



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EXPLORAÇÃO PETROLÍFERA E  
MINERAL

JAHY BARROS NETO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DOS NÍVEIS DOS AQUÍFEROS  
BEBERIBE-PB E AÇÚ-RN UTILIZANDO MODELOS DE SÉRIES TEMPORAIS  
COMO FERRAMENTAS DE GESTÃO**

CAMPINA GRANDE  
2020

JAHY BARROS NETO

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DOS NÍVEIS DOS AQUÍFEROS  
BEBERIBE-PB E AÇÚ-RN UTILIZANDO MODELOS DE SÉRIES TEMPORAIS  
COMO FERRAMENTAS DE GESTÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Exploração Petrolífera e Mineral, da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências legais para obtenção do título de Mestre.  
Área de concentração: Hidrogeologia  
Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Paula Stein

**CAMPINA GRANDE  
2020**

B277a

Barros Neto, Jahy.

Avaliação do comportamento dos níveis dos aquíferos Beberibe-PB e Açú-RN utilizando modelos de séries temporais como ferramentas de gestão / Jahy Barros Neto. - Campina Grande, 2021.

230 f. : il. Color

Dissertação (Mestrado em Exploração Petrolífera e Mineral) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2020.

"Orientação: Profa. Dra. Paula Stein".

Referências.

1. Aquíferos. 2. Poços. 3. Software. 4. Recarga. 5. Outorgas. I. Stein, Paula. III. Título.

CDU 556.5(043)



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**

**POS-GRADUACAO EXP. PETROLIFERA E MINERACAO**

Rua Aprígio Veloso, 882, - Bairro Universitário, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

**FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES**

**NOME DO(A) CANDIDATO(A): JAHY BARROS NETO**

**TÍTULO DO TRABALHO: AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DOS NÍVEIS DOS  
AQUÍFEROS BEBERIBE-PB E AÇÚ-RN UTILIZANDO MODELOS DE SÉRIES TEMPORAIS COMO  
FERRAMENTAS DE GESTÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em 19 de dezembro de 2020,  
como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em Exploração Petrolífera e Mineral.

Aprovada em: 19 / 12 / 2020

Profa. Dra. Paula Stein - Orientadora (PPGEPM - UFCG)

Prof. Dr. José Braz Diniz Filho - Examinador Externo (UFRN)

Dra. Natalina Maria Tinôco Cabral - Examinador Externo (Canal Geoquímico)



Documento assinado eletronicamente por **ELISSANDRA NASCIMENTO DE MOURA LIMA, COORDENADOR (A)**, em 23/02/2021, às 09:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Natalina Maria Tinoco Cabral, Usuário Externo**, em 23/02/2021, às 09:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **PAULA STEIN, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 23/02/2021, às 10:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **José Braz Diniz Filho, Usuário Externo**, em 23/02/2021, às 10:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **1295985** e o código CRC **B0E14E7E**.

23/02/2021

SEI/UF CG - 1295985 - PRPG-Folha de Assinatura para Teses e Dissertações

[https://sei.ufcg.edu.br/sei/controlador.php?acao=documento\\_imprimir\\_web&acao\\_origem=arvore\\_visualizar&id\\_documento=1431785&infra\\_siste...](https://sei.ufcg.edu.br/sei/controlador.php?acao=documento_imprimir_web&acao_origem=arvore_visualizar&id_documento=1431785&infra_siste...)



JAHY BARROS NETO

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DOS NÍVEIS DOS AQUÍFEROS  
BEBERIBE-PB E AÇÚ-RN UTILIZANDO MODELOS DE SÉRIES TEMPORAIS  
COMO FERRAMENTAS DE GESTÃO**

TRABALHO DE DISSERTAÇÃO AVALIADO EM: \_\_/\_\_/\_\_

NOTA: \_\_\_\_\_

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Paula Stein  
Orientadora

---

Prof. Dr. José Braz Diniz Filho  
Examinador externo

---

Dra. Natalina Maria Tinoco Cabral  
Examinadora externa

CAMPINA GRANDE  
2020

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pelo dom da vida e do conhecimento, assim como por me permitir a superação nos momentos difíceis e dos desafios encontrados ao longo dessa jornada.

Aos meus pais Janilson Barbosa Barros e Maria do Socorro Maciel Barros, meu irmão Raphael Maciel Barbosa Barros e avós maternos Sebastião Minervino dos Santos e Maria do Carmo Maciel dos Santos pelo suporte e amor.

Aos meus primos João Marcos Pobbe dos Santos, Anne Priscilla Pobbe dos Santos e Lucas Rickardson, e tios Francisco de Assis Maciel dos Santos e Jaqueline Pobbe Santos pelo incentivo.

À minha orientadora Prof.<sup>a</sup> Dra. Paula Stein pela paciência, amizade, pelo conhecimento e estímulo transmitido. Que Deus a abençoe imensamente!

Ao Programa de Pós-Graduação em Exploração Petrolífera e Mineral da Universidade Federal de Campina Grande e a sua equipe de professores.

À CAPES pela concessão da bolsa.

À Banca Examinadora pela disponibilidade: Dra. Natalina Maria Tinoco Cabral e ao Prof. Dr. José Braz Diniz Filho.

Aos amigos e colegas de mestrado Hilda Camila, Nathália Amorim, Leonardo, Francisco Júnior, Igor (nosso grupo de Recursos), Priscila Barros, Lucas Emanuel, Ruth, Thális Felipe Pereira, Jaquelynne Cássia de Amorim e Otaciana Pereira, por toda troca de conhecimento, momentos agradáveis e de descontração.

À Equipe do Projeto formada por Rayza Livia e Anne Beatrice, pelo apoio na pesquisa.

## RESUMO

O conhecimento sobre a ocorrência de águas subterrâneas assume um papel muito importante e estratégico, principalmente na Região Nordeste, que é caracterizada por ser uma extensão territorial, em sua maior parte, dominada pela escassez de recursos hídricos superficiais e com limitação de uso da água tanto em termos quantitativos quanto qualitativos. Buscando gerar o conhecimento técnico necessário para a gestão sustentável desse importante recurso, o uso de modelos e métodos torna-se necessário para permitir uma análise de dados de monitoramento que possibilite detectar alterações no ciclo hidrológico e gerar cenários de tendências futuras por meio de uma abordagem quantitativa do sistema, estabelecendo uma relação dinâmica entre o comportamento do nível freático, seja em função de condições hidrogeológicas locais ou condicionado por eventos climáticos de caráter mais abrangente. Sendo assim, o objetivo desse trabalho é explicar, a partir do modelo autorregressivo HARTT (Hydrograph Analysis: Rainfall and Time Trend), as oscilações dos níveis freáticos do Aquífero Açu-RN e o Aquífero Beberibe- PB. Com isso, entender como os mesmos respondem aos diferentes estímulos dos eventos de precipitação estando em contextos climáticos distintos, sob regimes de chuvas dissemelhantes, para que possa ser feita uma comparação entre essas duas formações. Além disso, realizar o cálculo de recarga anual e estimar o volume anual retirado por poços com outorgas em ambos os aquíferos, para o aprofundamento do conhecimento hidrogeológico dessas áreas. Para a realização desta pesquisa, além de um forte embasamento teórico compreendido por uma vasta revisão bibliográfica, foram realizadas coletas e análises de dados. A investigação dos dados de outorga e construção do modelo HARTT explica a evolução do nível freático ao longo do tempo em cada um dos 10 poços que estão insertos nos 9 municípios e representam esses aquíferos, utilizando os dados brutos climatológicos e de monitoramento de poço como entrada, obtidos nas plataformas on-line de instituições como a ANA e EMPARN. Para a série de níveis freáticos monitorados, as informações foram obtidas na página eletrônica da CPRM através do RIMAS, e os dados de volume dos poços com outorgas foram obtidos no site da AESA e IGARN. Os resultados no HARTT revelaram as tendências de rebaixamento ou elevação do nível estático nos poços e os altos valores de significância ( $p$ -valores  $<0,05$ ) com  $R^2$  médio de 78,88% no Beberibe e de 88,91% no aquífero Açu, caracterizando satisfatoriamente a forte relação de dependência entre as oscilações dos níveis freáticos e a precipitação acumulada, com tempo de resposta do lençol às chuvas variando de 1 a 2 meses no aquífero Potiguar e de até 1 mês ou menos no aquífero paraibano mais um contínuo rebaixamento do nível estático após o período de chuvas. A recarga média anual estimada pelo VNA com base nos valores médios de precipitação foi 39,38 mm/ano para o Açu e 298,69 mm/ano no Beberibe. Já os valores das vazões nas outorgas demonstraram uma tendência preocupante de aumento da exploração. Com base nos resultados encontrados, concluiu-se que as ferramentas adotadas nesta pesquisa demonstraram uma boa eficácia no que tange aos métodos de apoio à gestão sustentável dos recursos hídricos e na comparação ou análise das características dos aquíferos Beberibe-PB e Açu-RN.

**Palavras-Chave:** Aquíferos. Poços. Software. Recarga. Outorgas.



## ABSTRACT

The knowledge about the occurrence of groundwater assumes a very important and strategic role, mainly in the Northeast Region, which is characterized by being a territorial extension, for the most part, dominated by the scarcity of surface water resources and with limited use of water both in quantitative and qualitative terms. Seeking to generate the technical knowledge necessary for the sustainable management of this important resource, the use of models and methods becomes necessary to allow an analysis of monitoring data that makes it possible to detect changes in the hydrological cycle and generate scenarios of future trends through an approach quantitative analysis of the system, establishing a dynamic relationship between the behavior of the phreatic level, whether due to local hydrogeological conditions or conditioned by more comprehensive climatic events. Therefore, the objective of this work is to explain, based on the HARTT autoregressive model (Hydrograph Analysis: Rainfall and Time Trend), the oscillations of the water tables of the Açu-RN Aquifer and the Beberibe-PB Aquifer. With that, understand how they respond to different stimuli of precipitation events being in different climatic contexts, under different rainfall regimes, so that a comparison can be made between these two formations. In addition, perform the annual recharge calculation and estimate the annual volume withdrawn by wells with grants in both aquifers, to deepen the hydrogeological knowledge of these areas. In order to carry out this research, in addition to a strong theoretical basis comprised of a vast bibliographic review, data collections and analyzes were carried out. The investigation of the grant data and construction of the HARTT model explains the evolution of the water table over time in each of the 10 wells that are inserted in the 9 municipalities and represent these aquifers, using the raw climatological and monitoring data of the well as input, obtained on the online platforms of institutions such as ANA and EMPARN. For the series of monitored groundwater levels, the information was obtained on the CPRM website through RIMAS, and the volume data of the wells with grants were obtained on the AESA and IGARN website. The results at HARTT revealed the tendency to lower or raise the static level in the wells and the high significance values ( $p$ -values  $<0.05$ ) with an average  $R^2$  of 78.88% in Beberibe and 88.91% in Açu aquifer, satisfactorily characterizing the strong dependence relationship between fluctuations in groundwater levels and accumulated precipitation, with the response time of the sheet to rainfall ranging from 1 to 2 months in the potiguar aquifer and up to 1 month or less in the paraiba aquifer plus a continuous lower of the static level after the rainy season. The average annual recharge estimated by VNA based on average precipitation values was 39.38 mm/year for Açu and 298.69 mm/year for Beberibe. The flow rates in the grants showed a worrying trend of increasing exploration. Based on the results found, it was concluded that the tools adopted in this research demonstrated a good efficacy with respect to the methods of supporting the sustainable management of water resources and in the comparison or analysis of the characteristics of the Beberibe-PB and Açu-RN aquifers.

**Keywords:** Aquifers. Wells. Software. Recharge. Grants.

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1- Resíduo Acumulado de Precipitação Mensal.....	130
Equação 2- Resíduo Acumulado de Precipitação Anual .....	130
Equação 3- Profundidade do nível de água abaixo da superfície .....	130
Equação 4- Recarga anual pelo Método VNA.....	137

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Mapa de localização dos municípios com poços de monitoramento no aquífero Açu- RN) .....	30
Figura 2- Mapa de climas do RN segundo Nímer (1979) .....	31
Figura 3- Relevo do Rio Grande do Norte e estados vizinhos .....	33
Figura 4- Mapa delimitando as regiões do RN por volume de precipitação. ....	34
Figura 5- Mapa de climas do Rio Grande do Norte .....	35
Figura 6- Temperaturas e precipitações médias durante o ano em Apodi-RN.....	36
Figura 7- Dados climatológicos de Apodi- RN.....	36
Figura 8- Temperaturas e precipitações médias durante o ano em Upanema-RN....	39
Figura 9- Dados climatológicos de Upanema- RN .....	39
Figura 10- Temperaturas e precipitações médias durante o ano em Caraúbas-RN..	40
Figura 11- Dados climatológicos de Caraúbas- RN .....	41
Figura 12- Temperaturas e precipitações médias durante o ano em Açu-RN.....	42
Figura 13- Dados climatológicos de Açu- RN.....	43
Figura 14- Temperaturas médias em Afonso Bezerra-RN ao longo do ano.....	44
Figura 15- Dados climatológicos de Afonso Bezerra- RN. ....	45
Figura 16- Temperaturas e precipitações médias durante o ano em Jardim de Angicos- RN .....	47
Figura 17- Dados climatológicos de Jardim de Angicos- RN .....	47
Figura 18- Mapa de isoietas de precipitação dos municípios com poços de monitoramento do Aquífero Açu- RN .....	49
Figura 19- Mapa geológico da Província da Borborema.. ....	50
Figura 20- Compartimentação da Bacia Potiguar.....	52
Figura 21- Estratigrafia da Bacia Potiguar.....	54
Figura 22- Mapa geológico dos municípios com poços de monitoramento do aquífero Açu- RN.....	57
Figura 23- Mapa geológico de Upanema- RN.....	59
Figura 24- Mapa geológico de Caraúbas- RN.....	60
Figura 25- Mapa geológico de Açu- RN.....	62
Figura 26- Mapa geológico de Afonso Bezerra- RN.....	63

Figura 27- Mapa geológico de Jardim de Angicos- RN.....	64
Figura 28- Esquema da seção hidrogeológica regional da Bacia Potiguar .....	65
Figura 29- Sistemas aquíferos do RN. ....	67
Figura 30- Localização dos municípios que estão inseridos na Formação Açu e que têm poços monitorados pela RIMAS .....	67
Figura 31- Isolinhas de espessura (m) da Formação Açu (trecho Apodi-Upanema).....	69
Figura 32- Isolinhas da espessura saturada (m) do Aquífero Açu (trecho Apodi-Upanema).....	69
Figura 33- Isolinhas dos valores de transmissividade ( $m^2/d$ ) (trecho Apodi- Upanema). .....	70
Figura 34- Isolinhas dos valores de condutividade ( $m/d$ ) (trecho Apodi- Upanema)..	71
Figura 35- Sentido do escoamento com base no gradiente hidráulico (Trecho Apodi-Upanema).....	72
Figura 36- Isolinhas de profundidade do nível freático no Aquífero Açu (trecho Apodi-Upanema).....	73
Figura 37- Aquífero dividido em zonas quanto à potencialidade hidrogeológica (trecho Apodi-Upanema) .....	74
Figura 38- Parte externa do poço de monitoramento em Apodi-RN.....	77
Figura 39- Parte externa do poço de monitoramento em Caraúbas-RN .....	78
Figura 40- Parte externa do poço de monitoramento em Upanema-RN.....	80
Figura 41- Parte externa do poço de monitoramento em Açu-RN.....	82
Figura 42- Parte externa do poço de monitoramento em Afonso Bezerra-RN .....	84
Figura 43- Parte externa do poço de monitoramento em Jardim de Angicos-RN .....	86
Figura 44- Delimitação territorial e localização dos municípios estudados no aquífero Beberibe- PB .....	87
Figura 45- Mapa hipsométrico do estado da Paraíba.....	88
Figura 46- Temperatura média anual ( $^{\circ}C$ ) da Paraíba.. ..	90
Figura 47- Pluviosidade anual média (mm) da Paraíba .....	90
Figura 48- Flutuação anual de precipitação no estado da Paraíba ao longo do ano..	91
Figura 49- Evapotranspiração Potencial Anual do Estado da Paraíba .....	91
Figura 50- Distribuição anual da evaporação no estado da Paraíba.....	92
Figura 51- Deficiência hídrica da Paraíba. ....	92
Figura 52- Excedente hídrico do estado da Paraíba. ....	93

Figura 53- Índice de umidade (iu) do estado da Paraíba. ....	93
Figura 54- Classificação climática de Köppen para o estado da Paraíba. ....	94
Figura 55- Temperaturas e precipitações médias durante o ano em João Pessoa- PB .....	95
Figura 56- Dados climatológicos (temperatura e chuva) de João Pessoa-PB .....	96
Figura 57- Temperaturas e precipitações médias durante o ano em Cabedelo-PB....	97
Figura 58- Dados climatológicos (temperatura e chuva) de Cabedelo-PB.....	97
Figura 59- Temperaturas e precipitações médias durante o ano em Bayeux-PB .....	98
Figura 60- Dados climatológicos (temperatura e chuva) de Bayeux-PB.....	99
Figura 61- Mapa de isoietas de precipitação dos municípios com poços de monitoramento do Aquífero Beberibe- PB.....	100
Figura 62- Bacia Paraíba, subdividida nas Sub-bacias de Olinda, Alhandra e Miriri, e suas vizinhas: Bacias Potiguar, Pernambuco e Alagoas.....	103
Figura 63- Mapa de localização das Bacias Paraíba e Pernambuco.....	104
Figura 64- Desenho esquemático que mostra o resultado da subsidência pela atividade tectônica que provocou a diferença estrutural entre a Bacia Paraíba, ao norte do Lineamento Pernambuco, e a Bacia Pernambuco, ao sul.....	105
Figura 65- Perfil geológico ao longo da linha de costa.....	106
Figura 66- Seção geológica ao longo da linha de costa.....	107
Figura 67- Quadro estratigráfico esquemático das Bacias Paraíba e Pernambuco, com as unidades estratigráficas distribuídas na área continental emersa das respectivas bacias separadas pela Zona de Cisalhamento de Pernambuco .....	108
Figura 68- Coluna estratigráfica para as Sub-Bacias de Olinda, Alhandra e Miriri....	110
Figura 69- Corte em área continental da Bacia Paraíba, descrita pela CPRM (1998), em área da Região Metropolitana do Recife .....	111
Figura 70- Mapa geológico de Cabedelo.....	113
Figura 71- Mapa geológico de Bayeux- PB.....	114
Figura 72- Mapa Geológico dos municípios com poços de monitoramento do Aquífero Beberibe- PB.....	115
Figura 73- Classificação iônica da água subterrânea do Aquífero Beberibe (cloretada sódica), Itamaracá (bicarbonatada) e misturas dos aquíferos (mistos). ....	116
Figura 74- Parte externa do poço de monitoramento em João Pessoa (Mangabeira II) – PB. ....	121

Figura 75- Parte externa do poço de monitoramento em João Pessoa (Conjunto José Vieira Diniz) - RN.....	123
Figura 76- Parte externa do poço de monitoramento em Cabedelo- PB.....	125
Figura 77- Parte externa do poço de monitoramento em Bayeux- PB .....	127
Figura 78- Tela inicial do HARTT.....	133
Figura 79- Tela do resultado da regressão .....	134
Figura 80- Análise dos resultados da regressão para Afonso Bezerra-RN .....	141
Figura 81- Evolução anual dos dados brutos da precipitação pluviométrica e do nível estático no poço monitorado em Afonso Bezerra-RN entre 2011 e 2018. ....	146
Figura 82- Evolução anual dos dados brutos da precipitação pluviométrica e do nível estático no poço monitorado em Afonso Bezerra-RN entre 2011 e 2018. ....	147
Figura 83- Evolução anual dos dados brutos da precipitação pluviométrica e do nível estático no poço monitorado em Apodi-RN entre 2011 e 2017 .....	151
Figura 84- Análise dos resultados da regressão para Açu-RN.....	152
Figura 85- Evolução anual dos dados brutos da precipitação pluviométrica e do nível estático no poço monitorado em Açu-RN entre 2011 e 2017 .....	156
Figura 86- Análise dos resultados da regressão para Jardim de Angicos-RN.....	157
Figura 87- Evolução anual dos dados brutos da precipitação pluviométrica e do nível estático no poço monitorado em Jardim de Angicos-RN em 2012, 2015, 2016 e 2017 .....	161
Figura 88- Análise dos resultados da regressão para Upanema-RN .....	162
Figura 89- Evolução anual dos dados brutos da precipitação pluviométrica e do nível estático no poço monitorado em Upanema-RN entre 2011 e 2018.....	164
Figura 90- Análise dos resultados da regressão para Caraúbas-RN .....	169
Figura 91- Evolução anual dos dados brutos da precipitação pluviométrica e do nível estático no poço monitorado em Caraúbas-RN entre 2012 e 2017.....	173
Figura 92- Análise dos resultados da regressão para Bayeux-PB .....	174
Figura 93- Evolução anual dos dados brutos da precipitação pluviométrica e do nível estático no poço monitorado em Bayeux- PB em 2011, 2012 e 2013.....	177
Figura 94- Análise dos resultados da regressão para Cabedelo- PB.....	178
Figura 95- Evolução anual dos dados brutos da precipitação pluviométrica e do nível estático no poço monitorado em Cabedelo- PB de 2011 a 2018. ....	182

Figura 96- Análise dos resultados da regressão para João Pessoa (Mangabeira II) – PB .....	183
Figura 97- Evolução anual dos dados brutos da precipitação pluviométrica e do nível estático no poço monitorado em João Pessoa- PB (Mangabeira II) em 2011, 2012, 2015, 2016, 2017 e 2018. ....	188
Figura 98- Análise dos resultados da regressão para João Pessoa (Conj. José Vieira Diniz) – PB. ....	189
Figura 99- Evolução anual dos dados brutos da precipitação pluviométrica e do nível estático no poço monitorado em João Pessoa- PB (Conj. José Vieira Diniz) em 2011, 2012, 2013, 2015, 2016, 2017 e 2018.....	191
Figura 100- Perfis litológicos dos poços em João Pessoa e Cabedelo com descrição detalhada pelos Quadros 34, 39 e 44. ....	196
Figura 101- Perfis litológicos dos poços no Rio Grande do Norte com descrição detalhada pelos Quadros 4, 9, 14, 19, 24 e 29.....	197
Figura 102- Relação para cada poço no Aquífero Açu entre Precipitação e Recarga; Precipitação e Flutuações dos Níveis D'água; Precipitações e Recargas Médias Anuais .....	206
Figura 103- Relação para cada poço no Aquífero Beberibe entre Precipitação e Recarga; Precipitação e Flutuações dos Níveis D'água; Precipitações e Recargas Médias Anuais.....	209

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Hidrograma de Afonso Bezerra. ....	143
Gráfico 2- Hidrograma de Apodi-RN. ....	149
Gráfico 3- Hidrograma de Açu-RN. ....	154
Gráfico 4- Hidrograma de Jardim de Angicos-RN. ....	159
Gráfico 5- Hidrograma de Upanema-RN. ....	164
Gráfico 6- Hidrograma de Caraúbas-RN. ....	170
Gráfico 7- Hidrograma de Bayeux-PB. ....	175
Gráfico 8- Hidrograma de Cabedelo- PB.....	179
Gráfico 9- Hidrograma de João Pessoa (Mangabeira II) – PB. ....	184
Gráfico 10- Hidrograma de João Pessoa (Conjunto José Vieira Diniz) – PB. ....	190
Gráfico 11- Volume total explorado/ano de água subterrânea em Bayeux- PB a partir de poços com outorgas. ....	211
Gráfico 12- Volume total explorado/ano de água subterrânea em Cabedelo- PB a partir de poços com outorgas. ....	212
Gráfico 13- Volume total explorado/ano de água subterrânea em João Pessoa- PB a partir de poços com outorgas. ....	213
Gráfico 14- Volume retirado do aquífero Beberibe- PB entre os anos de 2010 a 2017 por poços com outorga de uso. ....	214
Gráfico 15- Volume total explorado/ano de água subterrânea em Apodi- RN a partir de poços com outorgas. ....	215
Gráfico 16- Volume total explorado/ano de água subterrânea em Upanema-RN a partir de poços com outorgas. ....	216
Gráfico 17- Volume total explorado/ano de água subterrânea em Caraúbas-RN a partir de poços com outorgas. ....	217
Gráfico 18- Volume total explorado/ano de água subterrânea em Açu- RN a partir de poços com outorgas. ....	218
Gráfico 19- Volume total explorado/ano de água subterrânea em Afonso Bezerra-RN a partir de poços com outorgas. ....	219
Gráfico 20- Volume retirado do aquífero Açu- RN entre os anos de 2015 a 2022 por poços com outorga de uso. ....	220



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Dados gerais do poço tubular em Apodi- RN .....	75
Quadro 2 – Dados de localização do poço tubular em Apodi-RN .....	75
Quadro 3 – Dados da formação geológica do poço tubular em Apodi- RN.....	76
Quadro 4 – Dados litológicos do poço tubular em Apodi-RN .....	76
Quadro 5 – Dados hidrogeológicos do poço tubular em Apodi-RN .....	76
Quadro 6 – Dados gerais do poço tubular em Caraúbas- RN.....	77
Quadro 7 – Dados de localização do poço tubular em Caraúbas-RN.....	77
Quadro 8 – Dados da formação geológica do poço tubular em Caraúbas- RN .....	77
Quadro 9 – Dados litológicos do poço tubular em Caraúbas-RN.....	78
Quadro 10 – Dados hidrogeológicos do poço tubular em Caraúbas-RN.....	78
Quadro 11 – Dados gerais do poço tubular em Upanema- RN.....	79
Quadro 12 – Dados de localização do poço tubular em Upanema-RN.....	79
Quadro 13 – Dados da formação geológica do poço tubular em Upanema- RN .....	79
Quadro 14 – Dados litológicos do poço tubular em Upanema-RN.....	79
Quadro 15 – Dados hidrogeológicos do poço tubular em Upanema-RN.....	80
Quadro 16 – Dados gerais do poço tubular em Açu- RN .....	80
Quadro 17 – Dados de localização do poço tubular em Açu-RN .....	80
Quadro 18 – Dados da formação geológica do poço tubular em Açu- RN.....	81
Quadro 19 – Dados litológicos do poço tubular em Açu-RN .....	81
Quadro 20 – Dados hidrogeológicos do poço tubular em Açu-RN.....	82
Quadro 21 – Dados gerais do poço tubular em Afonso Bezerra- RN.....	82
Quadro 22 – Dados de localização do poço tubular em Afonso Bezerra-RN.....	82
Quadro 23 – Dados da formação geológica do poço tubular em Afonso Bezerra- RN .....	83

Quadro 24 – Dados litológicos do poço tubular em Afonso Bezerra-RN.....	83
Quadro 25 – Dados hidrogeológicos do poço tubular em Afonso Bezerra-RN .....	84
Quadro 26 – Dados gerais do poço tubular em Jardim de Angicos- RN .....	85
Quadro 27 – Dados de localização do poço tubular em Jardim de Angicos-RN .....	85
Quadro 28 – Dados da formação geológica do poço tubular em Jardim de Angicos- RN .....	85
Quadro 29 – Dados litológicos do poço tubular em Jardim de Angicos-RN .....	85
Quadro 30 – Dados hidrogeológicos do poço tubular em Jardim de Angicos-RN.....	86
Quadro 31- Dados gerais do poço tubular em João Pessoa-PB (Poço Mangabeira II) .....	120
Quadro 32- Dados de localização do poço tubular em João Pessoa-PB (Poço Mangabeira II) .....	120
Quadro 33- Dados da formação geológica do poço tubular em João Pessoa-PB (Poço Mangabeira II) .....	120
Quadro 34- Dados litológicos do poço tubular em João Pessoa (Poço Mangabeira II) .....	120
Quadro 35- Dados hidrogeológicos do poço tubular em João Pessoa-PB (Poço Mangabeira II) .....	121
Quadro 36- Dados gerais do poço tubular em João Pessoa-PB (Poço Conj. José Vieira Diniz) .....	122
Quadro 37- Dados de localização do poço tubular em João Pessoa-PB (Poço Conj. José Vieira Diniz) .....	122
Quadro 38- Dados da formação geológica do poço tubular em João Pessoa-PB (Poço Conj. José Vieira Diniz) .....	122
Quadro 39- Dados litológicos do poço tubular em João Pessoa- PB (Poço Conj. José Vieira Diniz) .....	122
Quadro 40- Dados hidrogeológicos do poço tubular em João Pessoa-PB (Poço Conj. José Vieira Diniz) .....	123

Quadro 41- Dados gerais do poço tubular em Cabedelo- PB .....	123
Quadro 42- Dados de localização do poço tubular em Cabedelo-PB .....	123
Quadro 43- Dados da formação geológica do poço tubular em Cabedelo-PB .....	124
Quadro 44- Dados litológicos do poço tubular em Cabedelo-PB .....	124
Quadro 45- Dados hidrogeológicos do poço tubular em Cabedelo-PB .....	125
Quadro 46- Dados gerais do poço tubular em Bayeux- PB.....	125
Quadro 47- Dados de localização do poço tubular em Bayeux-PB.....	126
Quadro 48- Dados da formação geológica do poço tubular em Bayeux-PB .....	126
Quadro 49- Dados litológicos do poço tubular em Bayeux-PB.....	126
Quadro 50- Dados hidrogeológicos do poço tubular em Bayeux-PB .....	126

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros hidráulicos de poços tubulares do Aquífero Açu .....	68
Tabela 2 – Profundidade do topo calcário e do Beberibe próximo à linha da costa nos bairros do Bessa, Manaíra e Cabo Branco (João Pessoa) e na cidade de Cabedelo .....	117
Tabela 3 – Médias dos parâmetros e características dos poços perfurados nos aquíferos do Domínio Bacia PE-PB .....	119
Tabela 4- Poços estudados.....	136
Tabela 5- Rendimento específico ( $S_y$ ) de cada aquífero .....	137
Tabela 6- Estatísticas dos ajustes do modelo HARTT para o poço de monitoramento em Afonso Bezerra- RN .....	142
Tabela 7- Estatísticas dos ajustes do modelo HARTT para o poço de monitoramento em Apodi- RN.....	148
Tabela 8- Estatísticas dos ajustes do modelo HARTT para o poço de monitoramento em Açu- RN.....	153
Tabela 9- Estatísticas dos ajustes do modelo HARTT para o poço de monitoramento em Jardim de Angicos- RN.....	158
Tabela 10- Estatísticas dos ajustes do modelo HARTT para o poço de monitoramento em Upanema- RN .....	162
Tabela 11- Estatísticas dos ajustes do modelo HARTT para o poço de monitoramento em Caraúbas- RN .....	169
Tabela 12- Estatísticas dos ajustes do modelo HARTT para o poço de monitoramento em Bayeux- PB .....	174
Tabela 13- Estatísticas dos ajustes do modelo HARTT para o poço de monitoramento em Cabedelo- PB .....	178

Tabela 14- Estatísticas dos ajustes do modelo HARTT para o poço de monitoramento em João Pessoa (Mangabeira II) - PB .....	183
Tabela 15- Estatísticas dos ajustes do modelo HARTT para o poço de monitoramento em João Pessoa- (Conjunto José Vieira Diniz) - PB .....	189
Tabela 16- Estatísticas dos ajustes do modelo HARTT para os 10 poços de monitoramento com as médias do $R^2$ , melhor atraso e intercepto dos aquíferos Açu e Beberibe .....	195
Tabela 17- Recarga Anual dos Aquíferos Açu- RN e Beberibe-PB através do Método VNA. Precipitação anual - P (mm), Recargas - R (mm) para um $\Delta t= 1$ ano, variação do nível anual (m), nível máximo anual (usado para calcular a recarga) (m), declínio do nível anual (m) e $S_y = 0,02$ e $S_y = 0,1$ ) .....	200
Tabela 18- Volumes totais retirados anuais de Bayeux- PB.....	210
Tabela 19- Volumes totais retirados anuais de Cabedelo- PB .....	210
Tabela 20- Volumes totais retirados anuais de João Pessoa- PB.....	210
Tabela 21- Volumes retirados por ano no aquífero Beberibe- PB .....	213
Tabela 22- Volumes totais retirados anuais de Apodi- RN .....	214
Tabela 23- Volumes totais retirados anuais de Upanema- RN.....	215
Tabela 24- Volumes totais retirados anuais de Caraúbas- RN.....	216
Tabela 25- Volumes totais retirados anuais de Açu- RN.....	217
Tabela 26- Volumes totais retirados anuais de Afonso Bezerra- RN .....	218
Tabela 27- Volumes retirados por ano no aquífero Açu .....	220

## LISTA DE SIGLAS

AARR	–	Accumulated Annual Residual Rainfall
AESA	–	Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
AMRR	–	Accumulated Monthly Residual Rainfall
ANA	–	Agência Nacional de Águas
BSP	–	Bacia Sedimentar Paraíba
CAD	–	Capacidade de campo
CAGEPA	–	Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
CDFM	–	Cumulative Deviation from the Mean
CPRM	–	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
EMPARN	–	Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte S/A
ENOS	–	El Niño/La Niña e Oscilação Sul
ET	–	Evapotranspiração
ETo	–	Evapotranspiração de Transferência
ETP	–	Evapotranspiração Potencial
EV	–	Evapotranspiração na Superfície
HARTT	–	Hydrograph Analysis: Rainfall and Time Trend
HN	–	Hemisfério Norte
IBGE	–	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGARN	–	Instituto de Gestão das Águas do Rio Grande do Norte
INMET	–	Instituto Nacional de Meteorologia
IPT	–	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de SP
L	–	Leste
N	–	Norte
NE	–	Nordeste
NEB	–	Nordeste Brasileiro
NW	–	Noroeste
PB	–	Paraíba
PE	–	Pernambuco
POA	–	Perturbações Ondulatórias no Campo dos Alísios
PVC	–	Policloreto de Vinila
QGIS	–	Quantum Geographic Information System

RAPM	–	Resíduo Acumulado de Precipitação Mensal
RIMAS	–	Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas
S	–	Sul
SE	–	Sudeste
SEVs	–	Sondagens Elétricas Verticais
SUDENE	–	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
SW	–	Sudoeste
UFRN	–	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
VCAN	–	Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis
VNA	–	Variação do Nível de Água
W	–	Oeste
ZCIT	–	Zona de Convergência Intertropical
ZCPE	–	Zona de Cisalhamento Pernambuco

## SUMÁRIO

LISTA DE EQUAÇÕES.....	IX
LISTA DE FIGURAS.....	X
LISTA DE GRÁFICOS.....	XV
LISTA DE QUADROS.....	XVI
LISTA DE TABELAS.....	XIXIX
LISTA DE SIGLAS.....	XXII
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>26</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>28</b>
2.1 Objetivo Geral.....	28
2.2 Objetivos Específicos.....	28
<b>3. JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>29</b>
<b>4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>30</b>
<b>4.1 Contextualização da área de ocorrência do Aquífero Açú- RN.....</b>	<b>30</b>
4.1.1 Climatologia e aspectos fisiográficos regionais.....	30
4.1.2 Climatologia e aspectos fisiográficos locais.....	35
4.1.3.1 Embasamento Cristalino.....	49
4.1.3.2. Bacia Potiguar.....	51
4.1.3.2.1 Arcabouço estrutural da Bacia Potiguar.....	52
4.1.3.2.2 Estágios tectônicos da Bacia Potiguar.....	53
4.1.3.2.3 Estratigrafia da Bacia Potiguar.....	54
4.1.4. Geologia Local.....	56
4.1.5 Hidrogeologia do Aquífero Açú.....	65
4.1.5.1 Parâmetros Hidrodinâmicos do Aquífero Açú.....	68
4.1.5.1.1 Transmissividade.....	70
4.1.5.1.2 Condutividade Hidráulica.....	70
4.1.5.1.3 Gradiente Hidráulico.....	71
4.1.5.2 Recarga e Potencialidade.....	72



4.1.6	Aquífero Açú na área de estudo.....	75
4.1.6.1	Poços tubulares de monitoramento na área de estudo .....	75
<b>4.2</b>	<b>Contextualização da área de ocorrência do Aquífero Beberibe- PB.....</b>	<b>86</b>
4.2.2	Climatologia e aspectos fisiográficos locais .....	94
4.2.3	Geologia Regional.....	100
4.2.3.1	Bacia Paraíba .....	100
4.2.3.1.1	Feições estruturais da Bacia Paraíba .....	104
4.2.3.1.2	Litoestratigrafia da Bacia Sedimentar Paraíba .....	107
4.2.4	Geologia Local.....	112
4.2.5	Hidrogeologia do aquífero Beberibe .....	116
4.2.6	Aquífero Beberibe na área de estudo .....	119
<b>5.</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>128</b>
<b>5.1</b>	<b>Modelo HARTT (Hydrograph Analysis: Rainfall and Time Trends.....</b>	<b>129</b>
5.1.1	Usando o HARTT-XLS .....	131
<b>5.2</b>	<b>Relação entre a precipitação e a recarga anual das águas subterrâneas utilizando o método VNA.....</b>	<b>135</b>
5.2.1	Método VNA (Variação do Nível de Água) .....	135
<b>5.3</b>	<b>Estimativa do volume retirado por ano nos aquíferos.....</b>	<b>138</b>
5.3.1	Aquífero Beberibe- PB.....	138
5.3.2	Aquífero Açú- RN.....	139
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>141</b>
<b>6.1.</b>	<b>Análise estatística dos hidrogramas gerados pelo HARTT e gráficos da evolução mensal do nível estático e da precipitação pluviométrica em um período monitorado .....</b>	<b>141</b>
<b>6.2</b>	<b>Comparação dos valores estatísticos gerados pelos ajustes do modelo HARTT e da influência da geologia local para os poços de monitoramento do litoral paraibano e os do semiárido potiguar.....</b>	<b>194</b>
<b>6.3</b>	<b>Recarga anual .....</b>	<b>200</b>
6.3.1	Método VNA .....	200
<b>6.4</b>	<b>Volume retirado por ano nos aquíferos Beberibe- PB e Açú- RN .....</b>	<b>210</b>
6.4.1	Aquífero Beberibe- PB.....	210

6.4.2 Aquífero Açú- RN .....	214
<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>221</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>223</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A Hidrogeologia é a área das Geociências que estuda as águas subterrâneas quanto ao seu movimento, volume, distribuição e qualidade. Por meio da hidrogeologia é possível verificar a produtividade dos poços, a recarga do aquífero e outras informações necessárias ao bom aproveitamento e proteção dos recursos subterrâneos (DANTAS, 2012).

Adicionalmente, a Hidrogeologia está presente no planejamento, na gestão dos recursos hídricos e, de forma ampla, nas ciências ambientais. A quantificação da água nas diferentes fases do ciclo, assim como a caracterização de seu estado de conservação permite indiretamente o acesso às condições e à preservação de outros recursos naturais, como os solos, as florestas, os campos de cultivo, o ar, o meio ambiente e biotas marinhos, onde a água serve como elemento de sustentação dos ecossistemas, do transporte e manutenção de nutrientes e de cargas poluidoras (FETTER, 1994).

O conhecimento sobre a ocorrência de águas subterrâneas assume um papel muito importante, o que torna essencial a avaliação de suas potencialidades e qualidade das águas, tendo em vista o seu aproveitamento da forma mais racional possível, sem riscos de sobretiragem e de conflitos ambientais, ou seja, em condições de sustentabilidade (STEIN, 2003).

Visando contribuir para o melhor conhecimento científico das águas subterrâneas na região Nordeste, caracterizada, em sua maior parte, pela escassez de águas superficiais, o presente trabalho tem como proposta o monitoramento quantitativo de dois aquíferos localizados em contextos climáticos distintos: o Aquífero Beberibe (na região litorânea, sob clima úmido, no Estado da Paraíba) e o Aquífero Açu (na região semiárida do Estado do Rio Grande do Norte).

O Aquífero Açu, situado numa região semiárida, principalmente do estado do Rio Grande do Norte, com precipitações pluviométricas na ordem de 798,2 mm anuais, é formado geologicamente por arenitos com intercalações argilosas, apresentando-se sob a forma de aquífero livre com a ocorrência de semiconfinamentos localizados. Suas águas são utilizadas tanto no abastecimento humano como na irrigação (STEIN; MELO, 2006).

O Aquífero Beberibe, localizado no domínio da Bacia Sedimentar Pernambuco-Paraíba, na região litorânea, assim como os outros aquíferos que fazem parte das

formações dessa bacia, é dotado de porosidade e permeabilidade variando de boa a moderada. Na sua maior parte, ocorre como um aquífero confinado drenante, com forte anisotropia e permeabilidade vertical menor em relação à horizontal. Constitui o principal manancial hídrico subterrâneo da Região Metropolitana do Recife-PE e da Região Metropolitana de João Pessoa-PB, e vem sendo amplamente utilizado no abastecimento das populações dos municípios, além de suprir a necessidade de água os seus parques industriais e recreativos. (DANTAS, 2012).

Os dados de monitoramento na dinâmica dos aquíferos permitirão identificar as variações sazonais destes e servirão, ao longo do tempo, para melhor definir as vazões explotáveis de segurança a serem adotadas em cada reservatório. Isso ocorre em sintonia com as restrições ambientais dos órgãos fiscalizadores, já que a exploração das águas subterrâneas de forma descontrolada pode levar a condições indesejadas de preservação dos aquíferos.

Dados de monitoramento revelam padrões temporais, distribuições espaciais, variações ao longo do tempo e podem ser analisados a partir da aplicação de modelos que irão simular e prever o comportamento dos sistemas hidrogeológicos, além de quantificar a precisão esperada nessas previsões. Na hidrogeologia, essas aplicações buscam modelar o fluxo e o transporte em meios porosos e fraturados (MANZIONE, 2018).

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Avaliação dos efeitos do clima e da sazonalidade no processo de oscilação dos níveis das águas nos Aquíferos Beberibe e Açu, com o propósito de embasar os procedimentos e as diretrizes necessárias para aperfeiçoar o sistema de planejamento e gestão integrada dos recursos hídricos nas regiões compreendidas como objeto de pesquisa.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Investigar os Aquíferos Açu (RN) e Beberibe (PB) e obter dados para a modelagem da dinâmica desses reservatórios, por meio do monitoramento quantitativo das águas;
- Explicar, a partir do modelo autorregressivo HARTT (Hydrograph Analysis: Rainfall and Time Trend), as oscilações dos níveis freáticos utilizando o histórico dos níveis dos poços estudados;
- Colher dados das formações aquíferas, para agregar conhecimentos que sirvam de direcionamento nos trabalhos de perfuração de poços, no sentido de cooperar com a exploração e preservação adequada das águas subterrâneas;
- Subsidiar os conhecimentos sobre estes aquíferos, em termos de definição de modelos conceituais, distribuição, disponibilidades hídricas e sustentabilidade de sua exploração;

### 3. JUSTIFICATIVA

O Brasil é o país com maior disponibilidade de recursos hídricos superficiais, mas a distribuição de água nas suas regiões é desigual. Nesse caso, o conhecimento sobre a ocorrência de águas subterrâneas desempenha, cada vez mais, um papel relevante no desenvolvimento socioeconômico do país. E, para que se possa gerenciar bem este valioso recurso, são necessárias informações confiáveis e representativas como uma avaliação de suas reservas, para o aproveitamento de forma racionalizada e sustentável.

A primeira área em apreço, o Aquífero Açu, está situada no domínio do semiárido nordestino, numa região marcada pela escassez de recursos hídricos e com limitação de uso tanto em termos quantitativos como qualitativos. No entanto, desempenha um papel essencial para o desenvolvimento e abastecimento dos municípios dessa região. A segunda área investigada, o Aquífero Beberibe na Bacia Paraíba, está inserida no litoral de clima úmido, onde existe uma boa oferta de chuvas e, atualmente, serve de maneira complementar no abastecimento público da região metropolitana de João Pessoa.

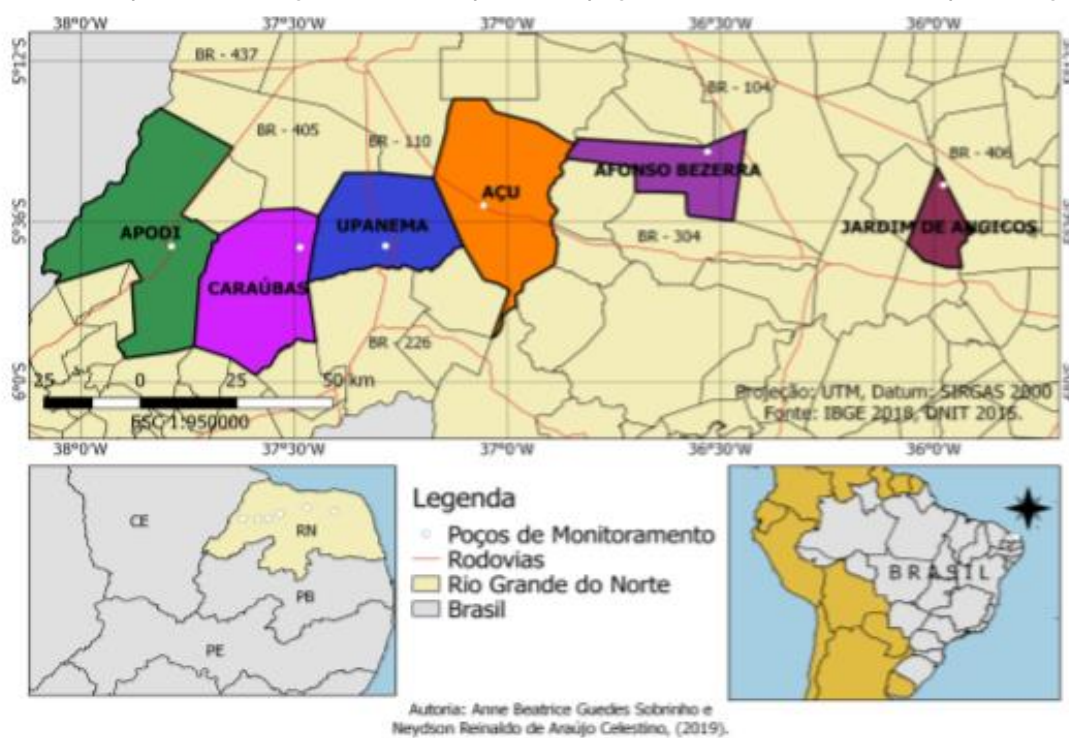
Diante disso, este trabalho é apresentado com a perspectiva de aumentar o conhecimento hidrogeológico desses aquíferos, fazendo uma analogia entre ambos por meio da aplicação de *software* e alguns métodos de monitoramento quantitativo, a fim de contribuir com o gerenciamento e conservação das águas subterrâneas nestes aquíferos reconhecidamente portadores de potencialidades hídricas importantes.

## 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 Contextualização da área de ocorrência do Aquífero Açú- RN

Na Figura 1 pode-se observar o mapa de localização dos municípios em estudo com poços de monitoramento no aquífero Açú – RN. A área de estudo está situada numa região semiárida, onde as condições climáticas favorecem a escassez de água tanto superficial quanto subterrânea, de um modo geral.

Figura 1 – Mapa de localização dos municípios com poços de monitoramento no aquífero Açú- RN.



Fonte: Apud SOBRINHO; STEIN, 2020.

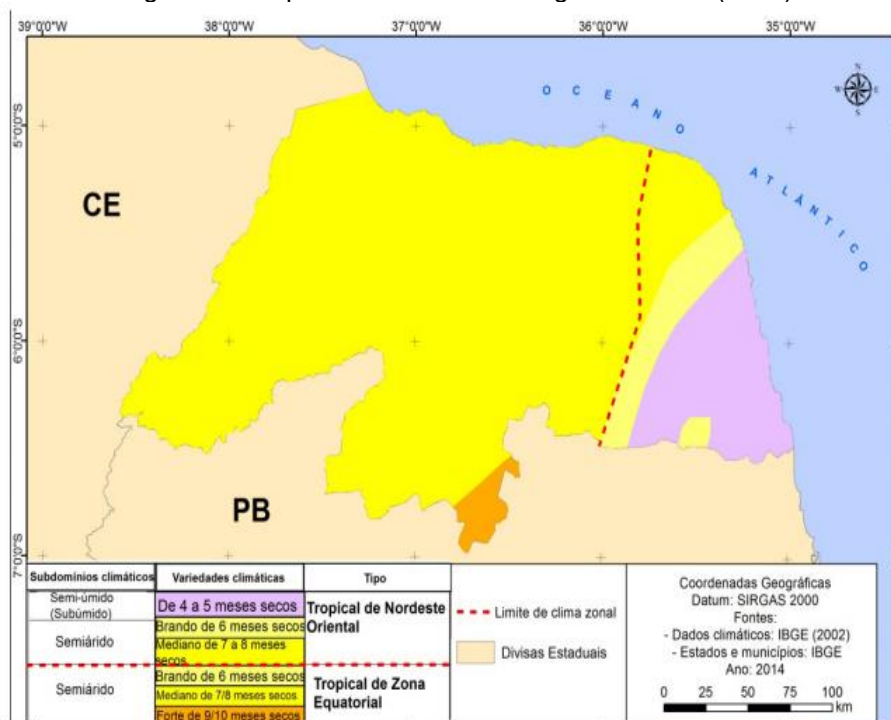
#### 4.1.1 Climatologia e aspectos fisiográficos regionais

Para o estudo e compreensão do clima do Rio Grande do Norte, o mapeamento de Nimer (1977) em conjunto com a equipe do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) propuseram um modelo metodológico de classificação de climas baseado na “necessidade de conjugar métodos tradicionais a métodos dinâmicos”, ou

seja, levando em considerações as normais do clima em conjunção com uma classificação genético-dinâmica de climas zonais e regionais (IBGE, 2002).

A Figura 2 divide o estado do Rio Grande do Norte em subdomínios climáticos segundo o modelo proposto por Nímer (1977):

Figura 2 – Mapa de climas do RN segundo Nímer (1979).



Fonte: MELO *et al.*, 2009.

Conforme Molion e Bernardo (2002), os mecanismos dinâmicos que produzem chuvas no Nordeste do Brasil podem ser classificados em mecanismos de grande escala, mesoescala e microescala, sendo os primeiros responsáveis pela maior parte da precipitação observada no Rio Grande do Norte (RN).

De acordo com Melo *et al.* (2009, p. 26), no Rio Grande do Norte, o único sistema de grande escala responsável por precipitações pluviométricas é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), uma vez que frentes frias não ocorrem em território potiguar.

A atuação da ZCIT no RN é responsável pela maior parte da precipitação registrada no primeiro semestre do ano. Na área do Clima Tropical de Zona Equatorial a ZCIT é responsável pela maior parte das chuvas registradas, sendo o quadrimestre mais chuvoso de fevereiro a maio. Na área do Clima Tropical do Nordeste Oriental, junto



à ZCIT, os sistemas de mesoescala também têm papel relevante nos totais pluviométricos anuais (MELO *et al.* 2009).

Um sistema atmosférico de mesoescala é o segundo em importância nos totais de precipitação pluviométrica no RN, são as Perturbações Ondulatórias no Campo dos Alísios (POA) que ocorrem graças à penetração profunda de sistemas frontais do Hemisfério Norte (HN), em latitudes equatoriais. As POA se propagam para oeste, cruzam o Equador, mas não se desenvolvem sobre o oceano. Porém, geralmente se intensificam quando chegam à costa devido ao aumento de convergência de umidade e ao contraste térmico continente-oceano (MOLION; BERNARDO, 2002).

As POA são fenômenos que ocorrem entre março e maio, quando originárias da África e entre junho e agosto quando provenientes do Atlântico Sul. Em caso de associação entre POA e brisa marítima, chegam a penetrar 300 km para o interior do continente, levando chuvas até a Borborema Potiguar ou, até mesmo, nos outros planaltos interiores (MACHADO *et al.*, 2009).

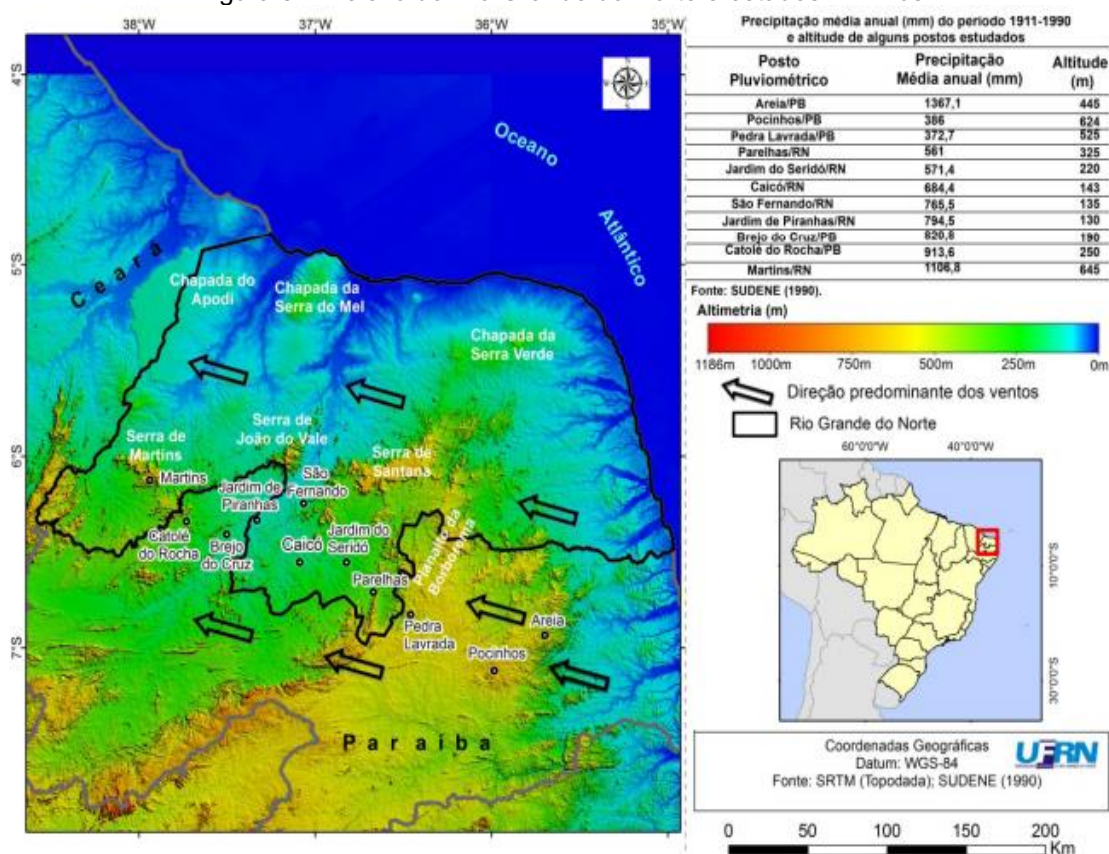
Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) também atingem o RN, mas podem produzir chuva em qualquer parte do estado conforme sua posição, que é variável. Esses fenômenos se formam no Atlântico, mas avançam por todo interior do Nordeste produzindo nuvens de chuva em sua periferia e subsidiando ar seco em seu centro, formando localmente e de forma temporária, áreas de altas pressões (MOLION; BERNARDO, 2002).

Um sistema de mesoescala que tem considerável importância na elevação dos totais pluviométricos no litoral oriental e na inibição de chuvas no litoral setentrional do estado são as brisas marinhas e terrestres. Essas podem levar as chuvas até 300 km para o interior do estado (DINIZ, 2013).

Dentre os mecanismos de microescala, as circulações orográficas também têm papel de destaque na distribuição da precipitação média anual no Rio Grande do Norte. Esses mecanismos são diretamente controlados por dois fatores geográficos do clima: o relevo (e sua posição em relação aos ventos predominantes) e a altitude. Os principais planaltos do Rio Grande do Norte, apesar da sua modesta altitude, têm papel decisivo no aumento ou diminuição nos totais pluviométricos do estado (MOLION; BERNARDO, 2002).

Das principais formas planálticas a maior é o Planalto da Borborema, que se estende além do RN pelos estados da Paraíba, Pernambuco e Alagoas. Particularmente, essa feição e alguns maciços a ela associados no estado Paraibano têm contribuição significativa para a compreensão da distribuição dos totais pluviométricos mensais registrados no interior do Rio Grande do Norte (MOLION; BERNARDO, 2002). A Figura 3 mostra a relação do relevo com as precipitações para o estado do Rio Grande do Norte e os estados vizinhos.

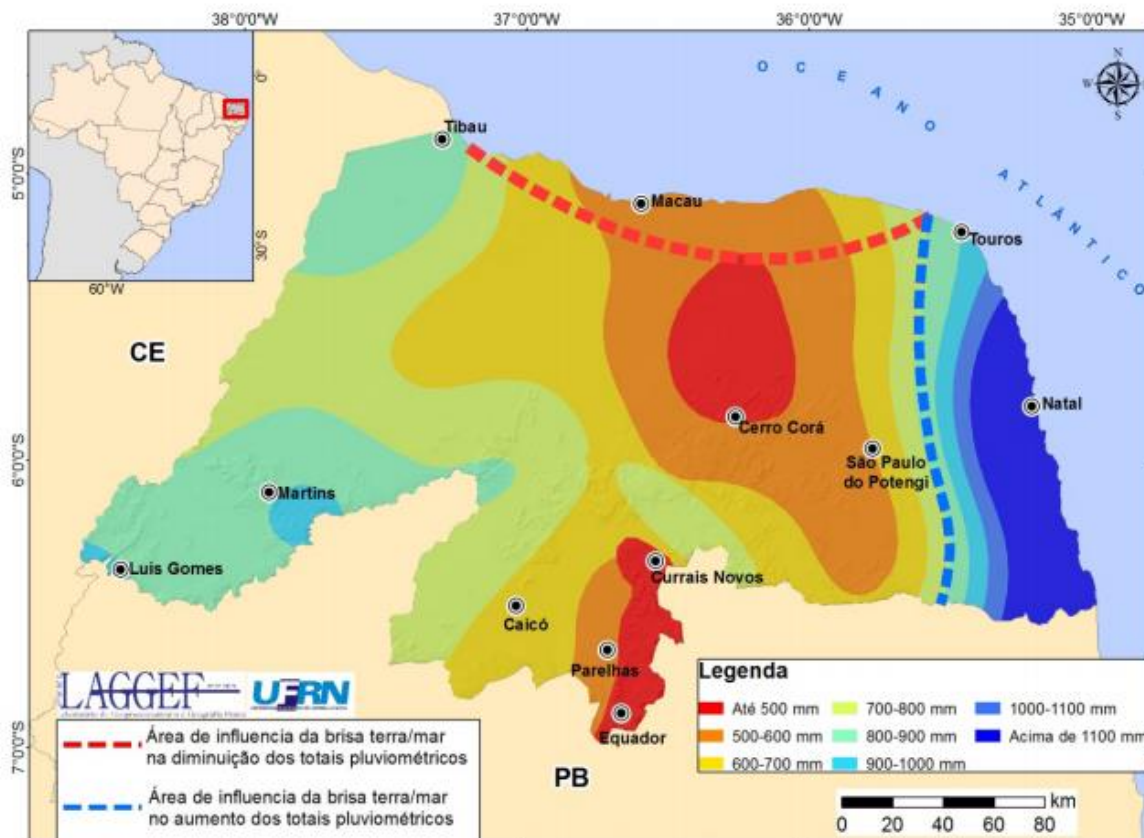
Figura 3 – Relevo do Rio Grande do Norte e estados vizinhos.



Fonte: (DINIZ; PEREIRA, 2015).

As médias pluviométricas do estado tendem a ser mais elevadas na parte oriental, conforme a Figura 4, por influência da maritimidade e de sua posição frontal à rota de migração dos sistemas causadores de chuvas, que provêm de leste como a ZCIT e as POA. A porção mais a sudoeste do estado tem seus totais médios elevados pela presença de maiores altitudes, como nas serras de Martins (1106,8 mm/ano) e Luiz Gomes (929,6 mm/ano) (DINIZ; PEREIRA, 2015).

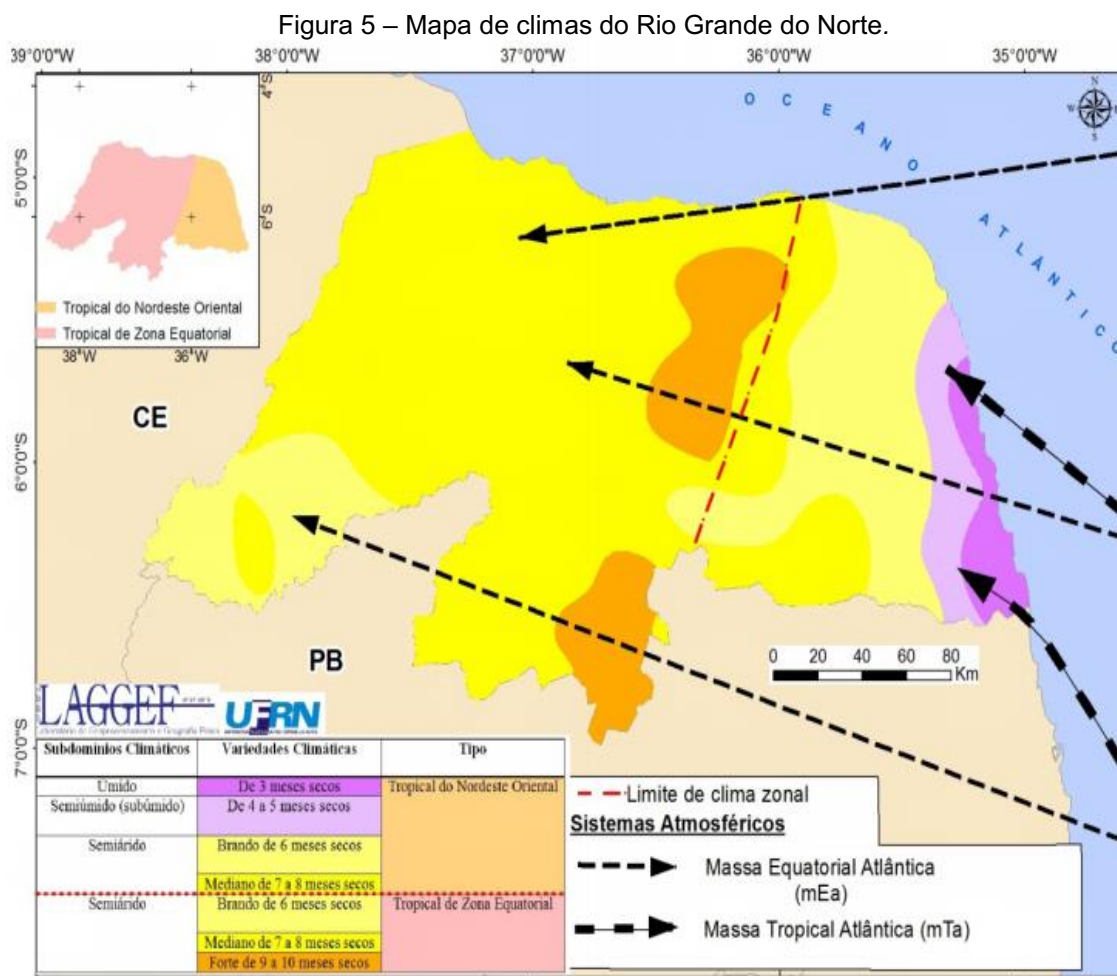
Figura 4 – Mapa delimitando as regiões do RN por volume de precipitação.



Fonte: (DINIZ; PEREIRA, 2015)

O litoral setentrional do estado é o trecho mais seco de toda a costa brasileira, com média pluviométrica de 537,6 mm/ano em Macau. Os totais médios tendem a crescer à medida que se afasta da porção côncava central das proximidades de Macau, que tem suas médias pluviométricas diminuídas pelos fenômenos das brisas terrestre e marinha, se prolongando para região central do estado, numa área a sota-vento da Borborema e da Serra de Santana, onde são registrados 400,8 mm/ano no Sítio Recanto em Cerro Corá (SUDENE, 1990).

Na figura 5, podem ser visualizados os dois tipos climáticos do Rio Grande do Norte: Tropical do Nordeste Oriental e Tropical de Zona Equatorial.



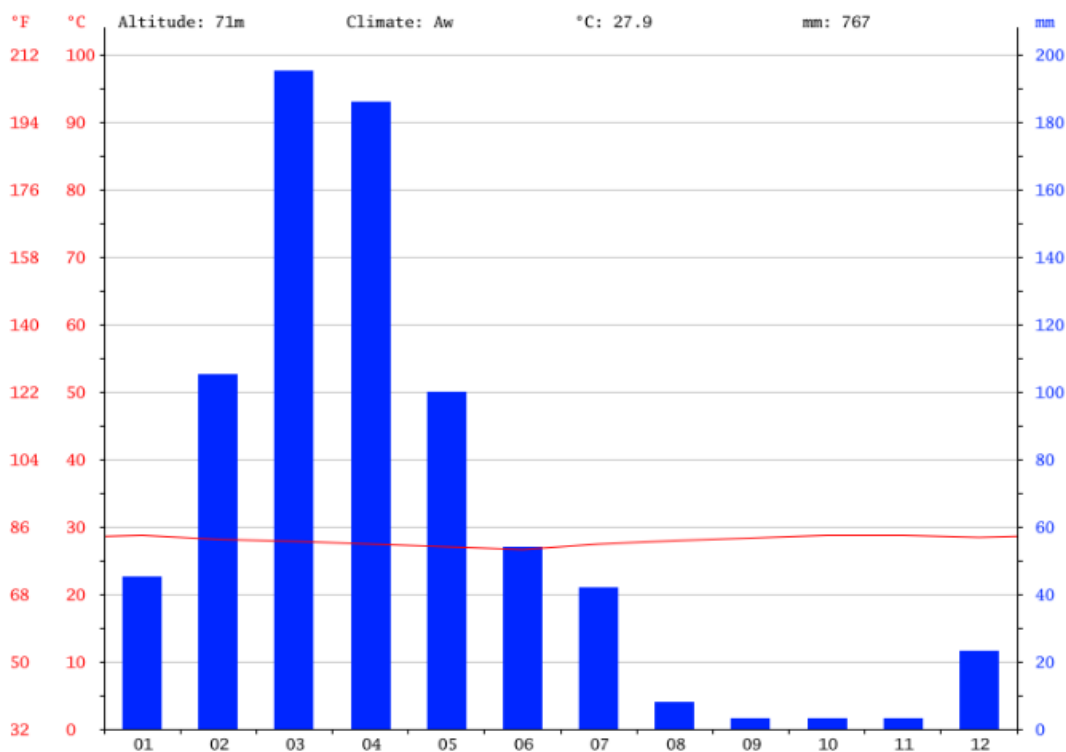
Fonte: (DINIZ; PEREIRA, 2015).

#### 4.1.2 Climatologia e aspectos fisiográficos locais

##### ➤ Apodi- RN

De acordo com o CLIMATE-DATA.ORG, Apodi tem um clima tropical, chove muito mais no verão do que no inverno, a temperatura média é 27.9°C e a pluviosidade média anual é 767 mm. O mês mais seco é setembro, com 3 mm e o mês de maior precipitação é março, com uma média de 195 mm. A diferença de precipitação entre o mês mais seco e o mês mais chuvoso é de 192 mm. As temperaturas médias variam 2.1°C durante o ano, sendo janeiro o mês mais quente com uma temperatura média de 28.7°C. Junho tem uma temperatura média de 26.6°C, que durante o ano é a temperatura média mais baixa. As Figuras 6 e 7 revelam a temperatura e precipitação para Apodi-RN ao longo do ano.

Figura 6– Temperaturas e precipitações médias durante o ano em Apodi-RN.



Fonte: CLIMATE-DATA.ORG, 2019.

Figura 7 – Dados climatológicos de Apodi- RN.

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Temperatura média (°C)	28.7	28.1	27.8	27.4	27	26.6	27.4	27.9	28.3	28.7	28.7	28.4
Temperatura mínima (°C)	23.3	23.3	23.4	23	22.4	21.8	22.2	21.9	22	22.4	23	23
Temperatura máxima (°C)	34.1	33	32.2	31.9	31.7	31.4	32.6	34	34.7	35.1	34.4	33.9
Chuva (mm)	45	105	195	186	100	54	42	8	3	3	3	23

Fonte: CLIMATE-DATA.ORG, 2019.

Apodi apresenta grande uniformidade do ponto de vista topográfico. O relevo é plano com declividade dominante inferior a 2%, observando-se pequenas áreas ligeiramente deprimidas com variação nas condições da morfologia geral. As condições do relevo são amplamente favoráveis à mecanização agrícola e à irrigação por gravidade. A ocorrência de áreas com relevo subcôncavo, característica de terrenos desenvolvidos sobre materiais calcários, constitui condicionante em relação à

drenagem, já que na maioria dos casos conformam depressões fechadas que acumulam água na estação chuvosa (PINTO FILHO *et al.*, 2008).

De acordo com Petta *et al.* (2007), as principais formas de relevo do município são descritas a seguir:

- **Depressão Sertaneja** – São os terrenos baixos situados entre as partes mais altas da Chapada do Apodi e caracterizam-se por um relevo predominantemente tabular, algumas vezes com formas convexas ou aguçadas (maciços e inselbergues).
- **Chapada do Apodi** – É uma formação predominantemente plana ou suavemente ondulada, estruturada em geologia cárstica, localizada na divisa entre os estados do Rio Grande do Norte e do Ceará. No Estado do Rio Grande do Norte está distribuída em quatro municípios: Apodi, Baraúna, Felipe Guerra e Governador Dix-Sept Rosado.
- **Planícies Aluviais** – São terrenos baixos e planos, situados às margens do rio Apodi, conhecidos também como o Vale do Apodi.
- **Superfícies planas a suavemente onduladas** – São os terrenos com declividade variando de plano a suavemente ondulada, sobrepostos à formação Arenito-Açu.

No município de Apodi/RN se configuram duas formações vegetais principais: a caatinga hiperxerófila e a floresta ciliar de carnaúba. A caatinga hiperxerófila ocorre em áreas que se apresentam secas de sete a dez meses por ano, o que abrange grande parte do município. Verifica-se, a leste do município, uma pequena região, não considerada neste estudo, de caatinga mais densa e árvores de porte mais elevado, referente à caatinga hipoxerófila (PINTO FILHO *et al.*, 2008).

A floresta ciliar de carnaúba está presente nas baixadas mais úmidas e várzeas do rio Apodi e da lagoa do Apodi. A carnaúba é a espécie predominante. Essa formação caracteriza-se por uma vegetação bastante compacta e de difícil penetração, tanto pelas condições do terreno, muitas vezes alagado, como pela proximidade de palmeiras novas e de outras espécies vegetais de menor porte. Durante a estação de seca, a principal fonte de água é o lençol freático (PINTO FILHO *et al.*, 2008).

O município de Apodi/RN está localizado na bacia hidrográfica do rio Apodi/Mossoró, que se caracteriza por apresentar uma fluviometria de caráter

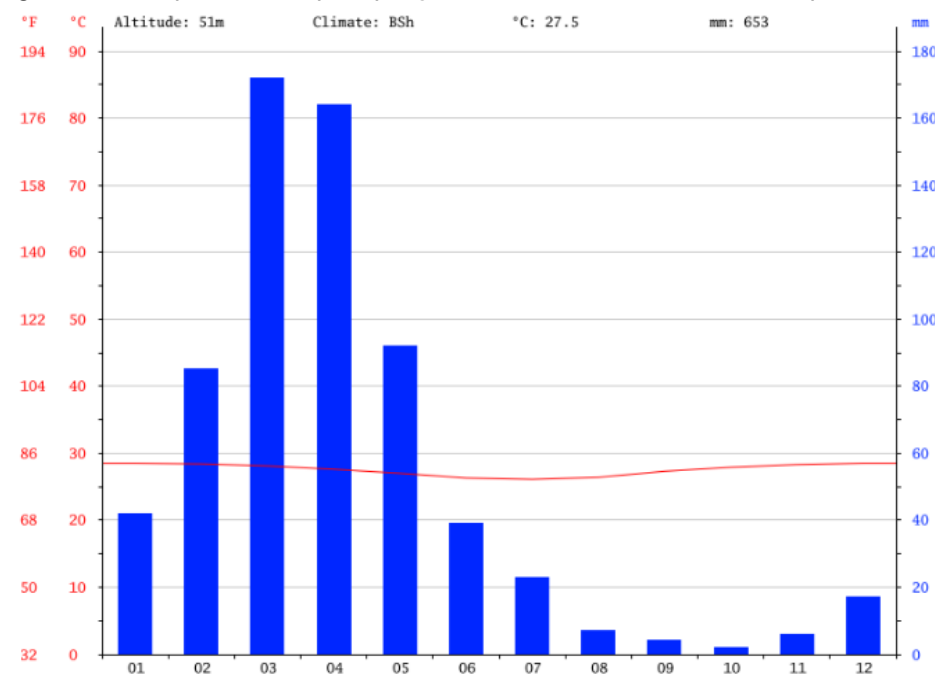
intermitente, com grandes picos de cheias nos períodos chuvosos. Esses recursos hídricos podem ser divididos em superficiais e subterrâneos. Em relação aos superficiais, os de maior destaque são: o rio Apodi, a Barragem de Santa Cruz e a lagoa de Apodi (SEMARH, 1998).

A bacia do rio Apodi é a segunda maior bacia hidrográfica do Estado, ocupando uma área de 14.271 km<sup>2</sup>. O rio Apodi é o recurso hídrico de maior porte na região Oeste Potiguar, sendo o fator natural que diferencia os municípios em toda a sua área aluvial, tanto pela qualidade de suas terras quanto pelo potencial produtivo já implantado (SEMARH, 1998).

➤ Upanema- RN

Segundo o CLIMATE-DATA.ORG, em Upanema o clima prevalecente é conhecido como o de estepe local. O ano tem pouca pluviosidade, sendo a média anual de 653 mm. A temperatura média anual é 27.5°C. A diferença de precipitação entre o mês mais seco e o mês mais chuvoso é de 170 mm. As temperaturas médias, durante o ano, variam 2.4°C. O mês mais seco é outubro e tem 2 mm de precipitação. Com uma média de 172 mm, o mês de março é o de maior precipitação. Janeiro é o mês mais quente do ano, com uma temperatura média de 28.5°C. Em julho, a temperatura média é 26.1°C, sendo, portanto, a temperatura média mais baixa de todo o ano. As Figuras 8 e 9 mostram os valores de precipitação e temperatura para Upanema-RN ao longo do ano.

Figura 8 – Temperaturas e precipitações médias durante o ano em Upanema-RN.



Fonte: CLIMATE-DATA.ORG, 2019.

Figura 9 – Dados climatológicos de Upanema- RN.

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Temperatura média (°C)	28.5	28.4	28.1	27.6	27	26.3	26.1	26.4	27.3	27.9	28.3	28.5
Temperatura mínima (°C)	23.1	23.2	23.3	23.1	22.7	21.9	21.5	21.3	21.9	22.2	22.6	22.9
Temperatura máxima (°C)	34	33.6	32.9	32.2	31.4	30.7	30.7	31.5	32.7	33.7	34.1	34.2
Chuva (mm)	42	85	172	164	92	39	23	7	4	2	6	17

Fonte: CLIMATE-DATA.ORG, 2019.

Quanto à formação vegetal, o município possui: Caatinga hiperxerófila - vegetação de caráter mais seco com abundância de cactáceas e plantas de porte mais baixo e espalhadas, como jurema preta, mufumbo, facheiro, faveleiro, xique-xique e marmeleiro; e Carnaubal - vegetação natural onde a espécie predominante é a palmeira, a carnaúba. Os carnaubais são espaçados e iluminados (SEMARH, 1998).

O município de Upanema possui 96% de seu território inserido nos domínios da bacia hidrográfica Apodi-Mossoró e 4% nos domínios da bacia hidrográfica Piranhas-Açu, sendo banhado pela sub-bacia do Rio do Carmo. Os principais tributários são os riachos Baixa Grande, Baixa Fechada, das Pombas e das Carnaubas. Não existem

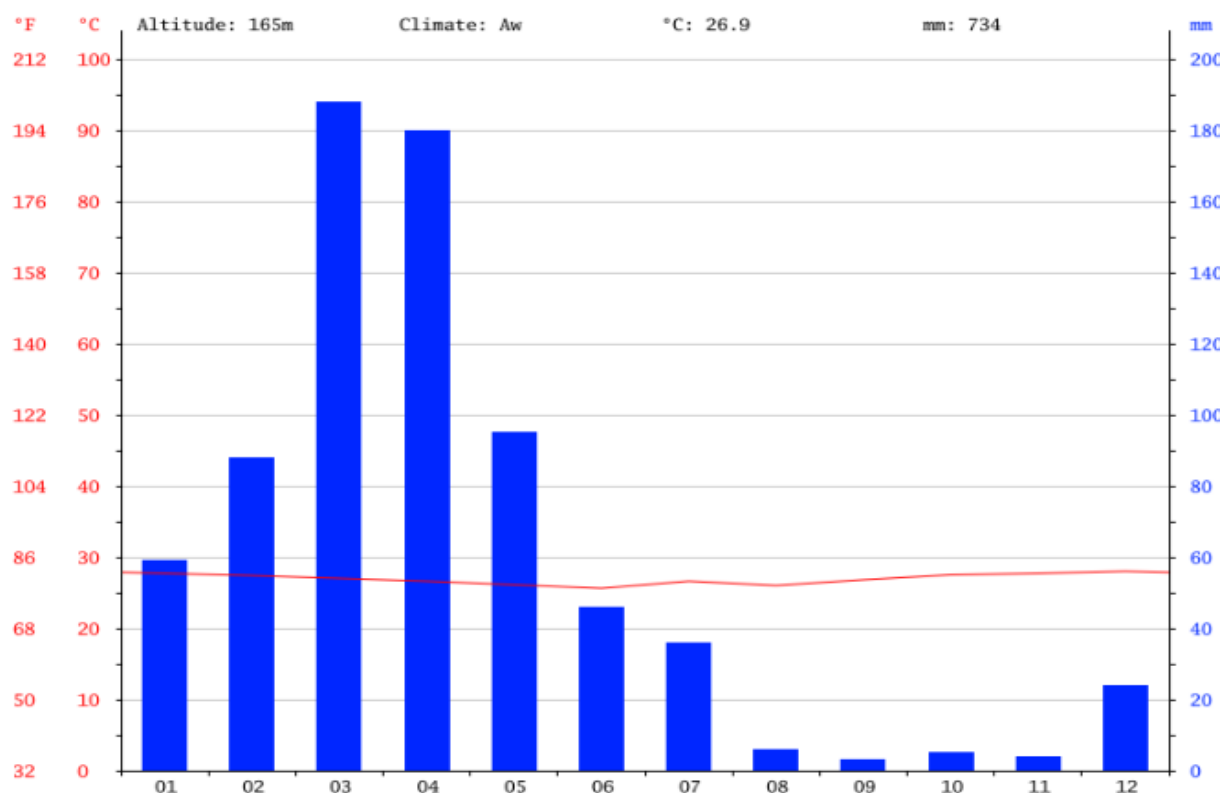


açudes com capacidade de acumulação igual ou superior a 100.000m<sup>3</sup>. O padrão da drenagem é o dendrítico e todos os cursos d'água são intermitentes (SEMARH, 1998).

