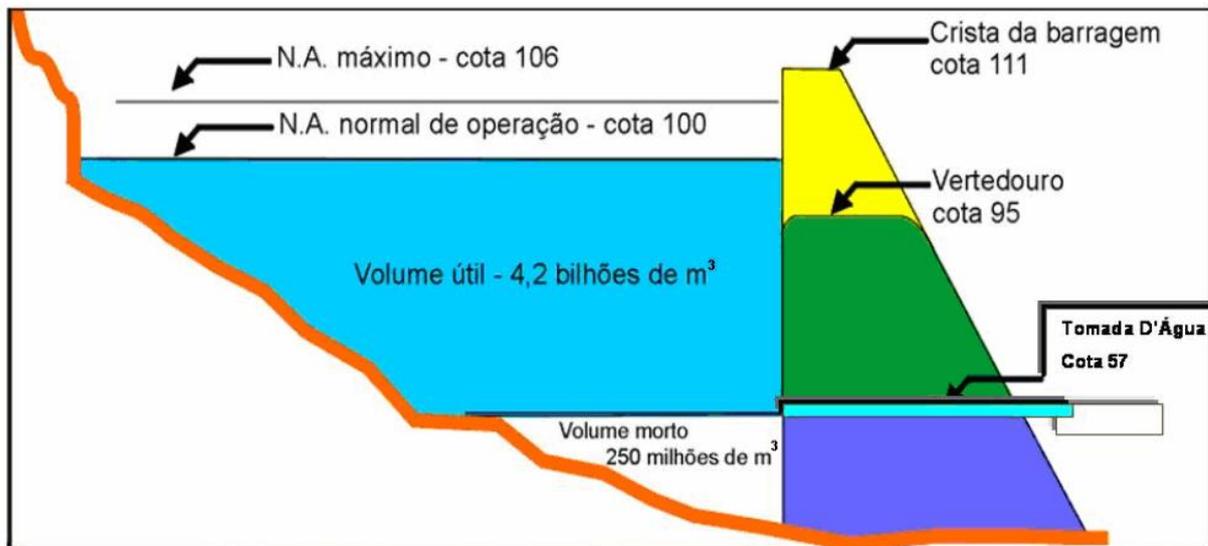
O Açude Castanhão está localizado no município de Alto Santo, este barra o Rio Jaguaribe, principal curso d'água da região. Situada sobre terrenos de formação geológica predominantemente cristalina, razão de seu alto poder de escoamento e possuindo uma rede de drenagem dendrítica, a bacia hidrográfica do Rio Jaguaribe drena uma área de aproximadamente 72,500 km<sup>2</sup>, abrangendo praticamente 50% do território cearense (DNOCS, 2009).

Tamanha extensão desse rio em pleno semiárido levou-o a ser considerado o maior rio seco do mundo (CAMPOS, 2003), embora hoje tenha grande parte de seu canal perenizado por barragens, que garantem maior fonte de recursos hídricos ao Estado. Como ocorre em grande parte dos rios do Nordeste, o rio Jaguaribe encontra-se, na atualidade, fortemente regularizado por um grande número de barragens de pequeno, médio e grande porte. Por outro lado, outras formas de barramentos, menos expressivos, são comuns nos rios dessa bacia. Trata-se de pequenos barramentos denominados passagens molhadas, cujas estruturas permitem que uma lâmina d'água passe por cima da parede.

O reservatório Castanhão apresenta:

- Capacidade máxima de armazenamento: 6,7 bilhões de metros cúbicos de água;
- Volume útil: 4,211 bilhões de m<sup>3</sup>;
- Volume morto: 250 milhões de m<sup>3</sup>;
- Área total da bacia hidráulica: 325 km<sup>2</sup>;
- Comprimento máximo do lago: 48 km;
- Lâmina d'água: aproximadamente 60 metros.

Figura 7 - Esquema de operação do Açude Castanhão



Fonte: DNOCS.

O Açude Castanhão se insere na área de influência no Médio/Baixo Jaguaribe, tem 18.812 Km<sup>2</sup> e abrange os seguintes municípios no todo ou em parte: Itaiçaba, Palhano, Jaguaruana, Quixeré, Morada Nova, Limoeiro do Norte, São João do Jaguaribe, Tabuleiro do Norte, Nova Jaguaribara, Alto Santo, Potirema, Iracema, Jaguaretama, Solonópole, Milha, Jaguaribe, Ererê, Pereiro, Orós e Deputado Irapuan Pinheiro. Com tais dimensões, a área apresenta-se, ambientalmente, com significativa diversidade (SOUZA *et. al.* 2011).

A geologia da área do sítio da barragem do Castanhão e da bacia hidráulica é constituída por uma associação de rochas gnáissicas migmatítica do Complexo Caicó, corpos Plutônicos Granulares, Diques Básicos, coberturas sedimentares da Formação Faceira de idade Terciário/Quaternário e sedimentos aluvionares pertencentes ao Rio Jaguaribe e seus afluentes (DNOCS, 1991).

Segundo o Relatório de Impacto no Meio Ambiente do Castanhão - RIMA, a morfologia desta unidade, de forma geral, apresenta uma feição topográfica aplainada geralmente nos domínios das litologias migmatíticas mais homogêneas e uma feição ondulada com pontuações serranas, no domínio das litologias gnáissicas e migmatíticas heterogêneas.

Dados do levantamento da área do Castanhão feito pelo DNOCS (1991) mostra que a geomorfologia da área é caracterizada pelos seguintes componentes morfológicos: depressões sertanejas e planície fluvial. As litologias que compõem as

depressões são representadas por rochas do complexo gnáissico migmatítico e plutônicas granulares. Apresentam um manto de alteração de pequena espessura e uma cobertura vegetal formada por caatinga arbustiva esparsa ao lado de um tapete herbáceo de distribuição extensiva. A planície fluvial, originada do intenso trabalho do Rio Jaguaribe e seus tributários são formados essencialmente por depósitos de areia, siltes e argilas.

Quanto à caracterização do comportamento climático da região do Açude Castanhão foi realizado um levantamento a partir dos dados dos postos pluviométricos disponibilizados pelo DNOCS. Esses dados foram organizados, pelos responsáveis do projeto executivo da barragem do Castanhão – HIROSERVICE/NORONHA, em três regiões características da área do médio Jaguaribe sendo totalizados 34 postos pluviométricos utilizados para tais descrições do regime pluviométrico da área abrangente.

A partir da análise destes postos foi feita a caracterização climática da região, sendo identificado com concentração de chuvas em 5 meses consecutivos e precipitação média anual em torno de 700 mm (DNOCS, 1991). O traço marcante das precipitações é a sua má distribuição no tempo e em área. É essa irregularidade uma das causas da maioria das “secas” verificadas na região, e não a falta de chuvas. O que se verifica é a sua concentração em alguns meses, e uma variação em anos alternados, de seus totais.

Em suma, o clima predominante na bacia e as condições de impermeabilidade do solo geram uma fluviometria de caráter intermitente, com grandes picos de cheia nos períodos chuvosos, o que torna imprescindível o armazenamento de água em reservatórios.

A ideia da transposição do Rio São Francisco para o Rio Jaguaribe, que chegará ao Açude Castanhão, constitui uma possibilidade promissora para a suplementação de suas necessidades hídricas a partir do momento em que suas disponibilidades próprias estiverem esgotando em períodos críticos.

Quanto a caracterização hidroclimática da região, esta apresenta-se do ponto de vista da circulação atmosférica a influência de seis sistemas meteorológicos: os alísios de SE, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), o Equatorial Amazônico (Ec), a Frente Polar Atlântica (FPA), Vórtices Ciclônicos de

Altos Níveis (VCANs) e Ondas de Leste (OL). Contudo, o Estado do Ceará, recebe a influência direta da ZCIT, e assim verificando chuvas concentradas, período curto e irregular devidas principalmente à ação desse sistema atmosférico atuando no período da quadra chuvosa do nosso estado, compreendida entre os meses de fevereiro a maio.

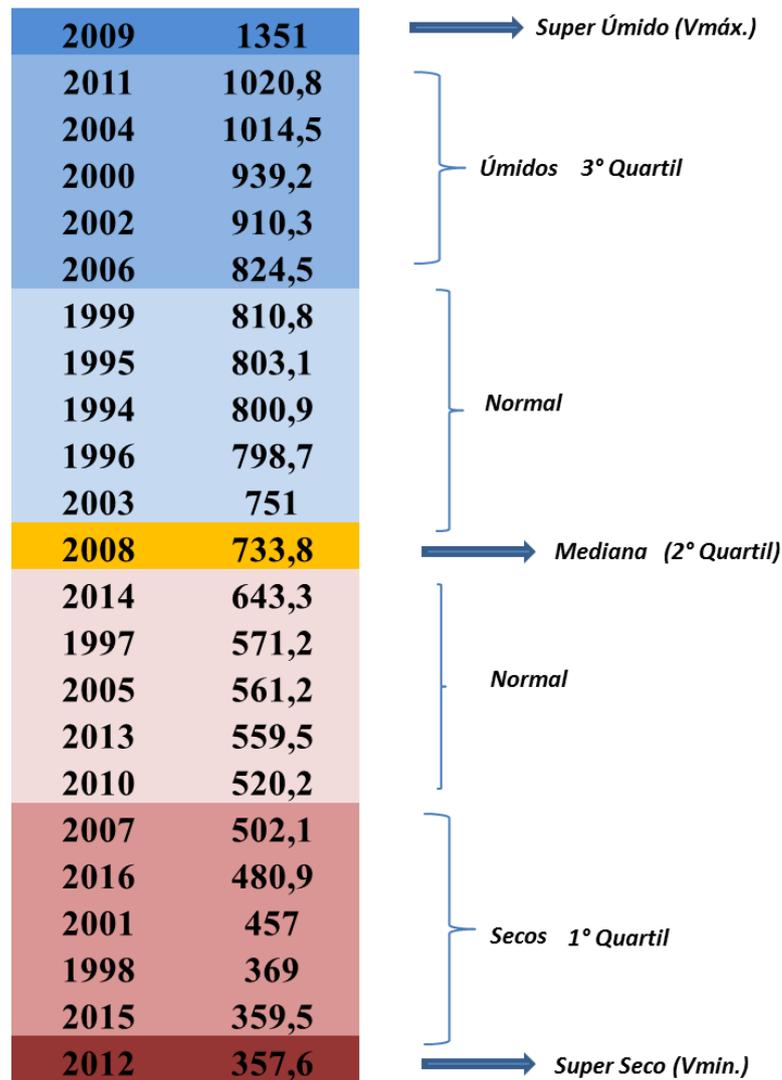
Para Guerra e Vasconcelos (2005), devido à combinação desses sistemas com os fatores geográficos, tais como latitude, orientação do litoral em relação à corrente dos alísios, as baixas altitudes, o relevo, a orientação das serras, a dimensão continental e o posicionamento do seu território em relação ao hemisfério sul, caracteriza as condições climáticas vigentes no Ceará. Estas são expressas no Sertão Central cearense por elevadas temperaturas, baixos índices de nebulosidade, forte insolação, elevadas taxas de evaporação e marcante irregularidade das chuvas no tempo e no espaço, principal característica do seu regime pluviométrico.

Segundo Zanella (2007), especificamente no sertão cearense os valores oscilam, de modo geral, entre 850 e 550 mm anuais. Além de precipitações escassas e irregulares, o sertão apresenta temperaturas elevadas e altas taxas de evaporação.

Na região o seu período mais quente é no segundo semestre do ano, justamente por serem meses mais secos devido à estiagem. Apresentando médias máximas anuais de 28,0°C. A partir da análise de postos pluviométricos da região foi feita a caracterização climática, sendo identificado com concentração de chuvas em 5 meses consecutivos e precipitação média anual em torno de 700 mm (DNOCS, 1991). O traço marcante das precipitações é a sua má distribuição no tempo e em área. É essa irregularidade uma das causas da maioria das “secas” verificadas na região, e não a falta de chuvas. O que se verifica é a sua concentração em alguns meses, e uma variação em anos alternados, de seus totais.

Com objetivo de caracterizar e definir a tipologia climática (figura 8) reforça a dinâmica das chuvas para a região do reservatório, considerando uma série de vinte três anos (1994 a 2016).

Figura 8 - Definição da tipologia climática.



Fonte: Elaborado pelo autor de acordo com dados da FUNCEME.

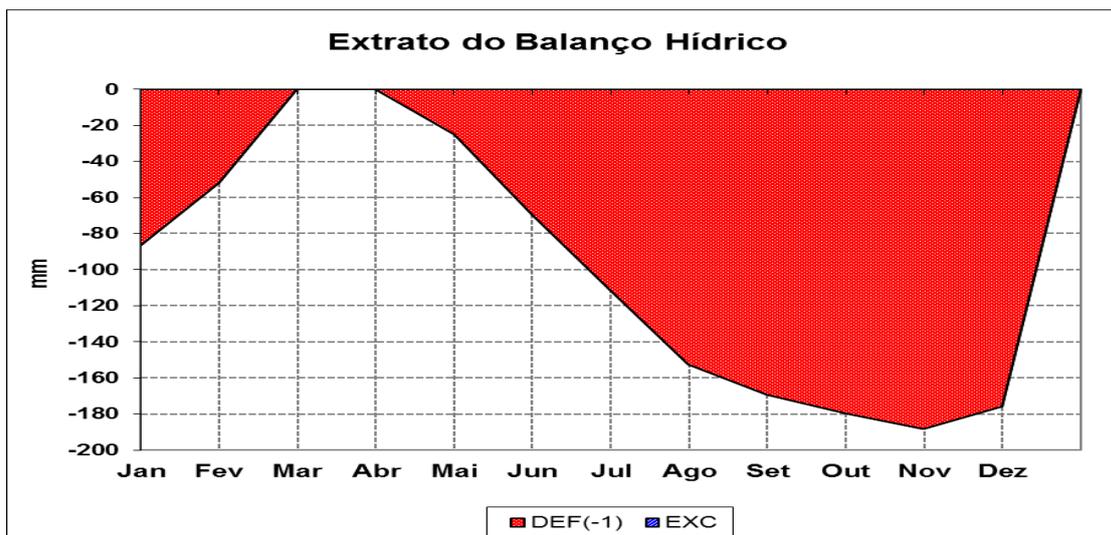
Observa-se que o valor da mediana (733,8 mm) é semelhante ao valor estimado pelo DNOCS (700 mm). Neste trabalho não foram eliminados os valores extremos da série analisada, pois esses serviram de base para discussão sobre os anos extremos e sua relação com o armazenamento de água no Açude Castanhão e suas consequências. O ano de 2009 apresentou-se como ano de precipitação máxima para a região com 1351 mm, considerado o ano super úmido dessa série. O ano de 2012 apresentou-se como ano de precipitação mínima para a região com 357,6 mm, portanto, sendo o ano super seco dessa série.

Os anos do terceiro e primeiro quartis são considerados os anos secos e úmidos, respectivamente, que variam para os anos secos de 360 mm a 520 mm e para os anos úmidos de 820 mm a 1000 mm. Já para os anos normais, ficaram

definidos entre o intervalo de 520 a 810 mm. Esses valores interferem diretamente no balanço hídrico da região.

Com cálculo realizado por meio balanço hídrico do solo (Gráficos 3, 4, 5, 6) foi possível apresentar a dinâmica do seu comportamento predominante para o reservatório Castanhão utilizando dados do município de Alto Santo, local de origem do barramento do reservatório. No gráfico 5 observa-se o comportamento médio do cálculo feito para a série histórica de vinte e três anos (1994 a 2016).

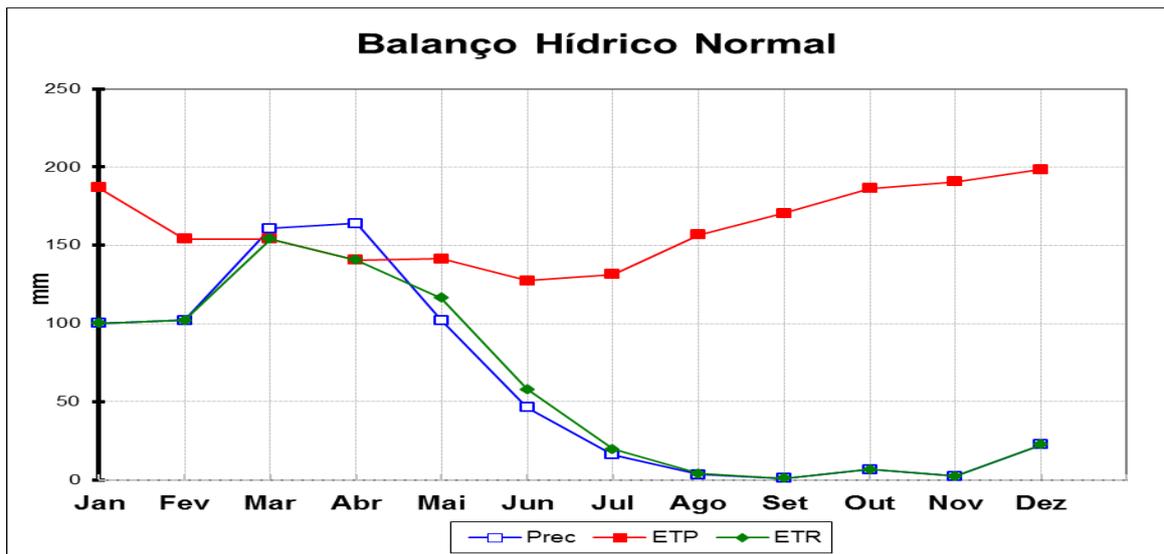
Gráfico 5 - Gráfico do extrato do balanço hídrico médio (1994-2016)



Fonte: elaborado pelo autor de acordo com dados da FUNCEME.

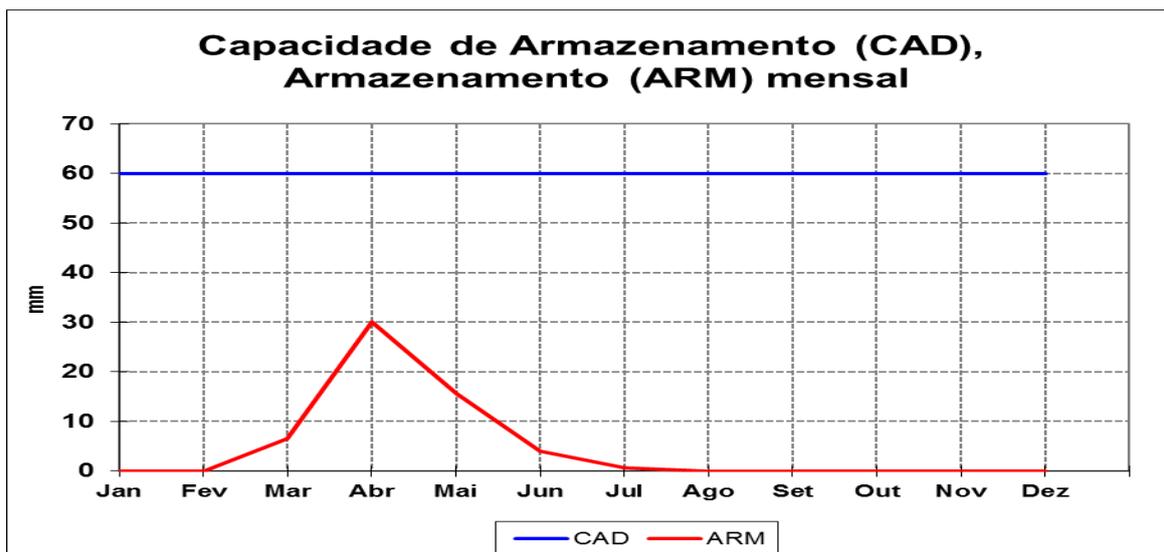
O resultado indica deficiência hídrica expressiva nos valores para região, característica esta que compromete a disponibilidade hídrica no solo e como consequência negativa, principalmente, nas atividades agrícolas.

Gráfico 6 - Balanço hídrico normal médio (1994-2016)



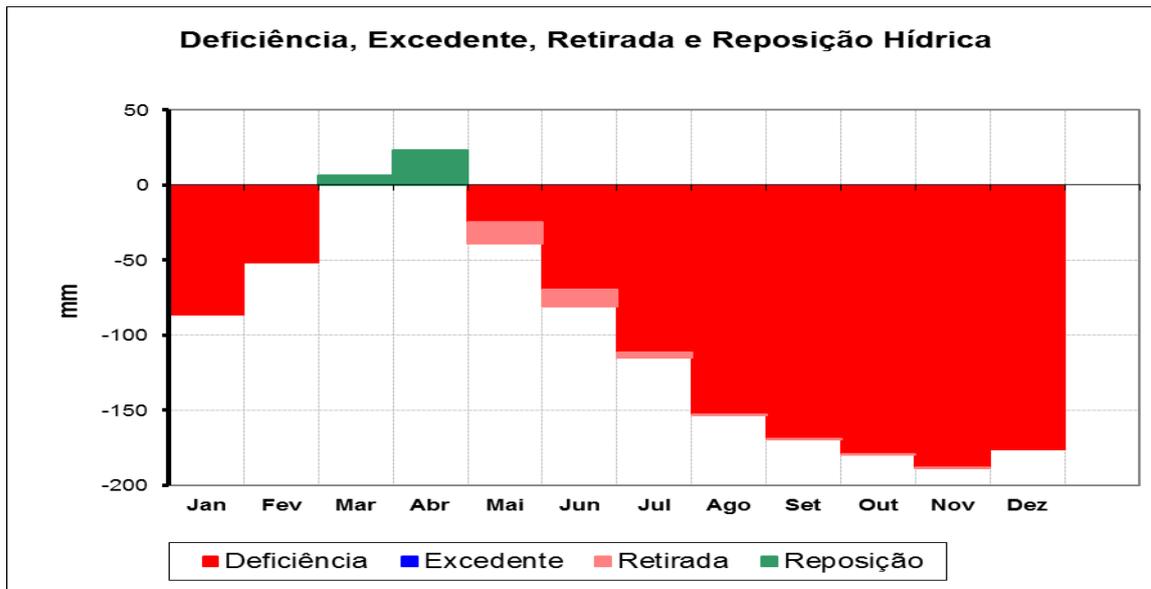
No gráfico 6 observa-se o alto valor de evapotranspiração, ao considerar a evapotranspiração real superior aos valores pluviométricos para a região justifica-se o alto índice de perdas de água por evaporação em ambientes com características semiáridas, tendo em vista as altas taxas de temperaturas.

Gráfico 7 - Gráfico de capacidade de água disponível (1994-2016)



Percebe-se o quanto a disponibilidade hídrica da região influencia na capacidade de armazenamento mensal e sua distribuição intranual. Também é possível relacionar que em caso de grandes estiagens consecutivas, não obtendo valores pluviométricos suficientes ao armazenamento durante o período chuvoso, vem a comprometer o volume dos reservatórios e por sua vez a disponibilidade de água para abastecimento e atividades econômicas.

Gráfico 8 - Gráfico hidroclimatológico médio (1994-2016)

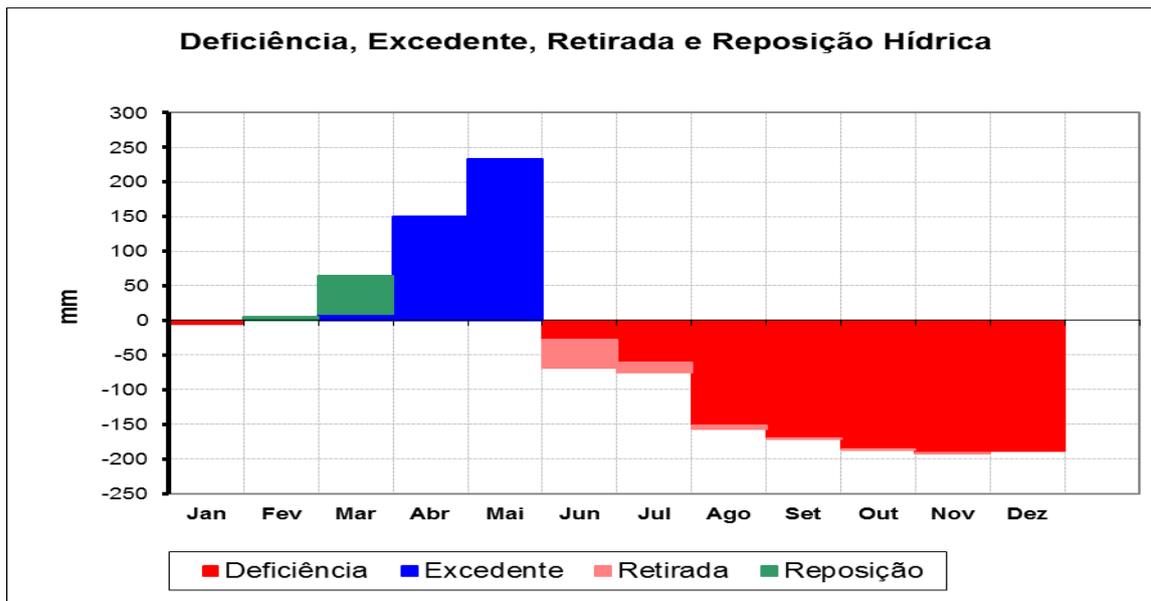


No gráfico 8 a situação média mensal da série escolhida (1994-2016) da região onde se encontra o reservatório Castanhão e a intensidade da seca. O comportamento hidroclimático apresenta não somente a situação de deficiência em grande parte do ano, mas também da concentração pluviométrica nos meses de março e abril, meses estes caracterizados pelo reposição de água na superfície.

Tendo em vista o balanço hídrico médio (1994-2016) apresentado verifica-se que a realidade da região é castigada com longo período de estiagem, temperaturas elevadas e alto potencial de evapotranspiração que geram condições de deficiência hídrica durante boa parte do ano, ratificando a dependência à política de açudagem e políticas emergenciais de convivência com os longos períodos de escassez hídrica.

Em contrapartida, existem situações associadas aos eventos pluviométricos extremos que sinalizam uma boa demanda de água das chuvas e por consequência favorecem o armazenamento da mesma em reservatórios do Ceará. Esta condição pluviométrica foi possível perceber no ano de 2009, considerado por Dantas (2014) como um ano decisivo quanto a garantia hídrica do Castanhão, com chuvas acumuladas em todo ano de 2009 com 1351 mm, sendo responsável por atingir no reservatório 97% da capacidade máxima de armazenamento. A seguir é possível visualizar o balanço hídrico deste período:

Gráfico 9 - Balanço Hídrico Normal do ano de 2009 para o Castanhão



Quanto à vegetação, a região do reservatório está situada numa área caracterizada pela presença de vegetação do tipo hiperxerófila, a qual apresenta bastante representatividade. A presença deste tipo de vegetação se encontra associada ao regime hidrológico da região. De maneira geral a vegetação predominante é arbustiva e esparsa, contribuindo para abrigar de maneira mais ou menos efetiva a fauna existente, representada predominantemente por pássaros e répteis (DNOCS, 1989).

### 3.3. Impactos socioambientais devido à construção do reservatório

Segundo Relatório da Comissão Mundial de Barragens (2000), entre 40 e 80 milhões de pessoas em todo mundo foram fisicamente deslocadas com a construção de cerca de 45.000 grandes barragens.

O deslocamento compulsório de comunidades e famílias é geralmente consequência inevitável da construção de infraestruturas, especialmente no caso da infraestrutura hídrica, onde açudes e canais são construídos em terras e ao longo de rios altamente populosos (KHAN, 2000, p.23).

A partir desse quadro de intervenção tomamos o Estado do Ceará, no qual houve inúmeros questionamentos gerados durante o processo de licenciamento para a construção do Açude público Castanhão fizeram-se necessários debates junto a Secretaria do Meio Ambiente do Estado (SEMACE) com o objetivo de avaliar a fidelidade dos dados levantados para construção do Relatório de Impacto do Meio Ambiente (RIMA). Esses debates foram importantes, pois a partir dessas discussões vieram à tona diversas séries de restrição à obra do reservatório.

O encontro foi realizado com a presença de membros da própria instituição, representantes do comitê de bacias, políticos, representantes da comunidade, etc. Pode-se atribuir explicações com o objetivo de apresentar a população futuros problemas que poderiam ocorrer com o meio ambiente alterado e quais as medidas mitigadoras seriam adotadas pelo governo.

Dentro da realidade do semiárido cearense, das dificuldades enfrentadas a partir de secas severas e de consequências geradas pelas mesmas, segundo o professor Aristides de Almeida Rocha, escalado para compor a equipe de avaliação do licenciamento do Açude Castanhão, expõe da seguinte maneira:

De um ponto de vista conceitual, o melhor sempre seria procurar alternativas para a construção de pequenas barragens por serem menos impactantes, com o intuito de evitar enormes gastos públicos no sentido de fazer voltar uma qualidade e condições da água satisfatórias do ponto de vista sanitário e ecológico (BORGES, p. 148, 1999).

Dessa forma, é papel dos órgãos públicos responsáveis a importância de debater com os envolvidos no processo a melhor maneira de mitigar os impactos das obras e sua adaptação à convivência. Pois não adianta haver um redimensionamento das águas do Estado sem ter uma política de gerenciamento e monitoramento eficaz.

Em julho de 2001, a população residente prioritariamente na área urbana de Jaguaribara e no distrito de Poço Comprido começou a ser reassentada na nova cidade, construída pelo Governo Estadual com o objetivo de proporcionar significativas melhorias na qualidade de vida desta população urbana atingida pelo barramento.

Sabe-se que a cidade de Jaguaribara foi a mais afetada pela construção do reservatório, por ter sido totalmente submersa pelas águas do rio Jaguaribe. Foi necessário reterritorializar cerca de 12 mil pessoas, entre o meio rural e urbano por meio da transferência para a cidade planejada a receber essa população, Nova Jaguaribara, o que ocorreu em setembro de 2001.

Segundo o IPLANCE (2000), o município possuía uma extensão territorial de 595,6 km<sup>2</sup> e limitava-se ao norte com o município de Alto Santo, a leste com o município de Iracema, ao sul com o município de Jaguaribe e a oeste com o município de Jaguaratama. Com a nova demarcação de suas terras, Jaguaribara

passou a ter 655,84 km<sup>2</sup>, ganhando, assim, 60,24 km<sup>2</sup> que pertenciam aos municípios de Alto Santo, Jaguaretama e Morada Nova.

Um dos grandes problemas enfrentados pela população foi a alteração dos laços de vizinhanças, da cultura local, do cotidiano da antiga cidade “Velha Jaguaribara”, etc. Essa nova forma de organização alterou de maneira importante o comportamento e a afetividade que essa população tinha com o município de Jaguaribara, sendo assim sujeitos a novos caminhos de se apropriar do espaço construído “Nova Jaguaribara”.

Portanto, há necessidade de planejamento pré e pós-instalação dessas pequenas e grandes obras hidráulicas. No contexto do Ceará vê-se a ausência de fiscalização ativa durante o processo de implantação de tais obras, além da ausência de monitoramento adequado após a construção do reservatório.

O que não foi diferente com a construção do Açude Castanhão, o qual parte dos dados biofísicos e socioecômicos levantados para justificar a instalação do reservatório não obedeceram à realidade local. Além da não realização da maioria das propostas feitas no documental oficial, como EIA/RIMA.

Segundo Ottoni Netto (1996), a salinização dos solos e da água na região do Baixo Jaguaribe constitui fator preocupante que deve ser encarado com realismo e objetividade. Sendo assim citados os problemas:

1) excesso de radicais salinos em reservatórios sujeitos à forte evaporação e a constantes afluências de cargas salinas;

2) Intrusão de água salgada proveniente do oceano nos prismas de escoamentos que penetram nos estirões marítimos dos cursos d'água (língua salina);

3) infiltrações diretamente do litoral oceânico para o interior dos continentes por diferença de pressão (lente de Hertzberg); etc.

Existe um problema que foi velado durante a elaboração do Relatório de Impacto do Meio Ambiente e não apresentado durante as reuniões para os representantes do povo sobre os valores de evaporação que viriam a ter a partir da construção de lago artificial em um ambiente de altas taxas de radiação solar e tornando-se assim vulnerável a taxas elevadíssimas de perdas de água por

processo de evaporação. Assim é demonstrada a preocupação do professor Theóphilo durante a sua avaliação final do RIMA elaborado, segundo a qual, de forma genérica, os leigos não sabem que as perdas d'água por evaporação compõem vazões bem maiores do que aquelas que são regularizadas a jusante (OTTONI NETTO, 1996).

Por esse motivo dá-se a importância de estudos detalhados sobre o potencial de água evaporada em uma região com altas taxas insolação. Entende-se que o planejamento adequado para a construção do reservatório diminuiria as perdas d'água por evaporação e tornaria a política de açudagem segura quanto à garantia hídrica desses grandes reservatórios.

Segundo Lima e Botão (2007), a umidade relativa do ar média anual é de 68%, sendo que o trimestre mais úmido (fevereiro a maio) ultrapassa os 77%, enquanto que, no período de estiagem (setembro a novembro) atinge valores mínimos em torno de 60%. As condições climáticas da área induzem a elevadas taxas de evaporação que atingem mais de 2.800 mm anuais medidas sobre a superfície terrestre. Mas como se dão os valores reais das taxas de evaporação medidos sobre o próprio Lago do Castanhão? Nesse contexto, esse levantamento mostra-se necessário para conduzir uma segurança quanto à disponibilidade hídrica do reservatório em períodos de grandes estiagens e de que maneira recai sobre as questões de garantia hídrica.

A ausência de monitoramento preditivo do reservatório Castanhão fragiliza não somente a sociedade civil como também aos pesquisadores, pois a partir de levantamentos reais os mesmos poderão propor a elaboração de planos de ação que vise diminuir o impacto dessas grandes obras de convivência com seca ou até mesmo de como trabalhar em prol da permanência da água na superfície. E como incentivar uma gestão que apresente a sociedade as reais condições de segurança hídrica e vida útil desses reservatórios? Faz-se necessário priorizar o aprimoramento das técnicas e capacitação do quadro pessoal envolvido neste processo de sobrevivência em ambientes vulneráveis as secas.

Vale salientar que a alteração no curso normal de um rio acarreta sérios problemas de evolução das taxas de sedimentos e processo de assoreamento, que a pressão hidrostática da água armazenada sofrida no solo poderia causar

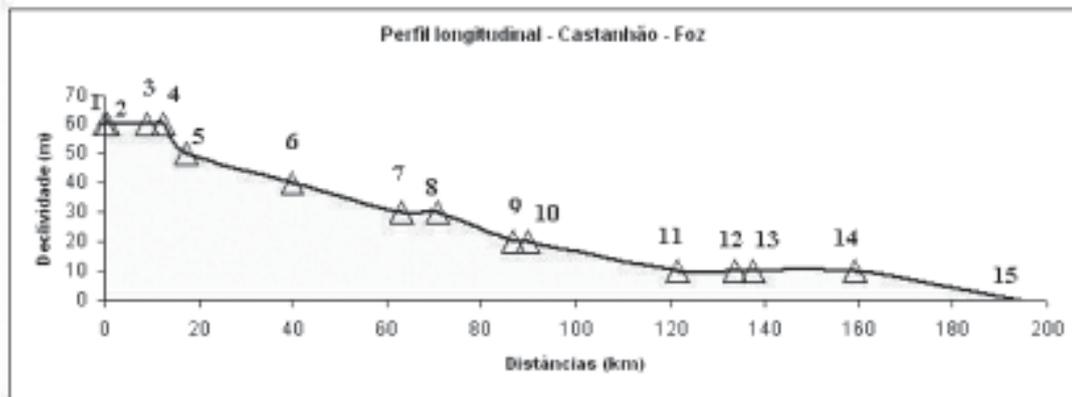
problemas futuros na região, e que a ausência de monitoramento climático evitaria perdas consideráveis de água do reservatório. Após dez anos de construção do Açude Castanhão ainda não se registram o monitoramento sedimentológico, sismográfico, climático, etc.

Dantas (2014) verificou a formação de brisas lacustres sobre o município de Jaguaretama/CE, setor oeste do reservatório, por meio de coleta episódica durante os períodos chuvosos e secos para o Estado do Ceará. Neste estudo apontou-se também a influência do lago artificial sobre o microclima.

Embora possam ter diversas funcionalidades, tanto as barragens como os açudes afetam as condições naturais de descarga líquida de alguma forma, podendo determinar mudanças que, em longo prazo, produzem novas condições de estabilidade, através da relação entre a capacidade de transporte de fluxo e a carga de sedimentos liberada do reservatório, junto com a relação entre erosividade de fluxo e erodibilidade de margens (MACKIN, 1948; CUNHA, 1995a; BRANDT, 2000).

Cavalcante (2012) analisou de forma detalhada o trecho do rio Jaguaribe entre a Barragem do Castanhão e a foz é possível observar a distribuição espacial das passagens molhadas (PM) ao longo do perfil longitudinal do trecho em enfoque (figura 9). Observa-se que a cada concentração de açudes no perfil mostra certo escalonamento, razão pela qual levantasse a hipótese de que os açudes (no contexto das passagens molhadas – PM, representadas pelos triângulos no gráfico) devam provocar alterações no perfil especialmente quando há proximidade considerável entre os mesmos. Do contrário, como pode ser observado, quanto maior as distâncias entre os mesmos, menores são as evidências de alterações no perfil. Este é o caso do trecho entre os açudes 5 e 7 que distam 46 km e onde o perfil não mostra escalonamento.

Figura 9 - Perfil longitudinal do Rio Jaguaribe no trecho barragem do Castanhão – foz.



Fonte: CAVALCANTE (2012).

O efeito de um açude pode ser pequeno em comparação ao de uma barragem, mas quando combinado com sucessivos açudes, este pode ser até mesmo superior aos das barragens (THOMS e WALKER, 1993). Embora as barragens provoquem mudanças no perfil longitudinal dos rios, estes irão sempre buscar nova condição morfológica de equilíbrio, sendo apenas uma questão de tempo. Alguns pesquisadores têm procurado entender a complexidade do reajuste da morfologia para inferir uma estimativa de tempo para o sistema se reequilibrar. Cunha (1995a), ao citar Bruma e Day (1977), diz que nenhuma resposta do canal pode ser observada em menos de cinco anos do represamento e que essas trocas podem perdurar por mais de 50 anos.

Outros grandes problemas apontam-se como rotineiro em ambiente de represamento de água, Souza et al (2011) por meio de levantamento *in locu* observou no reservatório Castanhão o processo de eutrofização; o aumento da turbidez da água; a presença de cianobactérias, onde foram registradas entre 15 e 85 mil células/mL (média de 35 mil células/mL) de cianobactérias, para o período de 01/09/2009 a 14/10/2009. Sabendo que os valores para o CONAMA 357 para corpos d'água de Classe II permitem uma densidade de cianobactérias de até 50 mil células/mL. Portanto, pelo menos em alguns momentos, o parâmetro medido excedeu os valores da resolução.

