



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA  
CURSO DE GEOLOGIA

**Monitoramento e Análise da Variação do Nível d'água Para Estimativa da  
Recarga do Aquífero Urucuia na Bacia do Rio Grande- BA: Contribuições  
Para a Gestão e Uso Sustentável de Águas Subterrâneas**

**JESSICA GONÇALVES FONTES**

ORIENTADORES: Prof. Gerson Cardoso da Silva Junior

Glauco Zely da Silva Eger

RIO DE JANEIRO, RJ  
2020

**JESSICA GONÇALVES FONTES**

**Monitoramento e Análise da Variação do Nível d'água para Estimativa da  
Recarga do Aquífero Urucuia na Bacia do Rio Grande- BA: Contribuições  
Para a Gestão e Uso Sustentável de Águas Subterrâneas**

Trabalho Final de Curso de  
Graduação em Geologia do Instituto  
de Geociências, Universidade Federal  
do Rio de Janeiro – UFRJ,  
apresentado como requisito  
necessário para obtenção do grau de  
Geólogo.

Orientadores:

Gerson Cardoso da Silva Junior  
Glauco Zely da Silva Eger

Rio de Janeiro, RJ

Janeiro de 2020

FONTES, Jessica Gonçalves.

Monitoramento e análise da variação do nível d'água para estimativa da recarga do aquífero Urucuia na bacia do Rio Grande- BA: contribuições para a gestão e uso sustentável de águas subterrâneas. / Jessica Gonçalves Fontes - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2020. xix. 93 p.: xvi. 30 cm

Trabalho Final de Curso (Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2020.

Orientadores: Gerson Cardoso da Silva Jr., Glauco Zely da Silva Eger

1. Geologia. 2. Setor de Hidrogeologia – Trabalho de Conclusão de Curso. I. Gerson Cardoso da Silva Jr. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. III. Monitoramento e análise da variação do nível d'água para estimativa da recarga do aquífero Urucuia na bacia do Rio Grande- BA: contribuições para a gestão e uso sustentável de águas subterrâneas.

Jessica Gonçalves Fontes

Monitoramento e análise da variação do nível d'água para estimativa da recarga do aquífero Urucuia na bacia do Rio Grande- BA: contribuições para a gestão e uso sustentável de águas subterrâneas

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientadores:

Gerson Cardoso da Silva Júnior

Glauco Zely da Silva Eger

Aprovada em: 07/02/2020

Por:

---

Orientador: Gerson Cardoso da Silva Júnior (UFRJ)

---

Prof. Cícera Neysi de Almeida, D.Sc. (IGEO-UFRJ)

---

Profª Andrea Carmo Sampaio, D.Sc. (UFRRJ)

Dedico a minha vó Benedita  
Francisca, que me ensinou o  
imensurável poder do sonhar.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, pela força e pelo amor que nunca me faltaram nos últimos anos. À minha família, em especial aos meus pais Cátia e Ricardo e meus irmãos Yasmin e Bruno, pelo esforço, cuidado e incentivo (além das palavras diárias de fé e dos cafezinhos nas madrugadas de estudo). Também, ao meu namorado Felipe por todo apoio durante a minha graduação e pelo companheirismo nesta fase. Além, agradeço a minha recém chegada sobrinha Manuella, que me renovou a esperança. Cada vitória minha é de vocês. Obrigada por terem sido o pilar de um sonho incrível.

Agradeço também aos meus professores da graduação de Geografia da UFRRJ, essenciais para a minha escolha de fazer uma nova graduação e aos meus professores da graduação de Geologia da UFRJ, que mostraram que não há barreiras para eu ser a profissional que eu queira ser. Obrigada a esses seres humanos que me mostraram que ciência e educação devem ser pilares fundamentais para uma sociedade melhor e mais justa.

Em especial ao meu professor e orientador Gerson, por toda a sua disposição e atenção nesta fase. Junto a ele, agradeço ao meu coorientador Glauco, que acreditou que este projeto daria certo.

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que em algum momento acreditaram que eu era capaz e que batalharam por esse diploma comigo.

Por fim, agradeço também aos meus amigos e colegas que sempre me apoiaram antes e durante a realização deste trabalho. Obrigada a todos vocês que me mostraram que uma mente que se abre a uma nova ideia jamais poderá voltar ao seu tamanho original.

— Que gosto é esse, Visconde? Perguntou Emília.

— Ah, o sorriso que tenho nos lábios é um sorriso geológico — o sorriso de quem sabe, olha, vê e compreende. Este barranco é para mim um livro aberto, uma página da história da terra na qual leio mil coisas interessantíssimas.