➤ Caraúbas-RN

Para o CLIMATE-DATA.ORG, o município apresenta um clima tropical. No inverno existe muito menos pluviosidade que no verão. A temperatura média é de 26.9°C em Caraúbas e a pluviosidade média anual é de 734 mm, como pode ser visto na Figura 10. O mês mais seco é setembro, com 3 mm de precipitação. A maioria da precipitação cai em março, com uma média de 188 mm. Comparando o mês mais seco e o mais chuvoso, verifica-se que existe uma diferença de precipitação de 185 mm. As temperaturas médias variam 2.4°C ao longo do ano. Com uma temperatura média de 28.0°C, dezembro é o mês mais quente do ano (Figura 11). A temperatura média em junho é de 25.6°C, sendo assim, a temperatura média mais baixa no ano.

Figura 10 – Temperaturas e precipitações médias durante o ano em Caraúbas-RN.



Fonte: CLIMATE-DATA.ORG, 2019.

Figura 11 – Dados climatológicos de Caraúbas- RN.

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Temperatura média (°C)	27.7	27.4	27	26.6	26.1	25.6	26.6	26	26.8	27.5	27.7	28
Temperatura mínima (°C)	22.5	22.6	22.6	22.3	21.8	20.9	23	20.4	21	21.6	22.1	22.5
Temperatura máxima (°C)	33	32.3	31.4	31	30.5	30.3	30.3	31.6	32.6	33.4	33.4	33.5
Chuva (mm)	59	88	188	180	95	46	36	6	3	5	4	24

Fonte: CLIMATE-DATA.ORG, 2019.

A vegetação do município é formada por: Caatinga Hiperxerófila - vegetação de caráter mais seco, com abundância de cactácea e plantas de porte mais baixo e espalhadas. Entre outras espécies destacam-se a jurema-preta, mufumbo, faveleiro, marmeleiro, xique-xique e facheiro. O relevo varia 100 a 200 metros de altitude (serrotes, Chapada do Apodi e Depressão Sertaneja) (SEMARH, 1998).

O município de Caraúbas encontra-se totalmente inserido nos domínios da bacia hidrográfica Apodi-Mossoró, sendo banhado pela sub-bacia do Rio Umari, que o atravessa na porção W, no sentido S-N. O município é banhado apenas por cursos d'água secundários, sendo os principais: a N, os riachos do Livramento, do Meio, Preto e Monte Alegre; a S, os riachos Santa Maria, Jatobá, dos Bois, Piraquira, Fechado, Corrente, Apodizinho, Pedro Mendes, São José e Salgado; a E, riacho da Cachoeirinha, Baixa Grande e Grande; a W, da Pedra d' Água, do Porto, Sabe-Muito, de Caraúbas, do Meio, Cumbe e Bom Jardim. Os principais corpos d'água do município são: as lagoas dos Grossos, do Pereira, Piraquira, da Forquilha, do Junco, da Arara, da Borracha e Paco, além dos açudes Apanha Peixe (10.000.000 m<sup>3</sup> /público), Santo Antônio de Caraúbas (público), Do Governo ou Vila de Caraúbas (11.110.000 m<sup>3</sup> /público), Sabóia (676.000 m<sup>3</sup> /Público), Comunitário (1.450.000 m<sup>3</sup> /comunitário), Jordão (100.000 m<sup>3</sup> /comunitário) e Baixa dos Defuntos (1.000.000 m<sup>3</sup> /comunitário). O padrão de drenagem é o dendrítico e todos os cursos d'água têm regime intermitente (SEMARH, 1998).

### ➤ Açu-RN

Segundo o CLIMATE-DATA.ORG, o clima desse município é conhecido como estepe local. Em Açu, o ano tem pouca pluviosidade, com uma pluviosidade média

anual de 646 mm. A temperatura média anual é 27.7°C. A a precipitação de outubro é de 2 mm, que é o mês mais seco. O mês de março é o de maior precipitação, apresentando uma média de 170 mm. A diferença entre a precipitação do mês mais seco e do mais chuvoso é de 168 mm. Ao longo do ano, as temperaturas médias variam 3.0°C. O mês mais quente do ano é janeiro com uma temperatura média de 28.9°C e, julho o mais frio com 25.9°C de temperatura média.

As figuras 12 e 13 mostram os valores de precipitação e temperatura para Açú-RN ao longo do ano:

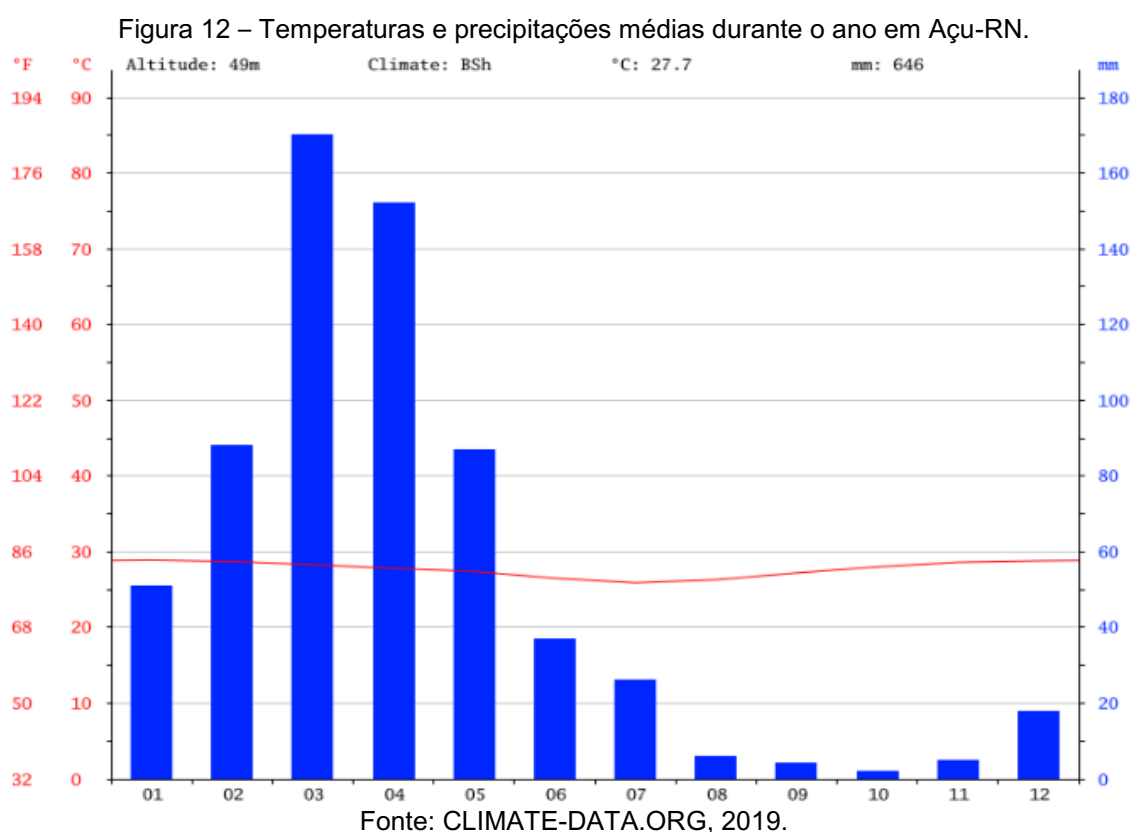


Figura 13 – Dados climatológicos de Açu- RN.

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Temperatura média (°C)	28.9	28.7	28.3	27.8	27.4	26.5	25.9	26.3	27.2	28	28.6	28.8
Temperatura mínima (°C)	23.7	23.7	23.6	23.5	23.4	22.8	22	21.9	22.4	22.8	23.3	23.6
Temperatura máxima (°C)	34.1	33.8	33.1	32.2	31.4	30.2	29.9	30.8	32.1	33.3	34	34.1
Chuva (mm)	51	88	170	152	87	37	26	6	4	2	5	18

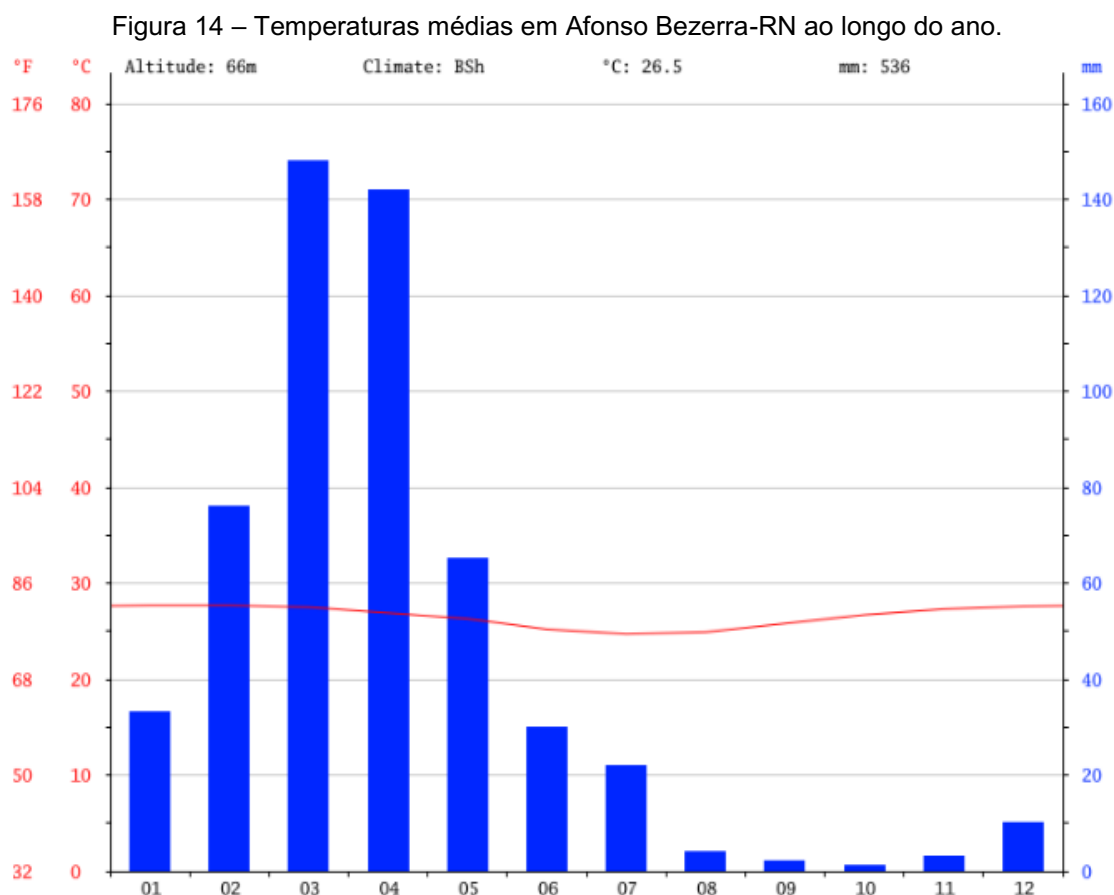
Fonte: CLIMATE-DATA.ORG, 2019.

Quanto à formação vegetal, o município possui: Caatinga Hiperxerófila - vegetação de caráter mais seco com abundância de cactáceas e plantas de porte mais baixos e espalhados, exemplos: jurema preta, faveleiro, facheiro, xique-xique e marmeleiro. Carnaubal - vegetação natural onde a espécie predominante é a palmeira carnaúba (PINTO FILHO *et al.*, 2008).

O município de Açu encontra-se com 95% de seu território inserido nos domínios da bacia hidrográfica Piranhas-Açu e os 5% restantes na bacia hidrográfica Apodí/Mossoró. É banhado pelas sub-bacias dos Rios Açu, Panon, Trairi. Os principais tributários são: a NW, os riachos Pau d'Arco e Umbuzeiro; a NE, o Rio Panon e os riachos da Linda Flor, do Pocinho, da Maniçoba, da Lagoa da Porta; a S, o Rio Paraú e os riachos da Pedra Lisa, do Lodo, Timbaúba, do Angico, da Serra, dos Tanques e do Campo. Na porção central, os riachos Campo do Mari, do Palheiro, da Meladinha e Fechado. Na porção S do município, localiza-se o açude público Eng. Armando Ribeiro Gonçalves, o maior do nordeste, com capacidade de acumulação de 2.400.000.000 m<sup>3</sup>, alimentado pelo Rio Piranhas-Açu, que o pereniza a partir deste município. Os outros açudes do município são: Mendubim (76.349.000 m<sup>3</sup>/público), alimentado pelo Rio Paraú, do Limoeiro (900.000 m<sup>3</sup>/público), Volta dos Tanques (100.000 m<sup>3</sup>/público), do Padre (100.000 m<sup>3</sup>/comunitário) e o Palheiros (100.000 m<sup>3</sup>/comunitário). Existe ainda a Lagoa Piató, com aproximadamente 96.000.000 m<sup>3</sup> armazenados. Todos os cursos d'água são intermitentes até a barragem do açude Eng. Armando Ribeiro Gonçalves, a partir do qual o Rio Piranhas-Açu passa a ser perene. O padrão de drenagem é o dendrítico (SEMARH, 1998).

➤ Afonso Bezerra-RN

De acordo com o CLIMATE-DATA.ORG, no município prevalece o clima de estepe local. Existe pouca pluviosidade no ano em Afonso Bezerra. A temperatura média anual é 26.5°C (Figura 14). Tem uma pluviosidade média anual de 536 mm e outubro é o mês mais seco com 1 mm. Apresentando uma média de 148 mm, o mês de março é o mês de maior precipitação. Ao comparar o mês mais seco com o mês mais chuvoso verifica-se que existe uma diferença de precipitação de 147 mm (Figura 15). As temperaturas médias têm uma variação de 3.0°C durante o ano. Com uma temperatura média de 27.7°C, janeiro é o mês mais quente do ano, enquanto julho é o mais frio com uma temperatura média de 24.7 °C.



Fonte: CLIMATE-DATA.ORG, 2019.

Figura 15 – Dados climatológicos de Afonso Bezerra- RN.

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Temperatura média (°C)	27.7	27.7	27.5	26.9	26.3	25.2	24.7	24.9	25.8	26.7	27.3	27.6
Temperatura mínima (°C)	23.2	23.3	23.2	22.8	22.3	21.4	20.7	20.6	21.4	22.1	22.7	23
Temperatura máxima (°C)	32.2	32.1	31.8	31	30.3	29	28.7	29.2	30.3	31.4	31.9	32.2
Chuva (mm)	33	76	148	142	65	30	22	4	2	1	3	10

Fonte: CLIMATE-DATA.ORG, 2019.

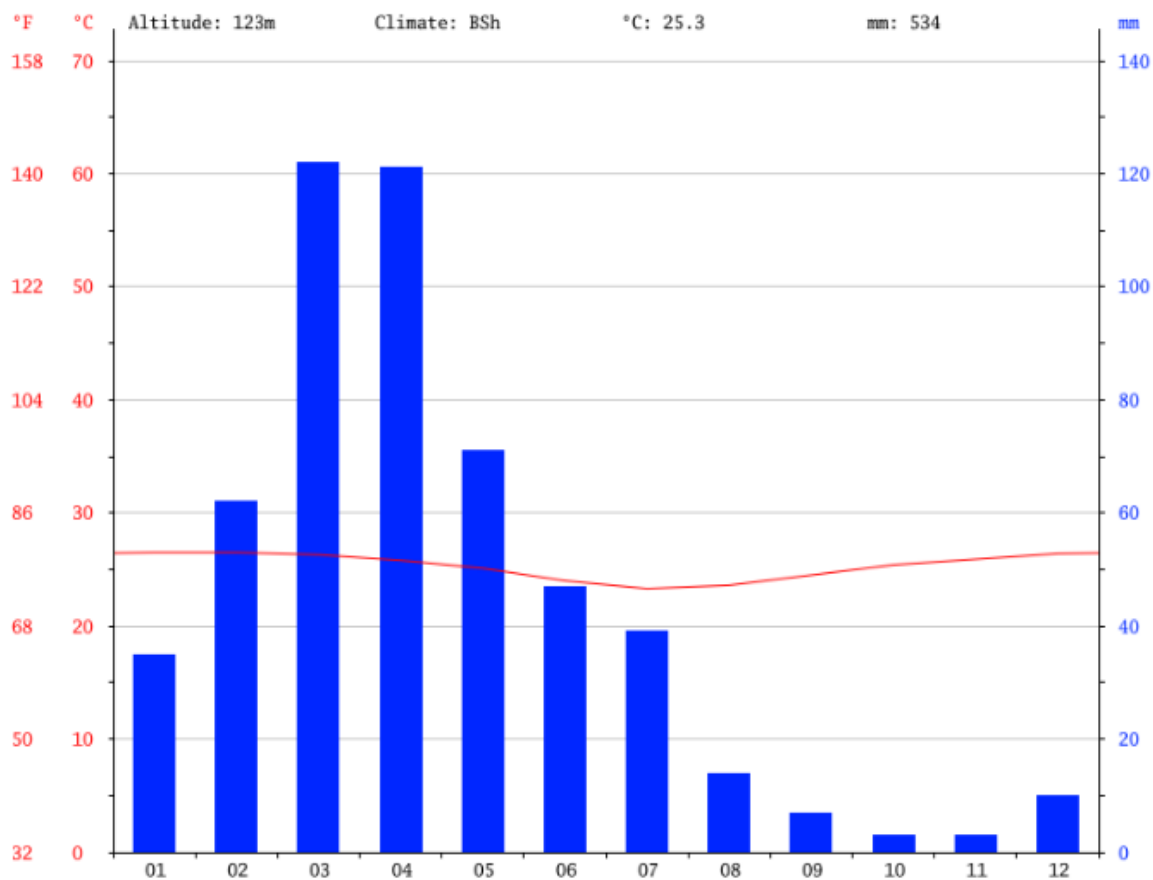
Quanto à formação vegetal, o município possui: Caatinga Hipoxerófila - vegetação de clima semiárido apresenta arbustos e árvores com espinhos e de aspectos menos agressivo. Entre outras espécies destacam-se a catingueira, angico, baraúna, juazeiro, marmeleiro, mandacaru e aroeira. A Caatinga Hiperxerófila tem uma vegetação de caráter mais seco com abundância de cactáceas e plantas de porte mais baixas e espalhadas, exemplos: jurema preta, faveleiro, facheiro, mufumbo, xique-xique e marmeleiro. Solos predominantes: Cambissolo Eutrófico - fertilidade natural alta, textura argilosa, relevo plano, bem ou moderadamente drenado. Quanto ao relevo temos: Depressão Sertaneja, Chapada da Serra Verde e Tabuleiros Costeiros. O município possui menos de 100 metros de altitude, baseado na altitude da Sede Municipal – 62 m (PINTO FILHO *et al.*, 2008).

O município de Afonso Bezerra possui 92,99% de seu território inserido nos domínios da bacia hidrográfica Piranhas-Açu, sendo banhado pela sub-bacia do Rio Piranhas em sua porção W e pela sub-bacia do Rio Cabugi. Seus principais tributários são: o Rio da Serra Aguda e os riachos da Quixabeira, Serrotinho, da União, do Feijão, Baixa do Chico, Salgadinho, do Urubu, da Raposa, das Pinturas, Santa Rita e Baixa. O principal açude do município é o Boqueirão de Angicos, (19.754.000 m<sup>3</sup> /público). As principais lagoas são: dos Pebas, de Santo Antônio, Canto Grande, da Laje, Tabuleiro dos Porcos, do Tabuleiro, do Bento e o açude de Flores. Todos os cursos d'água tem regime intermitente e o padrão de drenagem é o dendrítico (SEMARH, 1998).

➤ Jardim de Angicos- RN

Segundo as informações passadas pelo CLIMATE-DATA.ORG, o clima prevalecente é conhecido como um clima de estepe local. Existe pouca pluviosidade ao longo do ano. Jardim de Angicos tem uma temperatura média de 25.3°C e uma pluviosidade média anual de 534 mm (Figura 16). O mês mais seco é outubro, com 3 mm e o de maior precipitação é março, com uma média de 122 mm. O mês mais seco tem uma diferença de precipitação 119 mm em relação ao mês mais chuvoso (Figura 17). A variação das temperaturas médias durante o ano é de 3.2°C. A temperatura média do mês de janeiro, o mês mais quente do ano, é de 26.5°C. Ao longo do ano, julho tem uma temperatura média de 23.3 °C, sendo classificado como o mês mais frio.

Figura 16 – Temperaturas e precipitações médias durante o ano em Jardim de Angicos-RN.



Fonte: CLIMATE-DATA.ORG, 2019.

Figura 17 – Dados climatológicos de Jardim de Angicos- RN.

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Temperatura média (°C)	26.5	26.5	26.3	25.8	25.1	24	23.3	23.6	24.5	25.4	25.9	26.4
Temperatura mínima (°C)	21.9	22	21.9	21.6	21	20	19.2	19.2	19.9	20.6	21.2	21.7
Temperatura máxima (°C)	31.2	31.1	30.8	30	29.2	28	27.5	28	29.2	30.2	30.7	31.1
Chuva (mm)	35	62	122	121	71	47	39	14	7	3	3	10

Fonte: CLIMATE-DATA.ORG, 2019.

Possui uma caatinga hipoxerófila (vegetação de clima semiárido, que apresenta arbustos e árvores com espinhos e de aspecto menos agressivo do que a Caatinga hiperxerófila. Entre outras espécies destacam-se a catingueira, angico, braúna, juazeiro, marmeleiro, mandacaru e aroeira (PINTO FILHO *et al.*, 2008).



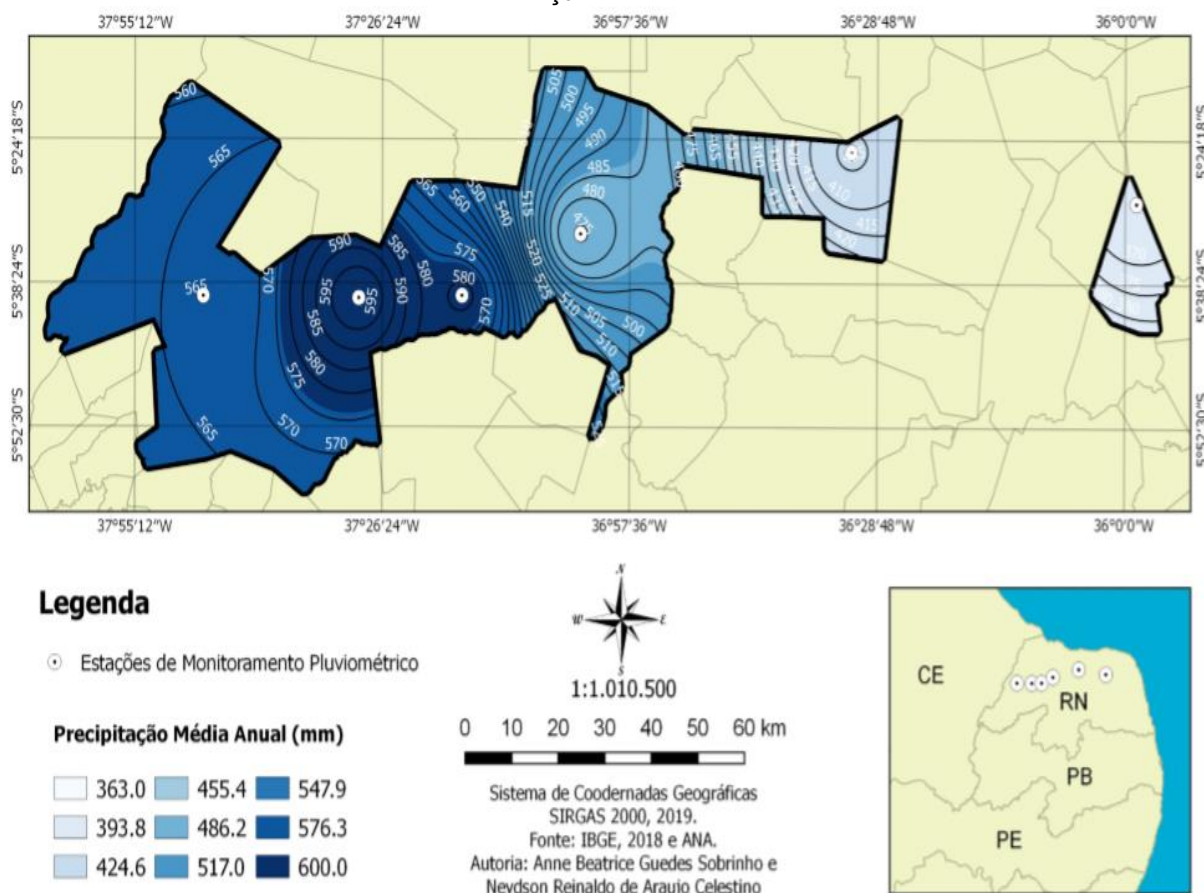
O relevo varia de 100 a 200 metros de altitude, terrenos baixos situados entre as partes altas do Planalto da Borborema e da Chapada do Apodi (PINTO FILHO *et al.*, 2008).

O município de Jardim de Angicos possui 91,72% de seu território inserido nos domínios da bacia hidrográfica do Rio Ceará-Mirim, que o atravessa em sua porção S, e 8,28% nos domínios da Faixa Litorânea Norte de Escoamento Difuso, sendo banhado pelas sub-bacias dos rios Ceará-Mirim e Ponta da Serra. Os principais tributários são: os riachos do Pereiro, da Jurema, Marí, Jardim, Malacacheta, Milhã, da Madeira, Sarrinho, Feliz, Negro, das Areias e Olho d' Água. O Principal açude é o Jardim de Angicos, alimentado pelo riacho Jardim (240.720 m<sup>3</sup> /público). O padrão de drenagem é do tipo dendrítico e os cursos d'água têm regime intermitente (SEMARH, 1998).

#### 4.1.2.1. Espacialização da precipitação nos municípios com poços de monitoramento no Aquífero Açu- RN

No caso das fontes subterrâneas de água, a sua recarga tem como elemento estruturante a regularidade do regime de precipitação (ANA, 2016, p. 23). Sabendo da interferência das chuvas sobre as oscilações no nível estático de cada poço, Sobrinho & Stein criaram o mapa na Figura 18, sendo este do tipo quantitativo e qualitativo, pois mostra por meio das isoietas os pontos com igual pluviometria, diferenciando a quantidade de precipitação em cada faixa territorial dos municípios analisados. De acordo com o volume de chuvas, a região em estudo é caracterizada por diferentes tons de azul, em que o tom mais claro indica uma menor taxa de precipitação e o tom mais escuro sugere um maior volume precipitado. Vê-se também que os índices pluviométricos tendem a diminuir para direção leste (W-E), principalmente de Afonso Bezerra a Jardim de Angicos.

Figura 18 – Mapa de isoietas de precipitação dos municípios com poços de monitoramento do Aquífero Açu- RN.



Fonte: SOBRINHO; STEIN, 2019.

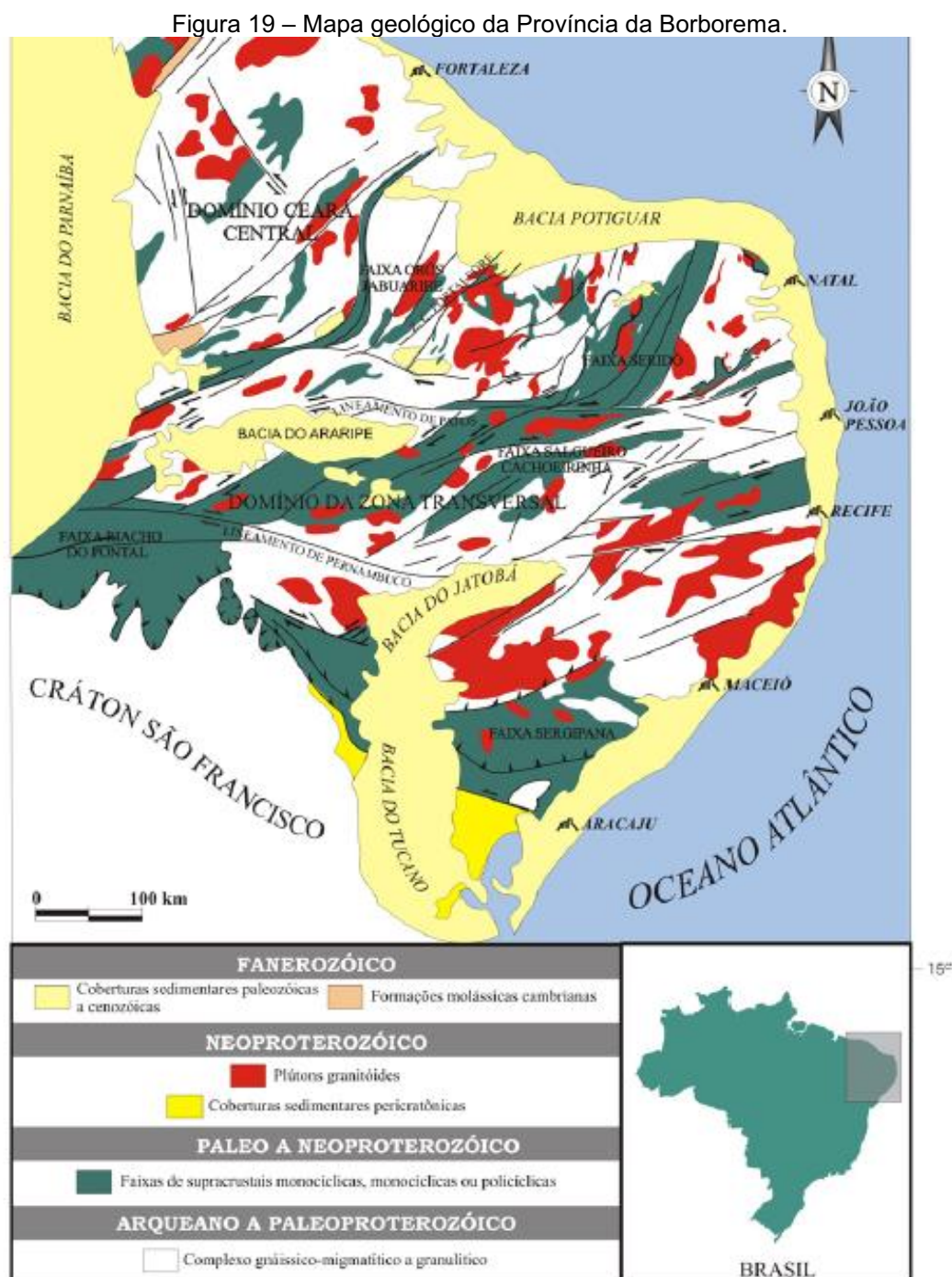
#### 4.1.3 Geologia Regional

No contexto geológico regional do RN, podem-se destacar as rochas do embasamento cristalino e as rochas sedimentares da Bacia Potiguar, cujos aspectos principais serão descritos a seguir.

##### 4.1.3.1 Embasamento Cristalino

O embasamento cristalino constitui o substrato rochoso de todo o pacote sedimentar, no caso, a Bacia Potiguar. Compreende a Faixa Seridó, que está incluída entre um dos diversos cinturões orogênicos que compõem a Província Borborema

(Figura 19) (ALMEIDA *et al.*, 1977). Tal faixa possui limite ao Norte com a Bacia Potiguar, a Leste com a Bacia Pernambuco-Paraíba, ao Sul pela Zona de Cisalhamento de Patos e a Oeste com a Zona de Cisalhamento Portalegre, como pode ser visto na figura abaixo do mapa simplificado da Província Borborema.



Fonte: Modificado de JARDIM DE SÁ, 1994.

A faixa Seridó é composta por duas unidades litoestratigráficas: o Complexo Caicó e o Grupo Seridó. As unidades acima citadas, são intrudidas por granitóides brasileiros (G3) e transamazônicos (G2) e estão afetadas por deformações do tipo dúctil a dúctil, frágil a frágil. Portanto, quatro unidades tectono-estratigráficas podem ser identificadas na Faixa Seridó (JARDIM DE SÁ *et al.*, 1995):

1. Um embasamento gnáissico-migmatítico de idade paleoproterozóica (2,23 – 2,15 Ga), de alto grau metamórfico, denominado Complexo Caicó. Pode-se ressaltar a presença de alguns núcleos arqueanos compostos por rochas metaplutônicas com supracrustais intercaladas;
2. Uma sequência de rochas supracrustais de idade paleoproterozóica pertencentes ao Grupo Seridó, que repousam discordantemente sobre o embasamento gnáissico migmatítico. Esta sequência encontra-se subdividida da base para o topo nas seguintes formações: Jucurutu (paragneisses e mármore), Equador (quartzitos e metaconglomerados) e Seridó (micaxistos);
3. Intrudindo os gnaisses do embasamento e localmente a Formação Jucurutu, tem-se a suíte de granitóides G2, de idade paleoproterozóica, composta por *augen* gnaisses granodioríticos a graníticos e metapegmatitos;
4. Por fim, o Ciclo Brasileiro foi palco de um intenso magmatismo, compreendendo a suíte de granitóides G3, que são intrusivos às unidades anteriores.

#### 4.1.3.2. Bacia Potiguar

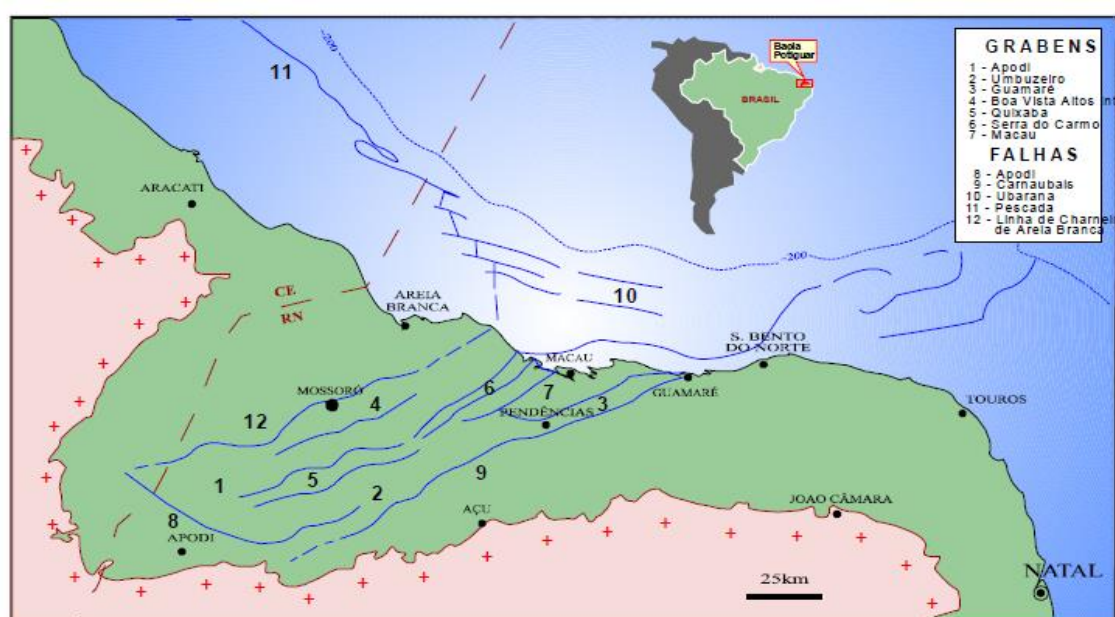
Com uma área total de 41000 km<sup>2</sup>, sendo 21.500 km<sup>2</sup> na parte emersa e 19.500 km<sup>2</sup> na porção submersa. Está localizada na porção extremo nordeste do Brasil, mais precisamente na margem costeira norte do Estado do Rio Grande do Norte e nordeste do Ceará. Possui como limite oeste o Alto de Fortaleza; sudoeste e sul o embasamento cristalino da Faixa Seridó; e norte e nordeste a cota batimétrica de 200m (BERTANI *et al.*, 1990).

A Bacia Potiguar localiza-se no extremo nordeste do Brasil, exatamente na margem costeira norte do Estado do Rio Grande do Norte e nordeste do Ceará. O processo de formação da Bacia Potiguar está aliado à separação dos continentes sul-

americano e africano. A sedimentação dessa bacia teve início no Neocomiano, em que uma série de riftes foram estruturalmente controlados por falhamentos (STEIN; MELO, 2006).

Françolin & Szatmari (1987) tratam o processo de gênese da Bacia como uma evolução por rifteamento. Nesse estágio tectônico, geraram-se falhas normais e de transferência que deram origem a grabéns assimétricos (Figura 20) por meio de afinamento crustal durante a quebra do Gondwana, associada à formação do Oceano Atlântico.

Figura 20 – Compartimentação da Bacia Potiguar.



Fonte: APOLUCENO, 1995.

#### 4.1.3.2.1 Arcabouço estrutural da Bacia Potiguar

Segundo Bertani *et al.* (1990), a Bacia Potiguar tem seu arcabouço estrutural formado por 3 unidades que comportam sequências sedimentares distintas:

- *Grábens*: são preenchidos por sequências sedimentares do cretáceo inferior. Na porção terrestre, são representados pelos grábens do Apodi, Umbuzeiro, Guamaré e Boa Vista, exibem feições lineares (direção NE-SW) e forma assimétrica. Na porção submersa, mostram-se orientados subparalelamente à linha de costa atual;

- *Altos internos*: os principais são os de Quixaba, Serra do Carmo e Macau, correspondem a cristas alongadas do embasamento e são compostos por blocos de gnaisses, migmatitos ou xistos soerguidos por falhas normais. Não são observadas sequências sedimentares provavelmente devido à erosão;
- *Plataformas do embasamento*: os grábens centrais estão delimitados a leste e oeste por plataformas rasas do embasamento, denominadas de Touros e Aracati. Elas, geralmente, são recobertas por sedimentos do aptiano e cretáceo superior, na porção emersa e sequências terciárias na porção marítima.

#### 4.1.3.2.2 Estágios tectônicos da Bacia Potiguar

Bertani *et al.*, (1990) relaciona a sedimentação da bacia a três estágios tectônicos distintos:

- *Estágio Rifte*: marcado pelo desenvolvimento de falhas normais e de transferência que deram origem a grábens assimétricos. A subsidência e sedimentação foram controladas por extensão e afinamento crustal. Constitui uma sequência de Formação Pendência, em que sua sedimentação é flúvio-lacustre, com progradações de arenitos deltáicos, e fan deltas depositados ao longo das escarpas. A sedimentação lacustrina é composta por folhelhos ricos em matéria orgânica e turbiditos intercalados. O fim desse estágio é marcado por um soerguimento generalizado com basculamento de blocos, gerando uma discordância erosiva angular;

- *Estágio Transicional*: o resfriamento crustal resulta em uma subsidência, em que a sedimentação se dá em ambiente tectônico calmo. Neste estágio foi depositada a Formação Alagamar (aptiano), composta por folhelhos e carbonatos lagunares com influência marinha, intercalados com arenitos deltáicos;

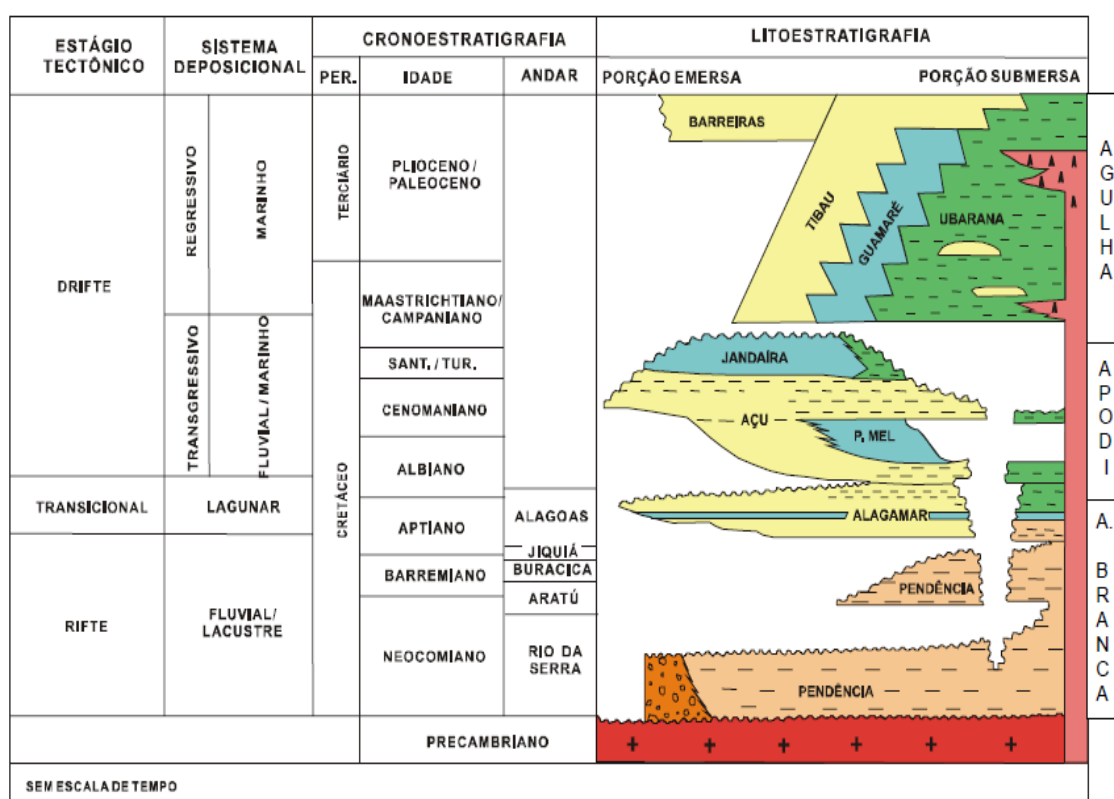
- *Estágio Drifte*: relacionado a um ambiente tectônico de deriva continental, sob influência de mar aberto, em que a subsidência é controlada por mecanismos termais e isostáticos gerando falhamentos normais ao longo dos lineamentos mais antigos. Duas sequências sedimentares foram depositadas: a primeira é uma unidade transgressiva, representada pelas formações Açú, Ponta do mel, Jandaíra e Ubarana

(membro Quebradas); a segunda é constituída por uma unidade marinha regressiva, englobando as formações Tibau, Guamaré e Ubarana.

#### 4.1.3.2.3 Estratigrafia da Bacia Potiguar

Araripe & Feijó (1994) dividem as sequências sedimentares da referida bacia em três grupos: Areia Branca, Apodi e Agulha, representando a sedimentação do Neocomiano até o recente. A litoestratigrafia da Bacia Potiguar é ilustrada abaixo na Figura 21.

Figura 21 – Estratigrafia da Bacia Potiguar.



Fonte: ARARIPE & FEIJÓ (1994).

Para efeito de síntese, tendo em vista o expressivo número de formações na Bacia Potiguar e sendo a Formação Açú a que se objetiva ter um maior aprofundamento, já que o Aquífero Açú está localizado na mesma, preferiu-se descrever apenas as formações presentes no grupo ao qual essa faz parte, segundo

Araripe & Feijó (1994), o grupo Apodi (consideravelmente composto por rochas carbonáticas):

- *Formação Açú*: composta por espessas camadas, com até 1.000m, de arenito médio a grosso, esbranquiçado, intercalado com folhelho e argilito verde-claro e siltitos castanhos-avermelhados. Tal formação exhibe contato inferior discordante e erosivo com a Formação Alagamar e com o Embasamento Cristalino. Em sua porção superior é concordante com a Formação Jandaíra e, lateralmente, em direção ao mar, interliga-se com as formações Ponta do Mel e Quebradas. Foram individualizadas quatro unidades (Vasconcellos *et al.*, 1990), a partir da análise de perfis elétricos, as quais seriam respostas a determinados eventos de caráter regional da bacia. A unidade Açú 1, localizada na base da sequência, compreende um ambiente fluvial com deposição iniciada após a reativação da área fonte por um evento tectônico de idade albiã. A unidade Açú 2 foi depositada em um sistema fluvial entrelaçado, que gradua para meandrante grosso e fino em direção ao topo. A unidade Açú 3 ocorre em resposta a nova atividade tectônica ou ao rebaixamento do nível do mar, composta por rochas de origem fluvial entrelaçado que gradam em direção ao topo, para um sistema fluvial meandrante grosso. Com o término deste evento transgressivo e a implementação de um sistema litorâneo-estuarino, ocorre a unidade Açú 4, cuja localização é o topo de todas as unidades anteriores.
- *Formação Ponta do Mel*: é composta por calcarenito oolítico creme, doloespartito castanho claro e calcilito branco com camadas de folhelho verde claro. Interliga-se lateralmente e recobre concordantemente a Formação Açú, sendo recoberta pela Formação Quebradas por uma discordância. Sua deposição se dá em ambiente de plataforma rasa, associada a planície de maré e mar aberto.
- *Formação Quebradas*: compreende arenitos fino de cor cinza, folhelhos e siltitos esverdeados. Localiza-se entre as formações Açú e Ubarana, interligando-se com esta última. É depositado em um ambiente de plataforma e talude, com presença de turbiditos. Pode ser subdividida por 2 membros. O membro Redonda é formado por intercalações de arenito fino cinza-claro e silito cinza esverdeado, e o membro Ponta do Mangue, que se encontra no topo, é composto por folhelho e arenito subordinado. Exhibe contato inferior discordante com a Formação Ponta do mel e superior concordante com a Formação Jandaíra.



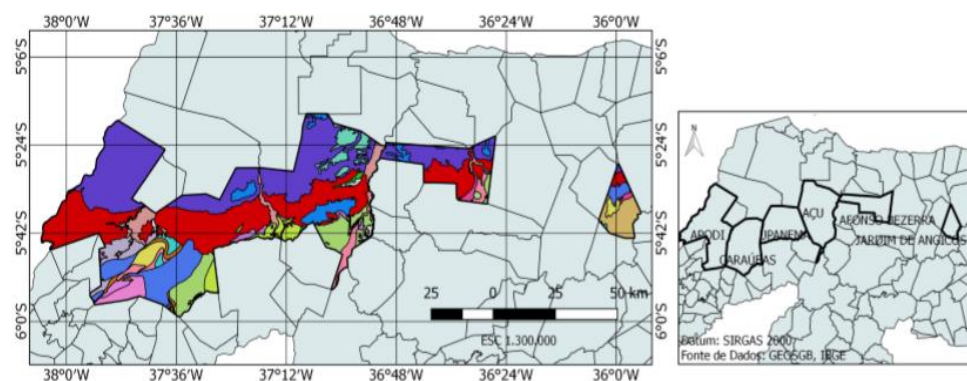
- *Formação Jandaíra*: compreende calcarenito com bioclastos de moluscos, algas verdes, briozoários e equinóides. Também ocorre calcilito com marcas de raízes, dismicrito e gretas de contração. O ambiente deposicional é descrito como uma planície de maré, laguna rasa, plataforma rasa e mar aberto. O contato superior da Formação é concordante com a Formação Açú ou Quebradas, já a porção superior mostra-se discordante com o Grupo Agulha. Ocorre uma interligação lateral com a parte superior da Formação Ubarana (Grupo Agulha).

#### 4.1.4. Geologia Local

A área de concentração dos estudos localiza-se na borda centro-sul da Bacia Potiguar representada por sedimentos da Formação Açú, limitada pela Formação Jandaíra ao norte, composta por calcarenitos de coloração creme a cinza, granulometria média a grossa e bastante compactados, e calcilitos bioclásticos bastante resistentes, bem selecionados, coloração creme e granulometria fina. Ao Sul, pelo embasamento cristalino que compreende ortognáisses mesocráticos correlacionados ao Complexo Gnáissico Migmatítico, de composição granítica a granodiorítica, compostos por K-feldspatos, quartzo, plagioclásio e minerais máficos, com foliação principal de direção NE-SW (STEIN, 2003).

A Figura 22 é um mapa com a geologia dos municípios que estão sendo estudados.

Figura 22 – Mapa geológico dos municípios com poços de monitoramento do aquífero Açú- RN.



#### Legenda

#### GEOLOGIA

Formação Açu: Arenito, siltito	Complexo Jaguaretama: Para - gnaise, orto - gnaise
Grupo Barreiras: Argilito - arenoso, arenito - conglomerático	Formação Jandaíra: Calcarenito, folhelho, calcilito
Complexo Caicó: Anfíbolito, migmatito, para - gnaise, orto - gnaise	Formação Jucurutu: Gnaise, mármore, biotita - gnaise, xisto, muscovita - quartiz
Corpo Caicó, anfíbolito: Anfíbolito	Jucurutu, mármore: Mármore
Unidade Caicó, gnaise bandado: Gnaise	Formação Pendência: Calcário, folhelho, arenito - fino, arenito - conglomerático
Unidade Caicó, ortognaise: Metagranito, orto - gnaise - tonalítico, orto - gnaise - granodiorítico, migmatito	Suite Poço da Cruz: Metagranito
Depósitos aluvionares: Areia, cascalho, argila	Suite São João do Sabugi: Monzodiorito, quartzo-diorito, gabronorito, diorito, gabn
Depósitos aluvionares antigos: cascalho, argila, areia	Formação Seridó: Xisto - aluminoso(a), clorita - xisto, filito, biotita - quartzo - xisto
Depósitos colúvio-eluviais: cascalho, argila, areia	Suite Intrusiva Dona Inês: Monzogranito, sienogranito, leuco - granito
Depósitos flúvio-lacustrinos: Diatomito, pelito, areia	Suite Intrusiva Umarizal: Sienogranito
Corpo Granito Flores: Monzogranito	Formação Tibau: Arenito, arenito - fino
Suite Itaporanga: Granodiorito, granito, diorito, monzonito	Áreas de Estudo

Autoria: Anne Beatrice Guedes Sobrinho e Neydson Reinaldo de Araújo Celestino, 2019.

Fonte: SOBRINHO; STEIN, 2019.

A geologia da área é constituída por arenitos da Formação Açu do Cretáceo inferior, estando reduzida ao norte por rochas carbonáticas da Formação Jandaíra do Cretáceo superior e ao sul pelo embasamento cristalino Pré-cambriano (STEIN; MELO, 2006).

De acordo com Stein (2003), os arenitos da Formação Açu na área de estudos são compostos por arenitos finos a grossos até conglomerados, além de siltitos, argilitos, folhelhos esverdeados a avermelhados e arenitos calcíferos.

Para Carvalho (1999), Gurgel (2000) e Maia (2001), a Formação Açu pode ser dividida em quatro subunidades geológicas:

- Subunidade 01: compreende arenitos arcoseanos médios, grossos a conglomeráticos de coloração predominantemente avermelhados, por vezes esbranquiçados, dispostos em matriz silte-argilosa. Sua granulometria diminui da base para o topo e apresentam-se moderadamente selecionados. Por vezes, observam-se fraturas, com direção SE-NW;
- Subunidade 02: é composta por arenitos arcoseanos finos a médios, de coloração esbranquiçada a avermelhada, bem selecionados, compostos por grãos de quartzo

e feldspato dispostos em matriz siltosa. Normalmente, estes arenitos encontram-se bastante fraturados, exibindo fraturas de direção NW-SE;

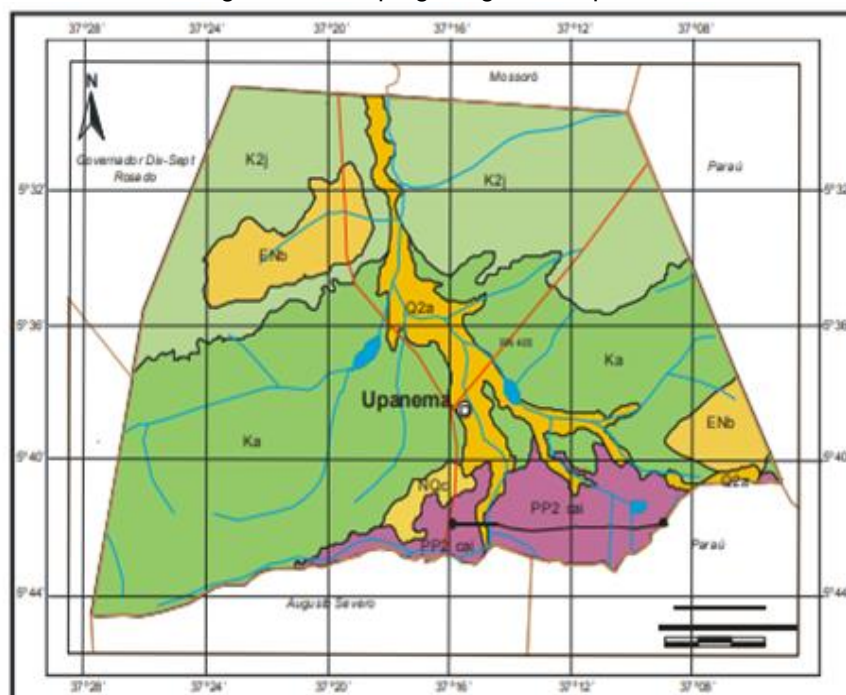
- Subunidade 03: compreende argilitos e siltitos de coloração avermelhada a esverdeada. Na porção sul da área estudada, próximo ao embasamento cristalino, os argilitos avermelhados ocorrem geralmente capeando os arenitos arcoseanos da subunidade 01;
- Subunidade 04: é composta por arenitos calcíferos de granulometria grossa e coloração esbranquiçada a amarelada, que ocorrem na zona de transição dos arenitos da Formação Açu com os calcários da Formação Jandaíra.

Os depósitos aluvionares representam a unidade mais recente encontrada na área de estudo. Localiza-se, preferencialmente, em áreas baixas (cota topográfica inferior a 100 metros), planas e com abundante presença de carnaubais. Compreende sedimentos finos a grossos, inconsolidados, moderada a pobremente selecionados e de coloração esbranquiçada a amarronzada clara, formando extensa área de planícies aluviais (relevo plano). Ocorrem no leito das principais drenagens (STEIN, 2003).

Os arenitos da Formação Açu também se encontram fraturados, geralmente com pares conjugados de fraturas de direção SW-NE e NW-SE, quase sempre nas direções de drenagem. Tais fraturamentos podem refletir reativações de falhas pretéritas SW-NE, que controlam a formação dos riftes Neocomianos da Bacia Potiguar, onde se deu início a sedimentação da mesma (STEIN, 2003).

As figuras 23, 24, 25, 26 e 27 trazem os mapas geológicos dos municípios de Upanema, Caraúbas, Açu, Afonso Bezerra e Jardim de Angicos, respectivamente, de acordo com mapeamento realizado pela CPRM (1998).

Figura 23 – Mapa geológico de Upanema- RN.



### UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

#### Cenozóico

- Q2a** Depósitos aluvionares (a): areia, cascalho e níveis de argila.
- NQc** Depósitos colúvio-luviais: sedimento arenoso, areno-argiloso e conglomerático.
- ENb** Grupo Barreiras (b): arenito e conglomerado, intercalções de silto e argiloso.

#### Mesozóico

- K2j** Formação Jandaíra (j): calcário, calcário bioclástico e evaporito (planície de maré e plataforma carbonática rasa).
- Ka** Formação Açú (a): arenito, folhelho e argilito (leque aluvial, fluvial e costeiro).

#### Paleoproterozóico

- PP2 cal** Complexo Calcó (cal): ortogneisse diorítico a granítico com restos de supracrustais (2300 Ma U-Pb).

### CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

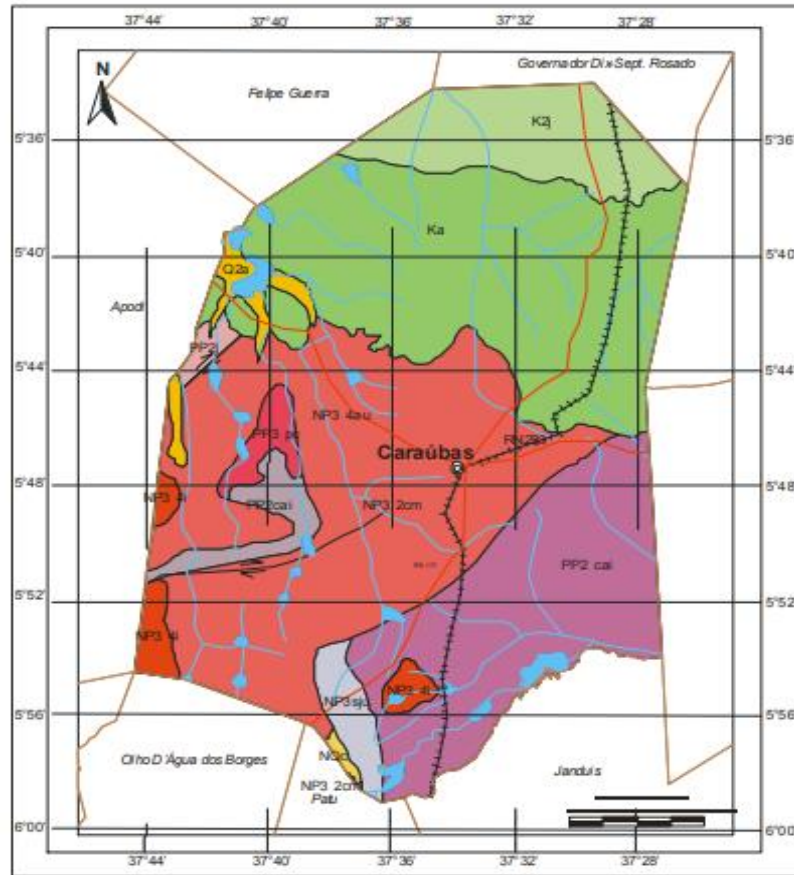
- Contato geológico
- Dique

### CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- ⊙ Sede Municipal
- Rodovias
- Limites Intermunicipais
- Rios e fiachos
- Açude/barragem

Fonte: CPRM, 1998.

Figura 24 – Mapa geológico de Caraúbas- RN.



## UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

### UNIDADES GEOLÓGICAS

#### Cenozóico

**Q2a** Depósitos Aluvionares (a) : areia, cascalho e níveis de argila.

**NQc** Depósitos colúvio-eluviais : Sedimento arenoso, areno-argiloso e conglomerático.

#### Mesozóico

**K2j** Formação Jandaira (j) : calcário, calcário biotástico e evaporito (planície de maré e plataforma rasa carbonática).

**Ka** Formação Açú (a) : arenito, folhelho e argilito (leque aluvial, fluvial e costeiro)

#### Neoproterozóico

**NP3 4au** Suite intrusiva subalcalina a alcalina Umarizal (au): fayalita-ferroiperstênio síenogranito e granito (571 Ma U-Pb)

**NP3 4i** Granitóide de quimismo indiscriminado (i): biotita leucogranito (540-570 Ma U-Pb)

**NP3 2cm** Suite calcialcalina de médio a alto potássio Itaporanga (cm): granito e granodiorito porfírico associado a diorito (588 Ma U-Pb)

**NP3sju** Formação Jucurutu (sju): gnaíse, mármore e rocha calcissilicática.

#### Paleoproterozóico

**PP3 pc** Suite Póip da Cruz: ortognáisse granítico, leuco-ortognáisse quartzo monzonítico a granito (1900 Ma U-Pb)

**PP2 cai** Complexo Cabó (cai): ortognáisse diorítico a granítico com restos de supracrustais (2300 Ma U-Pb)

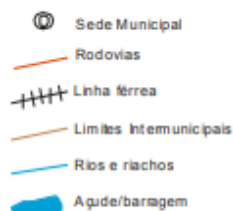
**PP2cai** Complexo Calcó (cai): paragnáisse, migmatito, mármore, anfibolito e ortognáisse

**PP2j** Complexo Jaguaretama (j): ortognáisse migmatizado tonalítico a granodiorítico e granítico, migmatito, restos de supracrustais

## CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

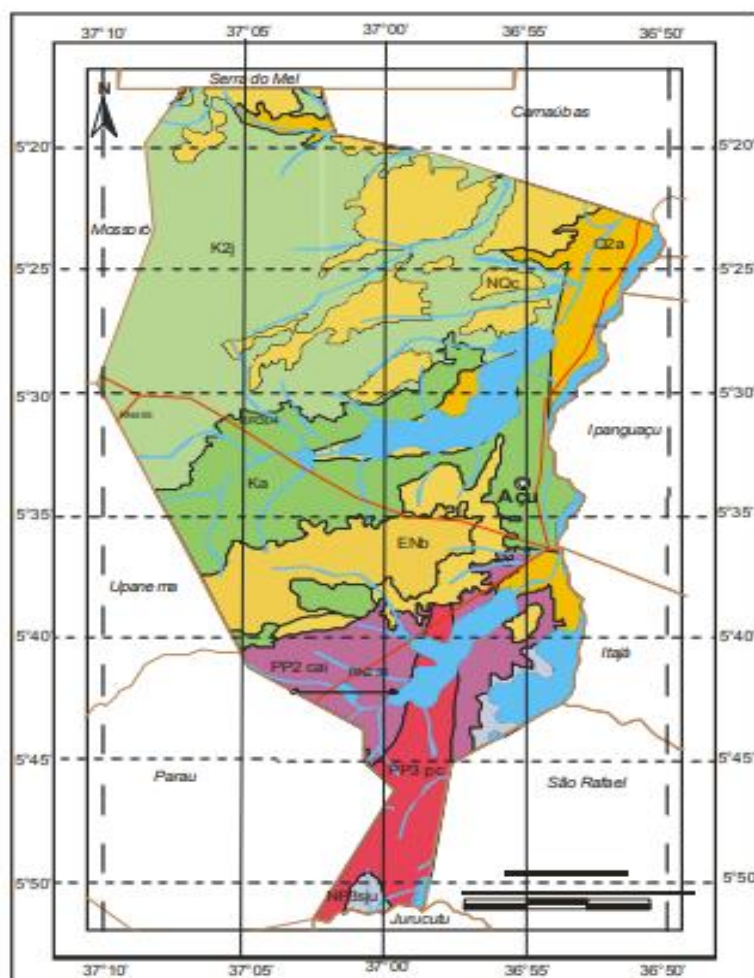


## CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS



Fonte: CPRM, 1998.

Figura 25 – Mapa geológico de Açú-RN.



### UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

#### Cenozóico

- Q2a** Depósitos Aluviais (a) : areia, cascalho e níveis de argila.
- NQc** Depósitos colúvio-eluviais : Sedimento arenoso, areno-argiloso e conglomerático.
- ENb** Grupo Barreiras (b) : arenito e conglomerado, intercalações de silte e argilito.

#### Mesozóico

- K2j** Formação Jandaira (j) : calcário, calcário bioclástico e evaporito (planície de maré e plataforma rasa carbonática).
- Ka** Formação Açú (a) : arenito, folhelho e argilito (eque aluvial, fluvial e costeiro).

#### Neoproterozóico

- NP3\_3i** Granitoides de quimismo indistinto (i) : granitoides diversos (574 Ma U-Pb)
- NP3sjj** Formação Jurucutu (sjj) : gnaíse, mármore e rocha calcissilicática.

#### Paleoproterozóico

- PP3\_pc** Suite Pogo da Cruz : augengnise gnaíico, leuco-ortognaise quartzo monzonítico a granítico (1900 Ma U-Pb)
- PP2\_cal** Complexo Calcó (cal) : ortognaise diorítico a granítico com restos de supracrustais (2300 Ma U-Pb).

### CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

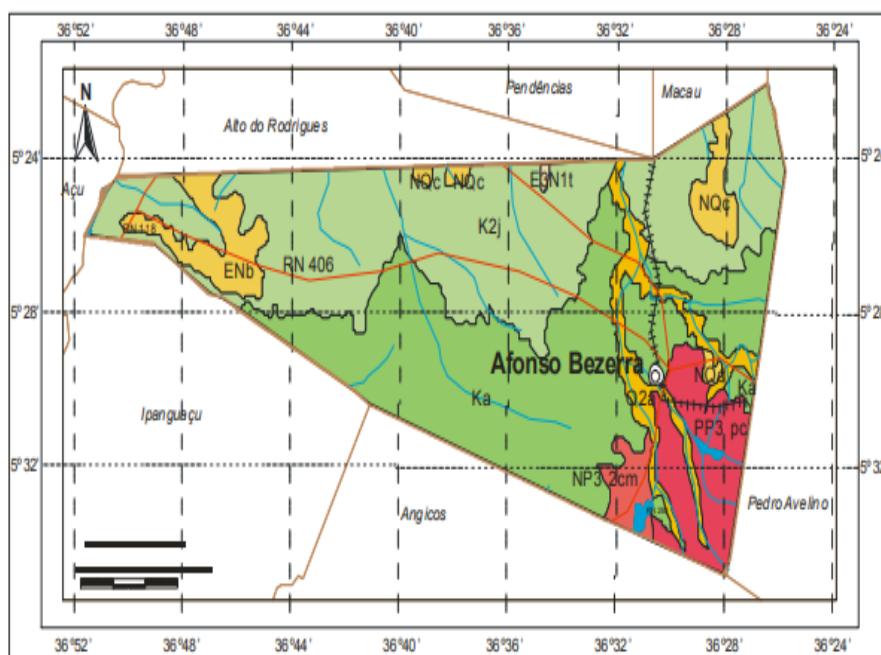
- Contato geológico
- Dique

### CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- ⊙ Sede Municipal
- Rodovias
- ++++ Linha férrea
- Limites Intermunicipais
- Rios e riachos
- Açude/barragem

Fonte: SEMARH, 1998.

Figura 26 – Mapa geológico de Afonso Bezerra-RN.

**UNIDADES LITOSTRATIGRÁFICAS****Cenozóico**

- Q2a** Depósitos aluvionares (a): areia, cascalho e níveis de argila.
- NQc** Depósitos colúvio-eluviais: sedimento arenoso, arenoso-argiloso e conglomerático
- ENb** Grupo Barreiras (b): arenito e conglomerado, intercalações de siltito e argilito
- E3N1t** Formação Tibau: arenito médio a grosso

**Mesozóico**

- K2j** Formação Jandaira (j): calcário, calcário bioclástico e evaporito (planície de maré e plataforma carbonática rasa)
- Ka** Formação Açú (a): arenito, folhelho e argilito (leque aluvial fluvial e costeiro)

**Neoproterozóico**

- NP3\_2cm** Suíte calcálica de médio a alto potássio Itaporanga (cm): granito e granodiorito porfírico associado a diorito (588 Ma U-Pb)

**Mesoproterozóico**

- PP3\_pc** Suíte Poço da Cruz: augegnaisse granítico, leuco-ortognaisse quartzo monzonítico a granito (1900 Ma U-Pb)

**CONVENÇÕES GEOLÓGICAS**

— Contato geológico

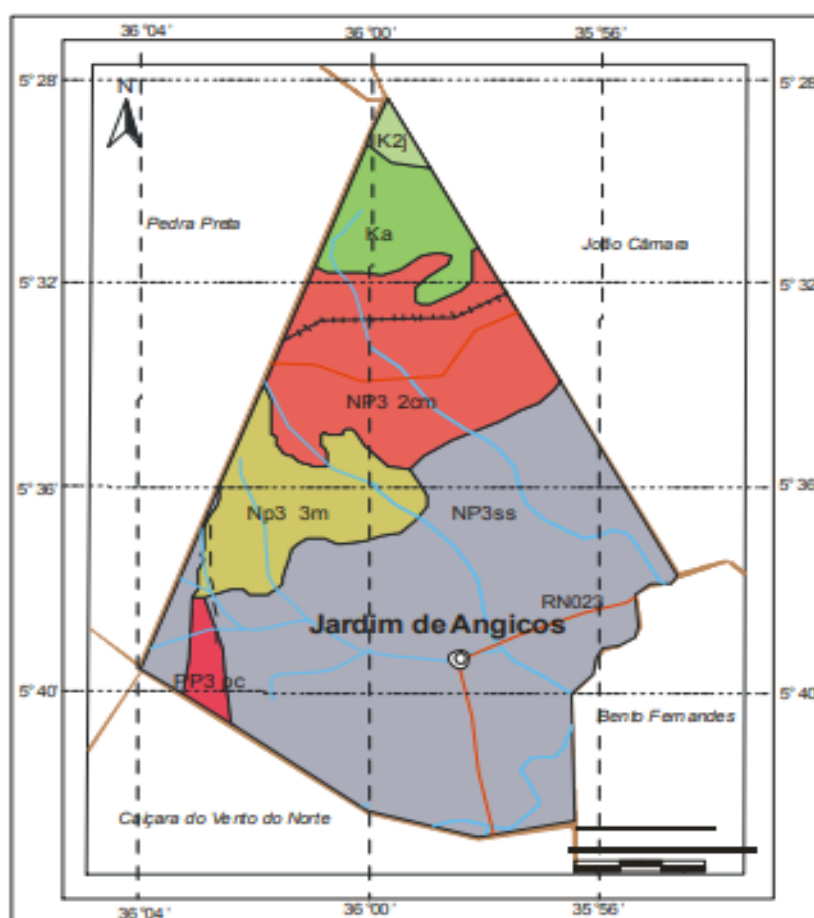
**CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS**

- ⊙ Sede Municipal
- Rodovias
- ++++ Linha férrea
- Limites Inter Municipais
- Rios e riachos
- Açude/barragem

Fonte: CPRM, 1998.



Figura 27 – Mapa geológico de Jardim de Angicos- RN.

**UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS****Mesozóico**

**K2** Formação Jandaíra: calcário, calcário bioclástico e vaporito (plânície de maré e plataforma rasa carbonática)

**Ka** Formação Açú (a): arenito, folhelho e argilito (leque aluvial, fluvial e costeiro)

**Neoproterozóico**

**NP3 3m** -Corpos máfico-ultramáfico: gabro

**NP3 2cm** Suite calcálcica de médio a alto potássio Itaporanga (cm): granito e granodiorito porfírico associado a diorito (588 Ma U-Pb)

**NP3ss** Formação Seridó (ss): biotita xisto, metarritmito, clorita-sericita xisto (640 Ma U-Pb)

**Paleoproterozóico**

**PP3 pc** Suite Poço da Cruz: augen gnaisse granítico, leucocrato gnaisse quartzozonítico a granito (1900 Ma U-Pb)

**CONVENÇÕES GEOLÓGICAS**

— Contato geológico  
 - - - Linhas e elementos estruturais (Traços de Superfícies)

**CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS**

⊙ Sede Municipal  
 — Rodovias  
 ++++ Linha férrea  
 — Limites Intermunicipais  
 — Rios e riachos  
 Açude/barragem

Fonte: CPRM, 1998.

#### 4.1.5 Hidrogeologia do Aquífero Açú

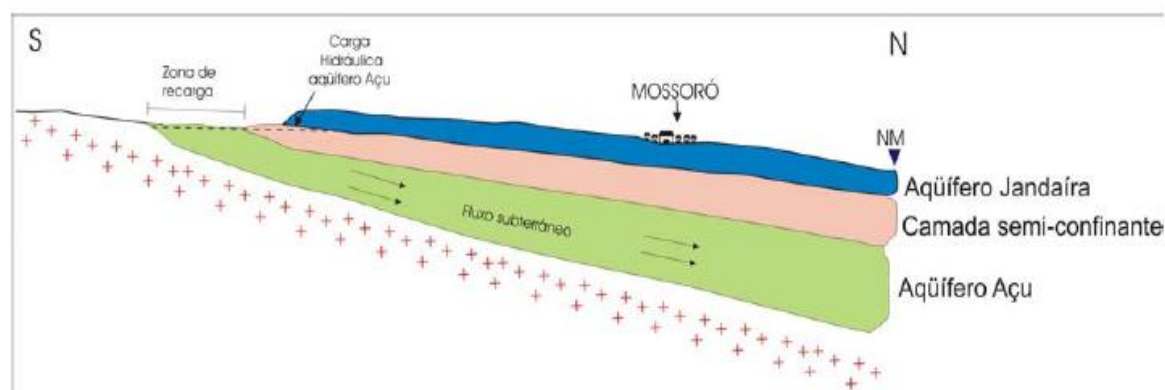
O aquífero Açú está localizado na porção inferior da formação homônima, formado por arenitos com intercalações argilosas, mostrando-se sob a forma de aquífero livre com a ocorrência de semiconfinamentos localizados. Na faixa de afloramento, o aquífero Açú é capeado pelos calcários Jandaíra (STEIN, 2003).

O aquífero Açú, que corresponde à parte inferior da Formação Açú, é formado por arenitos do cretáceo inferior com intercalações argilosas. Ao Norte, encontra-se limitado por rochas carbonáticas do cretáceo superior da Formação Jandaíra e, ao sul, pelo embasamento cristalino pré-cambriano, apresentando-se sob a forma de aquífero livre com a ocorrência de semiconfinamentos localizados (STEIN; MELO, 2006). Constitui o mais importante sistema aquífero da Bacia Potiguar, aflorando na borda sul da Bacia Potiguar ao longo de uma faixa marginal com largura variando entre cerca de 5 km no extremo leste e cerca de 20 km no extremo oeste (STEIN, 2003).

A transmissividade do aquífero tem crescimento no sentido sul-norte, seguindo a direção do fluxo subterrâneo (condutividade hidráulica), direcionando-se para o mar e atestando a melhor potencialidade hidrogeológica na faixa norte (STEIN; MELO, 2006).

A figura 28 apresenta uma seção regional esquemática da Bacia Potiguar, mostrando as principais unidades hidrogeológicas e a zona de recarga do aquífero Açú, que se refere à própria região de afloramento dos arenitos da Formação Açú (STEIN; MELO, 2006).

Figura 28 – Esquema da seção hidrogeológica regional da Bacia Potiguar.



Fonte: STEIN; MELO, 2006.

Segundo a figura 28, o Aquífero Açú, na sua zona de afloramento, é referido como do tipo livre com uma estratigrafia e estrutura geológica da Formação à qual está inserida condicionante a ocorrência de semi-confinamentos localizados, por conta das camadas argilosas da porção superior da Formação Açú e/ou porção basal da Formação Jandaíra, Ihe confirmando esse caráter, o que pode resultar em diferentes comportamentos quanto à recarga das águas subterrâneas (STEIN; MELO, 2006).

A área em estudo está localizada no domínio climático semiárido do estado do Rio Grande do Norte, com precipitação pluviométrica média anual da ordem de 798,2 mm e evapotranspiração potencial da ordem de 1542,1 mm. Os principais rios que cortam essa região no sentido sul-norte, criam extensas planícies aluviais sobre os arenitos da Formação Açú com todos os afluentes, apresentando uma drenagem pouco densa e sugerindo uma diminuição do escoamento e um aumento da taxa de infiltração (STEIN; MELO, 2006).

Abaixo dos arenitos da Formação Açú, o relevo é, em sua maioria, de tabular a suavemente ondulado, com existência de vales associados às drenagens superficiais. As cotas topográficas variam de aproximadamente 120 m, na faixa sul da área, até 50 m no extremo norte. O contato da Formação Açú com os calcários da Formação Jandaíra acontece sob a forma de uma escarpa abrupta (MEDEIROS *et al.*, 2001).

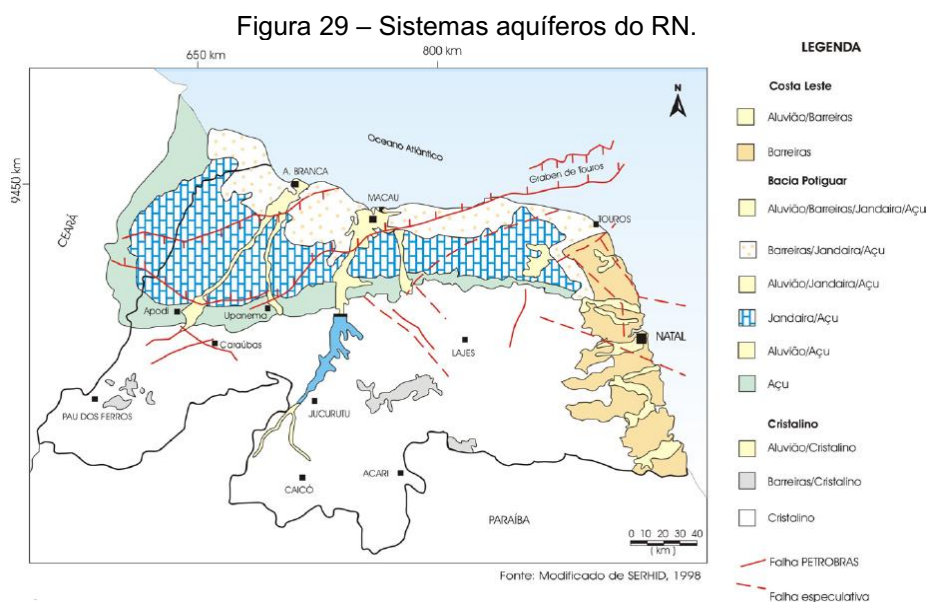
Na área da Bacia, predominam os arenitos finos a grossos intercalados por siltitos, argilitos, folhelhos esverdeados e arenitos calcíferos. Sobrepostos a esses sedimentos, existem os depósitos aluvionares em uma região de baixa topografia e plana. Os sedimentos que ocorrem nas drenagens e nas planícies são finos a grossos, inconsolidados e de coloração esbranquiçada (MEDEIROS; JARDIM DE SÁ; MEDEIROS, 2001).