Esses dados, associados ao excesso de fósforo, acarretam preocupação em caso de persistência, uma vez que podem vir a comprometer o desenvolvimento da atividade piscícola no Castanhão. Esse problema tem o agravamento porque os

resíduos da piscicultura – como restos de alimentos e resíduos naturais dos peixes – associados aos resíduos químicos derivados do uso dessas substâncias no controle de pragas e doenças podem acelerar o processo de eutrofização e, conseqüentemente, o crescimento das populações de cianobactérias.

A retirada da vegetação nativa para a construção do reservatório também pode ser apontado como um grande prejuízo e/ou dano ambiental local, pois com a construção do Castanhão a cobertura vegetal, constituída principalmente por rasteira, foi removida. Já o projeto da piscicultura foi instalado após a remoção da massa vegetada, não podendo ser esse o causador do dano. Mas com a intensidade do povoamento de piscicultores e a conseqüente instalação das gaiolas dos peixes (figura 10) fez com que a mata nativa não se regenerasse e permanecesse sem sua cobertura vegetal nas margens do reservatório

Figura 10 - Área de instalação da atividade piscícola no setor leste do Castanhão



Fonte: do autor (2015).

Diante disso, ressalta-se importância do gerenciamento de reservatórios, o quanto a pouca atuação e fiscalização dos órgãos públicos fragilizam a dinâmica sustentável do represamento das águas no Ceará, que também não difere do contexto regional e nacional.

### **3.4 Castanhão: águas sertanejas de potencialidades e desafios**

(...) foi concebida em consonância com as políticas públicas adotadas pelo Estado brasileiro com o objetivo de criar as pré-condições para a

interiorização do desenvolvimento e melhor distribuição das atividades produtivas e da população no território (IPLANCE, 2000).

Portanto, a obra foi planejada para atender os múltiplos usos da água no território cearense, funcionando não somente como um vetor sustentável local mais em prol do redimensionamento da água para a Região Metropolitana de Fortaleza. Possibilitando a garantia hídrica e oferta de água para os períodos de grandes estiagens.

Para que isso fosse possível o governo do estado construiu o canal da integração, com vazão de 22 m<sup>3</sup>/s e 255 km de extensão, conforme figura 11. O objetivo dessa obra é realizar a transposição da água do Açude Castanhão para a Região Metropolitana de Fortaleza, para o Complexo Portuário do Pecém e os distritos industriais de Maracanaú, Horizonte e Pacajús, garantindo o abastecimento de água da população dessas regiões, além das indústrias.

Essas finalidades desde o início foi contraposta do MAB, pois para eles atender ao Portuário do Pecém é retroceder quanto ao acesso do sertanejo à água. O que ocorre na atualidade, pois em momentos periódicos a população entra em conflitos com os gestores do reservatório Castanhão e da própria administração do canal da integração tendo em vista a proibição da população em ter acesso direto à água no próprio canal.

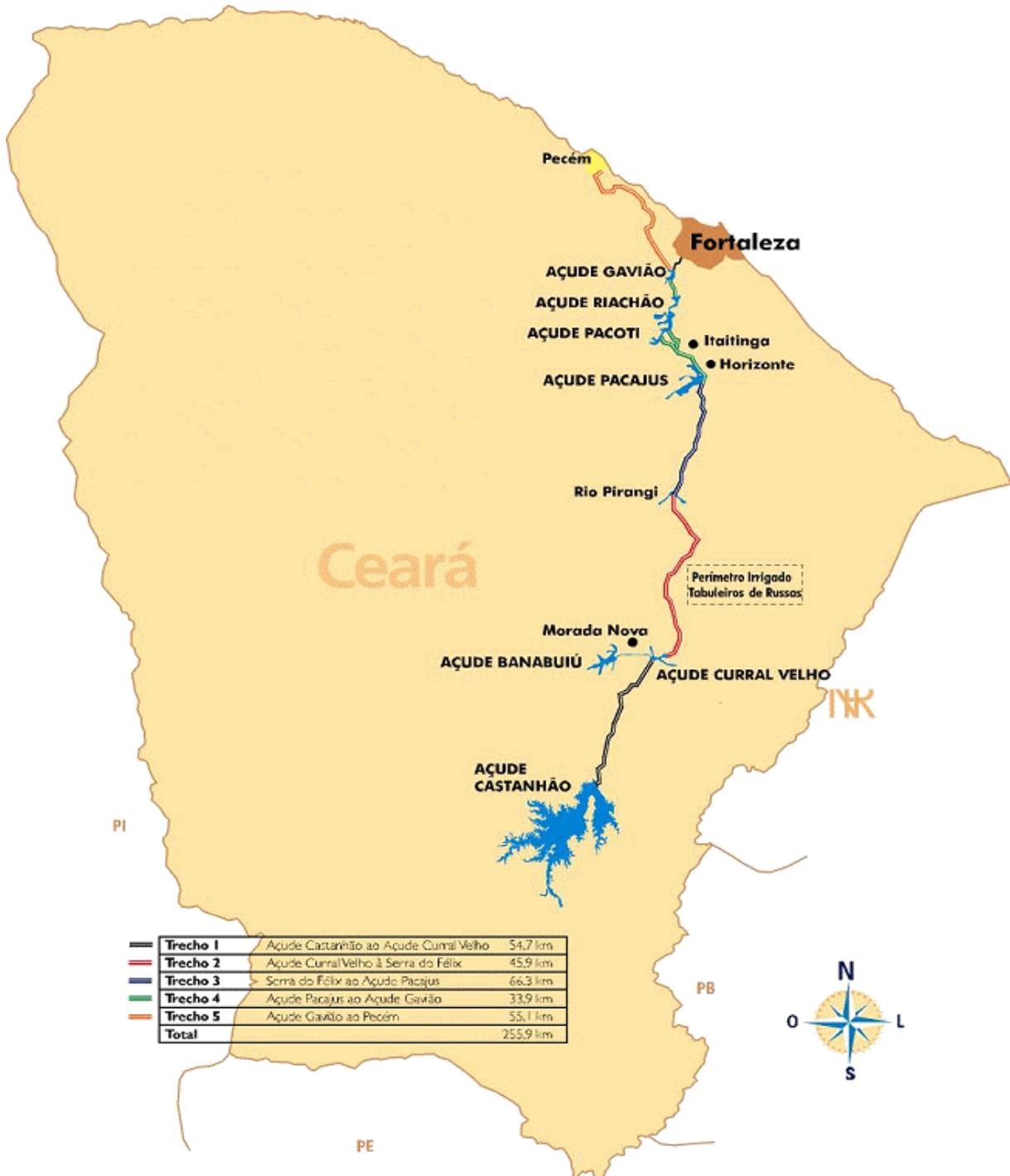
É uma situação paradoxal, apesar de a população morar às margens do reservatório ou do próprio canal da integração, esta não pode utilizar suas águas porque, segundo a COGERH, foi estabelecido um perímetro de segurança de 100 metros ao longo do canal. O perímetro é cercado com vigilância armada, de forma a impedir que os habitantes tenham o acesso à água do canal.

Em suma, os principais usuários são os irrigantes, as aquiculturas, principalmente os carcinicultores, as concessionárias de água, e uma demanda agregada do Complexo Industrial da Região Metropolitana, de fortalecer agroindústria e dos sistemas agrícolas no trecho do Canal do Trabalhador. A oferta hídrica é estimada de acordo com o volume armazenado no açude, levando em conta a demanda do consumo da água nos anos anteriores.

Quanto à vazão para operação do sistema hídrico é apresentada por simulações de esvaziamento do açude e definida de forma participativa e

deliberativa em Seminário de planejamento, operação e alocação das águas dos Vales do Jaguaribe e Banabuiú realizado no início do segundo semestre do ano, final da quadra chuvosa na região e início do período de estiagem.

Figura 11 - Percurso do canal da integração



Fonte: SRH-CE.

As potencialidades do reservatório construído foram questionadas desde o princípio, diversos argumentos foram expostos com o objetivo de detalhar melhor

as possíveis consequências que esta grande obra no sertão cearense poderia ocasionar futuramente. Até hoje vivenciamos conflitos quanto ao acesso à água na região, que, portanto, vem a fragilizar a gestão participativa. De um lado encontra-se a pressão da população para o fim básico de sobrevivência por meio do abastecimento de água a suas localidades e por outro o Estado com suas finalidades de promover o desenvolvimento de grandes proprietários em prol do crescimento em larga escala.

Este, um projeto audacioso e contestável, objetiva levar água para as 12 bacias hidrográficas do Ceará, por meio da construção de 1,3 mil quilômetros de canais, sifões e túneis, beneficiando milhões de pessoas no Estado.

Outra grande expectativa é o Projeto de Transposição do Rio São Francisco. A ideia de integração como solução para resolver o problema de oferta de água em boa parte do semiárido nordestino é tão antiga quanto a política de açudagem.

No ano de 1847, a ideia da transposição do rio São Francisco para a bacia do Jaguaribe teve sua primeira manifestação ao deputado da província do Ceará, Antonio Marco de Macedo, atuante no município do Crato. Em 1856, a Comissão Científica de Exploração, tendo á frente o Barão de Capanema, apontou a abertura de um canal ligando o Rio São Francisco ao Rio Jaguaribe. Em 1908, Euclides da Cunha delineou um plano estratégico de uma cruzada contra o deserto, que incluía uma provável derivação das águas do São Francisco para o Jaguaribe (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 1999).

No ano de 1903, a IFOCS realizou estudos para a execução da transposição, que propunham a construção de um túnel de 300 km de extensão. Novos estudos, em 1909 demonstram a inviabilidade da obra. Já em 1972, o tema foi retomado pelo Deputado Wilson Roriz, do Ceará que, com a possibilidade de associar o canal e adução, permitiu uma nova perspectiva para viabilizar a transposição (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 1999).

Mas foi no ano de 1985 que o Castanhão entra no contexto da transposição. O DNOS apresentou um projeto que previa a captação, em um único canal, de 300 m<sup>3</sup>/s destinados a irrigação. Este projeto previa a integração do Rio São Francisco com o Açude Castanhão, e Armando Ribeiro Gonçalves, no Rio

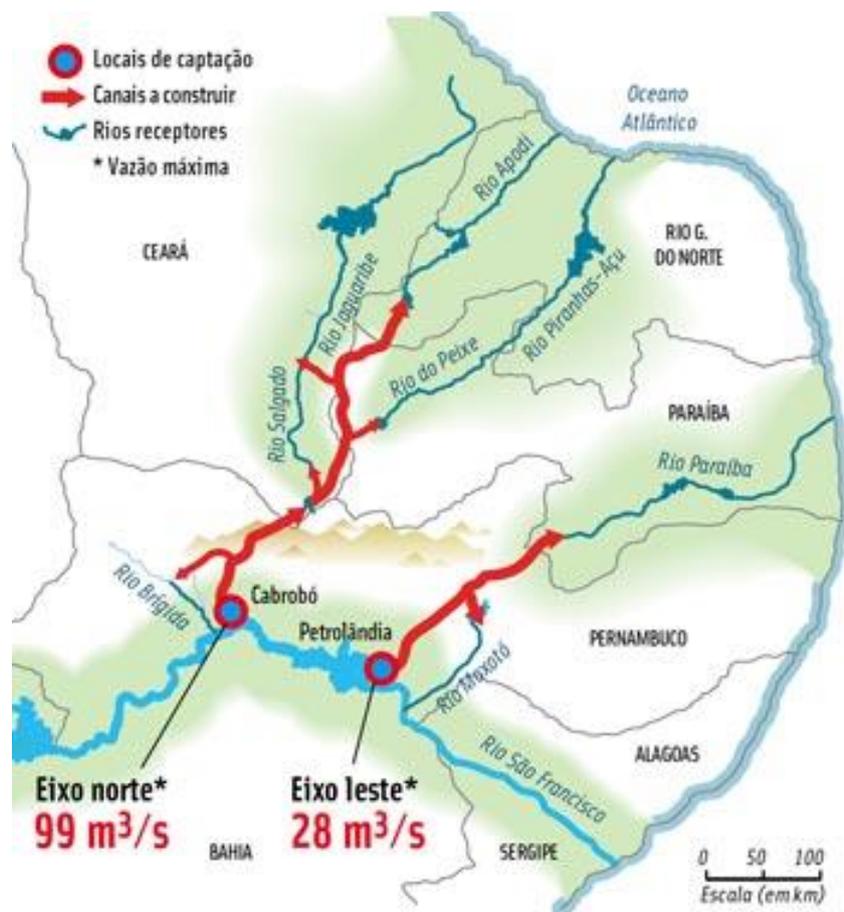
Grande do Norte. No ano de 1994, o Ministério da Integração Nacional apresenta outra proposta de captação de 150 m<sup>3</sup>/s, integrando o Açude Castanhão, Armando Ribeiro Gonçalves e Santa Cruz.

Com o objetivo principal de assegurar oferta de água a população que sofre com a escassez hídrica no Nordeste brasileiro, o atual Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF – Figura 12) pretende realizar a transferência de água através de dois sistemas independentes, denominados Eixo Norte e Eixo Leste. O Eixo Norte sairá do Rio São Francisco, próximo da cidade Cabrobó, em Pernambuco, e levará água até as bacias do Rio Jaguaribe, no Ceará; Piranhas-Açu, na Paraíba e Rio Grande do Norte; e Apodi, no Rio Grande do Norte. O bombeamento da água vencerá uma altura de 160 metros. Uma vez atingindo o divisor topográfico de águas entre as bacias, o canal seguirá por gravidade (sem bombeamento) até a calha dos rios intermitentes (BRASIL, 2009).

O Eixo Leste integra o lago da Barragem de Itaparica, no Rio São Francisco, com os rios Paraíba, na Paraíba e Ipojuca, em Pernambuco. A altura do bombeamento é de 300 metros para a Paraíba e de 500 metros para o Agreste Pernambucano (BRASIL, 2009).

Quanto à transferência de água bruta, estima-se a média de 2,3% da vazão regulariza pelo Rio São Francisco – uma média de 42,4 m<sup>3</sup>/s - destinados as bacias do Ceará, da Paraíba e do Rio Grande do Norte; e mais 21 m<sup>3</sup>/s (1,2%) destinado ao estado de Pernambuco, totalizando 63,5 m<sup>3</sup>/s (BRASIL, 2004).

Figura 12 - Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF)



Fonte: BRASIL, Ministério da Integração Nacional (2009).

Cabe ressaltar que, assim como a construção de açudes e canais no semiárido, o projeto tem seus argumentos de oposição a realização do mesmo. Justifica-se, principalmente, pelo não atendimento do objetivo inicial que é oferta de água a população necessitada.

Para o Ceará o projeto tende a viabilizar a estabilidade ou atenuar os longos períodos de estiagem no Estado, devido à estabilização da água, através da transposição, no oásis do sertão cearense, o Castanhão. O que não torna a total dependência apenas da situação pluviométrica local, e sim, da entrada de vazão pela transposição para bacia do Jaguaribe.

No Ceará a espera pela transposição, talvez seja, no momento, a esperança de atenuar as graves consequências devido aos longos períodos de escassez hídrica. Tendo em vista a demanda bem superior a oferta de água disponível. O que se deve observar é se os objetivos iniciais serão mantidos ou haverá alterações deste em prol dos grandes proprietários e projetos de crescimento

econômico para o Estado. Como e qual a intensidade da real gestão das águas transportadas do Rio São Francisco para o Ceará?

Nesse contexto, o Castanhão aparece não somente como um reservatório de importância local como também de visibilidade regional. Sim, o Castanhão tornou-se um sonho realizado, por ser uma grande obra da engenharia, um importante precursor de debates devido a sua eficiência de reservatórios de macro porte no contexto semiárido, e também pelo seu suporte a RMF e o Complexo Portuário do Pecém. Porém, sua gestão pouco otimizada fragiliza a permanência de acesso ao recurso à população local e os pequenos projetos de irrigação. O que se espera para as próximas décadas é um olhar, por parte da gestão, que insira uma política de sustentabilidade e de resiliência quantos as questões de convivência com a seca em prol das necessidades local e regional.

## 4 A EVAPORAÇÃO DE RESERVATÓRIOS NO CONTEXTO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Neste capítulo, apresentam-se aspectos teóricos e metodológicos do processo de evaporação em ambientes de características semiáridas, tendo o Brasil como *locus* da discussão. Além das possibilidades metodológicas sobre estudos de evaporação direta e indireta em reservatórios de grande porte e métodos de medidas desta evaporação.

### 4.1. Os estudos sobre evaporação em ambiente tropical semiárido e o comportamento da camada limite

Caracterização do processo de evaporação em clima tropical semiárido

*Three kinds of surface are important in the return of rain to the atmosphere. For extended areas of land, they are, in order of importance: vegetation, on which plant leaves act as transpiring surfaces; bare or fallow soil, from which water evaporates at, or just below, the soil-air interface; and open water, from which evaporation takes place directly. Although the last may be of predominant importance locally (PENMAN, 1948, p. 122).*

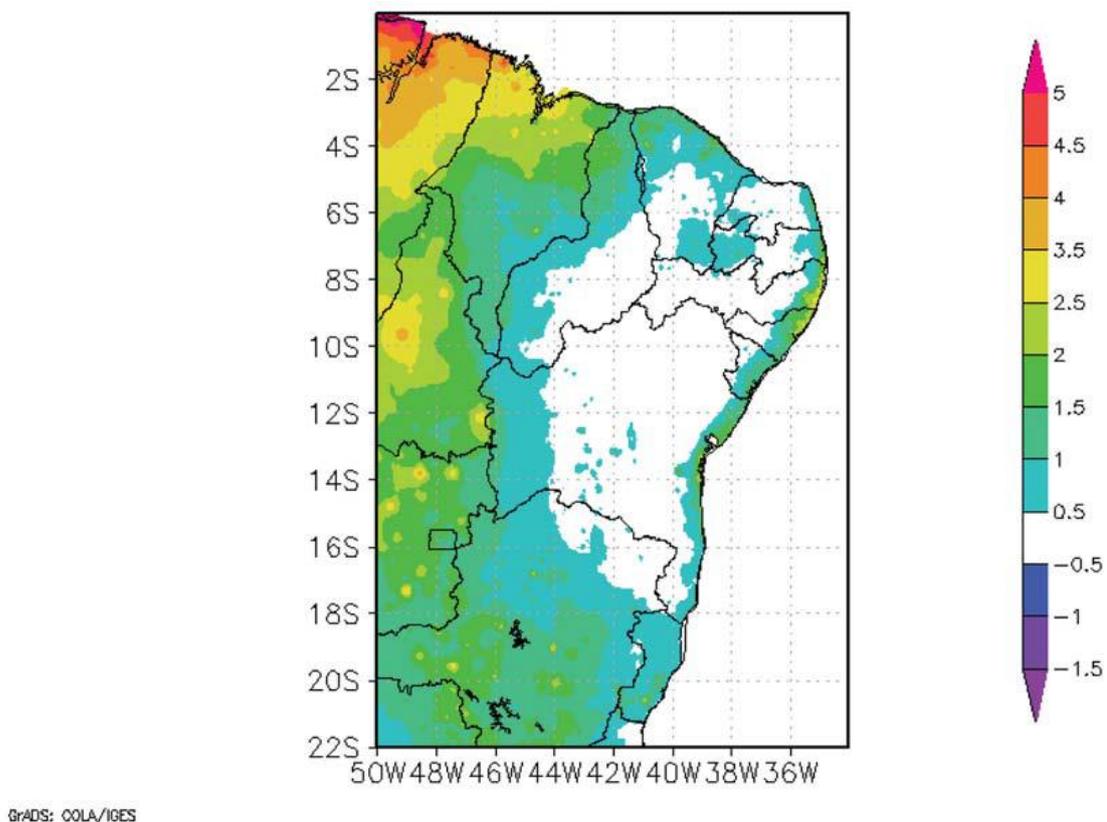
O conhecimento detalhado deste processo é pouco pesquisado pela Ciência geográfica, mesmo sabendo da importância de conhecer a dinâmica de perdas de água para atmosfera e de que forma ela interfere na disponibilidade de recursos hídricos, principalmente em regiões semiáridas. Este é um processo de escala local (de caráter físico), principalmente no contexto de reservatórios, mas é preciso deixar claro que a consequência desse processo no contexto de grandes reservatórios do semiárido está diretamente relacionada à escala regional, pois as perdas de água por evaporação tendem a afetar diretamente grandes regiões que dependem das águas represadas nesses reservatórios.

As águas superficiais no clima tropical semiárido são provenientes, em sua maioria, de chuvas que caem em bacias hidrográficas totalmente contidas na própria região. O regime de chuvas é concentrado em quatro meses durante o ano, com picos novembro-dezembro na porção sul, março-abril na porção norte e junho-julho na porção leste do Nordeste brasileiro. Além desses, precipitações que ocorrem na bacia do Rio São Francisco em Minas Gerais também contribuem para o total de águas pluviais disponíveis.

A dinâmica das precipitações na região está diretamente relacionada com os processos atmosféricos e oceânicos que condicionam a distribuição espacial e temporal. As chuvas são caracterizadas tanto pela irregularidade intra-anual como interanual, tornando assim a difícil tarefa do gerenciamento das águas no semiárido brasileiro. Essa grande variabilidade interanual dos totais pluviométricos resultam na alternância de anos de seca e de cheias.

A figura 13 apresenta o balanço anual entre a precipitação e evaporação para a Região Nordeste, indicando que, na média anual, os totais pluviométricos aproximam/igualam a evaporação sobre toda a porção semiárida, desde Minas Gerais até o Ceará e Rio Grande do Norte.

Figura 13 - Balanço precipitação menos evaporação, média anual – 1994 a 2007 (mm/dia)



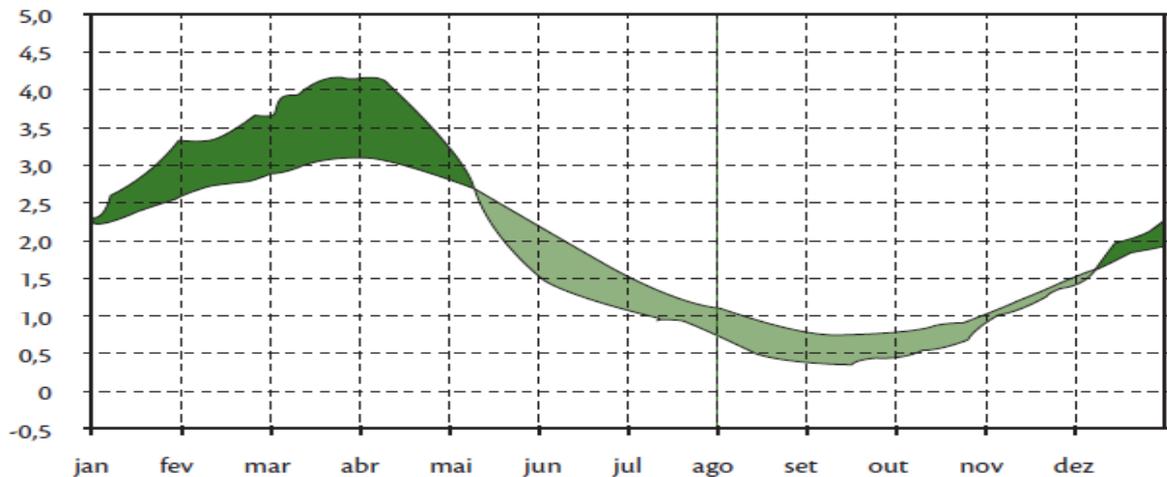
Fonte: Projeto PROCLIMA, INPE/CPTEC.

Observa-se que os totais pluviométricos anuais superam a evaporação sobre uma estreita faixa ao longo do litoral da Bahia ao Rio Grande do Norte, o litoral do Ceará e o oeste da Bahia e do Piauí e todo o estado do Maranhão.

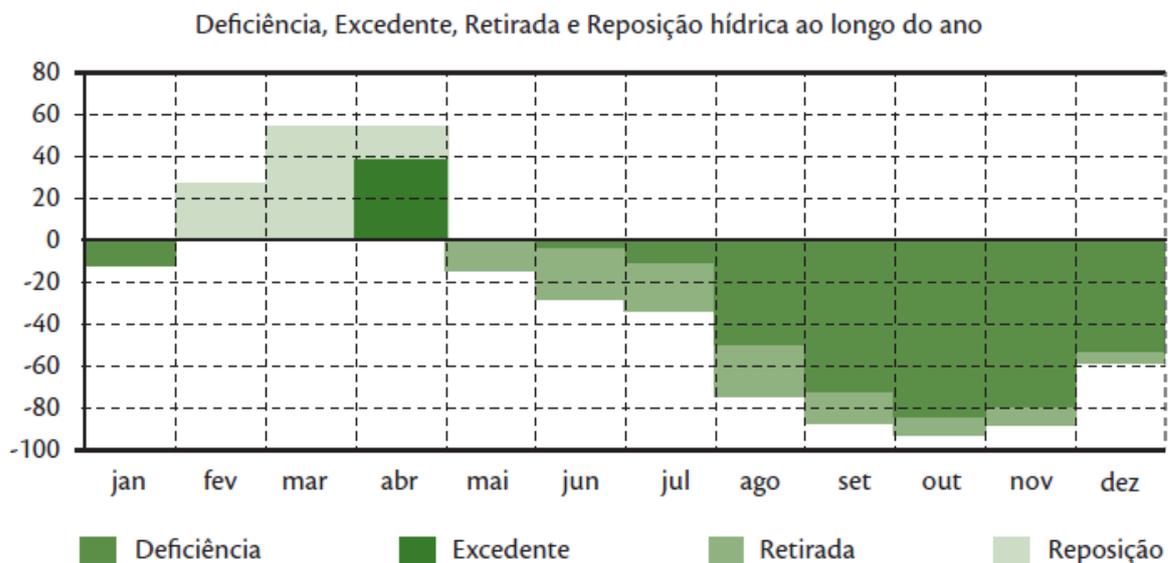
A combinação de elevadas taxas de evaporação, solos rasos com pouca capacidade de armazenamento de água em aquíferos e o caráter concentrado das

precipitações anuais leva a escassez hídrica. Portanto, o déficit hídrico estacional durante parte do ano e excedente hídricos durante o período chuvoso sobre cada região do Nordeste são características do clima semiárido, como observa-se na figura 14.

Figura 14 - Balanço de déficit hídrico do setor norte da Região Nordeste do Brasil.



\*Precipitação (linha preta contínua) e evaporação (linha preta tracejada)



Fonte: Projeto PROCLIMA, INPE/CPTEC.

O balanço hídrico da região semiárida brasileira pouco difere daqueles observados em outras regiões isoclimáticas do globo (FRISCHKORN *et al.*, 2003). Sua precipitação anual média oscila entre 500 e 850 mm com mais de 70% das chuvas concentradas no quadrimestre janeiro – abril; sua evaporação potencial anual média (tanque classe A) varia de 2.100 a 2.600 mm; sua evaporação real

média varia de 450 a 700 mm anuais; seu solo é geralmente raso sobre embasamento cristalino (GAISER *et al.*, 2003; GÜNTNER e BRONSTERT, 2004) e seus rios principais são intermitentes.

O período de precipitação excedente, período chuvoso da região, por ser extremamente curto nas regiões semiáridas, exigindo, portanto, que haja acumulação de água em reservatórios naturais ou artificiais, para que possa ser utilizada no período seco.

No semiárido brasileiro existem, aproximadamente, 70 mil açudes de pequeno porte, para tanto, de acordo com Suassuna (2002) são caracterizados por volumes entre 10.000 e 200.000 m<sup>3</sup> e representam 80% dos corpos d'água do Nordeste brasileiro. Os açudes também apresentam restrições relativas à qualidade da água, principalmente devido à salinização, o que gera prejuízo às culturas e aos terrenos à jusante, além de comprometer o consumo humano e outros usos da água.

O Semiárido necessita de investigações criteriosas do balanço hídrico para que os açudes cumpram a função para a qual foram projetados. Segundo informações do Projeto Áridas (2002), açudes foram construídos na sua maioria sem planejamento e critérios de dimensionamento adequados, gerando o não sangramento de inúmeros desses aproveitamentos e, conseqüente problema com a qualidade da água que não se renova anualmente, apenas evapora, aumentando a concentração de sólidos dissolvidos totais que representam a salinidade da água.

Outro aspecto é a quantidade de açudes construídos em uma mesma bacia hidrográfica, podendo acarretar a sua exaustão hídrica e, como conseqüência direta, a criação de espelhos d'água sujeitos à evaporação. Uma avaliação importante para a gestão das águas é a comparação entre a eficiência dos pequenos e grandes lagos quanto às perdas por evaporação para dar subsídio à escolha do tamanho adequado do reservatório a ser construído.

Essa questão é abordada por Campos (2001) na análise da influência da evaporação em 40 reservatórios superficiais no Estado do Ceará. Os resultados desse estudo, por método indireto, mostram que os grandes reservatórios apresentaram uma evaporação média de 7% do volume médio afluente anual,

enquanto que os pequenos apresentaram 18%. Desse modo, o autor concluiu que existe uma tendência de os grandes açudes serem mais eficientes que os pequenos.

As altas taxas de evaporação que ocorrem em superfícies livres de água representam uma perda significativa na disponibilidade hídrica de uma região. O conhecimento das perdas por evaporação é a base para se determinar o volume potencial de água disponível, cuja informação é de suma importância no planejamento de políticas de manejo dos recursos hídricos da região. Portanto, o estudo de métodos de determinação de taxas de evaporação de reservatórios no contexto do semiárido é imprescindível, pois permite que seu aproveitamento seja otimizado evitando-se desperdício, e possibilitando um planejamento racional do uso da água.

Até o momento, poucos foram os estudos realizados no Nordeste relativo à evaporação de açudes. Isso se deve ao fato, principalmente, de que estudos de taxa de evaporação de uma superfície livre é um problema bastante complexo, uma vez que o processo envolve um conjunto de variáveis, muitas vezes de difícil determinação. E muitos estudos são realizados por meio de variáveis coletadas em estações em ambientes terrestre, o que de fato vem a comprometer os reais valores de evaporação do açude.

Recomenda-se, no entanto, para uma avaliação mais precisa da evaporação em um reservatório e seus efeitos, a aplicação dos métodos de estimativas utilizando dados medidos no local de implantação ou mesmo no corpo do reservatório caso existente, uma vez que dados médios e de regiões próximas podem mascarar a real influência desse fenômeno no funcionamento do sistema. Deve-se também avaliar a possibilidade da existência de um volume limite que a partir dele a vazão evaporada supera a vazão regularizada e outro a partir do qual devido ao aumento progressivo da vazão evaporada resultante do acréscimo significativo do espelho d'água. Observa-se dessa forma que a evaporação tem influência direta quanto à eficiência do reservatório, tendo em vista a relação entre a vazão regularizada e a evaporada (FONTES *et. al*, 2003, p. 17).

Além da precisão do valor evaporado do açude, deve-se atentar para método a ser utilizado, já que a aplicação de métodos inadequados gera valores sub ou superestimados, informando erroneamente aos gestores da água, técnicos e comunidade. É necessário, então, se entender o fenômeno da evaporação para se conviver com ele, já que seus efeitos não se evitam, mas se gerenciam.

Um fator predominante no processo de construção dos reservatórios em ambientes semiáridos é que o déficit hídrico é visto, geralmente, considerando apenas o seu aspecto quantitativo sem analisar a qualidade da água disponível. O gerenciamento dos recursos hídricos não pode dissociar os aspectos quantitativos dos qualitativos, para que se possa permitir uma visão mais abrangente sobre a gestão das águas e conduzir a apropriada solução aos problemas enfrentados.

#### 4.1.1 Experiências de estudos de evaporação no semiárido brasileiro

A maioria dos trabalhos de estimativas de evaporação realizados no semiárido brasileiro levou-se em consideração a metodologia por bacias de experimentação em ambientes terrestres. Os valores dos atributos climáticos em ambientes sobre o lago tendem a serem diferentes se comparando a ambientes terrestres, portanto, faz-se necessário estimar sobre o próprio ambiente do lago, desta forma, dar-se a relevância desta pesquisa.

Os estudos sobre perdas por evaporação vêm sendo objeto de estudo, principalmente, em grandes lagos do semiárido brasileiro com finalidade para usos múltiplos, sendo estes o que caracterizam por ter sua funcionalidade e importância em períodos de grandes estiagens devido a secas severas. A seguir, discutem-se os principais estudos sobre evaporação no semiárido a partir da década de 1980.

Aquino (1986) verificou a taxa de evaporação a partir de uma estação evaporimétrica montada, nas proximidades do Açude Amanari (Maranguape-Ceará). Com base em dados meteorológicos, que foram coletados durante o período de 1983-1986, os dados diários de evaporação do açude e dos evaporímetros de Piché e Tanque classe A, além de dados de precipitação, insolação, velocidade do vento, temperatura e umidade relativa. Utilizou-se de técnicas de regressão linear simples e múltiplas, para obter equações inter-relacionadas aos dados de evaporação e as observações meteorológicas. As correlações foram obtidas a níveis diários, mensais, semestrais (semestre seco e chuvoso) e anuais.

Molle (1989) estimou em diversos municípios do Nordeste brasileiro as taxas de evaporação anual em superfície por meio do método de Tanque de Classe A. Este trabalhou apresentou taxas de evaporação entre 2695 mm e 3341 mm, com média de 2998 mm. PATOS (PB) com 3341 mm; SUME (PB) com 2789 mm; PETROLINA (PE) com 3132 mm; OURICURI (PE) com 2760 mm; IRECE (BA) com

2846 mm; BARBALHA (CE) com 2695 mm; TAUÁ (CE) com 3137 mm; CRUZETA (RN) com 3303 mm; SOUZA (PB) com 2945 mm; CAICÓ (RN) com 3154 mm; e FLORÂNIA (RN) com 2879 mm.

Guilhon (1998) revelou que, no semiárido brasileiro, o percentual de vazão evaporada em relação à vazão do afluente determinado por esse aproveitamento supera 7%, o que representa uma vazão evaporada de 200m<sup>3</sup>/s para uma vazão afluente média de 2.673 m<sup>3</sup>/s. Verificou-se também que no Barramento de Boa Esperança no Rio Parnaíba, entre os Estado do Maranhão e Piauí, apresenta um percentual elevado na ordem de 3,9%, reforçando o cenário mais crítico inerente aos localizados na região semiárida, portanto, necessitando de um maior controle sobre as perdas por evaporação.

Fontes, Oliveira e Medeiros (2003) avaliaram a influência da evaporação, em região semiárida, para gestão das águas em três reservatórios que compõem a Bacia Hidrográfica do rio Paraguaçu (BA). Os valores encontrados pelos métodos de Balanço de Energia (3,34 mm/dia), Priestley e Taylor (4,04 mm/dia) e Penman (3,99 mm/dia).

Moura *et. al.* (2006) estimaram os totais anuais e a média da evaporação da cidade de Petrolina (PE), medida pelo Tanque Classe "A". As médias da evaporação acompanham a pequena variação anual do regime térmico, que, por sua vez, é dependente do regime de radiação solar global anual, apresentando menores valores entre os meses de fevereiro e julho. Nesse período, a evaporação varia, em média, de 181,1 a 199,3 mm mês<sup>-1</sup>. Os maiores valores acontecem nos meses de setembro e outubro, com totais iguais a 266,3 e 298,7 mm, respectivamente. O total anual de evaporação estimado foi, aproximadamente, igual a 2.659 mm.

Barbosa e Mattos (2007) estimaram a evaporação de um pequeno reservatório localizado na bacia experimental de Serra Grande do Norte/RN, utilizando dados obtidos sobre o lago. Os valores da evaporação potencial encontrados pelos métodos de Balanço de Energia (4,33 mm/dia), Priestley e Taylor (5,16 mm/dia) e Penman (4,77 mm/dia) foram significativamente inferiores às medidas encontradas através do método de Morton (7,03 mm/dia), indicando que as simplificações realizadas para o cálculo da evaporação potencial subestimaram esse fenômeno na área de estudo.

Pereira *et. al.* (2009) desenvolveram um trabalho com o objetivo de estimar a evaporação líquida no lago de Sobradinho (BA) por meio da metodologia do Tanque Classe A e dos modelos Linacre (1993), Kohler *et al.* (1955) e CRLE. Estes concluíram que a construção do reservatório de sobradinho alterou sensivelmente o comportamento hidrológico do Rio São Francisco à jusante da mesma; os valores obtidos pelo modelo Kohler *et al.* (1955) podem ser utilizados como base de referência para a estimativa da evaporação média anual do Lago de Sobradinho.

Considerando a estimativa de evaporação do açude Banabuiú no estado do Ceará, Leão *et. al.* (2013) por meio dos métodos de Penman, Kohler-Nordenson-Fox, Priestley-Taylor, de Bruim-Keijman, Brutsaert-Stricker e de Bruim avaliaram o comportamento da evaporação como subsidio ao balanço hídrico local. Neste trabalho foi possível concluir que os métodos apresentaram um ótimo desempenho quando testados para realização de balanço hídrico, os métodos também mostraram que a estimativa evaporação variou de 31,4 a 56,9 % de volume perdido em o reservatório em período de um ano.

Campos (2015) analisou a influência da evaporação em 40 reservatórios superficiais no Ceará. O autor verificou que os grandes reservatórios apresentaram evaporação média de 7% do volume médio afluyente anual, já os pequenos apresentaram 18%, concluindo que existe uma tendência que grandes açudes serem mais eficientes que pequenos açudes no contexto do semiárido.

Esses estudos sobre o balanço energético contribuem para o entendimento dos fenômenos meteorológicos que abrangem uma ampla variedade de escalas espaciais e temporais, desde a dinâmica dos ventos, temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar e a influência destes no processo de evaporação em diferentes climas do globo.

Nesse contexto, dar-se a importância de conhecer a posição da camada limite e sua influência nos processos de interação atmosfera e superfície. Segundo Barry e Chorley (2013) a camada limite geralmente tem 1 km de espessura, mas varia entre 20 m e vários quilômetros em diferentes locais e diferentes momentos no mesmo local. Dentro dessa camada, os processos de difusão mecânica e convectiva

transportam massa, momento e energia, além de trocarem aerossóis e substâncias químicas entre a atmosfera inferior e a superfície.