Monteiro Lobato

## RESUMO

FONTES, Jessica Gonçalves. **Monitoramento e análise da variação do nível d'água para estimativa da recarga do aquífero Urucuia na bacia do Rio Grande- BA: contribuições para a gestão e uso sustentável de águas subterrâneas.** 2020. 112 p. Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia – Instituto de Geociências – CCMN. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro

Analisar a flutuação do nível de água subterrânea traz a compreensão de como a diminuição dos níveis dos cursos d'água perenes se relaciona, muitas vezes, com exploração excessiva ou com anomalias climáticas. Neste estudo, estimar a recarga de aquíferos permite, a longo prazo, proporcionar a manutenção da quantidade e qualidade da água subterrâneas. Essas metodologias de estudo tornam-se importantes para gerar um plano de ação adequado para a gestão sustentável das águas subterrâneas.

Apesar de existirem diversos métodos para estimar recargas aquíferas, aplicou-se um método específico de estimativa de recarga a partir de medidas de nível de água subterrânea em poços de monitoramento na bacia do rio Grande, principal afluente do rio São Francisco na Bahia. O método *Water Table Fluctuation* (WTF) foi aplicado em 8 poços da bacia, em períodos de aproximadamente 5 anos, calculando-se a recarga para anos hidrológicos diferentes. Os valores de recarga obtidos foram avaliados com a precipitação mensal, para o mesmo período, e então obteve-se se a quantidade de precipitação que corresponde ou que pode ser considerada como recarga. Estes resultados variaram entre 8 % e 25 %, com descartes de valores abaixo de 5% e acima de 25% por não serem comuns na prática. O método, de maneira geral, se mostrou de fácil aplicabilidade, ocorrendo boas correspondências entre a precipitação e as elevações dos níveis d'água.

A análise da variação do nível de água subterrânea na bacia rio Grande, segunda bacia em importância para formação das vazões do rio São Francisco, mostrou que como um todo, o nível apresenta tendências crescentes de queda, que pelo resultado dos estudos estão associadas ao baixo índice pluviométrico dos últimos anos.

Palavras-chave: recarga subterrânea; sistema aquífero Urucuia; WTF; bacia do rio Grande



## ABSTRACT

FONTES, Jessica Gonçalves. **Monitoring and analysis of water table fluctuation to estimate recharge in the Urucuia Aquifer, Rio Grande watershed, Bahia, Brazil: a contribution to management and sustainable use.** 2020. 112 p.

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia – Instituto de Geociências – CCMN.  
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro

Analyzing the fluctuation of groundwater level brings an understanding of how the decrease in the levels of perennial surface water bodies is often related to overexploitation or climatic anomalies. In this study, estimating aquifer recharge allows, in the long run, to provide the maintenance of both quantity and quality of groundwater. The methodologies applied are important to generate an adequate action plan for the sustainable management of groundwater.

Although there are several methods to estimate aquifer recharge, a specific recharge estimation method was applied based on groundwater level measurements in monitoring wells in Rio Grande basin, the main tributary of the São Francisco River in Bahia. The Water Table Fluctuation (WTF) method was applied to eight wells in the basin, in periods of ca. five years, calculating the recharge for different hydrological years. The recharge values obtained were evaluated with the monthly precipitation, for the same period of acquisition, and then the amount of precipitation corresponding to aquifer recharge was obtained. The recharge results ranged between 8% and 25% of rainfall %, with values below 5% and above 25% disregarded. The method, in general, proved to be easy to apply, with good correspondence between precipitation and rising or falling groundwater levels.

The analysis of groundwater level variation in the Rio Grande basin, the second most important basin for the formation of the São Francisco river flows, showed that as a whole, the level presents downward trends, which, as a result of the studies, are associated with the low rainfall records of recent years.

Keywords: Groundwater recharge; Urucuia aquifer system; WTF; Rio Grande basin.