O sistema Aquífero Açú ocupa área de 3.764 km<sup>2</sup>. Acima dele estão os calcários da Formação Jandaíra e pertence à Bacia Sedimentar Potiguar (ANA, 2005).

A qualidade físico-química das suas águas é boa, em geral, podendo ser utilizada praticamente para todos os fins. Além disso, representa o sistema de maior interesse hidrogeológico da Bacia Potiguar, com profundidades de captação ente 400 aos 900 m, produzindo vazões de até 300 m<sup>3</sup>/h. Na faixa de afloramento da Formação Açú localizada na borda sul da Bacia Potiguar o referido aquífero é do tipo livre. Nesse setor os poços têm profundidade variando entre 25 e 150 metros e desenvolvem vazões até

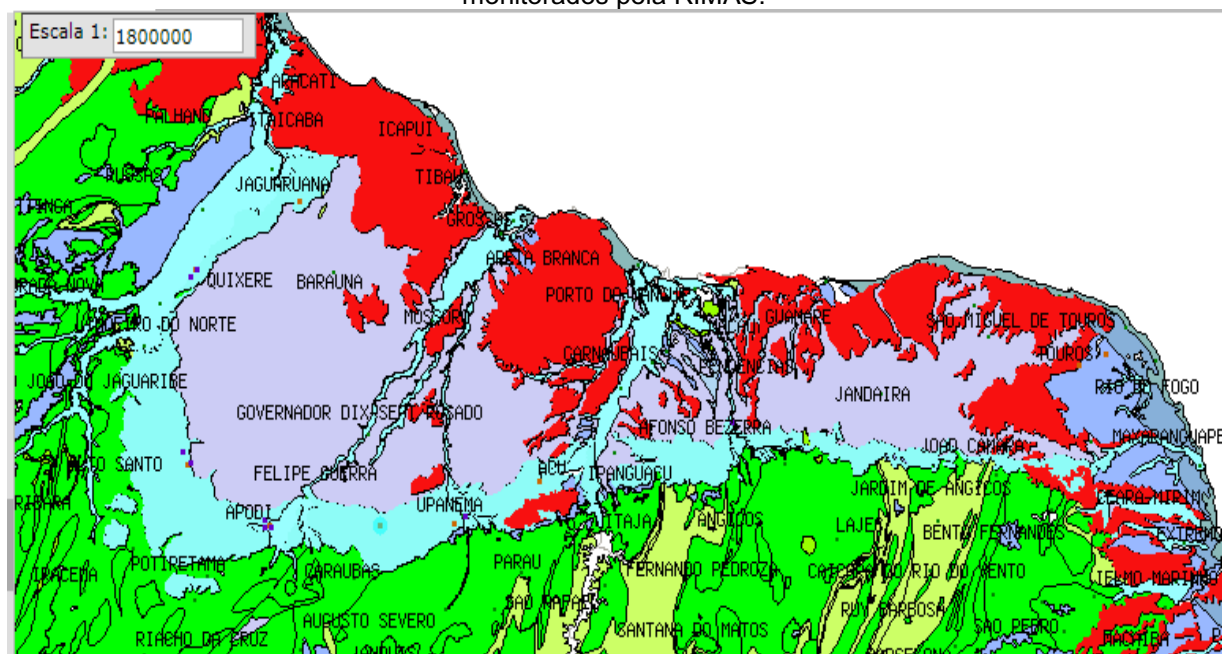
80 m<sup>3</sup>/h. O setor de maior potencial hidrogeológico está localizado na faixa norte da área de afloramento da Formação Açú (STEIN; MELO, 2006).

Abaixo, os sistemas aquíferos do Rio Grande do Norte ilustrados na figura na Figura 29 e as cidades que estão inseridas na Formação Açú, na Figura 30:



Fonte: STEIN, 2003.

Figura 30 – Localização dos municípios que estão inseridos na Formação Açú e que têm poços monitorados pela RIMAS.



#### 4.1.5.1 Parâmetros Hidrodinâmicos do Aquífero Açú

Os parâmetros hidráulicos obtidos para os poços tubulares captando água do Aquífero Açú podem ser descritos na Tabela 1, a seguir:

Tabela 1 – Parâmetros hidráulicos de poços tubulares do Aquífero Açú

	Mínimo	Máximo	Média
Profundidade (m)	25,00	176,00	80,80
Nível Estático (m)	0,37	114,14	27,31
Nível Dinâmico (m)	4,80	89,28	37,16
Vazão (m <sup>3</sup> /h)	0,15	80,00	11,98
Vazão Específica (m <sup>3</sup> /h/m)	0,03	5,77	2,70

Fonte: STEIN; MELO, 2006.

Segundo a Tabela 1, apresentada por Stein e Melo (2006), os poços tubulares do Aquífero Açú têm profundidade média de 80,80 m e o nível estático entre 0,37 m e 114,14 m. A vazão dos poços atinge valores de 80,00 m<sup>3</sup>/h; com média de 11,98 m<sup>3</sup>/h e a vazão específica é da ordem de 2,70 m<sup>3</sup>/h/m em média. Assim sendo, admitindo perdas de cargas nulas, para cada 10 metros de rebaixamento a vazão seria da ordem de 27,00 m<sup>3</sup>/h, em média por poço.

Para Stein e Melo (2006), valores mais rasos de nível da água devem-se a localização do poço sobre aluviões, por isso o nível estático apresentado pode não ser representativo do Aquífero Açú, podendo sofrer influência das águas do aquífero aluvial.

O diâmetro dos poços tubulares varia entre 10 e 14 polegadas e são revestidos por tubos de PVC de 6 a 8 polegadas de diâmetro. Os filtros no tubo se mostram na forma de ranhuras e o espaço anular entre o revestimento e a parede do poço é preenchido por cascalho ou pré-filtro. O bombeamento é feito principalmente por bomba submersa e menor escala, utilizando um compressor (STEIN; MELO, 2006).

Stein e Melo (2006) se basearam nos resultados obtidos em estudos geofísicos e de perfis litológicos feitos por Medeiros *et al.* (2001) e Santos (1977), que conseguiram caracterizar a estrutura geológica do Aquífero Açú, pela avaliação da profundidade dos níveis de água e por meio das cotas topográficas obtidas pelo nivelamento planialtimétrico. Com isso, pôde-se constatar que a espessura da Formação Açú varia

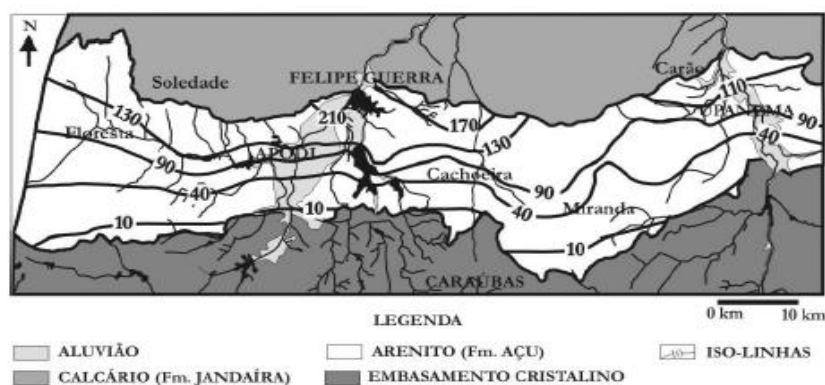
de menos de 10 m na faixa sul a mais de 90 m na faixa norte. Na porção central, ao sul do município de Felipe Guerra que está sob o domínio das aluviões, essa espessura pode chegar a 210 m.

Já na parte com água da Formação Açú, a espessura saturada varia de menos de 10 m na porção sul a 70 m na porção norte. Na região dos municípios de Apodi e Felipe Guerra, a espessura saturada atinge mais de 120 m, podendo chegar a 190 m ao sul de Felipe Guerra (STEIN; MELO, 2006).

De acordo com Medeiros *et al.* (2001), existe um aumento na espessura do aquífero Açú na direção sul para norte devido à existência de falhas escalonadas neste mesmo sentido ou por causa de elevações e depressões topográficas no embasamento cristalino que se encontra abaixo da Formação Açú.

A espessura da Formação Açú e a espessura saturada do aquífero Açú entre o trecho Apodi- Upanema- RN são ilustradas abaixo nas figuras 31 e 32, respectivamente:

Figura 31 – Isolinhas de espessura (m) da Formação Açú (trecho Apodi- Upanema).



Fonte: STEIN; MELO, 2006.

Figura 32 – Isolinhas da espessura saturada (m) do Aquífero Açú (trecho Apodi- Upanema).



Fonte: STEIN; MELO, 2006.

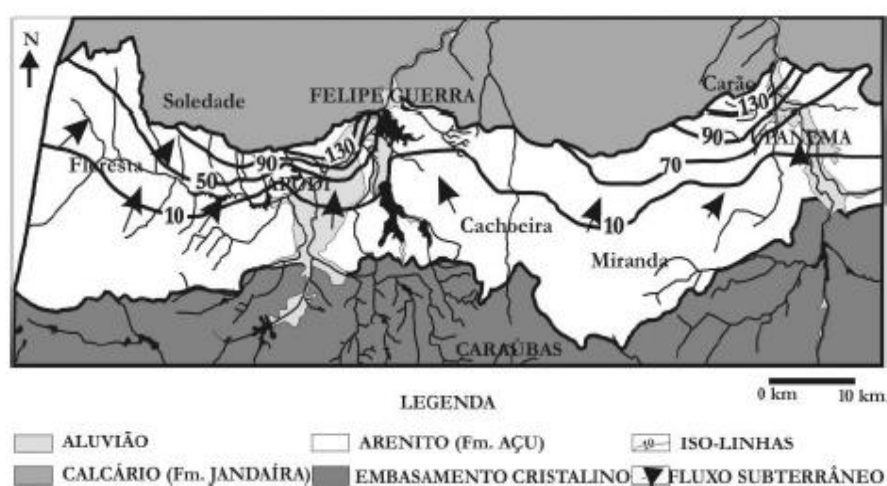
#### 4.1.5.1.1 Transmissividade

Segundo Stein e Melo (2006), parâmetros hidrodinâmicos como a transmissividade foram obtidos através de testes de bombeamento, que atestaram que a transmissividade no aquífero cresce sempre do Sul para o Norte. No norte dos municípios de Upanema e Apodi foram indicadas as maiores taxas com valores de 130 m<sup>2</sup>/d. Ao noroeste de Apodi, o valor desse parâmetro variou de 50 a 90 m<sup>2</sup>/d. No Sul, a transmissividade é baixa, inferior a 10 m<sup>2</sup>/d.

A transmissividade do aquífero cresce no sentido de sul para norte segundo a direção do fluxo subterrâneo no trecho de Apodi-Upanema-RN (Figura 33), com valores de menos de 10 m<sup>2</sup>/d até 280 m<sup>2</sup>/d, condicionando melhores possibilidades hidrogeológicas na faixa norte da área (STEIN, 2003).

Vasconcelos (2006) afirma que utilizando o Método Cooper & Jacob, a transmissividade média do aquífero Açú no trecho de Upanema- Afonso Bezerra é 3,29 m<sup>2</sup>/d. Já pelo Método Recuperação de Theis & Jacob, a transmissividade média é 2,29 m<sup>2</sup>/d para o mesmo trecho. Nesta parte do aquífero a direção de aumento da transmissividade é o mesmo de Apodi- Upanema: sul-norte.

Figura 33 – Isolinhas dos valores de transmissividade (m<sup>2</sup>/d) (trecho Apodi- Upanema).



Fonte: STEIN; MELO, 2006.

#### 4.1.5.1.2 Condutividade Hidráulica

A condutividade hidráulica é outro parâmetro hidrodinâmico e se comporta como a transmissividade, aumentando no sentido de sul para norte no trecho Apodi-Upanema- RN (Figura 34). No Sul, marca valores inferiores a 0,2 m/d e ao norte 1,9 m/d (STEIN; MELO, 2006).

De acordo com Vasconcelos (2006), a condutividade hidráulica no trecho Upanema- Afonso Bezerra- RN também aumenta na direção sul-norte e o valor médio determinado pelo Método de Cooper & Jacob é da ordem de 7,58 m/d e de 4,15 m/d pelo Método Recuperação de Theis & Jacob.

Figura 34 – Isolinhas dos valores de condutividade (m/d) (trecho Apodi- Upanema).



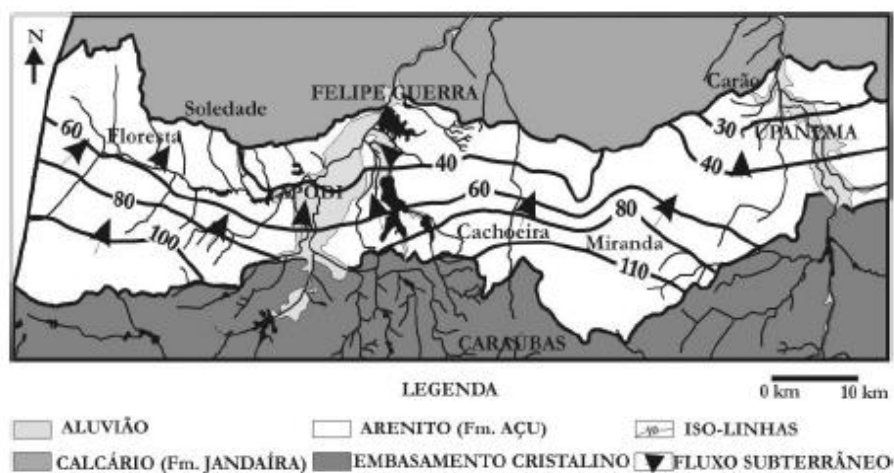
Fonte: STEIN; MELO, 2006.

#### 4.1.5.1.3 Gradiente Hidráulico

As águas subterrâneas escoam conforme a diminuição de outro parâmetro denominado de gradiente hidráulico. Também no sentido sul para norte, esse gradiente diminui de 1% (ao sul) para 0,2% (ao norte) no trecho Apodi-Upanema- RN (Figura 35), confirmando as melhores potencialidades hidrogeológicas (STEIN; MELO, 2006).



Figura 35 – Sentido do escoamento com base no gradiente hidráulico (Trecho Apodi- Upanema)



Fonte: STEIN; MELO, 2006.

#### 4.1.5.2 Recarga e Potencialidade

De acordo com Lerner *et. al.* (1990); Simmers *et al.* (1997); Lerner (1997); Healy & Cook (2002); Sanford (2002) e Vries & Simmers (2002), a recarga das águas subterrâneas é um parâmetro extremamente importante para o conhecimento da hidrodinâmica de aquíferos, além de ser muito difícil de ser estimado em regiões de sazonalidade irregular como o semiárido brasileiro.

As águas se infiltram na zona de afloramento da Formação Açú e seguem no sentido de sul para norte em direção ao mar. O aquífero Açú na sua zona de afloramento é referido como sendo do tipo livre. Nos demais domínios da Bacia Potiguar, o mesmo apresenta condições de semi-confinamento, o que ocorre quando as camadas argilosas da porção superior da Formação Açú e/ou porção basal da Formação Jandaíra lhe conferem esse caráter (STEIN; MELO, 2006).

Segundo Stein e Melo (2006), o Aquífero Açú é do tipo livre, ou seja, as suas potencialidades estão condicionadas à infiltração direta da água de chuva, cujo volume compensa as reservas que se perdem nos escoamentos naturais e na exploração por poços.

Em menor proporção, a recarga se dá pelo fluxo superficial dos rios e pela drenança vertical dos níveis arenoargilosos que ficam numa porção superior à

Formação Açu, no domínio aluvionar. Ainda se ressalta a utilização de técnicas isotópicas e hidroquímicas na porção oriental da Bacia Potiguar (Frischkorn *et al.*, 1988). Constatou-se pelo estudo das razões  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ , D/H, da concentração de  $^{14}\text{C}$  nos bicarbonatos dissolvidos e análise química dos elementos maiores, uma forte interação entre os aquíferos Açu e Jandaíra. De acordo com IPT (1982), trata-se da transferência de água do Aquífero Açu para o aquífero superior, o Jandaíra, por drenança vertical ascendente feita por meio de uma camada semi-confinante.

Dependendo das diferenças de cargas hidráulicas entre os Aquíferos Açu e Jandaíra, tem-se a ocorrência de drenança vertical ascendente ou descendente. Nesse último caso, a carga hidráulica do Aquífero Açu é inferior à do Jandaíra, e o fenômeno de drenança ascendente ocorrerá quando a carga potenciométrica do Açu for superior à do Jandaíra (STEIN, 2003).

Mesmo sendo um aquífero livre, a recarga na área é dificultada pelo clima que causa um déficit hídrico, pela constituição arenoargilosa na parte superior à Formação Açu e pelo atraso do efeito das precipitações no lençol, por conta da grande profundidade do nível freático em torno de 20 a 80 m, de modo geral (STEIN; MELO, 2006).

A Figura 36 traz a profundidade do nível freático no aquífero Açu em trechos separados por isolinhas entre Apodi e Upanema- RN:

Figura 36 – Isolinhas de profundidade do nível freático no Aquífero Açu (trecho Apodi- Upanema).



Fonte: STEIN; MELO, 2006.

Stein e Melo (2006) dividiram o aquífero Açú no trecho Apodi- Upanema- RN em três zonas distintas quanto às suas potencialidades hidrogeológicas (Figura 37):

- Zona A: É a zona de maior espessura saturada com uma média de 150 m, logo é a de maior potencial hidrogeológico. A transmissividade é na ordem de 130 m<sup>2</sup>/d e os poços com profundidade média de 160 m chegarão a ter uma vazão de até 100 m<sup>3</sup>/h.
- Zona B: De potencial hidrogeológico intermediário. A espessura saturada tem uma média de 70 m, o valor da transmissividade é de 70 m<sup>2</sup>/d e os poços com profundidade média de 120 m produzirão vazões de até 50 m<sup>3</sup>/h.
- Zona C: Zona de menor potencial hidrogeológico. Aqui o aquífero tem uma espessura saturada de até 30 m, a transmissividade é inferior a 10 m<sup>2</sup>/d e os poços com profundidade de 70 m gerarão uma vazão de no máximo 10 m<sup>3</sup>/h.

Figura 37 – Aquífero dividido em zonas quanto à potencialidade hidrogeológica (trecho Apodi-Upanema).



Fonte: STEIN; MELO, 2006.

A área onde o aquífero Açú é bastante solicitado localiza-se a cerca de 70 km ao norte da zona de afloramento da Formação Açú, zona principal de recarga do Aquífero Açú, na região de Mossoró. Atualmente, o abastecimento público da cidade de Mossoró é feito com o uso conjunto de águas superficiais e subterrâneas. As águas superficiais são provenientes da Barragem Armando Ribeiro Gonçalves e contribuem com uma expressiva parcela de água no suprimento de Mossoró. Assim sendo, em termos

potenciais, o Aquífero Açu deve estar sendo menos solicitado (HIDROSERVICE/SERHID, 1998a).

#### 4.1.6 Aquífero Açu na área de estudo

##### 4.1.6.1 Poços tubulares de monitoramento na área de estudo

Foram estudados os dados de monitoramento dos níveis freáticos em seis poços, um em cada município da área de estudo no Aquífero Açu. Todos os poços são monitorados pela Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas (RIMAS) que faz parte da CPRM, utilizando um medidor automático de nível. Os resultados do monitoramento permanente e contínuo propiciam, a médio e longo prazo, a identificação de impactos às águas subterrâneas, a estimativa da disponibilidade do recurso hídrico subterrâneo, dentre outras informações.

A seguir, para cada poço, estão citados em quadros os dados gerais, geológicos e hidrogeológicos, de localização, além de figuras que mostram a parte externa desses poços:

##### ➤ Apodi- RN

Quadro 1 – Dados gerais do poço tubular em Apodi- RN

<b>Código</b>	<b>Nome</b>	<b>Data da Instalação</b>	<b>Proprietário</b>	<b>Natureza</b>	<b>Cota do Terreno (m)</b>
2600041031	SRI-05-RN	22/07/2011	CPRM-SUREG/RE	Monitoramento	49,49

Fonte: CPRM (2019).

Quadro 2 – Dados de localização do poço tubular em Apodi-RN

<b>Localidade</b>	<b>UTM (N-S)</b>	<b>UTM (E-W)</b>	<b>Bacia Hidrográfica</b>	<b>Sub-bacia Hidrográfica</b>
Secretaria de Agricultura de Apodi	9374060	634313	Atlântico Sul-N/NE	Rios Apodi, Piranhas, outros.

Fonte: CPRM (2019).

Quadro 3 – Dados da formação geológica do poço tubular em Apodi- RN

<b>Profundidade Inicial (m)</b>	<b>Profundidade Final (m)</b>	<b>Feição Geomorfológica</b>	<b>Formação</b>
0,00	96,00	Planície Fluvial	Açu

Fonte: CPRM (2019).

Quadro 4 – Dados litológicos do poço tubular em Apodi-RN

<b>De (m)</b>	<b>Até (m)</b>	<b>Litologia</b>	<b>Descrição Litológica</b>
0	4	Argila	Argila avermelhada
4	8	Arenito argiloso	Arenito pouco argiloso esbranquiçado
8	20	Arenito argiloso	Arenito argiloso avermelhado
20	100	Arenito fino	Arenito fino pouco argiloso esbranquiçado

Fonte: CPRM (2019).

Quadro 5 – Dados hidrogeológicos do poço tubular em Apodi-RN

<b>Aquífero</b>	<b>Topo (m)</b>	<b>Base (m)</b>	<b>Captação</b>	<b>Condição</b>	<b>Penetração</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Nível Estático (m)</b>	<b>Nível Dinâmico (m)</b>
Poroso	96,00	0,00	Única	Livre	Parcial	0,011	10,2	79,4

Fonte: CPRM (2019).

Figura 38 – Parte externa do poço de monitoramento em Apodi-RN.



Fonte: CPRM (2019).

➤ Caraúbas- RN

Quadro 6 – Dados gerais do poço tubular em Caraúbas- RN

<b>Código</b>	<b>Nome</b>	<b>Data da Instalação</b>	<b>Proprietário</b>	<b>Natureza</b>	<b>Cota do Terreno (m)</b>
2600049469	SRI-08-RN	27/07/2012	CPRM-SUREG/RE	Monitoramento	107,01

Fonte: CPRM (2019).

Quadro 7 – Dados de localização do poço tubular em Caraúbas-RN

<b>Localidade</b>	<b>UTM (N-S)</b>	<b>UTM (E-W)</b>	<b>Bacia Hidrográfica</b>	<b>Sub-bacia Hidrográfica</b>
Assent. Primeiro de Maio III	9373654	667739	Atlântico Sul-N/NE	Rios Apodi, Piranhas, outros.

Fonte: CPRM (2019).

Quadro 8 – Dados da formação geológica do poço tubular em Caraúbas- RN

<b>Profundidade Inicial (m)</b>	<b>Profundidade Final (m)</b>	<b>Feição Geomorfológica</b>	<b>Formação</b>
0,00	116	Colina	Açu

Fonte: CPRM (2019).

Quadro 9 – Dados litológicos do poço tubular em Caraúbas-RN

De (m)	Até (m)	Litologia	Descrição Litológica
0	4	Argila	Argila vermelha
4	30	Argilito arenoso	Argilito arenoso cinza amarelado
30	60	Argilito	Argilito verde
60	78	Arenito argiloso	Arenito argiloso amarelo
78	80	Arenito médio	Arenito médio vermelho
80	92	Arenito médio	Arenito médio branco
92	118	Arenito	Arenito médio a grosseiro amarelo

Fonte: CPRM (2019).

Quadro 10 – Dados hidrogeológicos do poço tubular em Caraúbas-RN

Aquífero	Topo (m)	Base (m)	Captação	Condição	Penetração	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Nível Estático (m)	Nível Dinâmico (m)
Poroso	116,00	0,00	Única	Livre	Parcial	5,4	40,72	43,81

Fonte: CPRM (2019).

Figura 39 – Parte externa do poço de monitoramento em Caraúbas-RN.



Fonte: CPRM (2019).

➤ Upanema- RN

Quadro 11 – Dados gerais do poço tubular em Upanema- RN

<b>Código</b>	<b>Nome</b>	<b>Data da Instalação</b>	<b>Proprietário</b>	<b>Natureza</b>	<b>Cota do Terreno (m)</b>
2600039600	SRI-02- RN	17/06/2011	CPRM- SUREG/RE	Monitoramento	63,51

Fonte: CPRM (2019).

Quadro 12 – Dados de localização do poço tubular em Upanema-RN

<b>Localidade</b>	<b>UTM (N-S)</b>	<b>UTM (E-W)</b>	<b>Bacia Hidrográfica</b>	<b>Sub-bacia Hidrográfica</b>
Assent. Esperança	9374028	689923	Atlântico Sul- N/NE	Rios Apodi, Piranhas, outros.

Fonte: CPRM (2019).

Quadro 13 – Dados da formação geológica do poço tubular em Upanema- RN

<b>Profundidade Inicial (m)</b>	<b>Profundidade Final (m)</b>	<b>Feição Geomorfológica</b>	<b>Formação</b>
0,00	38,00	Colina	Açu

Fonte: CPRM (2019).

Quadro 14 – Dados litológicos do poço tubular em Upanema-RN

<b>De (m)</b>	<b>Até (m)</b>	<b>Litologia</b>	<b>Descrição Litológica</b>
0	2	Argila arenosa	Argila arenosa de coloração marrom avermelhada.
2	8	Argila arenosa	Argila arenosa marrom
8	10	Argilito	Argilito vermelho
10	15	Siltito	Siltito marrom
15	16	Argilito arenosa	Argilito arenoso marrom avermelhado, de moderada plasticidade.
16	19	Argilito arenoso	Argilito arenoso
19	21	Argilito arenoso	Arenito argiloso marrom
21	22	Argilito	Argilito vermelho
22	29	Siltito	Siltito argiloso marrom claro a marrom avermelhado.
29	30	Argilito arenoso	Argilito arenoso marrom
30	35	Siltito	Siltito argiloso marrom avermelhado, com níveis de quartzo de tamanho médio variando de angulosos a subangulosos e de subarredondados a arredondados.
35	38	Argilito arenoso	Argilito arenoso vermelha amarronzada
38	40	Argilito	Argilito de alteração do cristalino, contendo quartzo, mica branca e feldspato, de coloração verde escura com porções esbranquiçadas.
40	42	Xisto	Biotita Xisto, composta essencialmente por biotita, quartzo, feldspato (alterado para caulim) e mica esverdeada, de coloração preta a porções esverdeadas.

Fonte: CPRM (2018).



Quadro 15 – Dados hidrogeológicos do poço tubular em Upanema-RN

Aquífero	Topo (m)	Base (m)	Captação	Condição	Penetração	Vazão (m³/h)	Nível Estático (m)	Nível Dinâmico (m)
Poroso	38,00	00,00	Única	Livre	Parcial	1,2	12,87	34,43

Fonte: CPRM (2019).

Figura 40 – Parte externa do poço de monitoramento em Upanema-RN.



Fonte: CPRM (2019).

➤ Açu- RN

Quadro 16 – Dados gerais do poço tubular em Açu- RN

Código	Nome	Data da Instalação	Proprietário	Natureza	Cota do Terreno (m)
2600039601	SRI-03-RN	21/07/2011	CPRM-SUREG/RE	Monitoramento	51,65

Fonte: CPRM (2019).

Quadro 17 – Dados de localização do poço tubular em Açu-RN

Localidade	UTM (N-S)	UTM (E-W)	Bacia Hidrográfica	Sub-bacia Hidrográfica
Fazenda Olho D'água do Mato	9385129	715422	Atlântico Sul-N/NE	Rios Apodi, Piranhas, outros.

Fonte: CPRM (2019).

Quadro 18 – Dados da formação geológica do poço tubular em Açú- RN

<b>Profundidade Inicial (m)</b>	<b>Profundidade Final (m)</b>	<b>Feição Geomorfológica</b>	<b>Formação</b>
0,00	102,00	Colina	Açú

Fonte: CPRM (2019).

Quadro 19 – Dados litológicos do poço tubular em Açú-RN

<b>De (m)</b>	<b>Até (m)</b>	<b>Litologia</b>	<b>Descrição Litológica</b>
0	4	Areia argilosa	Areia argilosa cinza
4	6	Argila arenosa	Argila arenosa
6	9	Argilito	Argilito vermelho escuro de boa plasticidade
9	13	Arenito argilosa	Arenito argiloso vermelho
13	19	Argilito arenosa	Argilito arenoso
19	20	Arenito média	Arenito médio a grosso com níveis de cascalho quartzoso, marrom avermelhado.
20	22	Arenito argilosa	Arenito argiloso, de granulação fina a média, vermelho clara
22	34	Arenito argilosa	Arenito argiloso de granulação fina a média com níveis de cascalho quartzoso, de coloração vermelho clara.
34	36	Argilito arenosa	Argilito arenoso
36	43	Arenito argilosa	Arenito argiloso vermelho
43	46	Argilito	Argilito vermelho
46	57	Arenito argilosa	Arenito argiloso de granulação fina a média, vermelho claro.
57	61	Argilito	Argilito vermelho
61	63	Arenito argilosa	Arenito argiloso de granulação fina a média, vermelho escuro.
63	65	Argilito	Argilito vermelha
65	69	Arenito argiloso	Arenito argiloso, de granulação fina a média, com grãos de quartzo variando de angulosos a subangulosos e de subarredondados a arredondados, marrom.
69	70	Argilito arenosa	Argila arenoso vermelho
70	98	Arenito fino	Arenito fino a médio com porções argilosas, com grãos de quartzo variando de angulosos a subangulosos e de subarredondados a arredondados, marrom clara.
98	99	Argilito	Argilito vermelho
99	102	Arenito fino	Arenito fino a médio com porções argilosas, com grãos de quartzo variando de angulosos a subangulosos e de subarredondados a arredondados, marrom claro.

Fonte: CPRM (2019).

Quadro 20 – Dados hidrogeológicos do poço tubular em Açú-RN

Aquífero	Topo (m)	Base (m)	Captação	Condição	Penetração	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Nível Estático (m)	Nível Dinâmico (m)
Poroso	102,00	0,00	Única	Livre	Parcial	5,4	40,72	43,78

Fonte: CPRM (2019).

Figura 41 – Parte externa do poço de monitoramento em Açú-RN.



Fonte: CPRM (2019).

➤ Afonso Bezerra- RN

Quadro 21 – Dados gerais do poço tubular em Afonso Bezerra- RN

Código	Nome	Data da Instalação	Proprietário	Natureza	Cota do Terreno (m)
2600039599	SRI-01-RN	18/06/2011	CPRM-SUREG/RE	Monitoramento	39,81

Fonte: CPRM (2019).

Quadro 22 – Dados de localização do poço tubular em Afonso Bezerra-RN

Localidade	UTM (N-S)	UTM (E-W)	Bacia Hidrográfica	Sub-bacia Hidrográfica

São Sebastião dos Torquatos	9399782	773654	Atlântico Sul-N/NE	Rios Paraíba, Potengi, outros.
-----------------------------	---------	--------	--------------------	--------------------------------

Fonte: CPRM (2019).

Quadro 23 – Dados da formação geológica do poço tubular em Afonso Bezerra- RN

Profundidade Inicial (m)	Profundidade Final (m)	Feição Geomorfológica	Formação
0,00	95,00	Planície Fluvial	Açu

Fonte: CPRM (2019)

Quadro 24 – Dados litológicos do poço tubular em Afonso Bezerra-RN

De (m)	Até (m)	Litologia	Descrição Litológica
0	2	Argila arenosa	Argila arenosa de coloração creme a marrom clara
2	5	Calcário	Calcário amarelo claro, afossilífero
5	7	Argilito arenoso	Argilito arenoso de coloração preta
7	18	Argilito calcífera	Argilito arenoso calcífero, de coloração cinza clara
18	25	Argilito calcífera	Argilito calcífero com níveis de areia muito fina, de baixa plasticidade, com coloração marrom clara a vermelha.
25	26	Arenito calcífero argiloso	Arenito calcífero argiloso marrom
26	27	Folhelho	Folhelho vermelho escuro com porções de cinza escuro
27	30	Argilito arenosa	Argilito arenoso de baixa plasticidade, com coloração marrom clara
30	31	Arenito calcífero	Arenito calcífero médio a grosseiro, com porções argilosas, de coloração marrom claro
31	33	Folhelho	Folhelho marrom avermelhado com porções verde escuro
33	35	Argilito arenosa	Argilito arenoso marrom
35	39	Folhelho	Folhelho vermelho escuro a cinza escuro
39	58	Argilito arenoso	Argilito arenoso vermelha
58	61	Folhelho	Folhelho vermelho
61	67	Arenito Fino	Arenito fino a médio, de coloração vermelho claro, com grãos de quartzo variando de subangulosos a angulosos e de subarredondados a arredondados.
67	69	Argilito arenoso	Argilito arenoso vermelha
69	72	Argilito arenoso	Argilito arenoso vermelha
72	74	Folhelho	Folhelho vermelho
74	84	Argilito arenoso	Argilito arenoso vermelha

84	95	Arenito médio	Arenito médio de coloração vermelha escuro, com grãos de quartzo variando de subangulosos a angulosos e de subarredondados a arredondados.
95	97	Argilito	Argilito de alteração vermelha escura a cinza escura, com moderada plasticidade (cristalino alterado).

Fonte: CPRM (2019).

Quadro 25 – Dados hidrogeológicos do poço tubular em Afonso Bezerra-RN

Aquífero	Topo (m)	Base (m)	Captação	Condição	Penetração	Vazão (m³/h)	Nível Estático (m)	Nível Dinâmico (m)
Poroso	95,00	0,00	Única	Livre	Parcial	6,5	11,32	17,03

Fonte: CPRM (2019).

Figura 42 – Parte externa do poço de monitoramento em Afonso Bezerra-RN.



Fonte: CPRM (2019).

➤ Jardim de Angicos

Quadro 26 – Dados gerais do poço tubular em Jardim de Angicos- RN

<b>Código</b>	<b>Nome</b>	<b>Data da Instalação</b>	<b>Proprietário</b>	<b>Natureza</b>	<b>Cota do Terreno (m)</b>
2600049468	SRI-09-RN	30/07/2012	CPRM-SUREG/RE	Monitoramento	223,46

Fonte: CPRM (2019).

Quadro 27 – Dados de localização do poço tubular em Jardim de Angicos-RN

<b>Localidade</b>	<b>UTM (N-S)</b>	<b>UTM (E-W)</b>	<b>Bacia Hidrográfica</b>	<b>Sub-bacia Hidrográfica</b>
Serrinha de Cima	9390314	170027	Atlântico Sul-N/NE	Rios Paraíba, Potengi, outros.

Fonte: CPRM (2019).

Quadro 28 – Dados da formação geológica do poço tubular em Jardim de Angicos- RN

<b>Profundidade Inicial (m)</b>	<b>Profundidade Final (m)</b>	<b>Feição Geomorfológica</b>	<b>Formação</b>
0,00	60,00	Pedimento	Açu

Fonte: CPRM (2019).

Quadro 29 – Dados litológicos do poço tubular em Jardim de Angicos-RN

<b>De (m)</b>	<b>Até (m)</b>	<b>Litologia</b>	<b>Descrição Litológica</b>
0	8	Arenito argiloso	Arenito argiloso escuro
8	16	Argilito	Argilito amarelo
16	24	Argilito	Argilito vermelho
24	40	Arenito argiloso	Arenito argiloso vermelho
40	64	Arenito argiloso	Arenito argiloso vermelho
64	66	Arenito argiloso	Arenito argiloso com traços de calcário
66	68	Argilito	Argilito com traços de calcário vermelho

Fonte: CPRM (2019).

Quadro 30 – Dados hidrogeológicos do poço tubular em Jardim de Angicos-RN

Aquífero	Topo (m)	Base (m)	Captação	Condição	Penetração	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Nível Estático (m)	Nível Dinâmico (m)
Poroso	60,00	0,00	Única	Livre	Parcial	2,06	32,00	37,70

Fonte: CPRM (2019).

Figura 43 – Parte externa do poço de monitoramento em Jardim de Angicos-RN.

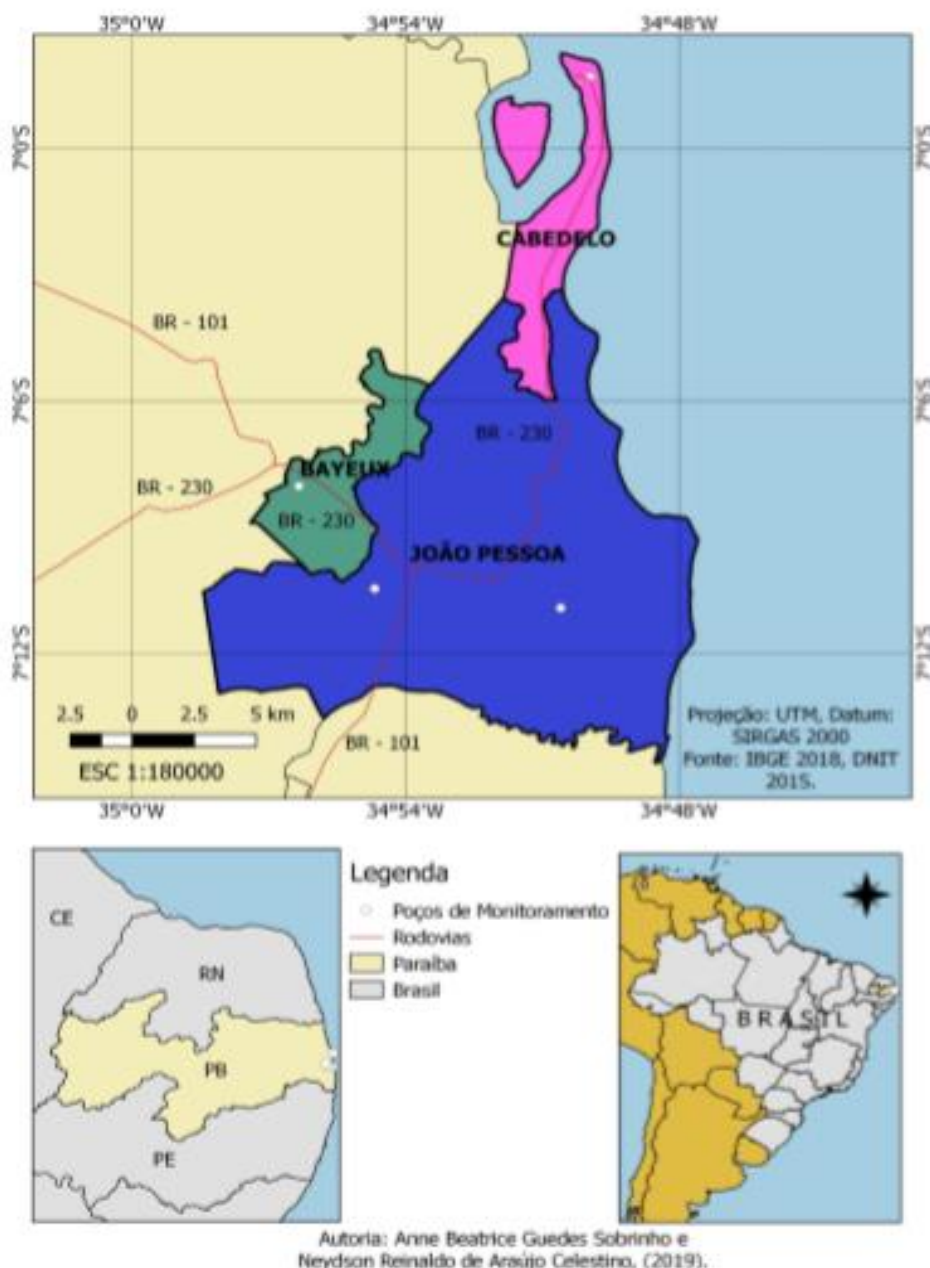


Fonte: CPRM (2019).

#### 4.2 Contextualização da área de ocorrência do Aquífero Beberibe- PB

A região do litoral da Paraíba é dominada por rochas sedimentares como arenitos, inserida na Bacia Sedimentar Paraíba. As condições climáticas e geológicas favorecem a infiltração e acúmulo de água tanto superficial quanto subterrânea (BRITO NEVES *et al.*, 2005). Os municípios com poços tubulares monitorados fazem parte da Região Metropolitana de João Pessoa, são eles: João Pessoa, Cabedelo e Bayeux (Figura 44).

Figura 44 – Delimitação territorial e localização dos municípios estudados no aquífero Beberibe- PB.



Fonte: SOBRINHO; STEIN, 2020.

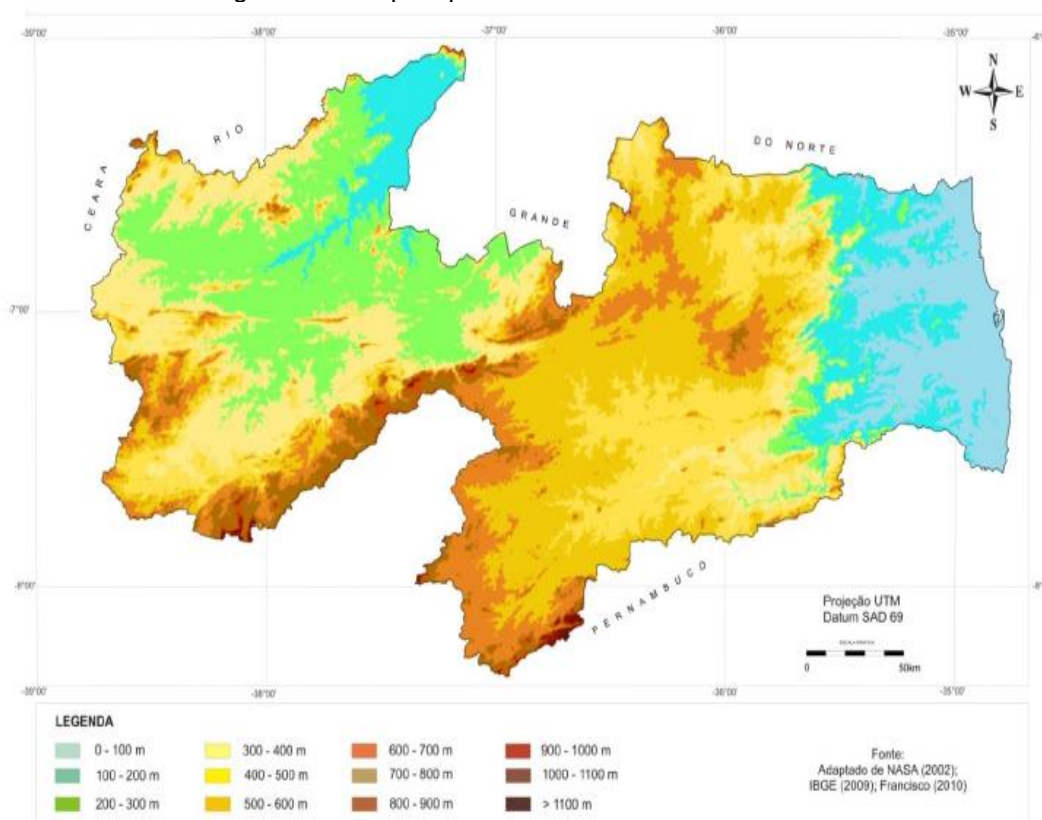
#### 4.2.1 Climatologia e aspectos fisiográficos regionais

Para Barros *et al.* (2012), o relevo do Estado da Paraíba apresenta-se, de forma geral, bastante diversificado, constituindo-se por formas de relevo distintas, trabalhadas por diferentes processos, atuando sob climas também distintos e sobre rochas pouco ou muito diferenciadas (Figura 45). No tocante à geomorfologia, existem dois grupos formados pelos tipos climáticos mais significativos do Estado: úmido, subúmido e



semiárido. O uso atual e a cobertura vegetal caracterizam-se por formações florestais definidas, como caatinga arbustiva arbórea aberta, caatinga arbustiva arbórea fechada, caatinga arbórea fechada, tabuleiro costeiro, mangues, mata-úmida, mata semi-decidual, mata atlântica e restinga.

Figura 45 – Mapa hipsométrico do estado da Paraíba.



Fonte: FRANCISCO *et al.*, 2014.

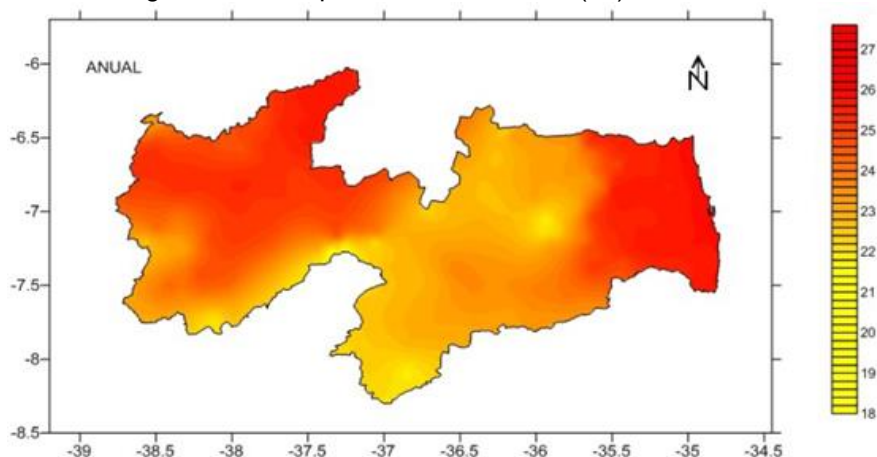
No Nordeste Brasileiro (NEB), os principais mecanismos causadores de chuvas são os Sistemas Frontais, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e as perturbações ondulatórias no campo dos ventos alísios (ARAGÃO, 1975). A dinâmica da atmosfera se processa em diferentes escalas de espaço e de tempo, em função da ocorrência de fenômenos que operam em escala global, tais como as grandes células de circulação meridional, El Niño/La Niña e Oscilação Sul (ENOS), Dipolo do Atlântico; e em fenômenos que se processam regionalmente, como no caso das massas de ar e dos sistemas atmosféricos secundários que são capazes de alterar o funcionamento habitual da circulação geral da atmosfera (VAREJÃO-SILVA, 2006; ARAGÃO, 1998; FRANÇA *et al.*, 2000).

O Estado da Paraíba é caracterizado por dois regimes de chuvas, um de fevereiro a maio, nas regiões do Alto Sertão, Sertão e Cariri/Curimataú; e outro de abril a julho, no Agreste, Brejo e Litoral. Os principais sistemas responsáveis são a Zona de Convergência Intertropical - ZCIT, as Frentes Frias, os Distúrbios de Leste ou Ondas de Leste e os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) (ARAGÃO, 1998).

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é o principal sistema meteorológico provedor de chuvas no setor norte do NEB (Nordeste Brasileiro), onde o Estado da Paraíba está inserido (PEREIRA *et al.*, 2012). A penetração de Frentes Frias até as latitudes tropicais, entre os meses de novembro e janeiro, é responsável pelas chuvas na faixa litorânea da região. As frentes frias são bandas de nuvens organizadas que se formam na região de confluência entre uma massa de ar frio (mais densa) com uma massa de ar quente (menos densa) (ARAGÃO, 1998). Os distúrbios ondulatórios de leste são ondas que se formam no campo de pressão atmosférica, na faixa tropical do globo terrestre, provocando chuvas principalmente na Zona da Mata e os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) que atingem o estado da Paraíba formam-se no Oceano Atlântico entre os meses de outubro e março e sua trajetória normalmente é de leste para oeste, com maior frequência durante os meses de janeiro e fevereiro (VAREJÃO-SILVA, 2006).

No litoral (setor Leste) e em grande parte da mesorregião do Sertão (setor Oeste) da Paraíba, onde as altitudes são baixas, observam-se os maiores valores de temperatura média ao longo do ano (Figura 46). Os meses com temperaturas mais baixas são os meses de junho, julho e agosto, enquanto os meses mais quentes são outubro, novembro e dezembro, no estado como um todo, sendo estes os meses com os menores índices de precipitação pluviométrica, pois é o período mais seco da região (FRANCISCO; SANTOS, 2017).

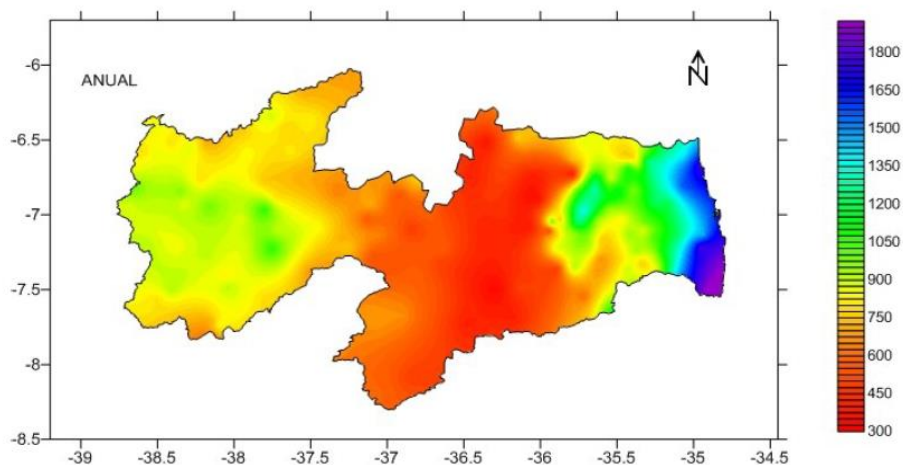
Figura 46 – Temperatura média anual (°C) da Paraíba.



Fonte: FRANCISCO; SANTOS, 2017.

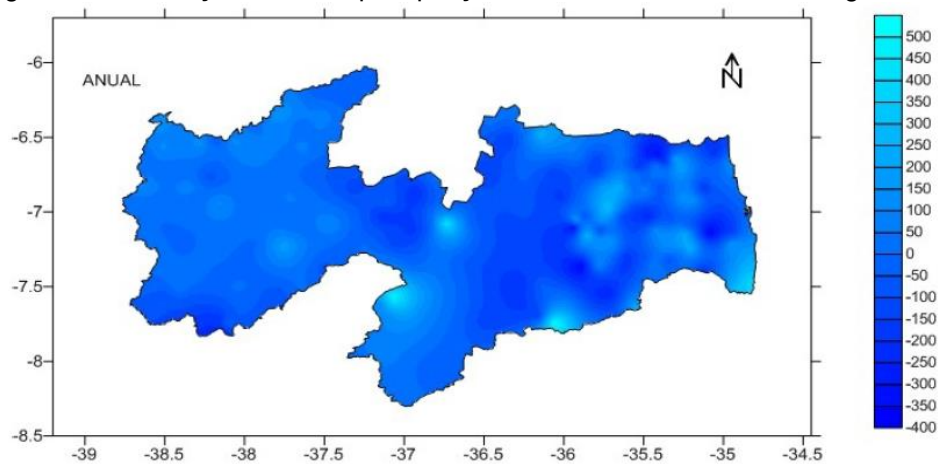
O litoral da Paraíba é o setor onde ocorrem os maiores índices pluviométricos do Estado com uma média de 1.200 a 1.600mm (Figura 47). O período chuvoso inicia-se em abril e vai até julho, tendo maio como o mês em que advêm os mais elevados índices de precipitação. Observou-se ainda que, durante todos os meses do ano, os totais pluviométricos mais elevados ocorrem no litoral sul do estado e que existe uma moderada flutuação pluviométrica na área litorânea (Figura 48) ao longo do ano (FRANCISCO; SANTOS, 2017).

Figura 47 – Pluviosidade anual média (mm) da Paraíba.



Fonte: FRANCISCO; SANTOS, 2017.

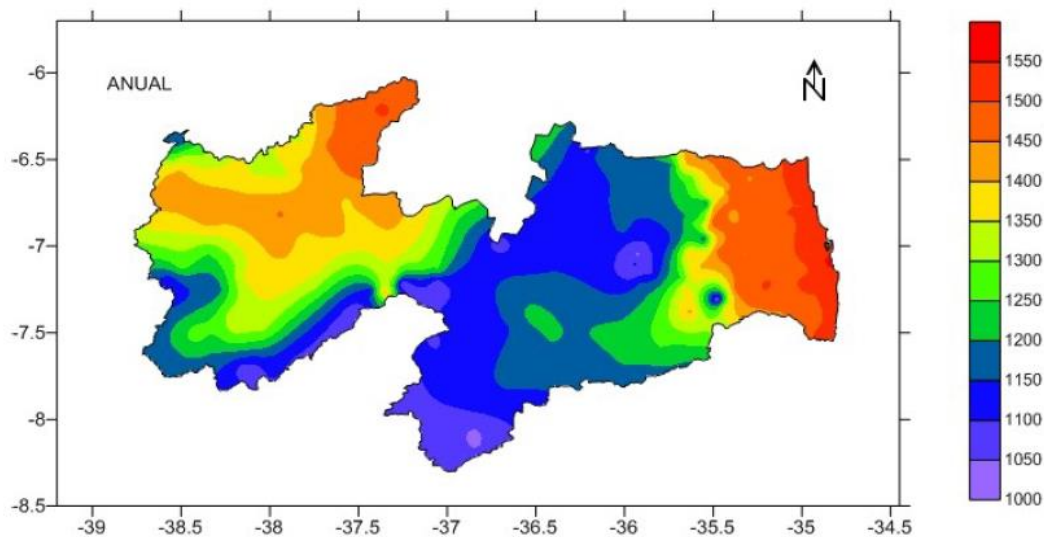
Figura 48 – Flutuação anual de precipitação no estado da Paraíba ao longo do ano.



Fonte: FRANCISCO; SANTOS, 2017.

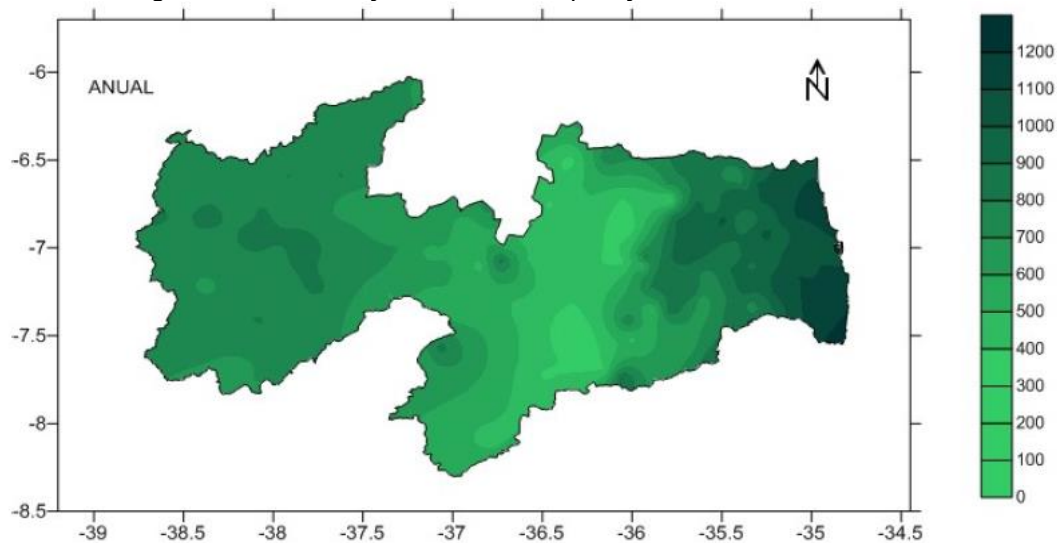
Na evapotranspiração potencial de referência anual, tem-se que no Litoral ocorre uma média de ETo de, aproximadamente,  $1.500 \text{ mm.ano}^{-1}$  (Figura 49). A região do Litoral Paraibano, localizada entre os paralelos de  $35,5$  a  $35^{\circ}\text{S}$ , aproximadamente, apresenta altos índices evaporação (Figura 50) que se estendem de março a setembro, coincidindo com os meses chuvosos da região. Já de outubro a fevereiro, ocorrem os mínimos valores hídricos evaporados (FRANCISCO; SANTOS, 2017). Outros fatores que influenciam a evapotranspiração da região são a vegetação e os tipos de solos muitos diversificados (ARAGÃO, 1998).

Figura 49 – Evapotranspiração Potencial Anual do Estado da Paraíba.



Fonte: FRANCISCO; SANTOS, 2017.

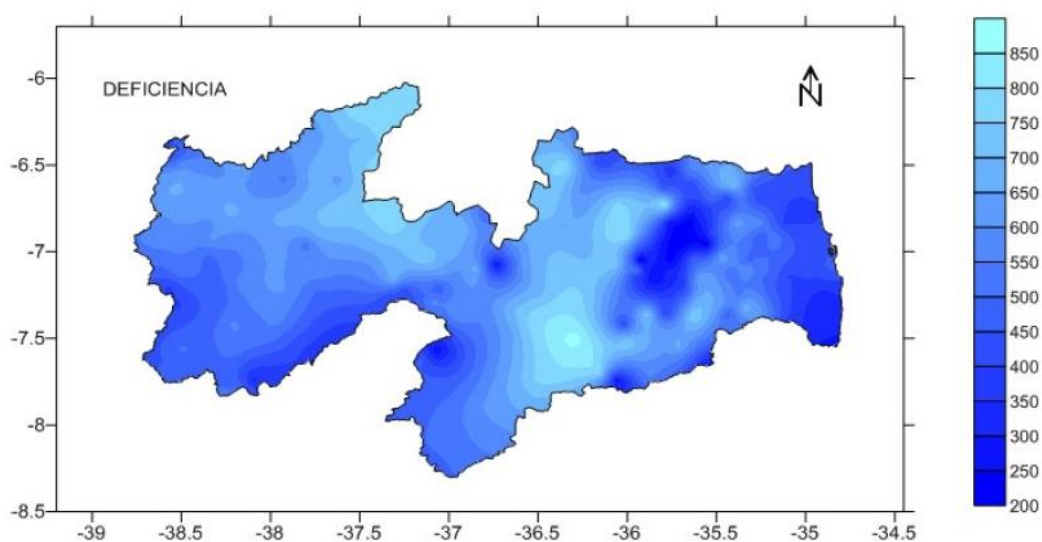
Figura 50 – Distribuição anual da evaporação no estado da Paraíba.



Fonte: FRANCISCO; SANTOS, 2017.

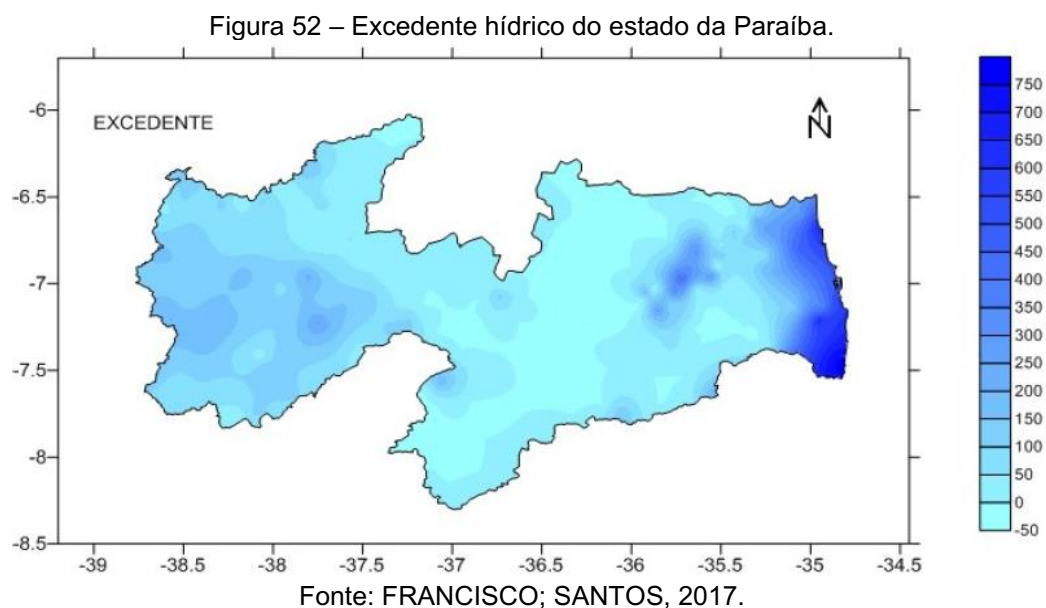
Existe uma deficiência hídrica na capacidade de campo (CAD) de 100 mm para o Estado da Paraíba. As deficiências são baixas na faixa litorânea e Brejo (Figura 51), intermediária na faixa do Agreste e contornando a divisa com o Estado de Pernambuco (FRANCISCO; SANTOS, 2017).

Figura 51 – Deficiência hídrica da Paraíba.

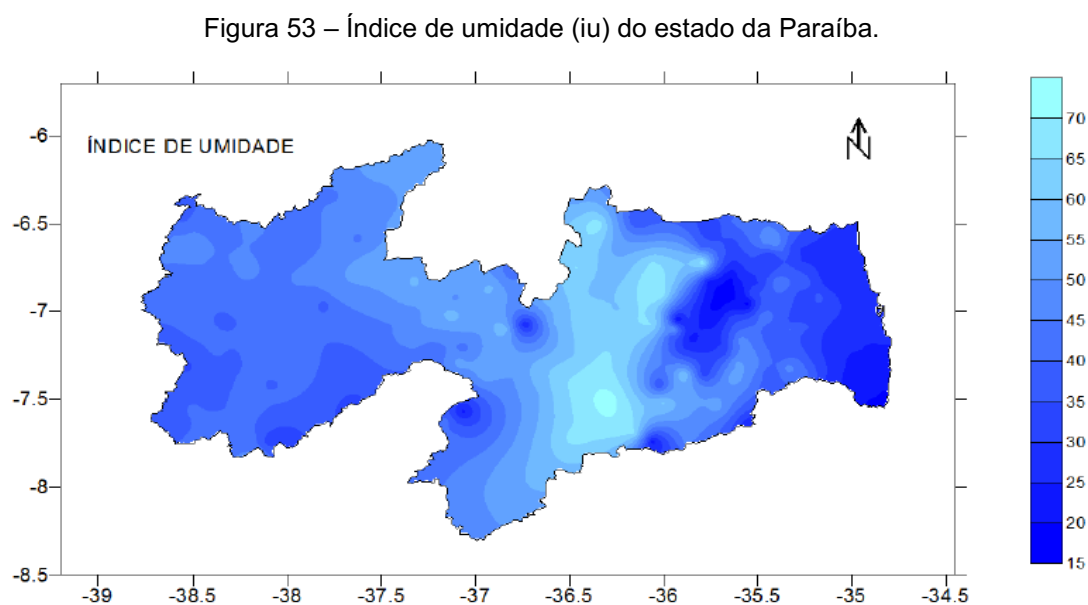


Fonte: FRANCISCO; SANTOS, 2017.

De acordo com a distribuição do excedente hídrico, foi observado que, em praticamente todo o Estado da Paraíba, apenas a faixa litorânea e pontos isolados do Brejo apresentam os maiores índices (Figura 52). Os maiores índices foram registrados no Litoral Sul, em torno de 750 mm (FRANCISCO; SANTOS, 2017).



O índice de umidade representa o excesso hídrico representado pela evapotranspiração potencial, expresso em porcentagem. Segundo a Figura 53, as regiões do Litoral, Agreste e Brejo são as que contêm os melhores índices de umidade (FRANCISCO; SANTOS, 2017).

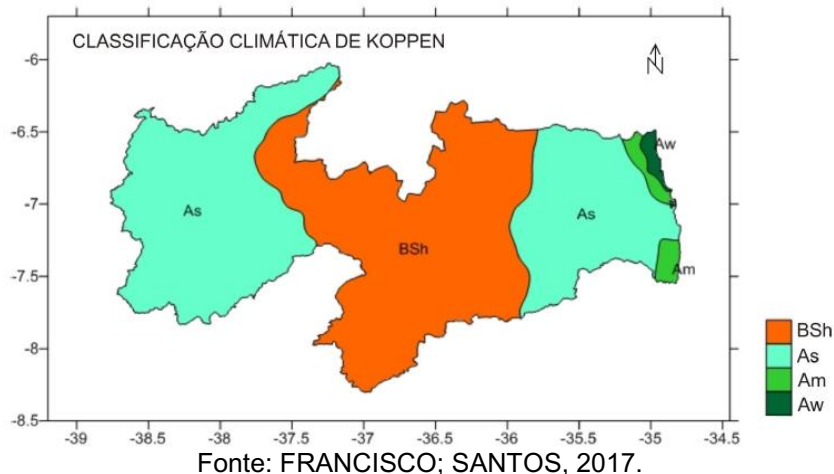


Fonte: FRANCISCO; SANTOS, 2017.

De acordo com Barros *et al.* (2012), vale ressaltar que qualquer classificação climática contém imprecisões de diferentes gêneros, devido à complexidade de reunir diversos fatores inter-relacionados do ambiente em índices puramente matemáticos. Toda classificação de fenômenos naturais, via de regra, não consegue enquadrar, dentro de uma sistemática rígida, os fenômenos classificados. Além disso, vários outros fatores não climáticos exercem influência sobre o caráter da vegetação, tais como a topografia, o tipo de solo e os efeitos das atividades humanas, como agricultura e exploração vegetal.

Pela classificação climática de Köppen (Figura 54), observa-se o clima *Aw*, que caracteriza essa região como Tropical, com estação seca no inverno; o aparecimento do clima *Am*, característico de região monçônica; e os tipos climáticos *As* dominam, em sua maioria, o litoral do Estado (FRANCISCO; SANTOS, 2017).

Figura 54 – Classificação climática de Köppen para o estado da Paraíba.



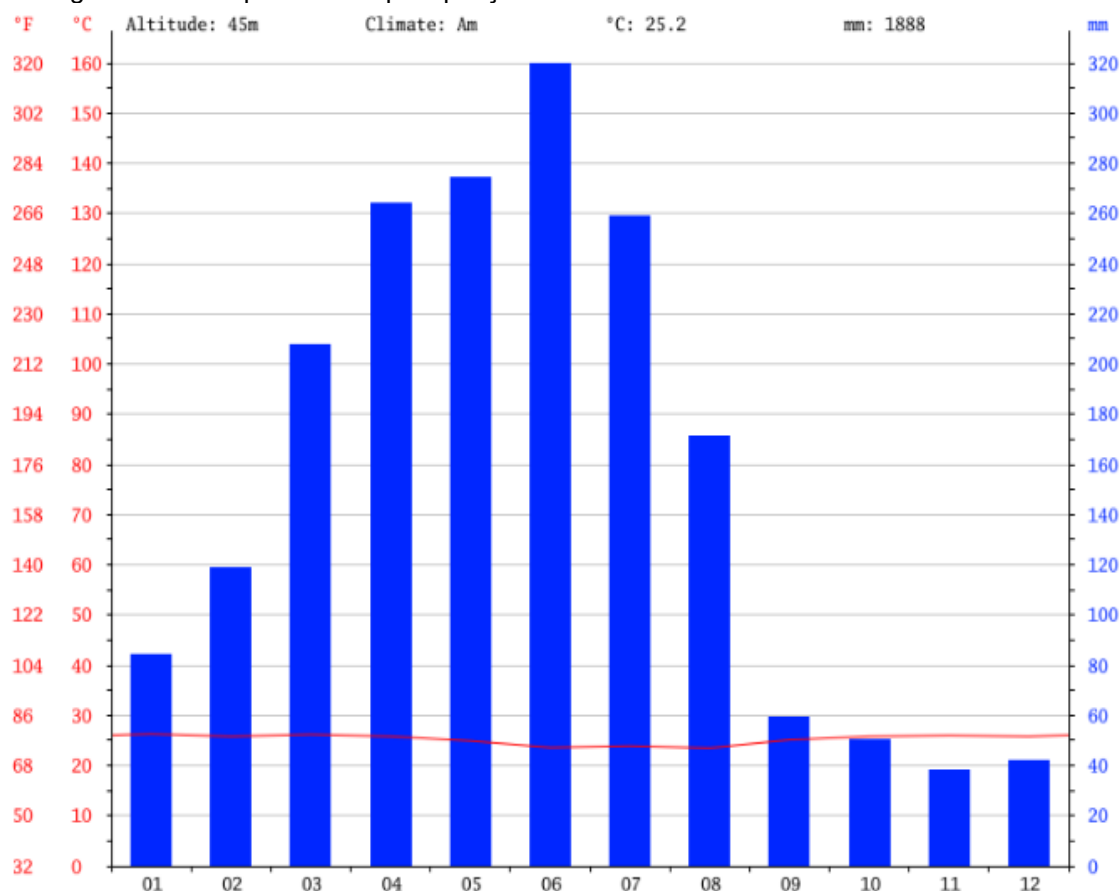
#### 4.2.2 Climatologia e aspectos fisiográficos locais

##### ➤ João Pessoa-PB

De acordo com o CLIMATE-DATA.ORG, o clima em João Pessoa-PB é tropical, só existindo uma curta época seca não muito eficaz, enquanto, na maioria dos meses do ano, existe uma pluviosidade significativa. O clima é classificado como *Am* segundo a classificação de Köppen. A temperatura média anual, em João Pessoa, é de 25.2°C. A pluviosidade média anual é de 1888 mm, sendo, em média, 38 mm a precipitação do

mês Novembro, que é o mês mais seco e 320 mm para o mês de junho, o mês de maior precipitação (Figura 55). Assim, existe uma diferença de precipitação de 282 mm entre esses dois meses. As temperaturas médias variam 2.8°C, ao longo do ano. Com uma temperatura média de 26.3°C, janeiro é o mês mais quente do ano e agosto, com temperatura média de 23.5°C, é o mês com a mais baixa temperatura (Figura 56).

Figura 55 – Temperaturas e precipitações médias durante o ano em João Pessoa-PB.



Fonte: CLIMATE-DATA.ORG, 2019.



Figura 56 – Dados climatológicos (temperatura e chuva) de João Pessoa-PB.

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Temperatura média (°C)	26.3	25.8	26.2	25.8	24.9	23.6	23.9	23.5	25.1	25.8	26	25.8
Temperatura mínima (°C)	22.2	21.6	22.4	21.9	21.3	20.1	20.5	19.1	21.3	22	22.2	21.8
Temperatura máxima (°C)	30.5	30.1	30.1	29.7	28.5	27.2	27.4	27.9	29	29.6	29.9	29.8
Chuva (mm)	84	119	208	264	274	320	259	171	59	50	38	42

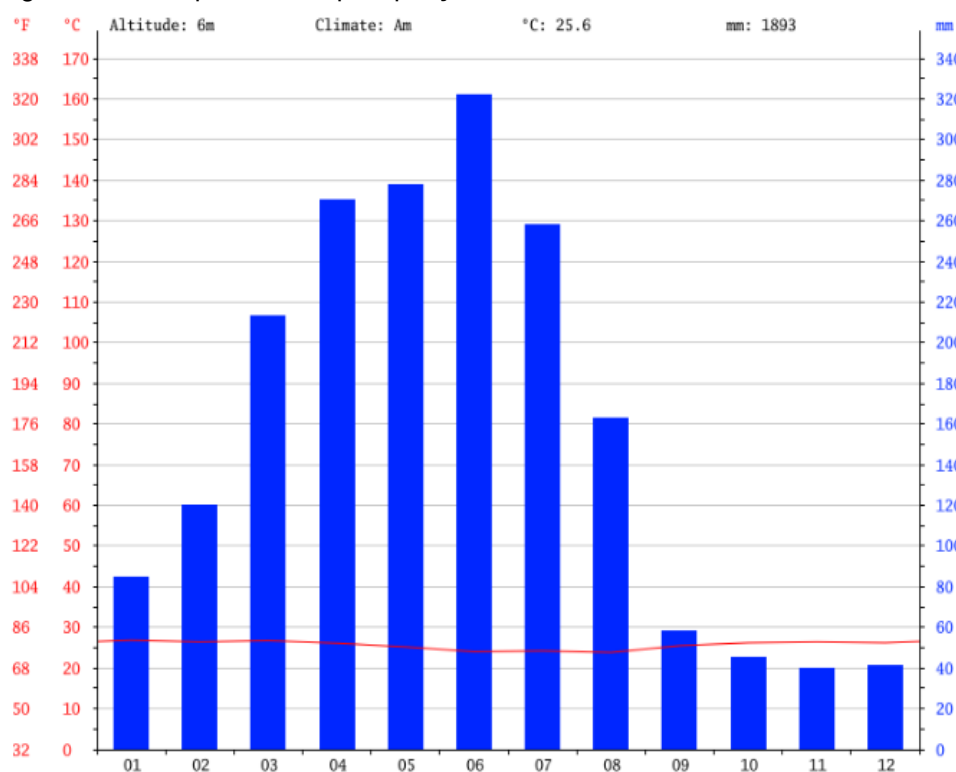
Fonte: CLIMATE-DATA.ORG, 2019.

Em João Pessoa, existem cerca de doze rios. O Rio Jaguaribe nasce no conjunto Esplanada, cruza o Jardim Botânico Benjamim Maranhão, no meio da Mata do Buraquinho e desemboca no Oceano Atlântico na divisa com o município de Cabedelo. A água para abastecimento das casas é retirada do sistema Gramame-Mumbaba, da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba. Nesse sistema, esses dois rios se revezam no fornecimento de água para a cidade. Entretanto, o rio mais importante, historicamente, é o Rio Sanhauá, pois foi nas suas margens que nasceu a cidade e foram construídas as primeiras casas. O município está inserido na Reserva de Mata Atlântica, sendo considerado um dos municípios mais verdes do país (CPRM, 2005).

### ➤ Cabedelo-PB

Segundo o CLIMATE-DATA.ORG, o clima em Cabedelo-PB é tropical, só existindo uma curta época seca não muito eficaz, enquanto, na maioria dos meses do ano, existe uma pluviosidade significativa. O clima é classificado como *Am* segundo a classificação de Köppen. A temperatura média anual em Cabedelo é 25.6°C. A pluviosidade média anual de 1893 mm, sendo, em média, 40 mm a precipitação do mês novembro, que é o mês mais seco, e 322 mm para o mês de junho, o mês de maior precipitação (Figura 57). Assim, existe uma diferença de precipitação de 282 mm entre esses dois meses. As temperaturas médias variam 3°C, ao longo do ano. Com uma temperatura média de 26.8°C, janeiro é o mês mais quente do ano e agosto, com temperatura média de 23.8°C, é o mês com a mais baixa temperatura (Figura 58).

Figura 57 – Temperaturas e precipitações médias durante o ano em Cabedelo-PB.



Fonte: CLIMATE-DATA.ORG, 2019.

Figura 58 – Dados climatológicos (temperatura e chuva) de Cabedelo-PB.

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Temperatura média (°C)	26.8	26.4	26.7	26.1	25.2	24	24.2	23.8	25.5	26.2	26.4	26.2
Temperatura mínima (°C)	22.7	22.2	22.9	22.3	21.7	20.6	20.8	19.5	21.7	22.4	22.6	22.2
Temperatura máxima (°C)	30.9	30.6	30.5	30	28.8	27.5	27.7	28.1	29.3	30	30.3	30.2
Chuva (mm)	85	120	213	270	278	322	258	183	58	45	40	41

Fonte: CLIMATE-DATA.ORG, 2019.

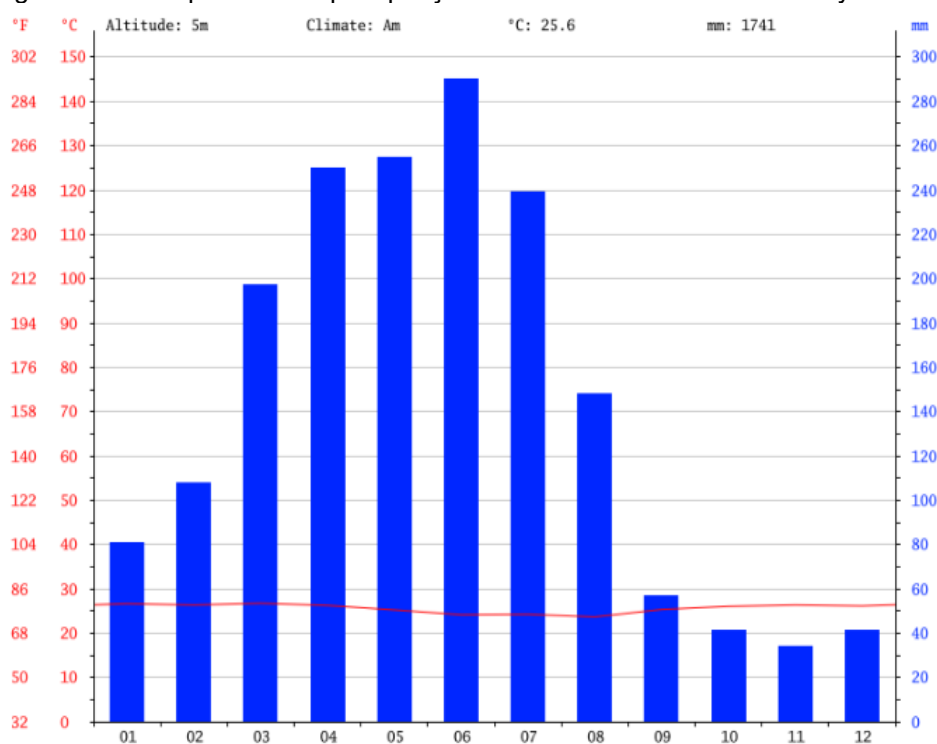
O município de Cabedelo está inserido na unidade geoambiental dos Tabuleiros Costeiros. Essa unidade acompanha o litoral de todo o Nordeste, apresenta altitude média de 50 a 100 metros, compreende platôs de origem sedimentar, que apresentam grau de entalhamento variável, ora com vales estreitos e encostas abruptas, ora abertos com encostas suaves e fundos com amplas várzeas. De modo geral, os solos são profundos e de baixa fertilidade natural. A vegetação é predominantemente do tipo

Floresta Sub-perenifólia, com partes de Floresta Sub-caducifólia e Cerrado/ Floresta (CPRM, 2005).