No caso do corpo d'água, os fluxos de energia têm proporções bastante diferentes. O balanço de energia simples baseia-se na premissa de que o termo advectivo horizontal devido à transferência de calor é zero. Assim, entre 06:00 e 16:00 horas, quase todo o saldo de radiação é absorvido pela camada de água ( $AW$  é positivo) e, em todos os outros momentos, a água oceânica está enquentando o ar pela transferência de calor sensível e calor latente de evaporação (BARRY e CHORLEY, 2013, p. 395)

Em condições de semiaridez a camada limite apresenta sua determinação devido às condições contrastantes entre o período chuvoso e seco, e principalmente, da proporção de quanto maior a distância do oceano maior será a espessura da camada limite. Um exemplo foi o trabalho desenvolvido por Silva *et al* (2015) para os municípios de Mossoró/RN e Quixeramobim/CE, onde verificaram que a espessura da camada limite planetária em Quixeramobim apresentou-se superior a Mossoró, 965 m e 839 m, respectivamente. Esse fato deve-se a maior velocidade média do vento em Mossoró; a estabilidade estática maior em Quixeramobim em função do resfriamento radiativo da superfície; menor dispersão do vapor em Quixeramobim em comparação a Mossoró; e devido à cidade de Mossoró está mais próximo do Oceano.

Portanto, o conhecimento da camada limite no semiárido aproxima a discussão quanto ao balanço de radiação observado em um determinado local e até que ponto influencia no saldo de radiação diário, e por consequência, nos fatores que influenciam o processo de evaporação.

#### **4.2. Fatores que influenciam a evaporação**

Em meteorologia o termo evaporação é usado para designar a transferência de água para atmosfera, sob a forma de vapor, decorrente, tanto da evaporação que se verifica no solo úmido sem vegetação, nos oceanos, lagos, rios e em outras superfícies hídricas naturais, como da sublimação que se processa nas superfícies de gelo (geleiras, campos de neve etc.) (VAREJÃO-SILVA, 2006, p. 393).

O processo de evaporação a partir de superfícies líquidas envolve o transporte simultâneo de massa e energia. Portanto, os fatores que determinam a ocorrência da evaporação são a energia disponível para a transição da água em vapor e o mecanismo de transporte entre a camada superficial da água e a camada atmosférica que se lhe sobrepõe.

Por outro lado, a evaporação é também um processo de arrefecimento que envolve a transferência de energia através do sistema líquido-ar. Pode, por isso, ser quantificada recorrendo quer a formulações aerodinâmicas de transferência de massa, quer a formulações que recorrem ao balanço de energia (ASSOULINE e MAHRER, 1993).

Quando se trata do processo na perspectiva hidrológica, a evaporação nada mais é do que a transferência natural da água das fases líquidas e sólidas (a passagem do estado sólido ao estado gasoso é designada por sublimação), no entanto para efeitos de balanço hidrológico é computada junto com a evaporação (Lencastre e Franco, 1984) e sua consequente difusão na atmosfera.

Durante o processo de evaporação ocorre uma descida do valor de temperatura da água, tendo em vista que, em cada grama de água que sofre a mudança de fase, são retiradas aproximadamente 600 calorias (1 caloria = 4,18 Joules) do seu conteúdo de energia. As quantidades de calor fornecidas, na natureza, são feitas pela radiação solar e atmosférica ou devido a quantidade de calor armazenada no interior da massa de água.

Existe a diferença entre a evaporação real e a evaporação potencial. A evaporação real ocorre em condições reinantes à atmosfera, tende a ser inferior a evaporação potencial e dificilmente consegue ser mensurada. Já a evaporação potencial é a máxima capacidade que uma superfície de água livre consegue perder água por evaporação, ela tende a ser bem superior aos valores de evaporação real (VAREJÃO-SILVA, 2006).

A intensidade da evaporação varia de acordo com os fatores climáticos e da natureza da própria superfície evaporante. Dentre os principais fatores que condicionam a evaporação a partir de um espelho de água, estão:

#### Radiação Solar

A fonte de energia injetada em nossa atmosfera é o Sol, que está constantemente liberando uma parte da sua massa por meio de ondas irradiantes de energia eletromagnética e partículas de alta energia para o espaço (BARRY e CHORLEY, 2013). Essa emissão constante representa toda a energia disponível para a Terra.

A radiação solar é a principal fonte de energia para os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no sistema Terra-atmosfera. A radiação solar é a incidência direta ou difusa da energia sobre uma superfície. Porém, nem toda a energia radiante é alocada à vaporização da água já que parte contribui para o aquecimento do ar e outra parte é responsável pelo aumento de temperatura da massa de água onde incide (ALLEN *et. al.*, 1998).

No caso da massa de água em áreas áridas e semiáridas o transporte de calor sensível provenientes das áreas secas circundantes passa a ter um papel mais condicionante durante o processo evaporativo, podendo possuir uma energia até maior que aquela disponível no espelho de água advindo da radiação solar. Portanto, assume uma particular importância a ação do vento e da umidade relativa do ar. A radiação solar influencia diretamente nos valores de evaporação, tendo em vista ser a energia necessária para que o fenômeno ocorra.

#### Temperatura do Ar e Umidade Relativa do Ar

As temperaturas do ar e da superfície da água influenciam diretamente na intensidade da evaporação. Quanto maior for a temperatura do ar, maior é a sua tensão de vapor de saturação e mais vapor de água pode conter (WARD e TRIMBLE, 2004).

Por outro lado, para passarem à fase vapor, as moléculas de água necessitam de ganhar energia cinética suficiente para exceder o trabalho de coesão que é produzido pela tensão superficial à superfície do líquido, fazendo com que a intensidade de evaporação seja mais significativa com o aumento da temperatura da água. Nestas condições as moléculas com maior energia mudam de fase, as que ficam no estado líquido permanecem com menor energia cinética média, fazendo com que a temperatura da água diminua. A este efeito é usual dar-se a designação de “arrefecimento evaporativo”. Quando a temperatura da água é maior que a temperatura do ar a instabilidade da camada limite aumenta e os fluxos turbulentos gerados contribuem significativamente para o aumento da evaporação (RODRIGUES, 2009, p. 40).

Devido à variação da intensidade da radiação solar recebida na superfície a mesma produz também uma alteração na temperatura da superfície, modificando a energia cinética das moléculas.

Com o aumento da temperatura do ar, torna-se ainda maior a quantidade de vapor d'água presente no mesmo volume de ar. Ou seja, aumentando a temperatura do ar, aumenta a tensão de saturação de vapor à superfície e diminui a umidade relativa do ar, como efeito indireto (VAREJÃO e SILVA, 2006).

Um exemplo típico é o comportamento da umidade ser baixa ao meio dia e alta durante a noite, não por causa umidade do ar em si (que provavelmente, pode ser até mais alta durante o dia), mas porque a temperatura é alta durante o dia e baixa durante a noite.

Quanto a condição de ocorrer o processo de evaporação, o número de moléculas que escapam do líquido depende da sua tensão de vapor, enquanto o número de moléculas que retorna o líquido depende da tensão de vapor do ar ambiente. Portanto, quanto maior for o déficit de saturação, maior o número de moléculas serão liberadas e conseqüentemente, maiores será a intensidade da evaporação. Vale ressaltar que quanto mais seco for o ar maior será sua capacidade de absorver a água.

#### Vento

Na camada em contato mais próximo com a superfície o movimento de vapor é por difusão molecular, ou seja, por moléculas individuais. Já acima dessa camada limite superficial a influência passa a ser por difusão turbulenta, ou seja, o movimento turbulento do ar.

O processo ocorre da seguinte forma: a evaporação faz com que a umidade do entorno à superfície aumente até que atinja a saturação do ar. O vento remove a camada criando condições que favorecem a ocorrência de gradientes de tensão de vapor, conseqüentemente, aumenta o poder evaporante do local. Portanto, ao contribuir com a remoção do ar saturado, o vento permite que o processo de evaporação continue ocorrendo.

Vale ressaltar que quanto mais intenso o fluxo de ar, maior será o potencial de evaporação local. Percebe-se que o conjunto de elementos climáticos, atuando em cadeia, favorece a intensidade do processo de evaporação. Portanto, quando os dados são coletados diretamente sobre a superfície que se pretende estimar, mais próximo do real será o valor de evaporação.

O efeito do vento na evaporação pode ser menos pronunciado sobre grandes superfícies de água do que em pequenas áreas (WARD e TRIMBLE, 2004)

Pressão atmosférica e Superfície evaporante

Com a diminuição da pressão atmosférica a tendência é o aumento da evaporação (VILLELA e MATTOS, 1975). Com a pressão exercida por vários gases contidos na atmosfera, inclusive o vapor d'água, afeta diretamente a quantidade de vapor que a atmosfera pode absorver.

O processo evaporante que ocorre sobre a superfície líquida livre é diferente do que ocorre sobre o solo. Quando o solo está saturado e as condições climáticas são as mesmas (como a temperatura do ar, por exemplo), não há problemas em estimar o valor de evaporação de um corpo hídrico próximo ao local tomando como base os dados sobre a superfície do solo (bacia experimental). No entanto, quando a água do solo começar a secar, a intensidade de evaporação sofre uma redução, por isso a intensidade de evaporação da superfície de um solo encontra-se à sua disponibilidade de água.

No contexto de regiões áridas e semiáridas, essa situação é ainda mais importante a ser considerada, devida as grandes perdas de água por evaporação. Portanto, faz-se necessário compreender como se dar o processo de evaporação sobre a própria superfície líquida.

### **4.3. Métodos de estimativas de evaporação**

*A wide variety of methods for estimating open water evaporation have been reported in the literature. They can be categorised into seven types; pan evaporation, mass balance, energy budget models, bulk transfer models, combination models, the equilibrium temperature method and empirical factors (FINCH and HALL, 2001, p. 49).*

A literatura apresenta uma variedade de métodos que estabelecem essa relação entre os elementos climáticos e a estimativa da evaporação. Fica claro que, diante da vasta literatura sobre o procedimento técnico, ou melhor, o método de estimação de evaporação, é muito disseminado e discutido entre os pesquisadores do mundo, principalmente os que trabalham diretamente com hidrologia e prospecções de reservas de água. Mas, para este trabalho, evidencia-se a relação do método à verificação da evaporação em ambiente semiárido sob um olhar geográfico.

O conhecimento da perda de água de uma superfície natural torna-se importante nos diversos campos do conhecimento científico. A estimativa da evaporação e o conhecimento deste processo contribuem para conhecer a dinâmica

hidroclimática da região pesquisa e facilita o dimensionamento da gestão de recursos hídricos.

Os meteorologistas se interessam por esses estudos, devido, principalmente, ao detalhamento do processo e como ele condiciona a energia da atmosfera e as alterações das massas de ar contidas na atmosfera.

Quanto aos hidrólogos a tentativa é de conhecer a perda da água a partir dos estudos de canais, reservatórios, além da quantidade de água que deverá ser adicionada por irrigação.

Os geógrafos buscam conhecer o detalhamento deste processo de evaporação e seu comportamento na atmosfera, com a necessidade de elaborar um plano de gestão de água eficiente que traga a segurança hídrica para a região, principalmente em regiões de semiáridez.

MATOS *et al.* (2003) relacionaram os impactos positivos e negativos decorrentes da construção de reservatórios. Entre os negativos, citam o aumento do potencial evaporativo da água. De acordo com ASHRAF *et al.* (2007), devido à alta relação superfície / volume, pequenos reservatórios podem perder até 50% do volume armazenado devido à evaporação em regiões áridas e semiáridas. A evaporação constitui um componente principal do balanço hídrico nos reservatórios e pode ser estimado por vários métodos, que são classificados - de acordo com os processos e / ou instrumentos utilizados - em métodos de transferência ou com base na equação de Dalton, balanço hídrico, balanço energético, empírico e a evaporação.

Segundo Villela e Mattos (1975) a estimativa da evaporação potencial de uma superfície de água exposta livremente à atmosfera, que contém certo teor de vapor de água, apresenta duas condições básicas para a ocorrência do mecanismo:

- Existência de uma fonte de energia que geralmente é a radiação solar, calor sensível da atmosfera ou da superfície evaporante;
- Existência de um gradiente de concentração de vapor, isto é, a diferença entre a pressão de saturação do vapor à temperatura de superfície e a pressão de vapor do ar.

Quanto ao cálculo da evaporação, a primeira equação foi proposta por Dalton (1928); onde se considera vários elementos meteorológicos, pressão de saturação, a temperatura da superfície e pressão de vapor do ar. Posteriormente, várias equações foram propostas para a estimativa de evaporação, todas elas baseadas nos princípios da Equação de Dalton.

Dentre os diversos estudos que existem visando à determinação da taxa de evaporação de uma superfície líquida ou sólida, geralmente, são direcionados em dois sentidos: primeiro, visando à elaboração de aparelhos e métodos de medidas cada vez mais precisos; e segundo, na elaboração de fórmulas teórico-empíricas que visem também a uma melhor aproximação das condições reais.

Portanto, para a obtenção da taxa de evaporação, aproveita-se o fato da ocorrência simultânea dos três processos, podendo os métodos serem agrupados em três categorias (VILLELA e MATTOS, 1975):

1º) Aqueles que se utilizam de medidas diretas: *Fluxatron* ou *Evaporation*;

2º) Aqueles que se utilizam de medidas indiretas, como a pesquisa de um parâmetro no solo: evapotranspirômetros, lisímetros, moderação de nêutrons etc;

3º) Aqueles que se baseiam em fórmulas teórico-empíricas: difusão do vapor, balanço de energia etc.

#### 4.3.1 Método aerodinâmico

A evaporação é proporcional às diferenças das tensões de vapor na camada próxima da superfície, sendo este fator de proporcionalidade dependente do valor da velocidade do vento (ADAMS *et. al.*, 1990).

Dessa maneira, a taxa de evaporação por unidade de área e tempo pode ser estimada através das medidas de velocidade do vento em um nível e da diferença entre as pressões de vapor à superfície e no ar (VAREJÃO-SILVA, 2006).

#### 4.3.2 Método do balanço energético

O método de balanço de energia é baseado no princípio da conservação da energia. Por muito tempo vários autores o consideraram dessa forma, entretanto, após a década de 1980 algumas variáveis puderam ser obtidos com melhor precisão. As deficiências persistem, procurando-se avançar na adaptação das

condições exigidas em cada caso, de acordo com os critérios de cada método utilizado.

Neste método, pela primeira aproximação das reais taxas de evaporação, considerou-se a radiação líquida por unidade de área e tempo, o fluxo de calor sensível para a atmosfera, o fluxo de calor para o interior do solo (quando necessário) e o fluxo de calor latente (quantidade de energia gasta durante o processo de evaporação).

Os fluxos energéticos avaliados são: radiação solar; a energia armazenada; as trocas de energia nas interfaces água-ar e água-solo e a energia consumida no processo evaporativo. A equação de conservação da energia permite estimar a evaporação quando são conhecidos os restantes termos que intervêm no balanço.

Um dos estudiosos de referência aos trabalhos com método de balanço energético foi Bowen, que admitiu a existência similar nos transportes de calor e vapor, logo coeficientes de transporte sensivelmente iguais.

O método por estimativa pela Razão de Bowen apresenta limitação quanto a não disponibilidade de valores de temperatura em diferentes níveis de altura, além de valores de temperatura da água, neste caso, em diferentes níveis de profundidade.

#### 4.3.3 Métodos combinados

Com o objetivo de melhorar a aproximação da evaporação, Penman (1948) propôs um método que combina tanto os efeitos de balanço de energia como o aerodinâmico.

Na proposta o autor considera como parâmetros para estimar a evaporação, a radiação líquida, o poder evaporante do ar, a tangente à curva de pressão de saturação do vapor e a constante psicrométrica. No cálculo do valor de radiação líquida é necessário incorporar o valor do albedo de acordo com as características da região (PENMAN, 1948).

Quanto aos métodos de medida direta, a estimativa de evaporação numa superfície líquida usam-se vários tipos de instrumentos, procurando aproximar o

valor de grandeza em questão, de acordo com o método escolhido e o interesse do pesquisador.

Após a escolha de um método empírico para estimação da evaporação de um lago, um reservatório, ou qualquer outro corpo hídrico de uma determinada região, dificilmente a obtenção dos resultados são de credibilidade e proporciona uma discussão fiável. Por outro lado, devido a grande diversidade de dificuldades encontradas para a obtenção de dados meteorológicos, fica claro que a escolha e o avanço da metodologia para obter esses valores de evaporação são o grande salto científico do tema.

Além dos métodos supracitados, outros foram sendo desenvolvidos a partir da década de 1940, através de diversos testes intensivos de monitorização, principalmente nos grandes lagos da região do continente norte-americano. Como os: Balanço Volumétrico; o Térmico; Balanço de Isótopos, etc.

Dentre os modelos mais utilizados destacam-se:

- Evaporímetro ordinário: utilizado nas estações meteorológicas, é um recipiente cilíndrico de eixo vertical, enterrado ou não, aberto para a atmosfera contendo água no estado líquido. Com o abaixamento do volume da água mede-se o quociente. O evaporímetro mais utilizado é o Tanque de classe A.

- Atmômetros: dentre eles, o de Piché é o mais usado, por ser simples e fácil de manipular, são evaporímetros em que a superfície é porosa (material de cerâmica, papel de filtro, etc).

Um dos grandes problemas quanto à utilização de evaporímetros é a alteração que as condições físicas do ambiente local sofre, pois os valores fornecidos pelos instrumentos não descrevem a transferência natural de vapor de água para a atmosfera. Quanto aos métodos combinados, destacam-se no quadro 6

Quadro 10 - Quadro comparativo dos métodos combinados de estimativa de evaporação.

Métodos/Modelos					
Penman (1948)	Penman-Monteith (1965)	Priestley-Taylor (1972)	Linacre (1977)	Modelo (1983)	CRLE
<ul style="list-style-type: none"> <li>Penman propôs esse método com o objetivo principal de desprezar o valor de temperatura superficial da água;</li> <li>Combinou, em uma fórmula, os aspectos energéticos e aerodinâmicos;</li> <li>Essa equação de penman continua, ao longo de mais de meio século, como a mais fiável equação empírica de cálculo de evaporação a partir de superfícies livres.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Monteith procurando adaptar a equação original de Penman á determinação da evaporação das superfícies vegetais de forma a incorporar as características das superfícies evaporantes;</li> <li>Essa formulação é utilizada, principalmente, para estudos de escala diária.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Indicado para calcular a evaporação quando está disponível informação climatológica detalhada;</li> <li>considera condições mínimas de turbulência e de trocas de calor entre as superfícies e a atmosfera, atribue à componente energética da fórmula de Penman um papel determinante e condicionador da intensidade de evaporação;</li> <li>Nessa formulação deve-se está atento aos valores de albedo, tendo em vista a diferenciação de acordo com a localidade.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Apresenta uma simplificação do método de Penman, visando possibilitar a estimativa da evaporação diária de áreas, requerendo somente os valores da temperatura média do ar, a temperatura do ponto de orvalho e coordenadas do local;</li> <li>A principal desvantagem deste método refere-se a falta de sensibilidade aos termos aerodinâmicos e ao saldo de radiação.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Proposto por Morton (1983), baseia-se na relação de complementaridade entre a evaporação atual e a evaporação potencial;</li> <li>Segundo este modelo, ao decréscimo da evaporação efetiva (<math>E_e</math>) em resultado da diminuição da água disponível, corresponde igual acréscimo da evaporação potencial (<math>E_p</math>);</li> <li>A principal vantagem do uso do modelo CRLE consiste no fato de depender apenas dos valores mensais da temperatura do ar, umidade e radiação; podendo ser estimado em ambiente terrestre.</li> </ul>	

Fonte: elaborado pelo autor.

O Quadro 10 foi elaborado a partir do levantamento bibliográfico realizado em diversos trabalhos sobre o tema, considerando os pontos principais levantados pelos autores quanto à eficiência dos métodos testados. Tendo em vista a importância dos estudos sobre a estimativa de evaporação, percebe-se que a escolha do método de estimativa de evaporação necessita ser criterioso de acordo com o objetivo da pesquisa e a eficiência do método com base em estudos já realizados em outras localidades com características ambientais semelhantes.

## 5 PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS

A ciência tem como objetivo fundamental chegar à veracidade dos fatos. Nesse sentido, não se distingue de outras formas de conhecimento. O que torna, porém, o conhecimento científico distinto dos demais é a sua verificabilidade. É necessário identificar as operações teóricas e técnicas que possibilitam a sua verificação. Com isso, precisa-se interferir no objeto de estudo pensando nas ferramentas teórico-metodológicas mais adequadas para a pesquisa torna-se real.

Considerando a essência deste trabalho, fica claro que o mesmo tem como tipo de pesquisa de caráter exploratória (GIL, 2008). É compreender como ocorre um processo físico (evaporação) em um ambiente vulnerável como é o caso de um lago artificial em uma região semiárida. Tomando o reservatório Castanhão como objeto de pesquisa.

### 5.1. O objeto de estudo em questão

Para estimar a evaporação é necessário compreender a dinâmica da paisagem local, conhecer os critérios de avaliação do processo de evaporação e ousar na perspectiva metodológica, principalmente, quanto aos critérios de medições. Em ambientes semiáridos é de suma importância verificar tal processo devido ao comportamento da atmosfera deste e a resposta imediata ao ciclo da água.

A hipótese deste trabalho surgiu durante o amadurecimento da formação acadêmica, através de observações e leituras, durante a graduação e mestrado. Na oportunidade de continuar desenvolvendo um trabalho de pesquisa aprofundado sobre o tema de Climatologia e Recursos Hídricos com enfoque na relação do clima com os grandes reservatórios de ambientes semiáridos.

Durante o desenvolvimento da pesquisa de mestrado surgiram novos questionamentos, um deles foi a possibilidade de compreender como se dá o processo de evaporação na região do Açude Castanhão. Será que um reservatório com a maior capacidade volumétrica do Estado não apresenta um monitoramento da evaporação? Mesmo sabendo que conhecer o processo de evaporação é fundamentalmente importante para gerir com mais eficiência as águas represadas pelo açude.

Como se daria esse monitoramento da evaporação? Quais as metodologias existentes para estimar esses valores? Quais os custos reais na aquisição dos equipamentos necessários? Qual a confiabilidade das metodologias existentes para estimação da evaporação?

Nesse momento se deu a necessidade de aprofundar através das leituras e a viabilidade da pesquisa. No entanto, surgiram diversas dúvidas de cunho teórico-metodológico, pois a teoria sobre os procedimentos de estimação ainda se encontra bastante vulnerável e limitada quando a sua fidelidade e levantamento de dados.

Quanto aos trabalhos desenvolvidos no Brasil sobre o tema, é quase unanime trazer a discussão dos questionamentos sobre a metodologia e os procedimentos de estimação dos dados climáticos que subsidiarão o cálculo da evaporação potencial do reservatório. Em grande parte, esses trabalhos utilizam como procedimento de coleta de dados a instalação dos instrumentos em bacias de experimentação sobre o ambiente terrestre (próximo ao reservatório) ou a utilização dos dados coletados por órgãos públicos responsáveis pelas plataformas de coleta de dados que se encontram próximas ao reservatório.

Vale ressaltar que esta pesquisa traz um avanço teórico-metodológico quanto à medição e discussão do processo de evaporação em grandes reservatórios do semiárido brasileiro a partir de uma análise geográfica, tendo como objeto de estudo o Açude Castanhão.

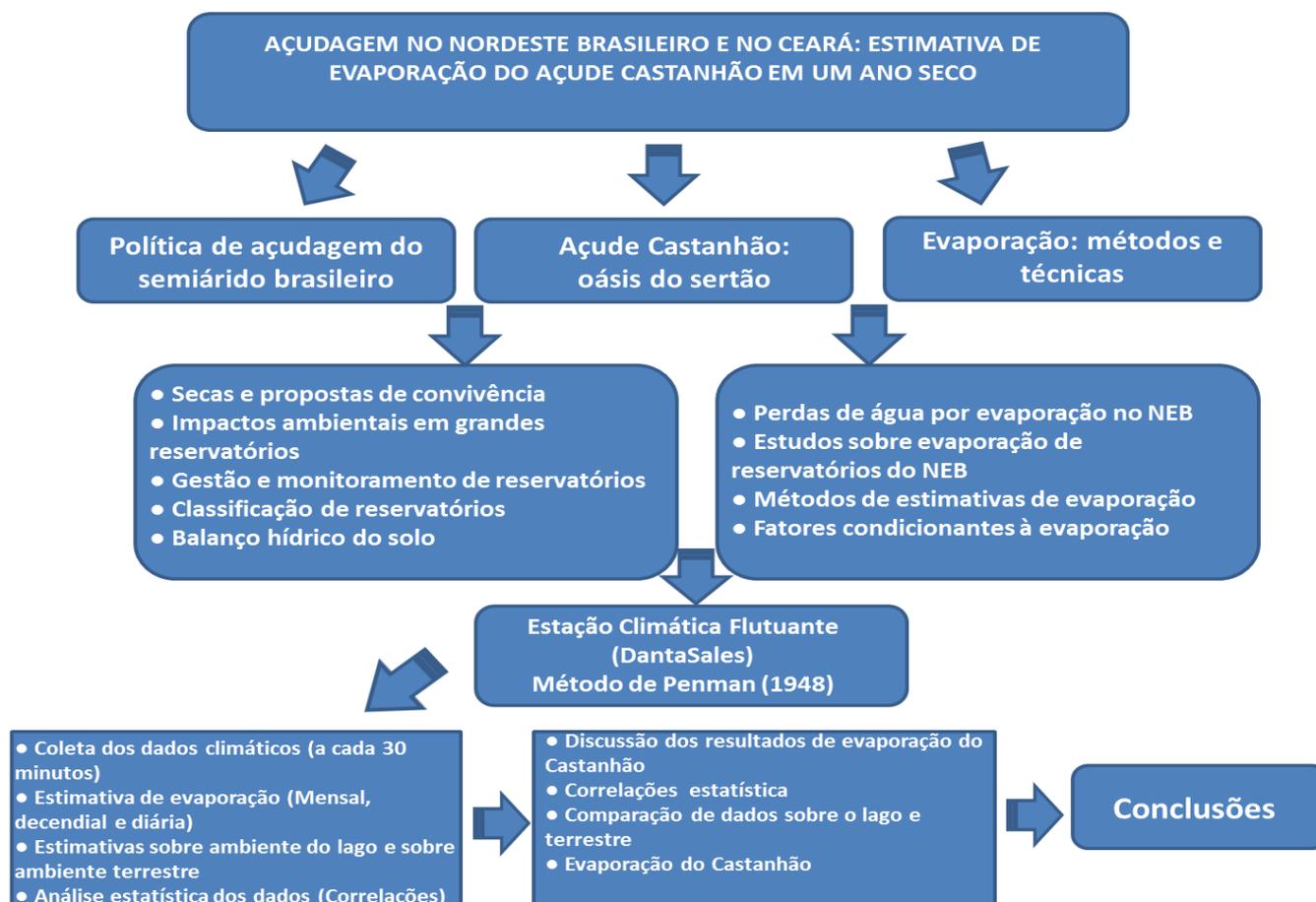
Nos trabalhos desenvolvidos sobre o tema observou-se algumas recomendações para trabalhos futuros, dentre elas, encontra-se a necessidade de avançar quanto à metodologia da coleta de dados.

Recomenda-se, no entanto, para uma avaliação mais precisa da evaporação em um reservatório e seus efeitos, a aplicação dos métodos de estimativas utilizando dados medidos no local de implantação ou mesmo no corpo do reservatório caso existente, uma vez que dados médios e de regiões próximas podem mascarar a real influência desse fenômeno no funcionamento do sistema (FONTES; OLIVEIRA; MEDEIROS. 2005, p. 18)

Portanto, este trabalho tomou-se como desafio de avançar metodologicamente, em quantificar a evaporação a partir de medições dos parâmetros climáticos sobre o próprio lago, por meio de uma estação climática flutuante.

## 5.2. Etapas da pesquisa

Figura 15 - Fluxograma teórico-metodológico da pesquisa



Fonte: elaborado pelo autor.

A pesquisa foi dividida em três etapas principais; inicialmente foi realizado levantamento bibliográfico com o objetivo de compreender os fatores que interagem com o levantamento da hipótese, através de artigos em periódicos, teses e dissertações. Assim como levantamento documental sobre a área de estudo, com visitas em órgãos públicos como Departamento Nacional de Convivência com as Secas (DNOCS), Companhia de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Ceará (Cogerh), Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente (SEUMA), Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos do Ceará (FUNCEME).

No segundo momento foi realizada uma visita de reconhecimento da área de estudo, com o objetivo de buscar parceria junto ao DNOCS. Além de apresentar a proposta do projeto de doutoramento para fins de viabilidade da pesquisa, tendo

esta pesquisa a autorização, para a instalação da estação climática sobre o lago, dada pela coordenadoria de gestão do reservatório.

No terceiro momento, em gabinete, foram realizados diversos levantamentos sobre a aquisição dos instrumentos da estação climática e da elaboração da maquete da estação climática flutuante, desde as características técnicas aos cuidados e segurança dos instrumentos que fizeram parte da estação.

A estação meteorológica adquirida foi da marca DRIA e modelo 0511:

Figura 16 - Estação meteorológica DRIA 0511



Fonte: do autor.

A estação possui os seguintes sensores e equipamentos:

- \*Sensor de Temperatura Externo (°C)
- \*Sensor de Umidade Relativa do Ar Externo (%)
- \*Sensor de direção do Vento
- \*Sensor de Velocidade do Vento (m/s)
- \*Sensor de Pressão Atmosférica (hpa)
- \*Sensor de Raios Ultravioletas - UV
- \*Sensor de Radiação Solar (W/m<sup>2</sup>)

- \*Pluviômetro (mm)
- \*Display de LCD
- \*Memória interna para armazenamento de dados
- \*Software para comunicação entre Estação e PC

Posteriormente seguiu-se com o processo de confecção da balsa/base da estação climática:

Figura 17 - Etapa 1 da modelagem da balsa



Fonte: do autor.

A balsa foi construída com fibra de vidro, seguindo uma colagem dupla (interna e externa) e com aquecimento da fibra para evitar qualquer imprevisto quanto ao desgaste rápido do material.

Figura 18 - Etapa 2 de colagem e compactação da fibra



Fonte: do autor.

A base interna da balsa foi preenchida com garrafas plásticas (PET) para fins de segurança dos instrumentos, caso ocorresse algum problema de quebra da fibra a estrutura da balsa não sofreria a perda da sua estabilidade sobre o lago.

Após a aquisição da estação meteorológica, esta passou pela calibração dos sensores por sete dias como referência a estação meteorológica do Campus do Pici, localizado na cidade de Fortaleza/CE, antes mesmo de ser levada para o açude Castanhão onde foi instalada. Com a escolha do local de instalação sobre o lago, a balsa foi ancorada com o auxílio de quatro âncoras artesanais de 50 kg/cada, feitas de concreto e cobertura plástica:

Figura 19 - Âncoras artesanais (“poitas”)



Fonte: do autor.

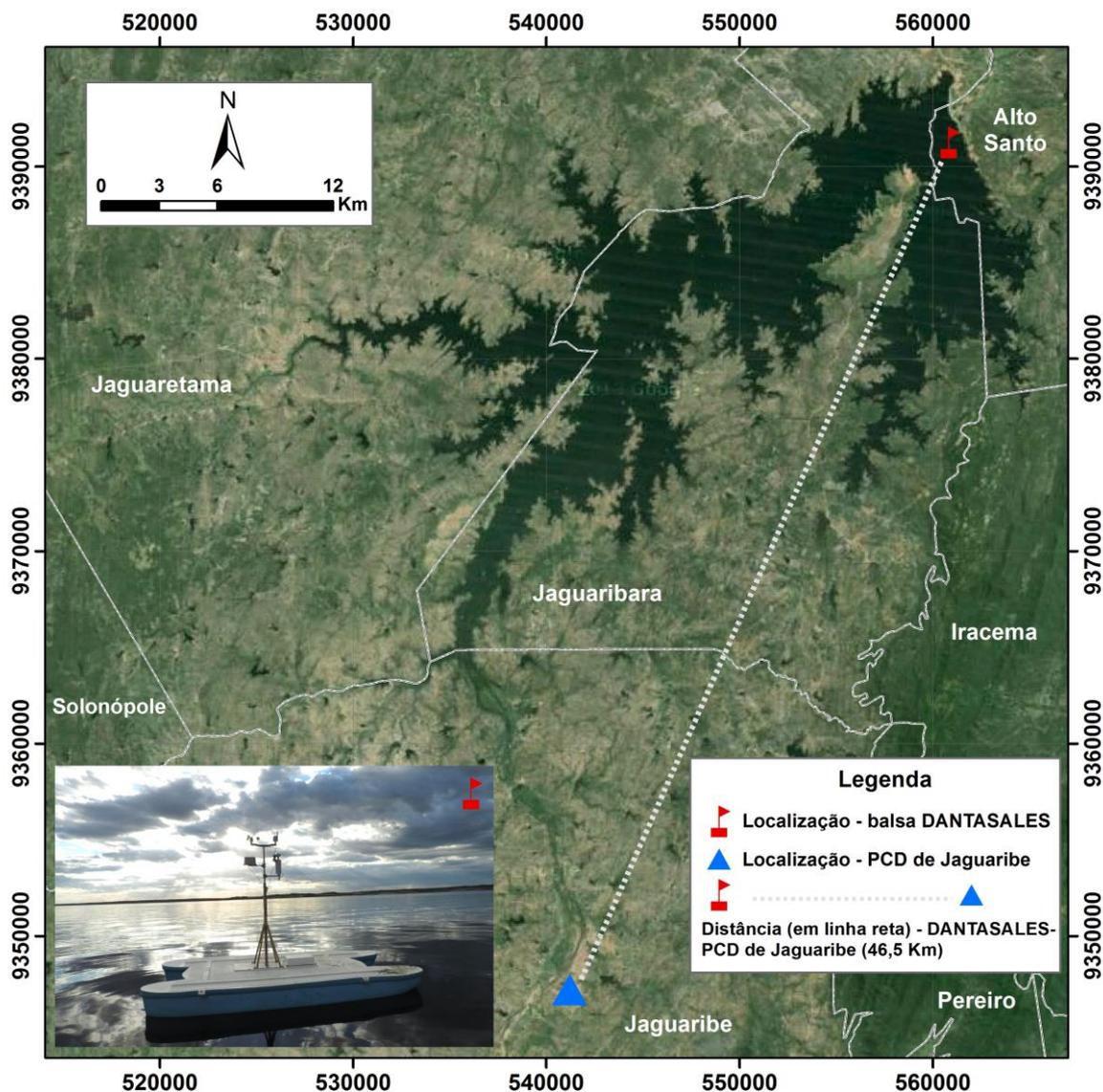
A escolha do local obedeceu aos seguintes critérios: i) Segurança da estação flutuante ii) profundidade de, no mínimo, 20 metros iii) proximidade do monitoramento de supervisores da segurança do local.

Depois de ancorada, a mesma passou por outro processo de fase de teste, do dia 23 de maio de 2015 a 31 de maio de 2015. Somente assim iniciou-se a coleta sistemática dos dados em 01 de junho de 2015.

Quanto à escolha da estação sobre terra, inicialmente foi realizado um levantamento detalhado das possíveis estações do entorno do Castanhão e da confiabilidade dos dados para o ano de 2015, apresentados por estas estações. Para este trabalho, elencou-se a estação localizada no município de Jaguaribe, tendo esta, todos os critérios acima.

Essa estação é uma Plataforma de Coleta de Dados (PCD) que tem o monitoramento, como responsável, do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Já para os dados sobre terra, neste trabalho, foi discutido todo o período do ano de 2015. Dando ênfase na comparação entre os dados sobre o ambiente de terra e do lago dos meses de Junho/Julho/Agosto.

Figura 20 - Localização das estações de coleta sobre o açude e sobre a terra



Fonte: elaborado pelo autor.

### 5.3. Aplicação das técnicas de geoprocessamento

Na construção da cartografia deste trabalho se fez uso de produtos vetoriais. Os dados vetoriais podem ser apresentados na forma de ponto, linha ou polígono.

De posse dos dados vetoriais pertinentes aos limites territoriais, adotou-se a base de dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), levantada no último censo demográfico que data do ano de 2010, tais dados estão disponíveis

no formato *shapefile* no disponível no endereço<sup>2</sup> do órgão, sob o sistema de referência espacial (*Datum*) Sirgas 2000 e sobre o Sistema de Coordenadas Geográficas.

No que tange a hidrografia utilizou-se as informações que compõem o banco de dados da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará - COGERH, os quais abordam a drenagem, os lagos e lagoas, e os reservatórios mapeados (COGERH, 2011<sup>3</sup>). Por fim, o trabalho de espacialização foi realizado o software ArcGis versão 10.2.

#### **5.4 Descrição das etapas do método de Penman**

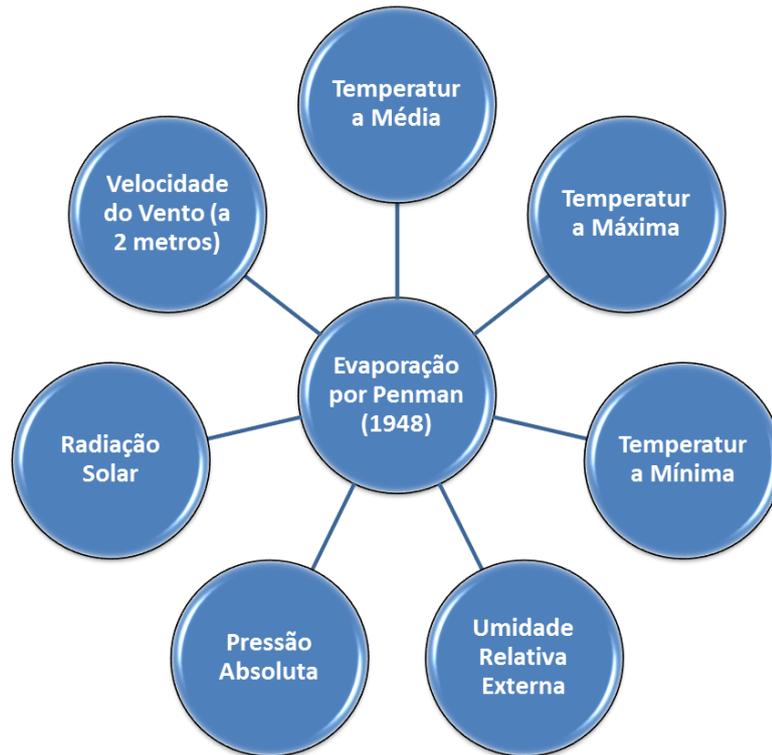
Na obtenção das estimativas de evaporação do lago, o aparelho registrou os valores dos atributos climáticos em intervalo de 30 minutos. Através dessas observações foram calculadas as seguintes variáveis de interesse primário: Pressão absoluta Média em Hpa (**PA**), Temperatura Média (**T<sub>ar</sub>**), Mínima (**T<sub>min</sub>**) e Máxima (**T<sub>max</sub>**) em graus Célsius, Radiação Solar em W/m<sup>2</sup>, Umidade relativa externa em porcentagem (**UR**) e a Velocidade média do vento a 2 metros de altura coletada em metros por segundos.