## LISTA DE FIGURAS.

Figura 1 - Tipos de aquíferos quanto à porosidade .....	7
Figura 2 - Tipos de aquíferos quantos as características hidráulicas.....	8
Figura 3 Distribuição de água doce no mundo .....	10
Figura 4: Mapa regional de ocorrência do SAU e localização da área de estudo na bacia hidrográfica do rio Grande.....	12
Figura 5: Demandas de uso da água no Rio de Grande.....	13
Figura 6 - Representação porcentual de outorgas de águas subterrâneas no SAU, destinados a diferentes usos.....	13
Figura 7 - Elevação hipotética no nível d'água do poço em resposta à precipitação .....	18
Figura 8 - Desenho esquemático esclarecendo o conceito de rendimento específico e retenção específica.....	19
Figura 9 - Bacia Hidrográfica rio Grande.....	23
Figura 10: Mapa geológico do Aquífero Urucuaia.....	25
Figura 11 - Perfil Leste-Oeste esquemático do contexto geológico do Sistema Aquífero Urucuaia no oeste da Bahia .....	26
Figura 12 - Contexto geológico do Grupo Urucuaia e a localização da área de estudo (sub-bacia do rio Grande).....	28
Figura 13 - Altimetria da bacia do rio Grande. ....	28
Figura 14 - Morfoesculturas da bacia do rio Grande.....	29
Figura 15: Clima da bacia rio Grande.....	30
Figura 16: Vegetação da bacia do rio Grande.....	30
Figura 17: Mapa Pluviométrico do oeste da Bahia .....	38
Figura 18: fluxograma das atividades principais realizadas no trabalho.....	38
Figura 19: Distribuição dos postos de monitoramento do presente trabalho.....	40

Figura 20: Mapas de precipitação dos anos hidrológicos na bacia Rio Grande por interpolação por IDW .....	46
Figura 21: Hidrograma subterrâneo do poço Vereda Nova com variação do Tipo I.....	48
Figura 22: Hidrograma subterrâneo do poço Santa Helena com variação do Tipo II.....	49
Figura 23: Hidrograma subterrâneo do poço São João com variação do Tipo III.....	50
Figura 24: Mapa de distribuição dos pontos de NA com diferenciação do padrão de oscilação (tipo I, tipo II e tipo III) com associação a hipsometria da área.....	51
Figura 25: Características potenciométricas do aquífero Urucuia na bacia Rio Grande.....	52
Figura 26 : Mapa de recarga por interpolação IDW.....	85



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Posto de monitoramento e características. Fonte: SIAGAS e RIMAS

Tabela 2: Estações Pluviométricas utilizadas no estudo

Tabela 3: Resultado do cálculo da recarga para o PM Rio Brilhante

Tabela 4: Resultado do cálculo da recarga para o PM Tonini

Tabela 5: Resultado do cálculo da recarga para o PM Johá

Tabela 6: Resultado do cálculo da recarga para o PM Vereda Nova

Tabela 7: Resultado do cálculo da recarga para o PM Durri

Tabela 8: Resultado do cálculo da recarga para o PM Cabeceira Grande

Tabela 9: Resultado do cálculo da recarga para o PM Agrobasso

Tabela 10: Resultado do cálculo da recarga para o PM Estância

Tabela 11: Resultado do cálculo da recarga para o PM Galho Furtado

Tabela 12: Resultado do cálculo da recarga para o PM Maranata

Tabela 13: Resultado do cálculo da recarga para o PM Fazenda Bom Retiro

Tabela 14: Resultado do cálculo da recarga para o PM Fazenda Vila Campo Êre

Tabela 15: Média das recargas para os poços escolhidos para o método WTF

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1: Comparação das médias pluviométricas dos anos hidrológicos por estações.

Gráfico 2: Hidrograma Fazenda Sertaneja para o período de monitoramento

Gráfico 3: Hidrograma Fazenda Vista Alegre para o período de monitoramento

Gráfico 4: Hidrograma Fazenda São João) para o período de monitoramento

Gráfico 5: Hidrograma Fazenda São Roque para o período de monitoramento

Gráfico 7: Hidrograma Fazenda Tonini x Posto Pluviométrico Serafim Montante para o período de monitoramento

Gráfico 8 : Hidrograma Fazenda Johá x Posto Pluviométrico Serafim Montante para o período de monitoramento

Gráfico 9 : Hidrograma Fazenda Santa Helena x Posto Pluviométrico Serafim Montante para o período de monitoramento

Gráfico 10 : Hidrograma Fazenda Ponta Pedra do Rio x Posto Pluviométrico Fazenda Redenção para o período de monitoramento

Gráfico 11 : Hidrograma Fazenda Vereda Nova x Posto Pluviométrico Derrocal para o período de monitoramento

Gráfico 12 : Hidrograma Fazenda Buritis x Posto Pluviométrico Derrocal para o período de monitoramento

Gráfico 13 : Hidrograma Fazenda Durri x Posto Pluviométrico Derrocal para o período de monitoramento

Gráfico 14 : Hidrograma Fazenda Cabeceira Grande x Posto Pluviométrico Coqueiros para o período de monitoramento