➤ Bayeux-PB

De acordo com o CLIMATE-DATA.ORG, o clima em Bayeux-PB é tropical, classificado como *Am*, segundo a classificação de Köppen. A temperatura média anual em Bayeux é 25.6°C. A pluviosidade média anual é de 1741 mm, desses, em média, 34 mm corresponde à precipitação do mês Novembro, que é o mês mais seco, e 290 mm em média para o mês de junho, o mês de maior precipitação (Figura 59). Assim existe uma diferença de precipitação de 256 mm entre esses dois meses. As temperaturas médias variam 3.1°C ao longo do ano. Com uma temperatura média de 26.7°C, março é o mês mais quente do ano e agosto, com temperatura média de 23.6°C, é o mês com a mais baixa temperatura (Figura 60).

Figura 59 – Temperaturas e precipitações médias durante o ano em Bayeux-PB.



Fonte: CLIMATE-DATA.ORG, 2019.

Figura 60 – Dados climatológicos (temperatura e chuva) de Bayeux-PB.

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Temperatura média (°C)	26.6	26.3	26.7	26.2	25.2	24.1	24.2	23.6	25.3	26	26.3	26.1
Temperatura mínima (°C)	22.5	22.1	22.8	22.2	21.6	20.5	20.6	19.3	21.4	22.1	22.4	22.1
Temperatura máxima (°C)	30.8	30.6	30.6	30.2	28.9	27.7	27.8	28	29.2	29.9	30.2	30.2
Chuva (mm)	81	108	197	250	255	290	239	148	57	41	34	41

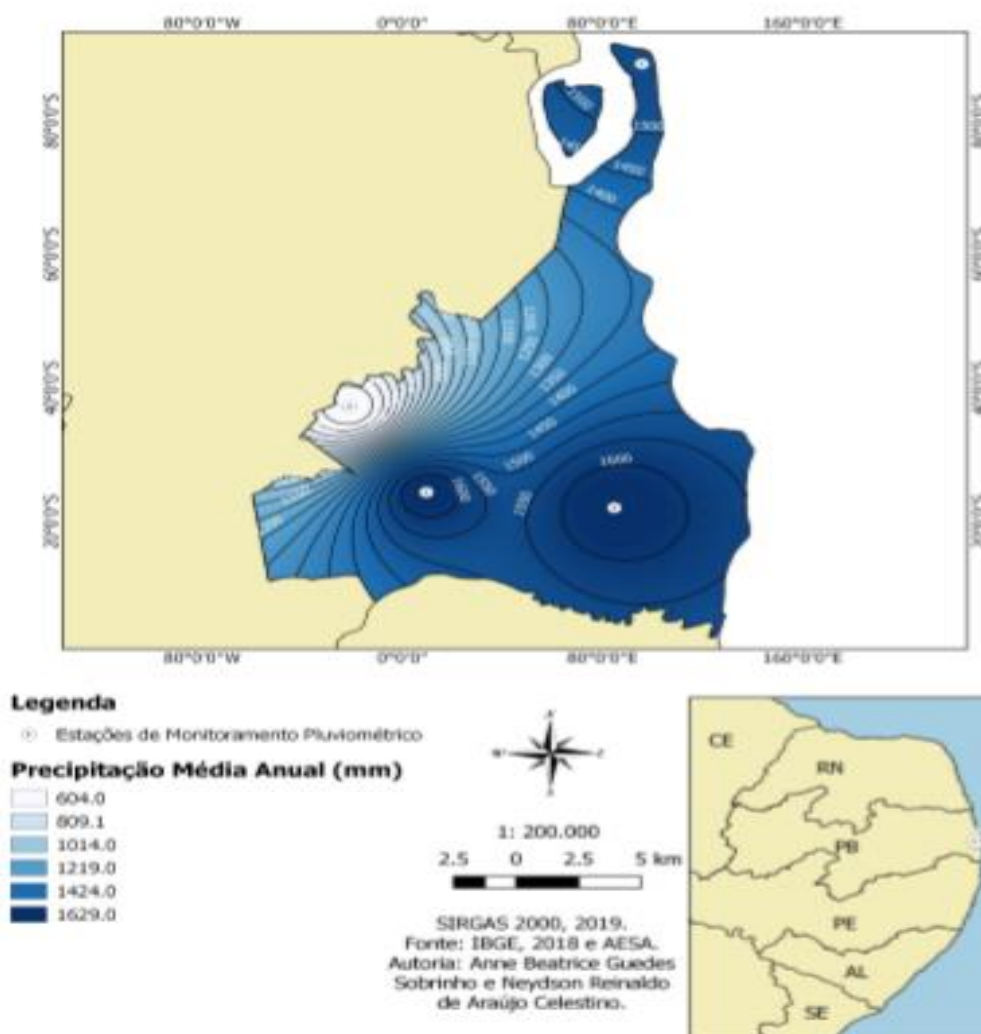
Fonte: CLIMATE-DATA.ORG, 2019.

O município de Bayeux, assim como Cabedelo e João Pessoa, está inserido na unidade geoambiental dos Tabuleiros Costeiros. Essa unidade acompanha o litoral de todo o Nordeste, apresenta altitude média de 50 a 100 metros e compreende platôs de origem sedimentar, que apresentam grau de entalhamento variável, ora com vales estreitos e encostas abruptas, ora abertos com encostas suaves e fundos com amplas várzeas. De modo geral, os solos são profundos e de baixa fertilidade natural. A vegetação é predominantemente do tipo Floresta Sub-perenifólia, com partes de Floresta Sub-caducifólia e Cerrado/ Floresta (CPRM, 2005).

#### 4.2.2.1 Espacialização da Precipitação dos municípios com poços de monitoramento do Aquífero Beberibe- PB

Pode-se ver na Figura 61, o mapa de precipitação em escala regional dos três municípios do litoral que possuem poços de investigação do Aquífero Beberibe no estado da Paraíba: João Pessoa, Bayeux e Cabedelo:

Figura 61 – Mapa de isoietas de precipitação dos municípios com poços de monitoramento do Aquífero Beberibe- PB.



Fonte: Apud SOBRINHO; STEIN, 2019.

## 4.2.3 Geologia Regional

### 4.2.3.1 Bacia Paraíba

A origem das Bacias Sedimentares Marginais do Brasil, em consequência do processo de abertura do Oceano Atlântico, teve seu início no período Jurocretáceo (SZATMARI *et al.*, 1987). Formadas a partir dos processos de rifteamento entre a África e a América do Sul, as duas grandes placas, que levam o mesmo nome dos dois grandes continentes, teriam iniciado a separação ao sul (BEURLIN, 1967a apud BARBOSA, 2004, p. 37), sendo a região de João Pessoa e a cidade do Recife a ligação final entre os dois continentes (RAND; MABESOONE, 1982), mantendo a separação

entre o Mar de Tétis/Atlântico Equatorial e o Atlântico Sul (MABESOONE; ALHEIROS, 1988).

A Bacia Paraíba, dentro dos limites do Estado da Paraíba, ocupa a faixa costeira entre o Lineamento Pernambuco e a Falha de Mamanguape, ao norte da cidade de João Pessoa.

Em trabalho realizado por meio da observação de 230 sondagens elétricas verticais (SEVs) e 18 perfurações profundas, Feitosa e colaboradores (2002) concluíram uma visualização das grandes linhas do arcabouço estrutural da Bacia Costeira PB/RN, onde os calcários cretácicos da Formação Jandaíra, detidos pela estrutura de overlap denominada Alto do Mamanguape, foram recobertas pelos sedimentos clásticos carbonatados da Formação Itamaracá, característicos da Bacia Paraíba. A região compreendida entre o Graben de Natal e o Alto de Mamanguape preservaria a relação entre as duas Bacias, tendo como limite sul da Bacia Potiguar, e como limite norte da Bacia Paraíba o alto estrutural denominado Alto de Mamanguape.

Ao sul da Bacia Paraíba, o Lineamento Pernambuco funciona concomitantemente como eixo limitante e divisor, que a separa da Bacia de Pernambuco. Características estratigráficas e estruturais das rochas sedimentares e vulcânicas que ocorrem ao sul de Recife, a partir do Lineamento Pernambuco até o Alto de Maragogi, definiram essa área como uma bacia particular denominada Bacia Pernambuco. (LIMA FILHO, 1996).

Segundo Lima Filho (1996) as duas bacias citadas são limitadas, a oeste, pelo sistema de falhas de borda, que as separa do embasamento formado por rochas metamórficas da Província Borborema.

A estratigrafia e a evolução estrutural das duas bacias são bastante distintas. A Bacia Paraíba é constituída na base por uma sequência de clásticos grosseiros continentais da Formação Beberibe, passando lateralmente aos clásticos finos e carbonáticos da Formação Itamaracá. Essa sequência é sobreposta por calcilutitos e margas maastrichtianas da Formação Gramame, seguidos por calcários e margas da Formação Maria Farinha, do Paleoceno (FEITOSA et al., 2002).

A Bacia Pernambuco, com espessura sedimentares que podem alcançar 3000 m, ocorre na parte sul da área, e a parte norte da Bacia de Alagoas apresentam características que indicam um desenvolvimento semelhante, sendo separadas pelo

Alto de Maragogi, que se comporta como zona de transferência na evolução do rifte, dificultando a propagação de falhas de direção NE e compensando as diferentes taxas de extensão entre os compartimentos interbaciais (FEITOSA et al., 2002).

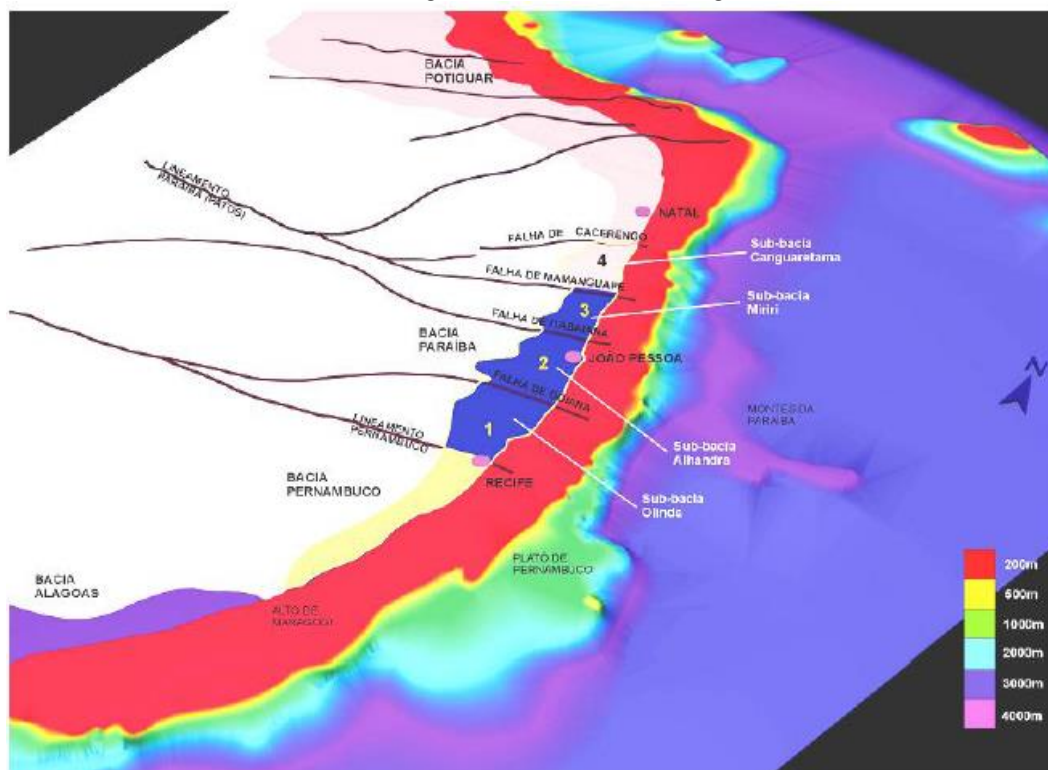
Em ambas as bacias, ocorrem coberturas detríticas neocenozóicas diversas, ora da Formação Barreiras, ora de sedimentos marinhos, ora de sedimentos fluviais e mangues, agrupados genericamente sob o nome de Formação Boa Viagem (FEITOSA et al., 2002).

Mabesoone e Alheiros (1988) propuseram a subdivisão da Bacia marginal leste Atlântica, ao sul do Alto de Maragogi, em Pernambuco, e o Alto de Touros, no Rio Grande do Norte, como uma Bacia única denominada Bacia Pernambuco-Paraíba.

Devido às discordâncias estruturais e faciológicas já apresentadas, Barbosa (2004) classifica distintamente a Bacia Paraíba e a Bacia Pernambuco, estando a Bacia Paraíba subdividida nas Sub-bacias 1 (Olinda), 2 (Alhandra) e 3 (Miriri), segundo as Figuras 62 e 63:

- 1 – Sub-bacia Olinda – entre o Lineamento Pernambuco ou Zona de Cisalhamento Pernambuco (ZCPE) e a Falha de Goiana;
- 2 – Sub-bacia Alhandra – entre a Falha de Goiana e a Falha de Itabaiana;
- 3 – Sub-bacia Miriri – entre a Falha de Itabaiana e o alto estrutural de Mamanguape, situado na falha que leva o mesmo nome;

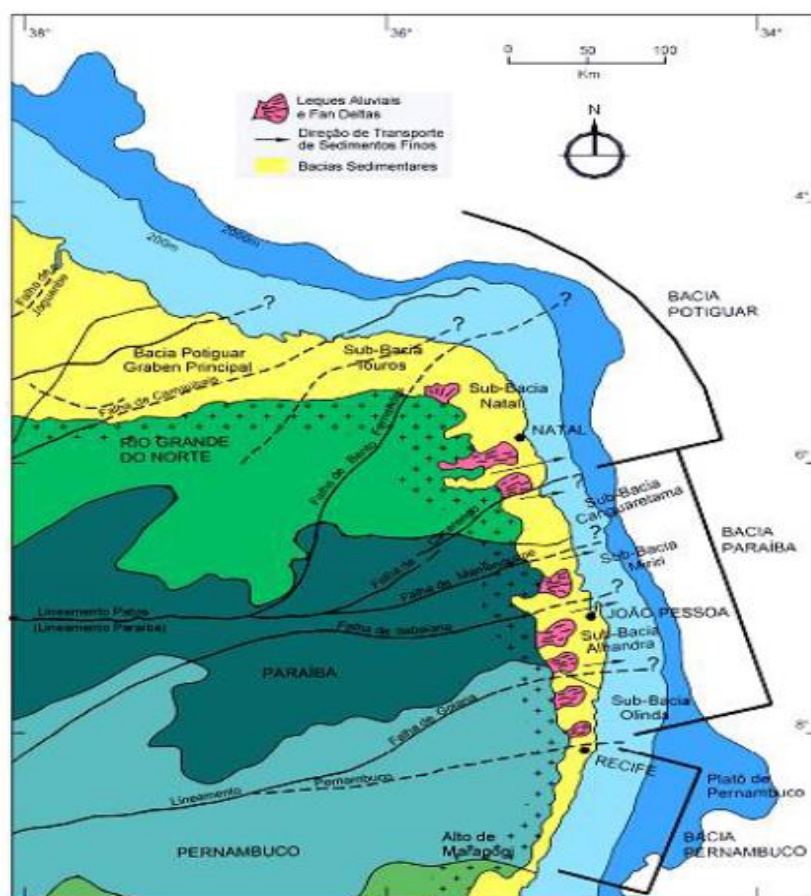
Figura 62 – Bacia Paraíba, subdividida nas Sub-bacias de Olinda, Alhandra e Miriri, e suas vizinhas: Bacias Potiguar, Pernambuco e Alagoas.



Fonte: BARBOSA, 2004.



Figura 63– Mapa de localização das Bacias Paraíba e Pernambuco.



Fonte: MABESOONE; ALHEIROS, 1988.

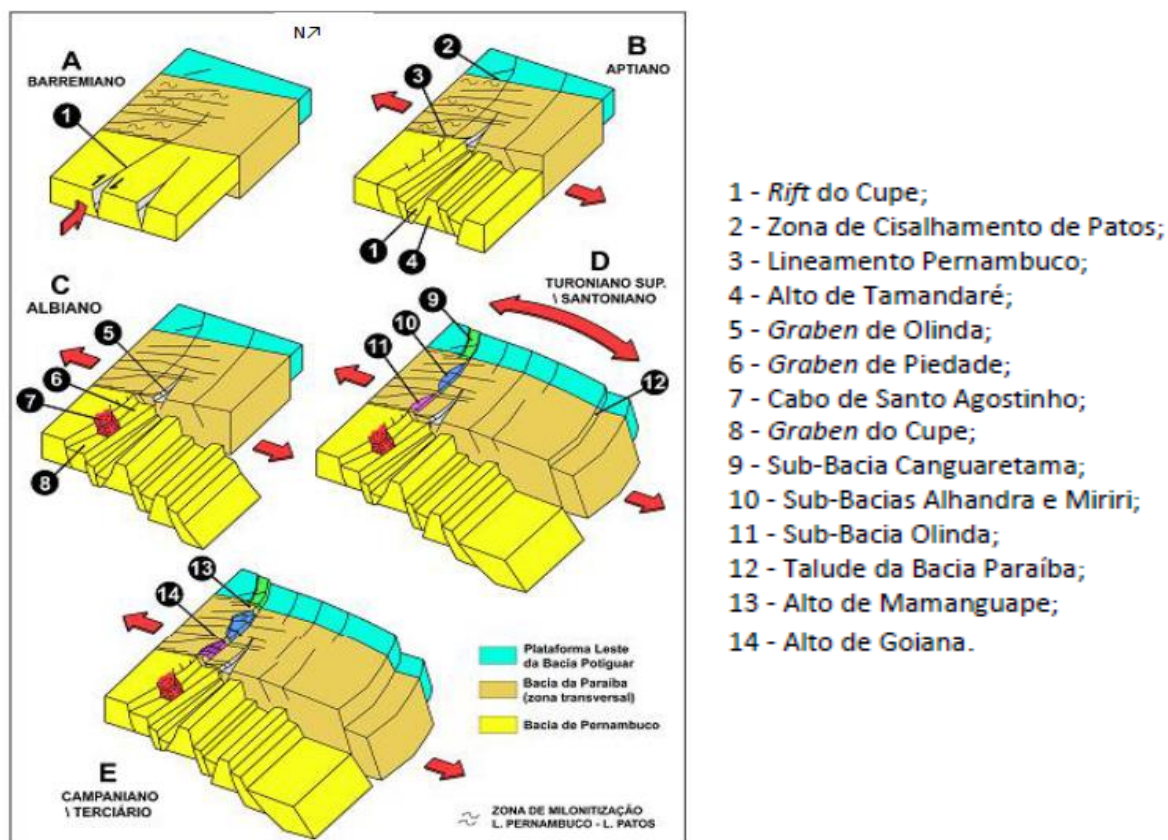
#### 4.2.3.1.1 Feições estruturais da Bacia Paraíba

A Bacia Sedimentar Paraíba (BSP) é uma bacia marginal atlântica cuja evolução ocorreu no Cretáceo Superior, com o início da separação das placas tectônicas e a abertura do Oceano Atlântico, considerada o último ponto de união das placas africana e sul-americana. (RAND; MABESOONE, 1982).

Lima Filho e colaboradores (2005) propuseram uma sequência evolutiva no processo de desenvolvimento estrutural, para a Bacia Paraíba e para a Bacia Pernambuco, das atividades tectônicas cretáceas com evolução até o Terciário, ilustrada por Barbosa (2005) na Figura 64. O desenvolvimento dos processos de rifteamento inicia-se desde o Cretáceo Superior, de idade Barremiana, com uma evolução entre as bacias, de acordo com as estruturas preexistentes do embasamento. Do lado oeste da Bacia Paraíba, as rochas metamórficas da província Borborema

evidenciam estruturas transversais aos movimentos, impondo-se contra a evolução da abertura da bacia nesse sentido.

Figura 64 – Desenho esquemático que mostra o resultado da subsidência pela atividade tectônica que provocou a diferença estrutural entre a Bacia Paraíba, ao norte do Lineamento Pernambuco, e a Bacia Pernambuco, ao sul.



Fonte: BARBOSA, 2005.

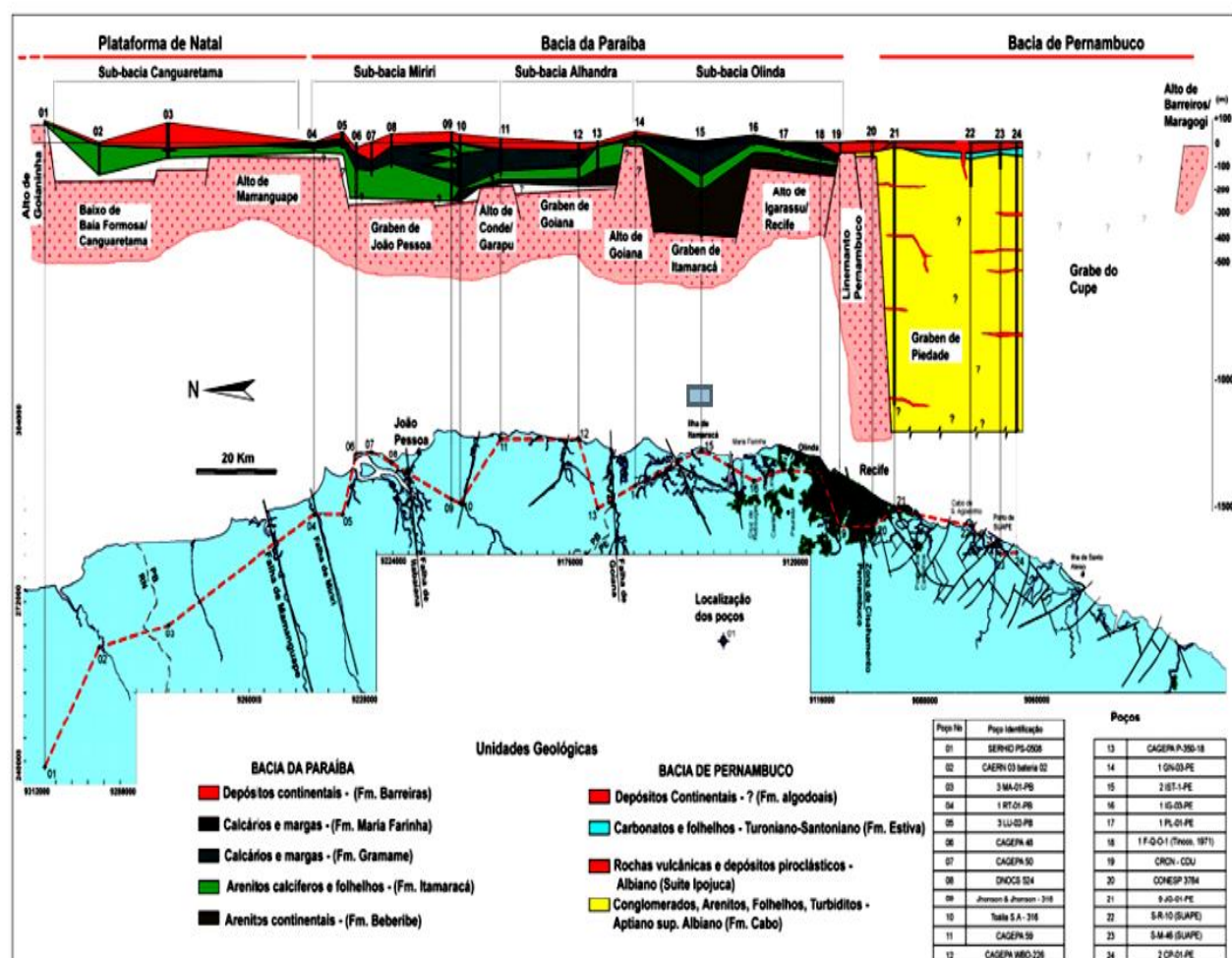
O Lineamento Pernambuco e o Lineamento Patos promovem os limites do processo norte e sul da BSP como eixos transversais limitantes. Essas limitações estruturais a oeste, norte e sul, juntamente com a ligação temporal da ponte formada entre os continentes América do Sul e África, foram conclusivos na formação da estrutura de uma homoclinal de mergulho suave com sentido leste que define a compartimentação estrutural da BSP (BARBOSA, 2005).

O compartimento do arcabouço estrutural que comporta toda a sequência clástica sedimentar é formado por rochas pré-cambrianas e metamórficas da Província Borborema, cujos afloramentos iniciais de borda podem ser testemunhados em áreas de municípios a oeste da Região Metropolitana de João Pessoa (BARBOSA, 2005).

Todo o processo de empilhamento sedimentar da Bacia Paraíba Cretácea se iniciou em fase continental de idade Coniaciana-Santoniana, originando os primeiros depósitos de arenitos siliciclásticos friáveis não-carbonáticos, que gradam aos arenitos carbonáticos, seguidos pela deposição de calcários margosos da Formação Gramame e da Formação Maria Farinha, agregados a fatores tectônicos pré-rifte e pós-rifte, os quais subdividiram a Bacia Paraíba nas Sub-bacias Olinda, Alhandra e Miriri (BARBOSA, 2005).

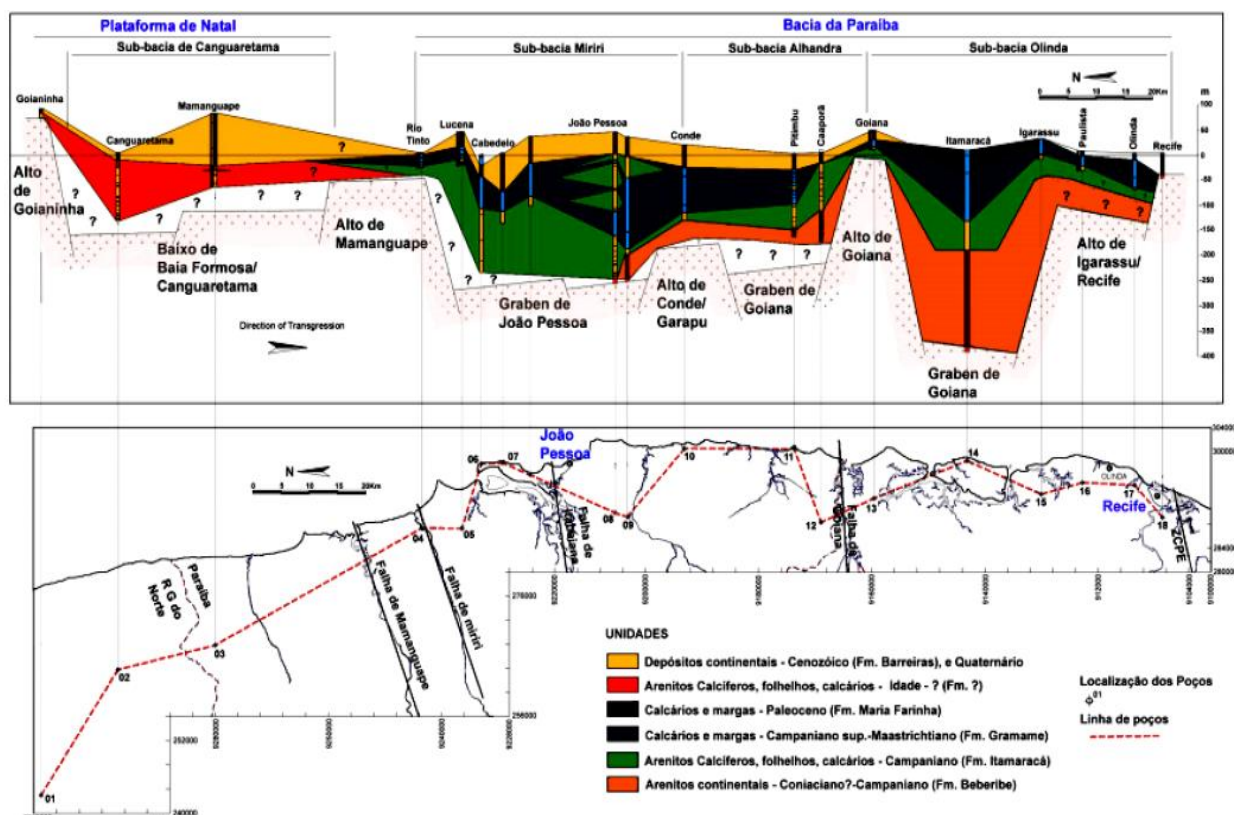
O perfil geológico (Figura 65) ao longo da linha de costa, segundo Lima Filho e colaboradores (2005), e a seção geológica (Figura 66) elaborada a partir de observações litológicas de perfis de poços mostram os limites extremos da Bacia Paraíba e suas respectivas Sub-bacias Olinda, Alhandra e Miriri, destacando a diferença de profundidade estrutural entre a Bacia Paraíba e a Bacia Pernambuco.

Figura 65 – Perfil geológico ao longo da linha de costa.



Fonte: LIMA FILHO *et al.*, (2005).

Figura 66 – Seção geológica ao longo da linha de costa.

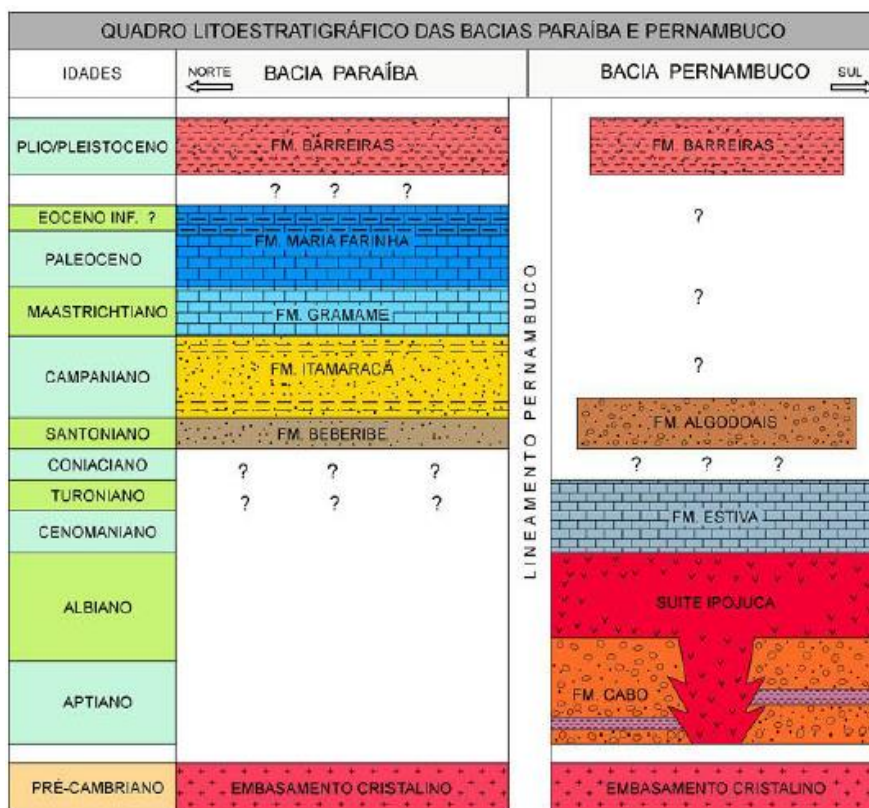


Fonte: LIMA FILHO *et al.*, (2005).

#### 4.2.3.1.2 Litoestratigrafia da Bacia Sedimentar Paraíba

As unidades clásticas estratigráficas da Bacia Sedimentar Paraíba (Figura 67), a partir da unidade basal, são distintas, sendo a mais antiga com idade do Santoniano, da Formação Beberibe Inferior composta por arenitos de granulometria variável, cujos grãos variam de subangulosos a subarredondados de origem fluvial, chegando a formar areias conglomeráticas (FEIJÓ, 1994).

Figura 67 – Quadro estratigráfico esquemático das Bacias Paraíba e Pernambuco, com as unidades estratigráficas distribuídas na área continental emersa das respectivas bacias separadas pela Zona de Cisalhamento de Pernambuco.



Fonte: FEIJÓ, 1994.

O Aquífero Beberibe Inferior, basal, representa um manancial de água subterrânea de boa qualidade, ocupando a faixa leste desde a falha de Mamanguape, ao norte da cidade de João Pessoa, até o Lineamento Pernambuco, ao sul, dentro da capital do Estado de Pernambuco, o município de Recife, considerado extenso e de dimensões regionais. Todo o processo de deposição inicial do Aquífero Beberibe ocorreu em plataforma continental, sendo constituída de quartzo arenitos e arenitos feldspáticos eólicos, bem selecionados, com presença de níveis silicificados e, em menor proporção, níveis conglomeráticos, de origem fluvial a fluviolacustre (BARBOSA, 2004).

A Formação Itamaracá, ou Formação Beberibe Superior, representada por arenitos de dureza elevada, com forte cimentação calcífera resistente aos processos de perfuração (alta resistência à penetração da broca), completa a sequência clástica do pacote basal da bacia (BARBOSA, 2004).

Com o desenvolvimento da abertura do Atlântico, a separação das placas, a invasão do oceano na área continental e a atividade do mar rica em carbonatos acompanhou o depósito de sedimentos clásticos oriundos do continente. Esses

depósitos de idade Campaniana, sofreram a influência do início das atividades marinhas na porção mais oriental da bacia, formando a sequência sedimentar composta por arenitos com forte cimentação calcífera sobreposta aos primeiros depósitos da porção basal de atividade exclusivamente continental. Assim sendo, a formação Beberibe teve duas fases distintas na recepção dos sedimentos: a primeira, de origem continental e uma segunda marinha e calcífera, classificadas, como já mencionado, em Formação Beberibe Inferior, basal com cimentação silicificada e a Formação Beberibe Superior, ou Formação Itamaracá (RAND; MABESOONE, 1982).

O termo Beberibe recebeu essa nomenclatura por Kegel em 1957, relacionando-o com o rio do mesmo nome no Bairro do Beberibe na cidade do Recife. Posteriormente, Kegel classificou os arenitos calcíferos da Formação Beberibe Superior como Formação Itamaracá, devido à ocorrência superficial observada na Ilha de Itamaracá, situada no litoral norte da cidade do Recife. Nomenclatura essa que, em seguida, foi destituída por outros autores, entre os quais Mabesoone e Beurlen, que consideraram o Beberibe Inferior como sendo um complemento arenoso da formação sotoposta calcária, o que, pela natureza da influência carbonática, poderia levar a uma identificação como sendo a parte basal da Formação Gramame. Mais tarde, esses mesmos autores desconsideraram a proposta, retomando a nomenclatura de Formação Itamaracá aos arenitos calcíferos, desmembrando-os da Formação Gramame (BARBOSA, 2004).

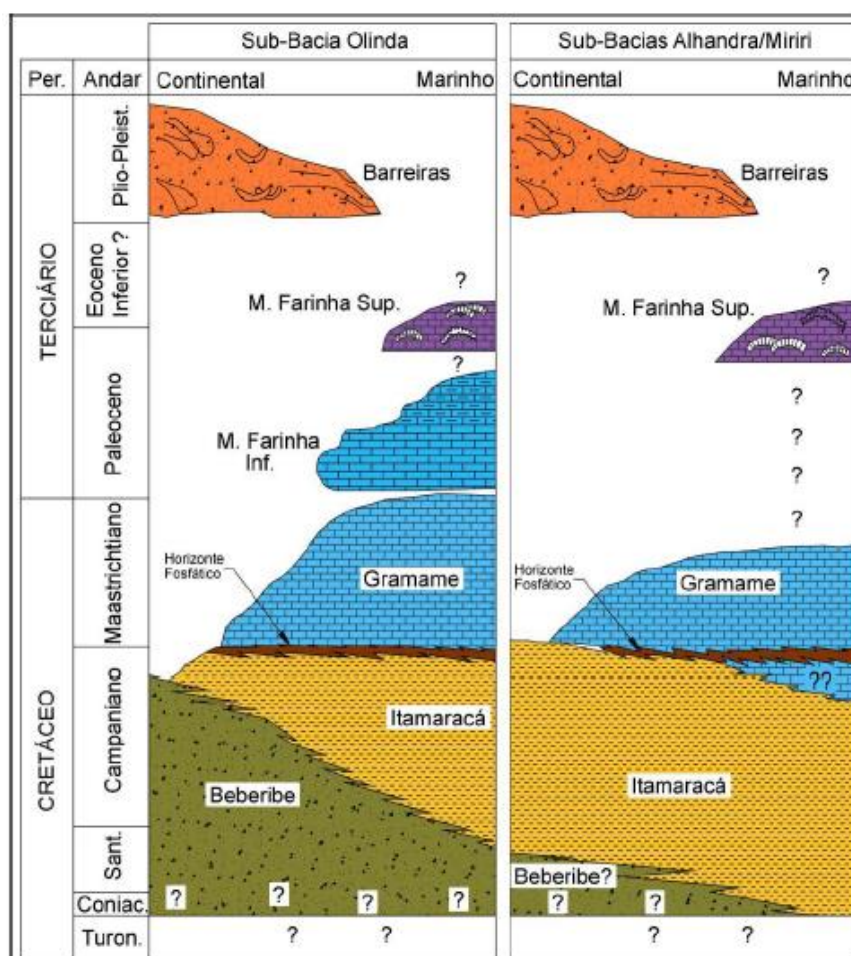
A Formação Beberibe pode ser distinguida em suas porções na classificação de suas águas, ao passo que a porção inferior basal não apresenta dureza com águas mais sódicas. A Formação Beberibe Superior, ou Itamaracá, apresenta elevados teores de dureza em função da presença carbonática, o que, em alguns casos, torna crítica a sua utilização. Tem-se como exemplo o das caldeiras de elevada temperatura, que ocasiona a cristalização imediata do carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), criando uma crosta carbonática, geralmente esbranquiçada, diminuindo bastante a eficiência do equipamento (RAND; MABESOONE, 1982).

O Aquífero Beberibe, o principal da Bacia Sedimentar Paraíba, é considerado o melhor aquífero da BSP em função de sua capacidade de exploração, com poços que produzem vazões consideráveis tanto pelas indústrias locais quanto pela concessionária de água do estado, CAGEPA. Afloramentos superficiais são encontrados próximo à borda (BRITO NEVES *et al.*, 2005).

A fase final da deposição da Formação Itamaracá é marcada por uma superfície condensada, fosfatada, representando o momento de máxima inundação antes do estabelecimento da Formação Gramame, nas Sub-bacias Olinda, Alhandra e Miriri (BARBOSA, 2004).

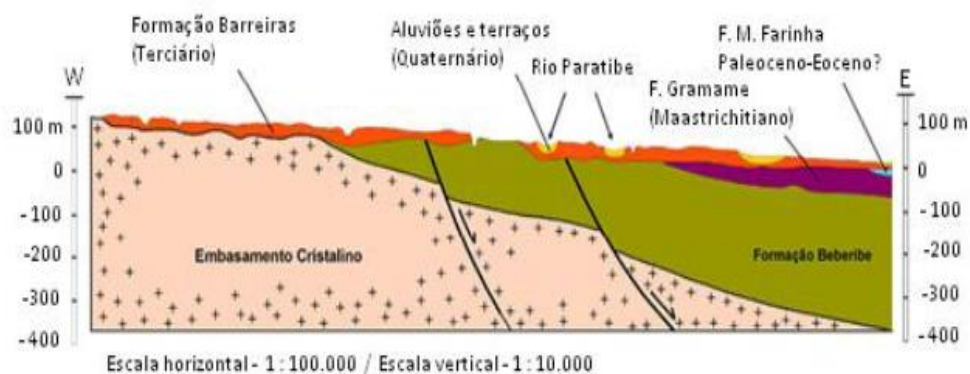
Sotopostos à Formação Beberibe, os calcários de idade maastrichtiana (Figuras 68 e 69) da Formação Gramame apresentam as características peculiares da deposição em regime de mar aberto. A condição de a plataforma continental ter sido completamente envolvida pela excessiva atividade marinha desenvolveu uma rampa carbonática. Essas formações calcárias são consideradas aquitardes, já que não apresentam um sistema cárstico-fissural capaz de promover uma condição adequada de fornecimento de águas subterrâneas (BRITO NEVES *et al.*, 2005).

Figura 68 – Coluna estratigráfica para as Sub-Bacias de Olinda, Alhandra e Miriri.



Fonte: BARBOSA, 2004.

Figura 69 – Corte em área continental da Bacia Paraíba, descrita pela CPRM (1998), em área da Região Metropolitana do Recife.



Fonte: COSTA, 1998.

A Formação Gramame tem presença mais marcante em relação à Formação Maria Farinha, cuja área de ocorrência restringe mais a Sub-bacia Olinda. Esse fato pode ser explicado em função de a invasão marinha ter-se iniciado pela plataforma de Natal, sendo a Sub-bacia Olinda a última a ser invadida, visto que os efeitos da regressão das atividades marinhas, ocorrida no final do maastrichtiano, foram menos atuantes, com atividades marcantes nas outras duas sub-bacias Alhandra e Miriri. A Formação Gramame tem como características uma fauna abundante e caracterizada pela presença de fósseis típicos de ambiente marinho, gastrópodes, cefalópodes, crustáceos, de águas tranquilas e quentes, condição natural para a ocorrência de depósitos calcários (BRITO NEVES *et al.*, 2005).

Os sedimentos depositados da Formação Barreiras são exclusivamente continentais, impostos pelas atividades fluviais, formando leques extensivos e progressivos aluvionares. A granulometria é variável desde cascalhos grosseiros a siltes e argilas, de composição feldspática. São formados por diamictitos, característicos de leques aluvionares e correntes de turbidez, transportando material por suspensão em correntes de alta densidade. Em amostras de calhas de perfurações de poços, observam-se todas essas estruturas mais recentes, que, de acordo com sua composição granulométrica, definem a energia com que o material foi transportado. É comum observar, nas partes mais superficiais, passagens argilosas seguidas por material mais grosseiro na base da Formação Barreiras, de coloração amarelo-alaranjada (BARBOSA, 2004).



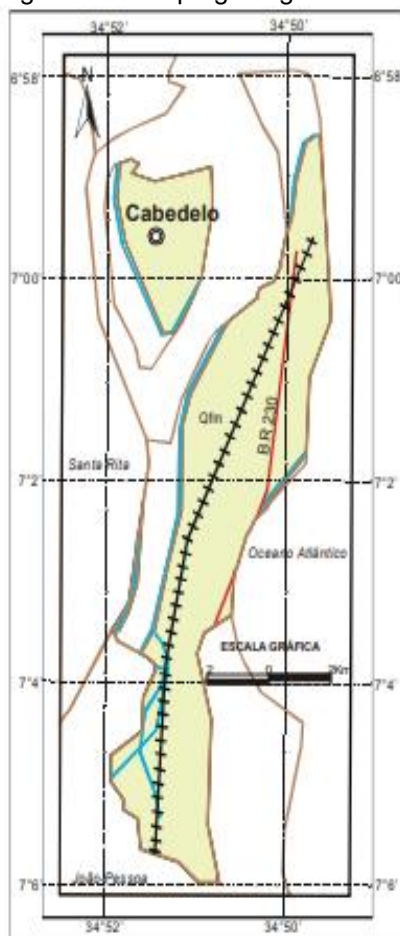
Segundo Barbosa (2004), durante os processos de perfuração na coleta de amostras, observou-se uma passagem arenoargilosa de coloração bastante avermelhada, por vezes arroxeadas, de coloração bastante intensa, característica da presença e oxidação do ferro. Isso formou uma crosta laterítica devido à presença de grande quantidade do hidróxido de ferro, compactada e resistente ao avanço da perfuração. Essa passagem ocorre em praticamente toda a Formação Barreiras, a qual é aqui considerada como uma camada estratégica de proteção ao aquífero. Geralmente, o nível freático está a alguns metros abaixo dessa camada. A época da ocorrência dessa formação sedimentar é do Paleógeno (Oligoceno) e do Neógeno, chegando até o Pleistoceno (SUGUIO *et al.*, 1986).

Das formações superficiais, os sedimentos Quaternários formam a última sequência clástica depositada, de idade pleistocênica, dos últimos 1,806 milhão de anos, que corresponde aos sedimentos de praias, depósitos fluviais, fluviolagunares. As aluviões e as formações eluviocoluvionares e litologicamente são constituídas por sedimentos clásticos grosseiros, representados por areias inconsolidadas esbranquiçadas ou creme, mal selecionadas, de granulometria fina a grosseira, com grãos de quartzo subangulosos, feldspato não decomposto, palhetas de micas e concentrações de minerais pesados. Sotopostos às areias ocorrem níveis mais heterogêneos e consolidados, de coloração amarelo-avermelhada, contendo intercalações de argila e horizontes conglomeráticos, na base do contato com o embasamento. Todo o conjunto apresenta espessura variando entre 10m e 15m. Apesar de sua pouca espessura, ocorrências de aquíferos com vazões elevadas são observadas, como exemplo, a aluvião do rio Mumbaba às margens da BR 101, em teste de bombeamento de poço na indústria têxtil COTEMINAS. A vazão de exploração registrada foi de 47,41 m<sup>3</sup>/h, e um rebaixamento total de 0,813 metros, com água de baixa dureza, representando uma importante fonte de abastecimento industrial (VIEIRA; RIBEIRO, 2007).

#### 4.2.4 Geologia Local

De acordo com mapeamento realizado pela CPRM (2005) as as informações litoestratigráficas e cartográficas dos municípios de Cabedelo e Bayeux podem ser vistas na Figuras 70 e 71:

Figura 70 – Mapa geológico de Cabedelo.



#### UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

##### Cenozóico

**Qfm** Depósitos flúvio-marinhos (fm); depósitos indiscriminados de pântanos e mangues, flúvio-lagunares e litorâneos

#### CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

— Contato geológico

#### CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

⊙ Sede Municipal

— Rodovias

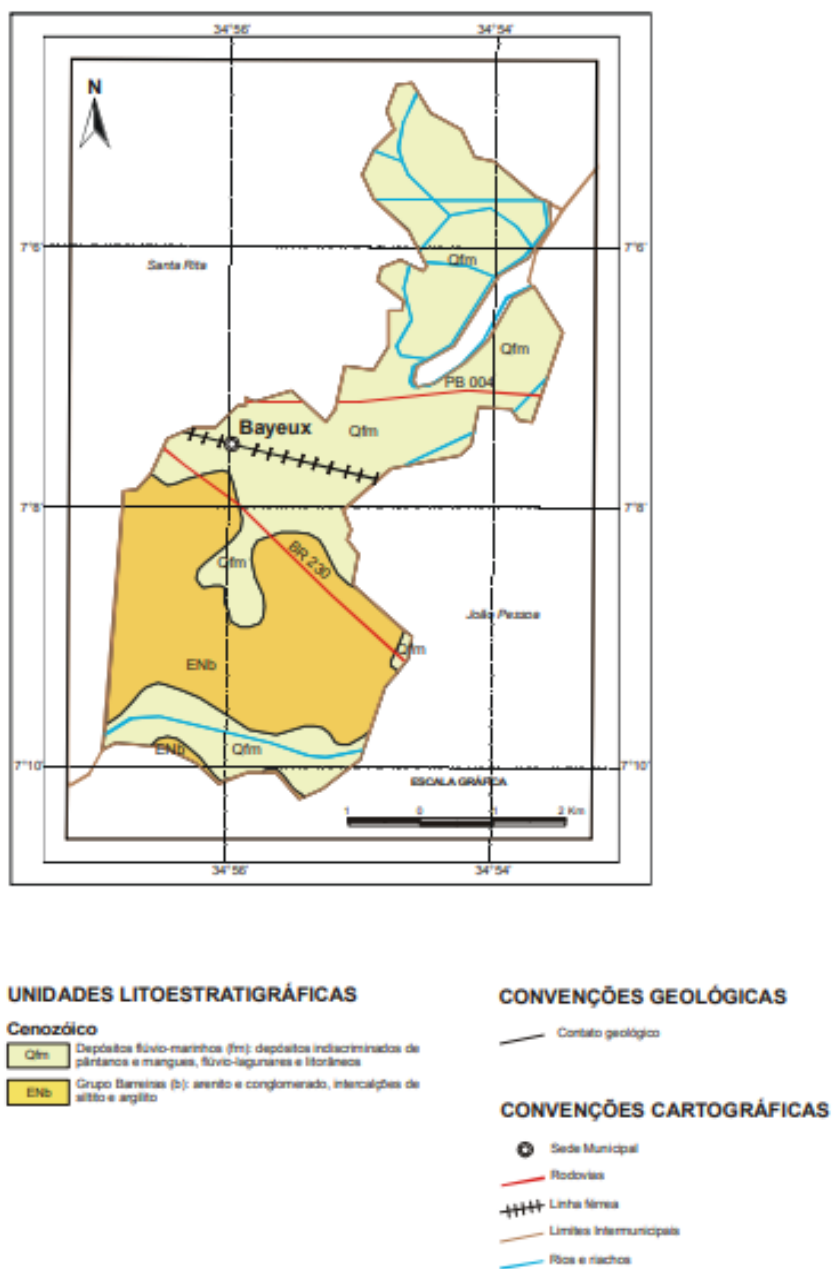
+++ Linha férrea

— Limites Inter-municipais

— Rios e riachos

Fonte: CPRM, 2005.

Figura 71 – Mapa geológico de Bayeux-PB.

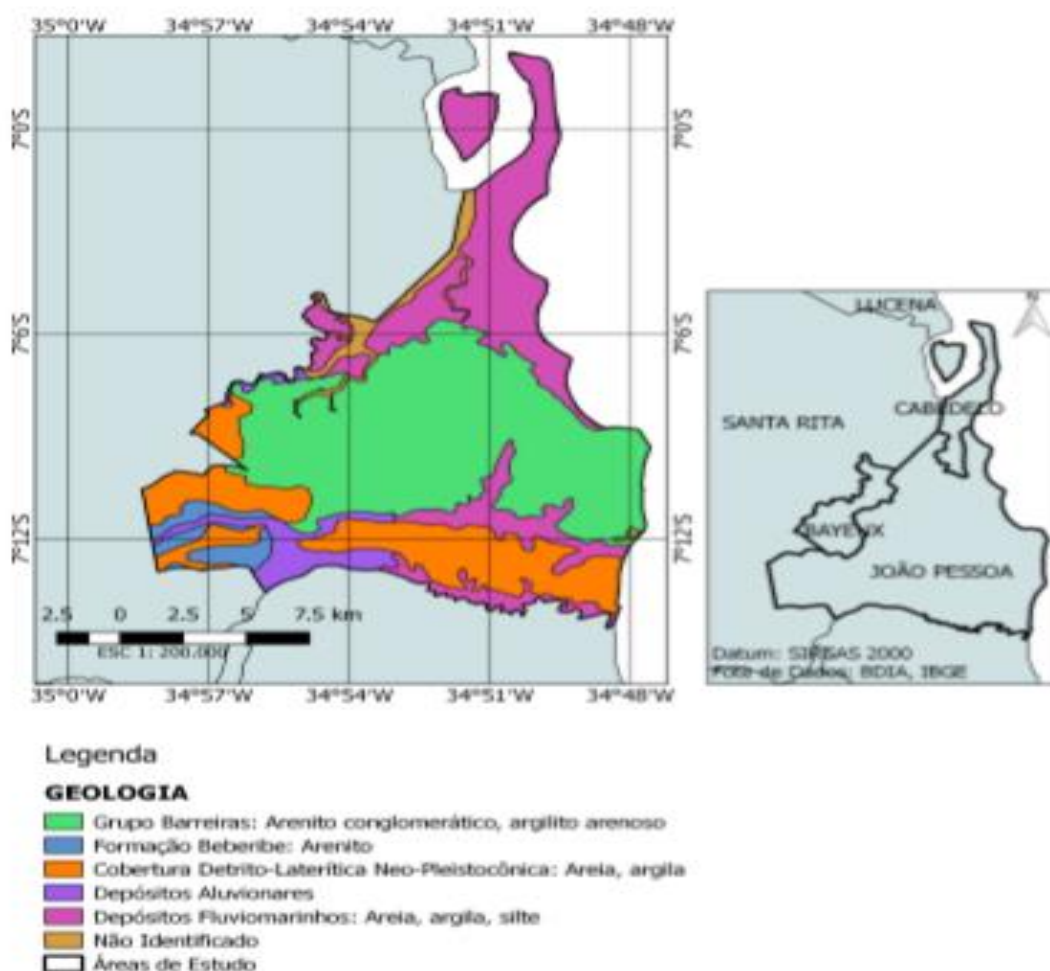


Fonte: CPRM, 2005.

Segundo Sobrinho e Stein (2020), o mapa na Figura 72 mostra as diferentes camadas litológicas nos municípios onde o aquífero Beberibe é monitorado sob território paraibano. A Formação, de mesmo nome do aquífero, está indicada pela cor azul e é composta basicamente por arenitos. A Formação Beberibe é formada por

conglomerados a arenitos conglomeráticos de coloração branca a cinza, essencialmente quartzoso. Na parte superior predomina arenito creme, granulometria média a grossa, com cimento calcífero, sendo encontrados localmente camadas de siltitos-argiloso esverdeado (COSTA, 2002). Esse aquífero é caracterizado estratigraficamente pelas Formações Beberibe e Itamaracá e ocorre em toda Bacia Paraíba.

Figura 72 – Mapa Geológico dos municípios com poços de monitoramento do Aquífero Beberibe- PB.



Autoria: Anne Beatrice Guedes Sobrinho e  
 Neydson Reinaldo de Araújo Celestino, 2019.

Fonte: SOBRINHO & STEIN, 2019.

#### 4.2.5 Hidrogeologia do aquífero Beberibe

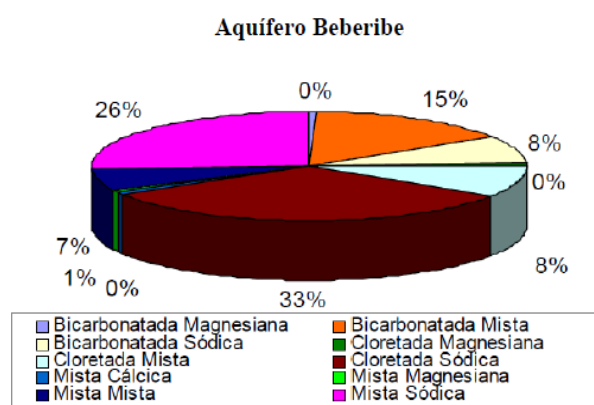
Considerado o mais importante aquífero da BSP, o Beberibe é caracterizado por duas fácies que se diferenciam mineralogicamente, o que motivou a sua classificação em dois subsistemas aquíferos. (DEMÉTRIO; OLIVEIRA, 2004).

Esses subsistemas estão separados por uma camada semipermeável siltico-argilosa de coloração cinza esverdeada. O aquítarde faz com que o sub-nível inferior Beberibe, sobreposto ao embasamento cristalino, tenha um comportamento aquífero drenante. (DEMÉTRIO; OLIVEIRA, 2004).

A diferença de carga hidráulica entre os dois subsistemas e a permeabilidade desse aquítarde permitem uma drenança vertical cujo sentido seria do Beberibe Superior para o Itamaracá. Em decorrência dos níveis de exploração do aquífero basal, esse sentido, em alguns pontos, inverteu a condição primária. (MENTE; CRUZ, 2001).

As águas desse aquífero possuem as características pertinentes à sua litologia (Figura 73), formada por sedimentos de origem continental, ricos em grãos de quartzo, com uma variação granulométrica que grada das argilas proporcionada pelos folhelhos até aos grãos de quartzo grosseiros. Por tratar-se de uma formação de origem exclusivamente continental, não são verificadas durezas elevadas nas características físico-químicas de suas águas, cuja composição iônica é classificada como mais cloretada sódica (COSTA; COSTA FILHO, 2002).

Figura 73 – Classificação iônica da água subterrânea do Aquífero Beberibe (cloretada sódica), Itamaracá (bicarbonatada) e misturas dos aquíferos (mistos).



Fonte: COSTA; COSTA FILHO, 2002.

Sobreposto à camada semipermeável, o Aquífero Beberibe Superior, ou Itamaracá, testemunha o ciclo das atividades marinhas com uma concentração de carbonatos que proporciona uma cimentação calcífera, com resistência à penetração da broca quando da ocorrência de perfurações de poços. Sua litologia, rica em arenitos calcíferos e calcarenitos com forte reação ao ácido, tem em suas águas uma dureza branda favorecida pela presença dos carbonatos de cálcio e magnésio, com índices dentro do padrão de potabilidade, exigido pelo Ministério da Saúde em torno de 160 a 220 ppm (COSTA; COSTA FILHO, 2002).

Segundo Dantas (2012), a estimativa de profundidade da BSP nessa área é de 320 a 400m. A tabela 2 abaixo, traz a espessura em metros do Aquífero Beberibe no município de Cabedelo- PB e em alguns bairros de João Pessoa- PB baseada na perfuração de poços há mais de dez anos na região:

Tabela 2 – Profundidade do topo calcário e do Beberibe próximo à linha da costa nos bairros do Bessa, Manaíra e Cabo Branco (João Pessoa) e na cidade de Cabedelo

<b>FORMAÇÃO AQUÍFERA</b>		<b>CABEDELO</b>	<b>BESSA</b>	<b>MANAÍRA</b>	<b>TAMBAÚ</b>	<b>CABO BRANCO</b>
FORMAÇÕES RECENTES	Topo	0	0	0	0	0
	Base	38 a 42	28 a 32	24 a 30	24 a 30	21 a 23
CALCÁRIO	Topo	38 a 42	28 a 32	24 a 30	24 a 30	21 a 23
GRAMAME+ MARIA FARINHA	Base	120 a 133	88 a 92	82 a 90	86 a 98	125 a 133
BEBERIBE	Topo	120 a 133	88 a 92	82 a 90	86 a 98	125 a 133
INFERIOR+ SUPERIOR	Base	320 a 400	320 a 400	320 a 400	320 a 400	320 a 400

Fonte: DANTAS, 2012.

A zona vadosa de uma formação aquífera é de grande importância para a definição dos pontos de recarga e a principal fonte de reposição das águas, que ocorre através das chuvas infiltrando-se na formação através da zona seca, denominada zona de recarga direta, cuja captação inicial ocorre nos aquíferos livres acima do nível freático. A condição de definição geométrica da BSP de uma homoclinal com inclinação para leste grosseiramente aponta as zonas vadasas do Aquífero Beberibe como sendo a porção mais ocidental, próxima à borda da Bacia (DANTAS, 2012).

A recarga desse sistema aquífero ocorre, principalmente, por infiltração da precipitação pluviométrica, na área de afloramento da Formação Beberibe e, secundariamente, por filtração vertical descendente, na porção confinada. Algumas áreas de recarga do Beberibe são bastante vulneráveis à poluição, uma vez que, em parte de sua porção aflorante, existem loteamentos não regularizados, moradias sem esgotamento sanitário ou grandes plantações de cana-de-açúcar, gerando uma contaminação difusa, além da instalação de indústrias, postos de gasolina e disposição de resíduos urbanos sem controle hidrogeológico (caracterização hidrogeológica da área, poços de observação para água subterrânea, medidas para proteção em caso de alerta, etc.) (COSTA; COSTA FILHO, 2002).

De acordo com Dantas (2012), as Formações Gramame e Maria Farinha, pertencentes à Bacia Pernambuco-Paraíba, não são consideradas aquíferos, por não possuírem um sistema cárstico-fissural desenvolvido. Os poços perfurados nessas formações calcárias foram abandonados, em parte pelos baixos volumes de água que as mesmas oferecem, mas, sobretudo, pela qualidade de suas águas, que apresentam elevada dureza, em decorrência do teor de carbonatos e bicarbonatos nelas contido. A espessura máxima da Formação Gramame, detectada em poços, não ultrapassa 100 m. A Formação Maria Farinha dispõe-se, concordantemente, sobre a Formação Gramame e, embora constitua uma unidade estratigráfica individualizada em termos de conteúdo fossilífero, apresenta características litológicas e modo de ocorrência idênticos aos da Formação Gramame. E, excluídas as formações calcárias, três aquíferos ocorrem nesse domínio hidrogeológico: o Beberibe, o Barreiras (arenitos argilosos e argilas) e o dos Sedimentos Diversos (areias, siltes, argilas).

Com base nas diferenças litológicas e em particularidades locais, alguns hidrogeólogos subdividiram a Formação Beberibe em dois sub-níveis denominados Aquífero Beberibe Inferior (a parte basal, mais silicosa) e Aquífero Beberibe Superior (a porção superior, calcífera) (COSTA, 1998).

Regionalmente, aparece, entre os dois sub-níveis, uma camada ou nível semipermeável (siltica ou argilosa) de coloração cinza esverdeada ( fácies lagunar) e com espessura variável, tendo, em média, 10 metros. Essa sequência sedimentar, embora subdividida, constitui um sistema hidráulico único que, na sua maior parte, ocorre como um aquífero confinado drenante, com forte anisotropia e permeabilidade

vertical menor em relação à horizontal. Em áreas restritas, esse nível siltico-argiloso funciona como aquitardo, separando os dois sub-níveis e condicionando um comportamento de semi-confinamento para o sub-nível inferior (DANTAS, 2012).

As características litológicas desse aquífero proporcionam uma estratificação química de suas águas, com águas cloretadas e mais agressivas, na porção inferior e águas carbonatadas com dureza elevada, na porção superior. Isto, em consequência do progressivo aumento de bicarbonatos e carbonatos, da base para o topo do aquífero, acontece devido ao aumento acentuado do cimento calcífero na porção superior da Formação Beberibe e a presença de arenitos calcíferos e calcarenitos que se intercalam em camadas e/ou lentes de dimensões variadas (COSTA, 1998).

A produtividade do aquífero é elevada a média. De acordo com a Tabela 3, os poços que captam água desse aquífero possuem uma vazão específica média em torno de 3 m<sup>3</sup>/h/m e vazões médias de 58 m<sup>3</sup>/h. A qualidade da água é boa, com Resíduo Seco (RS) médio de 295 mg/l (COSTA, 1998).

Tabela 3 – Médias dos parâmetros e características dos poços perfurados nos aquíferos do Domínio Bacia PE-PB

PARÂMETROS	AQUÍFEROS		
	BEBERIBE	BARREIRAS	SEDIMENTOS DIVERSOS
VAZÃO (m <sup>3</sup> /h)	58	16	25
NÍVEL ESTÁTICO (m)	35	13	4
NÍVEL DINÂMICO (m)	55	24	13
VAZÃO ESPECÍFICA (m <sup>3</sup> /h/m)	3,1	1,9	5,4
PROFUNDIDADE (m)	228	51	18
RESÍDUO SECO (mg/l)	295	165	< 500
ÁREA DE OCORRÊNCIA (km <sup>2</sup> )	360	550	100

Fonte: DANTAS, 2012.

#### 4.2.6 Aquífero Beberibe na área de estudo



Foram estudados os dados de monitoramento dos níveis freáticos em quatro poços, sendo um em cada município da área de estudo no Aquífero Beberibe na Bacia Paraíba. Todos os poços são monitorados pela Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas (RIMAS) que faz parte da CPRM, através de um medidor automático de nível.

A seguir, para cada poço, estão citados em quadros os dados gerais, de localização, geológicos e hidrogeológicos, além de figuras para conhecimento da parte externa desses poços:

➤ João Pessoa (Mangabeira II)

Quadro 31- Dados gerais do poço tubular em João Pessoa-PB (Poço Mangabeira II)

<b>Código</b>	<b>Nome</b>	<b>Data da Instalação</b>	<b>Proprietário</b>	<b>Natureza</b>	<b>Cota do Terreno (m)</b>
2600047476	CGP-04-PB	18/11/2011	CAGEPA	Poço Tubular	40,94

Fonte: CPRM (2019).

Quadro 32- Dados de localização do poço tubular em João Pessoa-PB (Poço Mangabeira II)

<b>Localidade</b>	<b>UTM (N-S)</b>	<b>UTM (E-W)</b>	<b>Bacia Hidrográfica</b>	<b>Sub-bacia Hidrográfica</b>
Mangabeira II	9205720	296460	Atlântico Sul-N/NE	Rios Capibaribe, Mundau e outros.

Fonte: CPRM (2019).

Quadro 33- Dados da formação geológica do poço tubular em João Pessoa-PB (Poço Mangabeira II)

<b>Profundidade Inicial (m)</b>	<b>Profundidade Final (m)</b>	<b>Feição Geomorfológica</b>	<b>Formação</b>
107,00	152,00	Tabuleiro	Beberibe

Fonte: CPRM (2019).

Quadro 34- Dados litológicos do poço tubular em João Pessoa (Poço Mangabeira II)

<b>De (m)</b>	<b>Até (m)</b>	<b>Litologia</b>	<b>Descrição Litológica</b>
0	7	Solo arenoso	Solo arenoso marrom
7	14	Areia grossa	Areia grossa amarela
14	20	Arenito médio	Arenito média
20	25	Arenito fino	Arenito fino amarelo

25	35	Arenito médio	Arenito médio branco
35	42	Arenito médio	Arenito médio branco
42	44	Arenito argiloso	Arenito argiloso marrom
44	51	Arenito calcífero	Arenito calcífero cinza
51	60	Arenito calcífero	Arenito calcífero verde
60	65	Calcário	Calcário cinza
65	107	Argilito calcífero	Argilito calcífero cinza
107	110	Arenito calcífero	Arenito calcífero cinza
110	121	Arenito calcífero	Arenito calcífero
121	125	Arenito calcífero	Arenito calcífero bastante compacto
125	140	Arenito grosso	Arenito grosso creme bem selecionado
140	152	Arenito médio	Arenito médio cinza

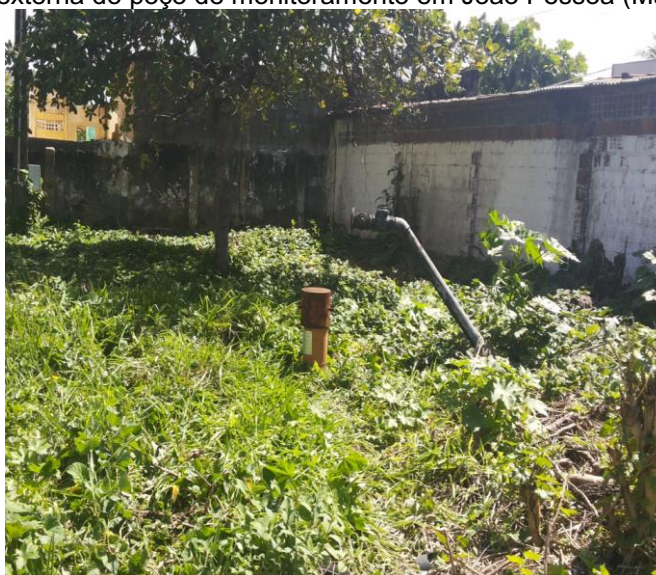
Fonte: CPRM (2019).

Quadro 35- Dados hidrogeológicos do poço tubular em João Pessoa-PB (Poço Mangabeira II)

Aquífero	Topo (m)	Base (m)	Captação	Condição	Penetração	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Nível Estático (m)	Nível Dinâmico (m)
Poroso	107	152	Única	Confinado	Parcial	20	41,41	50,49

Fonte: CPRM (2019).

Figura 74- Parte externa do poço de monitoramento em João Pessoa (Mangabeira II) – PB.



Fonte: CPRM (2019).

➤ João Pessoa- PB (Poço Conjunto José Vieira Diniz)

Quadro 36- Dados gerais do poço tubular em João Pessoa-PB (Poço Conj. José Vieira Diniz)

<b>Código</b>	<b>Nome</b>	<b>Data da Instalação</b>	<b>Proprietário</b>	<b>Natureza</b>	<b>Cota do Terreno (m)</b>
2600047473	CGP-01-PB	16/11/2011	CAGEPA	Poço Tubular	42,21

Fonte: CPRM (2019).

Quadro 37- Dados de localização do poço tubular em João Pessoa-PB (Poço Conj. José Vieira Diniz)

<b>Localidade</b>	<b>UTM (N-S)</b>	<b>UTM (E-W)</b>	<b>Bacia Hidrográfica</b>	<b>Sub-bacia Hidrográfica</b>
Conjunto José Vieira Diniz	9206534	288944	Atlântico Sul-N/NE	Rios Capibaribe, Mundau e outros.

Fonte: CPRM (2019).

Quadro 38- Dados da formação geológica do poço tubular em João Pessoa-PB (Poço Conj. José Vieira Diniz)

<b>Profundidade Inicial (m)</b>	<b>Profundidade Final (m)</b>	<b>Feição Geomorfológica</b>	<b>Formação</b>
63,00	322,00	Tabuleiro	Beberibe

Fonte: CPRM (2019).

Quadro 39- Dados litológicos do poço tubular em João Pessoa- PB (Poço Conj. José Vieira Diniz)

<b>De (m)</b>	<b>Até (m)</b>	<b>Litologia</b>	<b>Descrição Litológica</b>
0	3	Solo arenoso	Solo arenoso de coloração amarronzada
3	63	Arenito argiloso	Arenito argiloso de coloração marrom-amarelada, apresentando granulometria média de boa seleção
63	100	Arenito calcífero	Arenito calcífero de coloração cinza claro de caráter mesocrático, granulometria média a grosseira, mediamente selecionado. Grãos subarredondados.
100	153	Arenito calcífero	Arenito muito calcífero de coloração cinza claro, de caráter mesocrático, granulometria média a grosseira, regularmente selecionado.
153	165	Argilito arenoso	Argilito arenoso de coloração cinza.

165	195	Arenito calcífero	Arenito muito calcífero, gradando do cinza amarelado, muito grosseiro a fino, mal selecionado, muito duro.
195	322	Arenito calcífero	Arenito fino regularmente selecionado, cimento calcífero até 230 m, coloração amarelo clara apresentando níveis grosseiros (210-228 m).

Fonte: CPRM (2019).

Quadro 40- Dados hidrogeológicos do poço tubular em João Pessoa-PB (Poço Conj. José Vieira Diniz)

Aquífero	Topo (m)	Base (m)	Captação	Condição	Penetração	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Nível Estático (m)	Nível Dinâmico (m)
Poroso	63,00	322	Única	Confinado	Parcial	34,434	24,6	50,6

Fonte: CPRM (2019).

Figura 75- Parte externa do poço de monitoramento em João Pessoa (Conjunto José Vieira Diniz) - RN.



Fonte: CPRM (2019).

### ➤ Cabedelo- PB

Quadro 41- Dados gerais do poço tubular em Cabedelo- PB

Código	Nome	Data da Instalação	Proprietário	Natureza	Cota do Terreno (m)
2600008444	CGP-06-PB	17/11/2011	CAGEPA	Poço Tubular	3,10

Fonte: CPRM (2019).

Quadro 42- Dados de localização do poço tubular em Cabedelo-PB

Localidade	UTM (N-S)	UTM (E-W)	Bacia Hidrográfica	Sub-bacia Hidrográfica
Praia Formosa	9228985	297560	Atlântico Sul-N/NE	Rios Paraíba, Potengi e outros.

Fonte: CPRM (2019).

Quadro 43- Dados da formação geológica do poço tubular em Cabedelo-PB

<b>Profundidade Inicial (m)</b>	<b>Profundidade Final (m)</b>	<b>Feição Geomorfológica</b>	<b>Formação</b>
114,00	298,00	Terraço Marinho	Beberibe

Fonte: CPRM (2019).

Quadro 44- Dados litológicos do poço tubular em Cabedelo-PB

<b>De (m)</b>	<b>Até (m)</b>	<b>Litologia</b>	<b>Descrição Litológica</b>
0	3	Areia média	Areia média a fina, calcífera, amarelada.
3	12	Calcário	Calcário conchífero, esbranquiçado.
12	18	Arenito fino	Arenito fino a médio, calcífero, creme amarelado.
18	42	Arenito siltoso	Arenito siltico-argiloso, calcífero, amarelo escura
42	45	Calcário	Calcário argiloso, creme amarelado.
45	93	Calcário	Calcário compacto, cinza.
93	108	Argilito calcífero	Argilito calcífero, plástico, cinza.
108	111	Arenito média	Arenito médio argiloso, calcífera.
111	120	Arenito média	Arenito médio, bem classificadao, pouco argiloso, calcífero, cinza-clara.
120	151	Arenito calcífero	Arenito médio/grosseiro, com grãos subarredondados a subangulosos, calcífero, com quartzo, amarelado.
151	250	Arenito grosso	Arenito médio/grosseiro, com quartzo, grãos subarredondados a subangulosos, com calcário, cinza
250	263	Arenito médio	Arenito médio com certos níveis grosseiros.
263	270	Arenito grosso	Arenito grosso a médio.
270	278	Arenito calcífero	Arenito calcífero.
278	282	Argilito calcífero	Argilito calcífero.
282	293	Arenito grosso	Arenito grosso a médio.
293	295	Argilito calcífero	Argilito com arenito calcífero.

295	310	Arenito médio	Arenito médio a fino.
-----	-----	---------------	-----------------------

Fonte: CPRM (2019).

Quadro 45- Dados hidrogeológicos do poço tubular em Cabedelo-PB

Aquífero	Topo (m)	Base (m)	Captação	Condição	Penetração	Vazão (m³/h)	Nível Estático (m)	Nível Dinâmico (m)
Poroso	114,00	298,1	Única	Confinado	Parcial	80,00	5,91	32,6

Fonte: CPRM (2019).

Figura 76- Parte externa do poço de monitoramento em Cabedelo- PB.



Fonte: CPRM (2019).

➤ Bayeux- PB

Quadro 46- Dados gerais do poço tubular em Bayeux- PB

Código	Nome	Data da Instalação	Proprietário	Natureza	Cota do Terreno (m)
2600047480	CGP-09-PB	18/11/2011	CAGEPA	Poço Tubular	53,03

Fonte: CPRM (2019).

Quadro 47- Dados de localização do poço tubular em Bayeux-PB

<b>Localidade</b>	<b>UTM (N-S)</b>	<b>UTM (E-W)</b>	<b>Bacia Hidrográfica</b>	<b>Sub-bacia Hidrográfica</b>
Alto da Boa Vista	9211010	285866	Atlântico Sul-N/NE	Rios Capibaribe, Mundau e outros.

Fonte: CPRM (2019).

Quadro 48- Dados da formação geológica do poço tubular em Bayeux-PB

<b>Profundidade Inicial (m)</b>	<b>Profundidade Final (m)</b>	<b>Feição Geomorfológica</b>	<b>Formação</b>
0,00	240,00	Tabuleiro	Beberibe

Fonte: CPRM (2019).

Quadro 49- Dados litológicos do poço tubular em Bayeux-PB

<b>De (m)</b>	<b>Até (m)</b>	<b>Litologia</b>	<b>Descrição Litológica</b>
-	-	-	-

Os dados litológicos do poço de monitoramento em Bayeux- PB não foram divulgados pelo CPRM.

Quadro 50- Dados hidrogeológicos do poço tubular em Bayeux-PB

<b>Aquífero</b>	<b>Topo (m)</b>	<b>Base (m)</b>	<b>Captação</b>	<b>Condição</b>	<b>Penetração</b>	<b>Vazão (m³/h)</b>	<b>Nível Estático (m)</b>	<b>Nível Dinâmico (m)</b>
Poroso	-	240	-	Confinado	-	79,2	79,48	128,54

Fonte: CPRM (2019).

Figura 77- Parte externa do poço de monitoramento em Bayeux- PB.



Fonte: CPRM (2019).



## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido de acordo com as seguintes atividades metodológicas:

- **Fundamentação teórica**

As atividades iniciais consistiram em uma ampla revisão bibliográfica para um maior embasamento do estudo hidrogeológico, seguida de avaliação, sistematização das informações e caracterização das áreas de estudo.

- **Coleta e análise dos dados**

É premissa de trabalhos desta temática, ter uma série histórica longa de dados de monitoramento de nível de poço e de precipitação local. Os dados climatológicos foram obtidos de plataformas *on-line* como INMET, ANA e EMPARN (municípios do Rio Grande do Norte), ANA e AESA (municípios da Paraíba). Enquanto os dados de investigação do nível freático foram coletados no site do CPRM-RIMAS.