---

<sup>2</sup> <http://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais>

<sup>3</sup> CEARÁ, Companhia de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (COGERH). Base cartográfica. Disponível em: <http://portal.cogerh.com.br/base-cartografica/>. Acesso em novembro de 2015

Gráfico 11 - Fluxograma de variáveis para estimativa de evaporação por Penman.



Fonte: elaborado pelo autor.

Para essa pesquisa elencou-se o método de Penman, proposto em 1948, para o cálculo da Evaporação, por ser considerado o método clássico de obtenção de valores de evaporação já ter sido testado e demonstrado eficiência em diversos trabalhos em ambientes semiáridos. A fórmula é dada por:

$$E_L = \frac{0,408 \frac{S}{Y} R_N + E_a}{\frac{S}{Y} + 1}$$

Em que:

$E_L$ : Evaporação da superfície de água livremente exposta à atmosfera ( $mm \text{ dia}^{-1}$ );

$R_N$ : Saldo diário de radiação medido sobre a superfície de água livre ( $MJm^{-2} \text{ dia}^{-1}$ );

$S$ : Declividade da

curva de pressão de saturação de vapor ( $KP_a C^{-1}$ );

$\gamma$  : Coeficiente psicrométrico ( $KP_a C^{-1}$ );

$E_a$  : Poder evaporante da superfície ( $mm\ dia^{-1}$ ).

I. Saldo diário de radiação medido sobre a superfície de água livre ( $R_N$ ) ou Radiação líquida na superfície, é dada pela fórmula:

$$R_N = [(1 - \text{albedo}) * R_S] - R_{nl}$$

Onde, o **albedo** será de 0,05 (GATES, 1980) e  $R_S$  representa a Conversão Radiação Solar. Dada pela fórmula,

$$R_S = R_{as} * 0,04186$$

Em que  $R_{as}$ , representa Radiação Solar em  $cal/cm^2$ .

- $R_{nl}$  : Radiação de onda longa

$$R_{nl} = 4,903 * 10^9 \left\{ \left[ \frac{(273,16 + T_{max})^4 + (273,16 + T_{min})^4}{2} \right] * (1,35 * \text{auxiliar} - 0,35) * (0,34 - 0,14 * \sqrt{e_A}) \right\}$$

Onde o  $e_A$  é a pressão atual de vapor.

O auxiliar será considerado uma constante igual a 1, se  $\frac{R_a}{R_{so}}$  for maior que 1 e  $\frac{R_a}{R_{so}}$ , se  $\frac{R_a}{R_{so}}$  for menor que 1.

Sendo que  $R_{so}$  representa Radiação solar de céu claro, sua formula é dada por:

$$R_{so} = (0,75 + (2 * 10^{-5} * \text{Altitude})) * R_a$$

- **Altitude** do local onde a DANTASALES foi instalada é de 85 metros.
- $R_a$  é a radiação no topo da atmosfera, dada por:

$$R_a = \left( \frac{24 * 60}{\pi} \right) gsc * \\ * d_r [(W_s * \text{sen}(Lrad) * \text{sen}(\text{delta}) + (\text{cos}(Lrad) * \text{cos}(\text{delta})) \\ * \text{sen}(W_s))] ]$$

Onde, **gsc** terá valor de 0,082, a **Lrad (Latitude radianos)** terá valor de 0,095702221, delta representa a Declinação Solar, **d<sub>r</sub>** é a Distância Relativa Terra-Sol e **W<sub>s</sub>** refere-se ao Ângulo horário do pôr do sol.

$$\text{delta} = 0,4093 * \text{sen} \left[ \frac{2 * \pi * (284 + dj)}{365 + BI} \right]$$

$$d_r = 1 + 0,033 \text{cos} \left[ \frac{(22 * \pi * dj)}{365 + BI} \right]$$

$$W_s = \text{arcos} [-\text{tan}(Lrad) * \text{tan}(\text{delta})]$$

Com as **dj** sendo o dia Juliano e **BI** representando o ano bissexto.

II. A Declividade da curva de pressão de saturação de vapor (**S**) é calculada pela equação:

$$S = \frac{4098 * e_s}{(Tar + 237,3)^2}$$

Onde:

**e<sub>SM</sub>** : Pressão saturada de vapor na temperatura média (KPa<sub>a</sub>);

**Tar**: Temperatura média do ar ( °C);

$$e_{SM} = 0,6108 e^{\left( \frac{17,27 * Tar}{Tar + 237,3} \right)}$$

Para calcular o valor de **S** foi considerado somente temperatura do ar (correspondente à do bulbo seco). Com valor médio diário de **S** a partir da obtenção dos valores das variáveis a cada 30 minutos.

III. Coeficiente psicrométrico **γ** é calculado por:

$$Y = \frac{(0,001013PA)}{(0,622 CL)}$$

**PA:** Pressão absoluta Média, convertido para Kpa

**CL:** Calor Latente, calculado por:

$$2,501 - 0,00236 Tar$$

IV. Poder evaporante da superfície ( $E_a$ ) é calculado por:

$$E_a = f(U) \cdot (e_s - e_A)$$

Onde:

**U:** Velocidade do vento a 2,0m de altura (mm *dia*<sup>-1</sup>);

$e_s$ : pressão de saturação do ar (mm Hg);

Utiliza-se a fórmula:

$$\frac{e_{Sma} - e_{Smi}}{2}$$

$$e_{Sma} = 0,6108e^{\left(\frac{17,27 T_{max}}{T_{max} + 237,3}\right)} \quad e \quad e_{Smi} = 0,6108e^{\left(\frac{17,27 T_{min}}{T_{min} + 237,3}\right)}$$

$T_{max}$ : temperatura máxima;

$T_{min}$ : temperatura mínima.

$e_A$ : Pressão atual de vapor (mm Hg);

$$e_A = e_{SM} \frac{UR}{100}$$

$f(U)$ : Função do vento.

Indicada por Penman, em 1956, parece favorecer a obtenção de estimativas mais realistas quando se trata de grandes superfícies de água (COHEN et.al, 2002). A função do vento  $f(U)$  foi definida por:

$$f(U) = (0,5 + 0,537U)$$

Para o cálculo dos dados sobre terra foi utilizado a mesma equação apresentada por Penman (1948), porém com algumas alterações referente a estimativa de evaporação sobre o ambiente terrestre. O dado de altitude da estação de terra é de 139m. O valor do albedo foi de 0,23, pois de acordo com Gates (1980) esse é o valor considerado em caso de estimativa de evaporação em ambientes terrestres.

### **5.5 Coletas, tratamento estatístico e organização dos dados**

Por meio da planilha programada retiraram-se os dados diários, decendiais e mensais. Os dados foram organizados de forma a produzir gráfico de séries temporais da evaporação, referente, aos dados diários, decendiais e mensais.

Durante o período da coleta foram organizados trabalhos de campo com intervalo de 30 dias, pois o *DATALOGGER (instalado na balsa)* apresenta memória limitada. Nessa pesquisa optou-se por trabalhar com a estimativa de evaporação tanto pelo intervalo de coleta do período de 24 horas, considerando toda a amostra dos dados, como pelo intervalo onde os valores de radiação se apresentam como positivo, sendo para local das 06:00 às 18:00 horas aproximadamente. O objetivo é verificar como se dá o comportamento do dia em relação ao período diurno (radiação positiva).

Para efeito de comparação a evaporação estimada sobre o próprio lago com ambiente terrestre, selecionou-se a plataforma de coleta de dados localizada no município de Jaguaribe como bacia de experimentação terrestre a comparar com a estação DANTASALES.

Os dados da PCD Jaguaribe, com coordenadas de latitude:  $-5.905589^{\circ}$  e longitude:  $-38.627792^{\circ}$ , foram registrados em intervalos de 1 hora, mesmo assim, para realizar a comparação, os dados da DANTASALES, de cada 30 minutos, foram considerados.

Quanto à coleta de dados da estação climática flutuante, o objetivo do trabalho era coletar dados sobre o lago artificial do Castanhão pelo período de um ano, entre 01 de junho de 2015 a 31 de maio de 2016. Porém, devido a problemas com o aparelho não foi possível coletar o tempo desejado.

Em meados do mês de setembro de 2015, após três meses de coleta, o aparelho receptor de dados foi danificado por terceiros. Na tentativa de recuperar a coleta, em seguida foi obtido outro aparelho receptor (*Datalogger*) e no mês de outubro já houve coleta de dados, novamente. Porém, ao realizar as coletas nos meses de novembro e dezembro percebeu-se que os sensores da estação climática não estavam de acordo com a calibração realizada, portanto, voltou-se a apresentar erros dos dados.

Devido aos problemas com a estação climática flutuante, para este trabalho, serão considerados os dados válidos entre o período de 01 de junho de 2015 a 30 de setembro de 2015.

Vale ressaltar que, embora seja, relativamente, ainda pouca utilizada nas pesquisas geográficas, a estatística é uma contribuição a parte das interpretações dos dados hidroclimáticos. Considerando que o método funciona como a “lente” que o pesquisador utiliza para auxiliar a teoria no sentido de interpretar e explicar os fenômenos de seu interesse cabe concordar com King, Keohane e Verba (1994) que, “a substância da ciência é primordialmente os métodos e as técnicas” (p.9). Desta forma, partindo do pressuposto de que o método é um componente central do conhecimento científico, para este trabalho, a fim de sustentar os dados coletados elencou-se o método desenvolvido por Karl Pearson ( $r$ ) para medir a associação bivariada do grau de relacionamento entre duas variáveis quantitativas, ou seja, realizar a correlação dos dados. Segue a equação de Pearson ( $r$ ):

$$r = \frac{1}{n-1} \sum \left( \frac{x_i - \bar{X}}{s_x} \right) \left( \frac{y_i - \bar{Y}}{s_y} \right) \quad \text{ou}$$

$$\text{Corr}(X,Y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \bar{x}}{dp(X)} \right) \left( \frac{y_i - \bar{y}}{dp(Y)} \right), \quad dp(x) \text{ é o desvio padrão de } X \text{ e } dp(Y) \text{ é}$$

o desvio padrão de Y

$$-1 \leq \text{Corr}(X,Y) \leq 1$$

O coeficiente de correlação também pode ser escrito

$$\text{Corr}(X,Y) = \frac{\text{Cov}(X,Y)}{dp(X) \cdot dp(Y)} \quad \text{sendo } \text{cov}(X,Y) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n}$$

O coeficiente de correlação Pearson ( $r$ ) varia de -1 a 1. O sinal indica direção positiva ou negativa do relacionamento, proporcionalidade, e o valor sugere a força da relação entre as variáveis. Uma correlação perfeita (-1 ou 1) indica que o escore de uma variável pode ser determinado exatamente ao se saber o escore da outra. No outro oposto, uma correlação de valor zero indica que não há relação linear entre as variáveis. Todavia, como valores extremos (0 ou 1) dificilmente são encontrados na prática é importante discutir como os pesquisadores podem interpretar a magnitude dos coeficientes. Para este trabalho, adotou-se a escala de Dancey e Reidy (2006), na qual apontam para uma classificação linear para os valores de “ $r$ ”:  $r = 0,10$  até  $0,30$  (fraco);  $r = 0,40$  até  $0,6$  (moderado);  $r = 0,70$  até  $1$  (forte).

As correlações foram realizadas sempre considerando o valor de evaporação como referência. Estas têm como finalidade atribuir relações de dependência de valores e de proporcionalidade entre os atributos climáticos apresentados.

Para realizar as correlações dos valores mensais dos atributos climáticos em função da evaporação utilizou-se da correlação por  $R^2$  ou coeficiente de determinação. Nesta medida de ajustamento é possível trabalhar um modelo estatístico linear, como é o caso da correlação por determinação em função das variáveis.

### **Teste de Mann-Whitney**

Quando se dispõe de uma amostra pequena e a variável numérica não apresenta uma variação normal, ou ainda, quando não há homogeneidade das variâncias, o teste  $t$  não é apropriado. Nessa situação, pode-se utilizar o teste não paramétrico de Mann-Whitney (U).

O teste de Mann-Whitney foi desenvolvido primeiramente por F. Wilcoxon em 1945, para comparar tendências centrais de duas amostras independentes de tamanhos iguais. Em 1947, H.B. Mann e D.R. Whitney generalizaram a técnica para amostras de tamanhos diferentes.

O teste de Mann-Whitney é indicado para comparação de dois grupos não pareados para verificar se pertencem ou não a mesma população e cujos requisitos para aplicação do teste t de *Student* não foram cumpridos. Na verdade, verifica-se se há evidências para acreditar que valores de um grupo A são superiores aos valores do grupo B. O teste U pode ser considerado a versão não paramétrica do teste t, para amostras independentes. Ao contrário do teste t, que testa a igualdade das médias, o teste de Mann-Whitney testa a igualdade das medianas.

Os valores de U calculados pelo teste avaliam o grau de entrelaçamento dos dados dos dois grupos após a ordenação. A maior separação dos dados em conjunto indica que as amostras são distintas, rejeitando-se a hipótese de igualdade das medianas, como mostrado a seguir, podemos dizer se existe ou não diferença significativa entre as amostras.

*H<sub>0</sub>: Igualdade das medianas*

*H<sub>1</sub>: Medianas diferentes*

A lógica do teste é a mesma do teste t: calcula-se uma certa estatística de teste e obtém-se o “p-valor” a partir da distribuição amostral dessa estatística sob *H<sub>0</sub>*. A diferença é que ao invés de construir essa estatística com dados originais, eles são previamente convertidos em postos (ordenações). A vantagem é que, com isso, as suposições de normalidade e homogeneidade das variâncias não são necessárias, permitindo mais generalidade aos resultados. Perceba também os valores *outliers* perdem sua influência nessa abordagem, sendo apenas o maior valor da amostra.

A estatística U, que é a base para a decisão sobre a aceitação ou não da hipótese de nulidade é calculada da seguinte maneira:

- É formado um conjunto W, com todos os dados das duas amostras (A e B);
- O conjunto W é ordenado de forma crescente;
- Calcular
  - $R_1$  = soma dos postos do grupo 1;
  - $R_2$  = soma dos postos do grupo 2;

- Calcular a estatística de Mann-Whitney (U):

$$\circ U = n_1 n_2 + \frac{n_2(n_2+1)}{2} - R_1$$

$$\circ U = n_1 n_2 + \frac{n_1(n_1+1)}{2} - R_2$$

onde  $n_1$ : número de casos do grupo 1 e  $n_2$ : número de casos do grupo 2.

- Escolher o menor valor de U.

Se  $n < 20$  utilizar a tabela de valores críticos de Mann-Whitney (U). Onde Rejeita-se a hipótese  $H_0$  caso o valor encontrado seja maior que o valor crítico de Mann-Whitney. Caso contrário, para amostras grandes pode-se usar a aproximação pela distribuição normal padrão:

$$Z = \frac{U - \mu_R}{\sigma_R} \quad \text{onde} \quad \mu_R = \frac{n_1 n_2}{2} \quad \text{e} \quad \sigma_R = \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12}}$$

Em que, se rejeita a hipótese nula caso  $Z > Z_{\alpha/2}$  ou  $Z < -Z_{\alpha/2}$ , tal que  $P(Z > Z_{\alpha/2}) = P(Z < -Z_{\alpha/2}) = \alpha/2$ . (Usa-se o critério  $Z > Z_{\alpha}$  e  $Z < -Z_{\alpha}$  quando o teste é unilateral à direita e esquerda respectivamente).

Outro fator de rejeição da hipótese nula é quando a probabilidade da distribuição normal (mencionada acima) ser maior que o valor  $Z$  (ou menor que  $-Z$ ) calculado é menor que o nível de significância  $\alpha$  adotado, essa probabilidade é chamada de valor p, portanto, resumindo, rejeita-se a hipótese nula caso o valor p seja menor que o nível de significância  $\alpha$  adotado.

$Z_{\alpha/2}$  e  $-Z_{\alpha/2}$  são os quantis da distribuição normal e a  $P(Z > Z_{\alpha/2})$  ou  $P(Z < -Z_{\alpha/2})$  é o chamado valor p.

### Modelo de regressão normal

A análise de regressão linear estuda a relação entre a variável dependente ou variável resposta ( $Y$ ) e uma ou várias variáveis independentes ou regressoras ( $X_1, \dots, X_n$ ).

Esta relação representa-se por meio de um modelo matemático, ou seja, por uma equação que associa a variável dependente com as variáveis independentes.

O Modelo de Regressão Normal pode ser definido como:

- Simples: modela a relação linear entre a variável dependente ( $Y$ ), e uma única variável independente ( $X$ ).
- Múltiplo: explica a relação linear entre a variável dependente ( $Y$ ), e várias variáveis independentes ( $X_1, \dots, X_n$ ).

A equação representativa do modelo de regressão linear é dada por:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_p x_{ip} + \varepsilon_i, \quad i = 1, \dots, n.$$

Onde:

$y_i$ : é o valor da variável resposta na observação  $i$ ;

$x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip}$ : são os valores da  $i$ -ésima observação das variáveis explicativas;

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$ : são os parâmetros ou coeficientes de regressão;

$\varepsilon_i$ : refere-se aos erros aleatórios.

Ao definir esse tipo de modelo, pressupõe-se que:

- $E[\varepsilon_i] = 0, i = 1, \dots, n$ ; ( $E[.]$  é a esperança matemática)
- Os erros são independentes;
- $Var(\varepsilon_i) = \sigma^2, i = 1, \dots, n$  (Variâncias constantes); \*\*\* ( Não necessário quando usada técnicas de modelos de regressão generalizados)
- Os erros têm distribuição normal;

### Seleção de modelos

Ao selecionarmos modelos é preciso ter em mente que não existem modelos verdadeiros, há apenas modelos aproximados da realidade que inevitavelmente causam perda de informações. Deste modo, é necessário fazer a seleção do “melhor” modelo, dentre aqueles que foram ajustados, para explicar o

fenômeno sob estudo. O modelo escolhido deve ser parcimonioso, ou seja, que envolva o mínimo de parâmetros possíveis a serem estimados e que explique bem o comportamento da variável resposta.

### **Análise de diagnóstico**

Uma etapa de relevante importância no ajuste de qualquer modelo de regressão é a verificação de possíveis distanciamentos das suposições feitas para o modelo. Além disso, essa etapa que chamamos de análise de diagnóstico, também verifica a existência de observações discrepantes que acabam causando alguma interferência inferencial ou desproporcional nos resultados do ajuste. A análise de diagnóstico também vasculha por pontos altamente influentes no modelo, que exercem um peso desproporcional nas estimativas dos parâmetros do modelo.

A análise dos resíduos é de suma importância para verificar a qualidade do modelo ajustado. Através dos resíduos podemos realizar algumas análises gráficas, como:

- Gráfico de envelope simulado (Verificação da distribuição).
- Gráfico dos resíduos *versus* os índices das observações (Verificação de pontos aberrantes).

Outros gráficos utilizados na análise de diagnóstico são:

- Gráfico da distância de cook (Verificação de pontos influentes).
- Gráfico dos pontos de alavanca (Verificação dos pontos de alavancagem do modelo).

## 6 A ESTIMATIVA DE EVAPORAÇÃO DO AÇUDE CASTANHÃO

Neste capítulo os resultados da coleta são apresentados e discutidos de acordo com a teoria apresentada no trabalho a partir do confronto dos resultados obtidos. A intenção é avançar na discussão de evaporação de reservatórios que tragam elementos do contexto semiárido, tendo o Estado do Ceará como recorte deste ambiente e o açude Castanhão como *locus* da pesquisa. Inicialmente são apresentados os dados anual, mensais e diários de evaporação; posteriormente são confrontados os dados de evaporação com os elementos climáticos; e por fim as discussões comparativas entre os dados do ambiente terrestre com o ambiente lacustre.

### 6.1 Estimativa de evaporação medida sobre o lago

Diante do levantamento realizado na estação flutuante optou-se que durante os 92 dias de análise da evaporação do Açude Castanhão os dados apresentam três classes principais: os valores acima da média; os valores médios; e os valores abaixo da média.

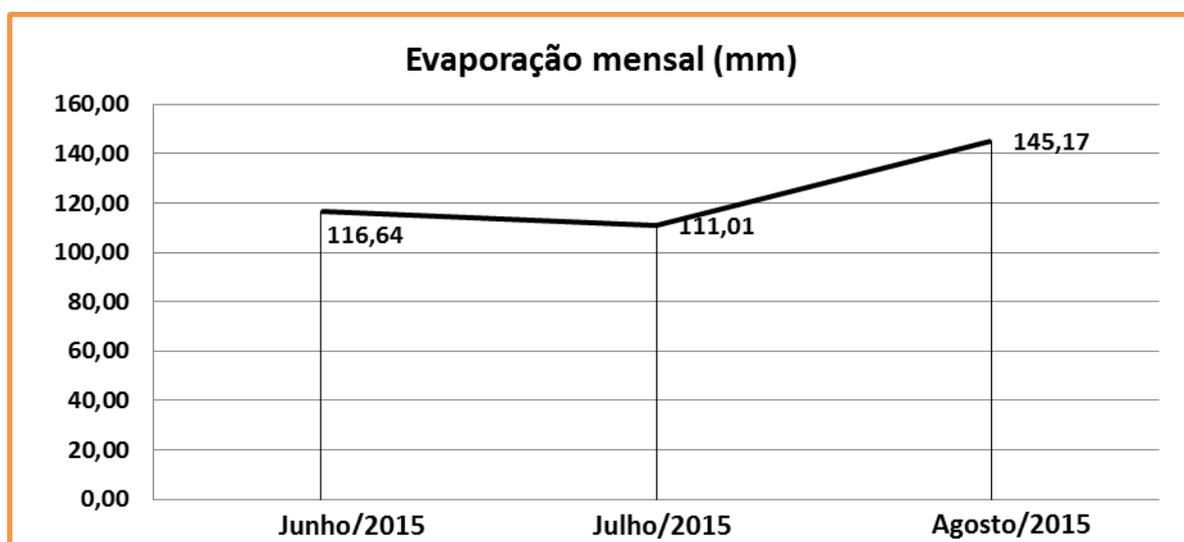
Observa-se também a distribuição da evaporação ao longo dos decêndios que compõem os meses de junho, julho e agosto do ano de 2015. Os valores encontrados de evaporação ao longo desse período estão diretamente relacionados ao comportamento dos atributos climáticos da região estudada, sendo, para este trabalho, o período do inverno no Hemisfério Sul.

Diante dos dados obtidos, elaboraram-se correlações entre as variáveis climáticas e a evaporação, a fim de garantir subsídios na determinação de relação direta ou não entre os dados coletados. Além de confrontar com a teoria já posta sobre estimativas de evaporação em grandes lagos artificiais do semiárido. A partir destas correlações também foram elaboradas correlações mensais por modelo  $R^2$ ,

com o objetivo de discutir a correlação de dispersão entre os dados e a proximidade desses dados com as discussões das condições climáticas locais.

### 6.1.1 Valores Mensais e Decendiais

Gráfico 11 - Evaporação mensal do Açude Castanhão (Junho a Agosto/2015).

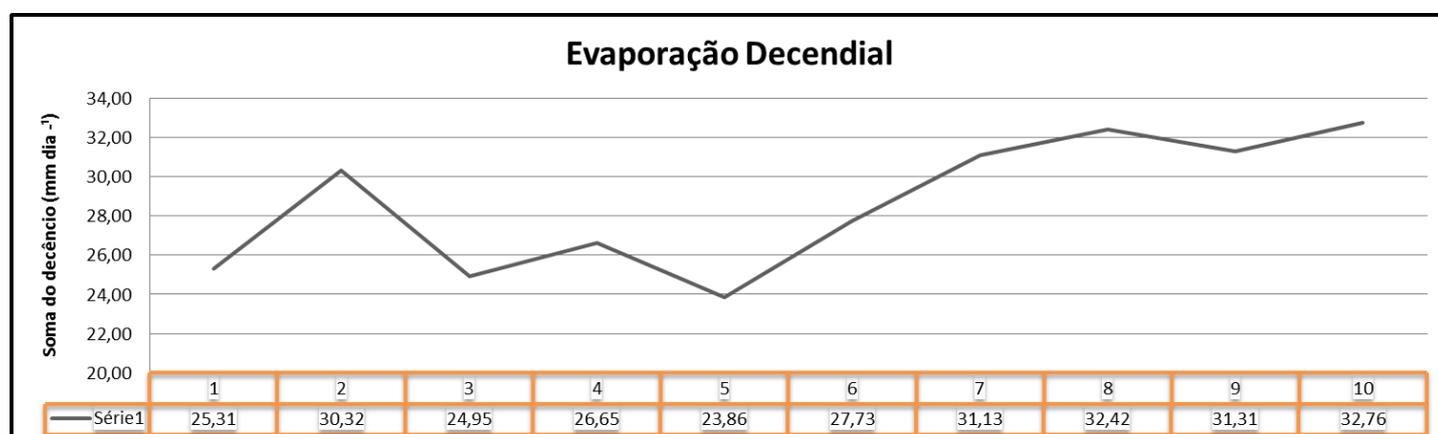


Fonte: dados da pesquisa.

No gráfico 11, observa-se que ocorreu o aumento de aproximadamente 30 mm mensais de evaporação entre os meses de junho e agosto de 2015. Sabendo que para o mesmo período do registro os valores de chuvas foram de 17,8 mm (dado da própria estação).

As médias mensais de evaporação para o Açude Castanhão foram 3,89 mm/dia, 3,58 mm/dia e 4,68 mm/dia, respectivamente. O menor valor de evaporação estimado para o mês de julho está associado aos valores de temperatura do ar, pois foi o mês que registrou os menores valores de temperatura do ar, como pode ser observado na tabela 8 e na prancha de gráficos dos atributos.

Gráfico 12 - Evaporação em decêndios do Açude Castanhão



Fonte: dados da pesquisa.

A partir da representação dos valores em escala decendial (gráfico 12), observa-se a variação da reta semelhante à distribuição diária dos valores de evaporação, com registros da soma de evaporação abaixo de 30 mm para os meses de junho e junho de 2015 (decêndios 1, 2, 3, 4, 5 e 6) e valores/soma acima de 30 mm para os demais decêndios, mês de agosto/2015.

Na demonstração acima está a representação da evaporação da região sobre o Castanhão. Veja, se comparar com o gráfico diário dos dados, o aumento dos valores de evaporação, a partir do sétimo decêndio, e a elevação da reta no gráfico, é possível afirmar que, a partir de julho, além de aumentar os valores de evaporação do Açude Castanhão, diminuem as oscilações entre os valores de evaporação.

Esse fato gera uma enorme preocupação quando se trata de aproveitamento de água de grandes reservatórios para abastecimento da população e atividades econômicas no período de estiagem, pois um ano considerado tipicamente seco, como 2015, com baixa recarga do reservatório nos anos anteriores e o aumento do consumo de água, vem intensificar ainda mais a ocorrência do colapso hídrico.

### **6.1.2 Valores diários**

No gráfico 13 está a distribuição dos valores de evaporação diária durante o período da coleta. No mês de junho os valores mais elevados foram nos dias 01, 07, 11, 13 e 22, com registros de 5,53; 5,27; 5,45; 5,06 e 5,29 mm dia<sup>-1</sup>. Já os valores mais baixos ocorreram nos dias 08 e 25, com 1,56 e 1,34 mm dia<sup>-1</sup>, respectivamente. Quanto os demais dias do mês de junho observa-se que ocorreram oscilações entre 2,0 e 5,0 mm dia<sup>-1</sup>.

Quanto ao mês de julho os valores mais elevados foram nos dias 09, 10, 25, 26 e 30, com registros de 5,19; 5,27; 5,47; 5,14 e 5,37 mm dia<sup>-1</sup>, respectivamente. Já os valores mais baixos foram nos dias 16, 17 e 27, com 1,9; 0,49 e 0,96, respectivamente. Ao longo do mês também é possível observar que os valores dos demais dias oscilam entre 2,0 e 5,0 mm dia<sup>-1</sup>.

No mês de agosto os dias com os valores mais elevados foram 02, 10, 16, 17, 18, 19, 20, 21 e 25, com registros bem mais frequentes e elevados a comparar com os meses de junho e julho, sendo, 5,54; 5,29; 5,11; 5,12; 5,63; 5,92; 6,07; 5,17 e 5,40 mm dia<sup>-1</sup>, respectivamente. Já o valor mais baixo ocorreu no dia 14 com 2,70 mm dia<sup>-1</sup>. Quanto aos demais dias do mês de agosto os valores oscilaram entre 3,0 e 5,0 mm dia<sup>-1</sup>, principalmente na faixa dos 4,0 mm dia<sup>-1</sup> como pode ser observado no gráfico.

Outra característica que se apresenta ao confrontar dos dados dos meses de Junho/Julho ao mês de agosto é o aumento dos valores de evaporação estando concentrados no último mês. No gráfico 13, o mês de agosto, apresenta registros bem mais constantes e com baixas oscilações de valores. Isso está associado, principalmente, à dissipação da concentração de umidade na atmosfera durante o período, além do início de maior intensidade dos ventos na região; favorecido por um ambiente com maior incidência de radiação solar, baixa umidade, maior velocidade dos ventos e, portanto, maiores valores de evaporação. Além da possibilidade da redução da nebulosidade em agosto.



Vale ressaltar que 2015 foi um ano tipicamente seco, com baixas pluviometrias na quadra chuvosa e estabilidade de altos valores de insolação. Mesmo com características de ano seco, presencia-se essa dinâmica diferenciada na atmosfera e a resposta desta nos valores de evaporação entre os meses de junho, julho e agosto.

Diante do levantamento é possível afirmar que a média de evaporação da série (Junho, Julho e Agosto de 2015) para o Açude Castanhão foi de 4,05 mm/dia<sup>-1</sup> (por Penman). No contexto do Nordeste brasileiro, também foi encontrado um valor aproximado por Barbosa e Mattos (2007), entre fevereiro/2006 a fevereiro/2007, em um pequeno reservatório localizado na bacia experimental de Serra Grande do Norte/RN, utilizando dados representativos sobre o lago, com média de evaporação de 4,77 mm/dia, também por Penman.

## **6.2 Correlações entre as variáveis climáticas e os valores de evaporação medidos sobre o lago**

Considera-se fundamental atribuir influências/dependências entre os dados coletados e os dados estimados. Correlacionar as variantes torna a fundamentação dos dados mais precisa e ao mesmo tempo testa a acurácia da série analisada.

Observando a representação gráfica dos dados e correlacionando-os estatisticamente foi possível extrair discussões e considerações acerca dos valores de evaporação medidos sobre o lago artificial do Castanhão. Considerou-se, portanto, as variantes climáticas como Pressão Absoluta; Temperaturas mínima, média e máxima; Umidade relativa do ar e velocidade dos ventos. A seguir é possível visualizar os dados primários coletados pela estação climática flutuante:

Tabela 4 - Dados climáticos coletados pela estação climática flutuante (DantaSales)

<b>Período</b>	<b>Pressão absoluta Média (Hpa)</b>	<b>Temperatura Média (°C)</b>	<b>Temperatura Mínima (°C)</b>	<b>Temperatura Máxima (°C)</b>	<b>Umidade Relativa Externa (%)</b>	<b>Velocidade média do vento a 2m (m/s)</b>	<b>Precipitação (mm)</b>	<b>Evaporação (EI)</b>
<b>01/06/2015</b>	1003,5	30,2	24,3	36,1	69,1	2,2	0,3	5,53
<b>02/06/2015</b>	1003,2	30,6	24,3	36,8	74,4	1,9	0	4,42
<b>03/06/2015</b>	1004,1	28,8	24,5	33	80,9	2,5	2,7	2,27
<b>04/06/2015</b>	1004,5	28,5	24	33	84,2	2,5	0	2,31
<b>05/06/2015</b>	1004,3	29,3	24	34,6	74,8	2,7	0	3,88
<b>06/06/2015</b>	1002,9	29,3	25,1	33,5	72,4	2,8	0,6	3,22
<b>07/06/2015</b>	1003,4	30,1	24,9	35,2	70,4	2,9	0	5,27
<b>08/06/2015</b>	1004,0	28,4	24,1	32,6	78,7	2,4	0,7	1,56
<b>09/06/2015</b>	1003,6	29,0	23,8	34,1	74,3	2,1	0	4,43
<b>10/06/2015</b>	1003,3	28,7	23,2	34,2	74,3	2,3	0	3,84
<b>11/06/2015</b>	1003,0	31,0	25,8	36,2	66,4	2,3	0	5,45
<b>12/06/2015</b>	1004,0	30,2	24,5	35,9	69,3	2,0	0	4,84
<b>13/06/2015</b>	1004,0	29,4	24	34,8	63,3	3,1	0	5,06
<b>14/06/2015</b>	1003,7	28,7	23,5	33,8	71,8	2,6	0	4,06
<b>15/06/2015</b>	1004,2	30,1	24,2	36	66,9	2,6	0	3,88
<b>16/06/2015</b>	1003,6	29,9	24,5	35,3	67,7	3,2	0	3,79
<b>17/06/2015</b>	1003,8	28,8	24,4	33,1	65,2	3,2	0	3,67
<b>18/06/2015</b>	1004,2	29,3	24,3	34,2	61,3	3,3	0	4,87
<b>19/06/2015</b>	1005,1	29,5	24,6	34,3	67,7	2,4	0	4,69
<b>20/06/2015</b>	1005,4	29,6	24,2	34,9	63,9	3,3	0	4,47
<b>21/06/2015</b>	1006,2	30,2	25,7	34,6	62,4	3,2	0	3,49
<b>22/06/2015</b>	1006,5	31,3	26,2	36,3	60,9	2,7	0,3	5,29
<b>23/06/2015</b>	1007,2	28,6	24,6	32,5	72,3	2,9	0	2,28
<b>24/06/2015</b>	1007,6	30,1	24	36,1	72,7	2,0	0	3,67
<b>25/06/2015</b>	1008,7	27,8	23,3	32,3	84,2	2,8	3,9	1,34
<b>26/06/2015</b>	1008,0	28,5	23,9	33	70,8	2,3	0	3,47
<b>27/06/2015</b>	1006,9	29,3	24,5	34	63,2	3,1	0,3	4,59
<b>28/06/2015</b>	1005,3	30,5	25	36	66,2	2,8	0	4,02
<b>29/06/2015</b>	1005,5	28,7	23,3	34,1	77,3	2,9	3,3	4,37
<b>30/06/2015</b>	1005,6	28,7	23,6	33,7	75,0	2,5	0,3	2,62
<b>01/07/2015</b>	1005,3	30,1	25,3	34,8	65,5	2,9	0	4,32
<b>02/07/2015</b>	1004,3	29,8	25,3	34,2	70,0	2,7	0	3,75
<b>03/07/2015</b>	1004,4	28,9	25	32,7	76,2	2,7	0	2,27
<b>04/07/2015</b>	1004,0	28,6	23,8	33,4	80,0	2,5	0	2,68
<b>05/07/2015</b>	1003,7	29,6	25	34,2	76,2	3,0	0	3,67
<b>06/07/2015</b>	1003,1	29,0	23,8	34,2	70,9	2,4	0	2,89