Gráfico 15 : Hidrograma Fazenda Agrobasso x Posto Pluviométrico Serafim Montante período de monitoramento

Gráfico 16 : Hidrograma Fazenda Estância x Posto Pluviométrico Derrocal para o período de monitoramento

Gráfico 17 : Hidrograma Fazenda Galho Furtado x Posto Pluviométrico Redenção para o período de monitoramento

Gráfico 18 : Hidrograma Fazenda Bom Retiro x Posto Pluviométrico Coqueiros para o período de monitoramento

Gráfico 19 : Hidrograma Fazenda Santo Antônio x Posto Pluviométrico Derrocal para o período de monitoramento

Gráfico 20 : Hidrograma Fazenda Maranata x Posto Pluviométrico Coqueiros para o período de monitoramento

Gráfico 21 : Hidrograma Fazenda Vila Campo Erê x Posto Pluviométrico Redenção para o período de monitoramento

Gráfico 22: Hidrograma Fazenda Rio Brilhante x Posto Pluviométrico Derrocal para o período de monitoramento

Gráfico 23: Hidrograma Fazenda Sekué-Bioenergia x Posto Pluviométrico Derrocal para o período de monitoramento

Gráfico 24: Hidrograma Fazenda Xingu AgriTabuleira IV x Posto Pluviométrico Roda Velha para o período de monitoramento

Gráfico 25: Hidrograma Fazenda Xingu Savaí x Posto Pluviométrico Johá para o período de monitoramento

Gráfico 26: Hidrograma Fazenda Baldissarela x Posto Pluviométrico Johá para o período de monitoramento

## **LISTA DE EQUAÇÕES**

EQUAÇÃO 1: Cálculo de Recarga pelo método WTF



## **LISTA DE SIGLAS**

ABAS: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas  
AIBA: Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia  
ANA: Agência Nacional das Águas  
CCMN: Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza da Universidade Federal do Rio de Janeiro  
BA: BAHIA  
CPRM: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais  
CNRH: Conselho Nacional de Recursos Hídricos  
DRH: Departamento de Recursos Hídricos  
EUA: Estados Unidos da América  
HIDROGEO: Laboratório de Hidrogeologia da UFRJ  
IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IDW: Ponderação do Inverso das Distâncias (InverseDistanceWeighting)  
IGEO: Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro  
INEMA: Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos  
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
IRI: International Research Institute for Climate and Society  
K: Condutividade hidráulica  
LSPA: Levantamento Sistemático da Produção Agrícola  
MMA Ministério do Meio Ambiente  
NA: Nível d'água  
PM: Posto de monitoramento  
PNRH: Plano Nacional dos Recursos Hídricos  
RIMAS: Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas  
SAU: Sistema Aquífero Urucuia  
SIAGAS: Sistema de Informações de Águas Subterrâneas  
SNIRH: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos  
SRTM: Missão Topográfica Radar Shuttle  
UFRJ: Universidade Federal do Rio de Janeiro  
UNESCO: Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura  
VNA: Variação do Nível de Água  
WGS: World Geodetic System  
WHO: World Health Organization

WTF: Water Table Fluctuation

WWAP: World Water Assessment Programme

## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1– ANTECEDENTES E JUSTIFICATIVAS.....	1
1.2    OBJETIVOS.....	2
1.2.1 <i>Objetivos Gerais</i> .....	2
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i> .....	2
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>6</b>
2.1 AQUÍFEROS .....	6
2.2 DEMANDA E USO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	9
2.3 RECARGA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	14
2.4 MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE RECARGA.....	15
2.4.1 <i>Water-table-fluctuation (WTF) ou Variação do Nível Freático (VNF)</i> .....	16
2.4.1.1 <i>Rendimento Específico</i> .....	18
2.4.2. MÉTODO DOS LISÍMETROS .....	20
2.4.3 MÉTODO DOS TRAÇADORES .....	20
2.4.4 MÉTODO DA LEI DE DARCY .....	21
2.4.5 MÉTODO DO BALANÇO HÍDRICO.....	21
2.5 SISTEMA AQUÍFERO URUCUIA (SAU) .....	22
2.5.1 <i>Geologia e Fisiografia</i> .....	23
2.5.2 <i>Hidrogeologia</i> .....	23
<b>3.METODOLOGIA .....</b>	<b>33</b>
3.1 ESCOLHA DA ÁREA DE ESTUDO.....	33
3.2 LEVANTAMENTO DOS DADOS.....	33
3.3 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA AQUÍFERO URUCUIA NA ÁREA DE ESTUDO .....	34