- **Escolha dos poços de monitoramento**

Para cada aquífero estudado, foram utilizados os dados de poços monitorados pelo CPRM e que são acessíveis na plataforma digital do RIMAS. No estado do Rio Grande do Norte, existem 6 poços de monitoramento do aquífero Açú em seis diferentes municípios, um para cada uma dessas cidades localizadas no domínio Açú: Apodi, Açú, Caraúbas, Upanema, Afonso Bezerra e Jardim de Angicos. No estudo do Beberibe na Paraíba, dispõe-se de 4 poços monitorados: dois em João Pessoa, um em Cabedelo e um em Bayeux.

- **Aplicação do software HARTT (Hydrograph Analysis: Rainfall and Time Trend)**

Para a construção do modelo HARTT foram utilizados dados brutos climatológicos (precipitação) e de monitoramento do nível freático de poço como entrada, obtidos nas plataformas *on-line* das instituições supracitadas.

- **Análise estatística dos hidrogramas gerados**

Explicar/interpretar a partir do modelo autorregressivo HARTT demonstrado em gráficos, as oscilações dos níveis freáticos dos aquíferos a fim de entender como os mesmos respondem aos diferentes estímulos dos eventos de precipitação. Além de

verificar o melhor atraso e as oscilações subterrâneas geradas no HARTT através de gráficos de Precipitação vs Nível Estático feitos no Excel.

- **Recarga das águas subterrâneas**

As considerações apresentadas sobre a recarga das águas subterrâneas dos aquíferos Açu e Beberibe são baseadas na aplicação do método de Variação do Nível de Água- VNA.

- **Avaliação do volume retirado por ano nos aquíferos**

Interpretação realizada a partir das informações dos órgãos gestores dos Estados, responsáveis pelas outorgas de águas subterrâneas das cidades estudadas. Os dados de outorgas do RN foram concedidos pelo IGARN e os da PB obtidos no site AESA.

### 5.1 Modelo HARTT (Hydrograph Analysis: Rainfall and Time Trends)

O modelo HARTT (Hydrograph Analysis: Rainfall And Time Trends) foi desenvolvido por Ferdowsian e Pannell (2001) para realizar análises em séries de oscilação do nível freático e correlacioná-las com eventos climáticos de precipitação. O modelo calcula o atraso (*lag*) entre o evento de precipitação e a resposta freática, determinando assim se existe uma influência adicional (não climática) nas oscilações das águas subterrâneas ao longo do tempo, a partir das entradas da chuva (YIHDEGO; WEBB, 2011).

Segundo Ali *et al.* (2010), modelo HARTT apresenta-se como uma derivação do método CDFM (*Cumulative Deviation from the Mean*), o qual se fundamenta no pressuposto de que os desvios acumulados da precipitação média explicam as mudanças nos níveis freáticos dos aquíferos não confinados. Neste método, a precipitação efetiva durante um período definido é subtraída da média de precipitação deste período. De acordo Silva e Manzione (2016), ambas as formas de resíduos acumulados de precipitação são utilizadas e comparadas por meio de técnicas de regressão múltipla. A primeira é a acumulativa mensal RAPM; mm (Resíduo Acumulado de Precipitação Mensal) calculada na Equação 1, abaixo:

Equação 1- Resíduo Acumulado de Precipitação Mensal

$$RAPM = \sum_{i=1}^t M_{ij} - \bar{M}_j \quad \text{Eq. 1}$$

Em que,  $M_{i,j}$  é a chuva no mês  $i$  ( $i$  corresponde a um índice sequencial de tempo desde o início do conjunto de dados), o qual representa um mês do ano  $j^{\text{th}}$ ;  $M_j$  é a média mensal de precipitação para o mês  $j^{\text{th}}$  de um ano;  $t$  são os meses desde o início do conjunto de dados.

A variável referente ao RAPA (Resíduo Acumulado de Precipitação Anual), demonstrada na Equação 2, tende a ter flutuações relativamente baixas dentro dos anos, pois em seu cálculo as flutuações na precipitação real tendem a ser compensadas pela variação sazonal apresentada pela precipitação média mensal.

Equação 2- Resíduo Acumulado de Precipitação Anual

$$RAPA = \sum_{i=1}^t (M_i - (\bar{A}/12)) \quad \text{Eq. 2}$$

Onde,  $\bar{A}$  é a média anual de precipitação. Devido  $\bar{A}$  ser uma constante, as flutuações em  $M_i$  não são moderadas como em RAPM, fazendo com que RAPA tenha maiores flutuações dentro de ano. O modelo de regressão usado no HARTT é formulado na Equação 3 como:

Equação 3- Profundidade do nível de água abaixo da superfície

$$Prof_t = k_0 + k_1 * RAPM_{t-L} + k_2 * t \quad \text{Eq. 3}$$

Na qual,  $Prof$  corresponde à profundidade do nível de água abaixo da superfície;  $t$  são os meses desde o início das observações;  $L$  é a extensão do tempo de atraso (em meses) entre a chuva e seu impacto no lençol freático; e  $k_0$  (é aproximadamente igual à profundidade inicial das águas subterrâneas),  $k_1$  (representa o impacto de precipitação acima ou abaixo da média sobre o nível do lençol freático), e  $k_2$  (é a tendência da taxa de ascensão ou queda do nível das águas subterrâneas ao longo do tempo) são parâmetros a serem estimados.

Esta abordagem além de se apresentar eficiente para a diferenciação do efeito de uma precipitação atípica da tendência dos níveis freáticos, tem sido empregada no estudo de flutuações subterrâneas causadas por eventos de chuva em períodos selecionados de tempo; de fatores que afetam os níveis de água subterrânea e na estimativa de recarga (SILVA; MANZIONE, 2016).

O modelo pode ainda ser utilizado para estimar o impacto das alterações climáticas ou intervenção humana, tais como a mudança de uso do solo, nos níveis de águas subterrâneas (id, 2016).

No caso de estimativas a partir de chuvas anuais recomenda-se a utilização de séries maiores que 10 anos, visto que o modelo implementado no HARTT utiliza valores de precipitação acumulados em frequência mensal ou anual. Assim, com monitoramento dos níveis realizado no período, associados às séries de maior comprimento obtêm-se uma série de dados de entrada que represente a oscilação climática sazonal na região (id, 2016).

Os hidrogramas gerados exibem o cálculo com o melhor ajuste e um gráfico mostrando a curva ajustada e o efeito da precipitação juntamente com as leituras de níveis freáticos (FERDOWSIAN; PANNELL, 2001).

Segundo Ferdowsian (2003), criador do software, mostrar-se-á o uso mais a análise dos hidrogramas gerados para cada exemplo, de acordo com o manual:

### 5.1.1 Usando o HARTT-XLS

#### A. Dados de Precipitação

- Para executar o HARTT-XLS, precisou-se de registros de nível de água para um piezômetro (furo de monitoramento) e totais mensais de chuva para uma duração de registro significativa (pelo menos 10 anos) a partir de um local próximo;
- No formato dos dados, planilhas MS Excel separadas são necessárias para o conjunto de dados de precipitação e para cada conjunto de dados no nível de água. As localizações das planilhas para os dados de nível de água e precipitação são especificadas cada vez que se executa o HARTT-XLS. Assim, os dados para nível de água e precipitação podem ser localizados em uma ou diferentes pastas de trabalho, se desejar. Os arquivos de dados precisam ser o formato do modelo e dos arquivos de

exemplo, fornecidos na pasta "\ Program Files \ HARTT-XLS". Embora seus títulos não precisem ser iguais ao exemplo do manual, os dados devem estar no local correto na planilha. Foi melhor colar no modelo e salvar como um novo nome de arquivo;

- A precipitação deve ser em unidades de milímetros.

### **B. Leitura do Nível da Água**

- O formato da data deve ser o mesmo descrito nas configurações regionais do seu computador, deve estar no formato americano;
- Os níveis de água subterrânea devem estar em “metros abaixo da superfície do solo” (valores negativos abaixo da superfície).

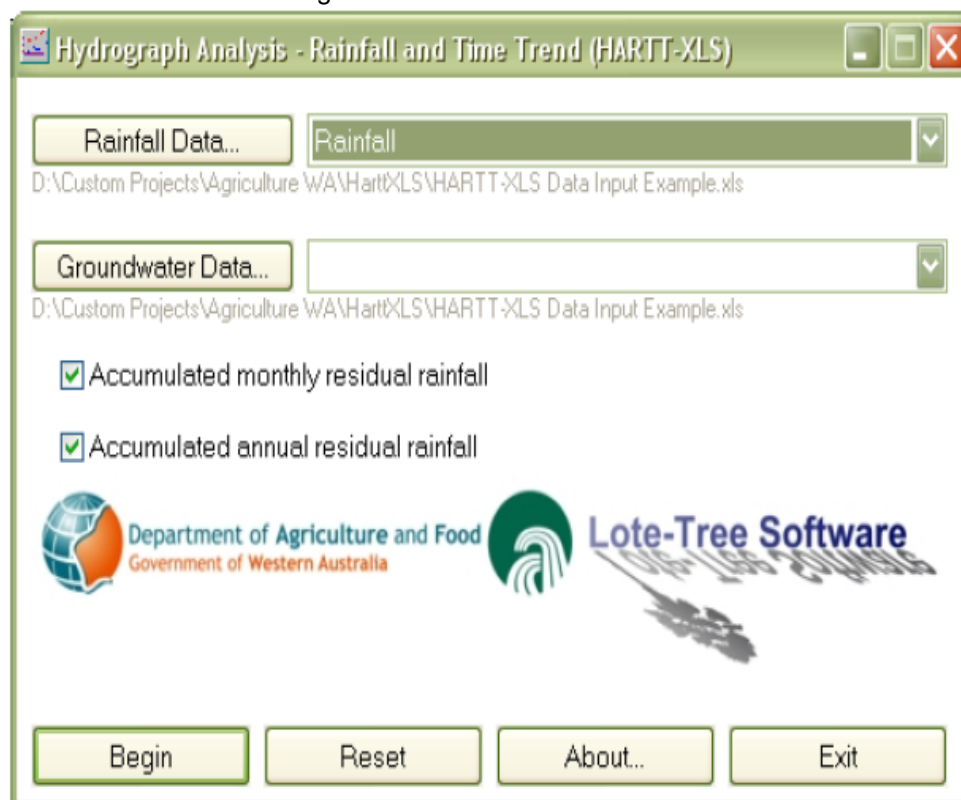
### **C. Precipitação - AMRR ou AARR?**

- As duas formas de precipitação residual acumulativa são usadas e comparadas usando técnicas de regressão múltipla. A precipitação residual anual acumulada (AARR), que apresenta flutuações mais altas dentro do ano, foi a única aplicada no exemplo mostrado pelo manual e no restante da bibliografia pesquisada, por isso, foi utilizada nesta pesquisa.

### **D. Análise Hidrográfica**

- Etapa 1- Encontrar Arquivos: Depois de iniciar o HARTT-XLS a partir do ícone da área de trabalho ou do *menu* Iniciar, a tela inicial do HARTT-XLS foi apresentada (Figura 78). Para especificar a localização do arquivo de precipitação, clicou-se no rótulo do botão esquerdo “Dados de precipitação...” e “navegou-se” até o arquivo de pasta de trabalho de entrada. Após a seleção do arquivo de entrada, usou-se a lista suspensa para indicar qual planilha usar.

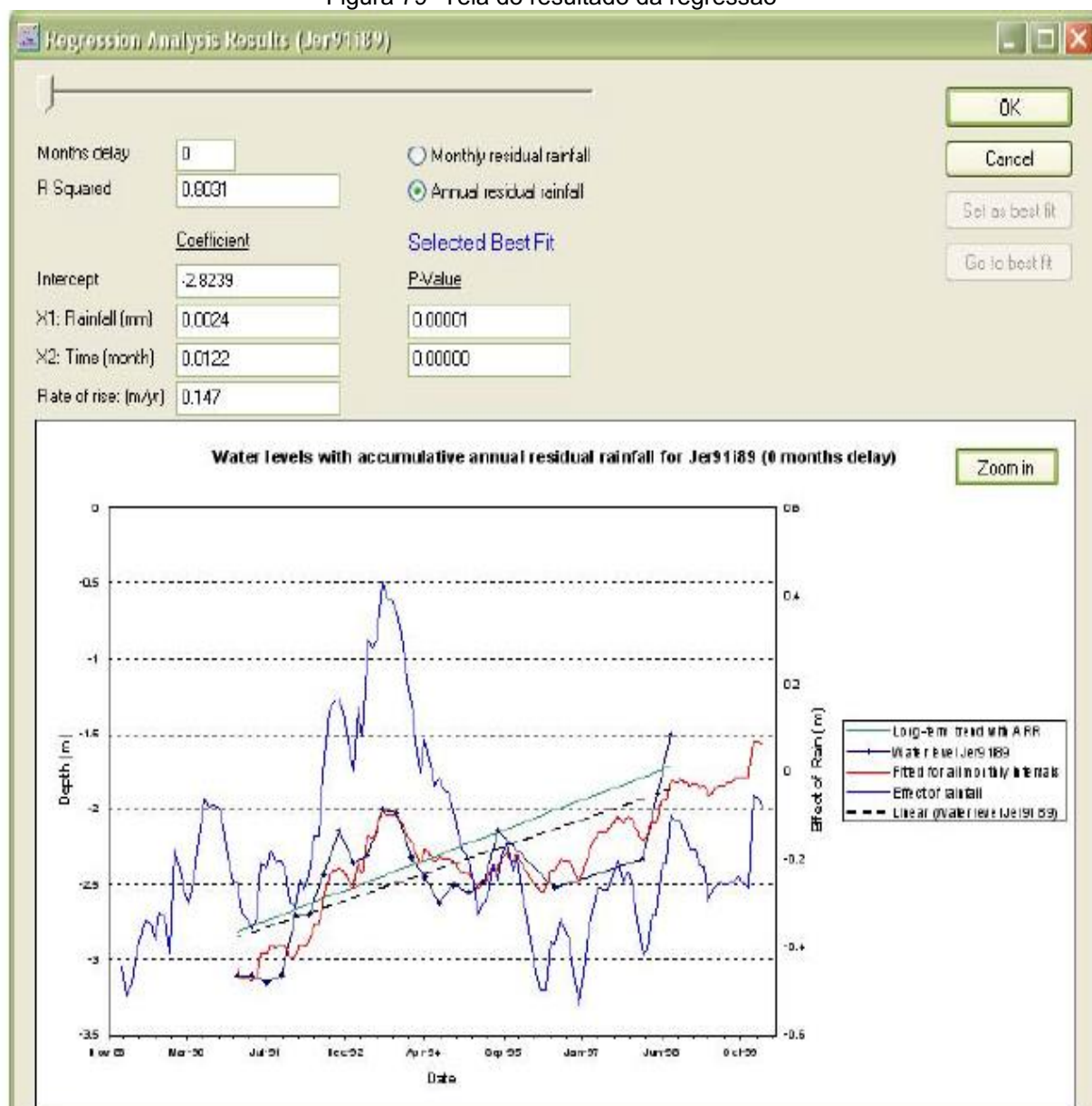
Figura 78- Tela inicial do HARTT.



Fonte: Ferdowsian (2003).

- Etapa 2- Análise: Depois de ter clicado no botão “*Begin*” para iniciar o processo de análise, os dados foram processados nos bastidores no Microsoft Excel. A edição do processo dependeu da velocidade do computador, da memória livre e da quantidade de chuva e de dados da água subterrânea nas planilhas de entrada especificadas.
- Etapa 3- Resultados: Uma vez concluída a análise, a janela Resultados da Análise de Regressão foi exibida mostrando o “melhor ajuste” calculado com um gráfico à uma curva ajustada e o efeito da chuva, juntamente com as leituras do nível da água. O efeito dos níveis de chuva e água está em eixos diferentes e, portanto, têm uma escala diferente. Puderam-se percorrer os períodos de atraso mensais arrastando o ponteiro ao longo da barra deslizante na parte superior dessa tela (Figura 79). Isto mostrou os coeficientes  $R^2$ , interceptação, para precipitação e tempo, e seus respectivos valores-p para cada atraso. O atraso (em meses) é colocado na variável precipitação. Quando se estava satisfeito com o resultado, clicava-se em “OK”.

Figura 79- Tela do resultado da regressão



Fonte: Ferdowsian (2003).

O valor de  $R^2$  é o grau de ajuste da curva calculada em comparação com os níveis de água registrados (1 é um ajuste perfeito). O valor p indica o nível de significância de cada variável. Se o valor p for menor que 0,05, a variável é significativa. Se for menor que 0,01, então é altamente significativo. Deve-se verificar o nível de significância de cada variável. Se a tendência não é significativa, então não se pode ter certeza da taxa de aumento. E se a variável de precipitação não é significativa, então não se pode ter certeza do efeito e do período de atraso (FERDOWSIAN, 2003).

O valor do “melhor ajuste de atraso” é estimado separadamente para cada furo, selecionando o valor que resulta no  $R^2$  mais alto para a regressão. Assim, o atraso não representa necessariamente a defasagem até o primeiro impacto ou o maior impacto da precipitação na profundidade do lençol freático, mas o atraso que produz a correlação estatística mais alta. Em muitos casos, o “melhor ajuste de atraso” é maior do que o primeiro impacto detectável (FERDOWSIAN, 2003).

## 5.2 Relação entre a precipitação e a recarga anual das águas subterrâneas utilizando o método VNA

### 5.2.1 Método VNA (Variação do Nível de Água)

Foi realizada a estimativa das taxas anuais de recarga dos aquíferos a partir do **Método VNA** (Variação do Nível de Água). Para a realização dessa etapa, os dados de precipitação utilizados para o cálculo de recarga foram disponibilizados pela AESA para os poços localizados na Paraíba (aquífero Beberibe) e pela ANA para os poços localizados no Rio Grande do Norte (aquífero Açú).

Os dados de variação do nível da água subterrânea foram obtidos a partir da rede integrada de monitoramento das águas subterrâneas – RIMAS (<http://rimasweb.cprm.gov.br/>). Os poços selecionados para este estudo são caracterizados na Tabela 4, a seguir:



Tabela 4- Poços estudados

Poço	Código	Latitude	Longitude	Profundidade (m)	Profundidade Inicial dos Filtros (m)	Aquífero	Tipo	Cidade
P1	2600041031	9374060	634313	100	80	Açu	Livre	Apodi-RN
P2	2600049469	9373654	667739	118	98	Açu	Livre	Caraúbas-RN
P3	2600039600	9374028	689923	42	14	Açu	Livre	Upanema-RN
P4	2600039601	9385129	715422	102	70	Açu	Livre	Açu- RN
P5	2600039599	9399782	773654	97	61	Açu	Livre	Afonso Bezerra- RN
P6	2600049468	9390314	770027	68	44	Açu	Livre	Jardim de Angicos- RN
P7	2600047480	9211010	285866	240	118	Beberibe	Confinado	Bayeux- PB
P8	2600047473	9206534	288944	322	53	Beberibe	Confinado	João Pessoa- PB/Conj. José Vieira Diniz
P9	2600047476	9205720	296460	154	128,5	Beberibe	Confinado	João Pessoa- PB/Mangabeira II
P10	2600008444	9228985	297560	310	136	Beberibe	Confinado	Cabedelo- PB

Fonte: CPRM (2020)

O método da variação do nível de água em um aquífero é proveniente da adição de um volume de água ao mesmo. Para quantificar a recarga, é necessário multiplicar a variação do nível de água registrada em um intervalo de tempo pelo volume de poros que podem ser preenchidos pela água. Este volume, denominado rendimento específico do aquífero ( $S_y$ ), é a razão entre a quantidade de água drenada pela gravidade de uma rocha ou solo, após ser saturada, e o seu volume total (HEALY E COOK, 2002). Este método pode ser expresso a partir da Equação 4 a seguir:

Equação 4- Recarga anual pelo Método VNA

$$R = S_y \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad \text{Eq. 4}$$

Onde,  $S_y$  é o rendimento específico (unidade adimensional);  $\Delta h$  (mm) é a variação do nível de água, entendida como a diferença entre o ponto máximo na elevação do nível de água registrado no piezômetro e o ponto no mesmo tempo da curva extrapolada da última recessão; e  $\Delta t$  é o tempo de medição (igual a 1 ano).

Para o método VNA, ressalta-se que as medições de nível da água devem ser frequentes e precisas (VARNI *et al.*, 2013), e o mesmo é comumente aplicado para aquíferos livres que exibem acentuadas variações de níveis, como também em aquíferos confinados profundos com variações sazonais de recarga bem definidas, sendo que os poços monitorados são representativos do aquífero como um todo (HEALY e COOK, 2002).

O método apresenta como vantagem a sua ampla difusão, pois gera bons resultados, é fácil aplicação e de uso irrestrito de qualquer tipo de poço (MALDANER, 2010). Para Healy e Cook (2002), a limitação do VNA é proveniente da dificuldade em se obter valores representativos de  $S_y$  (porosidade efetiva).

Com relação à determinação do  $S_y$ , utilizou-se os valores referenciais, com base na bibliografia estudada, mostrados na tabela 5:

Tabela 5- Rendimento específico ( $S_y$ ) de cada aquífero

<b>Formação</b>	<b><math>S_y</math></b>	<b>Referência</b>
Açu	0,02	SERHID, 1998a
Beberibe	0,10	COSTA, W. D. <i>et al</i> (2002)

Fonte: O autor (2020).

## 5.4 Estimativa do volume retirado por ano nos aquíferos

### 5.4.1 Aquífero Beberibe- PB

Os dados de outorgas disponibilizados pela AESA traziam a vazão diária e anual de cada poço outorgado. No Estado da Paraíba, segundo informações repassadas pelo gerente de outorgas da AESA, as outorgas dos poços têm validade de 1 ano, sendo essa uma informação muito relevante, pois não se tem a data de emissão, apenas a de expiração. Para fazer a relação entre o volume explorado e o volume médio renovado por ano, foi feito o somatório dos volumes anuais das vazões dos poços outorgados em cada ano para cada município estudado. O exemplo abaixo, explicará o cálculo para todos os anos do volume retirado/ano no aquífero.

➤ *Exemplo do cálculo do volume retirado/ano no Aquífero Beberibe-PB:*

Para o ano de 2015: Volume Retirado do Aquífero Beberibe na Paraíba = Total das vazões anuais dos poços de João Pessoa no ano de 2015 + Total das vazões anuais dos poços de Cabedelo no ano de 2015 + Total das vazões anuais dos poços de Bayeux no ano de 2015 (a vazão anual de cada poço foi fornecida ou poderia ser calculada com base na vazão diária também divulgada).

Agora, considerando que um poço qualquer em um desses três municípios tenha sua data de expiração de outorga em 01/12/2015. Isso significa dizer que a outorga foi válida de 01/12/2014 até 01/12/2015, contabilizando 1 ano. Então, o volume de água extraído deste poço entrará na relação do volume retirado anual tanto em 2014 como em 2015, porém às devidas proporções. Sabendo-se que, um ano não bissexto tem 365 dias, este poço terá sua participação de apenas dezembro no total anual da vazão explorada em 2014 e de janeiro a novembro no total anual da vazão explorada de 2015 naquele município. O valor da vazão anual de cada poço em relação aos anos que operou foi encontrado proporcionalmente através de regra de três simples. Em suma, o volume extraído de um poço que cuja a data de expiração da outorga seja diferente de 31/12, entrará na relação dos volumes extraídos do ano em que expirou e do ano anterior, de maneira proporcional. Outra forma mais simples de calcular a vazão anual seria através da multiplicação da vazão diária pelo total de dias que a outorga teve validade para aquele ano.

Após calcular os volumes totais anuais ( $m^3$ ) para João Pessoa, Cabedelo e Bayeux, tornou-se possível obter os volumes totais anuais finais ( $m^3$ ), que correspondem a soma dos totais anuais dos três municípios.

Para João Pessoa são 459 outorgas expiradas e com vazões anuais divulgadas de 2011 a 2017, sendo: 21 em 2011, 20 em 2012, 22 em 2013, 94 em 2014, 78 em 2015, 43 em 2016 e 181 em 2017.

Para Cabedelo são 23 outorgas expiradas e com vazões anuais divulgadas de 2012 a 2017, sendo: 3 em 2012, 1 em 2013, 7 em 2014, 5 em 2015, 1 em 2016 e 6 em 2017.

E para Bayeux são 13 outorgas expiradas e com vazões anuais divulgadas em 2012, 2015 e 2017, sendo: 1 em 2012, 1 em 2015 e 11 em 2017.

Foram feitas tabelas com os volumes totais anuais para Bayeux, Cabedelo e João Pessoa. De posse dos valores totais anuais em  $m^3$  para cada município estudado, foi realizada uma comparação gráfica individual entre as cidades para perceber se com o passar dos anos, o volume retirado por município aumentou ou diminuiu, e dentre eles qual obteve maior e menor crescimento nas explorações.

#### 5.4.2 Aquífero Açu – RN

Para o cálculo do volume explorado no aquífero Açu, conseguiu-se os dados através do IGARN, órgão responsável pela gestão dos recursos hídricos no Rio Grande do Norte, mediante uma planilha do Excel, com as informações sobre as outorgas como vazão diária do poço, data de emissão (variando entre os anos 2015 a 2018, dependendo do município) e de vencimento da outorga, e o nome do proprietário. De posse apenas da vazão ( $m^3$ /dia), foi necessário calcular os volumes anuais. Para o Rio Grande do Norte as outorgas possuem validade de 5 anos. Assim, para obter-se a vazão anual multiplicou-se a diária pelo total de dias que a outorga teve validade para aquele ano.

Para conseguir o volume total anual do município, somou-se os volumes anuais retirados por todas as outorgas. Esse procedimento foi feito para os cinco municípios trabalhados: Apodi, Upanema, Caraúbas, Açu e Afonso Bezerra. Apenas Jardim de Angicos não teve dados disponibilizados.

Foram 40 outorgas emitidas em Apodi (1 em 2015; 6 em 2016; 7 em 2017; 26 em 2018), 21 outorgas emitidas em Upanema (2 em 2015; 11 em 2016; 5 em 2017; 3 em 2018), 10 outorgas emitidas em Caraúbas (8 em 2016; 1 em 2017; 1 em 2018), 7 outorgas emitidas em Açu (5 em 2015 e 2 em 2016) e 4 outorgas emitidas em 2016 para Afonso Bezerra. Totalizando assim, 82 outorgas expedidas entre 2015 e 2018 nos cinco municípios, que fazem parte do estudo de quantificação do volume retirado do aquífero Açu-RN.

Finalmente, para obter-se volumes totais anuais finais ( $m^3$ ) ou o volume anual retirado do aquífero Açu, somou-se os totais anuais de todos os municípios que possuíam dados para aquele ano. A fim de deixar mais claro, tomando como exemplo o ano de 2015 para o aquífero Açu, somou-se os totais anuais explorados de Apodi, Upanema e Açu que detinham informações para tal ano.

A partir dos totais anuais em metros cúbicos ( $m^3$ ) calculados através do somatório das vazões anuais de cada poço, considerando a proporcionalidade do volume anual retirado com base na quantidade de dias por ano para os municípios no estado do Rio Grande do Norte, gerou-se as tabelas 6, 7, 8, 9 e 10. Para cada tabela gerada, foi realizada uma representação gráfica de mesma numeração, para analisar a tendência ao longo dos anos de exploração ao longo dos anos, qual ano retirou-se mais e menos volume de água do subsolo.

Os somatórios anuais de cada município demonstrados na tabela 10 e no Gráfico 10 refletiram o aquífero Açu-RN como um todo, de 2015 a 2022.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

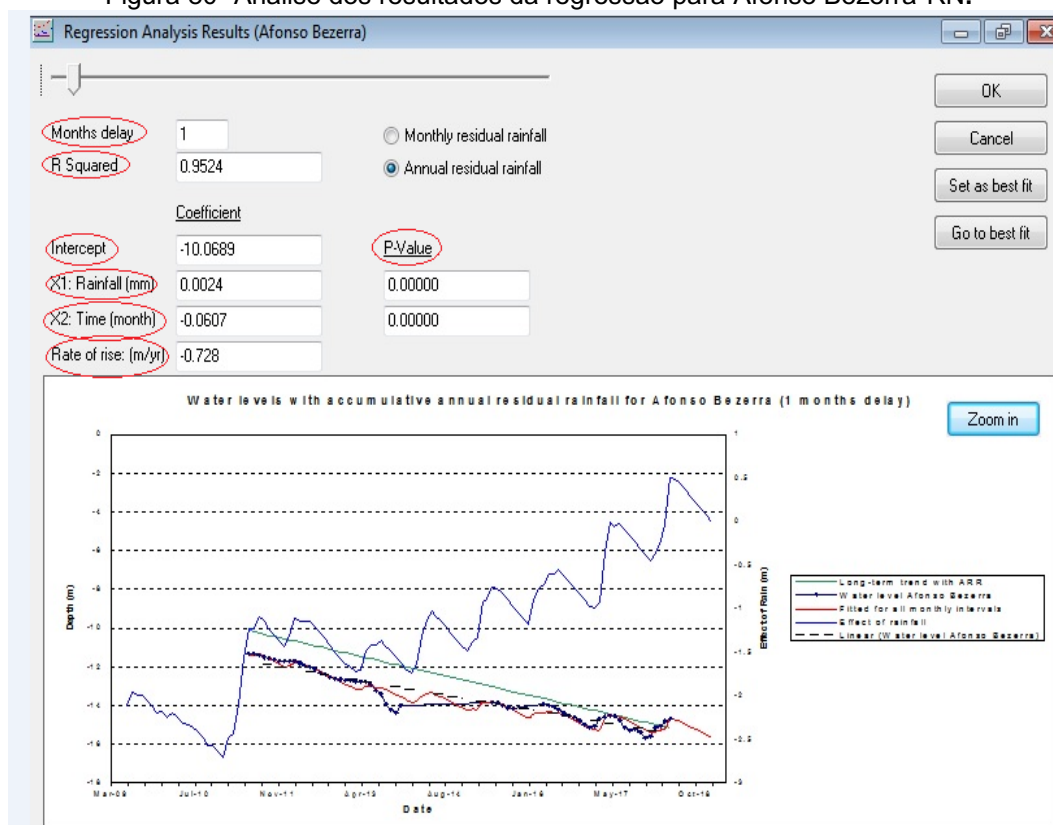
### 6.1. Análise estatística dos hidrogramas gerados pelo HARTT e gráficos da evolução mensal do nível estático e da precipitação pluviométrica em um período monitorado

A explicação desse primeiro hidrograma será mais esmiuçada, pois servirá como base para a interpretação dos outros gráficos, no que se refere à compreensão do  $R^2$ , defasagem, variáveis, tendência e p-valor.

- **Poço tubular em Afonso Bezerra- RN**

O hidrograma gerado na Figura 80, mostrou o efeito da precipitação sobre o nível freático do aquífero. Selecionando o valor que resulta no melhor ajuste para a regressão, os dados coletados desse hidrograma foram agrupados na Tabela 6 abaixo, que apresenta os resultados do modelo com mais adequado ajuste estatístico.

Figura 80- Análise dos resultados da regressão para Afonso Bezerra-RN.



Fonte: HARTT (2019).

Tabela 6- Estatísticas dos ajustes do modelo HARTT para o poço de monitoramento em Afonso Bezerra- RN

Poço Monitorado (Local)	R <sup>2</sup> (%)	Melhor Atraso (Mês)	Intercepto (m)	X1(Precipitação mm)	p-valor X1	X2	p-valor X2	Declínio (m/ano)
Afonso Bezerra- RN	95,2	1	- 10,0689	0,0024	0,00	0,0607	0,00	- 0,728

Fonte: HARTT (2019).

Esses são os valores que melhor se ajustaram ao modelo com um atraso de 1 mês e para um maior coeficiente de determinação da reta de regressão, com R<sup>2</sup> maior que 95%. Isso significa que, 95,24% das oscilações do nível freático nesse ponto podem ser explicadas pela influência das precipitações e este foi o maior valor encontrado para o coeficiente, tendo em vista o melhor atraso e a melhor significância das variáveis. Quanto maior o valor do R<sup>2</sup>, maior será a influência das chuvas no nível freático.

A defasagem de 1 mês com o melhor ajuste do modelo (maior R<sup>2</sup> e menor p), representa o atraso até que o evento de precipitação cause alguma interferência relevante no nível freático. Esse valor aqui encontrado, não é do maior impacto sobre o nível freático do aquífero, mas o de melhor correlação estatística, pois quanto maior o atraso, menor será o R<sup>2</sup>.

A defasagem pode estar relacionada à profundidade na qual a zona saturada se encontra (Intercepto= -10,0689 m). Outros fatores que podem contribuir para a rápida resposta do aquífero são: a topografia, vegetação e a geologia (presença de calcário).

Afonso Bezerra encontra-se em uma área de baixo relevo, o que favorece o aumento da infiltração, visto que há uma diminuição do escoamento superficial. O intercepto, graficamente, é o ponto onde o nível freático intercepta a linha de tendência a longo termo com a RAPA com o melhor tempo de defasagem, ou seja, é a marca inicial do nível estático no poço quando se começa a analisar o efeito das chuvas sobre ele.

Por ter um melhor atraso de 1 mês (*Best Fit Delay*), o poço apresenta uma rápida resposta a pulsos de precipitação, uma vez que a zona saturada, provavelmente não seja tão espessa e o nível (intercepto) seja relativamente raso em relação a superfície, no ponto de monitoramento. Sendo assim, o modelo HARTT é eficiente na caracterização dos níveis freáticos quando a estrutura geológica se comporta como um aquífero livre.

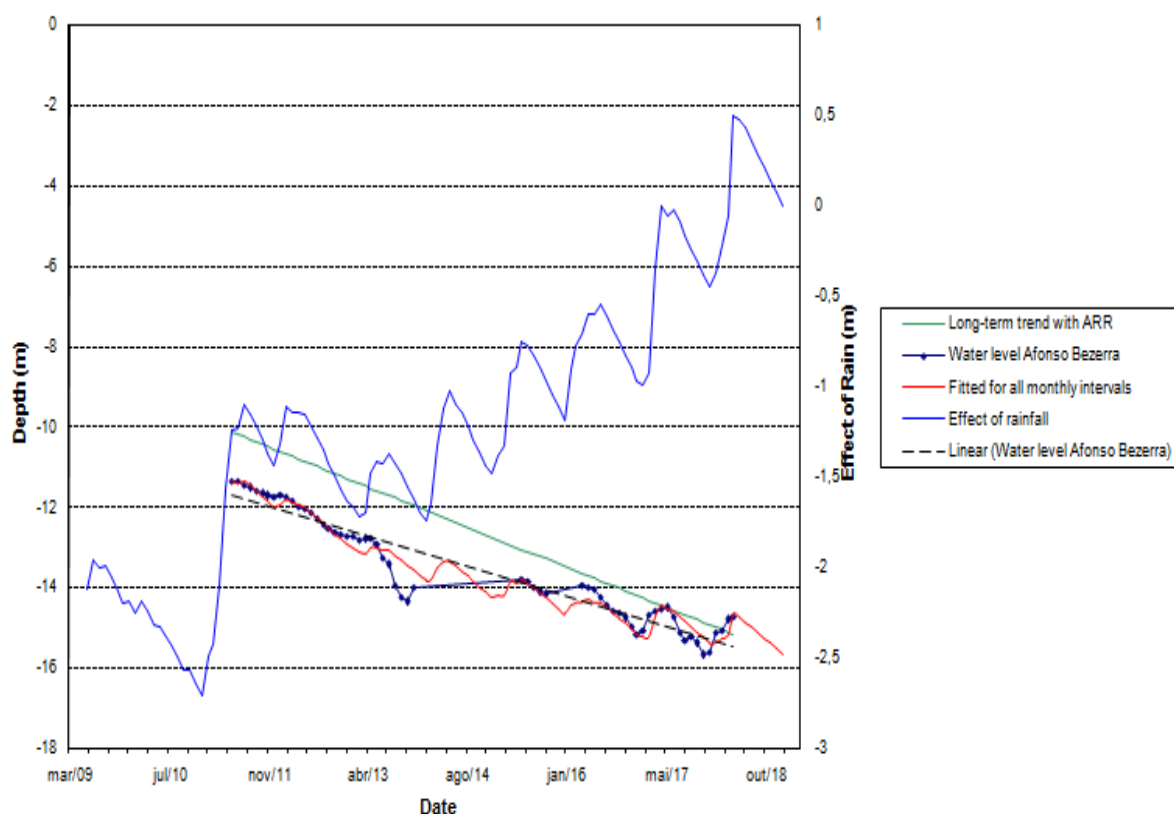
Os p-valores indicam que os parâmetros de precipitação e de tempo do modelo são significativos estatisticamente. Se os valores não são significativos, não é possível ter certeza das tendências temporais encontradas e do efeito causado pela variável precipitação. Segundo o manual do software, se o valor de p for menor que 0,05, a variável é significativa. Os valores aqui estimados pelo modelo mostram que os parâmetros são altamente significativos ( $p=0,00$ ).

A linha verde marca o declínio contínuo do nível freático com efeito das chuvas a longo tempo e é representada pela tendência de longo termo com a RAPA, ou seja, a série de dados apresentou uma tendência negativa de elevação do nível durante o período monitorado.

O modelo autorregressivo de séries temporais ajustado com 1 mês de atraso aos dados de oscilação do nível freático e precipitação do Aquífero Açú, entre março de 2009 a outubro de 2018 no município de Afonso Bezerra, pode ser visto abaixo no Gráfico 1:

Gráfico 1- Hidrograma de Afonso Bezerra.

Water levels with accumulative annual residual rainfall for Afonso Bezerra (1 months delay)

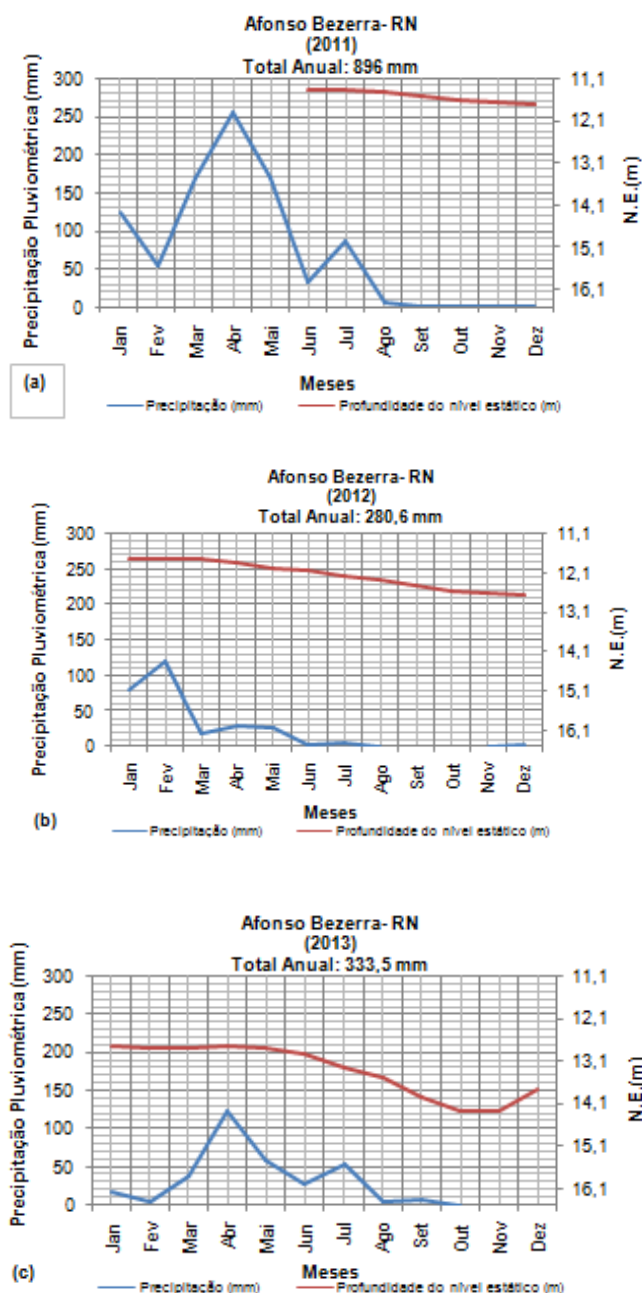


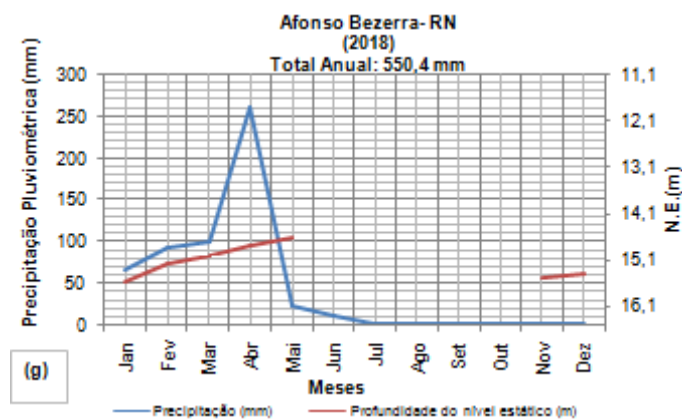
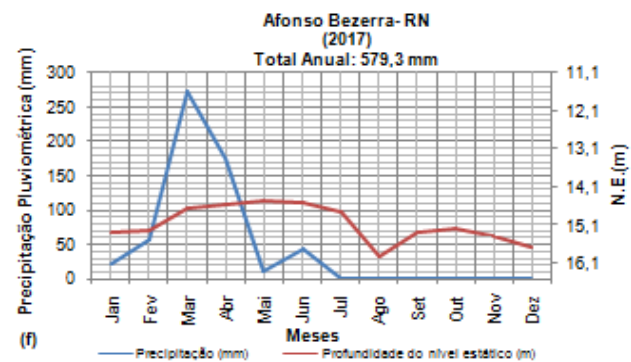
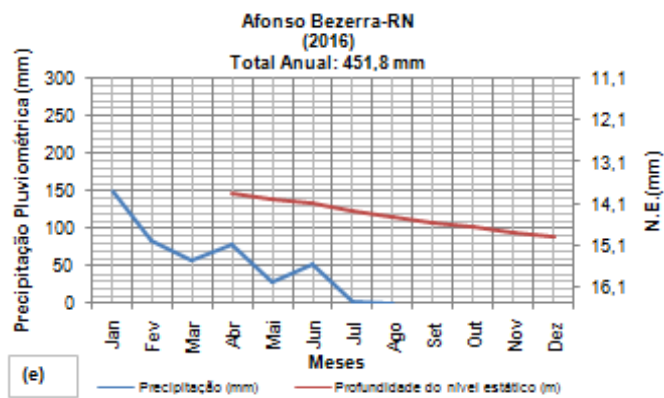
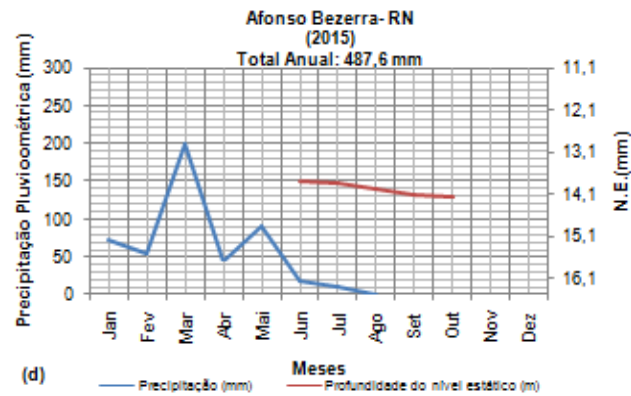
Fonte: (HARTT, 2019).

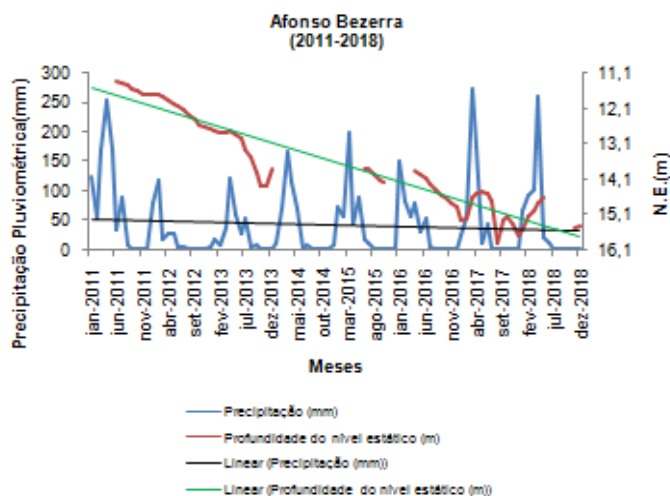


Os níveis na área em estudo são fortemente influenciados pela sazonalidade. As variações no nível freático em alguns momentos acompanharam as precipitações ao longo do tempo, caindo em períodos de seca e aumentando a meses chuvosos. Ao linearizar-se a curva do nível freático, constatou-se um crescente rebaixamento do mesmo durante o período analisado.

Figura 81- Evolução anual dos dados brutos da precipitação pluviométrica e do nível estático no poço monitorado em Afonso Bezerra-RN entre 2011 e 2018.







Fonte: O autor (2019).

Através da Figura 81, pode-se constatar que as chuvas município de Afonso Bezerra ocorrem com maior volume no primeiro semestre, entre os meses de janeiro a maio, principalmente de março a abril. Como visto na bibliografia, as precipitações nessa região do estado durante esse período, são em maior parte, por conta de fenômenos como a Zona de Convergência Intertropical, Perturbações Ondulatórias no Campo dos Alísios e Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis.

Existe uma tendência de diminuição das precipitações durante os anos em que o nível do poço foi monitorado, o que é interessante de se observar, pois a precipitação tem forte influência na recarga direta do aquífero, principalmente nesta área onde o mesmo se apresenta sob a condição livre, estando este fato correlato à tendência de queda do nível. Nos anos de 2011, 2017 e 2018 choveu acima da média.

Ainda observando a Figura 81, vê-se que, após constantes períodos de queda do nível estático, nos anos em que houve um impacto positivo na recarga do aquífero, este coincidiu com melhor atraso de 1 mês dado pelo HARTT. Basta conferir, por exemplo, no período chuvoso nos anos de 2012 (Fevereiro), 2017 (Fevereiro) e 2018 (Fevereiro), depois de uma crescente queda no nível, a primeira recarga só ocorreu com o primeiro registro significativo de chuvas no ano (mês de Janeiro), sendo o efeito acumulado desta apenas refletido ao aquífero no mês seguinte (mês de Fevereiro).

De forma atípica, têm-se dois eventos, como uma elevação do nível estático do poço em Novembro de 2013, Outubro de 2017 e Dezembro de 2018 mesmo sem registros de precipitação pluviométrica no mês anterior a estas datas, e o rebaixamento

do nível na estação chuvosa de alguns anos como nos meses de Março, Abril e Maio de 2012 e Maio de 2013.

Os outros efeitos ( $100\% - 95,24\% = 4,76\%$ ) podem ser explicados através de outras variáveis não incluídas ou parâmetros a serem estimados no estudo de influências secundárias no processo de oscilação do nível freático. A cobertura vegetal na área, por exemplo, pode ser considerada uma influência secundária, porém o modelo HARTT apresentou um excelente ajuste para a precipitação (95,24%).

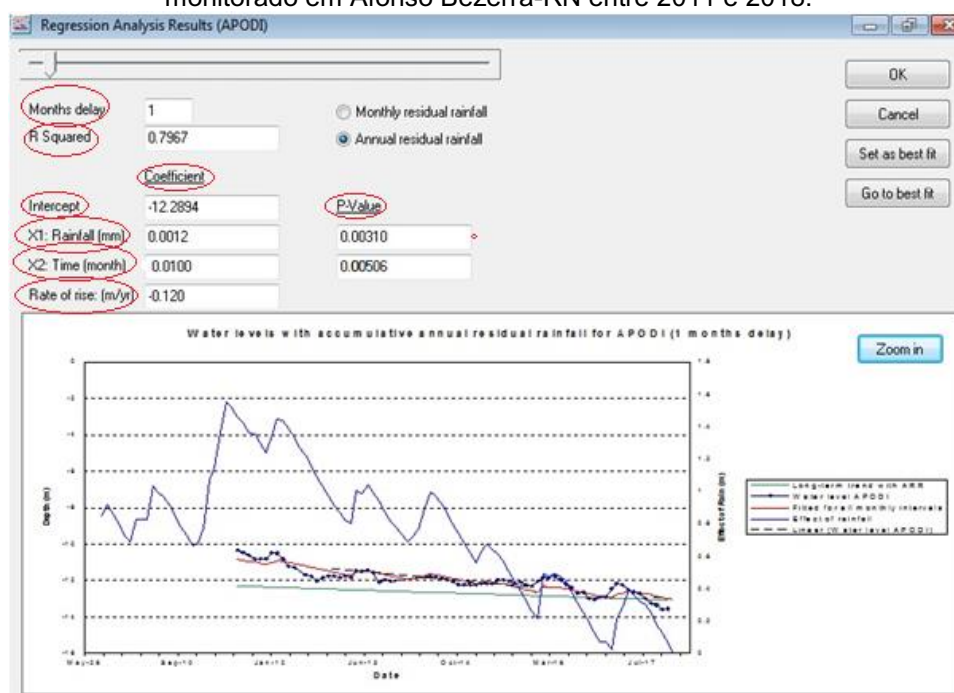
A partir do ajuste da variável X2 também são obtidas informações sobre rebaixamentos ou elevações sistemáticas no período, possibilitando a separação entre eventos climatológicos atípicos de tendências a longo termo.

Neste estudo, percebe-se que há uma tendência de rebaixamento do nível freático a uma taxa de 0,728 m/ano no período de monitoramento, como visto no modelo do hidrograma gerado.

#### • Poço tubular em Apodi- RN

Para o valor de melhor ajuste da regressão ( $R^2$ ), os dados coletados desse hidrograma na Figura 82 foram agrupados na Tabela 7 abaixo, que apresenta os resultados do modelo com mais adequado ajuste estatístico:

Figura 82- Evolução anual dos dados brutos da precipitação pluviométrica e do nível estático no poço monitorado em Afonso Bezerra-RN entre 2011 e 2018.



Fonte: HARTT (2019).

Tabela 7- Estatísticas dos ajustes do modelo HARTT para o poço de monitoramento em Apodi- RN

Poço Monitorado (Local)	R <sup>2</sup> (%)	Melhor Atraso (Mês)	Intercepto (m)	X1(Precipitação mm)	p- valor X1	X2	p- valor X2	Declínio (m/ano)
Apodi- RN	79,67	1	- 12,2894	0,0012	0,003	0,01	0,005	- 0,120

Fonte: HARTT (2019).

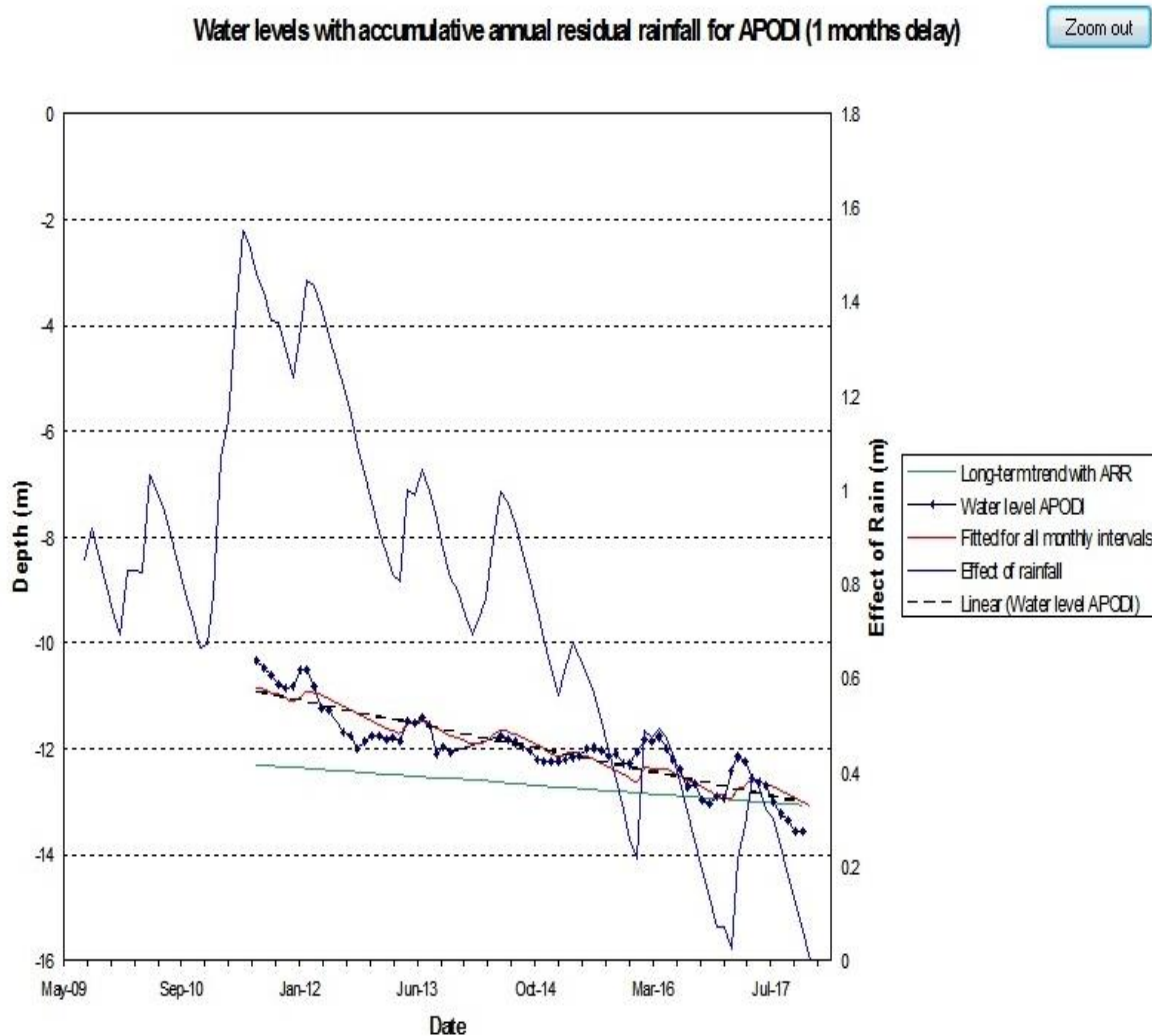
Esses são os valores que melhor se ajustaram ao modelo, conferindo assim, o maior R<sup>2</sup> num melhor atraso. A defasagem de 1 mês é a de melhor correlação estatística com a precipitação, para que as chuvas possam causar alguma interferência no nível freático, e que essa interferência seja a máxima possível, no caso, 79,67% das oscilações no aquífero são causadas pelo volume de chuva.

A recarga nesse ponto do Aquífero Açú é facilitada pelo fato do local apresentar uma condição livre para uma recarga direta, além do município de Apodi está inserido em uma bacia hidrográfica de drenagem dendrítica, em uma planície aluvial repleta pela floresta ciliar de carnaúbas, com condições favoráveis de infiltração. É nessa região do aquífero onde existe o melhor potencial hidrogeológico (maior transmissividade, maior condutividade hidráulica e menor gradiente hidráulico). Todos esses parâmetros secundários combinados a um nível raso de 12,2894 m (intercepto) contribuíram, com absoluta certeza, para uma resposta rápida do aquífero às chuvas (1 mês).

Quanto aos p-valores que conferem se a variável é ou não significativa, tem-se que ambas variáveis se classificam de significativas a muito significativas dentro desse modelo. Outros parâmetros a serem estimados, apresentam uma influência maior do que no caso anterior em Afonso Bezerra, aqui eles seriam responsáveis por 20,33% (100- 79,67%) das oscilações de nível.

No Gráfico 2, abaixo, a linha verde que marca a tendência de longo termo com a RAPA, ou seja, ao longo do acumulado de precipitação nos anos, apresentou uma propensão negativa de elevação do nível durante o período monitorado.

Gráfico 2- Hidrograma de Apodi-RN.

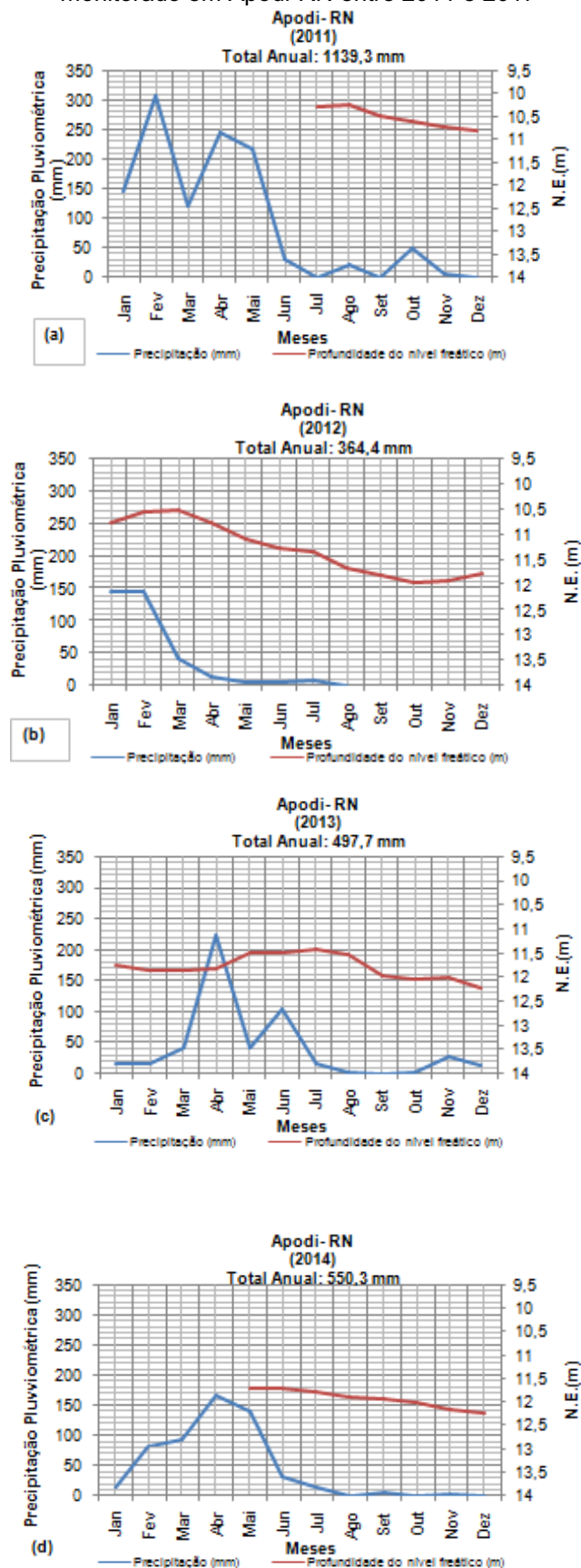


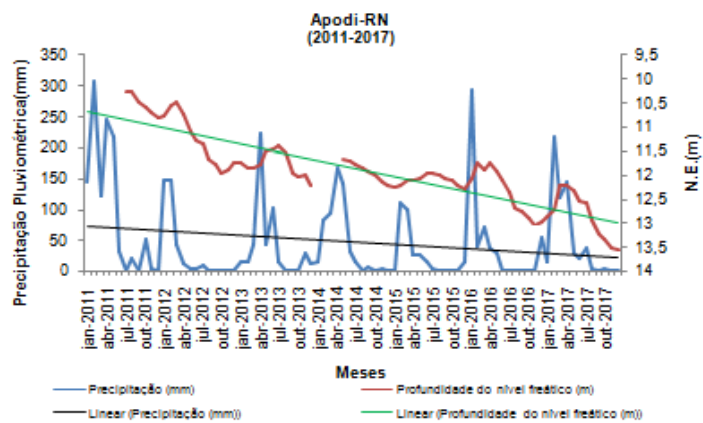
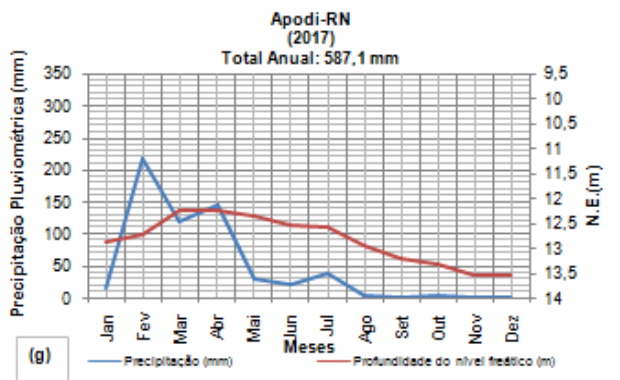
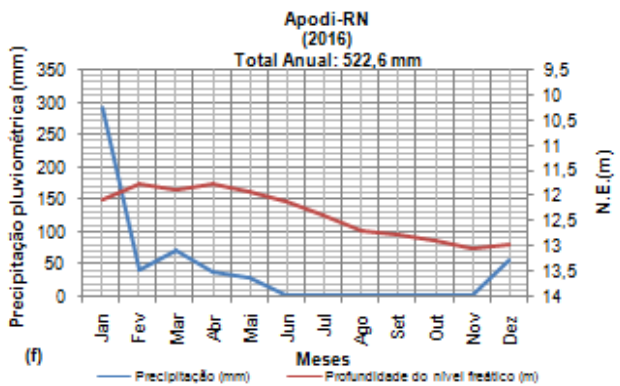
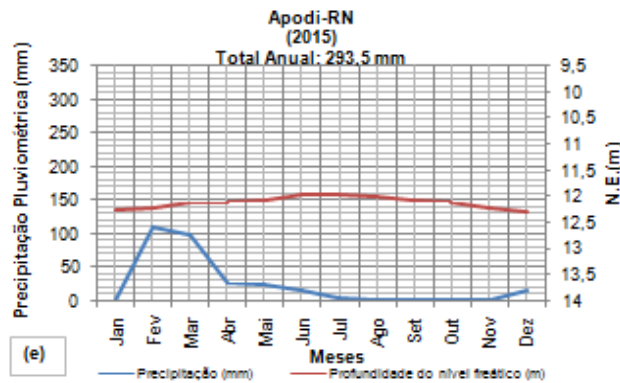
Fonte: HARTT (2019).

Como em Afonso Bezerra, o período mais chuvoso em Apodi, é o primeiro semestre, com destaque para o mês de março, e o menos chuvoso é o último trimestre do ano. De acordo com a Figura 83, tanto o nível freático como as precipitações ao longo dos anos monitorados apresentaram a mesma tendência, as variações no nível freático acompanharam as precipitações ao longo do tempo, caindo em períodos de seca e aumentando nos meses chuvosos.

Em suma, o que ocorreu foi: o volume de chuva apresentou uma fraca tendência de queda, enquanto os níveis apresentaram uma queda mais crescente ou considerável. O ano de 2011 foi o único que choveu acima da média, os demais anos choveram abaixo do esperado.

Figura 83 - Evolução anual dos dados brutos da precipitação pluviométrica e do nível estático no poço monitorado em Apodi-RN entre 2011 e 2017





Fonte: O autor (2019).



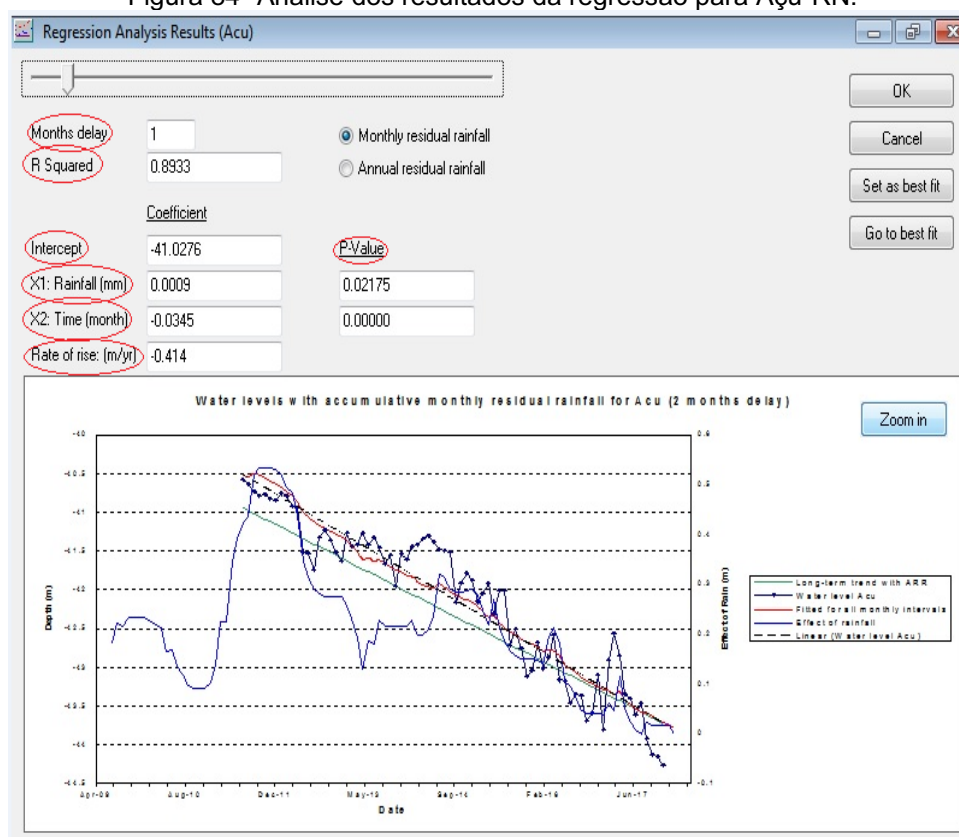
Quanto ao intervalo de tempo para que o nível estático do poço pudesse ter uma resposta através da recarga pelas chuvas, houve uma coincidência com o atraso de 1 mês gerado pelo software, podendo-se observar o exemplo da chuva de Dezembro de 2016 (período de estiagem, ou seja, crescente rebaixamento do nível) refletindo em uma elevação do nível só em Janeiro de 2017 (Figura 83 (f) e (g)). Fatos incomuns ocorreram nos meses de abril de 2012, fevereiro de 2013, março de 2016 e maio de 2017, em plena estação chuvosa há o rebaixamento considerável do nível estático. O inverso aconteceu em dezembro de 2012, com um significativo aumento do nível em época de estiagem.

Neste estudo, percebe-se que há uma tendência de rebaixamento do nível freático a uma taxa de 0,120 m/ano no período de monitoramento, como pôde ser visto no modelo do hidrograma gerado.

- **Poço tubular em Açú- RN**

De acordo com a Figura 84, para o valor de melhor ajuste estatístico da regressão ( $R^2$ ), os dados gerados foram organizados na Tabela 8 abaixo.

Figura 84- Análise dos resultados da regressão para Açú-RN.



Fonte: HARTT (2019).

Tabela 8- Estatísticas dos ajustes do modelo HARTT para o poço de monitoramento em Açú- RN

Poço Monitorado (Local)	R <sup>2</sup> (%)	Melhor Atraso (Mês)	Intercepto (m)	X1(Precipitação mm)	p- valor X1	X2	p- valor X2	Declínio (m/ano)
Açú- RN	89,33	1	- 41,0276	0,0009	0,02175	0,0345	0,00	- 0,414

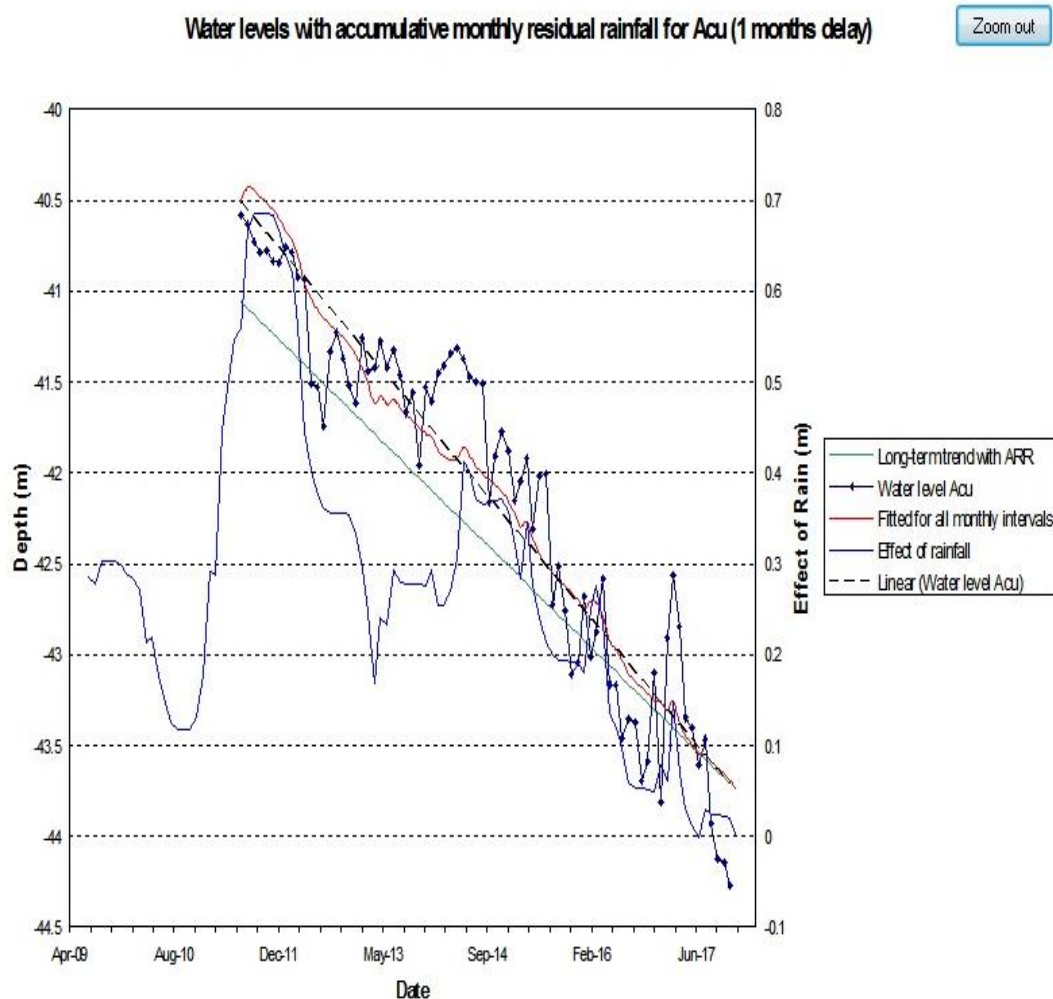
Fonte: HARTT (2019).

Neste caso, 89,33% foi o maior R<sup>2</sup> encontrado para o melhor atraso de 1 mês e os menores p-valores para as variáveis, o que significa a influência das precipitações como a principal causa nas variações de profundidade do nível freático, uma rápida resposta do aquífero a estas chuvas e uma elevada significância de X1 e X2.

O município de Açú está inserido em sua maior parte em uma planície aluvial ao longo da bacia hidrográfica Açú-Piranhas, um fator determinante para fácil infiltração das águas, embora o nível freático no início do monitoramento não seja tão raso (41,0276 m).

No hidrograma (Gráfico 3), a linha verde marca uma tendência de rebaixamento de nível a uma taxa de 0,414 m/ano. Os níveis estão acompanhando a sazonalidade. Ao longo dos anos o efeito das chuvas na profundidade veio aumentando, de forma que o nível linearizado diminuiu progressivamente. Em 2011, houve um forte encurtamento da profundidade em um curto período, ou seja, o nível ficou mais raso em relação à superfície, reflexo do aumento no volume infiltrado.

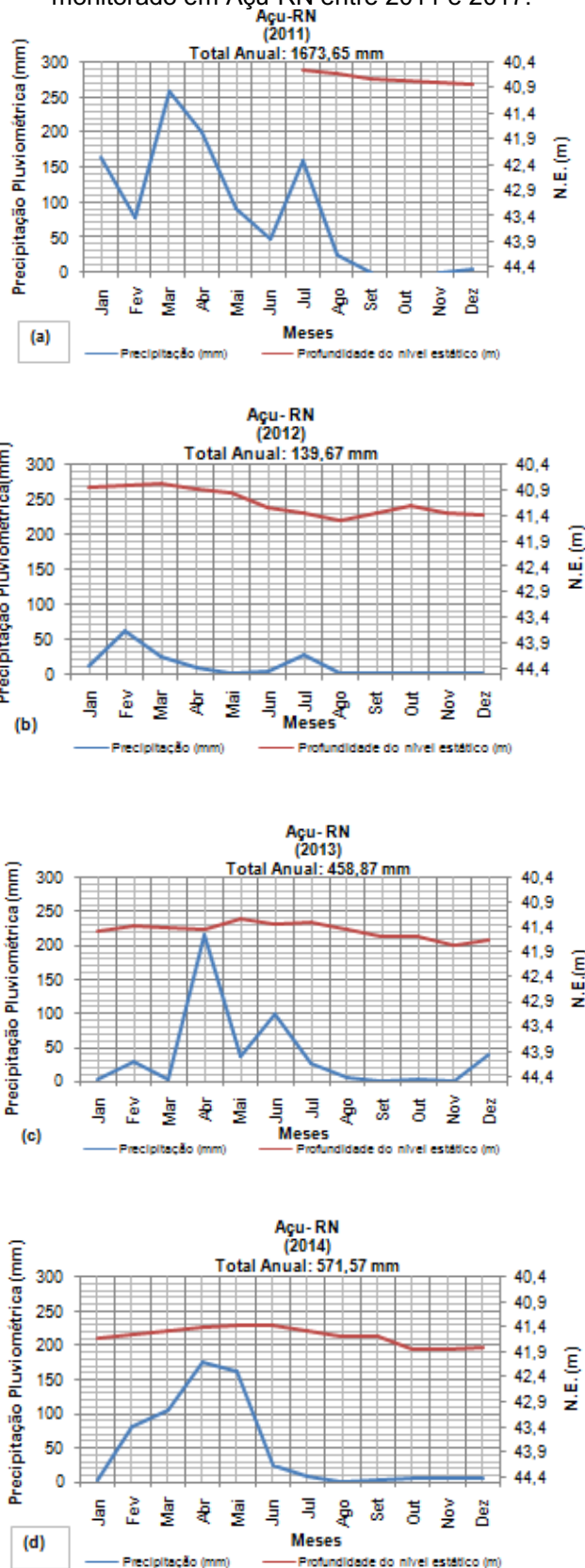
Gráfico 3- Hidrograma de Açú-RN.

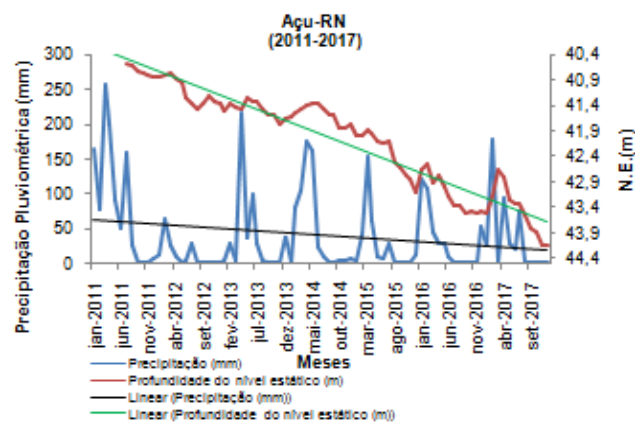
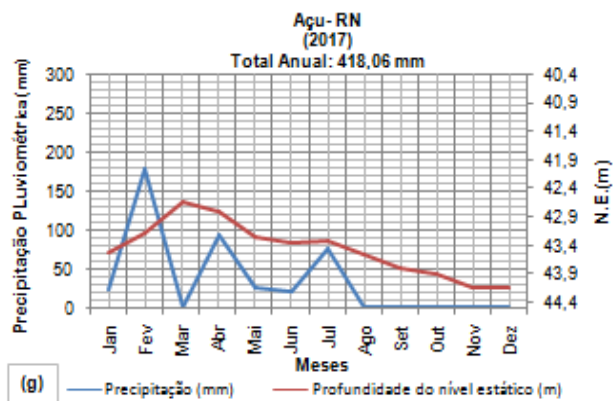
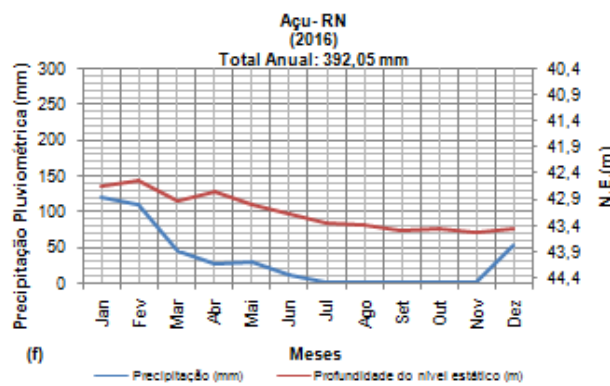
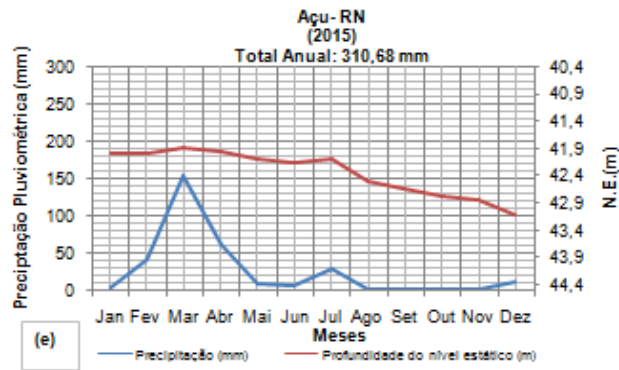


Fonte: HARTT (2019).