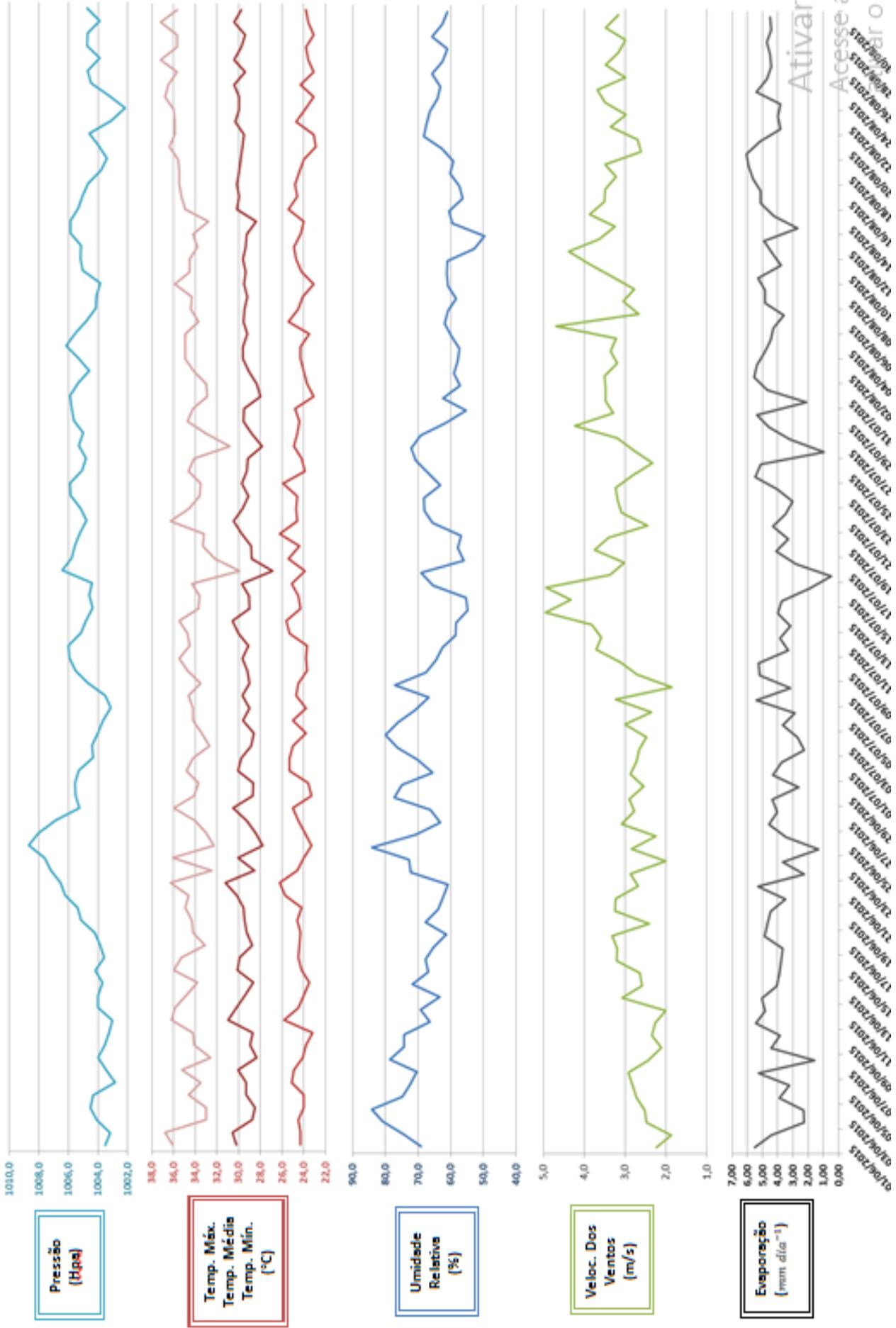
<b>07/07/2015</b>	1003,5	29,7	24,7	34,6	66,7	3,2	0	5,43
<b>08/07/2015</b>	1004,7	29,0	24,5	33,5	77,0	1,9	0	3,16
<b>09/07/2015</b>	1005,5	29,2	23,7	34,7	67,5	2,7	0	5,19
<b>10/07/2015</b>	1005,9	29,7	23,8	35,5	64,6	3,1	0	5,27
<b>11/07/2015</b>	1006,0	29,1	23,7	34,5	62,6	3,7	0	3,33
<b>12/07/2015</b>	1005,2	30,0	25,3	34,7	58,6	3,6	0	3,86
<b>13/07/2015</b>	1004,8	30,6	25,6	35,5	58,4	3,8	0	3,16
<b>14/07/2015</b>	1004,4	29,0	24,3	33,7	54,9	5,0	0	3,99
<b>15/07/2015</b>	1004,6	29,1	24,5	33,6	55,3	4,3	0	3,76
<b>16/07/2015</b>	1004,4	29,7	25,1	34,3	65,4	4,9	0	1,90
<b>17/07/2015</b>	1006,4	26,9	23,9	29,9	69,0	3,4	0	0,49
<b>18/07/2015</b>	1005,8	28,8	25,4	32,2	56,0	3,0	0	2,79
<b>19/07/2015</b>	1005,6	28,9	24,4	33,3	57,8	3,7	0,6	4,09
<b>20/07/2015</b>	1005,2	29,7	26,2	33,2	56,9	3,4	0	3,32
<b>21/07/2015</b>	1004,8	30,5	24,6	36,3	65,6	2,4	0	4,33
<b>22/07/2015</b>	1005,2	29,7	24,7	34,6	68,1	3,1	0	3,48
<b>23/07/2015</b>	1005,9	29,1	24,6	33,6	68,3	3,2	0	3,03
<b>24/07/2015</b>	1005,9	29,7	25,9	33,5	63,3	3,2	0	4,02
<b>25/07/2015</b>	1005,1	29,3	23,9	34,6	66,9	2,8	0	5,47
<b>26/07/2015</b>	1004,8	29,2	24,2	34,1	70,8	2,3	0	5,14
<b>27/07/2015</b>	1005,3	27,9	24,9	30,8	72,1	2,8	0	0,96
<b>28/07/2015</b>	1005,0	28,8	24,6	33	69,3	3,2	0	3,22
<b>29/07/2015</b>	1005,7	29,6	24,4	34,7	61,7	4,2	0	4,57
<b>30/07/2015</b>	1005,8	29,5	24,8	34,2	55,4	3,3	0	5,37
<b>31/07/2015</b>	1005,9	28,0	23,1	32,9	62,3	3,5	0	2,13
<b>01/08/2015</b>	1005,4	28,4	23,7	33	57,3	3,5	0	4,70
<b>02/08/2015</b>	1004,6	29,1	24	34,1	59,1	3,5	0	5,54
<b>03/08/2015</b>	1005,3	29,6	24,3	34,9	57,8	3,2	0	5,39
<b>04/08/2015</b>	1006,2	29,6	24,3	34,9	57,4	3,4	0	4,87
<b>05/08/2015</b>	1005,5	29,2	23,5	34,9	59,9	3,2	0	4,46
<b>06/08/2015</b>	1004,8	29,6	25,4	33,7	61,9	4,7	0	4,27
<b>07/08/2015</b>	1004,2	29,5	24,5	34,4	60,9	2,7	0	3,60
<b>08/08/2015</b>	1004,1	29,2	24,1	34,3	58,4	3,0	0	4,83
<b>09/08/2015</b>	1003,9	29,5	23,1	35,9	60,8	2,8	0	4,82
<b>10/08/2015</b>	1005,1	29,4	24,2	34,5	61,1	3,3	0	5,29
<b>11/08/2015</b>	1005,2	29,6	24,7	34,5	61,0	3,9	1,5	3,80
<b>12/08/2015</b>	1005,2	29,4	24,9	33,8	52,8	4,4	2,4	4,36
<b>13/08/2015</b>	1005,9	29,3	24,3	34,2	49,6	3,6	0,9	4,90
<b>14/08/2015</b>	1005,9	28,4	24	32,8	59,5	3,3	0	2,70
<b>15/08/2015</b>	1005,3	30,2	25,4	34,9	60,5	3,9	0	4,24
<b>16/08/2015</b>	1005,0	30,0	24,6	35,3	56,3	3,5	0	5,11

<b>17/08/2015</b>	1004,7	30,2	24,8	35,5	57,3	3,5	0	5,12
<b>18/08/2015</b>	1003,8	30,0	24,4	35,5	60,3	3,2	0	5,63
<b>19/08/2015</b>	1003,4	29,8	24	35,6	59,1	3,5	0	5,92
<b>20/08/2015</b>	1004,0	29,7	22,9	36,4	62,6	2,6	0	6,07
<b>21/08/2015</b>	1004,6	29,5	23,1	35,9	68,3	2,7	0	5,17
<b>22/08/2015</b>	1003,1	30,3	24,7	35,9	67,3	3,3	0	3,83
<b>23/08/2015</b>	1002,2	30,0	23,9	36	66,5	3,0	0	3,98
<b>24/08/2015</b>	1003,3	30,0	23,1	36,8	64,1	3,5	0	3,81
<b>25/08/2015</b>	1004,5	30,4	24,3	36,5	63,2	3,7	0	5,40
<b>26/08/2015</b>	1004,7	29,4	23,1	35,7	65,6	3,0	0	4,72
<b>27/08/2015</b>	1003,9	30,4	23,6	37,2	62,5	3,5	0	4,44
<b>28/08/2015</b>	1004,7	29,8	23,8	35,7	61,0	3,2	0	4,52
<b>29/08/2015</b>	1004,7	29,4	23,1	35,7	65,6	3,0	0	4,72
<b>30/08/2015</b>	1003,9	30,4	23,6	37,2	62,5	3,5	0	4,44
<b>31/08/2015</b>	1004,7	29,8	23,8	35,7	61,0	3,2	0	4,52

Fonte: dados da pesquisa.

Considerando-se os dados acima, elaborou-se uma prancha apresentando a série de coleta dos seguintes atributos climáticos: Pressão Atmosférica, Temperatura Máxima, Temperatura média, Temperatura mínima, Umidade Relativa do Ar, Velocidade dos Ventos e a estimativa de evaporação a partir dos elementos supracitados (Prancha 1). Posteriormente, segue a tabela de correlações por Pearson ( $r$ ) entre os atributos climáticos e evaporação.

PRANCHA 01: DADOS DA ESTAÇÃO CLIMÁTICA FLUTUANTE DANTASALES E DE EVAPORAÇÃO ESTIMADA (Junho a Agosto/2015)



Observa-se na prancha 1 que durante o mês de junho de 2015 ocorreu uma oscilação inversa dos valores de umidade relativa do ar e velocidade do vento. Ao menos até o dia 25/06/15 presencia-se esse comportamento. Justamente neste episódio do dia 25 de junho ocorreu uma situação que merece destaque; o pico do valor de pressão atmosférica (1008,7 Hpa) e de umidade relativa do ar (84,2%) gerou uma queda nos valores de temperatura do ar, velocidade dos ventos e evaporação. Isso também está associado com o valor em queda brusca de radiação solar (13,75 para 7,35 MJ/m<sup>2</sup>), comparado ao episódio do dia anterior. Se registrado menor valor de entrada de energia, também se apresenta um menor valor de radiação líquida. Isso gera baixa condição física para que o valor de evaporação se eleve naquele dia.

As condições do tempo meteorológico no período do mês de junho estão diretamente associadas à dinâmica atmosférica após a quadra chuvosa do Ceará e o início do inverno. Que como pode ser observado no gráfico de umidade relativa do ar, os altos valores registrados durante o mês de junho de 2015. Além dos menores valores de velocidade dos ventos para este período. Há uma melhora na condição de umidade relativa sobre o lago, portanto, dificulta o aumento considerável de evaporação. Em casos oportunos, de picos de evaporação durante esse período, pode está associado diretamente aos picos de temperatura máxima e altos valores de incidência solar.

Observa-se, de modo geral, que quando os valores de temperatura do ar elevam-se, o mesmo ocorre com os valores de evaporação. Enquanto que os valores de umidade relativa do ar tendem a diminuir em relação à série analisada. Ao observar os elevados valores de temperatura do ar registrados, observa-se também a queda brusca da velocidade dos ventos, isso pode ser observado ao considerar as médias do dia 14/07/15, enquanto registrou-se 5 m/s de velocidade de vento a temperatura do ar baixou de 25,6°C para 24,3°C. A presença de rajadas de vento contribui para dispersão de calor sobre a superfície. Veja também que, nesse episódio, o valor de evaporação eleva-se de 3,16 para 3,99 mm/dia.

Quando observado o dia 17/07/15 veja como ocorreu o processo de evaporação de acordo com os registros do dia. Ocorreu uma queda brusca de

temperatura máxima, mínima e média e velocidade do vento, com 29,9°C, 26,9°C, 23,9°C e 3,4 m/s, respectivamente. Enquanto que o valor médio de Umidade Relativa do ar apresentou aumento de 4% comparando com o dia anterior (65% para 69%). O menor valor de evaporação de toda a série analisada, com 0,49 mm/dia, isso pode está associado às condições de tempo, pois o mesmo apresentou também a menor entrada de energia, registrando 6,15 MJ/m<sup>2</sup>. Veja a relação direta e positiva entre os valores de radiação solar e temperatura com os dados de evaporação.

Diante do episódio acima, observa-se na prancha que os valores decresceram a partir do dia 14/07/15. O que se observa neste episódio do dia 17 foi sucessiva diminuição dos valores de temperatura do ar e entrada de energia, que veio a favorecer as condições de concentração de umidade relativa do ar sobre a superfície do lago, o que, portanto, diminui a perda de água por evaporação. É preciso deixar claro que, quanto há absorção de energia pelas moléculas de água, tanto por vir a ocorrer diretamente pelo ar por meio da conversão de calor sensível (temperatura) em calor latente, ou então pode ser fornecida externamente por meio do próprio saldo de radiação.

Dinâmica inversa ocorreu no dia 20/08/15, período em que ocorreu o aumento considerável da temperatura máxima do ar associada à alta taxa de radiação solar diária, com 36,4°C e 20,85 MJ/m<sup>2</sup>, respectivamente. Essa elevação da temperatura ocasionou uma maior pressão de saturação do vapor (es), adquirindo o ar uma capacidade maior de conter vapor d'água. Além da diminuição do valor de velocidade do vento, com registro médio episódico de 2,6 m/s. Isso gerou a maior estimativa do valor de evaporação da série analisada, de 6,07 mm/dia.

Durante o mês de agosto/2015 observa-se que a linha decresce continuamente para os valores de pressão atmosférica e umidade relativa do ar. Quanto aos valores de velocidade dos ventos o que se observa é um relativo aumento durante o mês de agosto, sendo este o mês característico do Estado onde intensifica a atração dos ventos para a região. Mas, diante da apresentação dos dados, fica nítido o aumento da reta dos valores de temperatura do ar, principalmente o valor de temperatura máxima do ar, e radiação solar. De tal modo que, esse ambiente seco com baixa concentração de vapor d'água na atmosfera,

altas taxas de incidência solar e temperatura do ar favorecem o aumento dos valores de evaporação do lago. Quando se observa um aumento de quase 32% do valor de evaporação no mês de agosto, referente ao mês anterior (111 mm para 145 mm, aproximadamente).

Tabela 5 - Correlações de Pearson (r) entre as variáveis climáticas e evaporação(Trimestral)

Período	Variantes	Correlação (r)	Conclusão
<b>Junho - Agosto/2015</b>	Radiação x Evaporação	<b>0,981122</b>	As variáveis estão positivamente correlacionadas (forte)
<b>Junho - Agosto/2015</b>	Pressão x Evaporação	<b>-0,2423</b>	As variáveis estão negativamente correlacionadas (fraco)
<b>Junho – Agosto/2015</b>	Temp. Média x Evaporação	<b>0,594585</b>	As variáveis estão positivamente correlacionadas (moderado)
<b>Junho – Agosto/2015</b>	Temp. Mínima x Evaporação	<b>-0,07121</b>	As variáveis são estatisticamente independentes
<b>Junho – Agosto/2015</b>	Temp. Máxima x Evaporação	<b>0,68066</b>	As variáveis estão positivamente correlacionadas (moderado)
<b>Junho – Agosto/2015</b>	Umidade Relativa x Evaporação	<b>-0,46538</b>	As variáveis estão negativamente correlacionadas (moderado)
<b>Junho – Agosto/2015</b>	Velocidade do vento x Evaporação	<b>0,026984</b>	As variáveis são estatisticamente independentes

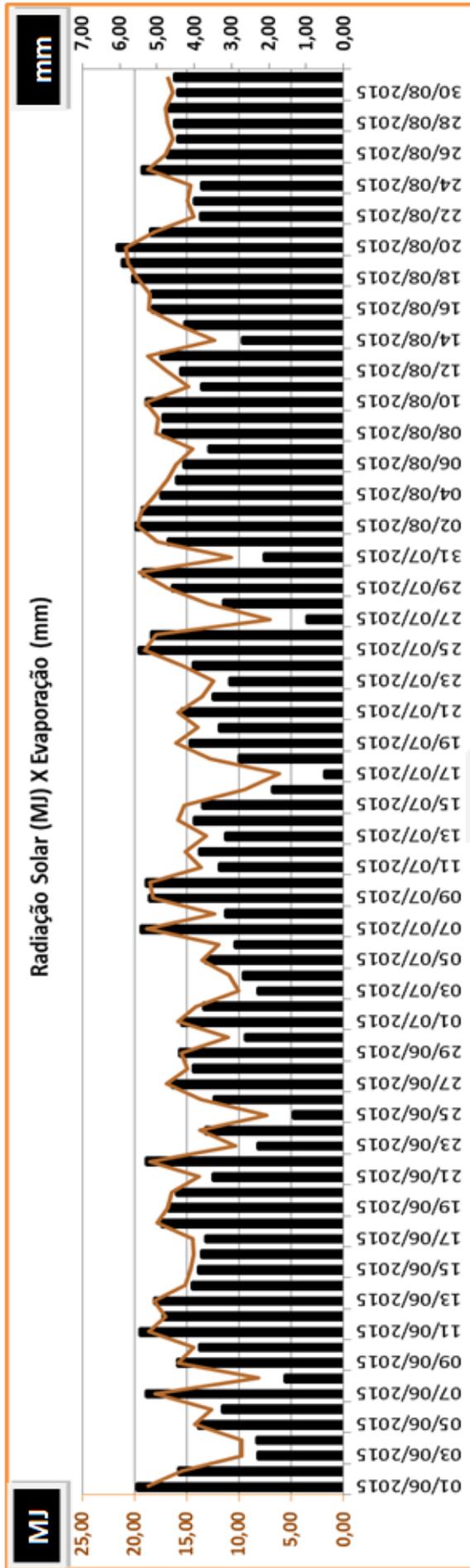
Fonte: dados da pesquisa.

Essa correlação entre os dados de evaporação estimados e os atributos climáticos coletados pouco é realizada. Como o tema desta pesquisa não é tão difundido entre os geógrafos, não há uma discussão na Geografia voltada para a medição de evaporação e principalmente correlacionando com os dados climáticos.

### 6.2.1 Radiação Solar

Quanto aos valores de radiação solar, verifica-se no gráfico 14 a relação com os valores de evaporação do lago.

Gráfico 14 - Radiação Solar em "MJ" X Evaporação em "mm"

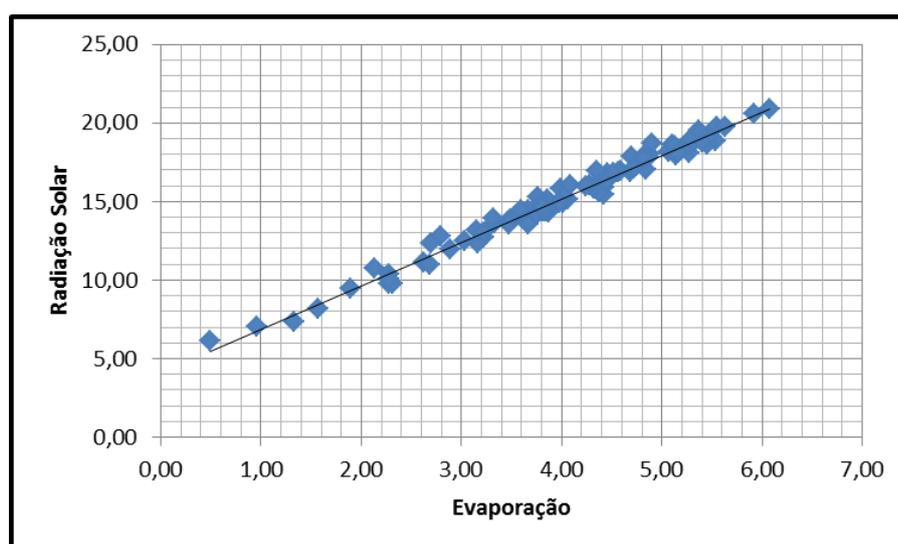


**Dia**

Fonte: dados da pesquisa.

Percebe-se que a radiação tornou-se fundamental para compreender o comportamento da evaporação do Açude Castanhão. Visto a correlação direta existente entre as variáveis. Correlação esta, que de acordo com o método de Pearson apresentou variáveis positivamente correlacionadas e na escala forte, ou seja, à medida que os valores de radiação solar aumentam, os valores de evaporação também tendem a aumentar. O que os tornam proporcionais e ao mesmo tempo fortemente correlacionados ( $r = 0,981$ ).

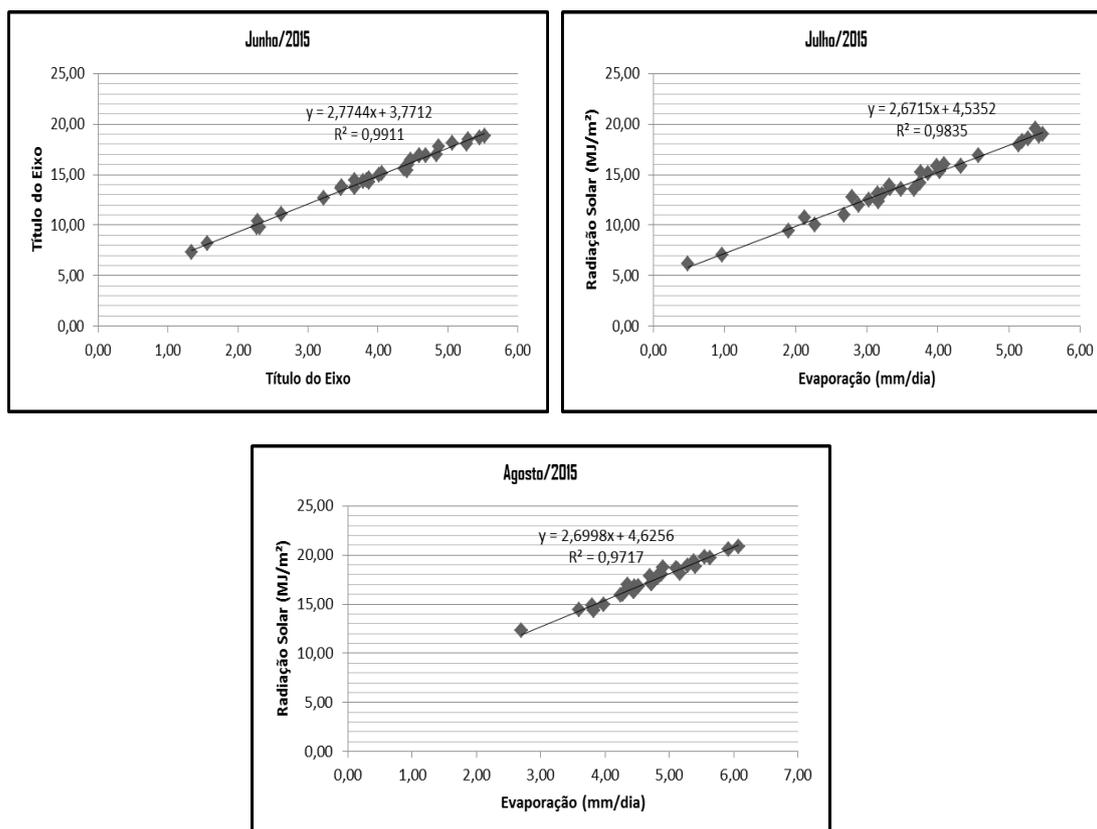
Gráfico 15 - Correlação/dispersão entre Radiação Solar e Evaporação (Trimestre)



Fonte: dados da pesquisa.

Observa-se no gráfico 15 a correlação direta e positiva entre as variáveis, ambas consideradas um correlação linear a reta resultante da série coletada. Isso pode ser observado, por exemplo, nos valores mais elevados de evaporação nos dias 01, 07, 11, 13, 22 de junho; 09, 10, 25, 26, 30 de julho e; 02, 10, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 25 de julho de 2015; apresentando uma média de 18 MJ/m<sup>2</sup> de radiação e 5,0 mm/dia de evaporação, aproximadamente.

A fim de discutir os valores mensais, elaborou-se a correlação de dispersão por R<sup>2</sup> dos valores mensais de Radiação Solar (MJ/m<sup>2</sup>) X Evaporação (mm/dia)

Gráfico 16 - Correlações mensais de  $R^2$  entre Radiação e Evaporação

Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 6 - Correlação mensal entre Radiação Solar e Evaporação

Radiação X Evaporação	Junho	Julho	Agosto
$R^2$	0,9911	0,9835	0,9717

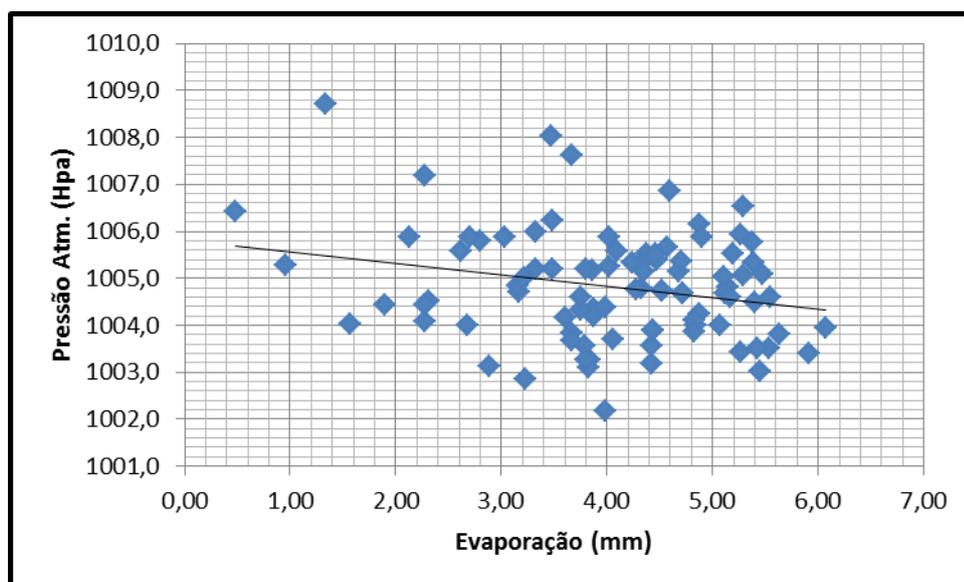
Fonte: dados da pesquisa.

Observa-se na figura acima que diante dos valores mensais obteve-se uma correlação  $R^2$  maior durante o mês de Junho/2015, com 0,9911. Ou seja, quanto mais próxima da estação chuvosa do Estado do Ceará, maior apresenta uma correlação direta entre o valor da energia incidente com o valor de água evaporada no reservatório Castanhão. Mesmo observando que nos três meses de coleta a correlação apresentou-se positiva e forte, estatisticamente, pelo fator correlação de Pearson ( $r$ ).

### 6.2.2 Pressão atmosférica

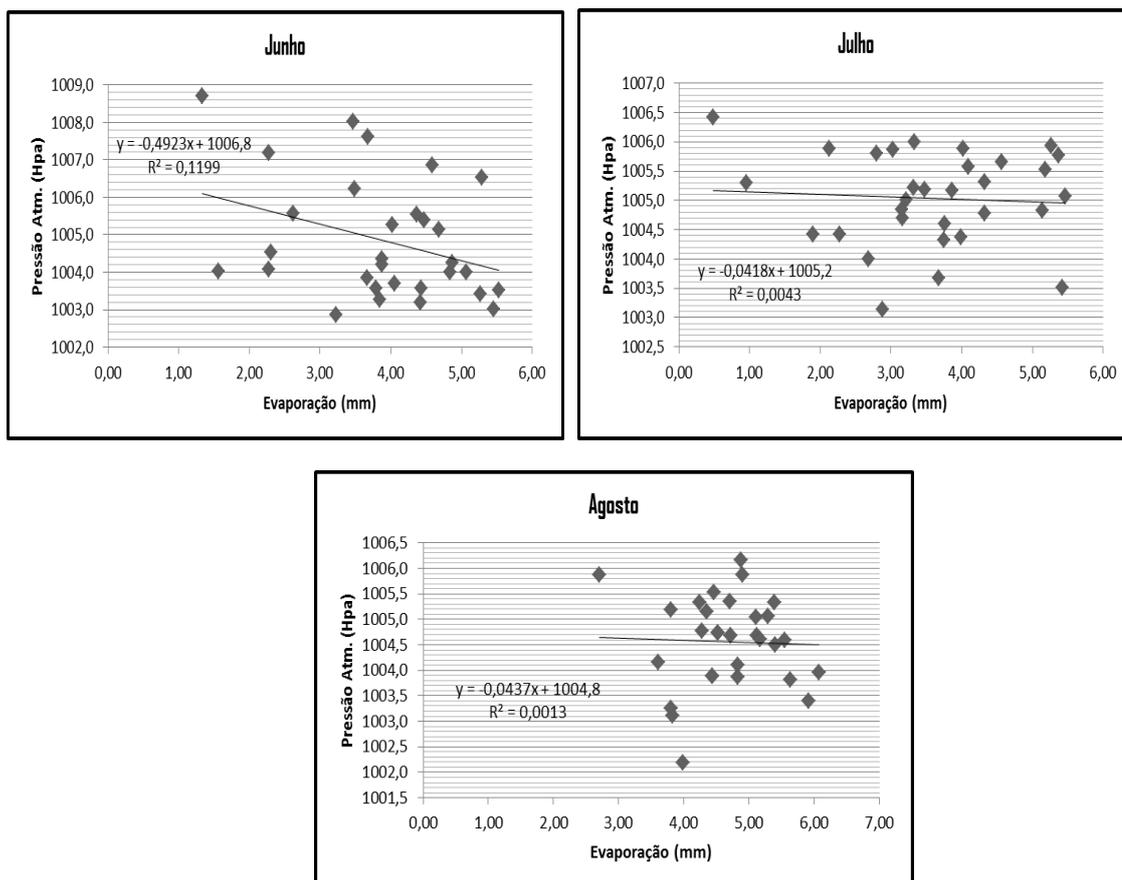
Sabe-se que, pela literatura, com a diminuição do valor da pressão o valor da evaporação tende a aumentar (VAREJÃO e SILVA, 2006). Diante do que se observou os dados coletados, foi exatamente isso que a correlação apresentou: entre os valores da série entre Pressão e Evaporação tem-se  $r = - 0,2423$ . As variáveis são negativamente correlacionadas, ou seja, apresentam-se como inversamente proporcionais. A correlação de dependência apresentou de nível fraco, portanto, pouco influenciou nos valores de evaporação estimados.

Gráfico 17 - Correlação/dispersão entre pressão atmosférica e evaporação (Trimestre)



Fonte: dados da pesquisa.

Observa-se que os valores estão dispersos ao ponto de afirmar que não há uma dependência de correlação entre o valor de pressão e evaporação, ou se apresentar, esta se encontra de maneira fraca a comparar as demais variáveis que influenciam nos valores de evaporação do Açude Castanhão.

Gráfico 18 - Correlações mensais de  $R^2$  entre evaporação e pressão atmosférica

Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 7 - Correlação mensal entre Radiação Solar e Pressão Atmosférica

Radiação X Pressão Atmosférica	Junho	Julho	Agosto
$R^2$	0,1199	0,0043	0,0013

Fonte: dados da pesquisa.

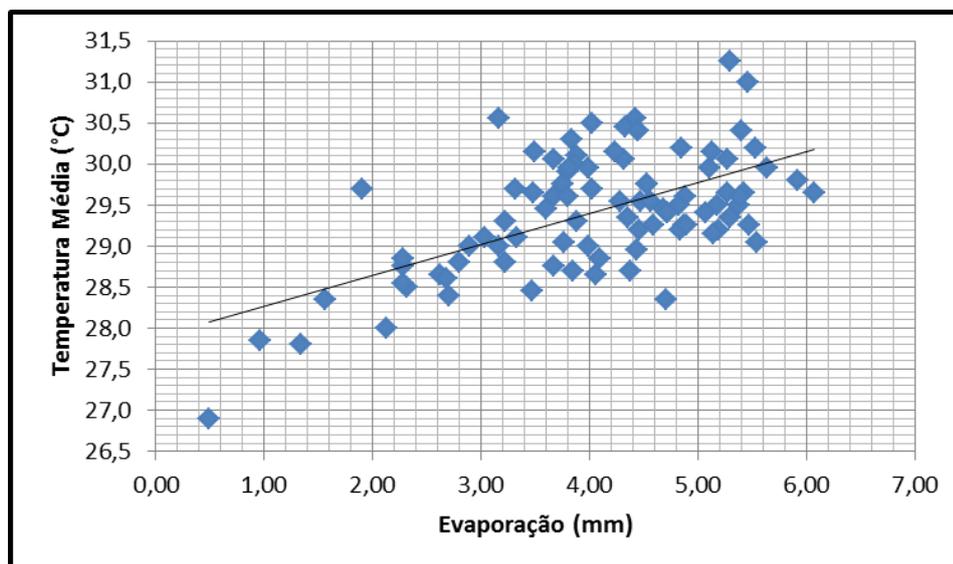
Observa-se que à medida que se aproxima do período mais seco do ano, o valor de  $R^2$ , mesmo sendo apresentado como fraco, tende a diminuir entre as variáveis. Portanto, tornam-se mais independentes.

### 6.2.3 Temperatura do ar

Quanto aos valores de temperatura do ar, para estimar evaporação por Penman é necessário ter os valores das temperaturas média, mínima e máxima. Quanto à temperatura média observou-se que a mesma apresentou correlação de  $r = 0,594585$ , ou seja, as variáveis (temperatura média e evaporação) estão

positivamente correlacionadas em escala moderado e estatisticamente proporcionais. Portanto, à medida que o valor de temperatura média aumenta, a evaporação também tende a aumentar. Assim como afirmado por Ward (2000), quanto maior for a temperatura do ar, maior é a sua tensão de vapor de saturação e mais vapor de água pode conter. Portanto, maior valor de evaporação.

Gráfico 19 - Correlação/dispersão entre temperatura média e evaporação (Trimestre)

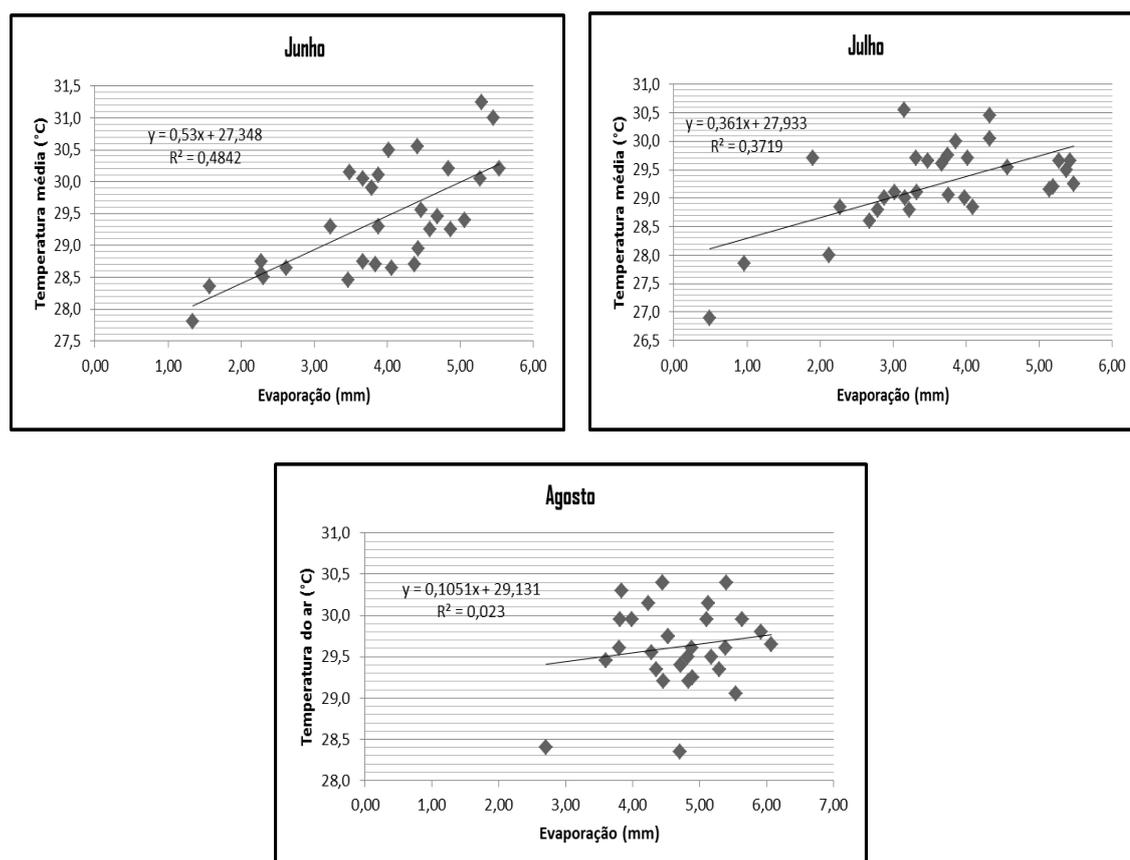


Fonte: dados da pesquisa.

Embora a correlação seja moderada, apresenta-se uma dispersão com presença de *outliers* na série analisada. Isso, portanto, influencia no aumento da correlação entre a temperatura média e a evaporação. Esses dados atípicos de temperatura média podem estar associados às altas temperaturas máximas registradas no dia.

Vale ressaltar que, o valor de temperatura do ar também está diretamente associado à entrada de energia solar. Devido à variação da intensidade da radiação solar recebida na superfície a mesma produz também uma alteração na temperatura da superfície, modificando a energia cinética das moléculas (RODRIGUES, 2009).

Gráfico 20 - Correlações mensais de  $R^2$  entre evaporação e temperatura média



Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 8: Correlação mensal entre Radiação Solar e Temperatura Média

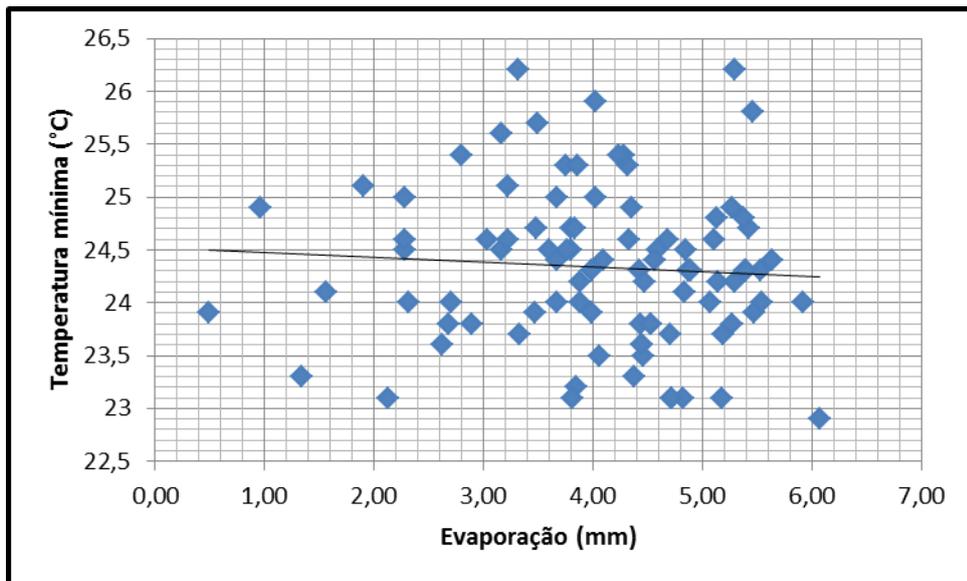
Radiação X	Junho	Julho	Agosto
Temperatura Média			
$R^2$	0,4842	0,3719	0,0023

Fonte: dados da pesquisa.

Veja que a partir da distribuição por  $R^2$  a aproximação com o período seco, principalmente o mês de agosto, apresentou um distanciamento correlativo entre as variáveis.

Quanto à temperatura mínima a correlação de Pearson ( $r$ ) apresentou-se -0,07121. Ou seja, as variáveis são estatisticamente independentes.