AVALIAÇÃO DA VARIAÇÃO DO NÍVEL D'ÁGUA E ESTIMATIVA DA RECARGA .....	34
3.4.1 Curva de recessão .....	36
3.5 DADOS PLUVIOMÉTRICOS.....	37
<b>4. DISCUSSÃO E RESULTADOS.....</b>	<b>40</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA.....	40
4.2 ANÁLISE DA PLUVIOMETRIA DURANTE O MONITORAMENTO.....	41
4.3 ANÁLISE DOS REGISTROS DE NÍVEIS DOS POÇOS E SAZONALIDADE DA RECARGA.....	47
4.3.1. Análise da variação do nível de água Tipo I.....	48
4.3.2 Análise da variação do nível de água Tipo II.....	49
4.3.3 Análise da variação do nível de água Tipo III.....	50
4.4 ANÁLISE DA VARIAÇÃO SAZONAL DOS NÍVEIS D'ÁGUA NOS POÇOS.....	53
4.5 CÁLCULO DE RECARGA PELO MÉTODO WTF.....	81
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>86</b>
<b>6. RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>91</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>93</b>

# **Monitoramento e análise da variação do nível d'água para estimativa da recarga do aquífero Urucuia da bacia do rio Grande- BA: contribuições para a gestão e uso sustentável de águas subterrâneas**

## **1- INTRODUÇÃO**

### *1.1- ANTECEDENTES E JUSTIFICATIVAS*

A proposta desta monografia é a de realizar um estudo de monitoramento e análise da variação do nível d'água do Aquífero Urucuia na bacia hidrográfica do rio Grande, localizada no estado da Bahia. O Sistema Aquífero Urucuia (SAU) possui uma importância estratégica na regularização da vazão de rios que nascem na região nordestina e que correm na direção do rio São Francisco, sendo essencial para o abastecimento de cidades e uso em sistemas de irrigação do oeste baiano.

A pesquisa partiu da verificação de que a flutuação do nível d'água do SAU pode estar sofrendo diretamente as consequências de intensas estiagens e superexploração de suas águas. Desta maneira, será necessário organizar um plano de ação para gerir de forma sustentável essas águas, plano esse que depende do conhecimento das características hidrogeológicas desse aquífero. Essa é uma problemática que atinge sobremaneira a área de estudo, que se encontra em uma das frentes agrícolas que mais se expandiu nos últimos anos no Brasil.

A análise da flutuação do nível de água subterrânea traz a compreensão de como a diminuição dos níveis dos cursos d'água perenes se relaciona, muitas vezes, com exploração excessiva ou com anomalias climáticas (COELHO et al. 2012). Além disso, a destruição da vegetação nativa e diminuição dos índices pluviométricos podem estar comprometendo a recarga de água, o que gera a necessidade do monitoramento e gestão

entre a oferta e a demanda por água, principalmente em áreas que são importantes para a economia regional e possuem algum grau de vulnerabilidade ecológica.

Neste sentido, vale discutir que a água é um recurso essencial para a vida de todos os seres vivos, porém se constitui como um bem natural limitado. A disponibilidade de água potável para o consumo das sociedades humanas tornou-se uma das grandes problemáticas atuais a nível ambiental. Pode-se perceber isso, principalmente, quando se analisamos efeitos das crises hídricas que têm assolado grande parte dos países e, nos últimos anos, o Brasil.

A crescente demanda por água é resultado do crescimento da população, resultando na exploração e pressão sobre esse recurso que, cada vez mais, tem sido considerado como recurso estratégico para o futuro. A preocupação relacionada ao uso não sustentável dos recursos naturais, especialmente os recursos hídricos, não é uma novidade na sociedade. Porém, somente nos últimos anos conceitos como gestão de qualidade das águas, gestão de demandas e gestão ambiental de bacias hidrográficas e águas subterrâneas tomaram corpo dentro do programa conceitual de Gerenciamento e Gestão de águas subterrâneas (MACHADO; TORRES, 2013).

Neste contexto, historicamente as águas subterrâneas vêm sendo utilizadas como fonte alternativa e suprem de forma complementar as múltiplas demandas da sociedade por água (SIMON, 2014). Nos dias atuais, são as reservas de águas subterrâneas que disponibilizam quase a metade da água potável utilizada do mundo, e sua exploração triplicou nos últimos 50 anos (UNESCO - WWAP, 2012). O uso de forma desordenada e o aumento considerável da contaminação das águas superficiais foram importantes contribuintes para acelerar o aumento do consumo da água subterrânea, considerada a maior e mais segura fonte de recursos hídricos de forma potável.