Assim como nos municípios anteriores, em Açú chove-se mais no primeiro semestre do ano, especialmente no mês de março. Na Figura 85, no período de monitoramento do poço, o volume de chuva apresenta-se em acentuada queda, pois apenas em 2011 as precipitações pluviométricas foram acima do esperado, e o nível tem uma tendência de rebaixamento também. Como o modelo HARTT apresentou um excelente ajuste para a precipitação (89,33%), a queda de nível é reflexo, sobretudo, das chuvas abaixo da média ao longo do período e, possivelmente, de outros fatores externos como a exploração e de parâmetros secundários que influenciam na infiltração.

Figura 85- Evolução anual dos dados brutos da precipitação pluviométrica e do nível estático no poço monitorado em Açú-RN entre 2011 e 2017.





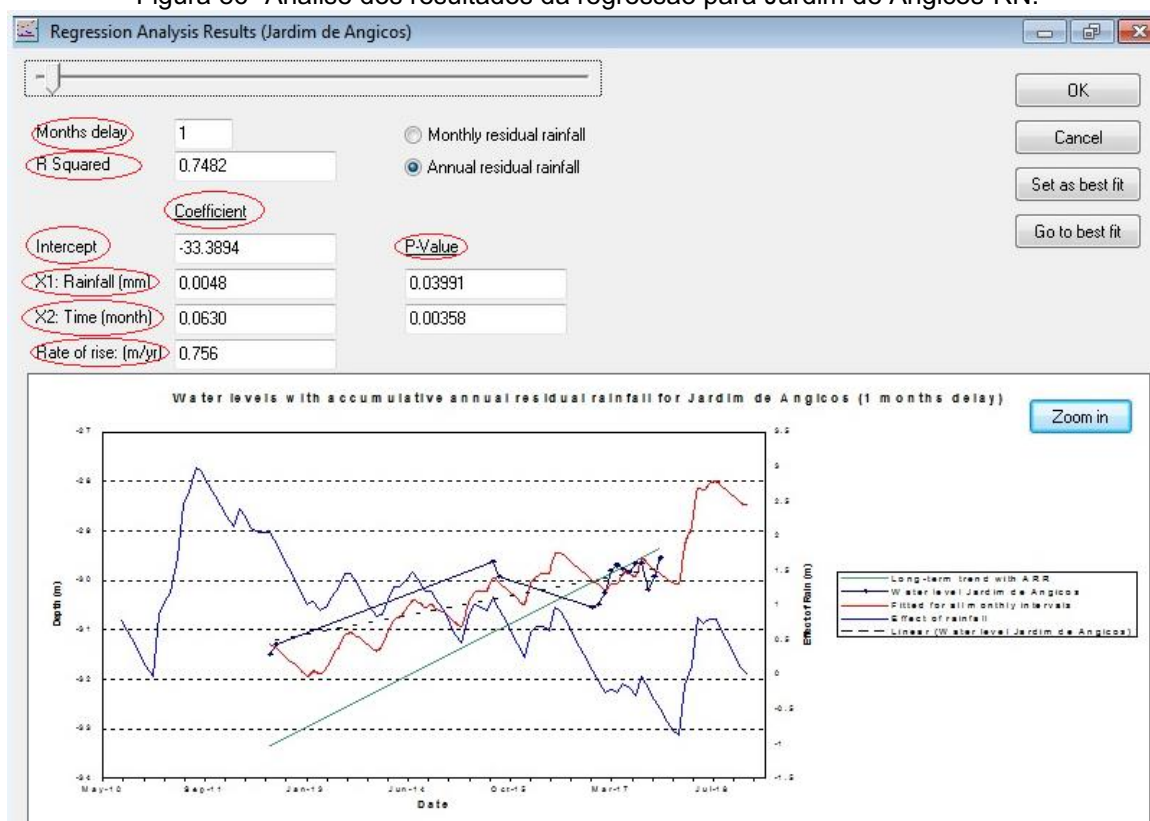
Fonte: O autor (2019).

Existe um rápido tempo de resposta do poço às chuvas, o valor de 1 mês de atraso dado pelo programa foi coerente com o valor medido em dados brutos no mês de Fevereiro de 2013 (Figura 85 (c)), onde o valor acumulado de janeiro só resultou em significativa recarga no mês seguinte, ou no mesmo mês, como em Dezembro de 2016 (Figura 85 (f)), que quebrou um longo período de estiagem com um significativo volume de chuvas. De forma irregular na evolução anual dos dados brutos de precipitação e nível estático para o poço em Açu, pode-se citar o exemplo de abril de 2015 (Figura 85 (e)) com rebaixamento do nível, embora no mês anterior tenha sido registrado um volume bem considerável de chuvas.

- **Poço Tubular em Jardim de Angicos- RN**

Os melhores parâmetros encontrados para esse resultado da análise de regressão, demonstrada na Figura 86 para o poço em Jardim de Angicos- RN, encontram-se na Tabela 9:

Figura 86- Análise dos resultados da regressão para Jardim de Angicos-RN.



Fonte: (HARTT, 2019).

Tabela 9- Estatísticas dos ajustes do modelo HARTT para o poço de monitoramento em Jardim de Angicos- RN

Poço Monitorado (Local)	R <sup>2</sup> (%)	Melhor Atraso (Mês)	Intercepto (m)	X1(Precipitação mm)	p- valor X1	X2	p- valor X2	Aumento (m/ano)
Jardim de Angicos- RN	74,8	1	- 33,3894	0,0048	0,03991	0,063	0,0035	+0,756

Fonte: HARTT (2019).

Então, 74,82% foi o maior valor encontrado do R<sup>2</sup> para o melhor atraso igual a um mês. Com isso, as chuvas são as principais influências nas mudanças do nível do poço.

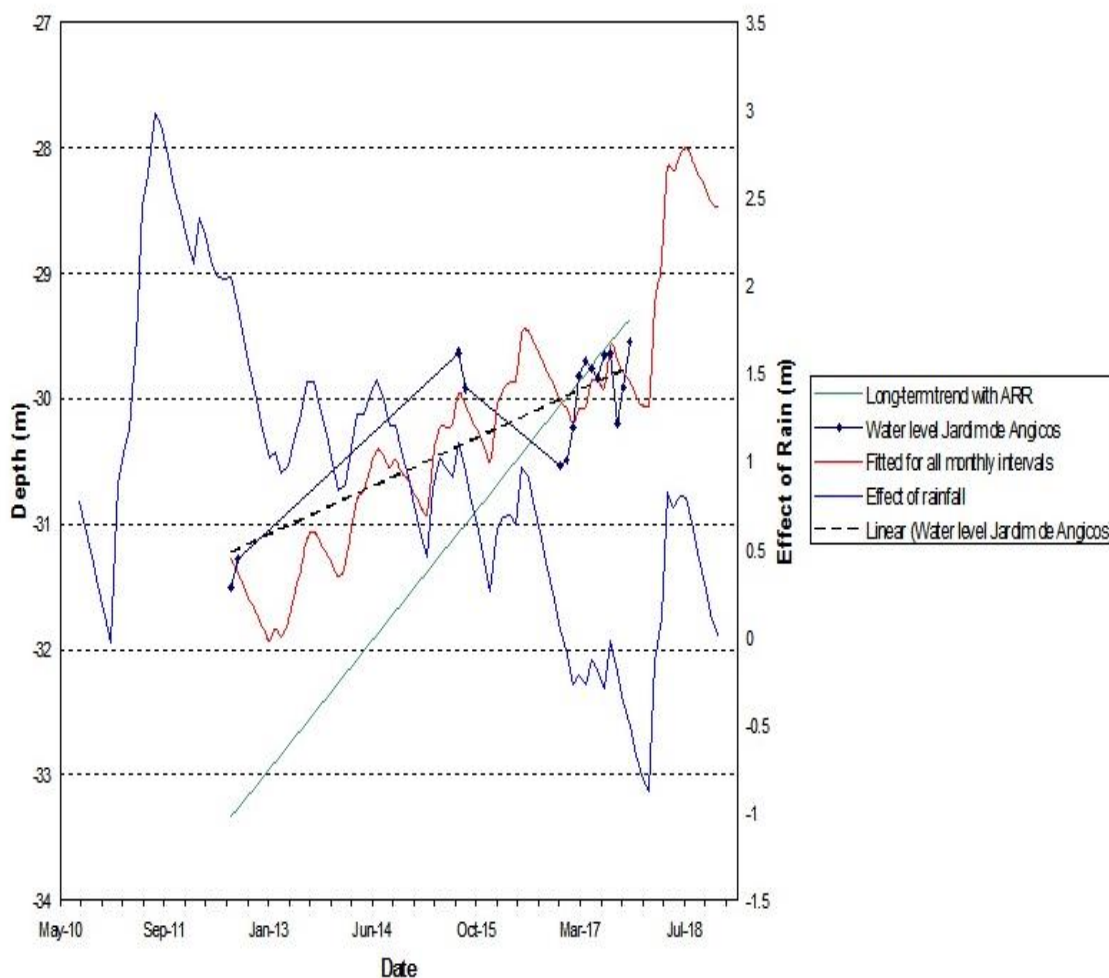
Jardim de Angicos-RN está inserido em uma região de baixa topografia, um fator determinante para fácil recarga dos aquíferos, pois isso favorece a diminuição do escoamento superficial, aumentando a taxa de infiltração. Embora o nível freático no início do monitoramento não seja tão raso (33,3894 m), ocorreu uma rápida resposta à água infiltrada, talvez pela condição do aquífero nessa parte ser do tipo livre, entre outros fatores geológicos que podem contribuir com a porosidade da formação ali existente.

No hidrograma (Gráfico 4), a linha verde marca uma tendência de aumento de nível a uma taxa de 0,756 m/ano. Os níveis também estão acompanhando a sazonalidade, ou seja, vêm aumentando nos períodos mais chuvosos e diminuindo no período de estiagem. Ao longo dos anos o efeito das chuvas na profundidade cresceu de forma nítida, de forma que o nível linearizado aumentou progressivamente, ficando mais raso em relação à superfície. Convém ressaltar na presente avaliação o reduzido número de dados de nível estático para esse poço, o que denota uma certa fragilidade aos resultados obtidos.

Gráfico 4- Hidrograma de Jardim de Angicos-RN.

Water levels with accumulative annual residual rainfall for Jardim de Angicos (1 months delay)

Zoom out



Fonte: (HARTT, 2019).

Jardim de Angicos segue a tipologia das chuvas dos municípios dessa região semiárida, chove-se mais no primeiro semestre do ano, especialmente no mês de março. Na figura 87, no período de monitoramento do poço, o volume de chuva cresce ao longo dos anos, embora os índices pluviométricos encontrem-se abaixo da média, e o nível de uma forma geral se mantém estável.

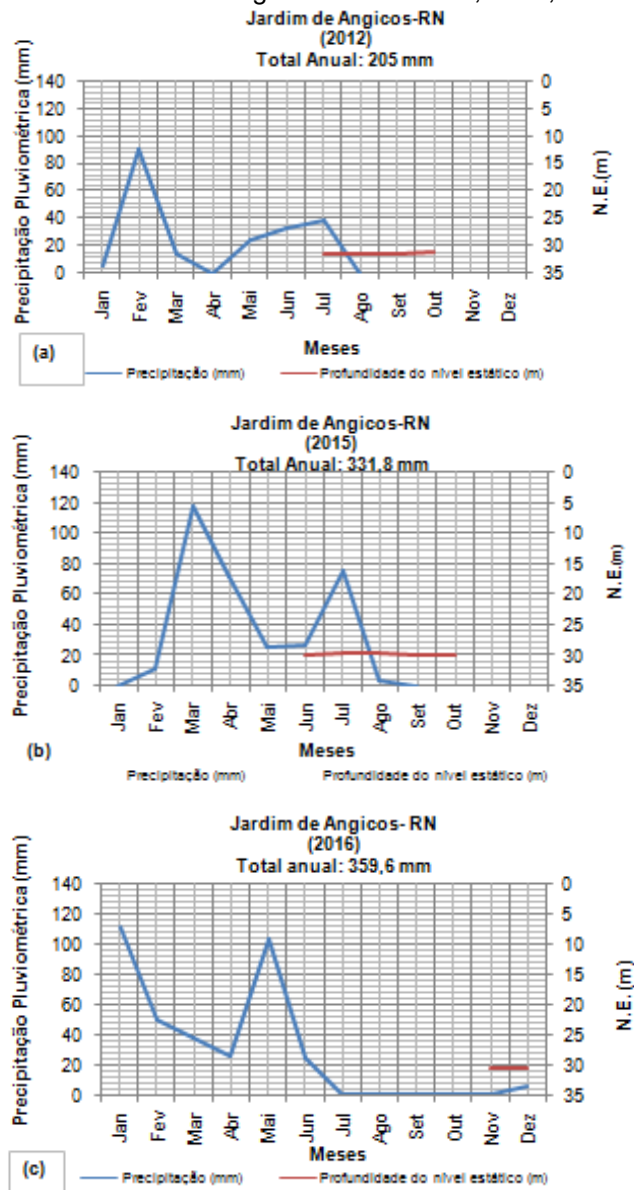
Como o modelo HARTT apresentou um excelente ajuste para a precipitação (74,82%), o aumento do nível é reflexo, sobretudo, das chuvas ao longo do período e, possivelmente, de outros fatores externos como a exploração, parâmetros correspondentes à litologia local, que influenciam na infiltração.

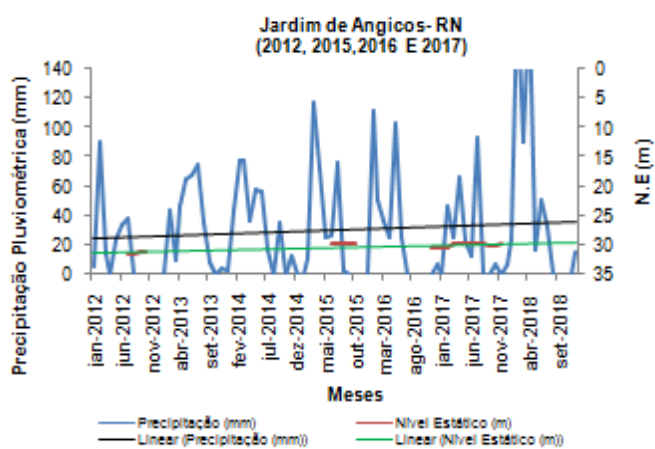
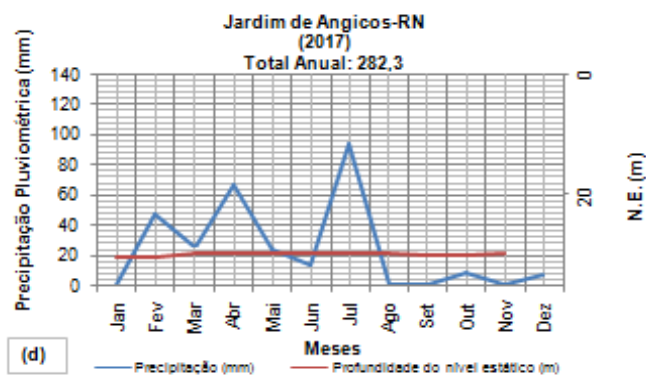
Tem-se uma deficiência bem acentuada no registro dos dados brutos de nível. Tomando como base o ano de 2017, o que teve mais medições, constatou-se um sutil



aumento dos níveis no primeiro semestre, sendo isso coerente com o período chuvoso e com o valor do ótimo atraso de 1 mês revelado pelo HARTT.

Figura 87- Evolução anual dos dados brutos da precipitação pluviométrica e do nível estático no poço monitorado em Jardim de Angicos-RN em 2012, 2015, 2016 e 2017.



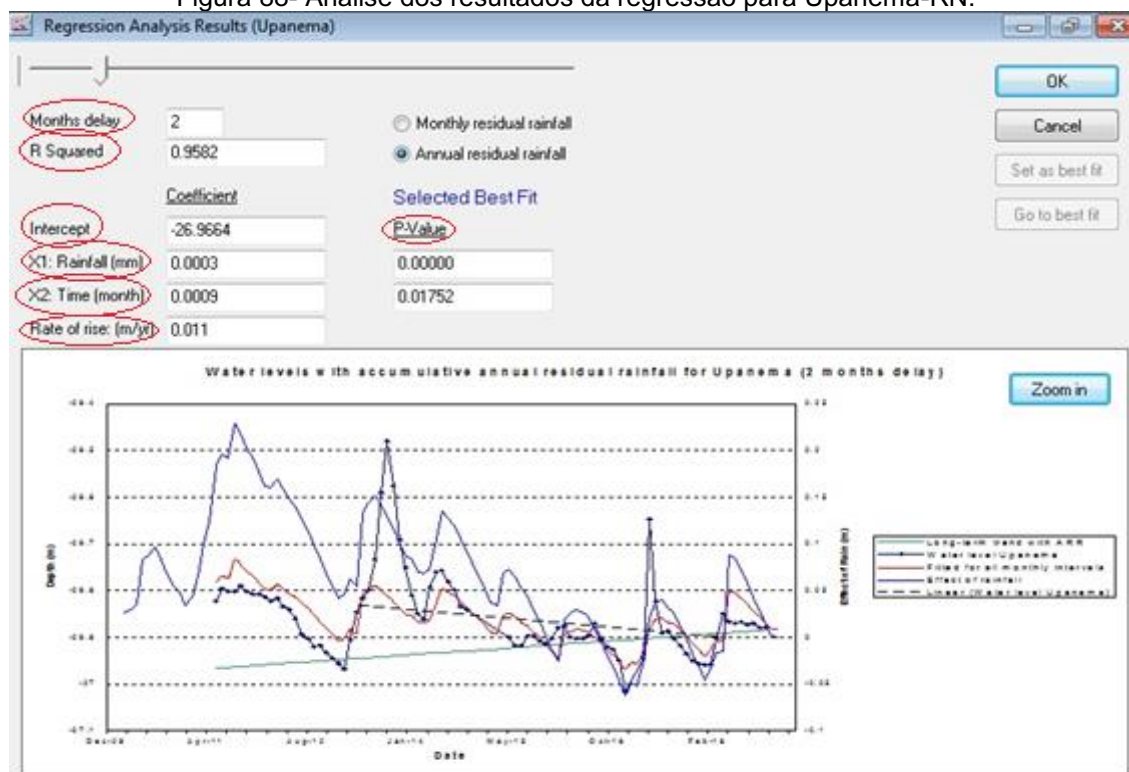


Fonte: O autor (2019).

### ➤ Poço Tubular em Upanema- RN

Para o poço em Upanema, a figura 88 traz os melhores parâmetros e o hidrograma para a Regressão ( $R^2$ ). Esses parâmetros estão organizados na Tabela 10, a seguir:

Figura 88- Análise dos resultados da regressão para Upanema-RN.



Fonte: HARTT (2020).

Tabela 10- Estatísticas dos ajustes do modelo HARTT para o poço de monitoramento em Upanema-RN

Poço Monitorado (Local)	R <sup>2</sup> (%)	Melhor Atraso (Mês)	Intercepto (m)	X1(Precipitação mm)	p-valor X1	X2	p-valor X2	Aumento (m/ano)
Upanema-RN	95,82	2	- 26,9664	0,0003	0	0,0009	0,0175	+0,011

Fonte: HARTT (2020).

Como mostra a Tabela 10 acima, a maior parte das oscilações no nível freático aconteceram por causa das chuvas (95,82%). Mesmo o nível estando a uma baixa profundidade em relação a superfície no início das medições (26,9664 m), o melhor atraso para um maior valor de R<sup>2</sup> foi de dois meses, isso significa que a resposta do aquífero neste ponto às chuvas é mais tardia que nos outros municípios até aqui estudados no Aquífero Açú, e que talvez, os outros fatores responsáveis pelas mudanças de nível que juntos somam 4,18%, como a litologia, vegetação e relevo, por exemplo, sejam a fonte para um atraso maior.

Os p-valores para as variáveis estão dentro do limite de tolerância, conferindo um alto nível de significância para as variáveis Precipitação e Tempo. É possível observar uma quase que estabilização do nível ao longo dos anos, uma tendência de aumento de apenas pouco mais de 1 centímetro/ano, representada pela reta verde no Gráfico 5.

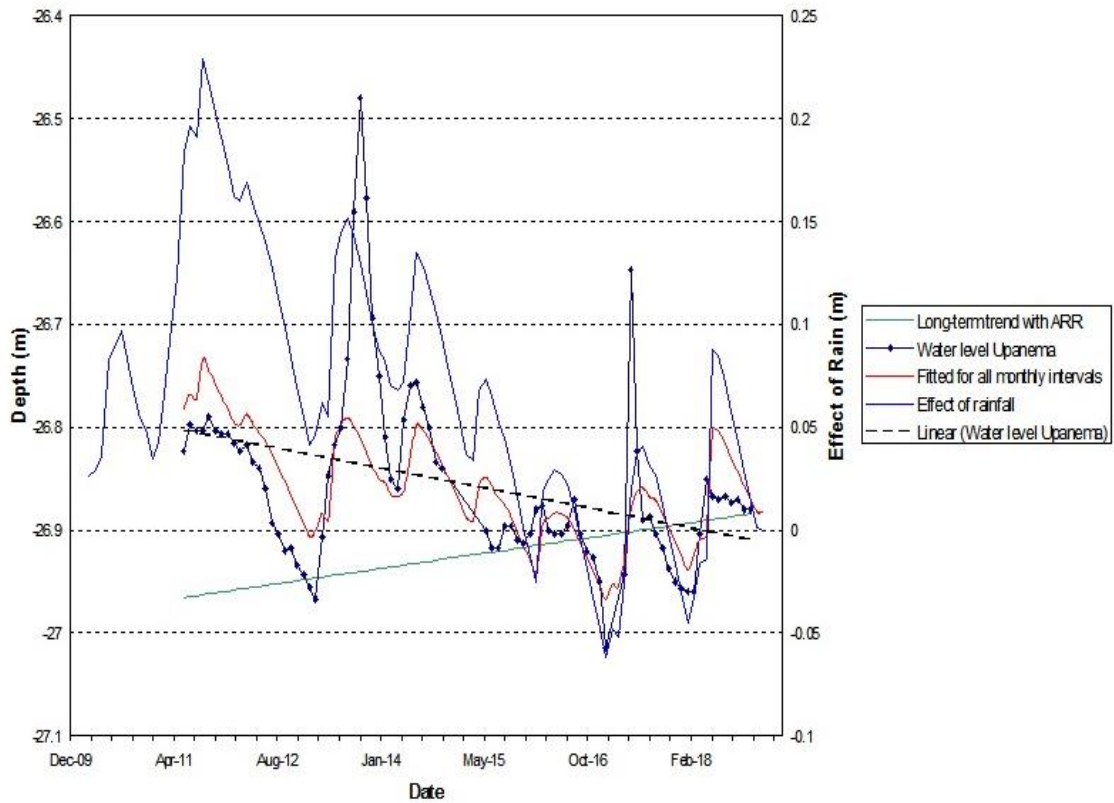
Ainda no Gráfico 5, é perceptível assimetria entre os picos e os vales das curvas do nível da água e do efeito das chuvas. Ambas as curvas têm a mesma tendência de aumento e queda, porém não no mesmo intervalo de tempo, visualmente não ficam muito sobrepostas, mas há uma distância, colocando-as um pouco separadas. Isso aconteceu, provavelmente, por conta do atraso maior nesse município.

O município de Upanema chove em média um pouco mais que 650 mm/ano. Segundo a Figura 89, os anos de 2012, 2014, 2015, 2016 e 2017 choveram abaixo da média anual esperada e as chuvas tipicamente se concentraram entre os meses de março e maio.

Na Figura 89, na maioria dos anos, a linha do nível estático mostrou-se bastante regular ou estável, e somada a vacância de dados de nível, dificultaram a análise para confirmação de um tempo de atraso de 2 meses. Porém pôde-se ver que o aumento dos índices pluviométricos em janeiro/2018 foi refletido como aumento no N.E. só em março/2018 e o fim das precipitações em agosto/2013 resultaram em uma brusca queda iniciada em outubro/2013, esses eventos dentro de um intervalo de 2 meses.

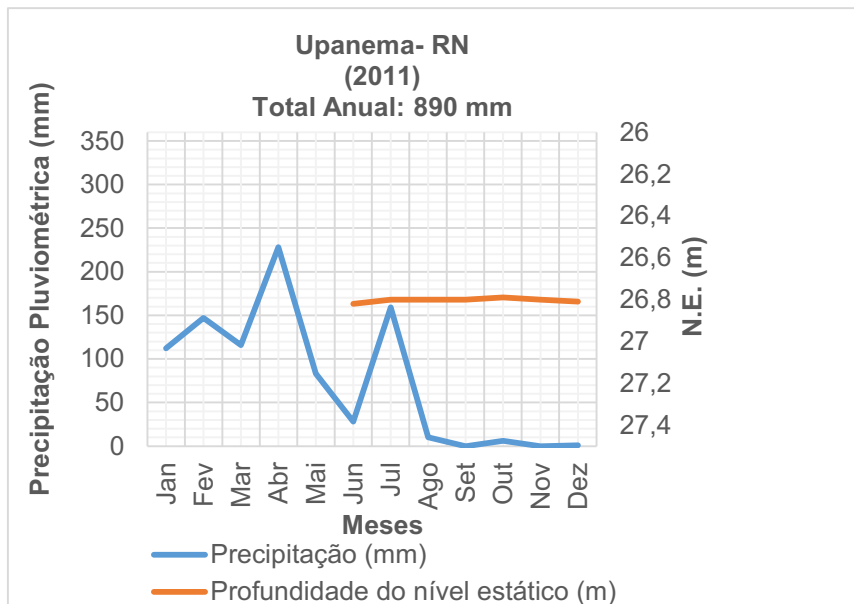
Gráfico 5- Hidrograma de Upanema-RN.  
 Water levels with accumulative annual residual rainfall for Upanema (2 months delay)

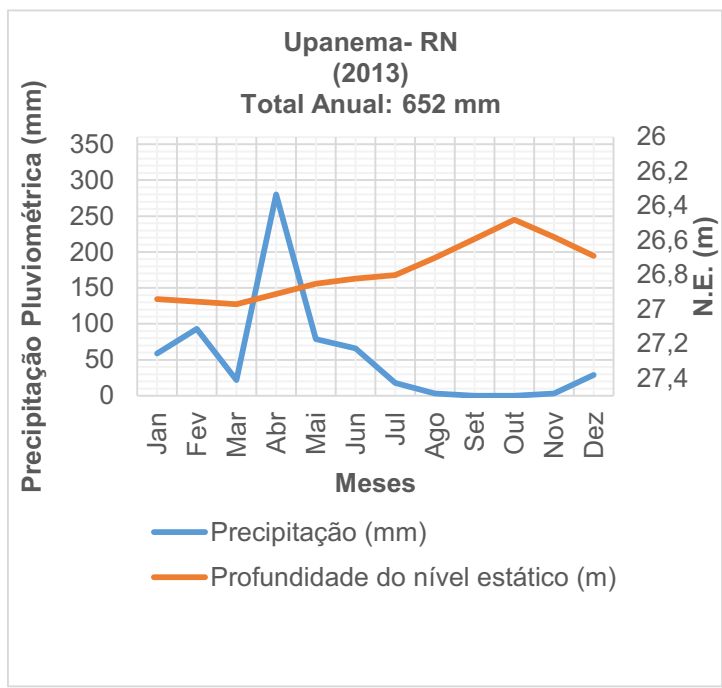
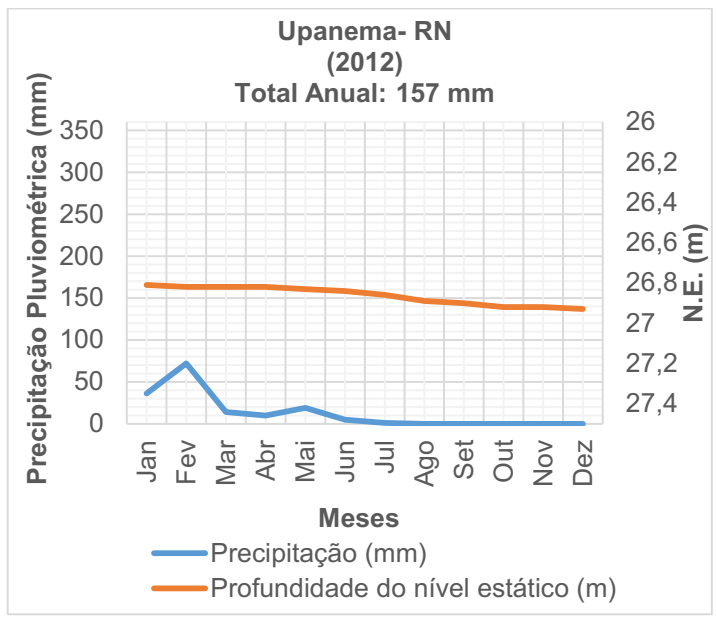
Zoom out

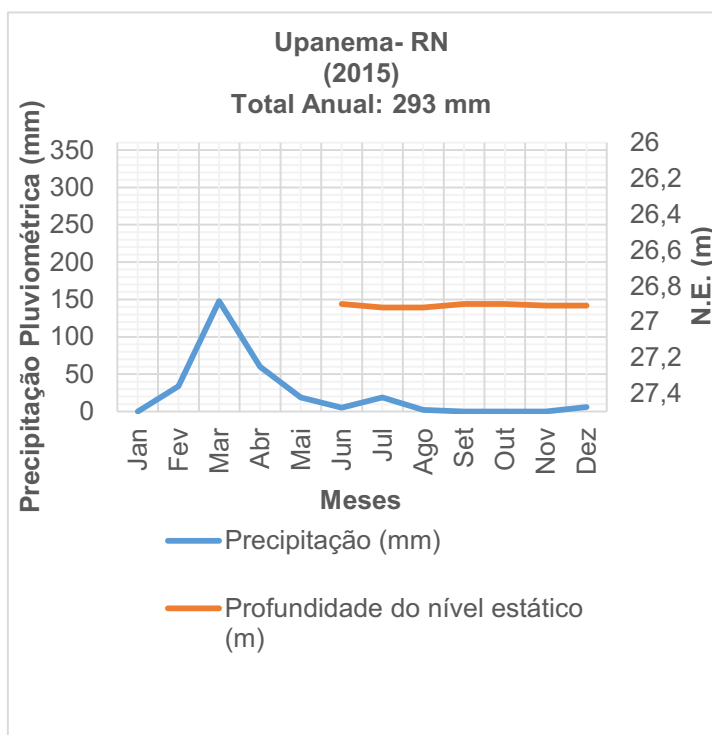
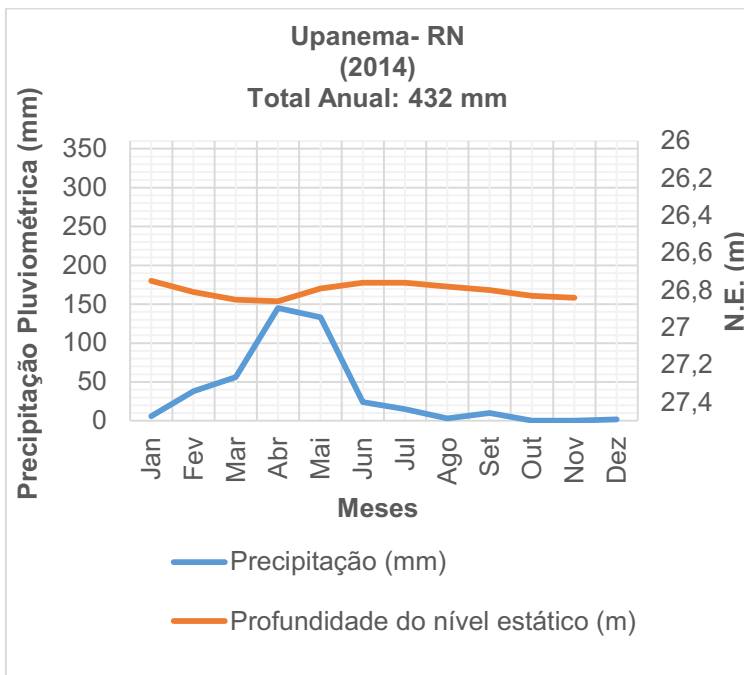


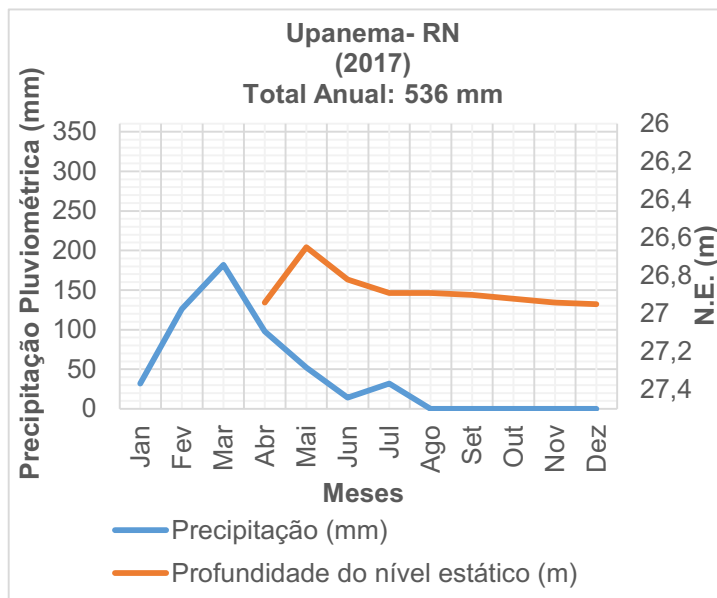
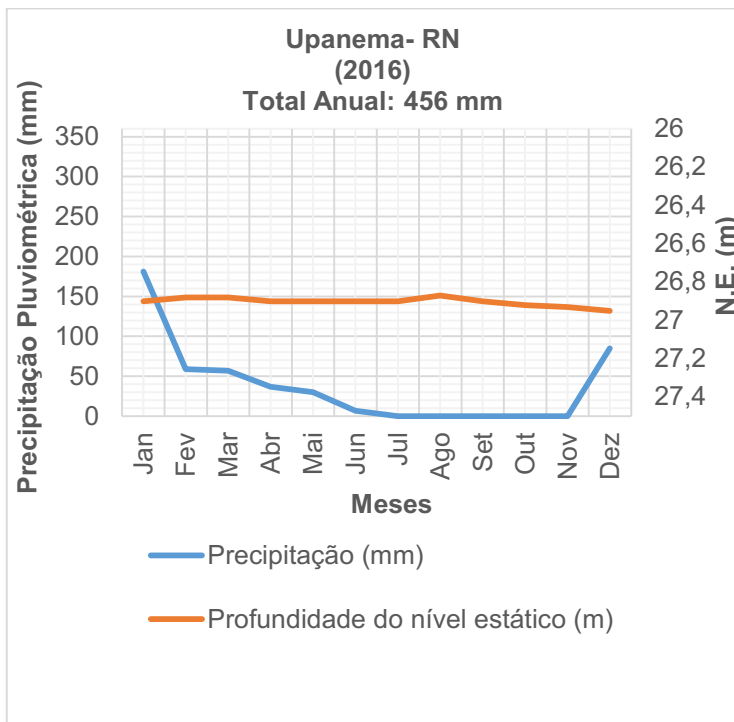
Fonte: HARTT (2020).

Figura 89- Evolução anual dos dados brutos da precipitação pluviométrica e do nível estático no poço monitorado em Upanema-RN entre 2011 e 2018.

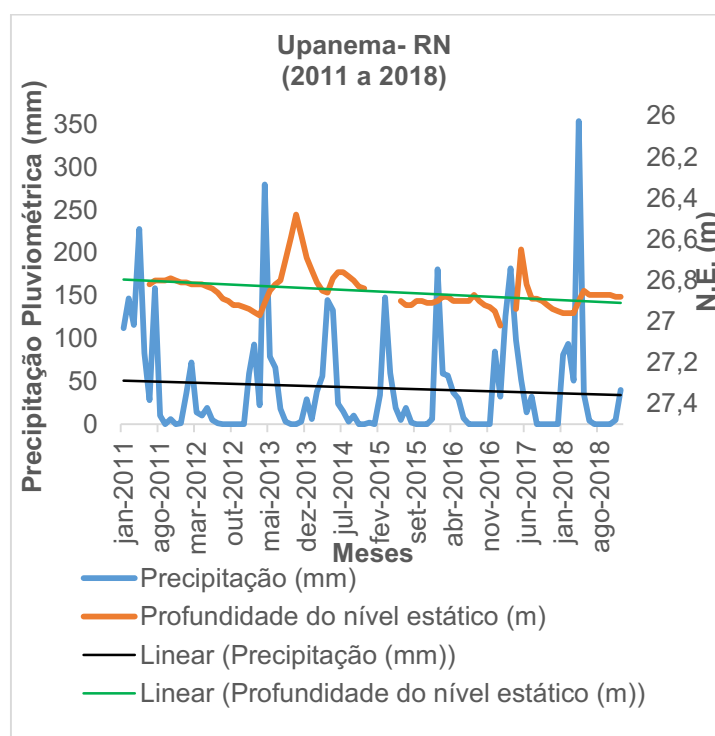
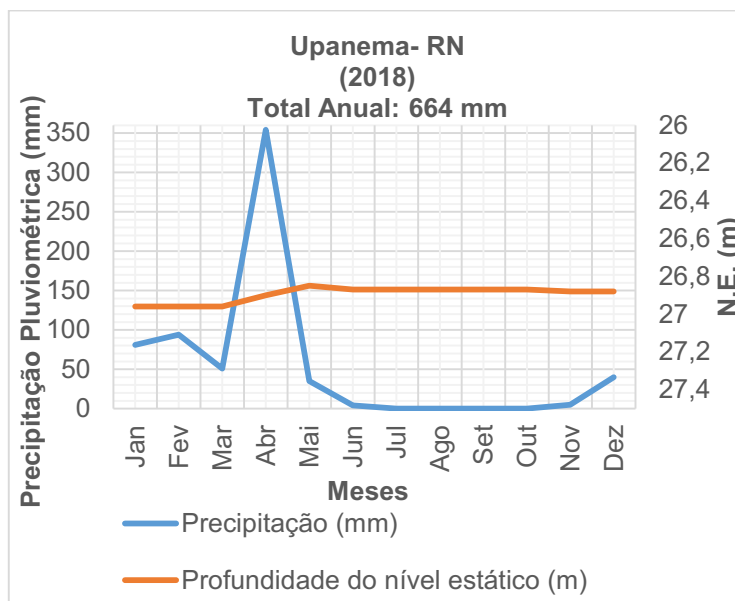










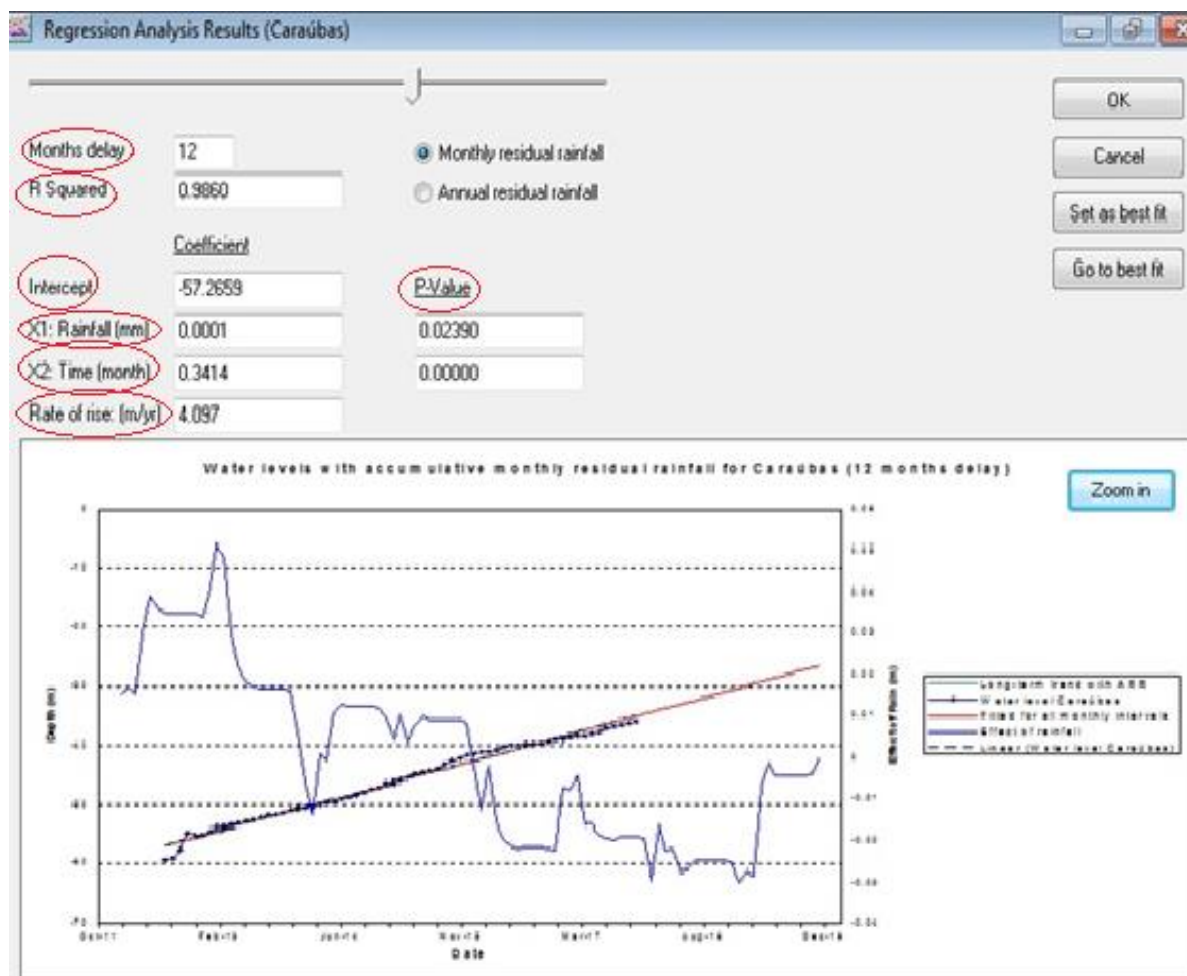


Fonte: O autor (2020).

### ➤ Poço Tubular em Caraúbas- RN

Para o poço em Caraúbas, a Figura 90 traz os melhores parâmetros e o hidrograma para a Regressão ( $R^2$ ).

Figura 90- Análise dos resultados da regressão para Caraúbas-RN.



Fonte: (HARTT, 2020).

Esses parâmetros estão organizados na Tabela 11:

Tabela 11- Estatísticas dos ajustes do modelo HARTT para o poço de monitoramento em Caraúbas-RN

Poço Monitorado (Local)	R <sup>2</sup> (%)	Melhor Atraso (Mês)	Intercepto (m)	X1(Precipitação mm)	p- valor X1	X2	p- valor X2	Aumento (m/ano)
Caraúbas-RN	98,60	12	- 57,2659	0,0001	0,02390	0,3414	0,00000	+4,097

Fonte: HARTT (2020).

As oscilações do aquífero nesse ponto do município de Caraúbas tem como causa principal as chuvas (98,60%). Neste caso, o maior atraso registrado entre os 6 municípios foi registrado, são necessários 12 meses para que o aquífero responda às precipitações. Os p-valores são muito baixos e, por isso, as variáveis Precipitação (mm)

e Tempo (meses) são representativas para este modelo. Convem ressaltar que o tempo de resposta obtido pelo método não parece coerente, de forma que possivelmente os dados brutos que foram aplicados não são confiáveis. Ainda, é possível que a estabilidade do NE na maioria dos anos monitorados seja causa para a interpretação errônea do software em apreço.

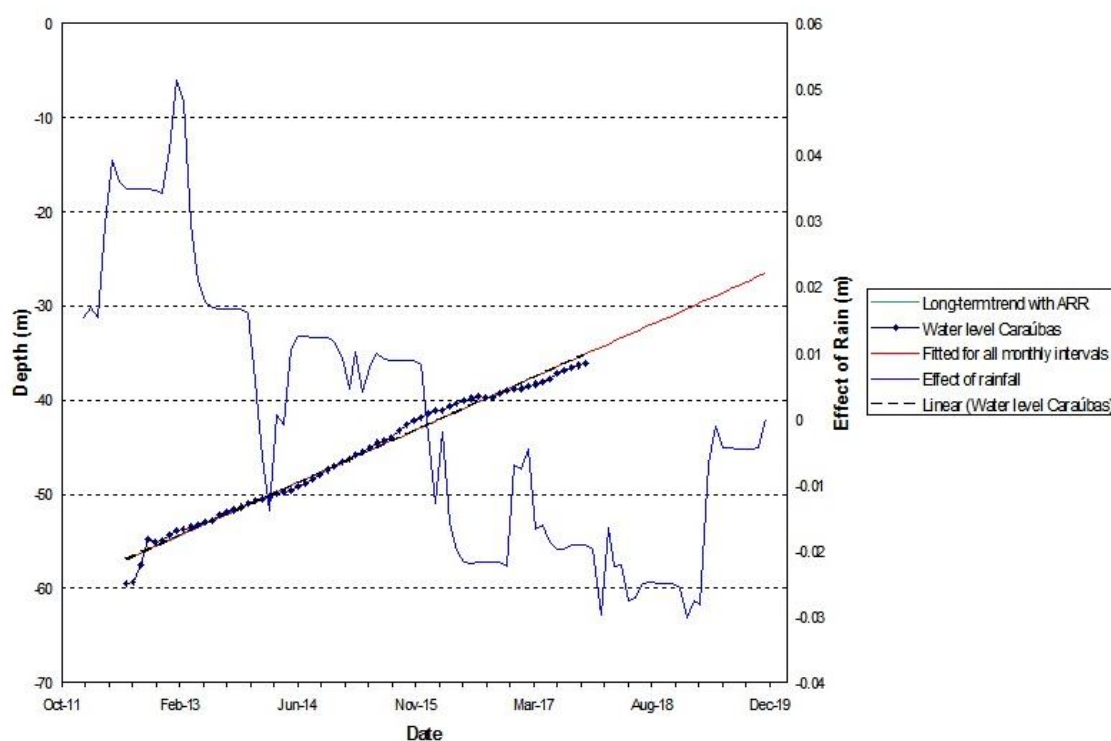
No Gráfico 6 constata-se a significativa tendência de aumento a cada ano, o aquífero tem um aumento de 4,097 m por ano. A linha verde de tendência está sobreposta a linha de filtragem dos dados com base em todos os intervalos de não-registro entre os meses (vermelha). O efeito das chuvas sobre o nível também se mostra bem crescente, na maior parte do tempo apresentando a mesma trajetória do crescimento da tendência.

De acordo com a Figura 91, o atraso só pode ser avaliado ano a ano, concordando com o aumento estimado pelo HARTT. Existe uma leve tendência de diminuição das chuvas dentre os anos avaliados (2012 a 2017) e os meses que mais chovem são março e abril.

Gráfico 6- Hidrograma de Caraúbas-RN.

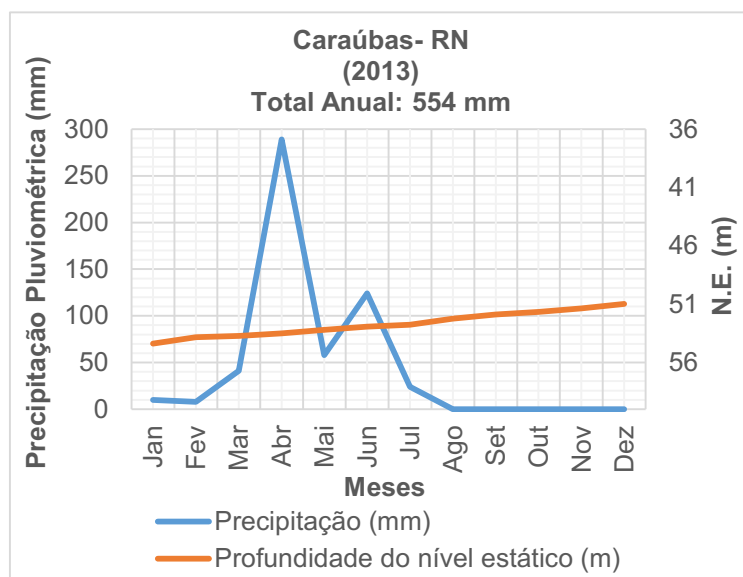
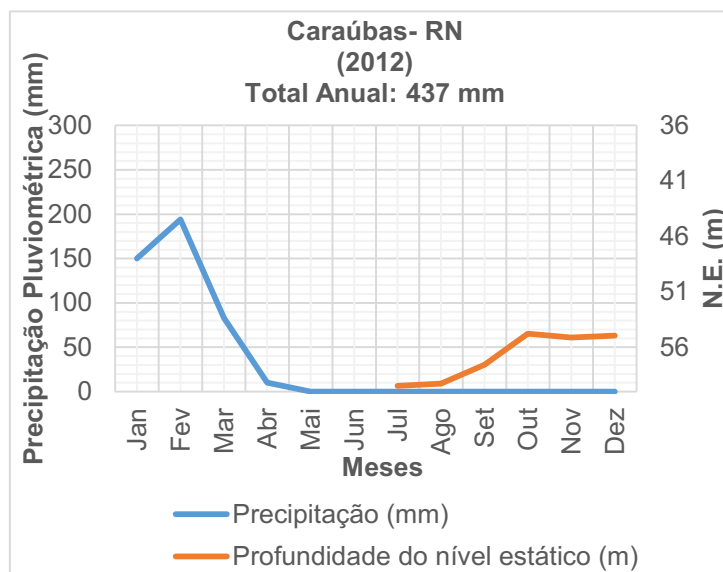
Water levels with accumulative monthly residual rainfall for Caraúbas (12 months delay)

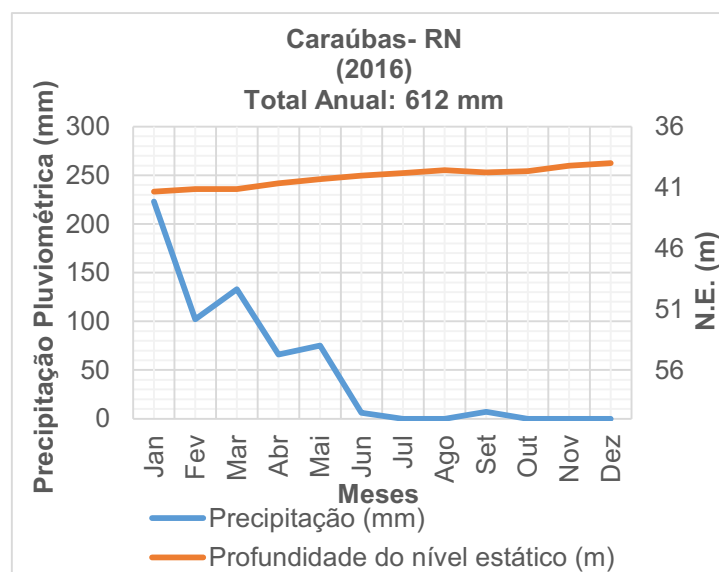
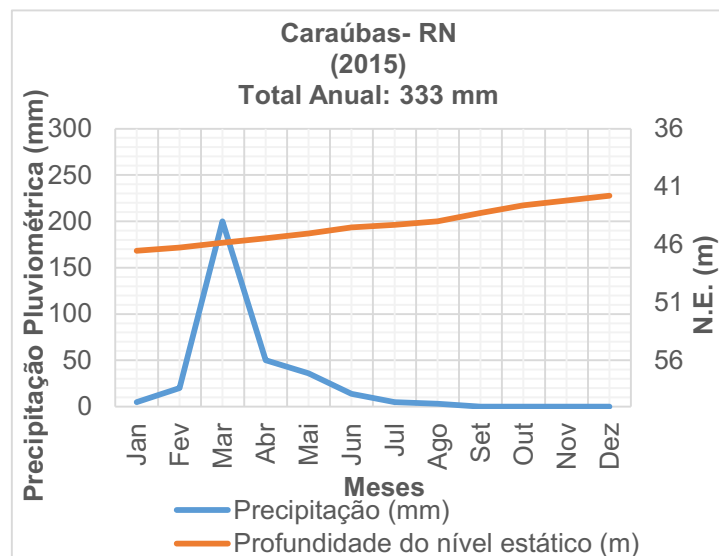
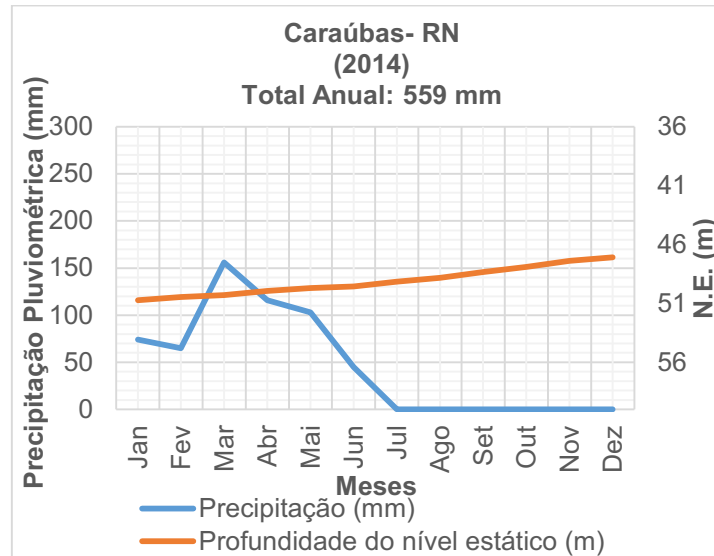
Zoom out

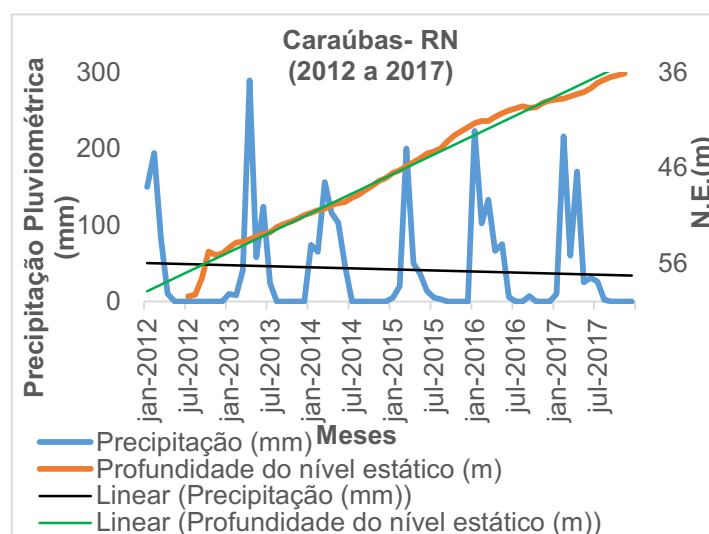
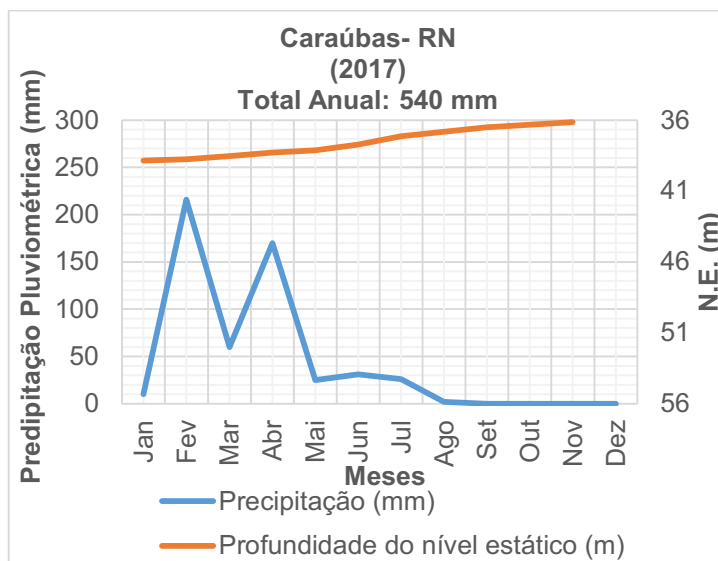


Fonte: (HARTT, 2020).

Figura 91- Evolução anual dos dados brutos da precipitação pluviométrica e do nível estático no poço monitorado em Caraúbas-RN entre 2012 e 2017.





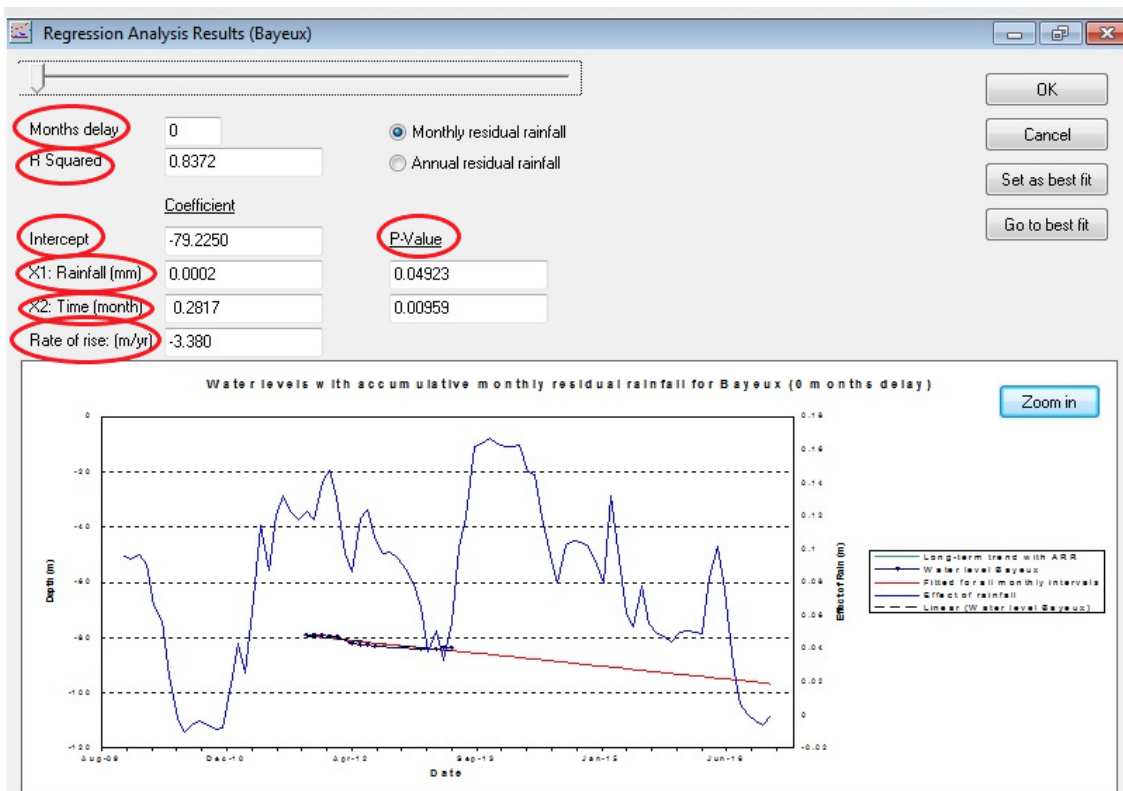


Fonte: (HARTT, 2020).

### ➤ **Poço Tubular em Bayeux- PB**

O hidrograma para o município de Bayeux- PB (Figura 92) reflete o efeito da precipitação sobre o nível do aquífero.

Figura 92- Análise dos resultados da regressão para Bayeux-PB.



Fonte: HARTT (2019).

Os dados coletados para o melhor ajuste estatístico estão organizados na Tabela 12:

Tabela 12- Estatísticas dos ajustes do modelo HARTT para o poço de monitoramento em Bayeux- PB

Poço Monitorado (Local)	R <sup>2</sup> (%)	Melhor Atraso (Mês)	Intercepto (m)	X1(Precipitação mm)	p- valor X1	X2	p- valor X2	Declínio (m/ano)
Bayeux-PB	83,7	0	- 79, 2250	0,0002	0,0492	0,2817	0,0096	-3,380

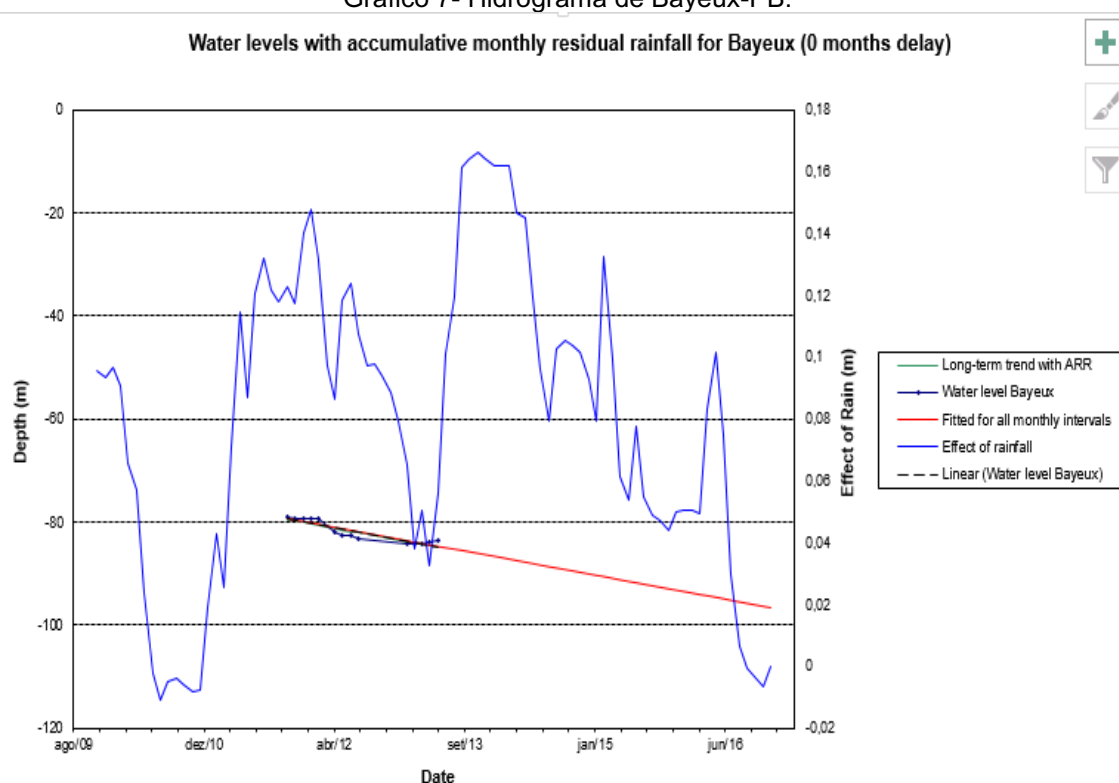
Fonte: HARTT (2019).

De todos os municípios até aqui monitorados, os dados de monitoramento para o poço em Bayeux apresentaram algumas particularidades. Primeiramente, o rápido tempo de resposta do aquífero ao efeito das chuvas, em menos de 1 mês, mesmo que a profundidade do nível d'água (intercepto = 79,2250 m) seja maior nesse caso e que se trate de um aquífero confinado. Uma hipótese para este fato seria o elevado volume

de chuvas no litoral com uma melhor distribuição ao longo do ano aliado à planície litorânea e à densa vegetação local ou o próprio fato da localização deste poço, o mesmo poderia estar em uma área de recarga do aquífero.

O valor encontrado para o  $R^2$  foi o maior e o único possível considerando a significância das variáveis  $X_1$  e  $X_2$ , ou seja, para que os p-valores ficassem dentro do limite. Com isso, atestou-se que 83,72% das variações de nível estático sofre influência direta das precipitações pluviométricas.

Gráfico 7- Hidrograma de Bayeux-PB.

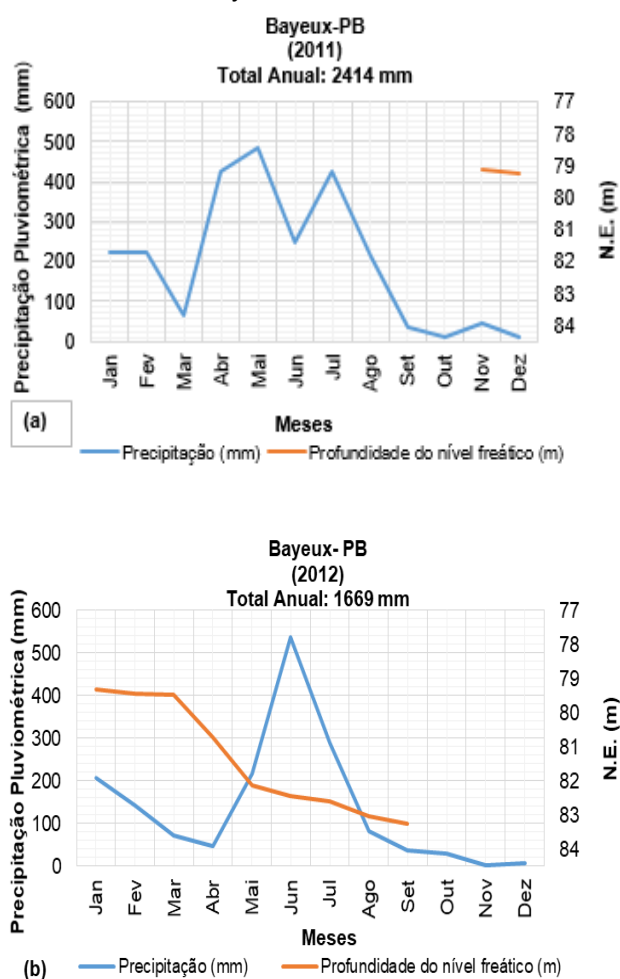


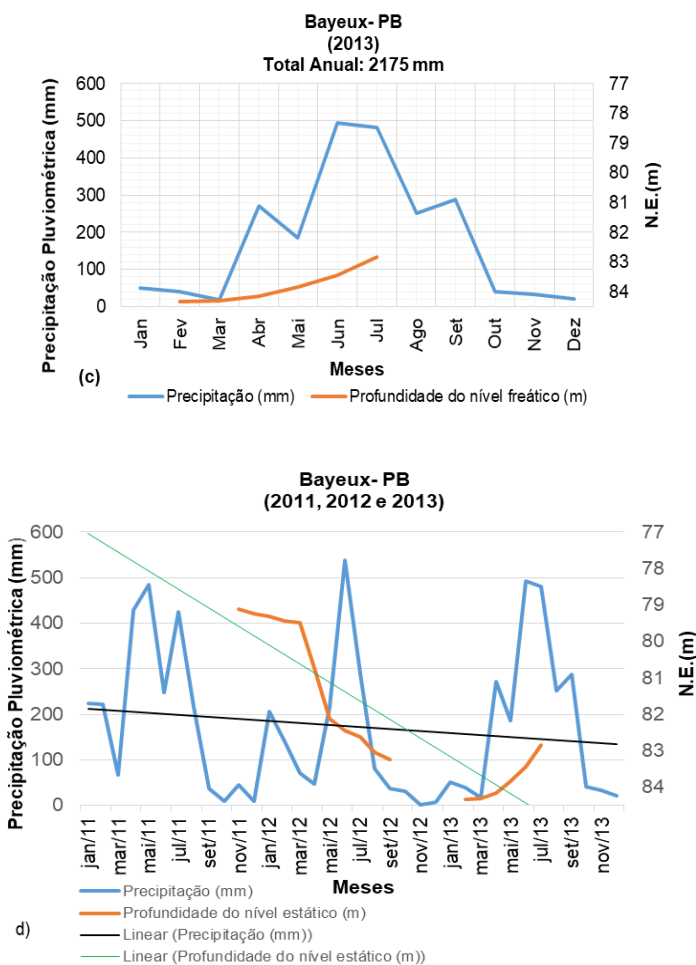
Através do Gráfico 7, o hidrograma gerado pelo software, constatou-se que realmente existe uma tendência de queda do nível estático e que o nível acompanha diretamente a precipitação ao longo do ano. Porém, ao se analisar os níveis em função das chuvas num intervalo fragmentado, ou seja, para cada um dos anos com algum dado de nível cadastrado, no caso para os anos de 2011, 2012 e 2013 (Figura 93), observou-se que em todos os meses existiram volumes consideráveis de chuvas, e mesmo no período em que o acumulado de precipitação é mais elevado, de abril a julho, é confirmado rebaixamento do nível nos anos 2011 e 2012, ficando bem complicado de



se determinar o tempo de resposta do aquífero às chuvas sem ajuda do HARTT, visto que na maioria dos meses só foi detectado declínio freático e a chuva foi presente em escala de tempo mensal. Pode-se supor que essa situação tem forte chance de ser fruto de uma exploração descontrolada, em anos que choveram próximo ou acima da média. O esperado para um atraso em escala diária (menor que 1 mês), era que a curva do nível acompanhasse o movimento da curva de precipitação, subindo ou descendo de acordo com os aumento ou diminuição do total precipitado no mês, porém não foi o que ocorreu. Em 2013 é notada uma diminuição ainda maior na profundidade do nível do aquífero.

Figura 93- Evolução anual dos dados brutos da precipitação pluviométrica e do nível estático no poço monitorado em Bayeux- PB em 2011, 2012 e 2013.





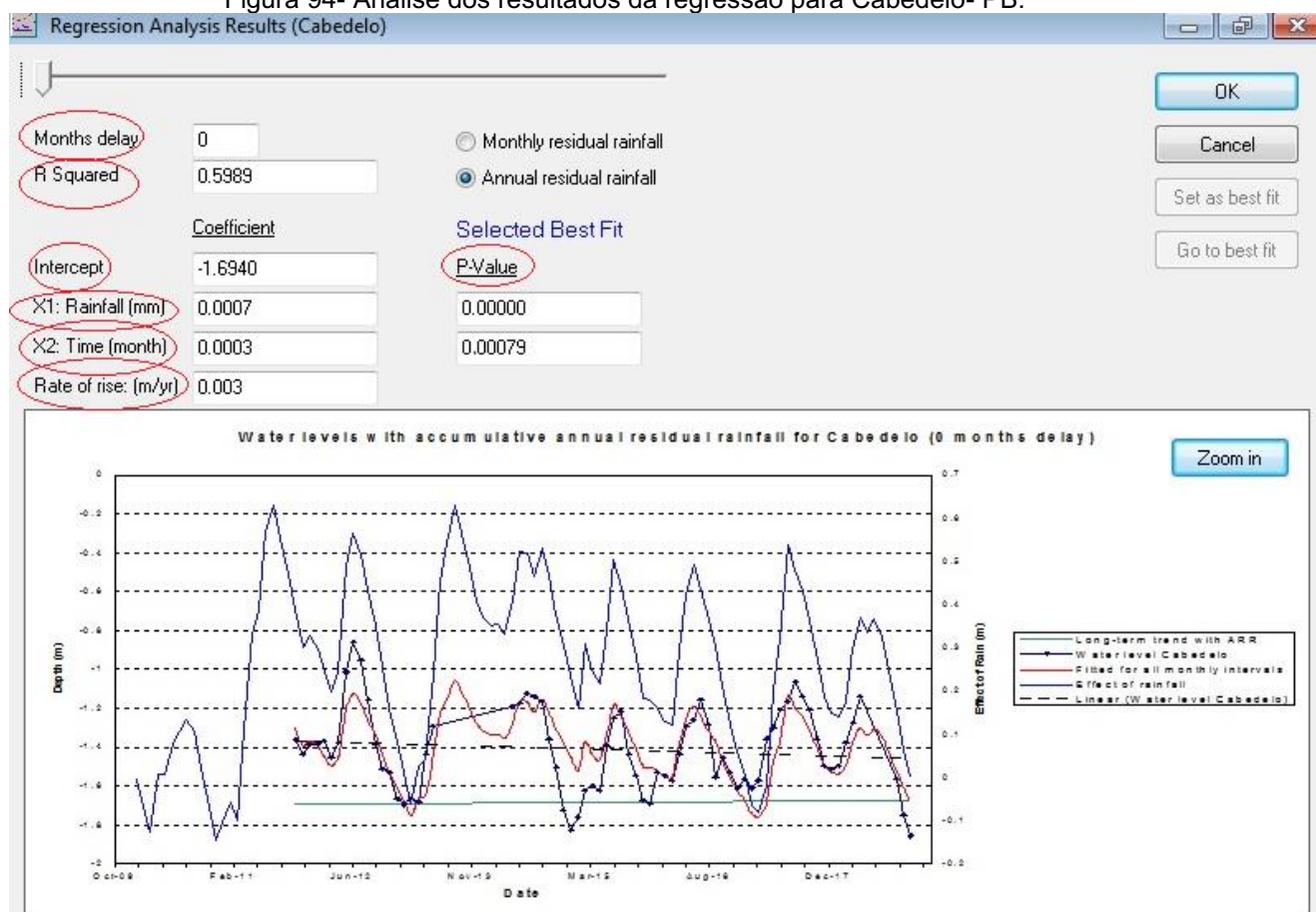
Fonte: O autor (2019).

### ➤ Poço Tubular em Cabedelo- PB

A Figura 94 mostra os parâmetros com a melhor correlação estatística para gerar o hidrograma que traduz o efeito da precipitação sobre o nível estático do poço de monitoramento no município de Cabedelo- PB.

Na Tabela 13, os valores desses parâmetros para o melhor atraso do tempo de resposta do nível às chuvas, podem ter uma visualização mais eficaz:

Figura 94- Análise dos resultados da regressão para Cabedelo- PB.



Fonte: HARTT (2020).

Tabela 13- Estatísticas dos ajustes do modelo HARTT para o poço de monitoramento em Cabedelo- PB

Poço Monitorado (Local)	R <sup>2</sup> (%)	Melhor Atraso (Mês)	Intercepto (m)	X1(Precipitação mm)	p-valor X1	X2	p-valor X2	Aumento (m/ano)
Cabedelo-PB	59,89	0	-1,6940	0,0007	0,00000	0,0003	0,00079	+0,003

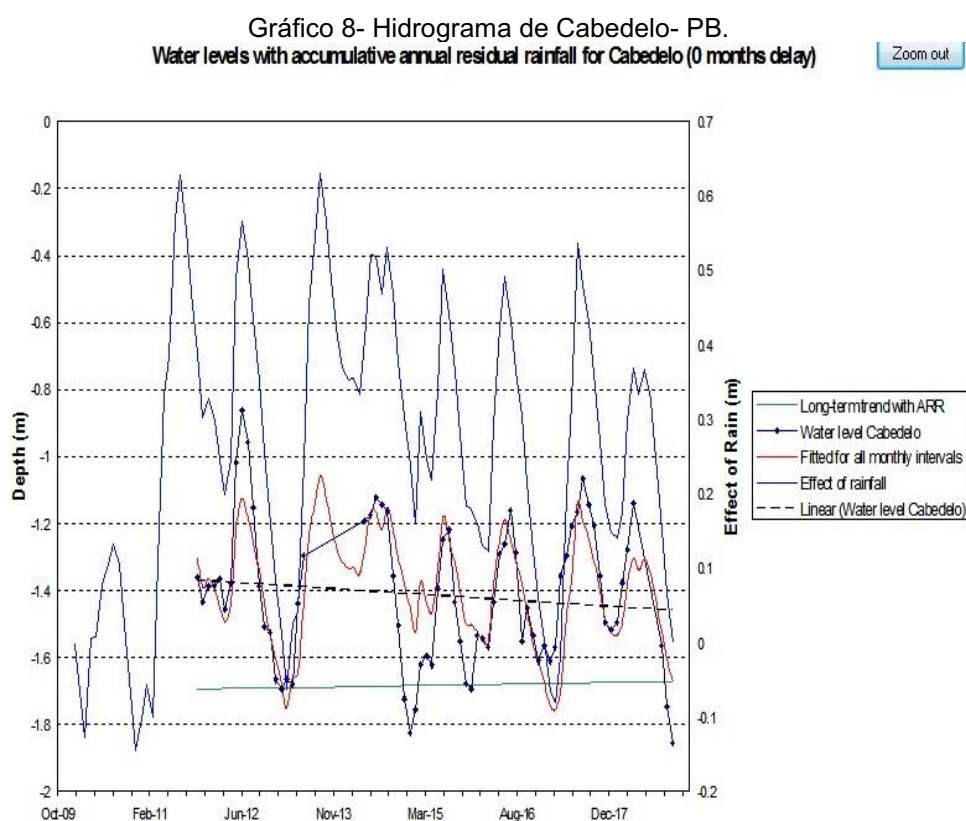
Fonte: HARTT (2020).

Dessa forma, pode-se ver que a influência das chuvas ainda é a principal causa das oscilações freáticas, atestando-se isso pelo valor do coeficiente de regressão de 59,89%. Fatores como a baixa profundidade do nível estático do poço e o regime bem distribuído de chuvas nessa região, podem ter contribuído com o rápido tempo de recarga ou o baixo melhor atraso gerado.

Verifica-se que é quase um poço surgente, com água a menos de 2 m da superfície (intercepto: - 1,69 m), não sendo necessário um intervalo de tempo em escala mensal, mas sim, de poucos dias, para variar o nível após as chuvas. Por isso, talvez trata-se de uma região de afloramento do aquífero confinado.

Os p-valores das variáveis encontram-se dentro dos limites permitidos pela metodologia, tornando os dados das variáveis tempo e precipitação com boa significância dentro do conjunto.

No Gráfico 8, embora exista uma tendência quase que irrelevante de aumento do nível freático ao longo dos anos, por conta do valor + 0,003 m/ano, considera-se que o nível praticamente se manterá constante, se a quantidade de água captada na região do entorno ao poço também se mantiver a mesma e os eventos climáticos, no caso as precipitações, continuarem dentro dos padrões ou valores esperados: efeito das precipitações sobre os níveis com vários picos indicadores de chuvas bem distribuídas e com impacto relevante.