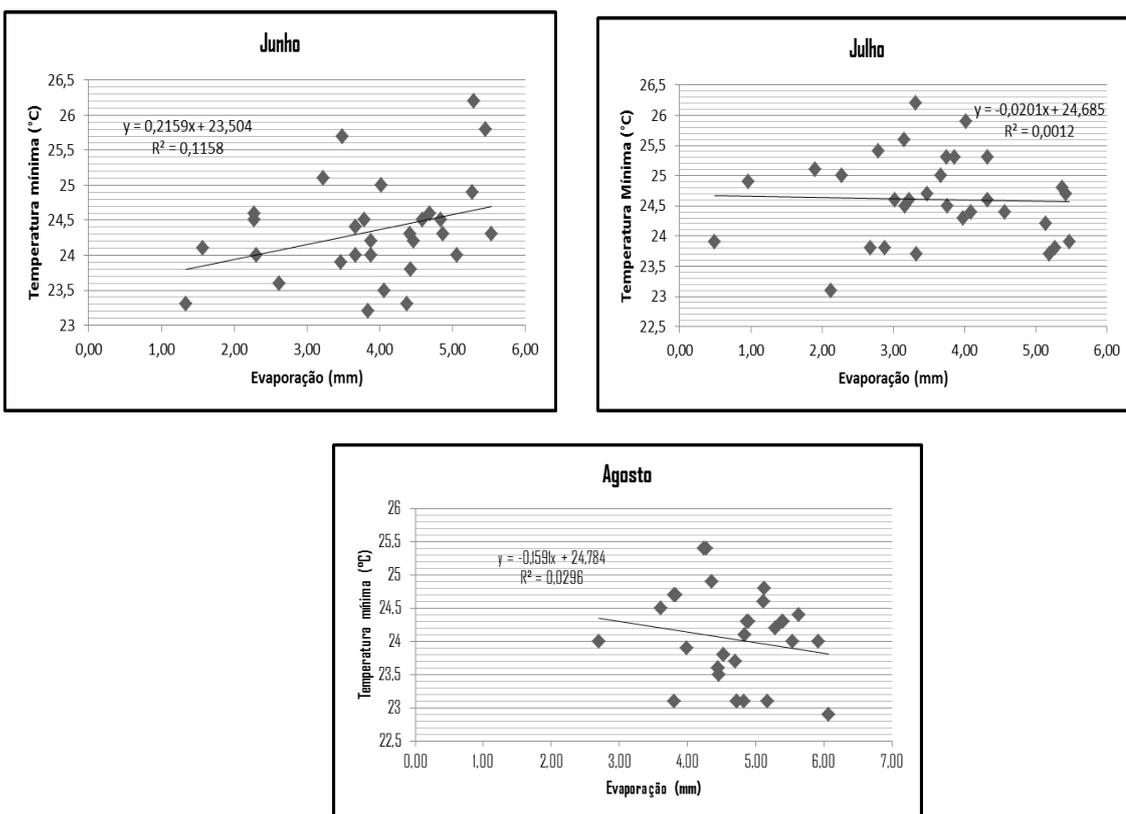
Gráfico 21 - Correlação/dispersão entre temperatura mínima e evaporação (Trimestre)



Fonte: dados da pesquisa.

Demonstra, no gráfico 21, alta dispersão entre a correlação realizada, sendo possível afirmar que não há uma correlação direta entre a temperatura mínima do ar e a evaporação no açude Castanhão.

Gráfico 22 - Correlações mensais de R<sup>2</sup> entre evaporação e temperatura mínima



Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 9 - Correlação mensal entre Radiação Solar e Temperatura Mínima

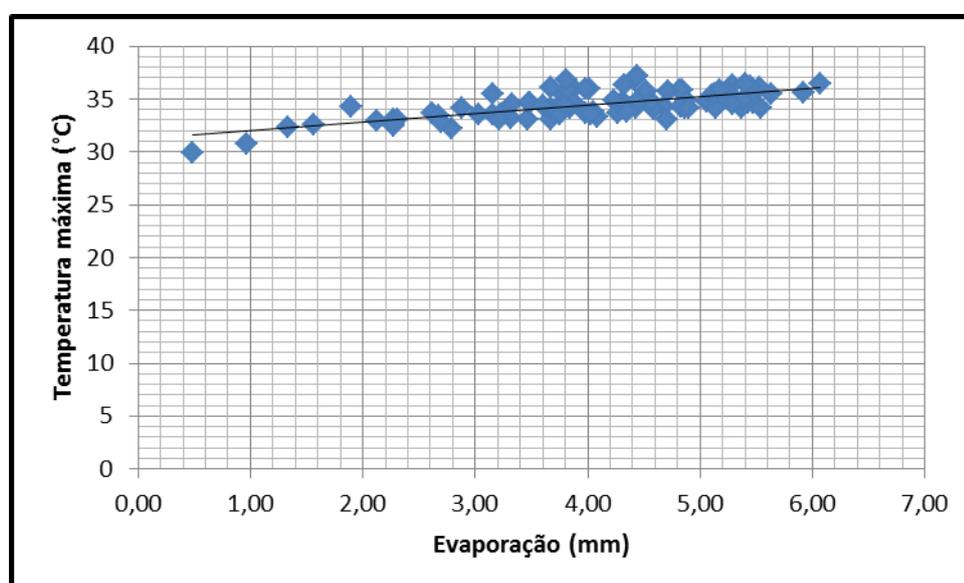
Radiação X	Junho	Julho	Agosto
Temperatura Mínima			
$R^2$	0,1158	0,0012	0,0029

Fonte: dados da pesquisa.

Observa-se no gráfico 22 que a distribuição mensal por dispersão  $R^2$  também apresentou baixa correlação entre as variáveis. Reafirmando a representação da série. Observa-se que, assim como ocorreu com a temperatura média, a temperatura mínima obedece a uma mudança ainda mais acentuada da reta na correlação. À medida que se aproxima do período seco o valor se torna ainda mais distante da correlação entre as variáveis.

Quanto à distribuição da temperatura máxima sobre o lago observou-se uma influência significativa para o valor de evaporação. Para esta, apresentou-se uma correlação de 0,68066, ou seja, as variáveis estão positivamente correlacionadas (nível moderado ( $r$ )). Portanto, à medida que o valor de temperatura máxima aumenta o valor de evaporação também tende a aumentar, isso pode ser observado na prancha de gráficos de temperatura máxima e evaporação. No gráfico 23 observa-se a distribuição por dispersão entre as variáveis:

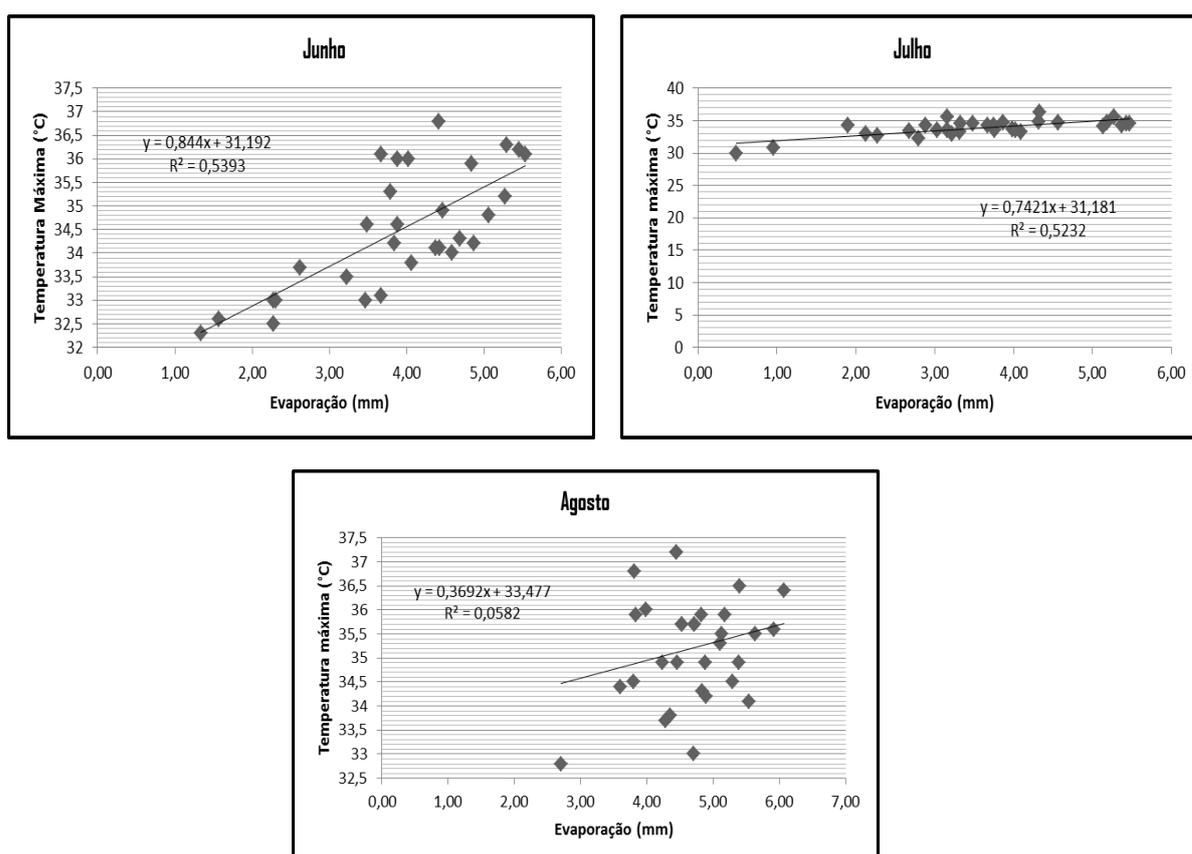
Gráfico 23 - Correlação/dispersão entre temperatura máxima e evaporação (Trimestre)



Fonte: dados da pesquisa.

Assim como ocorreu com a correlação entre radiação solar e evaporação, a correlação entre temperatura máxima e evaporação também apresentou uma dependência entre os valores significativa. No gráfico 21 os valores representados apresentam baixa dispersão, isso está associado a correlação direta entre as variáveis, demonstrando que o valor de evaporação estimado para o açude Castanhão é influenciado pelos valores de temperatura máxima para a região. Veja a correlação  $R^2$  mensal para as variáveis:

Gráfico 24 - Correlações mensais de  $R^2$  entre evaporação e temperatura máxima



Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 10 - Correlação mensal entre Radiação Solar e Temperatura Máxima

Radiação X	Junho	Julho	Agosto
Temperatura Máxima			
$R^2$	0,5393	0,5232	0,0582

Fonte: dados da pesquisa.

A partir dos gráficos mensais observa-se que a representação da evaporação em função da temperatura máxima adota uma dinâmica interessante a

comprar com a série da coleta. Pois, diante da observação do mês de agosto o valor de temperatura máxima apresentou baixa correlação por  $R^2$ . Porém, não é possível afirmar que não há uma dependência entre as variáveis, pois está claro que o valor de evaporação estimado é influenciado pelo valor de temperatura do ar. Isso pode está associado ao que Ward (2000) afirma sobre a influência, também, da temperatura da água sobre o valor de evaporação “quando a temperatura da água é maior que a temperatura do ar a instabilidade da cama limite aumenta e os fluxos turbulentos gerados contribuem significativamente para o aumento da evaporação (p. 17)”. Como, para essa pesquisa não foi possível coletar valores de temperatura da água, não se pode afirmar que ocorreu esse processo. A média de temperatura máxima para o mês de junho foi de  $34,47^{\circ}\text{C}$ , de julho foi de  $33,83^{\circ}\text{C}$  e de agosto foi de  $35,2^{\circ}\text{C}$ .

Existe uma correlação direta e positiva entre as variáveis, ambas consideradas um correlação linear a reta resultante da série coletada. Isso pode ser observado, por exemplo, nos valores mais elevados de evaporação nos dias 01, 07, 11, 13, 22 de junho; 09, 10, 25, 26, 30 de julho e; 02, 10, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 25 de julho de 2015; apresentando uma média de  $36^{\circ}\text{C}$  de temperatura máxima e  $5,0$  mm/dia de evaporação, aproximadamente.

Observando a correlação da evaporação em função da temperatura média do ar percebe-se que ocorreu o mesmo com a correlação de evaporação em função da temperatura máxima.

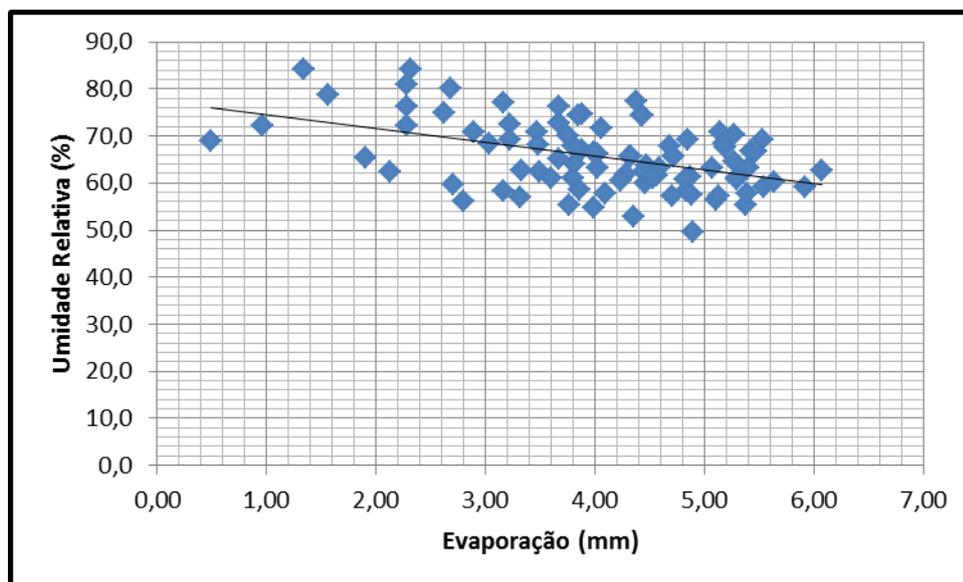
Vale ressaltar que um lago exposto as características de semiaridez é um ambiente de troca de água com a atmosfera considerado adicional, o processo de evaporação que ali ocorre apresentam características que envolvem desde os fatores de influência direta (radiação solar, temperatura do ar, ventos, umidade relativa do ar, etc) como indireta (tensão de vapor de água, psicometria, etc).

#### **6.2.4 Umidade Relativa do Ar**

Em primeiro lugar, cabe ressaltar os valores médios mensais para umidade relativa do ar. O mês de junho, como de acordo com o período de bastante umidade para o Estado do Ceará, apresentou os maiores valores da série, com média  $70,7\%$ . Já os meses de julho e agosto apresentaram médias de  $65,6\%$  e  $60,7\%$ , respectivamente.

A correlação de Pearson ( $r$ ) da evaporação em função da umidade relativa do ar foi de  $-0,46538$ , ou seja, as variáveis estão negativamente correlacionadas em nível moderado. Isso pode ser observado no gráfico abaixo, onde a reta apresenta uma correlação inversamente proporcional e baixa dispersão entre a dependência das variáveis.

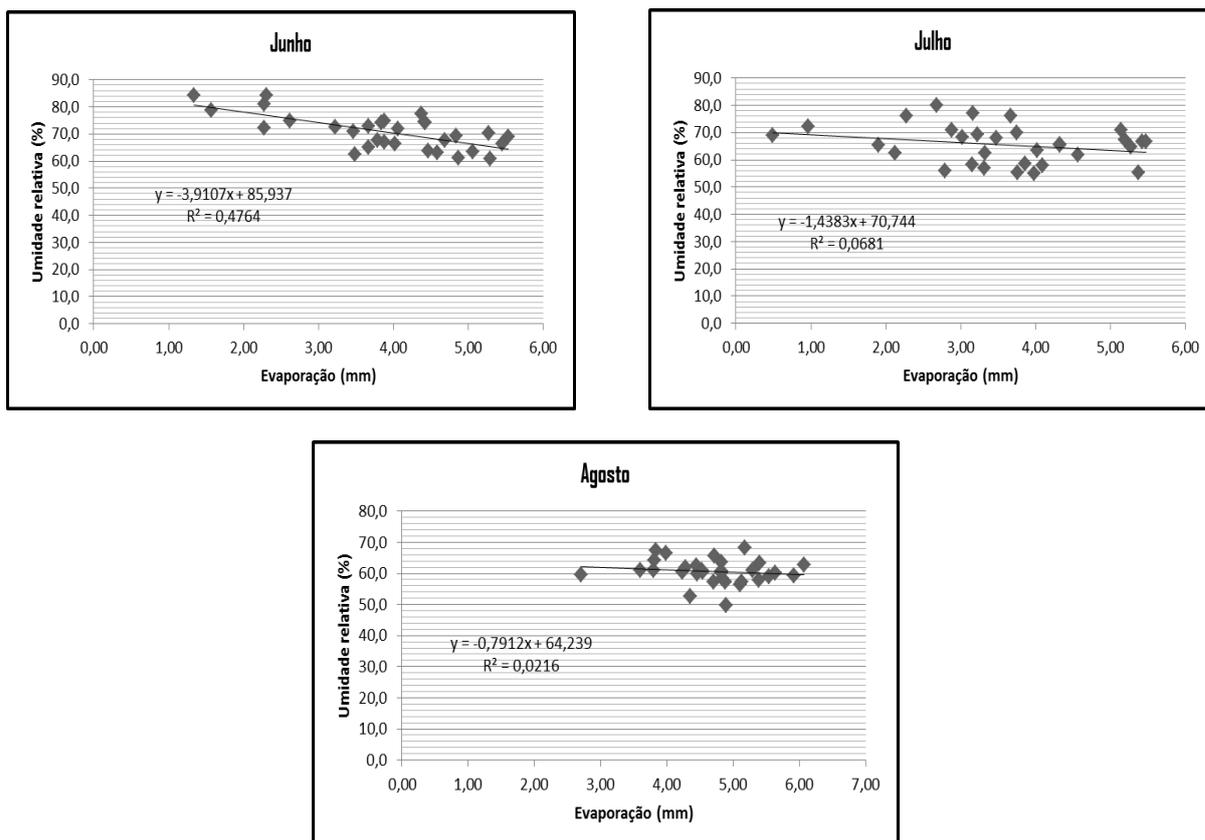
Gráfico 25 - Correlação/dispersão entre umidade relativa do ar e evaporação (Trimestre)



Fonte: dados da pesquisa.

Com o aumento da temperatura do ar, torna-se ainda maior a quantidade de vapor d'água presente no mesmo volume de ar. Ou seja, aumentando a temperatura do ar, aumenta a tensão de saturação de vapor à superfície e diminui a umidade relativa do ar, como efeito indireto (VAREJÃO e SILVA, 2006).

Portanto, quanto à condição de ocorrer o processo de evaporação, o número de moléculas que se escapam do líquido depende da sua tensão de vapor, enquanto que o número de moléculas que retorna o líquido depende da tensão de vapor do ar ambiente. Por isso, quanto maior for o déficit de saturação, maior o número de moléculas serão liberadas e conseqüentemente, maiores será a intensidade da evaporação. Vale ressaltar que quanto mais seco for o ar maior será sua capacidade de absorver a água, que é característica da região onde está localizado o açude Castanhão.

Gráfico 26 - Correlações mensais de R<sup>2</sup> entre evaporação e umidade relativa do ar

Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 11 - Correlação mensal entre Radiação Solar e Umidade Relativa do Ar

Radiação X Umidade relativa do ar	Junho	Julho	Agosto
R <sup>2</sup>	0,4764	0,0681	0,0021

Fonte: dados da pesquisa.

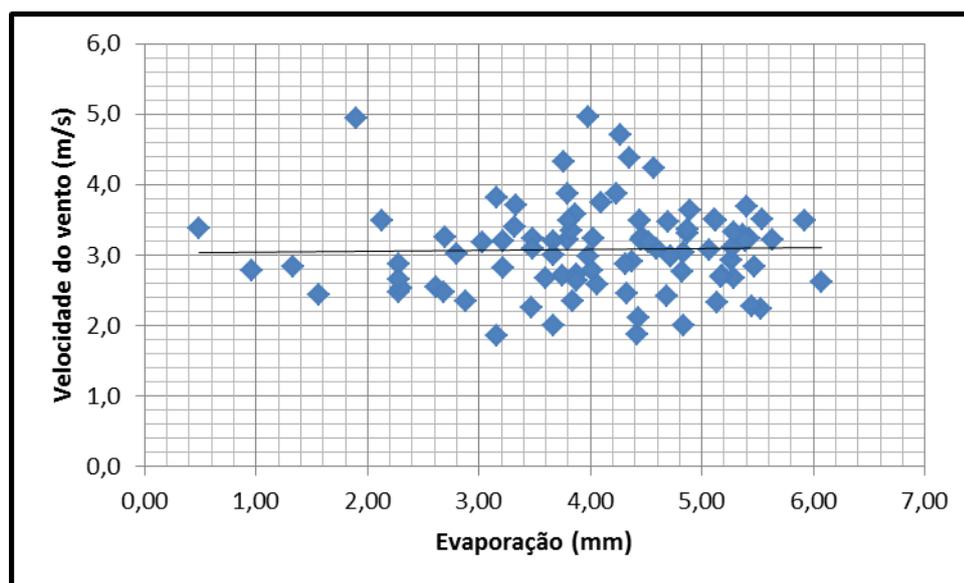
Observa-se nos gráficos 26 que à medida que se aproxima do período seco da região a correlação da evaporação em função da umidade relativa do ar tende a diminuir. Existe uma correlação direta no mês de junho, pois os maiores registros de umidade relativa do ar neste mês foram os dias que menos se perde água por evaporação; observa-se nos dias 3, 4, 8 e 25 de junho os maiores valores de U.R.: 80,9%, 84,2%, 78,7 e 84,2%, em contrapartida nesses dias foram estimados os menores valores de evaporação para o Castanhão com 2,27, 2,31, 1,56 e 1,34 mm/dia. Já nos meses de julho e agosto não foi observado essa correlação direta. Esses fatos associados às altas taxas de radiação solar e

temperatura do ar contribuem para o um ambiente com ar seco e, portanto, o aumento considerável do valor de evaporação.

### 6.2.5 Vento

Quanto à correlação entre a evaporação em função da velocidade dos ventos apresentou valor de  $r = 0,026984$ . Ou seja, as variáveis são estatisticamente independentes.

Gráfico 27 - Correlação/dispersão entre velocidade do vento e evaporação (Trimestre)

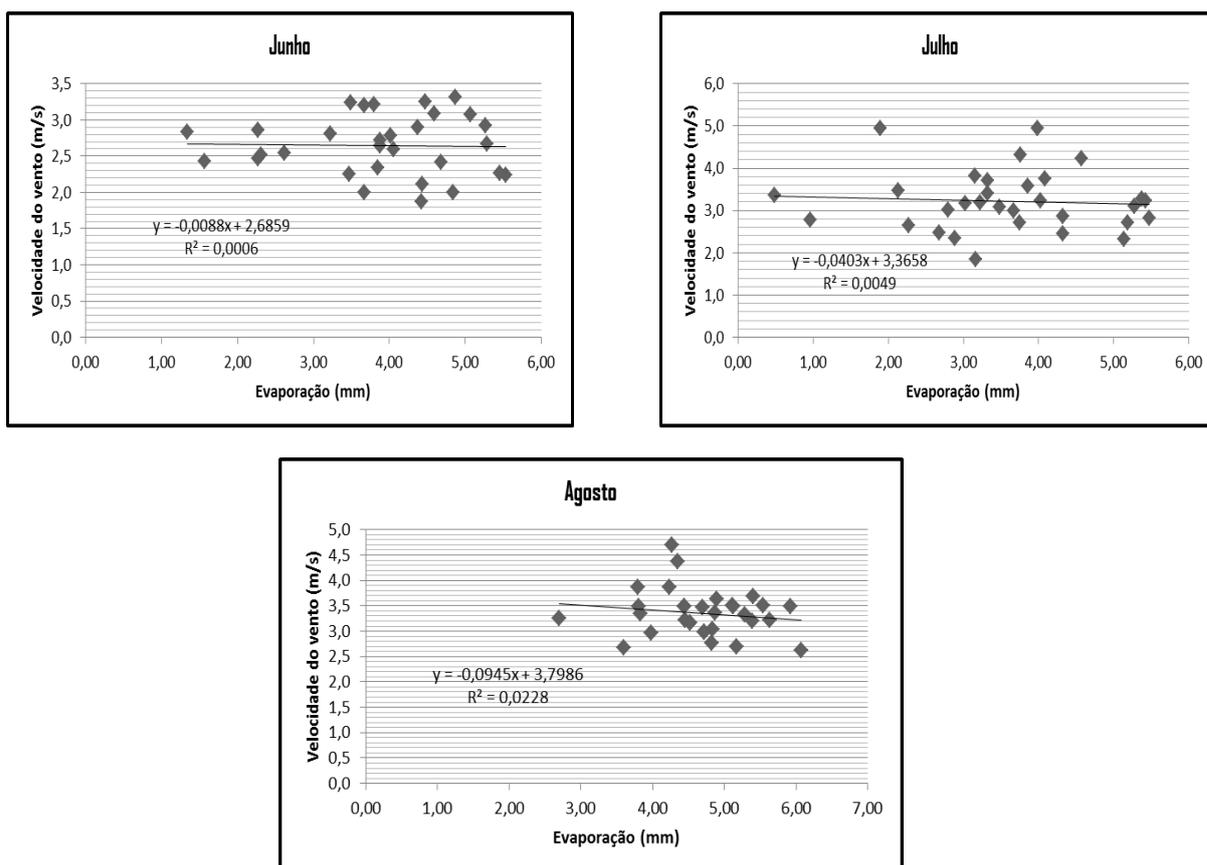


Fonte: dados da pesquisa.

No gráfico 27 os valores estão dispersos a modo de não apresentar uma correlação direta entre as variáveis. Por mais que, na literatura, a velocidade do vento é o terceiro fator que mais influencia nos valores de evaporação de lagos no semiárido. Vale ressaltar que, nessa pesquisa não foi possível verificar o período de maior de intensidade de ventos para a região (Agosto – Outubro), portanto não se descarta a possibilidade de haver uma influência ainda maior dos valores de velocidade dos ventos no processo de evaporação do Castanhão, isso pode ser observado uma correlação na reta a partir dos valores acima de 5 m/s.

Ocorre também o fator de dimensão do lago e também do local onde está instalada a estação climática, de acordo com Rodrigues (2009) a evaporação tendencialmente diminui para o interior da área na direção dos ventos dominantes até um limite onde o balanço superficial de energia passa a ser predominante.

Gráfico 28 - Correlações mensais de  $R^2$  entre evaporação e velocidade do vento



Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 12 - Correlação mensal entre Radiação Solar e Velocidade do Vento

Radiação X	Junho	Julho	Agosto
Velocidade do vento			
$R^2$	0,0006	0,0049	0,0228

Fonte: dados da pesquisa.

Observa-se nos valores de  $R^2$ , onde a tendência é que essa correlação se torne mais consistente à medida que se aproxima do período seco. Isso pode estar associado ao período dos ventos para região, pois, ao observar o gráfico de velocidade dos ventos da série na prancha 1 veja que a velocidade dos ventos tende a ser mais intensa.

### Aplicação do modelo de regressão para evaporação medida sobre o lago

Para explicar a evaporação medida no açude Castanhão, realizou-se, também, a correlação por modelo de regressão. Inicialmente, selecionou-se as variáveis explicativas correlacionadas e dependentes e das variáveis que sobraram

eliminou-se ainda aquelas com menor correlação com a evaporação, e por fim permaneceu com o modelo a seguir:

**Evaporação ~ Temperatura Máxima (°C) + Umidade Relativa Externa + Declinação solar + Inversa Distância Relativa Terra Sol + Pressão atmosférica (Kpa) + Radiação Solar (MJ/m<sup>2</sup>)**

Em posse dessa combinação de variáveis, foi possível estimar os coeficientes do modelo de regressão para a evaporação medida em água. Na Tabela 17 são apresentadas as estimativas dos coeficientes associados às variáveis explicativas, juntamente com seu erro padrão, e o valor da estatística do teste de hipóteses de Wald, usado para testar a significância de cada coeficiente para o modelo de regressão, além do valor p associado ao teste.

Tabela 13 - Ajuste do modelo de regressão para evaporação na água.

Variáveis	Estimativa	Erro Padrão	Valor t	Valor p
(Intercept)	5.4167	5.8020	0.9336	0.3532
Temperatura Máxima (°C)	0.0475	0.0035	13.6320	<0,0001
Umidade Relativa Externa (%)	0.0219	0.0007	32.4671	<0,0001
Declinação Solar	-0.0567	0.2195	-0.2585	0.7967
Inversa Distância Relativa Terra Sol	-4.9445	3.8524	-1.2835	0.2028
Pressão atmosférica (Kpa)	-0.5312	0.3356	-1.5828	0.1172
Radiação Solar (MJ/m <sup>2</sup> )	0.3735	0.0014	263.9203	<0,0001

Fonte: dados da pesquisa.

Percebe-se, através da Tabela 13, as variáveis que apresentaram significantes na modelagem da evaporação, ao nível de 5% de significância, a saber Temperatura Máxima (°C), Umidade Relativa Externa e Radiação Solar (MJ/m<sup>2</sup>).

Sabendo que o modelo ajustado é escrito da seguinte forma:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_7 X_{7i}$$

Onde  $Y$  é a evaporação,  $\beta$  os coeficientes e  $X$  as variáveis adicionadas no modelo.

Procurou-se saber a influência de cada variável na evaporação, pode-se então adicionar uma constante  $c$  ao valor de uma variável e manter as demais variáveis fixas, por exemplo, se quisermos saber a influência da variável  $X_1$ :

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1(X_{1i} + c) + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_7 X_{7i}$$

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 c + \beta_3 X_{2i} + \dots + \beta_7 X_{7i}$$

Portanto a diferença será a multiplicação da constante  $c$  e a estimativa de  $\beta$ , isto é, no nosso exemplo: com a variação de  $c$  unidades na variável  $X_1$ ,  $Y_i$  tem uma variação de  $\beta_1 * c$  unidades.

Portanto, realizou-se a interpretação da influência das variáveis do modelo de regressão sobre a evaporação no açude Castanhão, A seguir segue a interpretação de cada variável significativa:

#### **Temperatura Máxima (°C):**

Considerando uma variação de 10 graus Celsius:

Com o acréscimo de 10 °C na Temperatura máxima obtida dentro do intervalo de 30 minutos, a evaporação aumenta em  $10 * 0,0475 = 0,475$  unidades.

#### **Umidade Relativa Externa (%):**

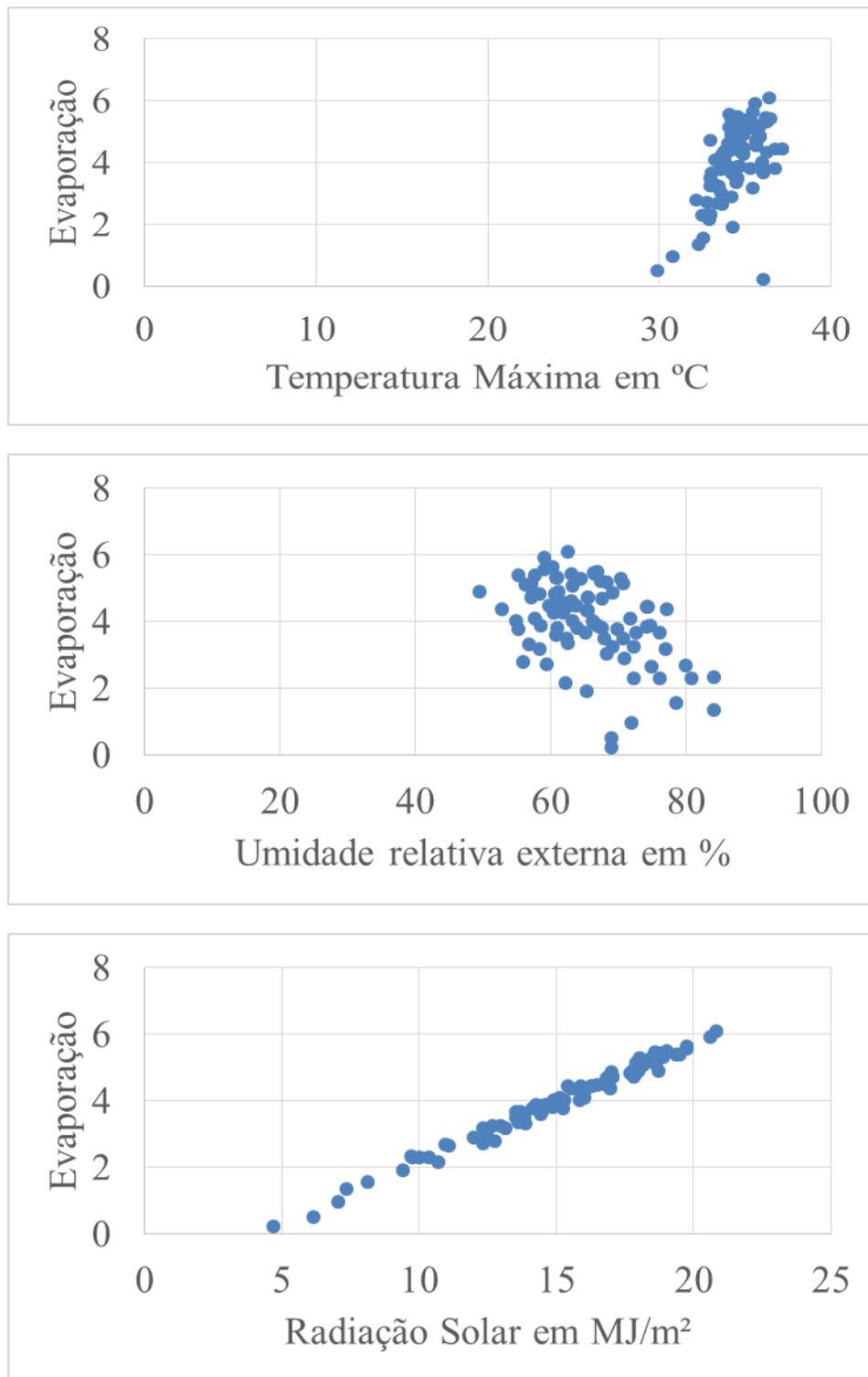
Para esse coeficiente é interessante ressaltar que o modelo de regressão é usado principalmente para estimar a evaporação, com base no conjunto de variáveis, devido esse fato muitas vezes pode ocorrer de o sinal do coeficiente de regressão ser diferente da correlação direta com a variável resposta, pois o modelo de regressão considera o conjunto múltiplo das variáveis. Portanto, aqui dizemos que com o acréscimo de 1% na Umidade Relativa Externa, a evaporação varia em 0,022 unidades.

#### **Radiação Solar (MJ/m²):**

Com o acréscimo de 1 MJ/m² de Radiação Solar, a evaporação aumenta em aproximadamente 0,37.

No Gráfico 29 é apresentado os gráficos de dispersão entre a evaporação e as variáveis significantes.

Gráfico 29 - Dispersão entre a evaporação e as variáveis significantes do modelo de regressão para a evaporação em água.

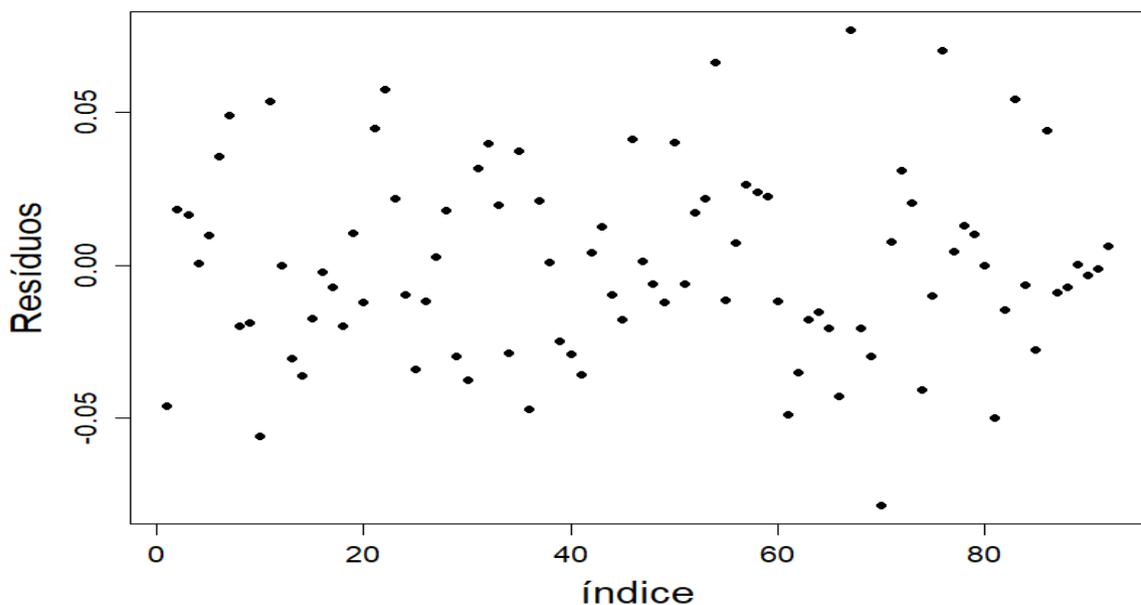


Fonte: dados da pesquisa.

Por fim, avaliou-se a qualidade do modelo ajustado através da análise de diagnósticos, pois através da análise dos resíduos e pontos *outliers* foi possível verificar se o modelo de regressão ajustado é válido.

No Gráfico 30 encontram-se os resíduos do modelo, é de se esperar que os resíduos estejam no intervalo entre -2 e 2, e percebe-se que todos os resíduos estão dentro desse intervalo. Nota-se também que os resíduos parecem constantes, isto é, variando em torno de 0, o que indica que os resíduos têm média 0 e variância constante, validando então duas das pressuposições para o uso do modelo.

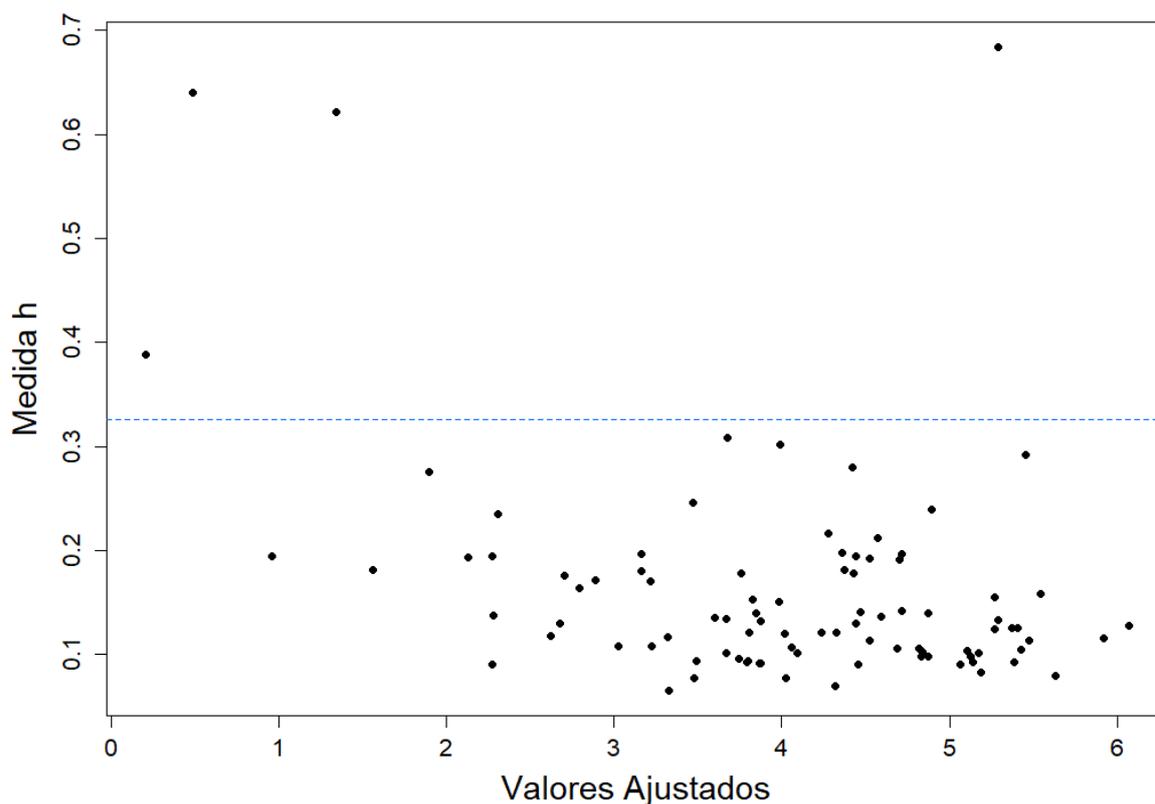
Gráfico 30 - Resíduos do modelo normal ajustado para evaporação na água.