Nessa lógica, o conhecimento da dinâmica das águas subterrâneas e recarga de aquíferos é estratégico, principalmente através do monitoramento e cálculo de volumes

disponíveis, pois possibilita a construção de dados bases para uma política de gerenciamento e gestão de águas subterrâneas (MMA, 2007). O monitoramento das águas subterrâneas é, portanto, uma importante ferramenta de diagnóstico e controle das condições do aquífero, pois ajuda a compreender características e tendências dos parâmetros registrados, o que gera um entendimento mais completo das respostas das reservas quanto à ação antrópica e aos fatores naturais. O monitoramento do nível freático tem como objetivo fornecer dados sobre as condições de equilíbrio do aquífero em termos de evolução temporal das respostas dos níveis piezométricos (BETIO; SANTOS, 2017).

Esta monografia consiste nos estudos e análise da dinâmica do nível freático do SAU, sabendo da importância do monitoramento e recarga para o sistema ambiental da região e as respostas desta às mudanças.

O aquífero em estudo caracteriza-se como um manancial estratégico no oeste baiano, sendo esta região da Bahia a principal fronteira agrícola do Estado. Nas décadas de 1980 e 1990, a região passou por um processo de expansão agropecuária que acarretou profundas modificações no que se refere ao uso e ocupação do solo, promovendo uma progressiva supressão do cerrado, em função da instalação de extensas lavouras de culturas de soja, milho, algodão, café e frutas (MENDONÇA, 2006). Atualmente, o panorama apresentado no sistema ambiental da região tem levantado preocupações, tanto por parte dos próprios agricultores quanto da sociedade em geral, em relação à sustentabilidade do aquífero e suas águas e portanto, a necessidade de estudos e monitoramento para a área.

Na análise aqui proposta, aplicou-se um método específico de estimativa de recarga a partir de medidas de nível de água subterrânea em poços de monitoramento na bacia do rio Grande, principal afluente do rio São Francisco na Bahia.

A bacia rio Grande é a segunda bacia em importância para formação das vazões do rio São Francisco e apresenta sérios conflitos pelo uso da água (CHANG; GONÇALVES, 2017), caracterizando uma das motivações de desenvolvimento da pesquisa.

Com o desenvolvimento do trabalho obtiveram-se dados que permitiram traçar um panorama da recarga do SAU na bacia do rio Grande, servindo como importante subsídio à gestão desse importante corpo hídrico.

## **1.2 OBJETIVOS**

### *1.2.1 OBJETIVOS GERAIS*

Como objetivo principal do trabalho realizou-se um mapeamento das características dinâmicas do nível freático do Sistema Aquífero Urucuia através do monitoramento do nível freático para obter estimativas de sua recarga subterrânea na região da bacia do rio Grande, visando auxiliar a gestão de recursos hídricos no aquífero.

### *1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS*

Como objetivos específicos citam-se os seguintes temas:

- Analisar a flutuação do nível de água subterrânea através de seu monitoramento a partir de dados de 2013- 2019;
- Estimar a recarga de aquífero através do método *Water Table Fluctuation – WTF* (HEALEY, 2002; HEALEY & COOK, 2002)
- Discutir e avaliar a utilização da metodologia WTF para estimar recargas subterrâneas;



O trabalho encontra-se estruturado da seguinte forma: neste primeiro capítulo (Introdução) relata-se uma contextualização abrangendo o tema do estudo, como também são estabelecidos os objetivos que se pretende ao desenvolver o trabalho. No Capítulo 2 (Referencial teórico) são apresentados conceitos a respeito dos aquíferos destacando a temática sobre a demanda e uso de água subterrânea e questões relacionadas à recarga. Ainda neste capítulo, faz-se uma abordagem dos métodos utilizados para realizar a estimativa de recarga de aquíferos. As características fisiográficas da área de estudo são abordadas no Capítulo 3 (Metodologia) além do passo a passo realizado para concluir o presente trabalho com enfoque nos dados e métodos escolhidos. O Capítulo 4 constitui as Discussões e os Resultados da pesquisa, principalmente no que se refere ao monitoramento dos níveis do lençol freático em relação à precipitação e ao cálculo da estimativa de recarga do aquífero. Nos últimos capítulos (Conclusões e Recomendações) são apresentadas as considerações finais acerca dos resultados obtidos durante a pesquisa, a resposta à indagação fundamental da pesquisa evidenciando a importância da realização do trabalho e deixando algumas recomendações para estudos futuros. Por fim, foram listadas as referências que serviram de aporte para a elaboração da pesquisa.