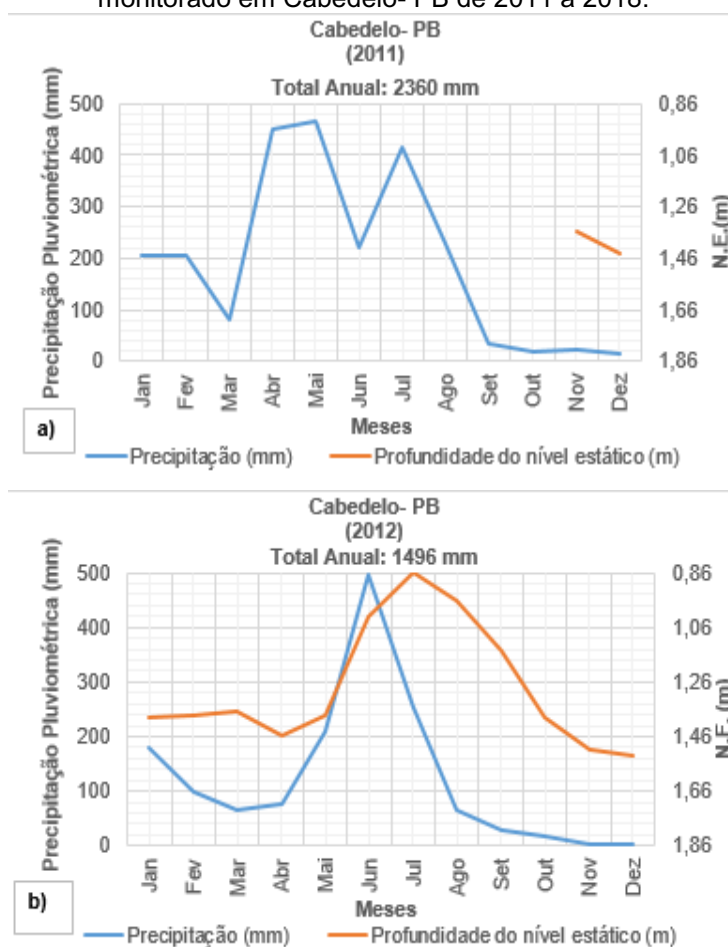
Fonte: HARTT (2020).

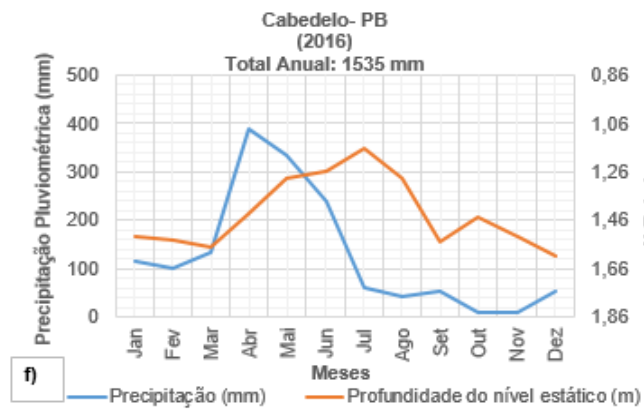
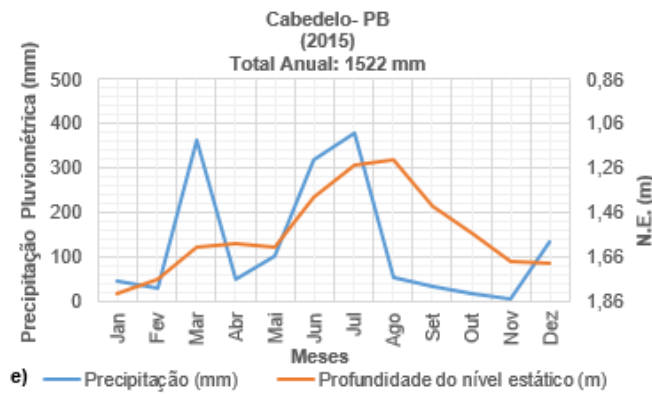
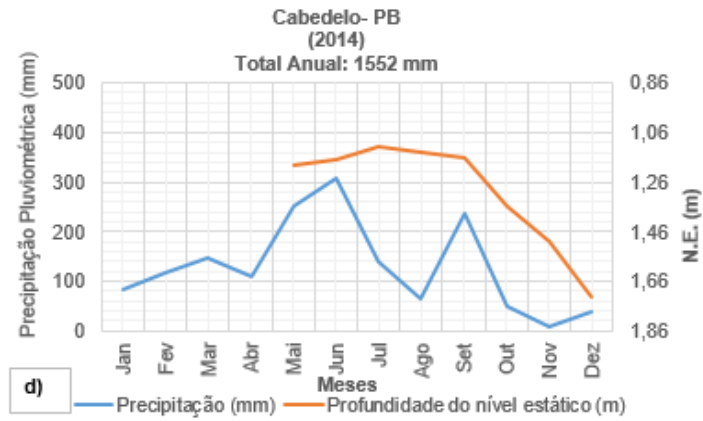
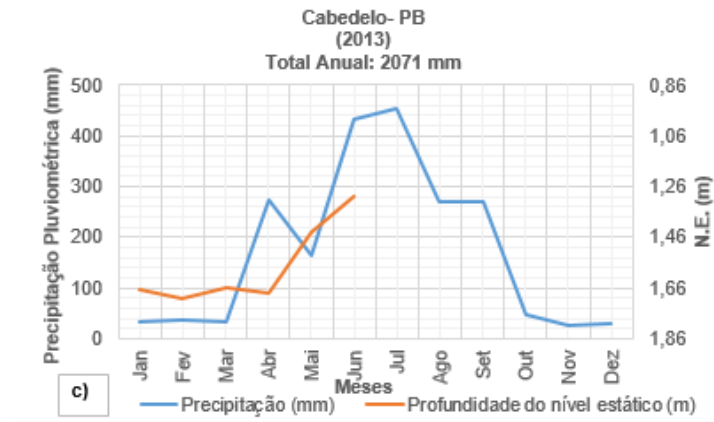
De acordo com os gráficos da Figura 95, os resultados gerados pelo HARTT são coerentes, pois a maioria das medições de nível acompanharam a sazonalidade,

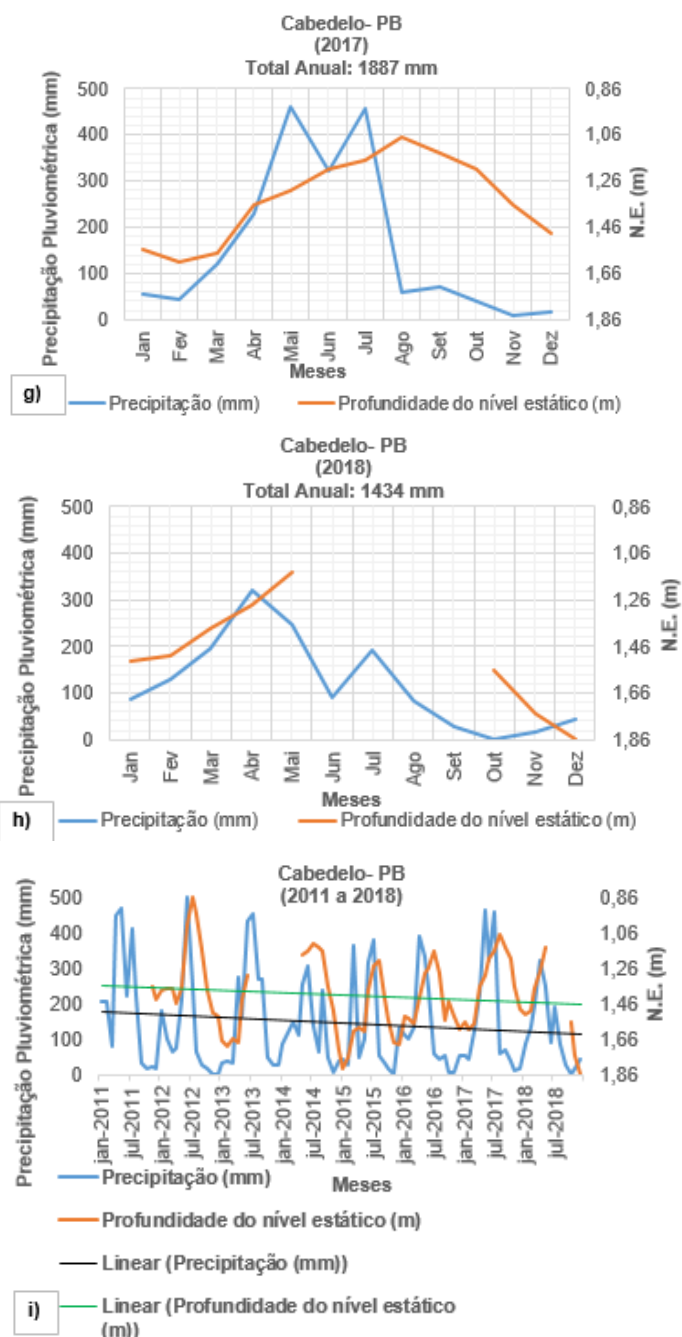
destacando-se o rápido tempo de resposta, podendo-se afirmar que, o melhor atraso de menos de um mês é evidente.

Ainda analisando a Figura 95, é confirmado o período de maior precipitação, como já esperado para essa região, entre os meses de maio a agosto. E, que praticamente em todos os meses, há registro de alguma precipitação. Por isso, aguardava-se uma resposta positiva do nível em meses com chuvas consideráveis, porém não foi o que ocorreu em uma leitura. Foi pontuada uma atipicidade quando aconteceram chuvas significativas e o nível não demonstrou uma resposta positiva ou esperada, como no caso de dezembro- 2015 (Figura 95 (e)), que registrou mais de 130 mm e o nível permaneceu inalterado, vindo a aumentar só no mês seguinte. Durante os anos monitorados, a tendência do nível gerada pelos gráficos do Excel contrasta com a do hidrograma gerado pelo HARTT, apresentando uma ligeira queda.

Figura 95- Evolução anual dos dados brutos da precipitação pluviométrica e do nível estático no poço monitorado em Cabedelo- PB de 2011 a 2018.





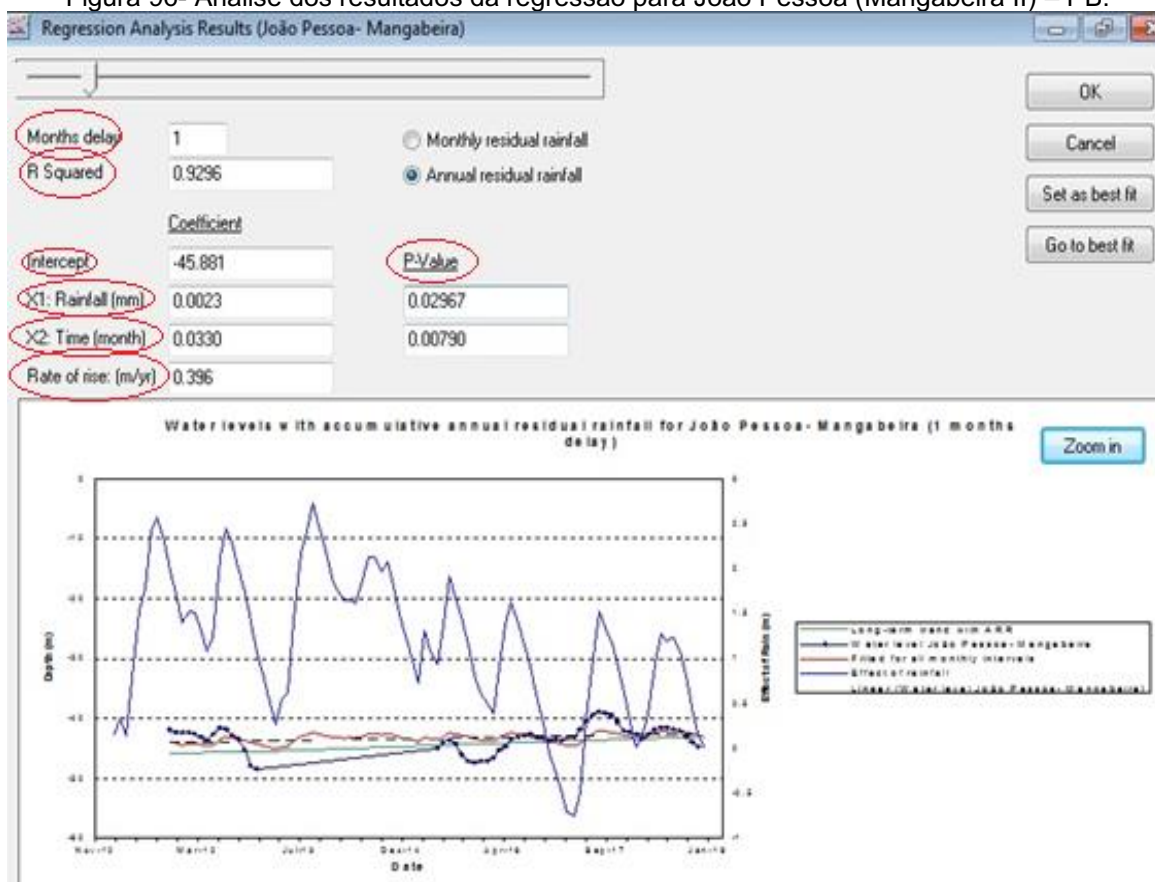


Fonte: O autor (2020).

### ➤ Poço Tubular em João Pessoa (Mangabeira II) – PB

A Figura 96 traz o hidrograma gerado através dos melhores parâmetros obtidos para a melhor resposta do nível estático do poço às chuvas. Essa estatística está disposta na Tabela 14, a seguir.

Figura 96- Análise dos resultados da regressão para João Pessoa (Mangabeira II) – PB.



Fonte: HARTT (2020).

Tabela 14- Estatísticas dos ajustes do modelo HARTT para o poço de monitoramento em João Pessoa (Mangabeira II) - PB

Poço Monitorado (Local)	R <sup>2</sup> (%)	Melhor Atraso (Mês)	Intercepto (m)	X1(Precipitação mm)	p- valor X1	X2	p- valor X2	Aumento (m/ano)
João Pessoa- PB (Mangabeira II)	92,96	1	-45,881	0,0023	0,02967	0,0330	0,00790	+0,396

Fonte: HARTT (2020).

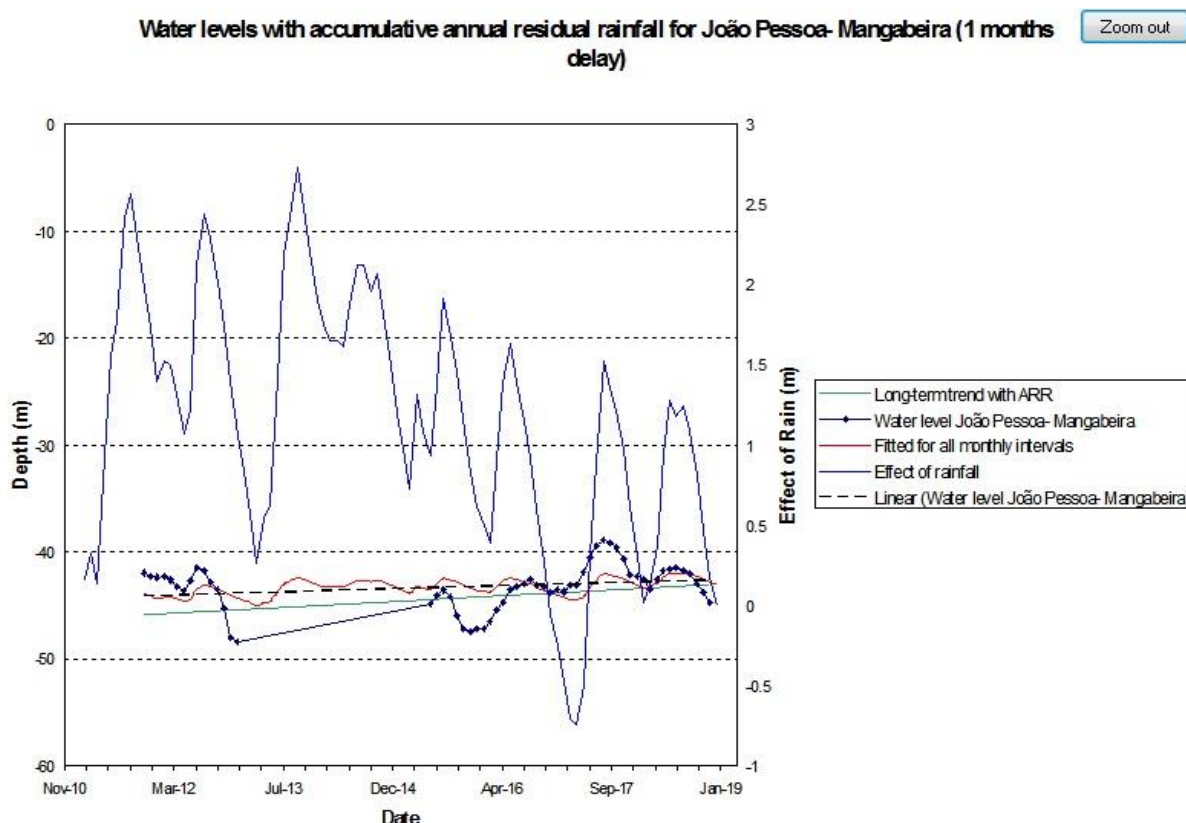
De acordo com os parâmetros, tem-se que cerca de 93% das movimentações ou oscilações freáticas do aquífero nesse ponto são resultantes das precipitações. Para tais mudanças o tempo de resposta é de 1 mês, valor este superior ao poço anterior no município de Cabedelo, possivelmente por conta de fatores como a maior profundidade do nível estático inicial (45,881 m) e a litologia, que influencia na velocidade do fluido.



Diante dos p-valores encontrados para as variáveis é possível afirmar que, as variáveis Precipitação e Tempo são significativas nesse modelo e que as tendências ou o efeito da precipitação é coerente.

O gráfico 9 demonstra a tendência de comportamento semelhante entre o nível e o efeito das chuvas, períodos de tempo com picos durante os meses de chuva são refletidos com o aumento do nível no poço. Existe também uma pequena tendência de aumento do nível ao longo dos anos, cerca de 0,396 m por ano.

Gráfico 9- Hidrograma de João Pessoa (Mangabeira II) – PB.



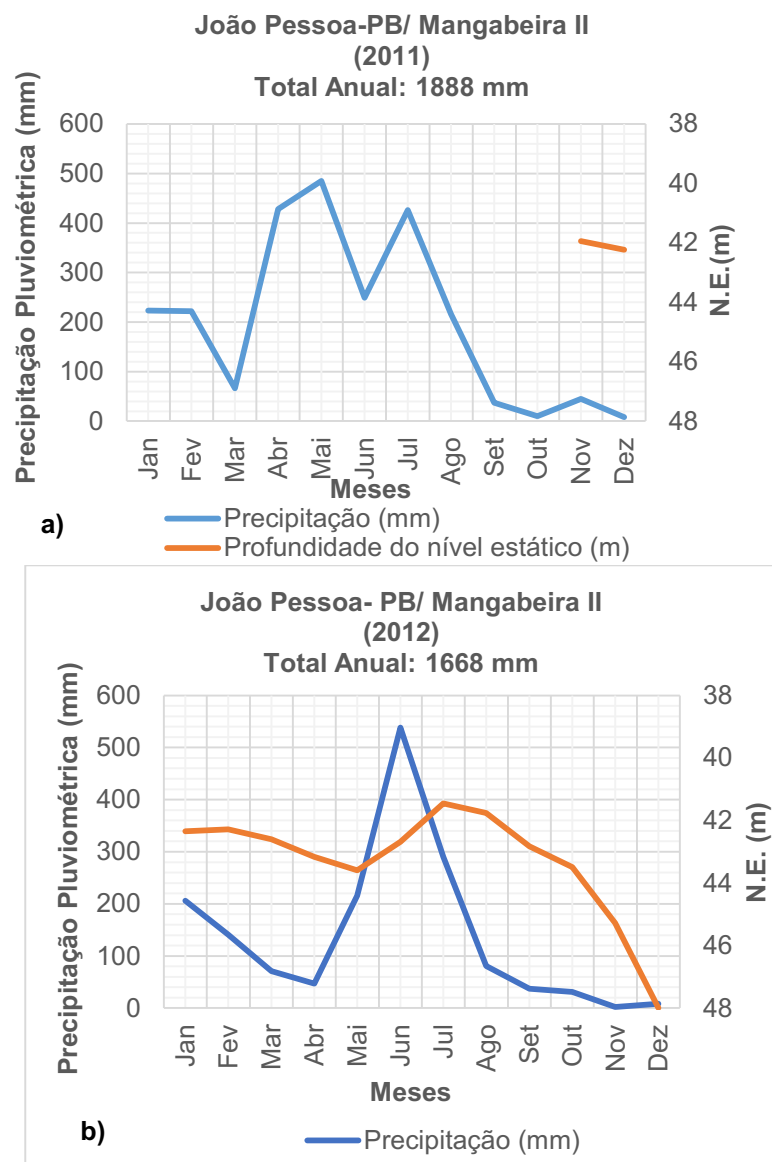
Fonte: HARTT (2020).

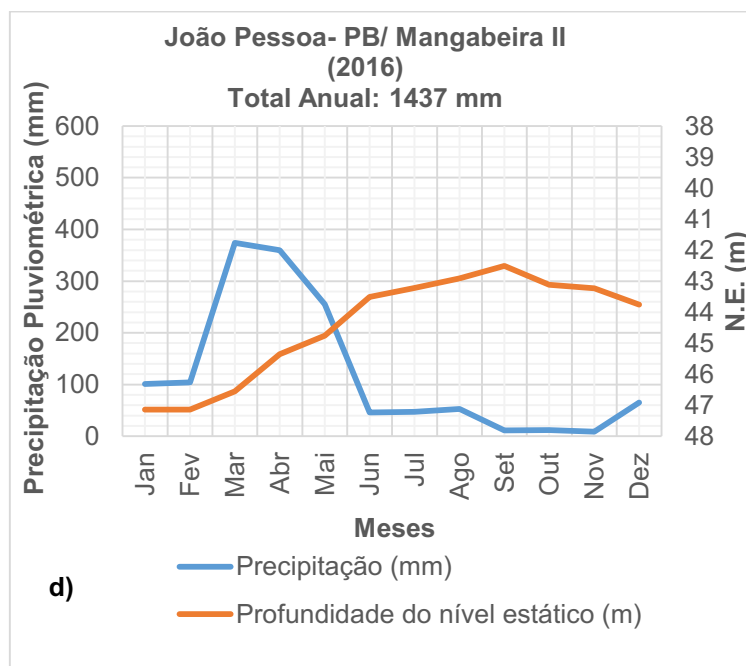
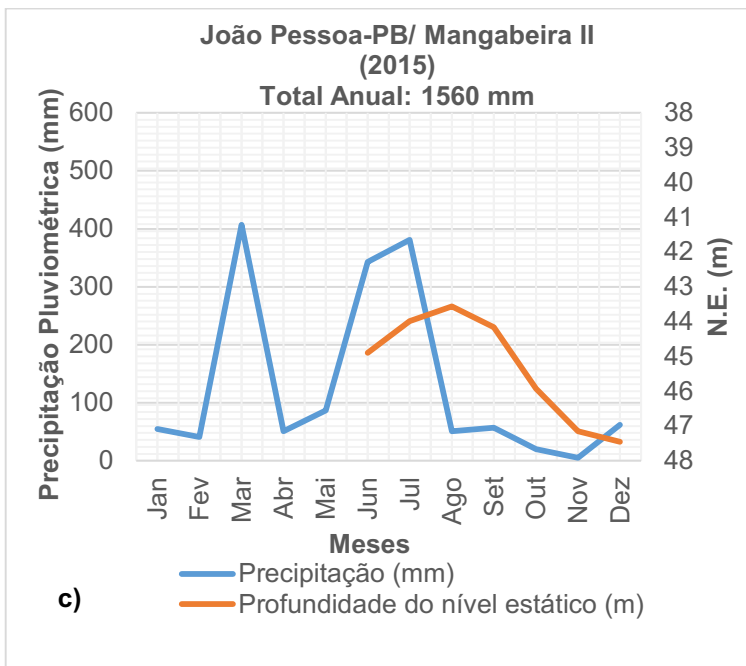
De acordo com a Figura 97, pode-se comprovar que o hidrograma gerado pelo HARTT é coerente com a evolução gráfica do nível estático em função da precipitação pluviométrica, sendo realmente o tempo de 1 mês para que aconteça qualquer alteração de aumento no nível após um mês anterior de precipitação considerável, como por exemplo, o aumento destacável de chuvas de abril a junho de 2012 e a reposta concordante do nível de maio a julho de 2012.

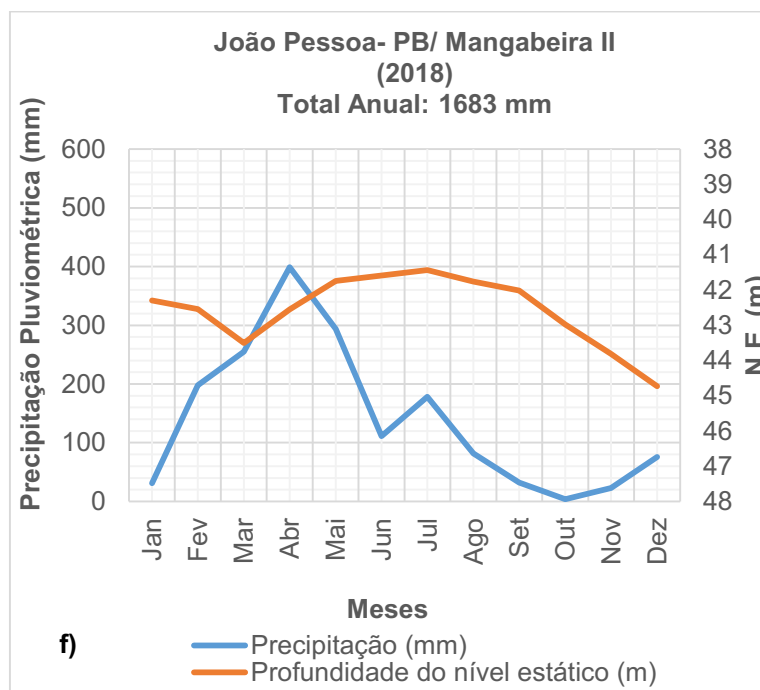
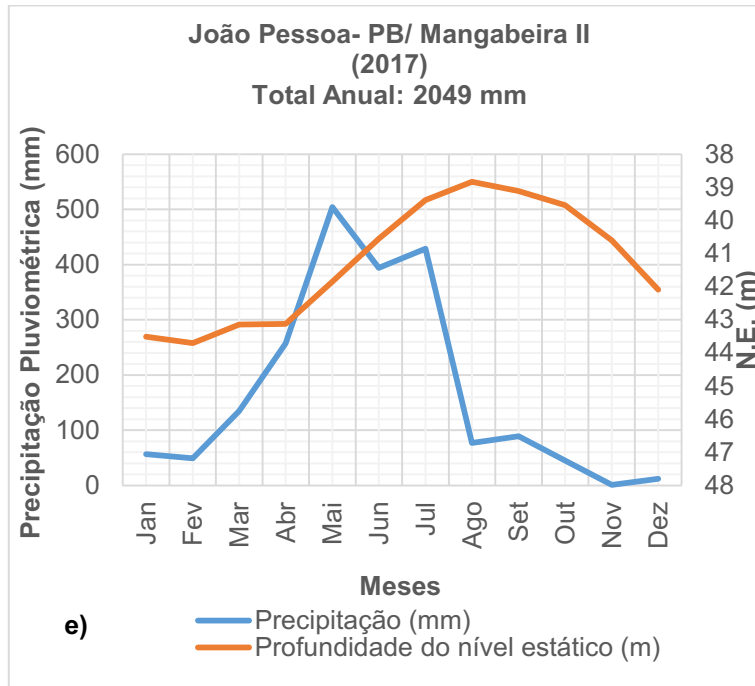
O N.E. também é proporcional às baixas pluviométricas comuns de setembro a dezembro no município ou mostra-se com um aumento desacelerado quando mesmo

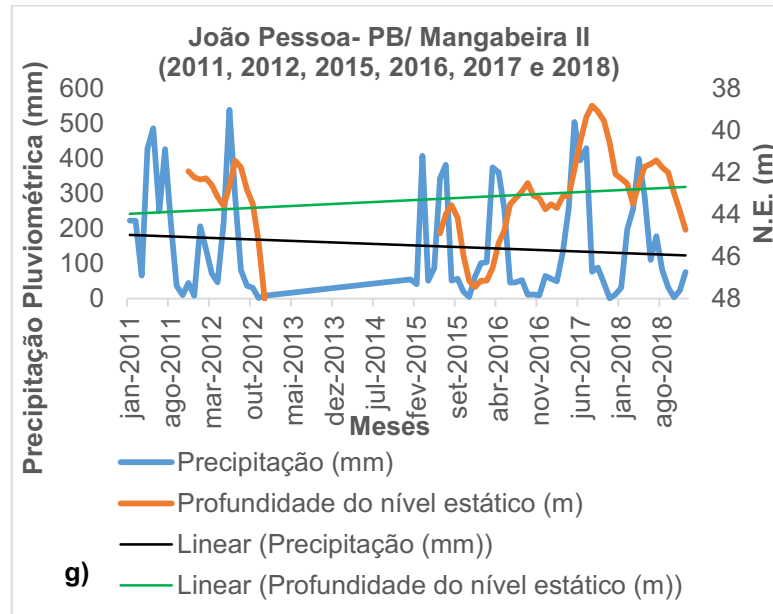
no período de chuvas o mês anterior teve menor registro em relação ao seu antecessor, como é o caso do nível entre abril e maio de 2016 refletindo a ligeira queda pluviométrica que houve entre Março e Abril do mesmo ano. Uma atipicidade foi detectada em março de 2018, com o aumento das chuvas em fevereiro o nível apresentou queda em março, considerando o atraso de 1 mês achado no HARTT. Ao longo dos anos há uma tendência de diminuição do volume médio anual de chuvas, porém, assim como no software, o nível estático tende a ficar mais raso em relação a superfície (Figura 97 g)).

Figura 97- Evolução anual dos dados brutos da precipitação pluviométrica e do nível estático no poço monitorado em João Pessoa- PB (Mangabeira II) em 2011, 2012, 2015, 2016, 2017 e 2018.







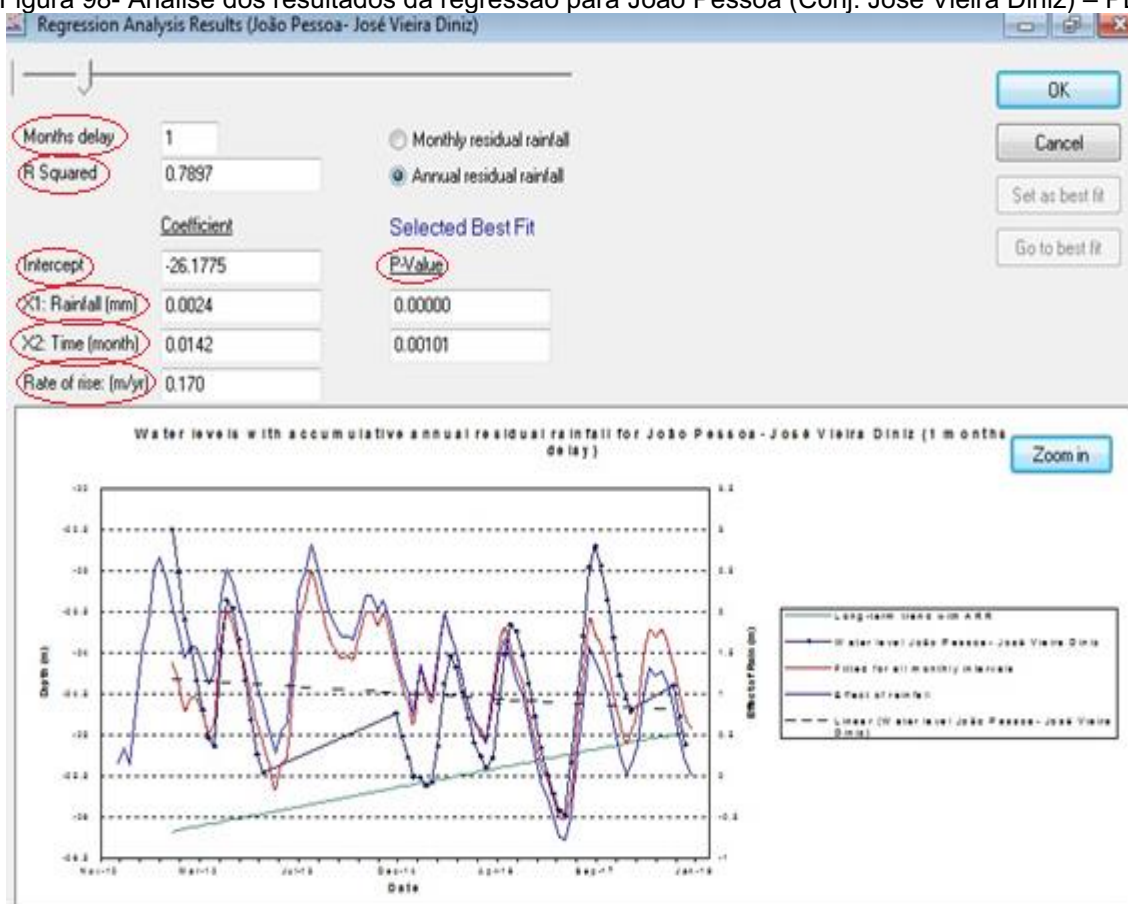


Fonte: O autor (2020).

➤ **Poço Tubular em João Pessoa (Conjunto José Vieira Diniz) – PB**

A Figura 98 traz a análise da regressão para o poço no Conjunto José Vieira Diniz em João Pessoa- PB.

Figura 98- Análise dos resultados da regressão para João Pessoa (Conj. José Vieira Diniz) – PB.



Fonte: (HARTT, 2020).

Os parâmetros gerados podem ser melhor visualizados na Tabela 15, a seguir:

Tabela 15- Estatísticas dos ajustes do modelo HARTT para o poço de monitoramento em João Pessoa- (Conjunto José Vieira Diniz) - PB

Poço Monitorado (Local)	R <sup>2</sup> (%)	Melhor Atraso (Mês)	Intercepto (m)	X1(Precipitação mm)	p- valor X1	X2	p- valor X2	Aumento (m/ano)
João Pessoa- PB (Conj. José Vieira Diniz)	78,97	1	-26,1775	0,0024	0,00000	0,0142	0,00101	+0,170

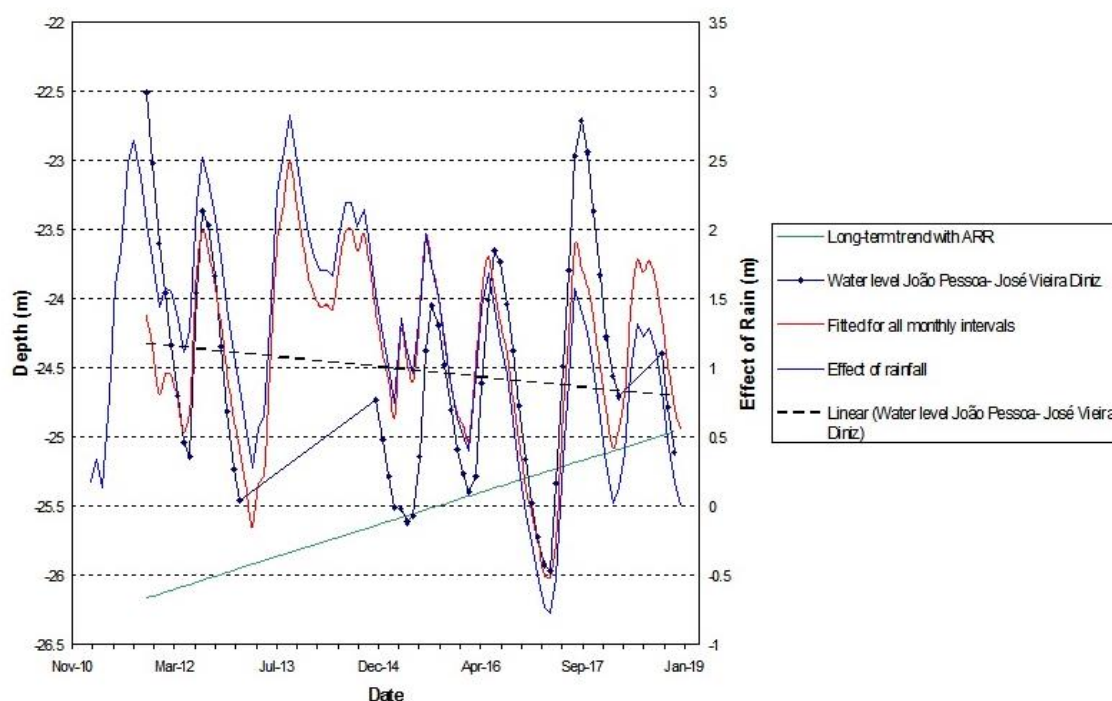
Fonte: HARTT (2020).

Como nas localizações anteriores a maioria das oscilações do nível estático ocorrem por conta das precipitações. Durante a primeira medição o nível se encontrava a 26,1775 m de profundidade. O tempo necessário para que ocorra qualquer recarga é

de 1 mês e as variáveis precipitação e tempo são representativas como atestado pelo baixo valor de  $p$ .

O gráfico 10 mostra uma tendência de aumento a longo prazo, ainda que pequena, de 0,170 m/ano e as curvas de nível e efeito da chuva seguem praticamente a mesma trajetória, existindo uma direta proporcionalidade.

Gráfico 10- Hidrograma de João Pessoa (Conjunto José Vieira Diniz) – PB.  
Water levels with accumulative annual residual rainfall for João Pessoa- José Vieira Diniz (1 months delay)

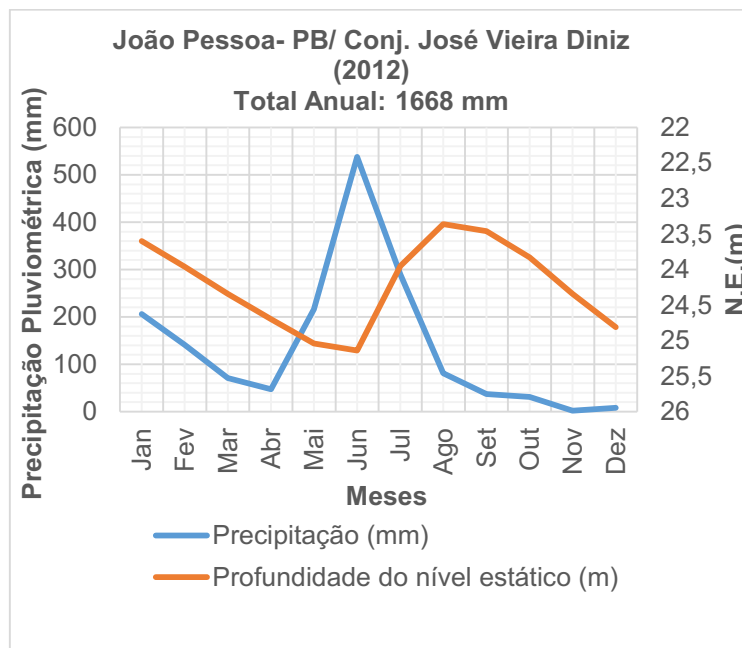
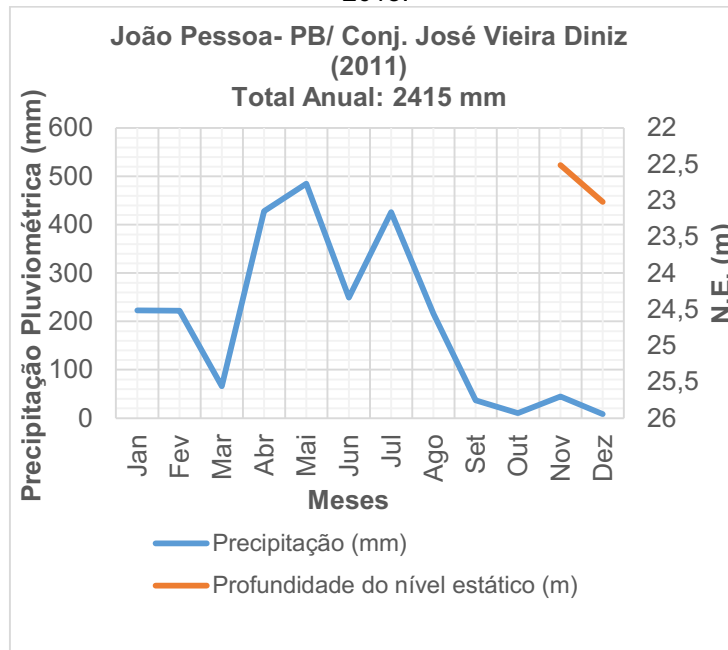


Fonte: (HARTT, 2020).

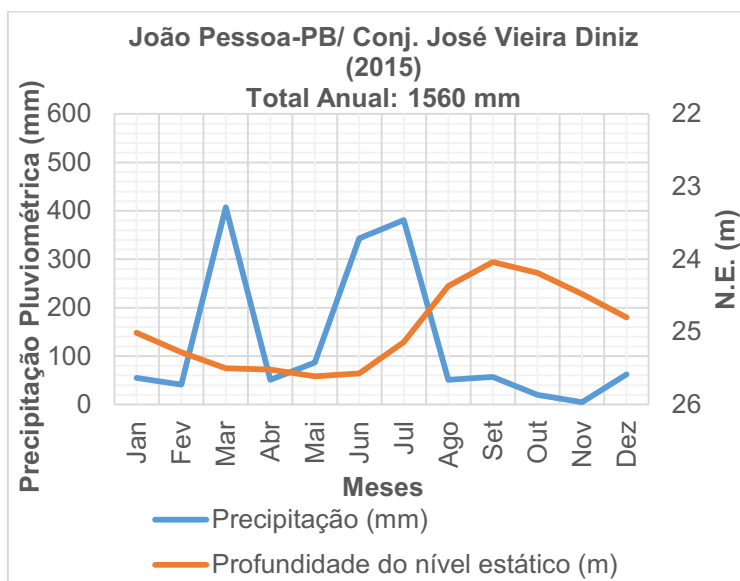
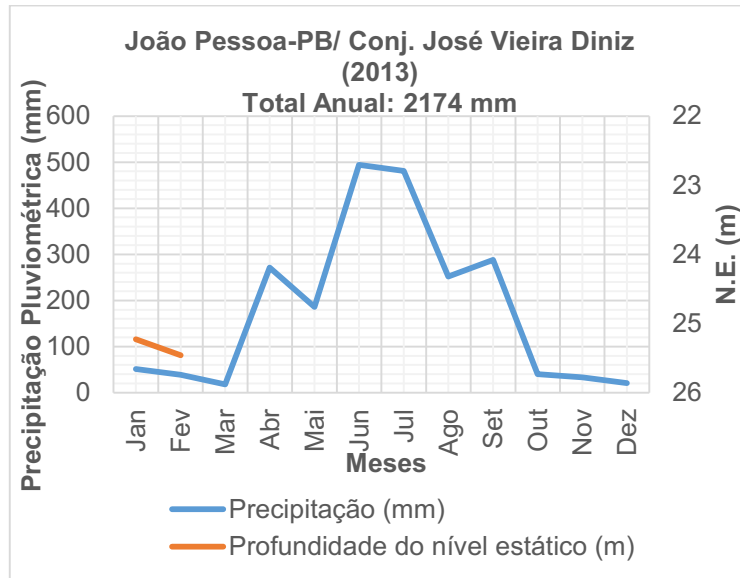
Segundo os gráficos da Figura 99, os dados brutos sobre a evolução anual de chuva e nível estão harmônicos com o tempo de recarga gerado (atraso) pelo melhor modelo no software, chovendo bastante de abril a julho, com o aumento do nível se comportando de maneira mais ascendente durante esse período. Atipicidade verificada nos meses de junho e julho de 2016 que choveram abaixo da média esperada e mesmo assim o nível apresentou aumento.

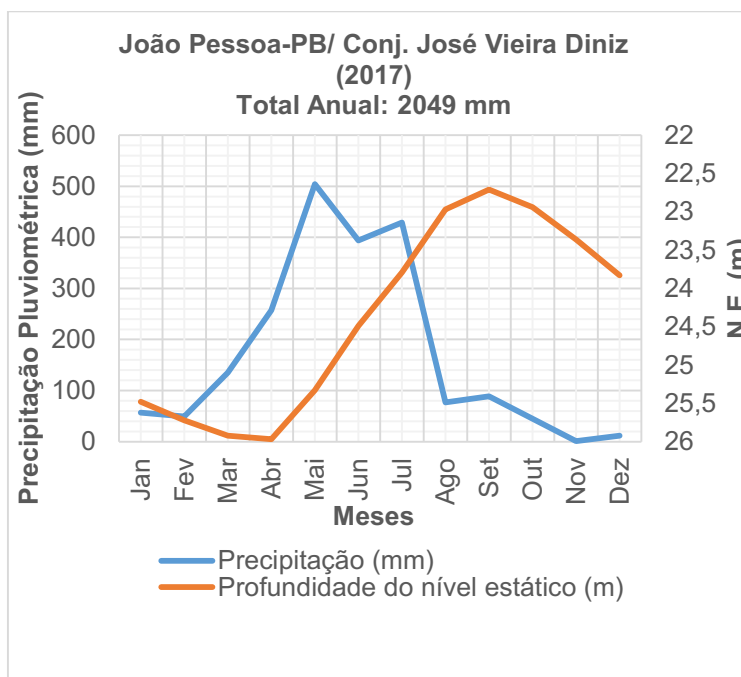
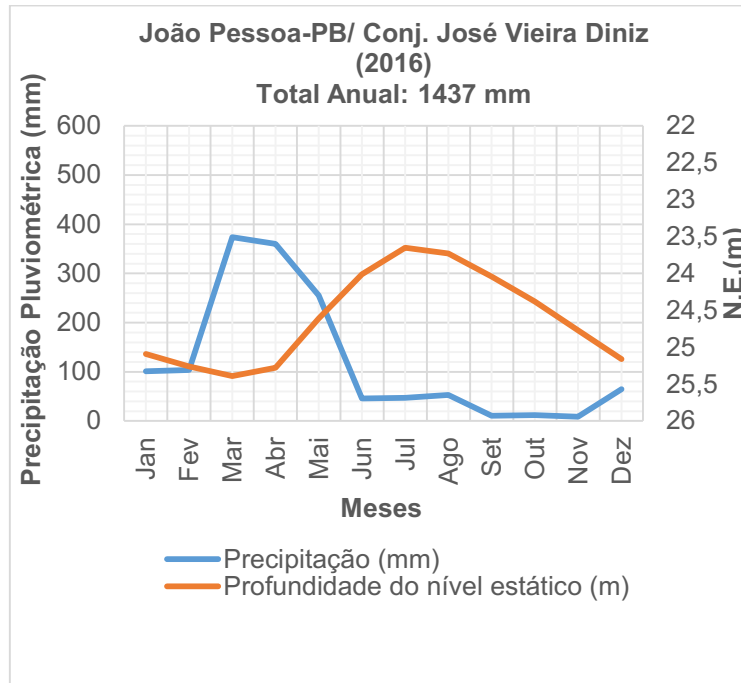
A análise neste caso, apresentou-se muito semelhante ao monitoramento feito em Mangabeira II, porém aqui os dados brutos durante os anos analisados refletiram uma leve tendência de rebaixamento do nível que se contrapõe com a gerada pelo HARTT.

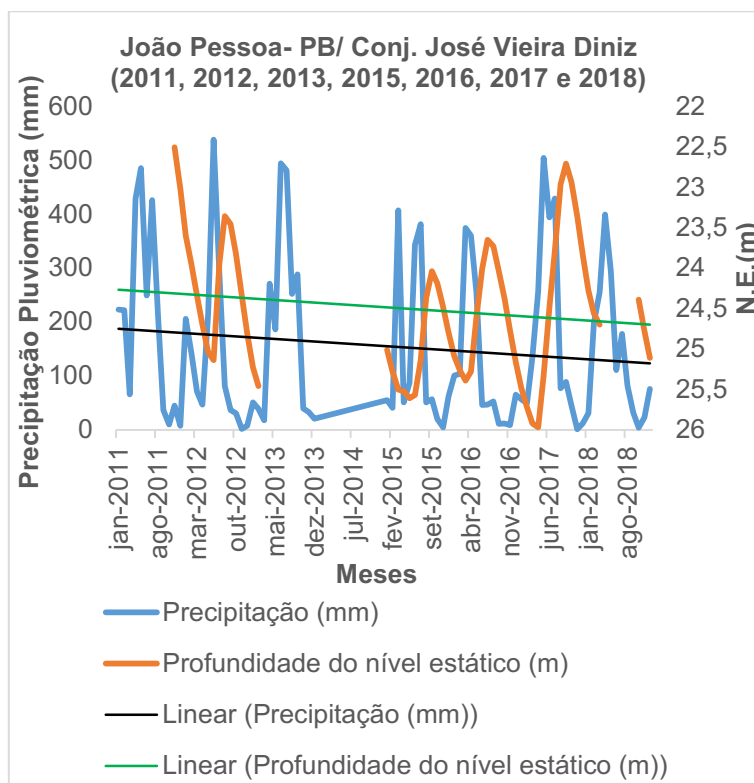
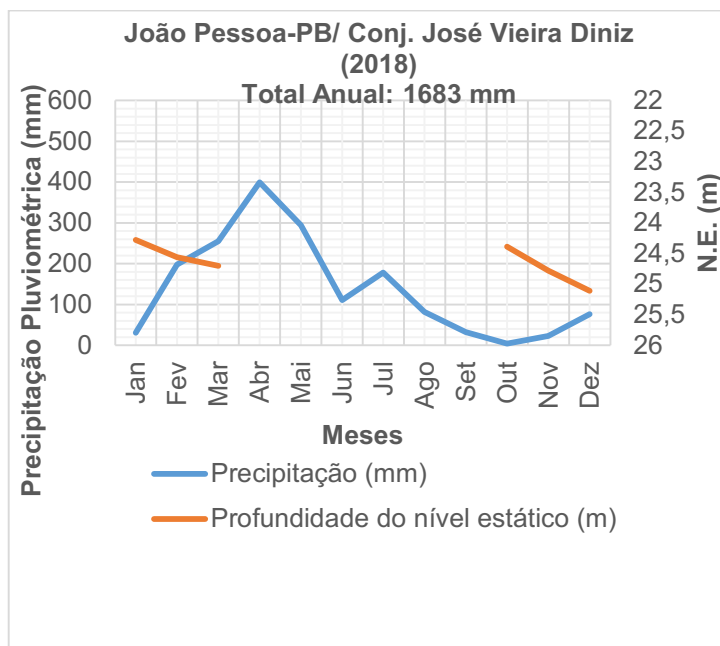
Figura 99- Evolução anual dos dados brutos da precipitação pluviométrica e do nível estático no poço monitorado em João Pessoa- PB (Conj. José Vieira Diniz) em 2011, 2012, 2013, 2015, 2016, 2017 e 2018.











Fonte: O autor (2020).

## 6.2 Comparação dos valores estatísticos gerados pelos ajustes do modelo HARTT e da influência da geologia local para os poços de monitoramento do litoral paraibano e os do semiárido potiguar

A Tabela 16 reúne todos os melhores parâmetros gerados pelo software para os poços estudados e as figuras 100 e 101 são os perfis litológicos de cada poço:

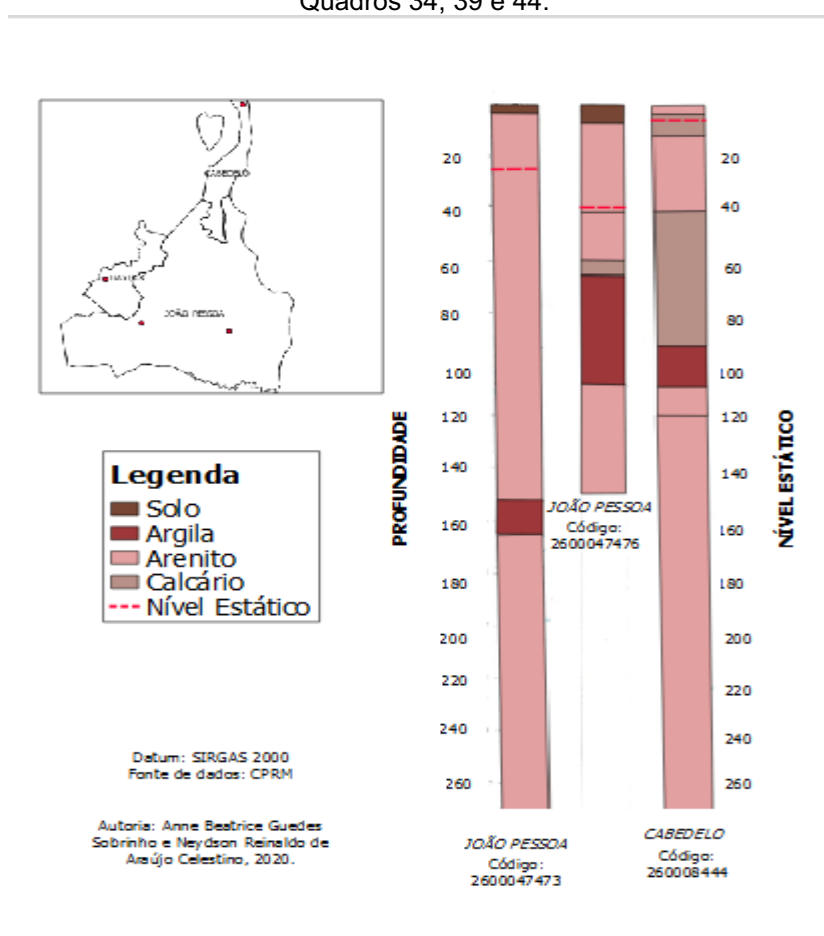
Tabela 16- Estatísticas dos ajustes do modelo HARTT para os 10 poços de monitoramento com as médias do R<sup>2</sup>, melhor atraso e intercepto dos aquíferos Açú e Beberibe

Poço Monitorado (Local)	R <sup>2</sup> (%)	Melhor Atraso (Meses)	Intercepto (m)	X1(Precipitação mm)	p- valor X1	X2	p- valor X2	Redução/Aumento (m/ano)
Afonso Bezerra-RN	95,24	1	- 10,0689	0,0024	0	0,0607	0	- 0,728
Apodi- RN	79,67	1	- 12,2894	0,0012	0,00310	0,0100	0,005	- 0,120
Açú- RN	89,33	1	- 41,0276	0,0009	0,02175	0,0345	0	- 0,414
Jardim de Angicos-RN	74,82	1	- 33,3894	0,0048	0,03991	0,0630	0,003	+0,756
Upanema-RN	95,82	2	- 26,9664	0,0003	0,0000	0,0009	0,017	+0,011
Caraúbas-RN	98,60	12	- 57,2659	0,0001	0,02390	0,3414	0	+4,097
Aquífero Açú-RN	$\overline{R^2}=88,91$	$\overline{Atraso}= 3$	$\overline{m}= 30,17$	-	-	-	-	-
Bayeux-PB	83,72	0	- 79, 2250	0,0002	0,04923	0,2817	0,009	-3,380
Cabedelo-PB	59,89	0	-1,6940	0,0007	0,00000	0,0003	0,0007	+0,003

João Pessoa- PB (Mangabeira II)	92,96	1	-45,881	0,0023	0,02967	0,0330	0,0079	+0,396
João Pessoa- PB (Conj. José Vieira Diniz)	78,97	1	-26,1775	0,0024	0,00000	0,0142	0,0010	+0,170
Aquífero Beberibe- PB	$\overline{R^2}=78,88$	$\overline{Atraso}=0,5$	$\overline{m}=38,24$	-	-	-	-	-

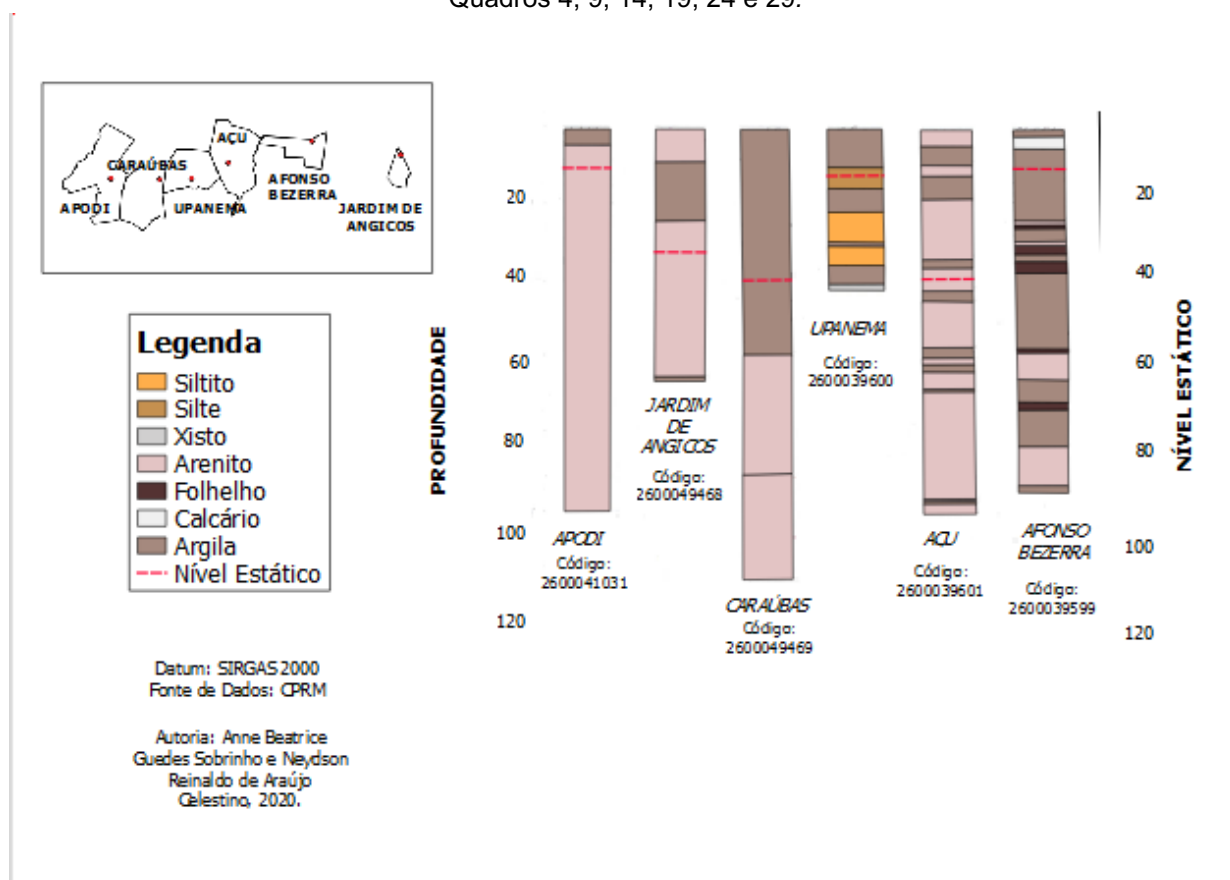
Fonte: HARTT (2020).

Figura 100- Perfis litológicos dos poços em João Pessoa e Cabedelo com descrição detalhada pelos Quadros 34, 39 e 44.



Fonte: SOBRINHO & STEIN (2020).

Figura 101- Perfis litológicos dos poços no Rio Grande do Norte com descrição detalhada pelos Quadros 4, 9, 14, 19, 24 e 29.



Fonte: SOBRINHO & STEIN (2020).

Através das análises feitas com o HARTT pôde-se atentar para os pontos fortes e fracos dessa abordagem para modelagem estatística de hidrogramas. O método tem uma série de pontos fortes claros: simplicidade; separação da tendência temporal subjacente aos efeitos de chuvas incomuns ou atípicas; melhorou a estimativa de tendências temporais mesmo quando os conjuntos de dados longos não estavam disponíveis; tem certo grau de ajuste; capacidade de fazer previsões da profundidade em águas subterrâneas por um período à frente igual ao comprimento do atraso estimado no modelo. Estas vantagens tornam o método uma ferramenta útil na gestão dos recursos de água subterrânea.

No entanto, algumas limitações também puderam ser identificadas: a confiabilidade da tendência e da taxa de elevação ou de declínio depende de valores coerentes de precipitação média; a organização dos dados de chuva e nível seguindo a formatação das tabelas dadas pelo modelo e mantendo-se o intervalo de tempo entre as medições da profundidade é algo minucioso e que influencia na geração do hidrograma.

Para os poços analisados, o modelo HARTT demonstrado na Tabela 16 apresentou um bom ajuste aos dados de precipitação e níveis freáticos, com ajustes variando de 74,82% (Jardim de Angicos-RN) a 98,60% (Caraúbas-RN) para o Aquífero Açú, e de 59,89% (Cabedelo-PB) a 92,96% (João Pessoa- PB/ Mangabeira II) para o Aquífero Beberibe, caracterizando de forma satisfatória a influência preponderante das chuvas sobre as oscilações de profundidade. Os níveis nos poços do RN apresentaram atrasos de 1, 2 ou 12 meses em relação a eventos de precipitação que ocasionaram alguma mudança no volume de água armazenado. Intervalos de tempo ainda menores ocorreram litoral da PB, *delays* menos de um mês a um mês.

Foi verificada uma tendência de queda nos níveis a longo prazo, possivelmente influenciada por eventos climatológicos ou uma exploração acima da recarga natural, sendo essa última suposição mais evidenciada para o caso de Bayeux-PB. Outros destaques quanto à tendência são Jardim de Angicos- RN e Caraúbas- RN. Jardim de Angicos, que embora chovendo abaixo da média, apresentou uma tendência de diminuição da profundidade freática e Caraúbas com a mais forte tendência de aumento da Tabela 16, podendo estar relacionada ao maior valor de  $R^2$  entre os municípios estudados, visto que a linear de chuvas na Figura 91 praticamente comportou-se estável nos anos de monitoramento.

Ainda de acordo com a Tabela 16, a média dos parâmetros encontrados de cada local representa um aquífero como um todo. Comparando os valores médios, o Aquífero Açú possui um coeficiente de regressão maior que o do Aquífero Beberibe, logo a influência das chuvas na variação do nível d'água nesse aquífero é mais expressiva. O tempo de resposta do aquífero às chuvas é mais acelerado no Beberibe, em menos de 1 mês (0,5 mês) as precipitações podem recarregá-lo, embora levando-se em conta a questão da profundidade do nível d'água no início das medições, há um resultado inesperado ou que contraria a lógica do quanto mais raso o N.E. mais rápida será a resposta às precipitações, pois o Beberibe tem uma média de intercepto de 38,24 m e o Açú de 30,17. Por isso, a velocidade de recarga está mais relacionada à velocidade de permeabilidade da água nos tipos rochosos encontrados nos perfis das Figuras 100 e 101, no caminho percorrido pela água infiltrada, na litologia acima e onde se encontra o nível estático.

Conforme Manoel Filho (2008), os aquíferos porosos possuem uma elevada capacidade de infiltração potencial, alta porosidade e permeabilidade. A porosidade

decrece com a profundidade e em sedimentos mais consolidados devido à presença de quartzo, calcita e argilas que preenchem os vazios existentes de rochas como os arenitos.

A velocidade da água ( $q$ ) aumenta com a elevação da condutividade hidráulica ( $k$ ) como na Lei de Darcy. Essa condutividade é maior em sedimentos com granulação grosseira, que apresentam maior porosidade por terem estratificações de pequena escala e permeabilidades muito grandes uniformemente anisotrópicas (MANOEL FILHO, 2008). Sendo assim, quanto maior a granulometria da rocha sedimentar, maior será a velocidade da água por ela, maior a porosidade e a permeabilidade. Logo, a velocidade de infiltração vai aumentando no seguinte sentido, por exemplo: argila- silte- silte arenoso- areia argilosa- areia fina/siltosa- areia- cascalho.

O atraso maior em Upanema-RN e Caraúbas- RN pode estar relacionado as camadas argilosas e silticas nos poços. Entretanto, o atraso de 12 meses na resposta em Caraúbas leva a crer na falta de confiabilidade dos dados brutos, e ainda a ausência de uma resposta satisfatória do software em situações onde o NE do poço apresenta pouca variação anual (se mantém predominantemente estável).

Para os outros poços no Rio Grande do Norte, o registro de um atraso menor, pode ter sido devido a uma maior ocorrência de camadas na zona insaturada (acima do nível estático) com sedimentos de maior porosidade como arenitos ou até mesmo com facilidade de dissolução pela água (calcário em Afonso Bezerra entre 2 e 5 metros de profundidade (Quadro 24)).

Os dados litológicos de Bayeux - PB não foram fornecidos pela plataforma do RIMAS-CPRM, dificultando assim, a análise do efeito da litologia sobre o tempo de resposta do aquífero às precipitações, para comparação com o Aquífero Açú. Segundo a Figura 100, Cabedelo possui o N.E. mais raso, inserido num calcário, que possivelmente apresenta uma elevada permeabilidade específica para um atraso tão curto. Os níveis em João Pessoa encontram-se em arenito. Um melhor atraso de 1 mês é considerado um rápido tempo de resposta também.

Por isso, mesmo que o nível estático do Aquífero Açú seja mais raso que o do Beberibe, a litologia no primeiro é diferente, existe no Açú uma maior ocorrência de sedimentos de menor granulometria ou mais compactados, que interferem nos parâmetros hidrogeológicos como a velocidade de permeabilidade e, conseqüentemente, no aumento do melhor atraso fornecido pelo HARTT.



### 6.3 Recarga anual

#### 6.3.1 Método VNA

No cálculo da recarga anual demonstrado na Tabela 17, tentou-se considerar ao máximo apenas os anos em que os poços de monitoramento tiveram todas ou o máximo de leituras diárias de nível estático, para uma melhor validação dos resultados. Diante dessa falta de dados, não foi possível determinar a relação entre a Precipitação (mm) e o  $\Delta h$  (m) para os poços Jardim de Angicos- RN (Figura 102) e Bayeux-PB (Figura 103).

Tabela 17- Recarga Anual dos Aquíferos Açu- RN e Beberibe-PB através do Método VNA. Precipitação anual - P (mm), Recargas - R (mm) para um  $\Delta t= 1$  ano, variação do nível anual (m), nível máximo anual (usado para calcular a recarga) (m), declínio do nível anual (m) e  $S_y = 0,02$  e  $S_y = 0,1$

Poços	Aquífero	Ano	h mín. (m)	h máx. (m)	$\Delta h$ (m)	$S_y$	P (mm)	R (mm)	R%
P1	Açu	2012	10,46	12,05	1,59	0,02	364,4	31,8	8,73
P1	Açu	2013	11,36	12,25	0,89	0,02	497,7	17,8	3,58
P1	Açu	2015	11,88	12,36	0,48	0,02	293,5	9,6	3,27
P1	Açu	2016	11,63	13,19	1,56	0,02	522,6	31,2	5,97
P1	Açu	2017	11,96	13,69	1,73	0,02	587,1	34,6	5,89
P2	Açu	2013	50,84	54,7	3,86	0,02	554	77,2	13,94
P2	Açu	2014	40,94	50,9	9,96	0,02	559	199,2	35,64
P2	Açu	2015	41,55	47,07	5,52	0,02	333	110,4	33,15
P2	Açu	2016	38,87	41,63	2,76	0,02	612	55,2	9,02
P3	Açu	2012	26,79	26,95	0,16	0,02	157	3,2	2,04
P3	Açu	2013	26,45	26,98	0,53	0,02	652	10,6	1,63
P3	Açu	2016	26,86	26,99	0,13	0,02	456	2,6	0,57
P3	Açu	2018	26,81	27,02	0,21	0,02	664	4,2	0,63

P4	Açu	2012	40,7	42,07	1,37	0,02	139,67	27,4	19,62
P4	Açu	2013	41,13	42,22	1,09	0,02	458,87	21,8	4,75
P4	Açu	2014	41,29	42,75	1,46	0,02	571,57	29,2	5,11
P4	Açu	2015	41,51	43,41	1,9	0,02	310,68	38	12,23
P4	Açu	2016	41,84	43,89	2,05	0,02	392,05	41	10,46
P4	Açu	2017	42,12	44,49	2,37	0,02	418,06	47,4	11,34
P5	Açu	2012	11,63	12,72	1,09	0,02	280,6	21,8	7,77
P5	Açu	2013	12,64	14,44	1,8	0,02	333,5	36	10,79
P5	Açu	2017	14,42	15,91	1,49	0,02	579,3	29,8	5,14
P6	Açu	2017	29,49	30,78	1,29	0,02	282,3	25,8	9,14
		01/03/2012							
P7	Beberibe	a	79,46	84,36	4,9	0,1	1429	490	34,29
		01/03/2013							
P8	Beberibe	2012	23,22	25,25	2,03	0,1	1668	203	12,17
P8	Beberibe	2015	24,02	25,66	1,64	0,1	1560	164	10,51
P8	Beberibe	2016	23,61	25,51	1,9	0,1	1437	190	13,22
P8	Beberibe	2017	22,67	26,02	3,35	0,1	2049	335	16,35
P9	Beberibe	2012	41,19	48,64	7,45	0,1	1668	745	44,66
P9	Beberibe	2016	41,75	47,45	5,7	0,1	1437	570	39,67
P9	Beberibe	2017	38,74	43,94	5,2	0,1	2049	520	25,38
P9	Beberibe	2018	41,26	44,97	3,71	0,1	1683	371	22,04
P10	Beberibe	2012	0,8	1,59	0,79	0,1	1496	79	5,28
P10	Beberibe	2015	1,07	1,86	0,79	0,1	1522	79	5,19
P10	Beberibe	2016	1	1,65	0,65	0,1	1535	65	4,23
P10	Beberibe	2017	1,02	1,74	0,72	0,1	1887	72	3,82

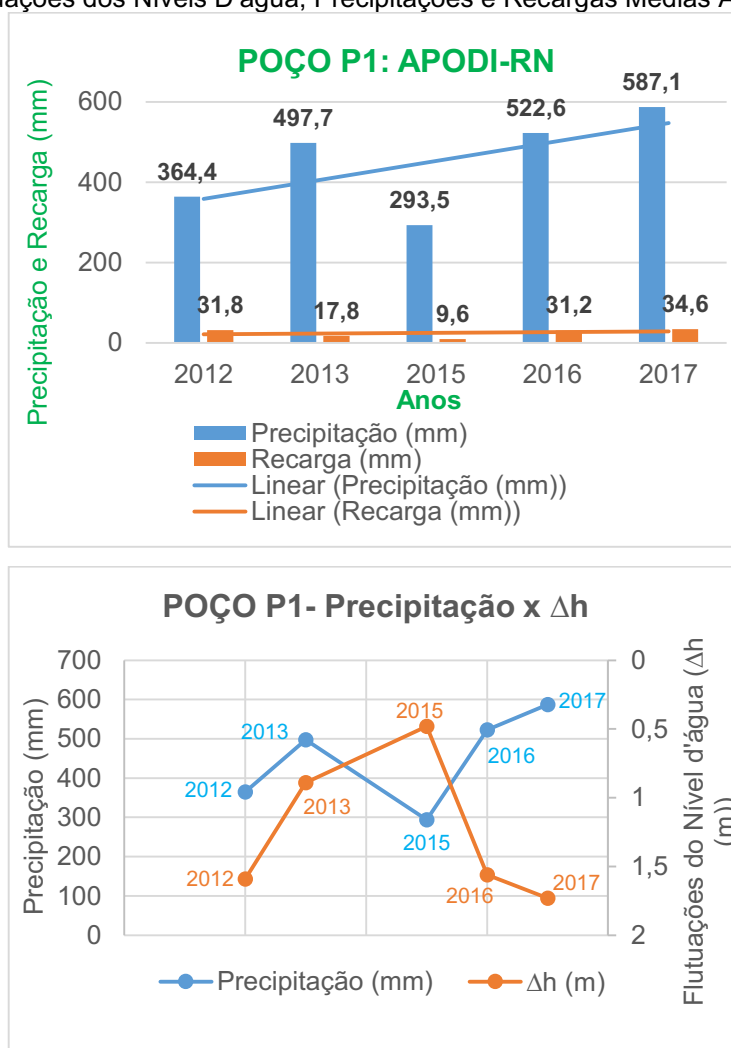
Fonte: O autor (2020)

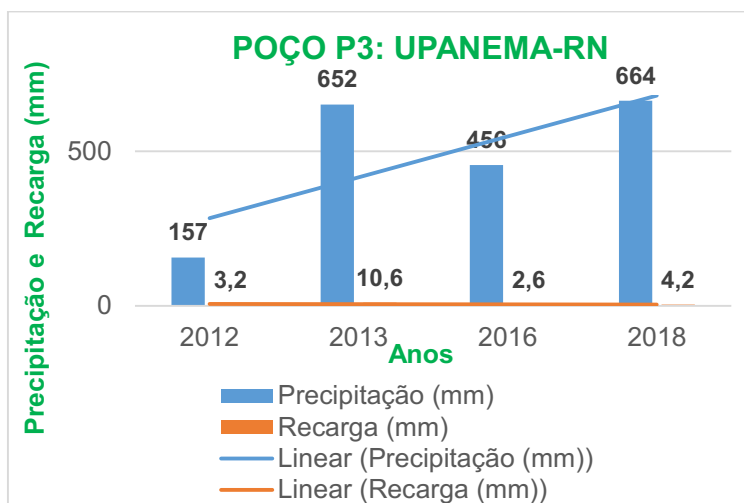
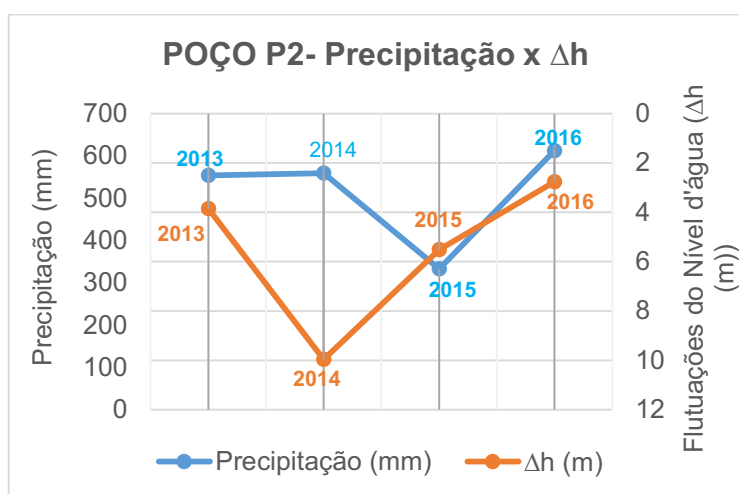
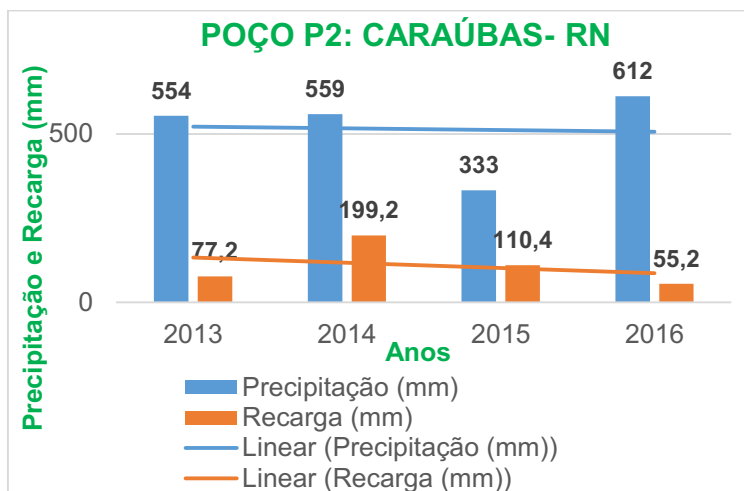
A média anual de precipitação e recarga para o Aquífero Açú foi de, respectivamente, **435,60 mm e 39,38 mm**, ou seja, em torno de **9,04 %** do total precipitado e o  $\Delta h$  médio anual no Aquífero Açú é de **1,97m** para os anos listados na tabela acima.