Fonte: dados da pesquisa.

Pontos de alavanca são chamados dessa forma porque exercem um grande peso no próprio valor ajustado, ou seja, no valor dos parâmetros estimados, Estes pontos exercem um papel fundamental no ajuste final dos parâmetros de um modelo estatístico. No Gráfico 31 temos a medida  $h$ , que é o peso da observação, e os valores ajustados, observa-se que poucos pontos estão fora do intervalo aceitável, apenas 4 observações, em que esse intervalo é delimitado pela linha azul pontilhada mostrada no gráfico.

Gráfico 31 - Pontos de Alavanca do modelo ajustado, para evaporação na água.

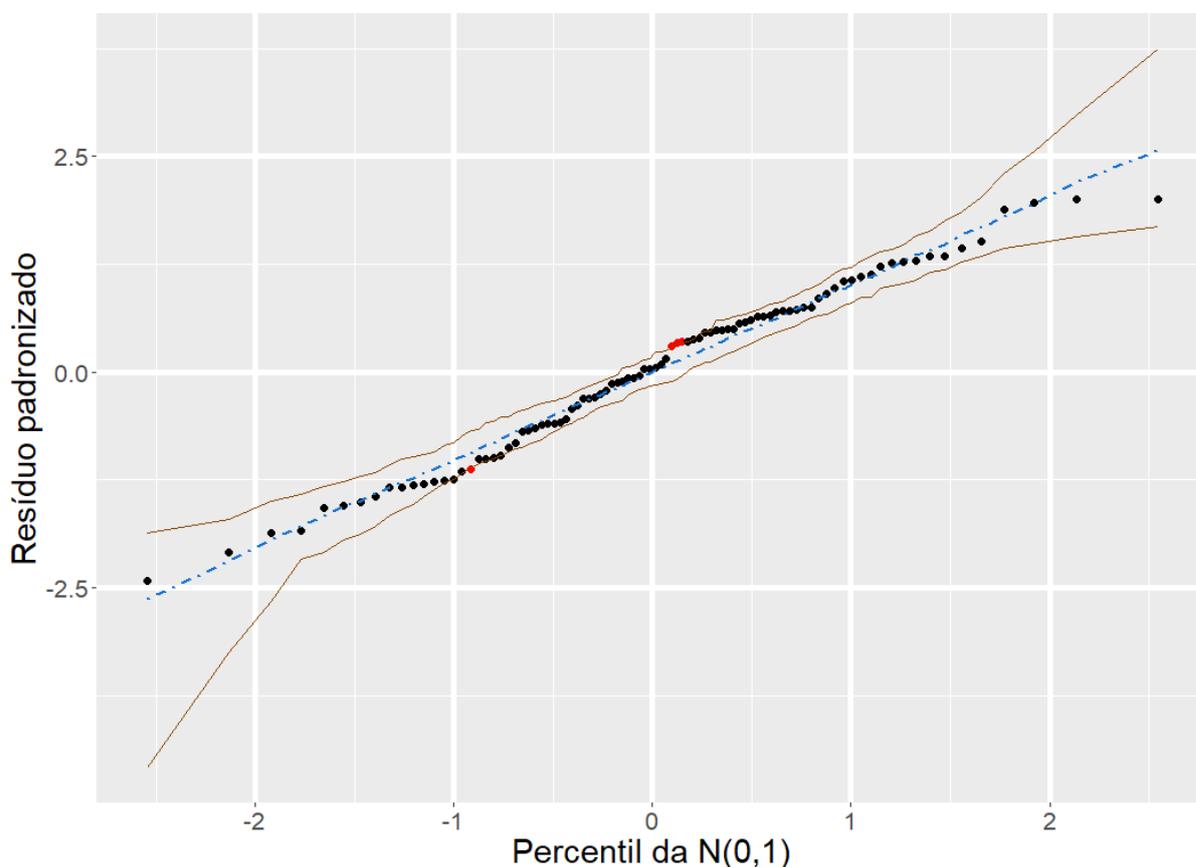


Fonte: dados da pesquisa.

Optou-se por investigar também se a distribuição pressuposta para o modelo é adequada, uma forma de verificar isso é através do gráfico de envelope simulado, este gráfico trata-se do cruzamento dos resíduos e os quantis da distribuição normal, em que as linhas pontilhadas são as bandas de 95% de confiança para os valores assumidos, as quais são encontradas através de 1000 simulações realizadas para a amostra, e os pontos em cor vermelha são aqueles que estão fora das bandas de confiança. Para que o modelo seja considerado adequado, espera-se que a maior parte das observações esteja entre essas bandas de confiança.

Analisando o Gráfico 32, observa-se que a distribuição assumida é adequada, e é válida então a aplicação do modelo de regressão aqui proposto.

Gráfico 32 - Envelope simulado para testar a distribuição normal pressuposta no modelo, para evaporação na água.



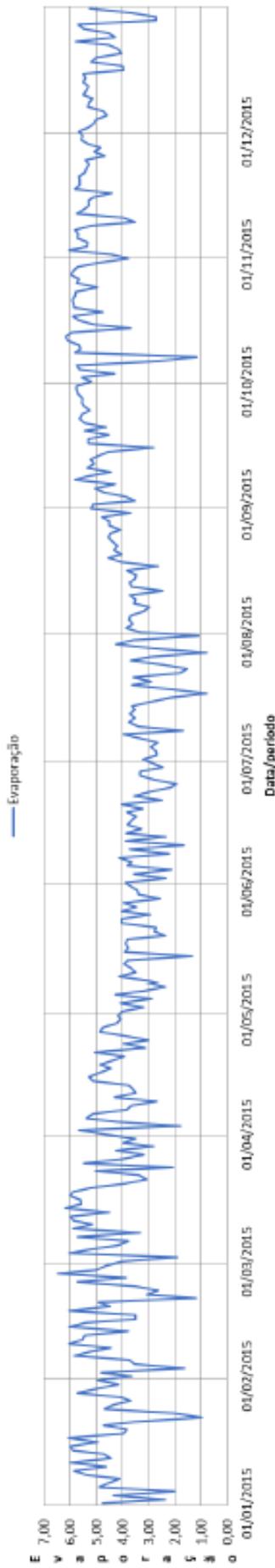
Fonte: dados da pesquisa.

Realizando também o teste de *Shapiro Wilk* para testar normalidade, encontrou-se valor  $p$  menor que 0,001, logo ao nível de 5% de significância podemos dizer que os resíduos seguem distribuição normal.

### 6.3 Estimativa de evaporação medida sobre o ambiente terrestre (PCD – Jaguaribe)

Quanto aos dados sobre o ambiente terrestre, obteve-se a coleta do ano de 2015. Na prancha 2 observa-se os valores de Radiação Solar, Temperaturas Máxima, Média e Mínima, Umidade Relativa do Ar e Velocidade dos Ventos; Já na prancha 3 é possível verificar o comportamento da evaporação medida em terra e o balanço hidroclimático para o ano de 2015; .

### Evaporação medida em terra (PCD Jaguaribe)



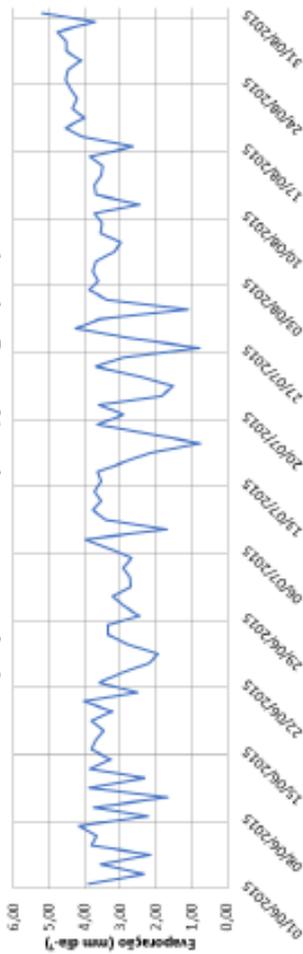
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

ACÚDAGEM NO NORDESTE BRASILEIRO E NO CEARÁ:  
ESTIMATIVA DE EVAPORAÇÃO DO AÇUDE CASTANHÃO EM UM ANO SECO

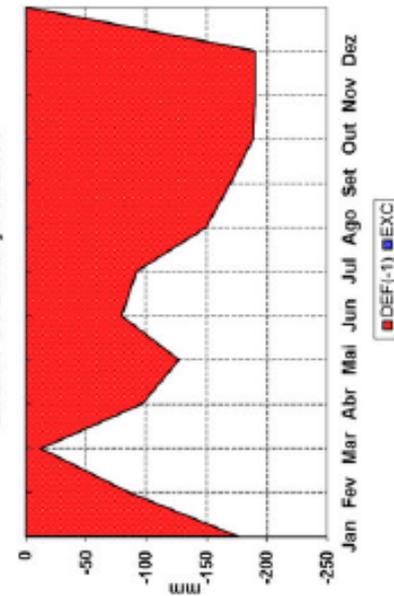
Autor: Sulyvan Pereira Dantas  
Orientadora: Prof.ª Dr.ª Marta Celina Linhares Sales

PRANCHA 3: DADOS DE EVAPORAÇÃO DE  
TERRA E DE BALANÇO HÍDRICO PARA O ANO DE 2015

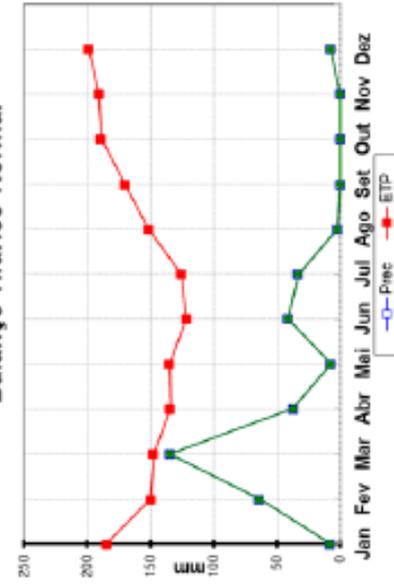
Evaporação medida em terra (junho, julho e agosto/2015)



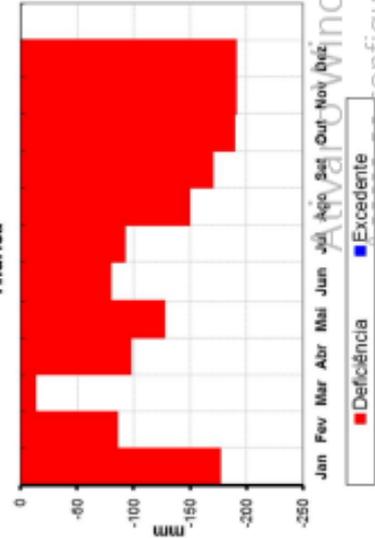
Extrato do Balanço Hídrico



Balanço Hídrico Normal



Deficiência, Excedente, Retirada e Reposição Hídrica



O ano de 2015, considerado um ano seco, com pluviometria anual de 359,5 mm (INMET, 2017), destes, 260 mm ou 72% concentrados no período da quadra chuvosa do Estado. Além de ser um ano representativo de seca para o Ceará, visto que existiu uma sucessão de anos de seca, desde 2012, que agravou ainda mais as consequências para o armazenamento de água nos reservatórios locais.

Percebe-se na prancha 3 que durante o período da pré e quadra chuvosa (janeiro a maio – verão/outono) houve oscilação nos valores estimados de evaporação medida em terra, sendo esta uma característica da presença de umidade na atmosfera, intensidade de radiação difusa e, portanto acentuada oscilação de evaporação. A média de evaporação deste período foi de 4,20 mm dia<sup>-1</sup>, já o mês de fevereiro foi o que apresentou o maior valor registrado, no dia 26/02/2015 com 6,47 mm dia<sup>-1</sup>.

Vale ressaltar que, embora exista um comportamento climático diferenciado para a quadra chuvosa no Ceará (como a atuação de sistemas atmosféricos, maior concentração e intensidade de chuvas, acentuada umidade relativa do ar, menores temperaturas – observa-se na prancha 2) este ano de 2015 não apresentou um período de chuvas com características de uma quadra chuvosa do Estado, tendo um comportamento muito similar com o período de estiagem. Isso carece associar as reais deficiências de água, como observado no gráfico de balanço hídrico do ano de 2015, aos valores de perdas observadas no gráfico de evaporação.

Quanto ao comportamento da evaporação na estação pós-chuvosa, se aproximando do inverno no Hemisfério Sul, observa-se que os valores apresentaram-se mais atenuados, com média de 2,99 mm dia<sup>-1</sup>, podendo assim está associado à diminuição das temperaturas, principalmente das máximas, além da diminuição da intensidade da radiação solar e ainda presença de umidade relativa do ar elevada neste período. como observado na prancha 2.

Vale ressaltar que os menores valores de evaporação foram registrados no mês de julho, nos dias 17 e 27, com 0,77 mm dia<sup>-1</sup> em ambos. Isso pode está associado a diminuição da intensidade de radiação solar e da temperatura máxima,

em ambos os casos, observa-se os gráficos de radiação e de temperaturas na prancha 2.

Quanto ao período de estiagem, os valores de evaporação apresentaram uma oscilação menor a comparar com as estações chuvosa e pós-chuvosa. Percebe-se no gráfico de evaporação anual que neste período a evaporação se mantém entre o intervalo de 5-6 mm dia<sup>-1</sup>, perfazendo uma média para o período de 4,85 mm dia<sup>-1</sup>. Sendo, portanto comprovado, que o valor de evaporação em terra para o período de estiagem é mais intenso, isso pode está associado à alta intensidade de radiação solar, altas temperaturas, baixa umidade relativa do ar, baixa concentração de vapor d'água na atmosfera a comparar com o primeiro semestre do ano.

#### **Aplicação do modelo de regressão para evaporação medida sobre a terra**

Assim como no modelo de regressão ajustado para modelar a evaporação medida na água, ajustou-se um modelo de regressão normal para modelar os níveis de evaporação medidos na terra.

Primeiro inseriu-se todas as variáveis em estudo no modelo, a fim de explicar os valores de evaporação, e retirou-se todas as variáveis explicativas dependentes e muito correlacionadas, que possam causar multicolinearidade, após isto selecionou-se apenas as variáveis com correlação maior que 0,1 com a evaporação medida em terra.

Depois de aplicado o método descrito acima, constatou-se que as variáveis explicativas aceitas no nosso modelo são: Temperatura mínima (°C), Temperatura Máxima (°C), Radiação Solar (KJ/m<sup>2</sup>), Umidade Relativa Externa, Declinação Solar, Inversa Distância Relativa Terra Sol e Conversão da Pressão (Kpa).

Portanto, o modelo ajustado agora será:

**Evaporação ~ Temperatura Mínima (°C) + Temperatura Máxima (°C) + Radiação Solar (KJ/m<sup>2</sup>) + Umidade Relativa Externa + Declinação Solar + Inversa Distância Relativa Terra Sol + Pressão (Kpa)**

Na Tabela 18 são apresentadas as estimativas dos coeficientes associados às variáveis explicativas, juntamente com seu erro padrão, e o valor da

estatística do teste de *Wald*, usado para testar a significância de cada coeficiente, além do valor p associado,

Tabela 14 - Ajuste do modelo de regressão para evaporação em terra, com as variáveis.

Variáveis	Estimativa	Erro Padrão	Valor t	Valor p
(Intercept)	5.3979	5.3879	1.0018	0.3193
Temperatura Mínima (°C )	0.0197	0.0041	4.7831	<0,0001
Temperatura Máxima (°C )	0.0101	0.0041	2.4548	0.0162
Umidade Relativa Externa	0.0237	0.0006	36.5713	<0,0001
Declinação Solar	0.0679	0.1957	0.3469	0.7295
Inversa Distância Relativa Terra Sol	-1.5742	3.5810	-0.4396	0.6614
Pressão (Kpa)	-0.8182	0.3259	-2.5105	0.0140
Radiação Solar (MJ/m <sup>2</sup> )	0.3075	0.0018	169.2402	<0,0001

Fonte: dados da pesquisa.

Percebe-se na tabela 14 as variáveis que se apresentaram significantes na modelagem da evaporação, ao nível de 5% de significância, são elas: Temperatura mínima e temperatura máxima (°C), Umidade relativa externa em %, Pressão (Kpa) e Radiação solar em MJ/m<sup>2</sup>.

De maneira semelhante ao caso do estudo sobre a evaporação na água, realizou-se a interpretação do impacto das variáveis do modelo de regressão sobre a evaporação medida em terra. A seguir segue a interpretação de cada variável significativa:

#### **Temperatura Máxima (°C):**

Com o acréscimo de 10 °C na temperatura máxima obtida dentro do intervalo de 60 minutos medido em terra, a evaporação aumenta em  $10 \times 0,0101 = 0,101$  unidades.

#### **Temperatura Mínima (°C):**

Com o acréscimo de 10 °C na temperatura mínima medida em terra, a evaporação aumenta em aproximadamente 0,197 unidades.

#### **Umidade Relativa Externa:**

Como no caso da evaporação medida sobre a água, a interpretação do coeficiente da variável umidade também é feita da mesma maneira, com a variação

de 1% na Umidade Relativa Externa a evaporação varia em aproximadamente 0,02 unidades.

#### **Pressão (Kpa):**

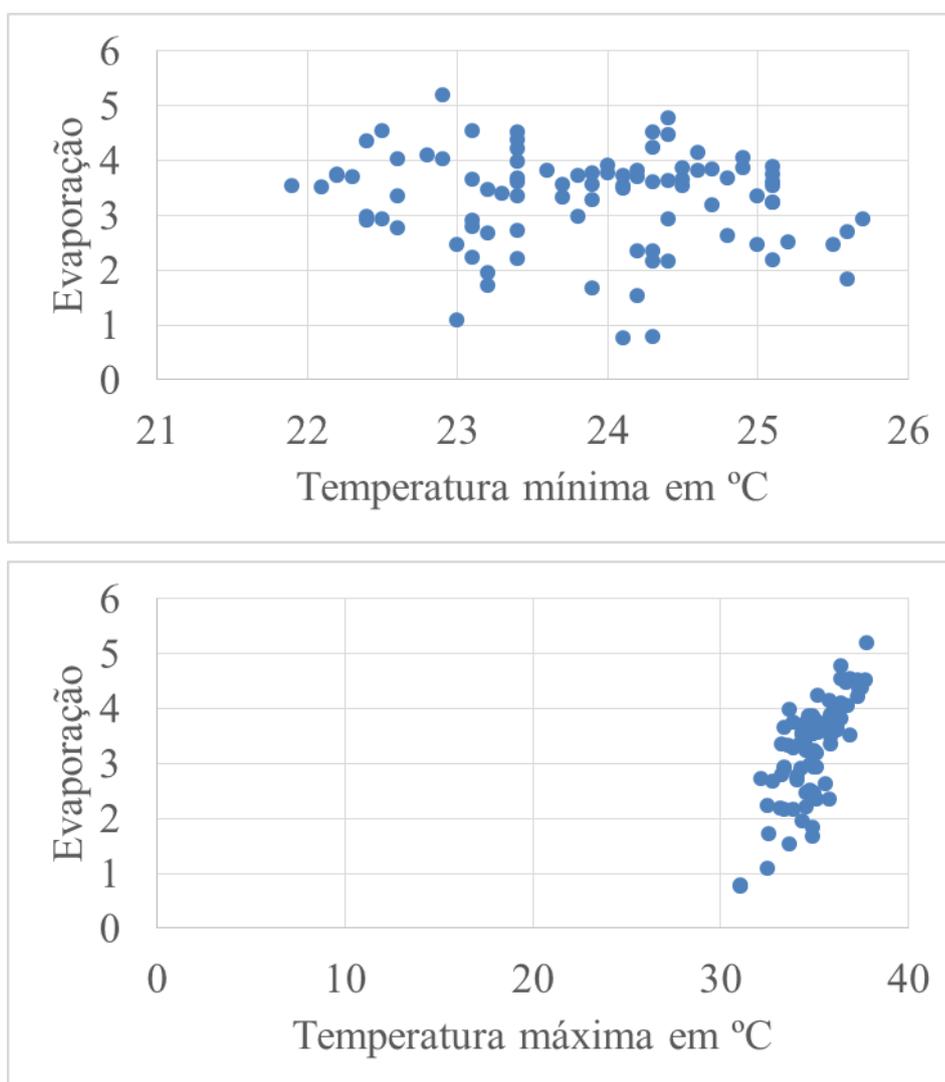
Com o acréscimo de 1 Kpa na Pressão atmosférica a evaporação diminui em aproximadamente 0,82.

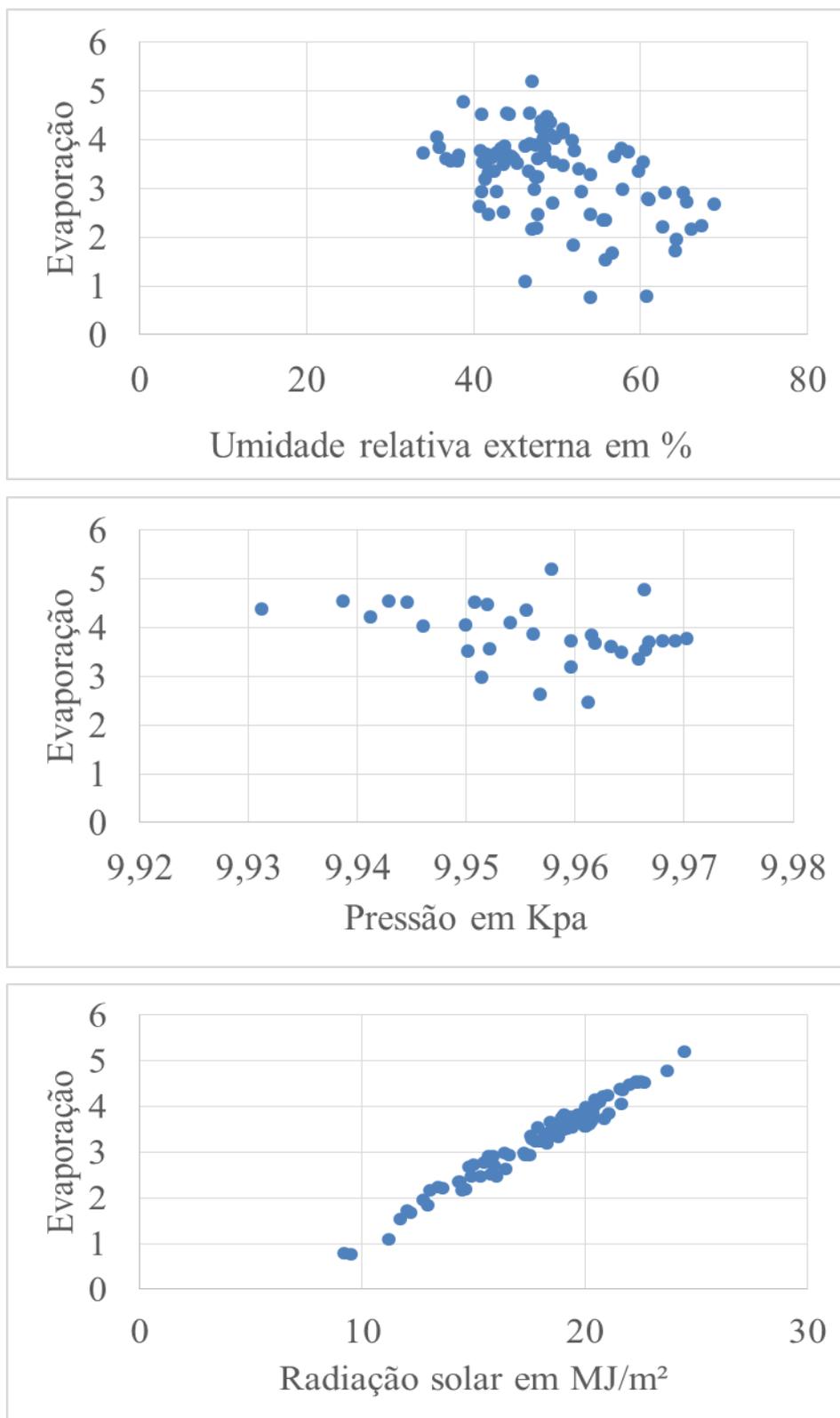
#### **Radiação Solar (MJ/m<sup>2</sup>):**

Com o acréscimo de 1 MJ/m<sup>2</sup> de Radiação Solar, a evaporação aumenta em aproximadamente 0,31.

No Gráfico 33 é apresentado os gráficos de dispersão entre a evaporação medida na terra e as variáveis significantes no modelo de regressão.

Gráfico 33 - Dispersão entre a evaporação e as variáveis significantes do modelo de regressão para a evaporação em terra.





Fonte: dados da pesquisa.

Foi possível comparar as variáveis que foram significantes no modelo de regressão para a evaporação medida na terra e a evaporação medida na água. Observe que a Radiação Solar ( $\text{MJ/m}^2$ ), umidade externa e a temperatura máxima

foram significativas em ambos os modelos de regressão, indicando que essas variáveis são fortes indicativos de evaporação.

O papel da radiação solar, apesar de ser significativa tanto na terra quanto em água, é maior na água, talvez devido a maior exposição aos raios solares devido à ausência de objetos que possam atrapalhar essa exposição, como acontece em solo. Também ocorre o mesmo para a Temperatura Máxima, seu maior impacto é na evaporação quando medida em água.

A Temperatura mínima ( $^{\circ}\text{C}$ ), e a Pressão em Kpa só foram significantes na regressão da terra.

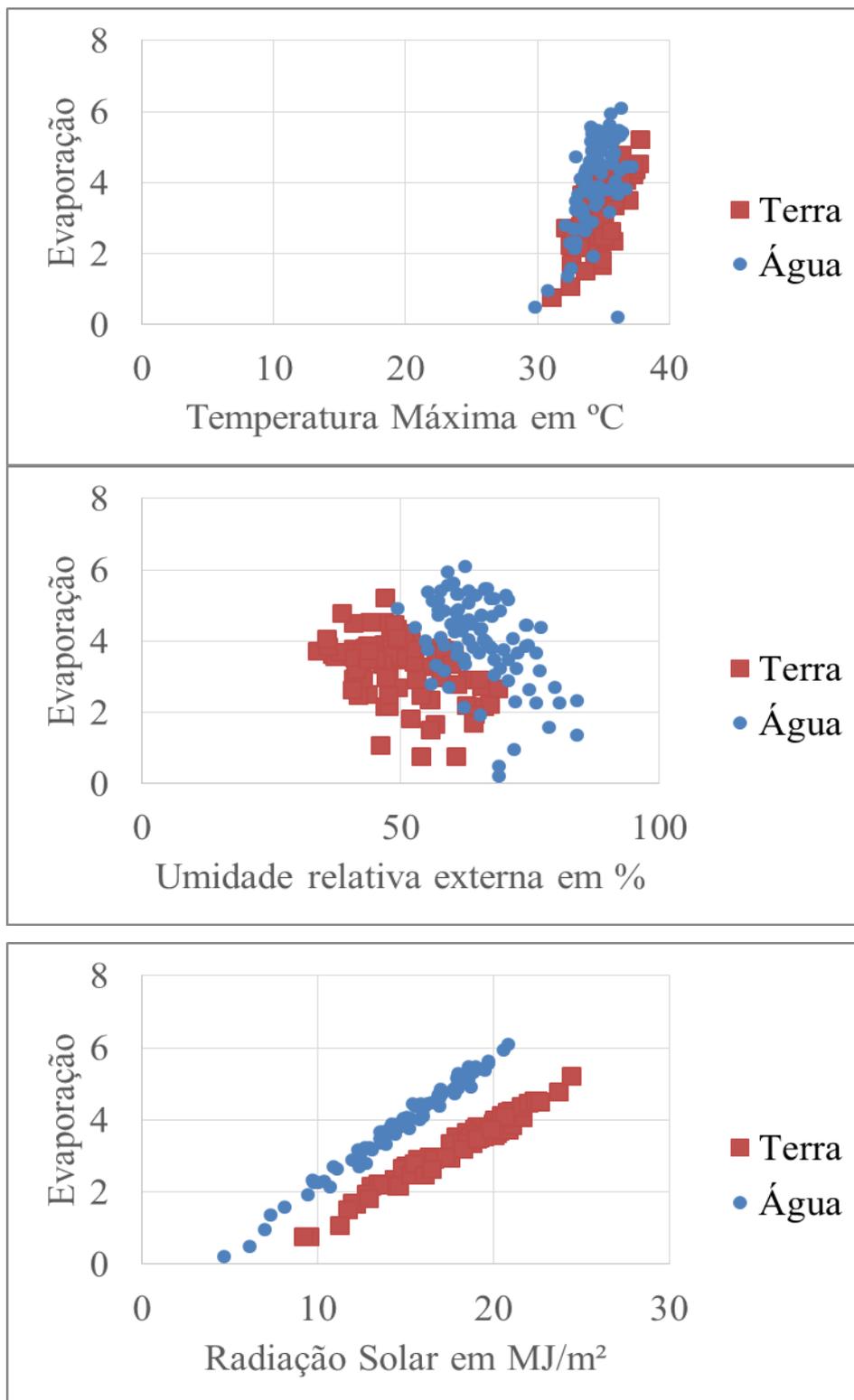
#### **6.4 Correlações entre as variáveis climáticas medidas em ambiente sobre o lago e em ambiente terrestre (DantaSales x Jaguaribe)**

Nesta etapa optou-se por comparar as variáveis que foram significantes no modelo de regressão para a evaporação medida na terra e a evaporação medida na água. Observe que a Radiação Solar ( $\text{MJ}/\text{m}^2$ ), a Temperatura Máxima ( $^{\circ}\text{C}$ ) e a Umidade Relativa Externa (%) foram as variáveis mais significativas em ambos os modelos de regressão, indicando que essas são fortes indicativos de evaporação para a região estudada.

A influência da radiação solar, apesar de ser significativa tanto na terra quanto em água, é maior na água, talvez devido a maior exposição aos raios solares devido à ausência de objetos que possam dificultar essa exposição, como acontece em solo. Também ocorre o mesmo para a Temperatura Máxima, seu maior impacto é na evaporação quando medida em água.

Observa-se graficamente algumas diferenças entre os cruzamentos dos dados no Gráfico 34.

Gráfico 34 - Comparação da dispersão entre os dados medidos em terra e em água

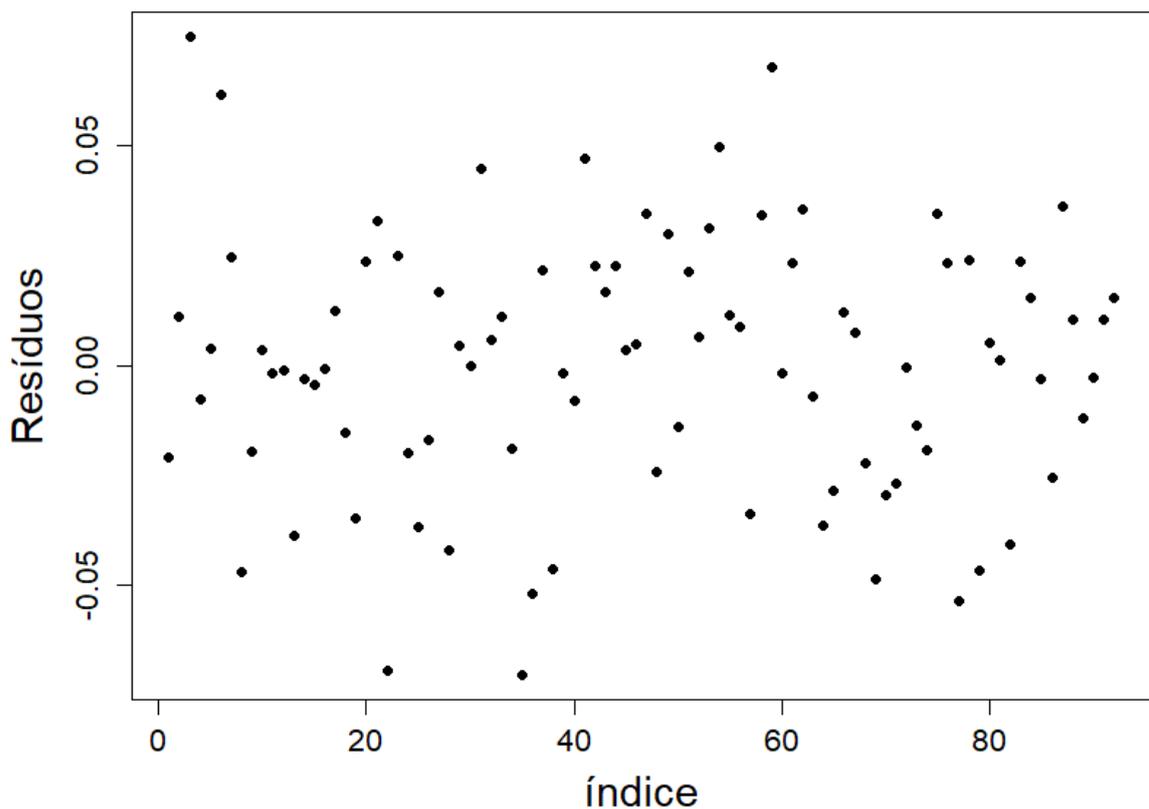


Fonte: dados da pesquisa.

Por fim, avaliou-se a qualidade do modelo ajustado através da análise de diagnósticos, como foi feito para os dados de evaporação na água.

No Gráfico 35 encontrou-se os resíduos do modelo, é de se esperar que os resíduos estejam no intervalo entre -2 e 2, e percebe-se que todos os resíduos se encontram dentro do intervalo esperado, logo o modelo parece bem ajustado. Nota-se também que os resíduos parecem constantes em torno de 0, o que indica que são resíduos com média 0 e variância constante, validando algumas das pressuposições para uso do modelo de regressão linear Normal.

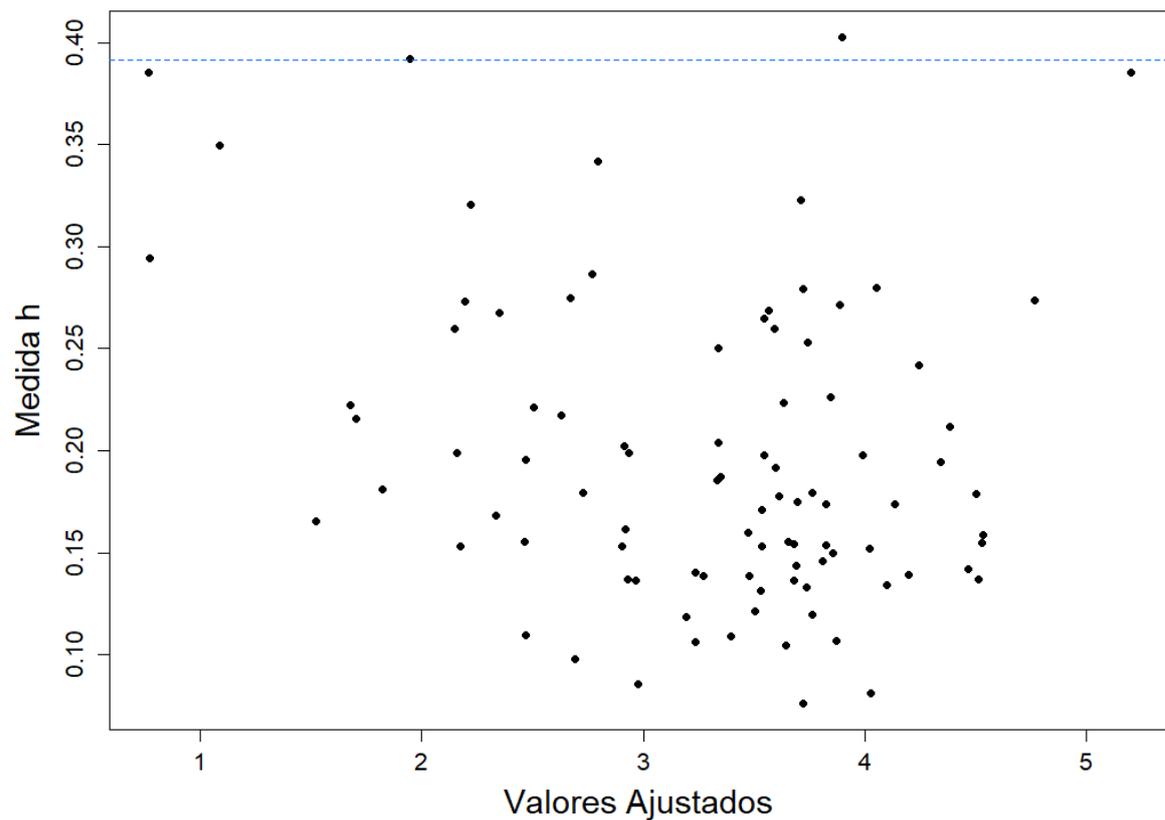
Gráfico 35 - Resíduos do modelo de regressão normal ajustado, para evaporação em terra



Fonte: dados da pesquisa.

Quanto aos pontos de alavanca, que seria o quanto uma observação tem de influência sobre a estimativa dela mesma, demonstrado no Gráfico 36, observou-se que poucas observações foram consideradas pontos de alavancagem, apenas 1 observação, logo quanto a esse aspecto o modelo de regressão parece adequado.