## **2.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### *2.1 AQUÍFEROS*

As águas subterrâneas são aquelas reservadas sob a superfície da Terra, preenchendo os espaços vazios existentes entre os grãos do solo, rochas e fissuras. Em situações de infiltração e percolação de água as rochas, devido a sua permeabilidade, tornam-se saturadas e isto permite a circulação e armazenamento de águas (ABAS, 2013). Essa permeabilidade e porosidade interconectada permite armazenar e transmitir água, sob gradientes hidráulicos naturais, gerando uma formação geológica denominada **aquífero**.

Assim, uma litologia só constituirá um aquífero se, além de ter seus poros saturados de água, permitir a fácil transmissão da água armazenada. Etimologicamente, aquífero significa: aqui = água; fero = transfere (HEINEN et al., 2001). Os aquíferos possuem importantes funções, suprindo águas para gerir a manutenção dos cursos de águas superficiais estáveis, além de servir como barreira do seu transbordamento já que absorve o excesso da água em eventos de chuva intensa, ou seja, os aquíferos agem com funções de produção e regularização no seu sistema ambiental (BORGHETTI et. al. 2004). Além disso, têm importante papel na manutenção de inúmeros ecossistemas em todo o planeta, sendo fundamentais para a manutenção da vida e da biodiversidade.

A classificação de aquíferos varia, principalmente, quanto aos tipos de espaços vazios (interstícios) que delimitam a capacidade ou não de armazenamento, devido a migração da água pelos poros (Figura 1):

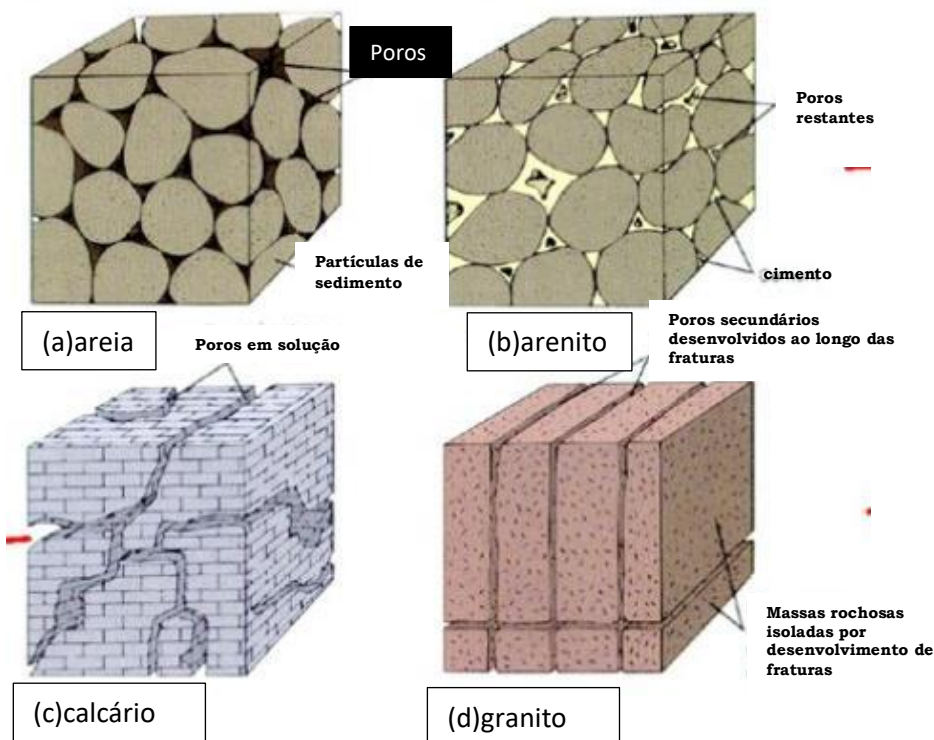


Figura 1: Tipos de aquíferos quanto à porosidade. Fonte: ABAS (2013).