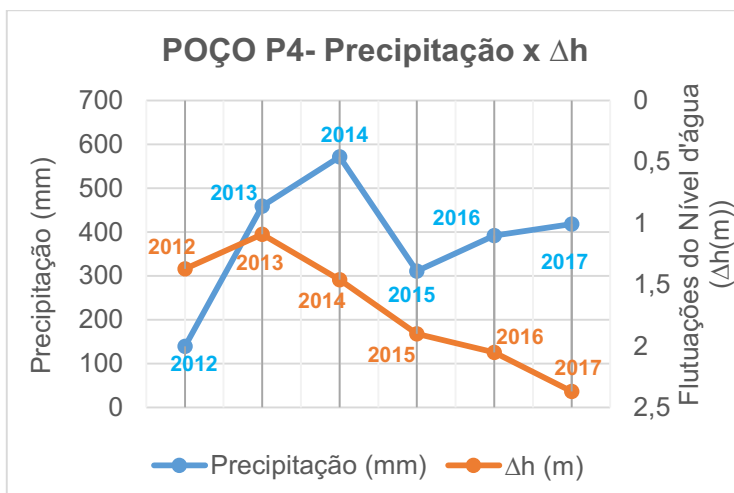
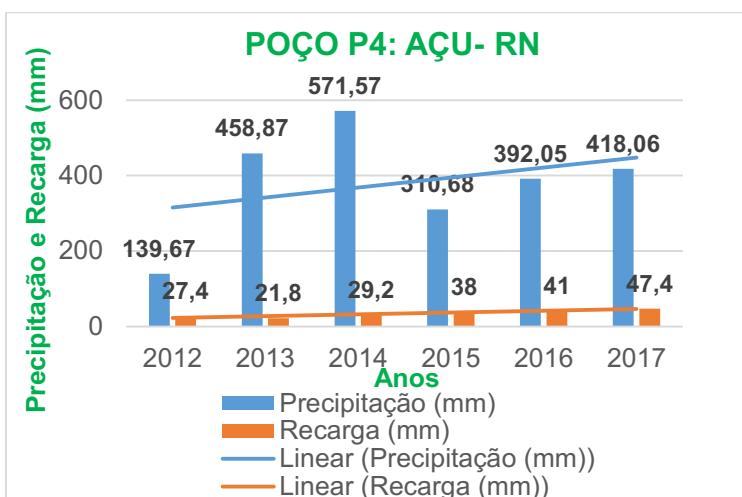
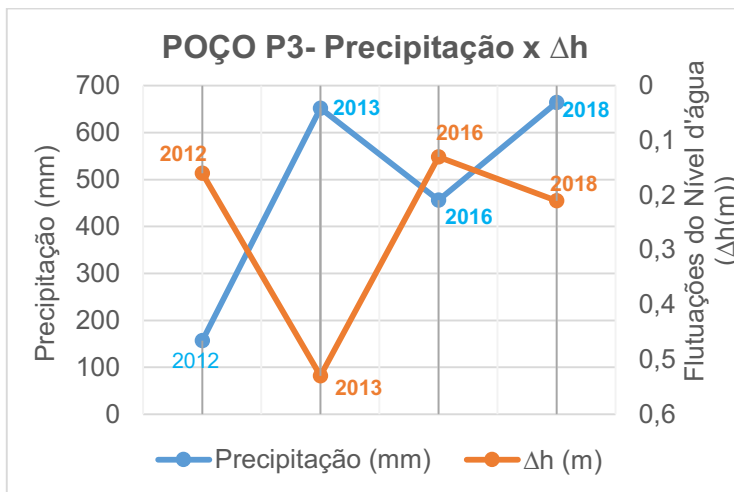
Para o Aquífero Beberibe a média anual das precipitações foi de **1626,60 mm** gerando uma média anual de recarga de **298,69 mm**, correspondendo percentualmente a **18,36 %** do total precipitado e o  $\Delta h$  médio anual, ou seja, a média das oscilações freáticas foi de **2,99 m** para os anos listados na tabela acima.

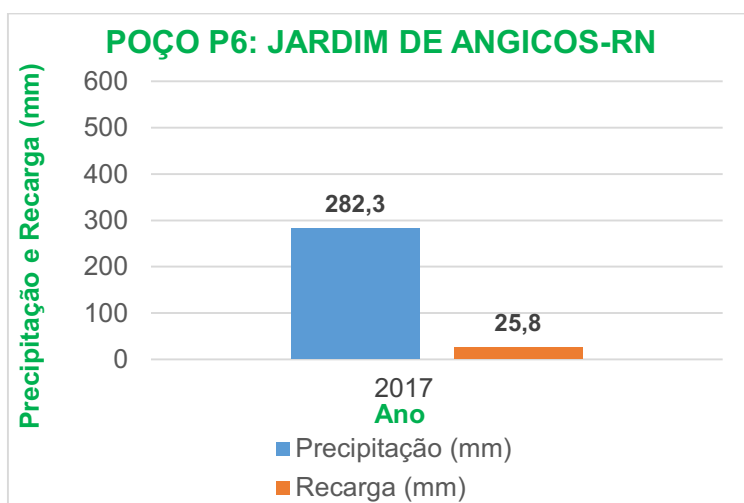
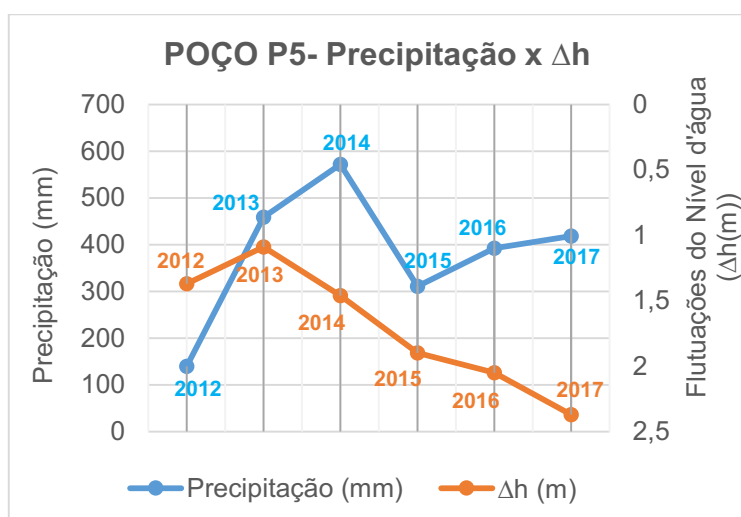
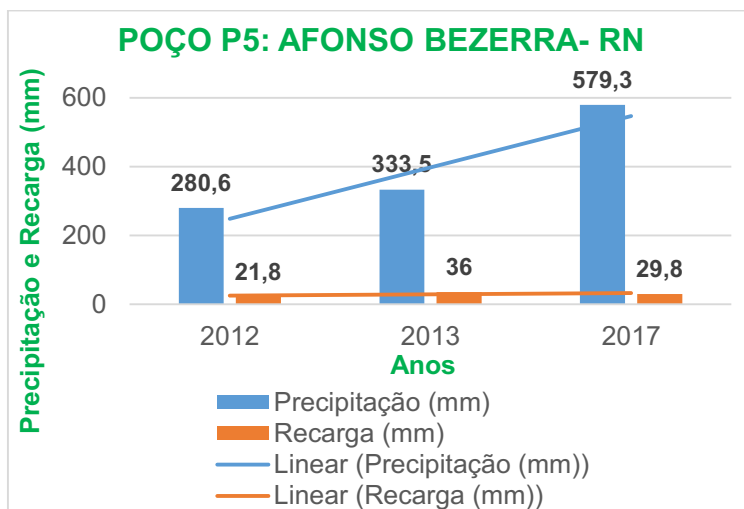
Graficamente, pôde-se demonstrar a relação da recarga com a precipitação, a correlação entre as flutuações do nível estático ( $\Delta h$ ) com as precipitações, e as médias anuais a partir da Figura 102 abaixo, para o Aquífero Açú, analisando o comportamento individual dos poços.

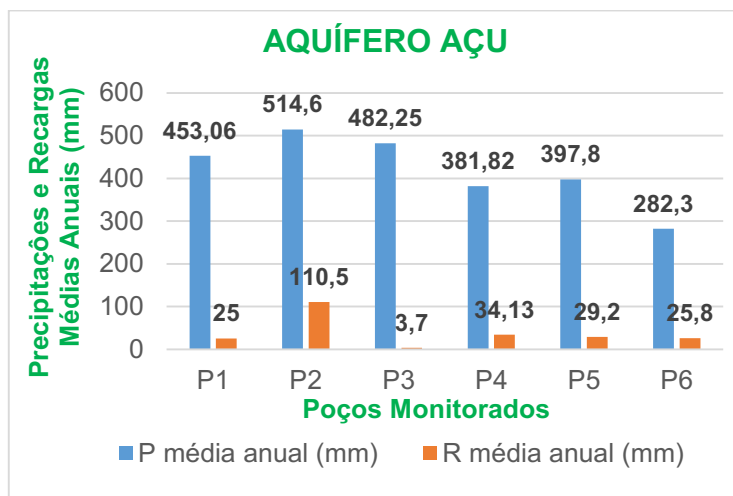
Figura 102- Relação para cada poço no Aquífero Açú entre Precipitação e Recarga; Precipitação e Flutuações dos Níveis D'água; Precipitações e Recargas Médias Anuais.











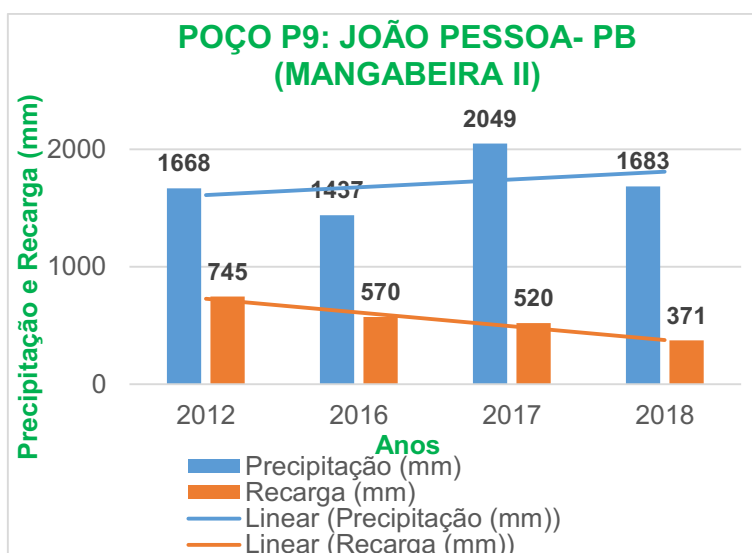
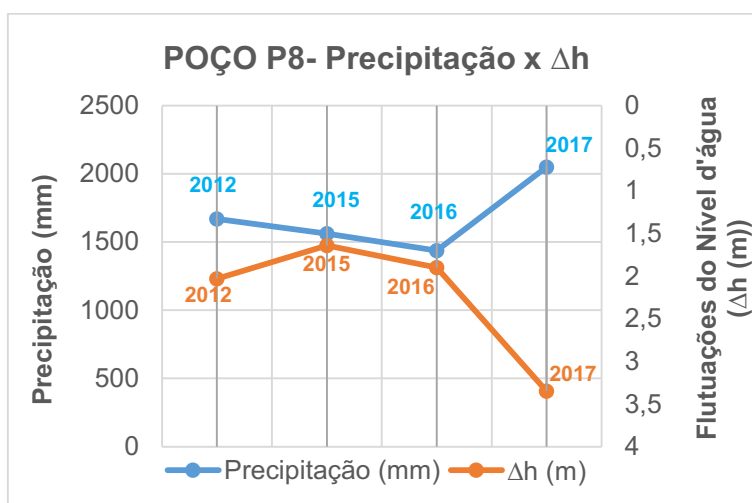
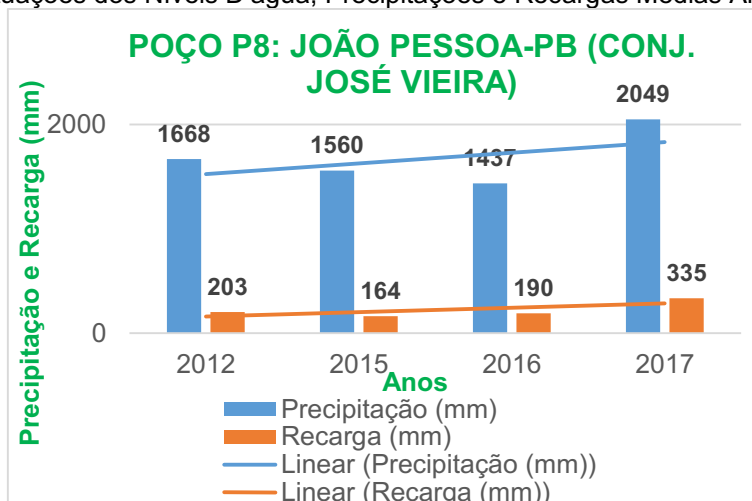
Fonte: O autor (2020).

Na Figura 102, nos gráficos de Precipitação X Flutuações do Nível D'água, pode-se perceber a seguinte tendência: quanto maior o valor da precipitação no ano, mais distante a linha de precipitação ficará da linha de flutuação de nível. Diante disso, pode-se afirmar que, em anos de maiores volumes de precipitação em uma região semiárida, a variação do nível d'água no aquífero é maior, pois tem-se um período anual de estiagem muito longo, compensado por uma rápida e volumosa recarga concentrada nos meses de fevereiro a maio nesses municípios. Por exemplo, em Apodi no ano de 2017, Afonso Bezerra em 2014 ou 2013 em Upanema, que depois de um baixo volume de chuvas em 2012, apresentou uma ascensão bem significativa no ano seguinte, refletindo no aumento também do  $\Delta h$  (m) e distanciamento entre as linhas de flutuação e precipitação.

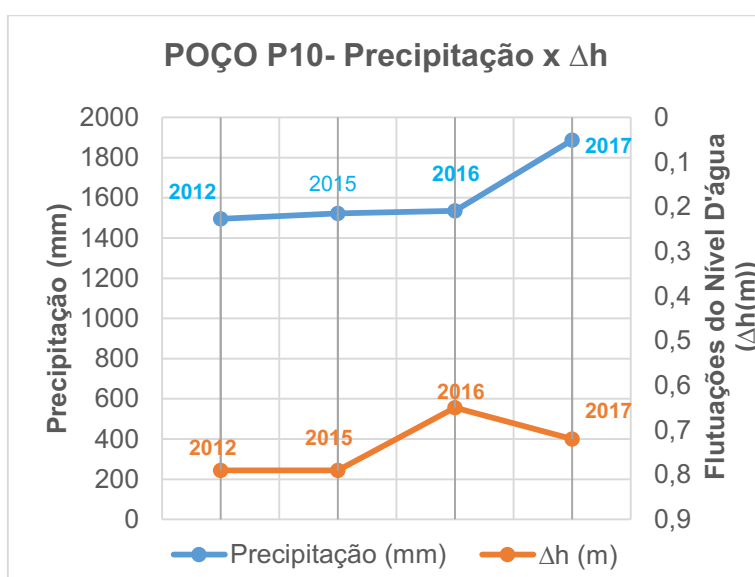
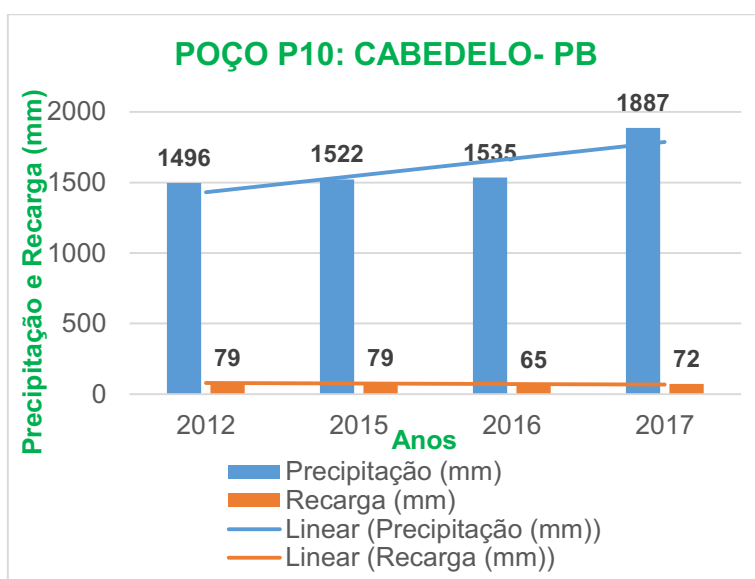
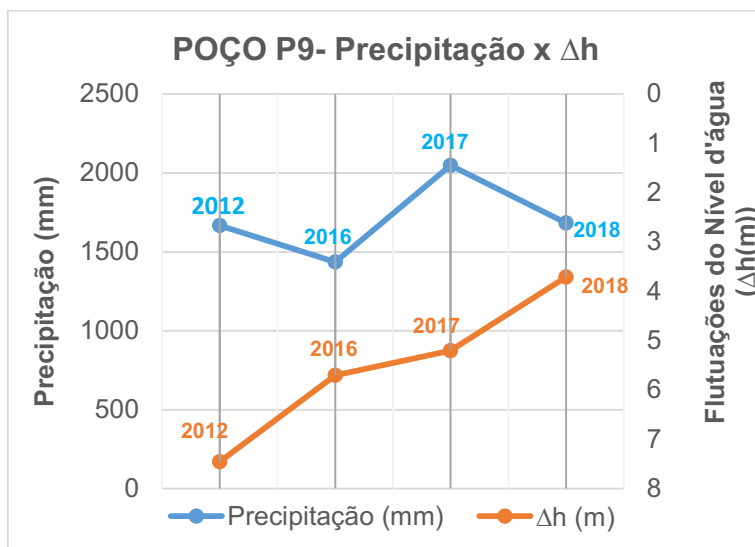
Ainda de acordo com a Figura 102, foi possível identificar uma fraca tendência de aumento da recarga em dois locais apenas, Açú e Apodi, ambos com tendência de precipitação crescente nos anos monitorados. Nas demais localidades, demonstrou-se uma estabilidade ou uma tímida queda na tendência de recarga, mesmo com a progressiva tendência de precipitação ou com estabilidade somente em Caraúbas. Mesmo assim, é Caraúbas o local com maior precipitação e recarga média anual entre os demais.

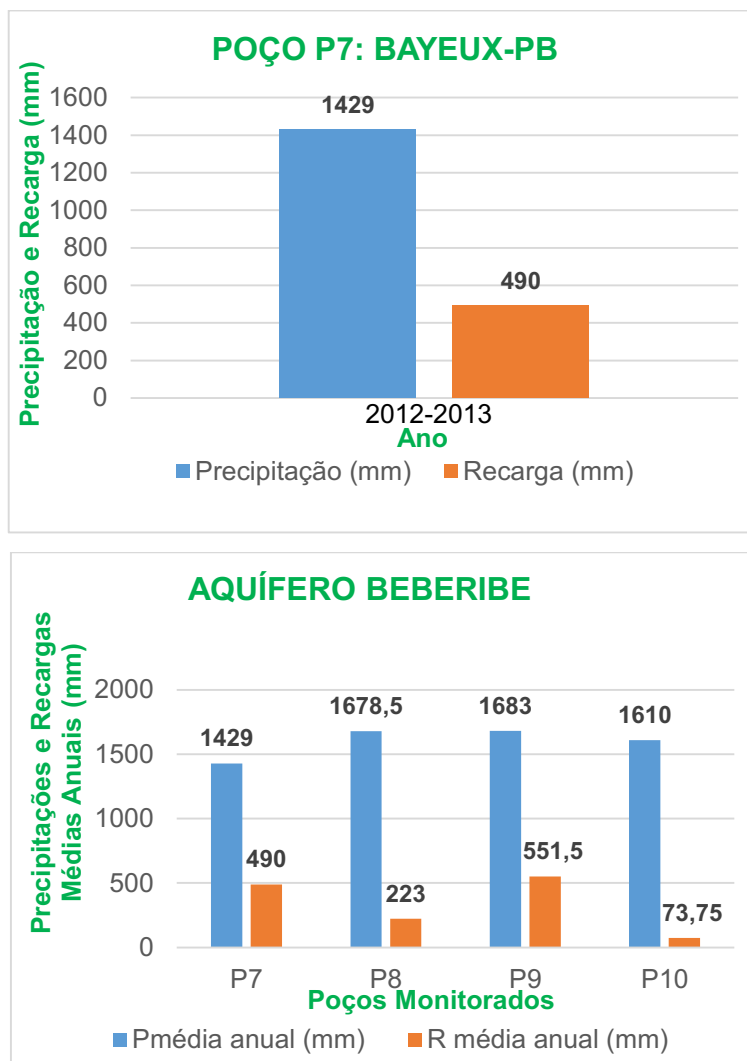
Para os poços 7, 8, 9 e 10 do Aquífero Beberibe, foi realizada a mesma demonstração gráfica, como pode ser visto na Figura 103, relacionando a precipitação com a recarga e as variações de nível d'água ao longo dos anos, a precipitação média e recarga média para todos os poços.

Figura 103- Relação para cada poço no Aquífero Beberibe entre Precipitação e Recarga; Precipitação e Flutuações dos Níveis D'água; Precipitações e Recargas Médias Anuais.









Fonte: O autor (2020).

Observando a Figura 103, nos gráficos de Precipitação X Flutuações do Nível d'água, tem-se um comportamento semelhante ao visto para os poços do RN mesmo sendo uma região litorânea com chuvas mais distribuídas ao longo do ano, ou seja, em anos onde o aumento da precipitação se destaca em relação ao anterior, a variação do  $\Delta h$  segue o mesmo crescimento, as flutuações aumentam e a sua linha no gráfico se afasta ainda mais da linha de precipitação.

Ainda na Figura 103, durante os anos monitorados no município de João Pessoa, a recarga se apresentou de forma bastante distinta nos locais, demonstrando uma tendência de crescimento no Conjunto José Vieira Diniz e de diminuição em Mangabeira II, apesar do aumento das chuvas. Porém, é o poço P9 que mesmo com uma propensão desfavorável à recarga durante os anos de 2012, 2016, 2017 e 2018 é o local com maior valor de recarga entre os quatro estudados na Paraíba.

## 6.4 Volume retirado por ano nos aquíferos Beberibe- PB e Açú- RN

### 6.4.1 Aquífero Beberibe- PB

As Tabelas 18, 19 e 20 a seguir, trazem os totais anuais em metros cúbicos (m<sup>3</sup>) calculados a partir do somatório das vazões anuais de cada poço, considerando a proporcionalidade do volume anual retirado com base nas datas de expiração das outorgas para todos os municípios envolvidos nesse estudo sobre o aquífero Beberibe nos limites da Paraíba.

Tabela 18- Volumes totais retirados anuais de Bayeux- PB

<b>Bayeux</b>	
<b>Ano</b>	<b>Total Anual (m<sup>3</sup>)</b>
2011	224
2012	5120
2014	7300
2015	7300
2016	88764
2017	31450

Fonte: O autor (2020).

Tabela 19- Volumes totais retirados anuais de Cabedelo- PB

<b>Cabedelo</b>	
<b>Ano</b>	<b>Total Anual (m<sup>3</sup>)</b>
2011	454
2012	3421
2013	534765
2014	64520
2015	49198
2016	127538
2017	112395

Fonte: O autor (2020).

Tabela 20- Volumes totais retirados anuais de João Pessoa- PB

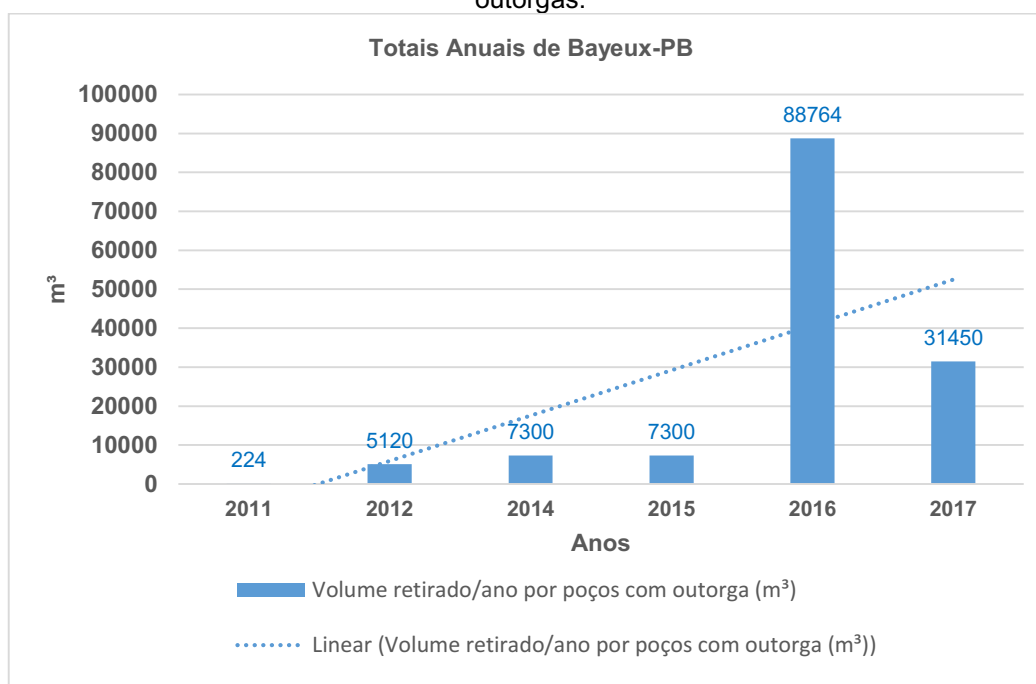
<b>João Pessoa</b>	
<b>Ano</b>	<b>Total Anual (m<sup>3</sup>)</b>
2010	538500
2011	317027

2012	578445
2013	877308
2014	3708243
2015	927796
2016	6075037
2017	2869042

Fonte: O autor (2020).

Conforme a Tabela 18, gerou-se o Gráfico 11 abaixo, mostrando os totais anuais do volume explorado a partir de poços com outorgas no município de Bayeux-PB nos anos de 2011, 2012, 2014, 2015, 2016 e 2017.

Gráfico 11- Volume total explorado/ano de água subterrânea em Bayeux- PB a partir de poços com outorgas.

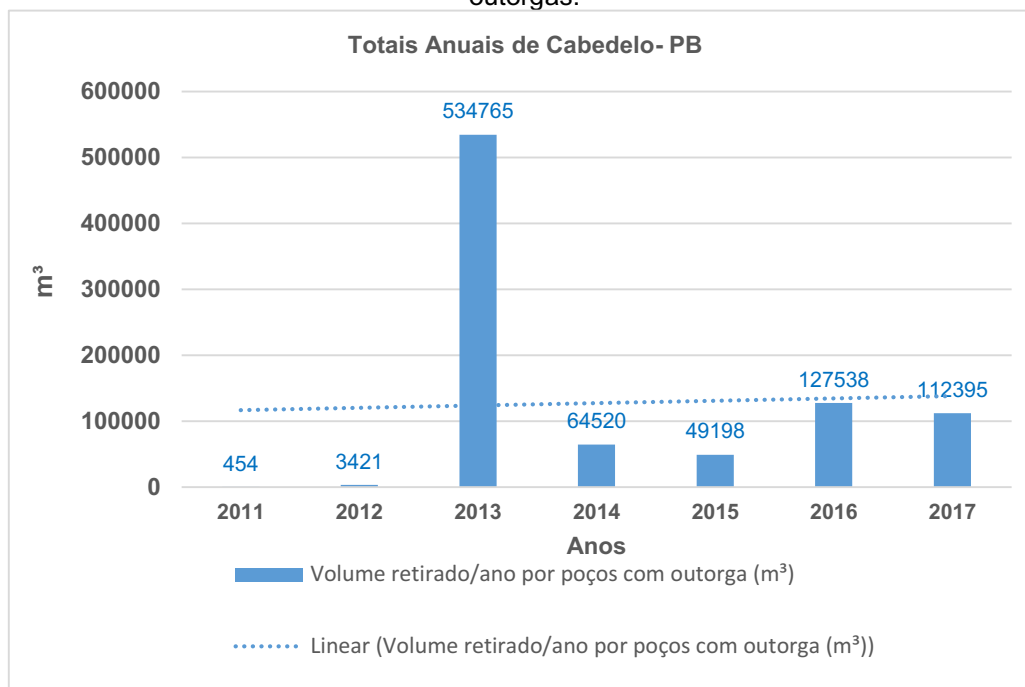


Fonte: O autor (2020).

Os valores revelaram uma tendência crescente na retirada do volume subterrâneo ao longo dos anos, com destaque para o ano de 2016, superando todos os outros anos com ampla diferença de crescimento tanto no número de outorgas quanto no volume de total das vazões.

A seguir, Gráfico 12 reflete os dados da Tabela 19, sobre os volumes totais anuais retirados de poços com outorgas vigentes nos anos de 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016 e 2017 no município de Cabedelo- PB.

Gráfico 12- Volume total explorado/ano de água subterrânea em Cabedelo- PB a partir de poços com outorgas.

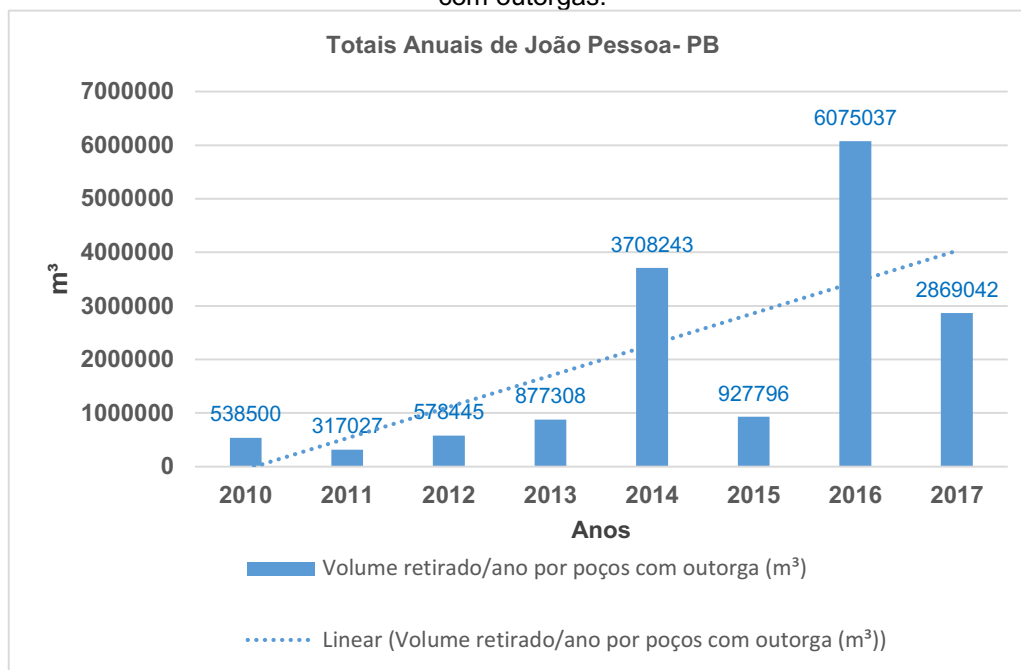


Fonte: O autor (2020).

Diferentemente de Bayeux, o ano com maior volume explorado em Cabedelo- PB foi 2013, também com uma diferença extremamente considerável em relação aos outros anos. Porém, existe uma tímida tendência de aumento da exploração para os próximos anos considerando todo o conjunto.

Os valores da Tabela 20, puderam ser representados no Gráfico 13, para os volumes totais anuais retirados de poços com outorgas vigentes nos anos de 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016 e 2017 no município de João Pessoa- PB.

Gráfico 13- Volume total explorado/ano de água subterrânea em João Pessoa- PB a partir de poços com outorgas.



Fonte: O autor (2020).

Para João Pessoa os anos com maiores volumes retirados foram 2014, 2016 e 2017, sendo 2016 o maior valor. Existe uma tendência de crescimento considerável da exploração de água subterrânea, seja no número de outorgas ou nas vazões.

Com base nas Tabelas 18, 19 e 20, foram calculados os volumes retirados no aquífero Beberibe como mostra a Tabela 21, através do somatório de cada ano de cada município nos anos de 2010 a 2017.

Tabela 21- Volumes retirados por ano no aquífero Beberibe- PB

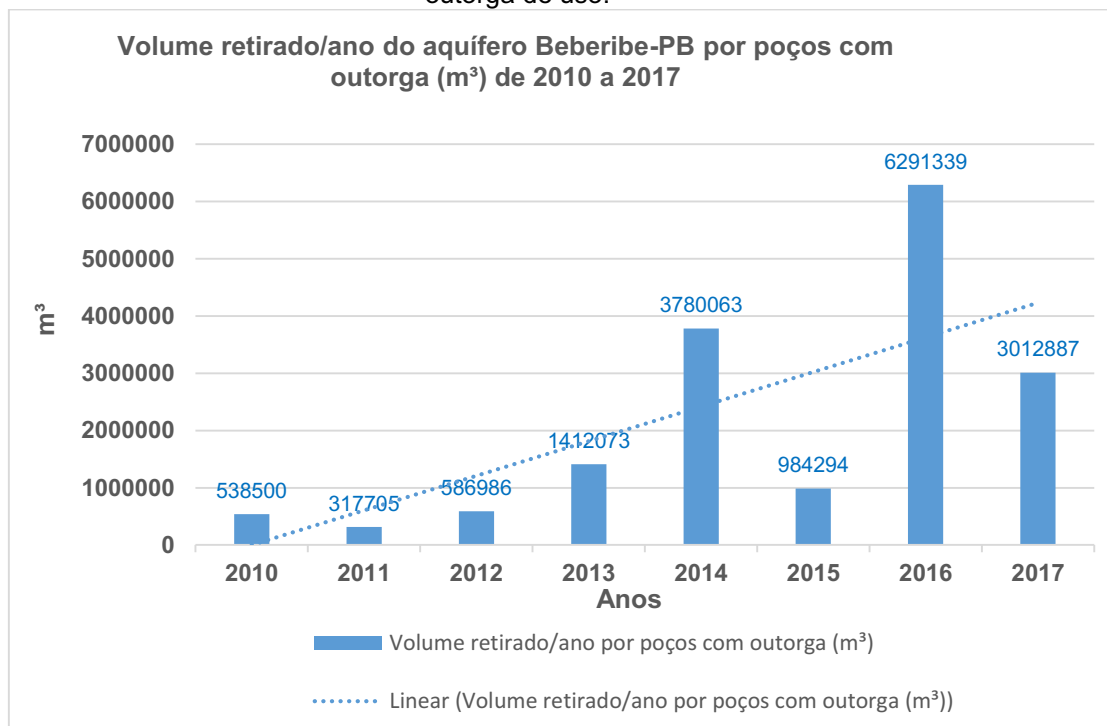
Ano	Totais anuais finais do Aquífero Beberibe-PB (m³)
2010	538500
2011	317705
2012	586986
2013	1412073
2014	3780063
2015	984294
2016	6291339
2017	3012887

Fonte: O autor (2020).

Os dados mostrados na Tabela 21 também podem ser analisados na forma do Gráfico 14, demonstrando que existe uma forte tendência de aumento da água retirada

no Beberibe- PB, além de 2016 ter sido o ano com o maior volume retirado por poços outorgados.

Gráfico 14- Volume retirado do aquífero Beberibe- PB entre os anos de 2010 a 2017 por poços com outorga de uso.



Fonte: O autor (2020).

#### 6.4.2 Aquífero Açú- RN

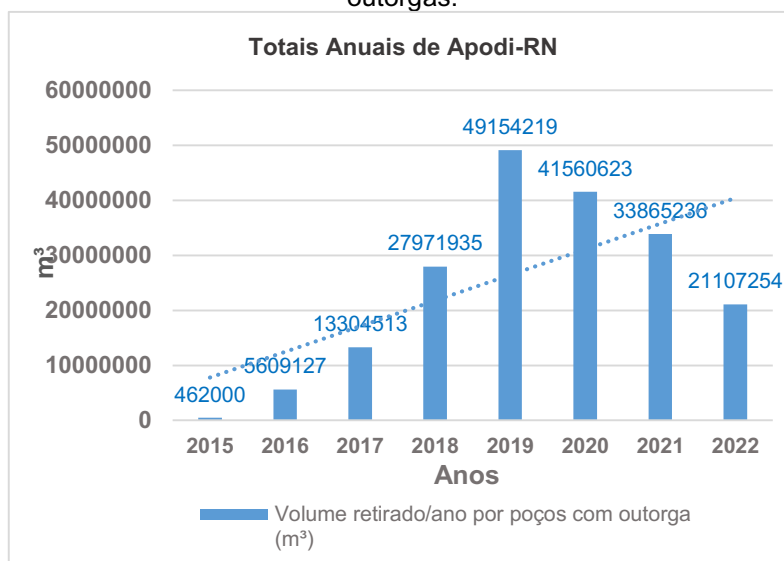
Abaixo, as tabelas 22, 23, 24, 25 e 26 juntas dos seus respectivos gráficos 15, 16, 17, 18 e 19, mostram os totais anuais para os municípios de Apodi, Upanema, Caraúbas, Açú e Afonso Bezerra:

Tabela 22- Volumes totais retirados anuais de Apodi- RN

<b>APODI- RN</b>	
<b>TOTAIS ANUAIS (m³)</b>	
2015	462000
2016	5609127
2017	13304513
2018	27971935
2019	49154219
2020	41560623
2021	33865236
2022	21107254

Fonte: O autor (2020).

Gráfico 15- Volume total explorado/ano de água subterrânea em Apodi- RN a partir de poços com outorgas.



Fonte: O autor (2020).

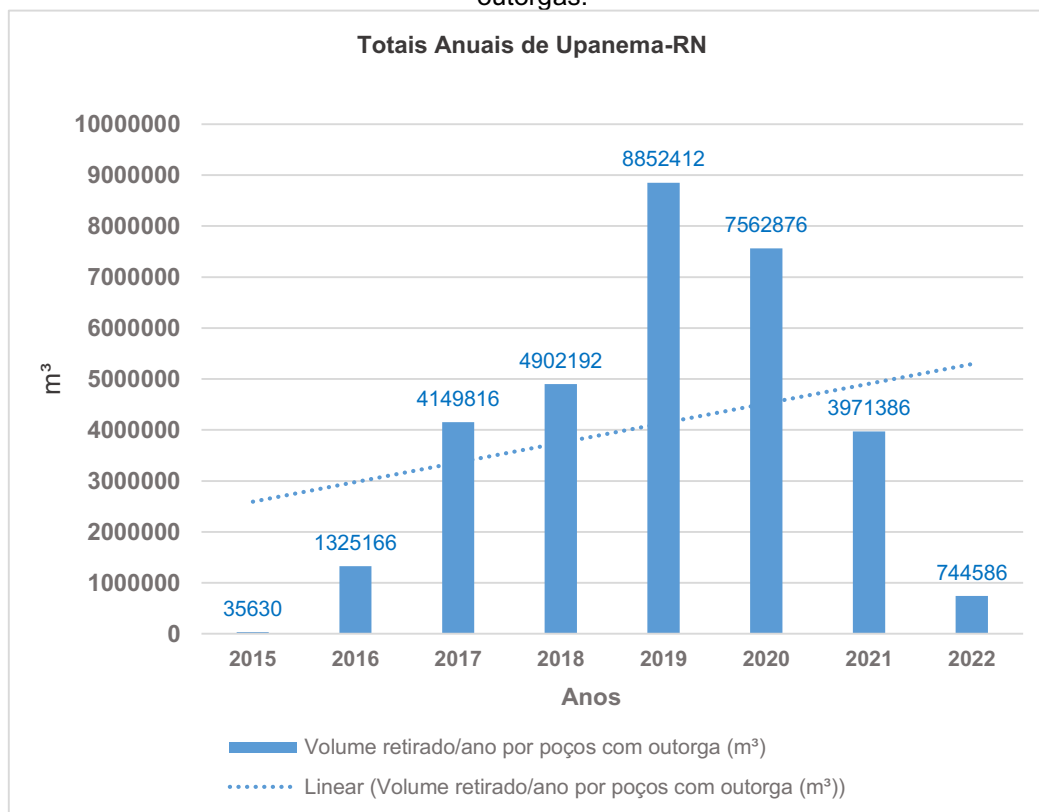
Tabela 23- Volumes totais retirados anuais de Upanema- RN

<b>UPANEMA- RN</b>	
<b>TOTAIS ANUAIS (m³)</b>	
2015	35630
2016	1325166
2017	4149816
2018	4902192
2019	8852412
2020	7562876
2021	3971386
2022	744586

Fonte: O autor (2020).



Gráfico 16- Volume total explorado/ano de água subterrânea em Upanema-RN a partir de poços com outorgas.



Fonte: O autor (2020).

Tabela 24- Volumes totais retirados anuais de Caraúbas- RN

<b>CARAÚBAS- RN</b>	
<b>TOTAIS ANUAIS (m³)</b>	
2016	2094378
2017	3512852
2018	4145168
2019	4197062
2020	2102683
2021	684210
2022	51894

Fonte: O autor (2020).

Gráfico 17- Volume total explorado/ano de água subterrânea em Caraúbas-RN a partir de poços com outorgas.

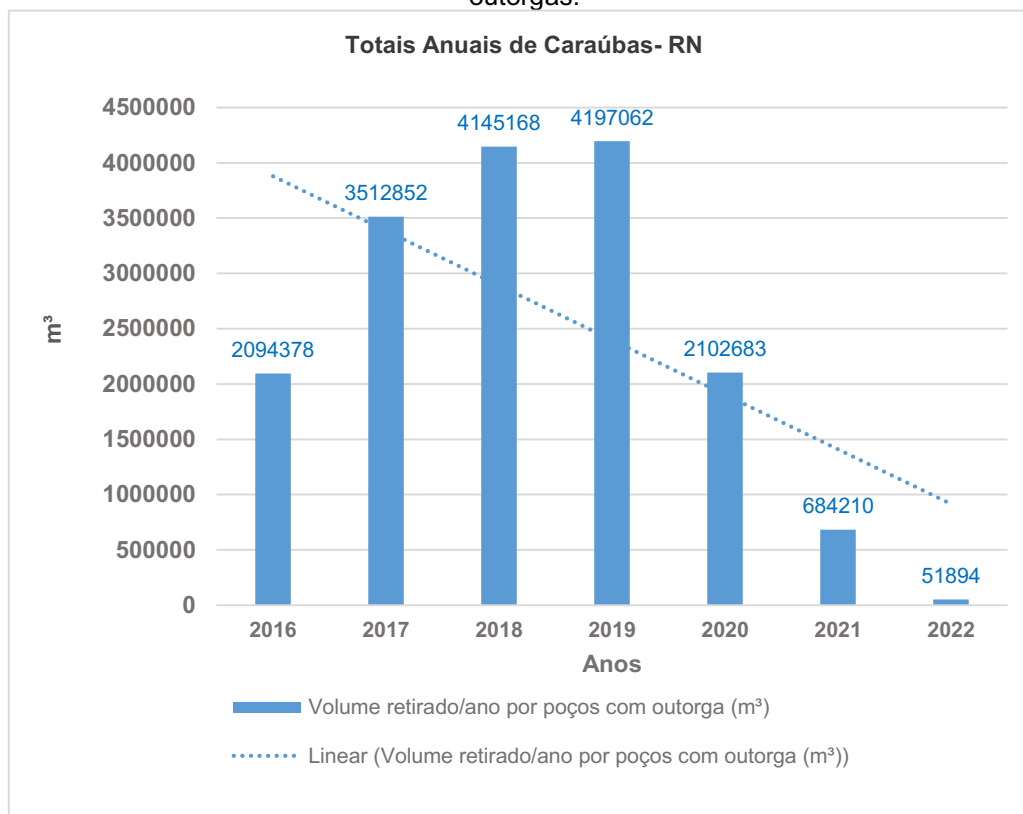


Tabela 25- Volumes totais retirados anuais de Açu- RN

<b>AÇU- RN</b>	
<b>TOTAIS ANUAIS (m³)</b>	
2015	79935
2016	834217
2017	859305
2018	859305
2019	779370
2020	25088

Fonte: O autor (2020).

Gráfico 18- Volume total explorado/ano de água subterrânea em Açu- RN a partir de poços com outorgas.

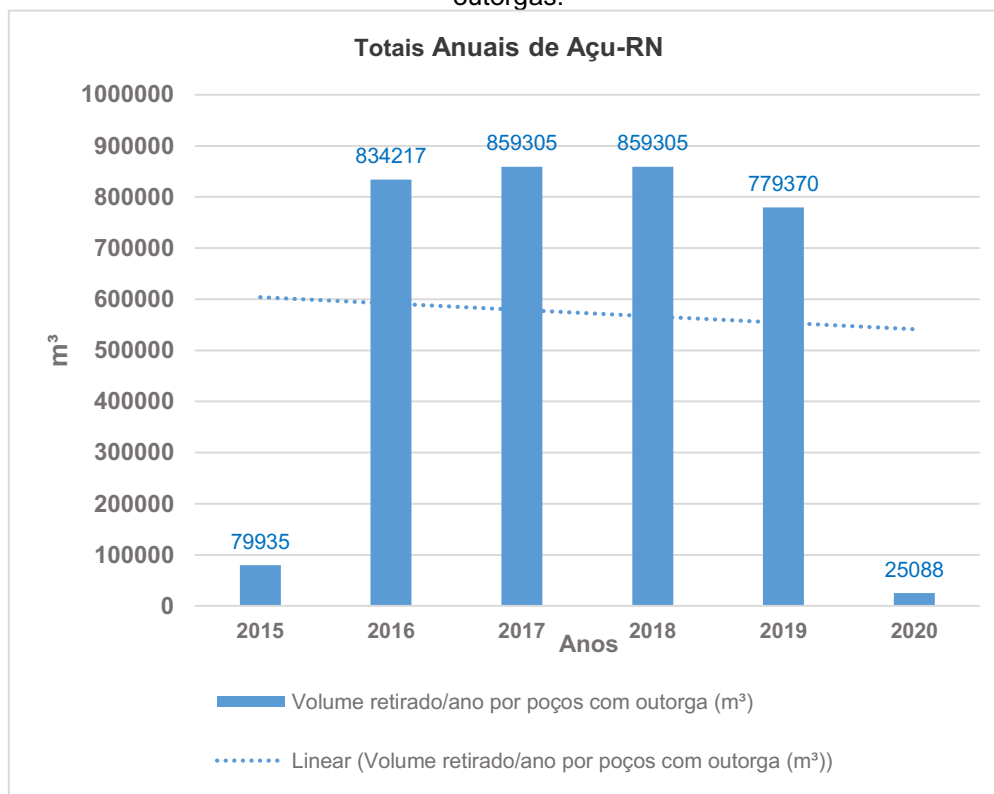
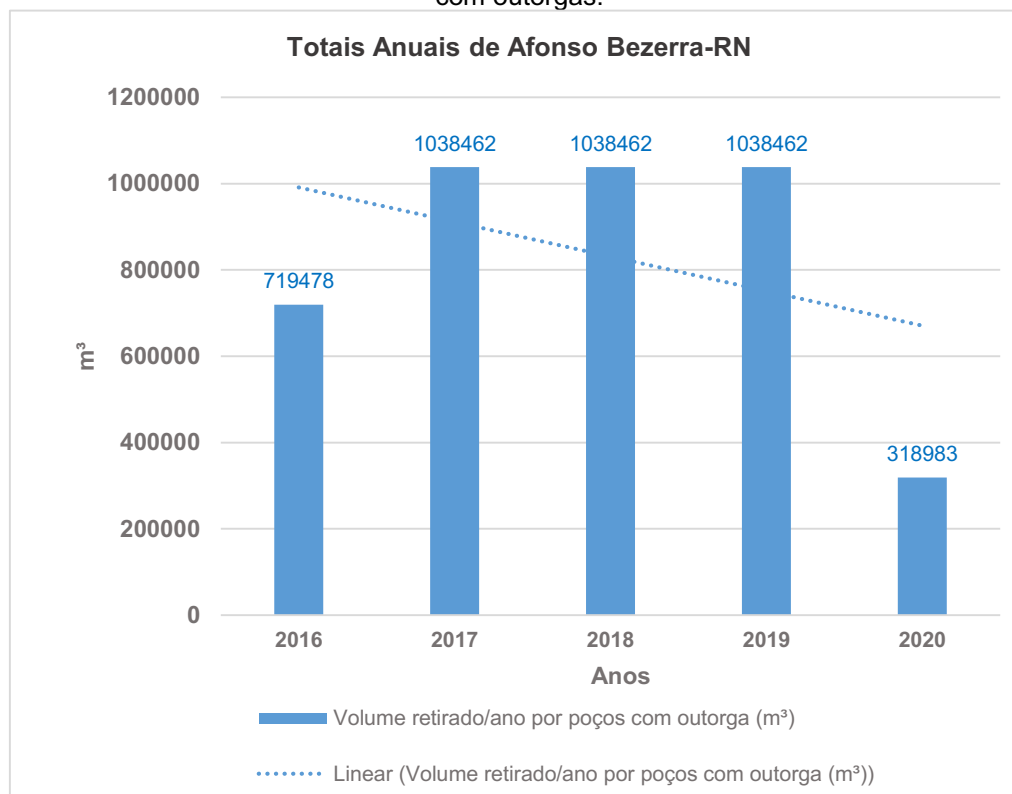


Tabela 26- Volumes totais retirados anuais de Afonso Bezerra- RN

<b>AFONSO BEZERRA- RN</b>	
<b>TOTAIS ANUAIS (m³)</b>	
2016	719478
2017	1038462
2018	1038462
2019	1038462
2020	318983

Fonte: O autor (2020).

Gráfico 19- Volume total explorado/ano de água subterrânea em Afonso Bezerra-RN a partir de poços com outorgas.



Fonte: O autor (2020).

Em Apodi e Upanema, os anos de maior retirada de água foram 2019 e 2020, assim como 2015 foi o de menor. Em Caraúbas, os anos com maior volume foram 2018 e 2019. Açu e Afonso Bezerra tiveram repetição de valores para os maiores volumes explorados, isso ocorreu devido às datas de emissão das outorgas estarem iguais, terem sido despachadas no mesmo dia como em Açu ou por todas as outorgas emitidas pertencerem a um único ano (apenas 2016), que é o caso de Afonso Bezerra.

Quanto à tendência ao longo dos anos, apresentaram aumento do volume retirado apenas Apodi e Upanema, os outros municípios seguiram o oposto. Um fato importante é, que dentre os dados fornecidos, as datas de emissão das outorgas foram até 2018, conseqüentemente, é esperada uma tendência de diminuição do volume explorado para os últimos anos, pois considerando-se, por exemplo, uma validade de cinco anos, os valores explorados em 2021 e 2022 não levariam em conta os dados de vazão das outorgas emitidas em 2015 e 2016.

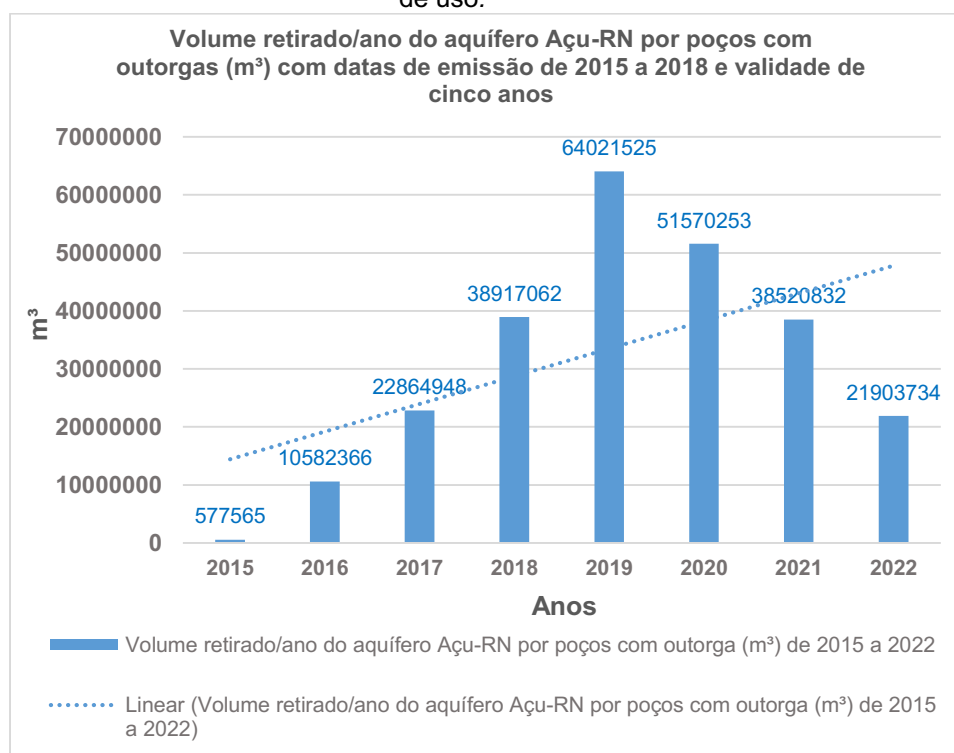
Com a representação dos volumes totais de cada município para cada ano e através do somatório, fez-se a Tabela 27 e demonstrou-se no Gráfico 20 os volumes retirados por ano no Aquífero Açu.

Tabela 27- Volumes retirados por ano no aquífero Açu

Ano	Totais anuais finais do Aquífero Açu- RN (m <sup>3</sup> )
2015	577565
2016	10582366
2017	22864948
2018	38917062
2019	64021525
2020	51570253
2021	38520832
2022	21903734

Fonte: O autor (2020).

Gráfico 20- Volume retirado do aquífero Açu- RN entre os anos de 2015 a 2022 por poços com outorga de uso.



Fonte: O autor (2020).

No geral, considerando-se o aquífero, os maiores volumes retirados ocorreram nos anos de 2018 a 2020, com pico em 2019, mantendo o que foi revelado por município. A tendência mostrou-se favorável para o crescimento da exploração, superando as baixas causadas pela ausência de dados de outorgas emitidas a partir de 2019.

## CONCLUSÕES

Diante dos resultados apresentados mesmo com a limitação de dados, alcançou-se os objetivos esperados. Todas as ferramentas adotadas nesta pesquisa demonstraram uma boa eficácia no que tange aos métodos de apoio à gestão dos recursos hídricos. Sendo importante ainda destacar que, os valores gerados em cada método estão correlacionados, ou seja, existe coerência, conexão entre eles, podendo-se citar como exemplo a relação direta entre as variações de nível analisadas no HARTT e os gráficos gerados pelo Excel, a respeito do tempo de defasagem esperado.

Nas análises feitas com o HARTT, todos os dez poços apresentaram um bom ajuste, caracterizando de forma satisfatória a influência preponderante das chuvas sobre as oscilações de profundidade, e os hidrogramas mostraram as importantes previsões de tendência do nível estático para cada localidade, sendo elas de elevação ou de rebaixamento ao longo dos anos.

Comparando os dois aquíferos com base nos parâmetros gerados pelo HARTT, as chuvas no aquífero Açu - RN têm uma maior intervenção nas variações do nível d'água, com um  $R^2$  médio de aproximadamente 89% contra os quase 79% do aquífero Beberibe - PB.

De um modo geral, os níveis estáticos dos poços no aquífero Açu respondem aos eventos de recarga entre 1 e 2 meses após o ápice das chuvas. Observou-se também um rebaixamento contínuo desses níveis durante o período monitorado, possivelmente em resposta a exploração de águas. No Beberibe, além da maioria dos pontos de observação terem apresentado uma linear de rebaixamento após a estação chuvosa, o atraso variou de menos de um mês até 1 mês, possivelmente por fatores como a profundidade do lençol, falta de dados de nível em um ponto e a geologia.

Na estimativa de recarga, pelo método de variação do nível de água, o aquífero Beberibe apresentou uma taxa da ordem de 18% do volume médio anual precipitado e o aquífero Açu de 9%.

Considerando o volume retirado dos aquíferos apenas pelos poços com outorgas, para o Beberibe, cuja a validade da outorga é de um ano, 2016 foi o de maior exploração. Já para o aquífero Açu, onde as outorgas têm validade de 5 anos, o ano de 2019 foi o de maior volume explorado.

De modo geral, pode-se concluir que a estimativa feita para o volume retirado dos aquíferos apresenta uma tendência de aumento ao longo dos anos e, juntamente com a ampliação da profundidade dos níveis na maioria dos poços monitorados, é um indicativo que chama a atenção para a tomada de decisão por parte de uma gestão que desempenhe um papel sustentável desses recursos naturais. Notadamente, porque também foi observado um rebaixamento contínuo dos níveis d'água nos poços estudados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AESA. **Ano hidrológico: 2008-2009**. Relatório Anual sobre a Situação dos Recursos Hídricos no Estado da Paraíba. João Pessoa-PB, 2009.

AESA. **Licença e Outorga**. 2020. Disponível: [http://siegrh.aesa.pb.gov.br:8080/aesa-relatorio/paginas/publico/dashboard.xhtml?dashboard\\_id=23](http://siegrh.aesa.pb.gov.br:8080/aesa-relatorio/paginas/publico/dashboard.xhtml?dashboard_id=23). Acesso em 20 ago. 2020.

ALI, R., EMELYANOVA, I.; DAWES, W.; HODGSON, G.; MCFARLANE, D. J.; VARMA, S.; TURNER, J. Groundwater methods used in the South-west western Australia sustainable Yields Project. A report to the Australian Government from the CSIRO South-west Western Australia Sustainable Yields Project. CSIRO **Water for Healthy Country National Research Flagship**, p. 116, 2010.

ALMEIDA, F. F. M., HASUI, Y., BRITO NEVES, B. B., FUCK, R. A. Províncias Estruturais Brasileiras. In: Simpósio de Geologia do Nordeste, 8, 1977. **Anais [...]**. Campina Grande, 363-391.

ANA. **Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. Brasília, 2005. Disponível: [http://arquivos.ana.gov.br/planejamento/planos/pnrh/VF%20Qualidade e%20AguasSubterraneas.pdf](http://arquivos.ana.gov.br/planejamento/planos/pnrh/VF%20Qualidade%20AguasSubterraneas.pdf). Acesso em 12 jul. 2019.

APOLUCENO, D. M. **Faciologia e Sistemas Depositionais das Formações Açu e Jandaíra, Cretáceo Superior da Bacia Potiguar, na região de Apodi, RN**. (Relatório de Graduação), Departamento de Geologia, UFRN, Natal/RN, 139 f., 1995.

ARAGÃO, J. O. R. O impacto do ENOS e do Dipolo do Atlântico no Nordeste do Brasil. **Boll. Inst. Fr. Etudes Andines**, v. 27, n.3, p. 839-844, 1998.

ARAGÃO, J. O. R. **Um Estudo da Estrutura das Perturbações Sinóticas no Nordeste do Brasil**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1975. 51p.

ARARIPE, P. T.; FEIJÓ, F. P. Bacia Potiguar. **Boletim Geociências PETROBRAS**, Rio de Janeiro, v. 8 n. 1, p. 127-141, 1994.

BARBOSA, J. A. **Evolução da Bacia da Paraíba durante o Maastrichtiano-Paleoceno: formações Gramame e Maria Farinha, NE do Brasil**. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, 230 f., 2004.

BARBOSA, J. A.; LIMA FILHO, M. Os Domínios da Bacia da Paraíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS, 3., 2005. **Anais [...]** Salvador: [s.l.].

BARROS, A. H. C.; ARAÚJO FILHO, J. C. de; SILVA, A. B.; SANTIAGO, G. A. C. F. **Climatologia do Estado da Paraíba**. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento n. 211**. Recife: Embrapa Solos, 2012. 32p.

BERTANI, R. T.; COSTA, I. G.; MATOS, R. M. D. Evolução Tectono-Sedimentar, Estilo Estrutural e Habitat do Petróleo na Bacia Potiguar. In: **PETROBRAS** (ed.). Origem e Evolução de Bacias Sedimentares. Rio de Janeiro, 1990, p. 291-310.



BEURLEN, K. Estratigrafia da Faixa Sedimentar Costeira Recife-João Pessoa. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, v. 16, n. 1, p. 43-56, 1967a.

BRITO NEVES, B. B.; FEITOSA, E. C.; BEZERRA, F. H. A Sub-Bacia Alhandra (Sul-Sudeste da Paraíba) revisitada: Contribuição de Novos Dados Geológicos e Geofísicos. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 21, 2005, **Anais [...]**. Recife: SBG, 2005, p. 204-207.

CARVALHO JÚNIOR, E. R. **Caracterização Hidrogeológica da Região Oeste de Apodi-RN**. (Relatório de Graduação Departamento de Geologia), UFRN, Natal/RN, 85p. 1999.

CLIMATE DATE.ORG. **Clima Afonso Bezerra**. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/rio-grande-do-norte/afonso-bezerra-42641/>. Acesso em 25 jun. 2019.

CLIMATE DATE.ORG. **Clima Apodi**. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/rio-grande-do-norte/apodi-42560/>. Acesso em 25 jun. 2019.

CLIMATE DATE.ORG. **Clima Assu**. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/rio-grande-do-norte/assu-42628/>. Acesso em 25 jun. 2019.

CLIMATE DATE.ORG. **Clima Bayeux**. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/paraiba/joao-pessoa-4973/>. Acesso em 09 jul. 2019.

CLIMATE DATE.ORG. **Clima Cabedelo**. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/paraiba/joao-pessoa-4953/>. Acesso em 09 jul. 2019.

CLIMATE DATE.ORG. **Clima Caraúbas**. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/rio-grande-do-norte/caraubas-42636/>. Acesso em 25 jun. 2019.

CLIMATE DATE.ORG. **Clima Jardim de Angicos**. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/rio-grande-do-norte/jardim-de-angicos-42641/>. Acesso em 25 jun. 2019.

CLIMATE DATE.ORG. **Clima João Pessoa**. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/paraiba/joao-pessoa-4983/>. Acesso em 09 jul. 2019.

CLIMATE DATE.ORG. **Clima Upanema**. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/rio-grande-do-norte/upanema-42633/>. Acesso em 25 jun. 2019.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS/ CPRM. **Diagnóstico do município de Bayeux**. Recife, 2005. Disponível em: [http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/16012/Rel\\_Bayeux.pdf?sequence=1](http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/16012/Rel_Bayeux.pdf?sequence=1). Acesso em: 09 jul. 2019.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS/ CPRM. **Diagnóstico do município de Cabedelo**. Recife, 2005. Disponível em: [http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/16012/Rel\\_Cabedelo.pdf?sequence=1](http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/16012/Rel_Cabedelo.pdf?sequence=1). Acesso em: 09 jul. 2019.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS/ CPRM. **Diagnóstico do município de João Pessoa.** Recife, 2005. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e-Publicacoes/Paraiba---Atlas-Digital-dos-Recursos-Hidricos-Subterraneos-4610.html>. Acesso em: 09 jul. 2019.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS/ CPRM. **Relatório Diagnóstico Aquífero Açú Bacia Sedimentar Potiguar**, v. 1, 23 p. 2012.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS/ CPRM. **SIAGAS E RIMAS.** Disponível em: <http://rimasweb.cprm.gov.br/layout/detalhe.php?ponto=2600041031>. Acesso em 26 jun. 2019.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS/ CPRM. **SIAGAS E RIMAS.** Disponível em: <http://rimasweb.cprm.gov.br/layout/detalhe.php?ponto=2600049469> . Acesso em 26 jun. 2019.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS/ CPRM. **SIAGAS E RIMAS.** Disponível em: <http://rimasweb.cprm.gov.br/layout/detalhe.php?ponto=2600039600>. Acesso em 26 jun. 2019.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS/ CPRM. **SIAGAS E RIMAS.** Disponível em: <http://rimasweb.cprm.gov.br/layout/detalhe.php?ponto=2600039601>. Acesso em 26 jun. 2019.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS/ CPRM. **SIAGAS E RIMAS.** Disponível em: <http://rimasweb.cprm.gov.br/layout/detalhe.php?ponto=2600039599>. Acesso em 26 jun. 2019.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS/ CPRM. **SIAGAS E RIMAS.** Disponível em: <http://rimasweb.cprm.gov.br/layout/detalhe.php?ponto=92600049468>. Acesso em 26 jun. 2019

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS/ CPRM. **SIAGAS E RIMAS.** Disponível em: <http://rimasweb.cprm.gov.br/layout/detalhe.php?ponto=2600047476>. Acesso em 10 jul. 2019.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS/ CPRM. **SIAGAS E RIMAS.** Disponível em: <http://rimasweb.cprm.gov.br/layout/detalhe.php?ponto=2600047473>. Acesso em 10 jul. 2019.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS/ CPRM. **SIAGAS E RIMAS.** Disponível em: <http://rimasweb.cprm.gov.br/layout/detalhe.php?ponto=2600008444>. Acesso em 10 jul. 2019.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS/ CPRM. **SIAGAS E RIMAS.** Disponível em : <http://rimasweb.cprm.gov.br/layout/detalhe.php?ponto=2600047480>= . Acesso em 10 jul. 2019.

COSTA, W. D. (Coord.). **Estudo Hidrogeológico da Região Metropolitana do Recife**. Relatório Técnico HIDROREC I, Recife, v. 1, 1998.

COSTA, W. D. Avaliação de reservas, potencialidade e disponibilidade de aquíferos. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 10, 1998. **Anais Eletrônicos [...]** São Paulo, SP.

COSTA, W. D; COSTA FILHO, W. D. 2002. **Estudo Hidrogeológico dos Municípios de Recife, Olinda, Jaboatão dos Guararapes e Camaragibe/PE**. PROJETO HIDROREC II. Recife, COSTA CONSULTORIA, 2002.

DANTAS, J. W. S. **Caracterização Hidrogeológica e Critérios para Construção de Poços na Bacia Sedimentar Paraíba**. Dissertação (Mestrado em Geociências), Universidade Federal do Pernambuco, Recife, 2012.

DEMÉTRIO, J. G. A.; OLIVEIRA, L. T. **Estudo de vulnerabilidade e proposta de proteção de aquíferos na faixa costeira de Pernambuco**. Recife: FADE/UFPE: CPRH, 2004.

DINIZ, M. T. M. **Condicionantes Socioeconômicos e Naturais para a Produção de Sal Marinho no Brasil: As Particularidades da Principal Região Produtora**. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências da Saúde, Fortaleza, 227 f., 2013.

DINIZ, M. T; PEREIRA, V. H. C. **Climatologia do estado do rio grande do norte, Brasil: Sistemas atmosféricos atuantes e mapeamento de tipos de clima**. Boletim Goiano de Geografia, Goiânia, v. 35, n.3, 2015. p. 488-506.

FEIJÓ, F. P. Bacia Pernambuco-Paraíba. **Boletim de Geociências da Petrobras**. Rio de Janeiro, Petrobras, v. 8, n. 1, p. 143-148, 1994.

FEITOSA, E. C.; FEITOSA, F. A. C.; LIRA, H. M. P. Relações estratigráficas e estruturais entre a Bacia Potiguar e a Bacia Costeira PE/PB – uma hipótese de trabalho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12., 2002. **Anais em CD- ROM**, Florianópolis, SC.

FERDOWSIAN, R. **HARTT-XLS Instruction Manual**. Australia: Department of Agriculture and Food, 2003.

FERDOWSIAN, R.; PANNELL, D.J. Explaining Trends in Groundwater Depths: Distinguishing between Atypical Rainfall Events, Time Trends, and The Impacts of Treatments. In: **MODSIM 2001 Congress Proceedings**, Canberra, 10-13 December, p. 549-554, 2001 (Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand INC).

FETTER, C.W. **Applied Hydrogeology**. 3 ed. New York, Toronto, 691 p., 1994.

FRANÇA, J. R. A.; LI, L. Z.; SILVA, F. N. R.; JUNIOR, A. R. T. Sensibilidade do Modelo de Circulação Geral do LMD às Variações na Temperatura da Superfície do Mar no Pacífico Tropical. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 2000.

FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. B.; LIMA, E. R. V. de; SANTOS, D. Tecnologia da Geoinformação Aplicada no Mapeamento das Terras à Mecanização Agrícola. **Revista Educação Agrícola Superior**, v. 29, n. 1, p. 45-51, 2014.

FRANCISCO, P.R.M., SANTOS, D., Matos, R.M. 2017b. Classificação climática de Köppen e Thornthwaite para o Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física** **8**, 1006-1016.

FRANÇOLIN, J. B. L., SZATMARI, P. Mecanismo de Rifteamento da Porção Oriental da Margem Norte Brasileira. **Revista Brasileira Geociências**, v. 17, n. 2, p196-207, 1987.

FRICKORN, H.; TORQUATO, J. R.; SANTIAGO, M. F. Dados Isotópicos e Hidroquímicos da Porção Oriental da Bacia Potiguar. In: Congresso Brasileiro de Água, 2, p. 42-51, 1988. **Anais [...]**. Subterrânea.

GURGEL, C. A. P. **Caracterização Hidrogeológica do Aquífero Açú na Região Norte de Caraúbas-RN**. (Relatório de Graduação Departamento de Geologia), UFRN, Natal-RN, , 97p. 2000.

HEALY, R. W; COOK, P. G. Using Groudwater Levels to Estimate Recharge. **Hydrogeology Journal**, vol. 10, n. 1, p. 91-109, 2002.

HIDROSERVICE/SERHID. **Caracterização Hidrogeológica dos Aquíferos do Rio Grande do Norte**. In: Plano Estadual de Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte, Natal- RN, p. 96, vol. 6, 1998a.

IPT. **Estudo Hidrogeológico Regional do Estado Rio Grande do Norte**. Relatório 15.795, v. 1, São Paulo: IPT/SIC. 1982.

JARDIM DE SÁ, E. F. **A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e seu Significado Geodinâmico na Cadeia Brasileira/Pan-Africana**. (Tese de Doutorado), Universidade de Brasília, Brasília., n3, 803p. ,1994.

LERNER, D. N. Groundwater recharge. *In*: BALKEMA, A. A. **Geochemical Processes, Weathering and Groundwater Recharge in Catchments**, Rotterdam, Brookfield, p. 109-150, 1997.

LERNER, D. N.; ISSAR, A. S.; SIMMERS, I. **Groundwater Recharge: a Guide to Understanding and Estimating Natural Recharge**. International Association of Hydrogeologists, v. 8. Hannover: Heise, 1990.

LIMA FILHO, M. F. Correlação da Bacia Cabo com as Bacias do Oeste Africano. Simpósio dos Aspectos Tectônicos, Depositionais e Evolutivos de Bacias *Rift*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39., 1996. **Anais [...]**. Salvador: v. 5, p. 347-349.

LIMA FILHO, M. F.; BARBOSA, J. A.; NEUMANN, V. H.; SOUZA, E. M. Evolução estrutural comparativa da Bacia de Pernambuco e da Bacia da Paraíba. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 5., 2005. Curitiba: SNET - **Boletim de Resumos Expandidos**, p. 45-47.

MABESOONE, J. M.; ALHEIROS, M. M. Origem da Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco/Paraíba. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 18, p. 476-482, 1988.

MACHADO, L. A. T.; FERREIRA, N. J.; LAURENT, H.; DIEDHIOU, A. Distúrbios Ondulatórios de leste. *In*: Cavalcanti, I. F. A. et al. (Org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Texto, p. 61-74, 2009.

MAIA, S. M. C. **Caracterização Hidrogeológica da Região Oeste de Upanema- RN.** (Relatório de Graduação), Departamento de Geologia, UFRN, Natal/RN, 2001.

MALDANER, C. **Recarga de Aquífero em Área Urbana: Estudo de Caso de Urânia (SP).** Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, 2010.

MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia- Conceitos e Aplicações.** 3º Edição Renovada e Ampliada. 2008, p 62-100.

MANZIONE, R. L. **Análise de Séries Temporais e Mapeamento de Características das Águas Subterrâneas a partir de Dados de Monitoramento.** 1. ed. São Paulo: São Paulo, 2018.

MANZIONE, R. L.; SILVA, R. C. F. Aplicação do Modelo HARTT no Estudo das Oscilações dos Níveis Freáticos do Sistema Aquífero Bauru (SAB) sob Vegetação de Cerrado. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 30, p. 362-374, 2016.

MANZIONE, R. L.; SILVA, R. C. F. Aplicação do Modelo HARTT no Estudo das Oscilações dos Níveis Freáticos do Sistema Aquífero Bauru (SAB) sob Vegetação de Cerrado. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 30, p. 362-374, 2016.

**MAPA de Clima do Brasil.** Rio de Janeiro: IBGE, 2002. 1 mapa, color.

MEDEIROS, W. E., JARDIM DE SÁ, E. F., MEDEIROS, V. C., LUCENA, L. R. F. **Estrutura Geológica do Aquífero Açú na Borda Sul da Bacia Potiguar entre Apodi e Upanema, RN.** Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica. Relatório Técnico do Projeto: Recursos Hídricos Subterrâneos da Formação Açú aflorante na borda sul da Bacia Potiguar, RN (Faixa Upanema-Apodi), 2001.

MELO, A. B. C.; CAVALCANTI, I. F. de A.; SOUZA, P. P. Zona de Convergência Intertropical do Atlântico. *In:* CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. (Org.). **Tempo e Clima no Brasil.** São Paulo: Oficina de Textos, p. 26-42, 2009.

MENTE, A.; CRUZ, W. B. **Estudo de área de proteção de fontes de águas minerais da região norte do Recife, Estado de Pernambuco.** Recife: Ministério de Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), 2001.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 1, p. 1-10, 2002.

PEREIRA, M. C. A.; MELO, D. F.; MELÓ, R. G. C.; SILVA, R. F. B.; FARIAS, S. A. R. Mesorregiões da Paraíba e suas Necessidades de Captação de Água de Chuva. *In:* SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 8, 2012. **Anais [...].** Campina Grande: FIEP, 2012, p.01-06.

PETTA, R. A. *et al.* Análise da Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró no Contexto de Alterações Ambientais e Socioeconômicas Ligadas a Exploração de Petróleo. *In:* Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás, 4, 2007. **Anais Eletrônicos [...]** Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2007. Disponível em: [http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/4/resumos/4PDPETRO\\_ABS\\_6\\_2\\_0289-2.pdf](http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/4/resumos/4PDPETRO_ABS_6_2_0289-2.pdf). Acesso em: 28 jul. 2020.

- PINTO FILHO, J. L. O. *et al.* Impactos Socioambientais da Ocupação Desordenada das Margens da Lagoa de Apodi. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró/RN. v. 3, n. 1, p. 58-76, 2008.
- RAND, H. M.; MABESOONE, J. M. Northeastern Brazil and the final separation of South America and Africa. **Paleogeography Paleoclimatology, Paleoecology**, v. 38, p. 163-183, 1982.
- SANFORD, W. Recharge and Groundwater Models: An Overview. **Hydrogeology Journal**, v. 10, n. 1, p. 110-120, 2002.
- SANTOS, M. A. V. **Estudo Hidrogeológico da Planície Aluvial do Apodi-RN Economicidade de poços para a irrigação**. Recife, SUDENE/UFPE. 1977
- SANTOS, P. R. M. F. D. **Climatologia do Estado da Paraíba**. 1 ed. Campina Grande: EDUFPG, 2017.
- SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS DO RN – SEMARH. **Plano Estadual de Recursos Hídricos: Relatório Síntese**. Natal, 1998. Disponível em: <<http://www.serhid.rn.gov.br/>>. Acesso em: 26 jun. 2019.
- SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE /SERHID-RN. **Plano Estadual de Recursos Hídricos. Caracterização Hidrogeológica dos Aquíferos do Rio Grande do Norte**. Natal/RN, 1998. 78 p.
- SIMMERS, I.; HENDRICKX, J. M. H.; KRUSEMAN, G. P.; RUSHTON, K. R. Recharge of Phreatic Aquifers. In: BALKEMA, A. A., (Semi-) Arid Areas. International Association of Hydrogeologist, v. 19, Rotterdam, Brookfield, 1997.
- STEIN, P. **Potencialidades e Aspectos da Salinização do Aquífero Açú na Borda Sul da Bacia Potiguar, RN – Trecho Apodi/Upanema**. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 196 f., 2003.
- STEIN, P.; MELO, J. G. Potencial Hidrogeológico e Caracterização Hidrogeoquímica do Aquífero Açú na Borda Sul da Bacia Potiguar no Trecho Apodi-Upanema, RN. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 11, p.171-181, 2006.
- SOBRINHO, A. B. G.; STEIN, P. **Estimativa de recarga em poços de monitoramento do Rimas situados no nordeste do Brasil: relatório científico**. Campina Grande, 22p., 2020.
- SUDENE. **Dados Pluviométricos Mensais do Nordeste** (Série Pluviometria 1 a 10). Recife, 1990.
- SUGUIO, K.; MEIS, M. R. M.; TESSLER, M. G. **Atas do IV Simpósio do Quaternário no Brasil**. Rio de Janeiro: CTCQ-SBG, 1986.
- SZATMARI, P.; FRANÇOLIN, J. B. L.; ZANOTTO, O.; WOLFF, S. Evolução Tectônica da Margem Continental Brasileira. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 17, n. 2, p. 180-188, 1987.
- VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Recife: INMET, 2006.
- VARNI, M; COMAS, R; WEINZETTEL, P; DIETRICH, S. Application of the groundwater table fluctuation method to characterize groundwater recharge in the Pampa Plain, Argentina. **Hydrological Sciences Journal**, v. 58, n. 7, p. 1445-1455,

2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/02626667.2013.833663>. Acesso: 25 jun. 2020.

VASCONCELLOS, E.P., LIMA NETO, F. F. & ROOS, S. Unidades de Correlação da Formação Açú-Bacia Potiguar. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 36, 1990. **Anais** [...] Natal: SBG/Núcleo Nordeste, p. 1:227-240.

VASCONCELOS, M. B. **Hidrogeologia do Aquífero Açú na Borda Sul da Bacia Potiguar; Trecho Upanema- Afonso Bezerra**. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 168 f., 2006.

VIEIRA, Z. M. C. L.; RIBEIRO, M. M. R. A Gestão de Recursos Hídricos no Estado da Paraíba: Aspectos Legais e Institucionais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17.; SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA, 8., 2007. **Anais** [...]. São Paulo, SP.

VRIES, J. J.; SIMMERS, I. Groundwater Recharge: An Overview of Processes and Challenges. **Hydrogeology Journal**, v. 10, n. 1, p. 5-17, 2002.

YIHDEGO, Y; WEBB, J.A. Modeling of Bore Hydrographs to Determine the Impact of Climate and Land-Use Change in a Temperate Subhumid Region of Southeastern Australia. **Hydrogeology Journal**, v.19, p.877-887, 2011.