Gráfico 36 - Pontos de Alavanca do modelo ajustado, para evaporação em terra.

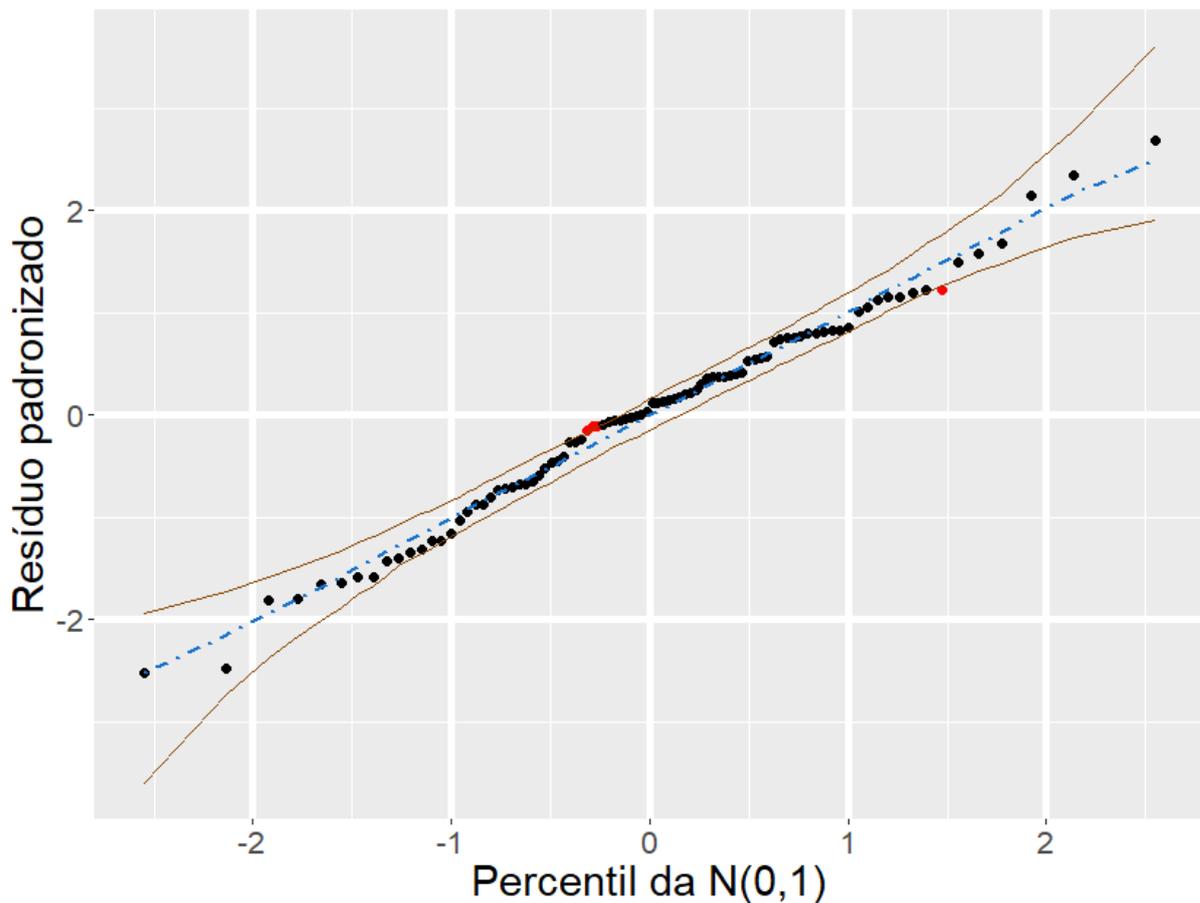


Fonte: dados da pesquisa.

No Gráfico 37, visualiza-se o gráfico de envelope simulado, e é possível concluir que a distribuição assumida também é adequada, e é válida então a aplicação do modelo de regressão aqui proposto. Realizando o teste de Shapiro para testar normalidade encontramos um valor  $p$  menor que 0,001, indicando também a normalidade nos resíduos, assim validando o uso do modelo Normal para modelar a evaporação medida em solo.

Para finalizar a análise sobre a evaporação, trabalhou-se neste trabalho com o  $R^2$ , que é o índice de quanto o modelo de regressão explica da variação dos dados de evaporação.

Gráfico 37 - Envelope simulado para testar a distribuição normal pressuposta no modelo, para evaporação em terra



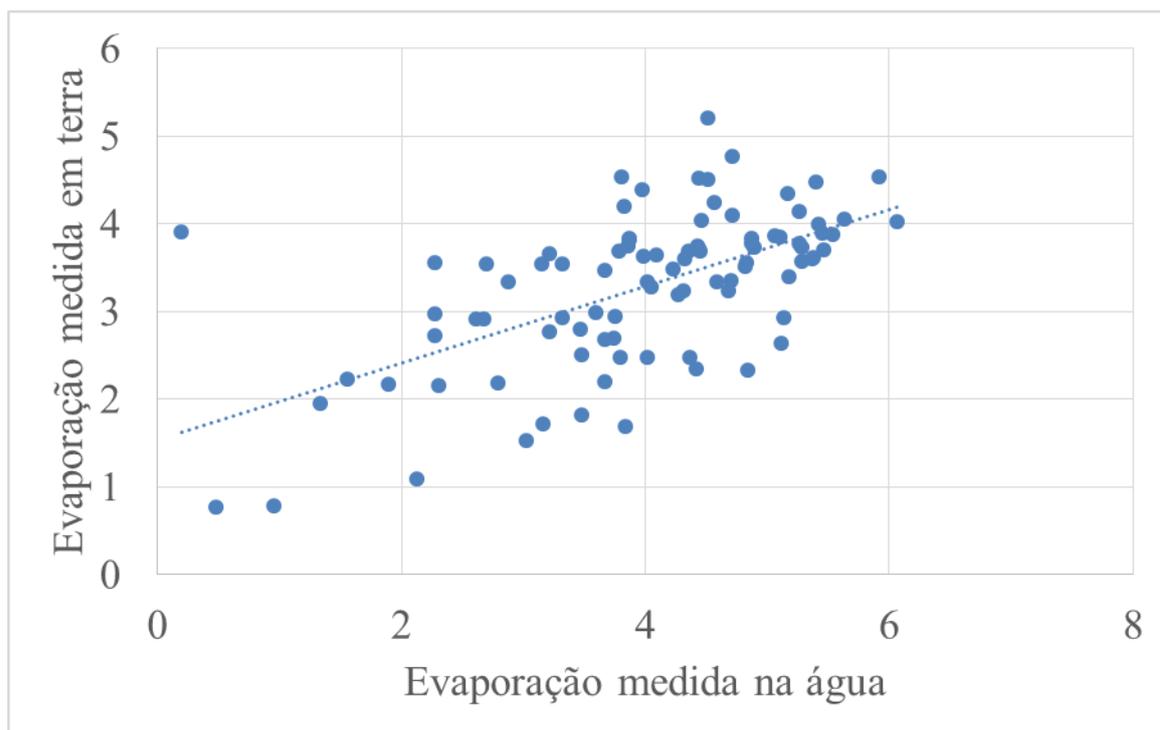
Fonte: dados da pesquisa.

Em ambos os modelos, o  $R^2$  calculado é aproximadamente 0,99 indicando assim um ajuste excelente.

### 6.5 Aplicação do teste U de *Mann-Whitney* entre as medidas de evaporação sobre o lago e sobre a terra

Com a intenção de comparar as evaporações medidas na terra e na água, apresentaram-se os dados coletados em forma de dispersão para verificação visual da existência possível de tendência. No Gráfico 38 é demonstrada a dispersão das evaporações medidas em solo e na água.

Gráfico 38 - Dispersão entre as evaporações em terra e água.



Fonte: dados da pesquisa.

Observe-se no Gráfico 38 que a tendência dos dados é representada por um ângulo agudo menor que  $45^\circ$ , indicando que os valores da evaporação em água tendem a serem maiores que os valores da evaporação medida em terra. Caso os dados fossem estatisticamente iguais, a reta de tendência seria centrada em um ângulo de  $45^\circ$ , portanto visualmente já identificou-se uma diferença entre os valores de evaporação.

Utilizou-se o software R 3.3.3 para aplicar o teste de Mann-Whitney a fim de descobrir se os valores de evaporação, medidos em terra e no açude Castanhão, são estatisticamente iguais ou não.

A hipótese nula do teste que se objetivou aplicar é a de que as medianas dos grupos de evaporação são iguais, isto é, a localização destes é igual, testaram-se então as seguintes hipóteses:

$H_0$ : As medianas das evaporações medidas em terra e água são idênticas

$H_1$ : As medianas das evaporações medidas em terra e água são diferentes

No software R obtemos o seguinte resultado:

*Wilcoxon rank sum test with continuity correction*

data: X and Y

W = 6023, p-value = 7.17e-07

*alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0*

*95 percent confidence interval:*

0.4962562 1.0717214

*sample estimates:*

*difference in location*

0.7924601

Observa-se que o valor p encontrado foi  $<0,001$ , portanto, ao nível de 5% de significância, rejeita-se a hipótese nula que os valores da evaporação medidos na terra e na água são estatisticamente iguais, pois o valor p obtido foi menor que o nível de significância adotado. Pode-se ver que a diferença na evaporação estimada seja de 0,79 pontos a mais para a evaporação na água, com intervalo de confiança entre 0,50 e 1,07. Então é possível concluir que, no geral, a evaporação medida na água é 0,79 pontos maiores que a evaporação medida na terra.

Tirando a média de evaporação na água encontrou-se 3,99 e na terra 3,29, então pode-se dizer que a evaporação média na água é aproximadamente 17,68% maior que média de evaporação terrestre.

## 7 CONCLUSÃO

Diante do que foi apresentando sobre o trabalho de doutoramento, intitulado de “Açudagem como política de convivência com a seca no Nordeste brasileiro e no Ceará: estimativa de evaporação do açude Castanhão em um ano seco”, é possível compreender que o papel do Estado, enquanto força política, foi decisivo na construção da açudagem no semiárido brasileiro. É importante salientar que, embora seja o Estado o responsável pela inserção dos recursos nesta política de construção de reservatórios, monitoramento e gerenciamento, foi para população que resguardou todos os efeitos e consequências da açudagem.

Nesse contexto, discutiu-se sobre a contribuição do Ceará na história da açudagem no Brasil, sendo este Estado um dos pioneiros. Neste trabalho, além da discussão sobre as potencialidades e fragilidades desta política, apresentou uma proposta de classificação dos reservatórios monitorados e apontou-se o açude Padre Cícero (Castanhão) como um açude de macro porte, devido principalmente a sua capacidade volumétrica e de importância para o Ceará. Sendo esta classificação podendo ser utilizada em trabalhos acadêmicos e para fins de gerenciamento.

Quanto à estimativa de evaporação para um ano seco, 2015, estimou-se e analisou-se o comportamento deste processo no açude Castanhão e em área de em torno. A análise ocorreu tanto para uma estação climática sobre o lago como sobre o ambiente terrestre.

Em ambiente sobre o lago, por meio dos dados de coleta direta, foi possível concluir que pelo método de correlação de Pearson ( $r$ ) existiu correlação positiva e dependente entre a evaporação e as variáveis de Radiação Solar (numa escala forte), Temperatura máxima e média do ar (numa escala moderado). Já pelo modelo de regressão apresentou significância na modelagem da evaporação com as variáveis de Radiação Solar, Temperatura máxima do ar e Umidade Relativa do Ar.

Em ambiente terrestre, através da análise para o ano de 2015, foi possível observar que a média de evaporação para os períodos de pré e quadra chuvosa é de 4,20 mm dia<sup>-1</sup>; para o período pós quadra chuvosa e estação de inverno no Ceará, a média de evaporação foi de 2,99 mm dia<sup>-1</sup>; já para o período de estiagem no Ceará a média de evaporação estimada no em torno do açude

Castanhão foi de 4,85 mm dia<sup>-1</sup>. Portanto, concluiu-se que os maiores valores de evaporação registrada está para período de estiagem do Estado do Ceará.

Ainda em relação aos dados sobre o ambiente terrestre, pelo modelo de regressão, concluiu-se que apresentou significância na modelagem da evaporação com as variáveis de Radiação Solar, Temperatura máxima e mínima do ar e Umidade Relativa do Ar.

Quanto à comparação através da aplicação do teste U de Mann-Whitney entre as medidas de evaporação sobre o lago e sobre a terra, é possível concluir que, no geral, a evaporação na água é 0,79 pontos maiores que a evaporação medida na terra. Tirando a média de evaporação na água encontrou-se 3,99 e na terra 3,29, então pode-se dizer que a evaporação média na água é aproximadamente 17,68% maior que média de evaporação terrestre.

Por fim, avaliou-se a qualidade do modelo ajustado através da análise de diagnósticos, pois através da análise dos resíduos e pontos *outliers* foi possível verificar se o modelo de regressão ajustado é válido com 95% de confiança.

É evidente que este trabalho deixa uma contribuição para que outras pesquisas sobre a evaporação de reservatórios do semiárido brasileiro venham fortalecer a discussão sobre o tema, ainda mais sobre a leitura de outros geógrafos. É necessário que outros levantamentos de dados sejam feitos, com o objetivo de confrontar com os dados desta pesquisa e verificar a influência de outros atributos, como a velocidade do vento, nos valores de evaporação, além de ampliar o tempo de coleta levando em consideração as adversidades encontradas neste trabalho, principalmente quanto balsa flutuante de experimentação.

Portanto, diante das reflexões e constatações observadas é possível atribuir as seguintes considerações sobre as hipóteses levantadas neste trabalho: É possível estimar os valores de evaporação a partir de uma estação climática flutuante sobre o lago artificial, sendo os valores e atribuições distintas quando comparados com os valores de evaporação sobre o ambiente terrestre; E, Diante do quadro climático do Estado do Ceará com as altas taxas de insolação e temperatura do ar e concentração das chuvas, as variáveis de maior influência sobre as perdas de água por evaporação do açude Castanhão foram Radiação Solar, Temperatura Máxima do Ar e Umidade Relativa do Ar.

A evaporação é um processo natural e as perdas associadas a ela estão diretamente relacionadas com as condições climáticas locais. A determinação do volume disponível no reservatório, para os usos múltiplos, depende de um criterioso conhecimento destas perdas, informação importante para políticas de manejo dos recursos hídricos, gestão, operação dos reservatórios e garantia ao atendimento das demandas de água.

Diante do que foi apresentado e discutido nesta pesquisa, é possível fazer algumas considerações, o Nordeste brasileiro apresenta cenários diferentes de convivência com a seca e o Ceará se destaca como pioneiro nas discussões sobre os efeitos e as consequências desse fenômeno, que assola não somente o meio natural como também o social. Neste momento, o governo precisa ser o maior incentivador de soluções e direcionar a população a melhor qualidade de vida, mesmo convivendo nesses ambientes de alta vulnerabilidade. Nesta pesquisa, mostrou-se que é possível investir num melhor monitoramento e gerenciamento das águas do Estado, sendo este um dos fatores que corroboram com a segurança hídrica local e regional. Portanto, garantir esse incentivo à pesquisa e a projetos pilotos/pioneiros que apresentam caminhos para gerenciamento eficiente, e consequentemente, oferta de água a sociedade, subsidiará o fortalecimento da ciência e da qualidade de vida da população.

## REFERÊNCIAS

AB'SABER, A.N. Os sertões: a originalidade da terra. *Ciência Hoje*, Rio de Janeiro, vol. 3, n.18, mai./Jun. 1985. Acesso em 10 nov. 2015.

AB'SABER, A.N. **SERTÕES E SERTANEJOS: UMA GEOGRAFIA HUMANA SOFRIDA** In. Dossiê Nordeste Seco. *Estudos Avançados* 13 (36), 1999.

ADAMS, E. E., COSLER, D. J., HELFRICH, K. R. Evaporation from heated water bodies: predicting combined forced plus free convection. *Water Resources Research*, 26(3), 425-435. Alegre, Artmed and Company. 1990.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome, Italy. 1998. 300 p.

ANDRADE, C. *A terra e o homem no Nordeste: contribuição ao estudo da questão agrária no Nordeste*, 7ª edição, São Paulo, editora Cortez, 2005.

AQUINO, M.D. de. Estudo da Evaporação de Superfícies Livres de Água no Semi-Árido. Tese de Mestrado - UFC, 194p., Fortaleza-Ceará, 1986.

ARAGÃO, D. A.; OLIVEIRA, J. G. B. Gestão de recursos hídricos: aspectos da pequena açudagem na gestão de sub-bacias no Ceará. **Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal**, v. 8, n.2, p.038-049, abr. /jun. 2011.

ASHRAF, M.; KAHLOWN, M. A.; ASHFAQ, A. Impact of small dams on agriculture and groundwater development: A case study from Pakistan. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, n.92, p.90-98, 2007.

ASSOULINE, S., MAHRER, Y. Evaporation from Lake Kinneret 1. Eddy correlation measurements and energy budget estimate. **Water Resour. Res.** 29, 1993. 901–910P.

ASSUNÇÃO, L. M.; LIVIGSTONE, Ian. Desenvolvimento inadequado: construção de açudes e secas do Nordeste. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro, 1993.

BARBOSA, C. M. de S.; MATTOS, A. Estimativa da evaporação do lago usando uma estação meteorológica flutuante. In: XVII Simposio Brasileiro de Recursos Hidricos, São Paulo, 2007.

BARREDO, Vinicius. Obras contra as secas. In: NOCS. Ed. comemor. 75º do DNOCS. Fortaleza, 1984. p.41-88.

BARRY, R.G; CHORLEY, R.J. **Atmosfera, tempo e clima**. Porto Alegre: Editora Bookman, 2013. p. 512.

BORGES, M. C. de A. **A Face oculta da Barragem do Castanhão: Em Defesa da Engenharia Nacional**. IMOPEC. Fortaleza. 1999.

BRANDT, S. A. **Classification of Geomorphological effects**. CATENA: 2000.

BRASIL, Ministério da Integração Nacional. **Projeto de integração do Rio São Francisco com bacias hidrográficas do Nordeste Setentrional**: relatório de impacto ambiental. Brasília: MI, 2004.

BRASIL, Ministério da Integração Nacional. **Obras de Intervenção Hídrica do Nordeste**. Brasília: MI, 2014.

BRASIL. DNOCS especial. O pioneirismo na luta pelo desenvolvimento do Nordeste. Dez/97 p. 20 a 23.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Nova delimitação do Semiárido brasileiro. Brasília, DF, 2005.

BUAINAIN A.M., GARCIA J.R., “Capítulo V: Pobreza Rural e Desenvolvimento do Semiárido Nordestino: Resistência, Reprodução e Transformação”, In. BuainainA.M., Dedecca C. (orgs.), *A nova cara da pobreza rural: desenvolvimento e*

*a questão regional*, Série Desenvolvimento Rural Sustentável, v. 17, Brasília IICA, fevereiro/2013.

CÂMARA DOS DEPUTADOS, **Seca**: o homem como ponto de partida: análise, pressupostos, diretrizes, projetos e metas de uma política de convivência com a seca no Nordeste. Brasília: Câmara dos Deputados, 1999.

CAMPOS, J. N. B.; STUART, T. M. C.. **Secas no Nordeste do Brasil: origens, causas e soluções**. In: Fourth Inter-American Dialogue on Water Management, 2001, Foz de Iguaçu. Anais do IV Diálogo Interamericano de Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2001. v. 01.

\_\_\_\_\_. A evolução das políticas públicas no Nordeste. In: CCGE- Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **A Questão da Água no Nordeste**. Agência Nacional de Águas. – Brasília, DF: CGEE, 2012.

\_\_\_\_\_. Secas e políticas públicas no semiárido: ideias, pensadores e períodos. Revista sociedade e ambiente, estudos avançados, v. 28, n. 82, São Paulo, 2014. Disponível em:  
<[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010340142014000300005&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010340142014000300005&script=sci_arttext)>. Acesso em: 28 de julho de 2015.

\_\_\_\_\_; *et al.* Contribuições ao debate sobre a eficiência de pequenos e grandes reservatórios. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos- RBRH**. v. 8, n. 2, 2003. Disponível em:  
<[https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/b6f57934549Ffbedafb806a384e992db\\_0e6a53e4336804aa3ecca7856daf5f62.pdf](https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/b6f57934549Ffbedafb806a384e992db_0e6a53e4336804aa3ecca7856daf5f62.pdf)>. Acesso em: 28 de julho de 2015.

CAMPOS, J.N.B et al. Sobre a eficiência de pequenos e grandes reservatórios. Disponível em: <[http://www.deha.ufc.Br/Nilson/trab\\_pub.html](http://www.deha.ufc.Br/Nilson/trab_pub.html)> Acesso em 2 ago. 2015.

CAMPOS, J.N.B. et. al. Contribuições ao debate sobre as eficiências de pequenos e grandes reservatórios. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. V. 8, n. 2, p. 31-38, 2003.

CAMPOS, José Nilson Bezerra. Vulnerabilidades hidrológicas do semi-árido às secas. **Planejamento e políticas públicas**, n. 16, 1997. Disponível em: <<http://www.ipea.gov.br/ppp/index.php/PPP/article/view/120>>. Acesso em: 28 de julho de 2015.

CAMPOS, José Nilson Bezerra. Vulnerabilidades hidrológicas do semi-árido às secas. **Planejamento e políticas públicas**, n. 16, 1997. Disponível em: <<http://www.ipea.gov.br/ppp/index.php/PPP/article/view/120>>. Acesso em: 28 de julho de 2015.

CAVALCANTE, A. A. CUNHA, S. B. da. Caracterização do sistema fluvial do rio Jaguaribe no semi-árido cearense. **XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Campo Grande, MS, 2009.

CAVALCANTE. A.A. *Morfodinâmica Fluvial em Áreas Semiáridas: Discutindo o Vale do Rio Jaguaribe-CE-Brasil*. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.13, n.1, (Jan-Mar) p.39-49, 2012.

CAVALCANTI, Iracema Fonseca de Albuquerque et. al. (org.) *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

CEARÁ, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, **Download das séries históricas**, disponível em:<<http://www.funceme.br/index.php/areas/tempo/download-de-series-historicas>>. Acesso em: 09/05/2015.

CEARÁ. **Cenário atual dos recursos hídricos do Ceará**. Fortaleza: INESP (Coleção Pacto das Águas), 2008.

CLAUDINO-SALES. V. de *In: FÓRUM DA SOCIEDADE CIVIL CEARENSE SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO: Diagnóstico sócio-ambiental do estado do Ceará: o olhar da sociedade civil*. Fortaleza: 1993. 200p.

COGERH. Rede de Monitoramento da qualidade de água operada pela COGERH. 2008. Disponível em: <http://www.funceme.br/areas/monitoramento/nivel-diario-de-reservatorios>. Acesso em: 03 de outubro de 2015.

COHEN, S., IANETZ, A., STANHILL, G. Evaporative climate changes at Bet Dagan, Israel, 1964 – 1998. *Agricultural and Forest Meteorology*. 111, 2002. 83-91.

COMISSÃO MUNDIAL DE BARRAGENS. Barragens e Desenvolvimento: Um Novo Modelo para Tomada de Decisões. Relatório da Comissão Mundial de Barragens. Londres. 2000.

CUNHA, S. B. Geomorfologia Fluvial. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (orgs.) Geomorfologia: uma Atualização de Base e Conceitos. 4ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 211-252, 1995b.

CUNHA, S. B. Impactos das Obras de Engenharia Sobre o Ambiente Biofísico da Bacia do Rio São João (Rio de Janeiro – Brasil). Rio de Janeiro: Ed: Instituto de Geociências, UFRJ, 1995a. 378 p.

CURTARELLI, M.P.; ALCÂNTARA, E.H.; ARAÚJO, C.A.S.; STECH, J.L.; LORENZZETTI, J.A. Avaliação da dinâmica temporal da evaporação no reservatório de Itumbiara, GO, utilizando dados obtidos por sensoriamento remoto. *Ambi-Agua*, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 272-289, 2013.

DALTON, J. Meteorological observations to determine whether the quantity of rain and dew is equal to the quantity of water carried off by the rivers and raised by evaporation; with an inquiry into the origin of spring. *Mem. Manchester, Lit. Phil. Soc*, 5, 1928. 346-372.

DANCEY, Christine & REIDY, John. *Estatística Sem*. 2006.

DANTAS. S. P. A influência do açude Padre Cícero (Castanhão) no clima local do município de Jaguaratama/CE. Fortaleza: UFC/CC/DG, 2014. 146p. (Dissertação de Mestrado).

DIAS, N.L.C.; KELMAN, J. Comparações entre modelos climatológicos e o uso de tanque classe A para estimar a evaporação no reservatório de Sobradinho. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 7.,1987, Salvador, BA. **Anais...** São Paulo: ABRH, 1987. p. 162-169. Disponível em: <[http://www.deha.ufc.Br/Nilson/trab\\_pub.html](http://www.deha.ufc.Br/Nilson/trab_pub.html)>

DNOCS. Justificativa técnica do Projeto do Açude Público Castanhão. Fortaleza, 1991.

DNOCS. **Conferências: visões do semiárido por dirigentes do DNOCS.**

Fortaleza: DNOCS/BNB, 2010.

DNOCS. Relatório de Gestão do exercício de 2015. Fortaleza: DNOCS, 2016.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Aquecimento Global e a nova Geografia da Produção agrícola no Brasil. São Paulo: Embrapa/Unicamp, agosto de 2015. Disponível em

[http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/destaques/CLIMA\\_E\\_AGRICULTURA\\_BRASIL\\_300908\\_FINAL.pdf](http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/destaques/CLIMA_E_AGRICULTURA_BRASIL_300908_FINAL.pdf)

FINCH, J.; HALL, R. L. Estimation of open water evaporation. A Review of Methods R&D Technical Report W6-043/TR. Environment Agency, Rotherham, UK, 2001.

FONTES, A. S.; OLIVEIRA, J.I.R. de; MEDEIROS, Y.D.P.; A evaporação em açudes do semi-árido nordestino do Brasil e a gestão das águas. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 15. Curitiba: 2003.

FONTES, A.S. **Estudo da evaporação em reservatórios situados em região semi-árida: uso de bacia experimental.** 2005. 210 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental e Urbana) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, 2005.

FREITAS, M. A. S. Que Venha a Seca, 1ª ed. Rio de Janeiro: Ed. CBJE, 2010. 473p.

FRISCHKORN, H.; ARAÚJO, J. C. de; SANTIAGO, M.M.F. **Water resources of Ceará and Piauí.** 2003.

FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos: **Dados pluviométricos do Ceará**, 2012.

FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos: **Dados pluviométricos do Ceará**, 2017.

GAISER, T.; Krol, M.; FRISCHKORN, H.; ARAÚJO, J. C. de. (Eds.) Global change and regional. 2003

GHEYI, H. R.; Paz, V. P. S.; MEDEIROS, S. S.; GALVÃO, C. O. Recursos hídricos em regiões semiáridas. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, Cruz das Almas, BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2012.

GHILHON, L.G.F. Cálculo das vazões evaporadas nos reservatórios dos aproveitamentos em operação. Simpósio Internacional sobre Gestão de Recursos Hídricos, Gramado: 1998.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GUERRA, M.C.B.; VASCONCELOS, S.M.S. **Aspectos qualitativos das águas subterrâneas do município de Jaguarétama, Ceará – Brasil**. Revista de Geologia, Vol. 18, nº 2, 123-129, 2005.

GÜNTNER, A.; BRONSTERT, A. **Representation of landscape variability and lateral**. 2004.

HANS R. G., VITAL P. da S. P., SALOMÃO, de S. M. Recursos hídricos em regiões semiáridas - Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, Cruz das Almas, BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2012.

IPLANCE – Informações Básicas Municipais 1999: Jaguaribara. Fortaleza. 2000.

KHAN, Ahmad Saeed. Reforma Agrária Solidária e Extensão: Novo Modelo de Desenvolvimento Rural no estado do Ceará. Fortaleza. 2000.

KOHLER, M.A.; NORDENSEN, T.J.; FOX, W.E. Evaporation from pans and lakes, U.S. **Weather Bureau Research**, n. 38, p. 1-21, 1955. (Paper 38).

LEÃO, R.A.O.; SOARES, A.A.; TEIXEIRA, A.S.; SILVA, D.D. Estimativa da evaporação no açude Banabuiú, no Estado do Ceará, por diferentes métodos combinados, derivados da equação de Penman. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 1, p. 129-144, 2013.

LIMA, Luiz Cruz; BOTÃO, Helissandra. O açude público Castanhão (CE) como força reestruturadora do território. In: LIMA, Luiz Cruz (org.) Reestruturação socioespacial: do espaço banal ao espaço da racionalidade técnica. São Paulo: Annablume, 2007.

LINACRE, E. T. A simple formula for estimating evapotranspiration rates in various climates, using temperature data alone. *Agricultural Meteorology*, v.18, p.409-424, 1977.

LINACRE, E.T. Data-sparse estimation of lake evaporation using a simplified Penman equation. Elsevier Science Publishers B.V. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 64, p. 237-256, 1993.

LINS, Cintia dos Santos. Gerenciamento dos recursos hídricos no estado do Ceará: Princípios e Práticas. Fórum ambiental da alta Paulista. V. 07, N. 02, 2011.

LOWE, L.D.; WEBB, J.A.; NATHAN, R.J.; ETCHELLS, T.; MALANO, H.M. Evaporation from water supply reservoirs: an assessment of uncertainty. **Journal of Hydrology**, v. 376, p. 261-274, 2009.

KHAN, A. S. Reforma Agrária Solidária e Extensão: Novo Modelo de Desenvolvimento Rural no estado do Ceará. Fortaleza. 2000.

MACÊDO, Maria Vilalba A. de. Aproveitamento Hídrico das Bacias Fluviais do Ceará. Fortaleza, DNOCS, 1981. 176 p.

MACKIN, J. H. **Concept of the Graded River**. Bulletin of the 1948.

MALVEIRA, V.T.C.; DE ARAÚJO, J.C.; GÜNTNER, A. "Hydrological impact of a high-density reservoir network in the semiarid north-eastern Brazil". *Journal of Hydrologic Engineering* 17, 2012. pp. 109 – 117.

MATOS, A.T.; SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F. Impactos decorrentes da construção de reservatórios para acumulação de água. *Item*, Brasília, n.56/57, 2003. p.60-66.

MEDEIROS F°, J. e SOUZA, I (1988). A seca do Nordeste, um falso problema. A política de combate às secas antes e depois da SUDENE. Petrópolis, Editora Vozes.

MOLLE, F. Perdas por evaporação e infiltração em pequenos açudes. Ed. Recife, 1994.

MOLLE, F.; CADIER, E. Manual do pequeno açude. 1. ed. Recife: SUDENE/Cooperación Française/ORSTOM, 1992. 521p.

MOLLE, François. Marcos históricos e Reflexões sobre a Açudagem. Ed. Recife, 2004.

MONTEITH, J. L. (1981). Evaporation and surface temperature. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 107(451), 1-27.

MONTEITH, J. L. 1965. "Evaporation and Environment." In: *The state and movement of water in living organism*. 19th Symp. Soc. Exptl. Biol. P. 205-234.

MORENGO, J. Mudanças climáticas globais e a definição das alterações climáticas para o território brasileiro. Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Instituto Pereira Passos, 2008.

MOURA, M. S. B. De.; GALVINCIO, J. D.; BRITO, L. T. De L.; SOUZA, L. S. De B. Clima e água de chuva no semi-árido. Petrolina, PE: EMBRAPA-CPATSA, 2006. 80 p.

NASCIMENTO, F. R. Os recursos hídricos e o trópico semiárido no Brasil. *GEOgraphia*, vol. 15, n. 29, p. 63-81, 2012.

OTTONI NETTO, Theóphilo B. A Problemática Desenvolvimentista do Nordeste Considerando Uso e Manejo dos Recursos Hídricos Disponíveis na Região (Palestra realizada na Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste), 1996.

PEARSON, Karl. *The grammar of science*. London, J. M. Dent. 1892.

PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 1948. 120-145.

PENMAN, H. L.. Evaporation: An introductory survey. *Netherlands Journal of Agricultural Sciences*, 4, 1956. 9-29.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SENTELHAS, P. C. O parâmetro de Priestley-Taylor para a estimativa da evapotranspiração de referência na escala mensal. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 5, n. 1, p. 83-87, 1997.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.

PEREIRA, S.B.; PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D.; RAMOS, M.M. Evaporação líquida no lago de Sobradinho e impactos no escoamento devido à construção do reservatório. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 346-352, 2009.

PEREIRA. S. B.; PRUSKI. F. F.; SILVA, D. D. da.; RAMOS. M. M. Evaporação líquida no lago de Sobradinho e impactos no escoamento devido à construção do reservatório. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental*, v.13, n.3, p.346–352, 2009.

PINTO, N.; HOLTZ, A.; MARTINS, J.; GOMIDE, F., 1976. *Hidrologia Básica*. Ed. Edgard Blücher Ltda, MEC.

PRIESTLEY, C. H. B.; TAYLOR, R. J. On the assessment of surface heat flux and evaporation, using large scale parameters. *Monthly Weather Review*, v. 100, n. 2, p.81-92, 1972.

PROJETO ÁRIDAS. Disponível em: <http://www.iica.org.br/2001/projaridas/>. 2002.

RAIMUNDO, A. de O. LEÃO, Antônio A. SOARES, Adunias dos S. **Estimation of evaporation in the Banabuiú dam, in the state of Ceará, Brazil, by different**

**combined methods, derived from the penman equation.** *Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.33, n.1, p.129-144, jan./fev. 2013*

RODRIGUES, C.M.M. Cálculo da evaporação de albufeiras de grande regularização do sul de Portugal. Ph.D. Thesis, Universidade de Évora, Évora, Portugal, October 2009. (In Portuguese).

ROSADO, V. U. (Org.). Memorial da seca. Mossoró: ESAM, 1981. 241p.

ROSENGRANT, M.W. Water resources in the 21st century: increasing scarcity, declining quality, and implications for action. Yokohama: UNU: IAS, 1996. 52p. (Working Paper n, 3).

SALES, M. C. L. Evolução dos Estudos de Desertificação no Nordeste Brasileiro. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, São Paulo, Nº 14, pp. 9-19, 2003.

SANTOS, Milton. A natureza do Espaço: Técnica e Tempo, Razão e Emoção. 4ª ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2004.

SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO CEARÁ. Atlas Eletrônico dos Recursos Hídricos e Meteorológicos do Estado do Ceará. Disponível em <http://www.atlas.secrel.com.br/index.asp>. Acesso em 12 de Out. 2015.

SILANS, ALAIN M. B. P. de. Redução de evaporação de açudes – o estado da arte. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, volume 8, nº 2. João Pessoa: RBRH, 2003. Pág. 101 – 109.

SIMPSON, L.D. – Are Water Markets a Viable Option? - Finance and Development, pp. 30-32 , volume 31, number 2, June, 1994.

SILVA, D.R. da. SAMPAIO, J.L.F. Do combate à convivência com a escassez de água no semiárido cearense. In: ESPAÇO, NATUREZA E RESISTÊNCIAS CAMPONESAS NO NORDESTE/ José Levi Furtado Sampaio, Francisco Amaro Gomes de Alencar, Cícero Nilton Moreira da Silva e Francisca Maria Teixeira Vasconcelos (Org.), Fortaleza: Edições UFC, 2014.

SILVA, F. R. da. LEME, N. M. P. SILVA, C. M. S. Estudo experimental da Camada Limite Convectiva no semiárido brasileiro. **Sociedade e Território**, Natal, v. 27, nº 1, p. 17-34 jan/jun. 2015.

SOBRINHO, T. P. **Orientação científica na luta contra as secas**, v. 72, p. 10, 1958.

SOUZA, J. G. O Nordeste Brasileiro: uma experiência de desenvolvimento regional. Banco do Nordeste do Brasil, Fortaleza, xxii, 1979. 410p.

SOUSA, M.L.M. de. et. al. Análise Ambiental como Base ao Zoneamento EcológicoEconômico na Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Figueiredo, Ceará, Brasil. Revista Geográfica de América Central, v. II, p. 1-11, 2011.

SUASSUNA, JOÃO. **A pequena e média açudagem no semiárido nordestino: uso da água para produção de alimentos**. Fundação Joaquim Nabuco. Recife, 1993.

SUDENE. As secas do Nordeste: uma abordagem histórica das causas e efeitos. Recife: SUDENE, 1981.

SUDENE. Contribuição da SUDENE ao desenvolvimento do Brasil. Disponível em: <<http://www.sudene.gov.br/sudene>>. Acesso em: 28 de julho de 2015.

SUDENE. Série Brasil.Hidrologia. Recife, série.25, 1989. p. 11 A 70.

TEIXEIRA, E. C. O Papel das Políticas Públicas no Desenvolvimento Local e na Transformação da Realidade. Políticas Públicas - O Papel das Políticas Públicas. AATR-BA. 2002.

THOMS, M.C.; WALKER, K.F. **Channel changes associated with two adjacent weirs on a regulated lowland alluvial river**. Regulated rivers: Res. Manage. v.8, p.271–284, 1993.

TUCCI, C. 2000. (org.) Hidrologia – ciência e aplicação. Editora da Universidade, ABRH, Porto Alegre.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. Limnologia. 1ª Edição - São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

TUNDISI, J.G. Água no século XXI: Enfrentando a escassez. Ed. São Carlos: RiMa, IIE, 248p, 2005.

TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. Recursos hídricos no século XXI. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

VAREJÃO SILVA, M.A. Meteorologia e Climatologia. INMET: Brasília, 2006. 515p. (versão digital)

VIEIRA, N.P.A. **Estimativa de evaporação nos reservatórios de Três Marias – MG e Sobradinho – BA**. 2015. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2015.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. McGraw-Hill do Brasil, São Paulo, 1975, p.245.

WARD, A.D.; TRIMBLE, S.W. Environmental Hydrology. 2 nd Ed. USA: Lewis Publishers, 2004. 475 p

WURBS, R. A.; AYALA, R. A. Reservoir evaporation in Texas, USA. **Journal of Hydrology**, v. 510, p. 1-9, 2014.

YEVJEVICH, V., Hall, W. A., and Salas, J. D.: Drought research needs, in: Proc. of the Conference on Drought Research Needs, December 12–15, 1977, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, Water Resources Publication, Fort Collins, Colorado, USA, 276 pp., 1978.

ZANELLA, M. E. As características climáticas e os recursos hídricos do Ceará. In: SILVA, J. B; CAVALCANTE, T. C; DANTAS, E. W.C. (Org.). Ceará: um novo olhar geográfico. 2. ed. Fortaleza: Demócrito Rocha, 2007.