- 1) Os aquíferos granulares são formados principalmente por rochas sedimentares, metamórficas de baixo grau ou vulcanoclásticas e que possuem água armazenada nos espaços entre os grãos criados durante a formação da rocha. A água percola e é armazenada, temporariamente, nos espaços vazios entre a rocha. Constituem os mais importantes aquíferos, pelo grande volume de água que armazenam e por sua ocorrência em grandes áreas. Esses aquíferos têm origem principalmente nas bacias sedimentares e em todas as várzeas onde se acumularam sedimentos arenosos (BORGUETTI et al., 2004). Também podem ocorrer em áreas vulcânicas.
- 2) Quando a água circula pelas fissuras resultantes do fraturamento das rochas com matriz de baixa permeabilidade (ígneas ou metamórficas), os aquíferos são denominados fraturados ou fissurais. São formados principalmente por rochas ígneas ou metamórficas cristalinas, duras e maciças, onde a circulação da água se faz nas fraturas, fendas e falhas, abertas devido a forças físicas naturais da crosta

terrestre. A capacidade dessas rochas de armazenarem água está relacionada à quantidade de fraturas, suas aberturas e intercomunicação, permitindo a infiltração e fluxo da água. Também podem ocorrer em rochas sedimentares que passaram por processo de colmatção dos poros por cimentação silícica ou carbonática, ou matriz argilosa, e que posteriormente sofreram processo de fraturamento.

- 3) Quando formados em rochas carbonáticas, os aquíferos são chamados aquíferos cársticos, que constituem um tipo peculiar de aquífero fraturado. As fraturas são originadas ou aumentadas pela dissolução do carbonato pela água que circula pelas aberturas e cavidades, sendo aquíferos heterogêneos, descontínuos e fluxo em canais (CPRM, 2008).

Uma outra classificação relacionada às tipologias do aquífero é feita segundo a sua posição e estrutura, em análise de suas características hidráulicas e pode ser de dois tipos (Figura 2): livre ou confinado.

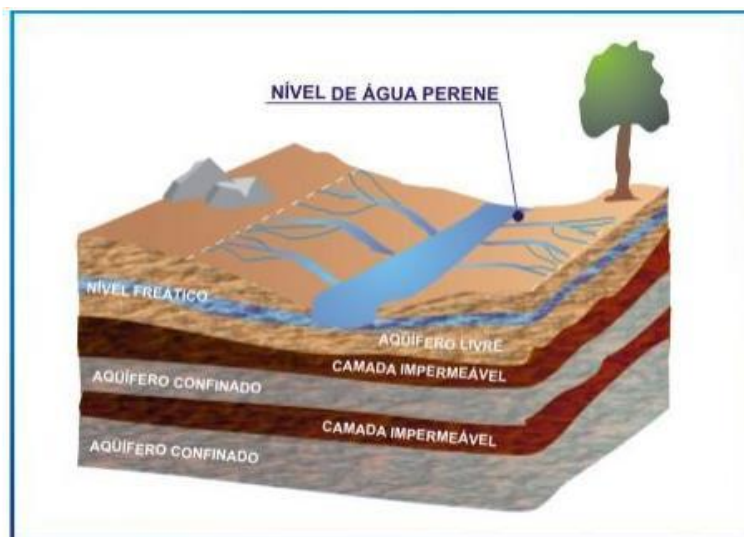


Figura 2: Tipos de aquíferos quanto às características hidráulicas. Fonte: ABAS (2013)

O aquífero livre é a formação que se localiza mais próximo à superfície já que é limitado superiormente por uma camada permeável e inferiormente por uma camada impermeável, ficando submetido à pressão atmosférica. Quando se analisa a perfuração

feita num aquífero livre, percebe-se que o nível do poço corresponde ao nível de água do aquífero e a água está à mesma pressão que a pressão atmosférica, designando-se este nível da água de nível freático (ABAS, 2013). A recarga desse tipo de aquífero é feita de forma mais direta e rápida. Destaca-se que estes são os aquíferos mais comuns e mais explorados, apresentando, por isso, os maiores problemas de contaminação. Nos aquíferos livres o nível da água varia de acordo com a quantidade de chuva (BORGUETTI et al., 2004).

O aquífero confinado é limitado pela presença de uma camada de menor permeabilidade (confinante) que submete as águas a uma pressão superior à atmosférica, o que faz com que a água ascenda no poço para além da zona aquífera. A camada se encontra saturada impedindo que a água atinja uma altura acima do topo do aquífero. A recarga deste tipo de aquífero ocorre nos locais onde a formação aflora à superfície. Neles, o nível da água encontra-se sob pressão, assim os poços que captam as suas águas podem sofrer artesianismo.

Quando ocorre a perfuração de poços em um aquífero confinado, a tendência geral é a água ascender acima do teto do aquífero, já que a pressão é exercida pelo peso das camadas confinantes sobrejacentes e pela presença de comunicação hidráulica com porções mais elevadas do aquífero. A água chega a uma altura determinada e denomina-se esta altura de **nível potenciométrico**, sendo o poço denominado “artesiano”.

## *2.2 DEMANDA E USO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS*

As últimas décadas evidenciaram o crescimento das cidades e a concentração de pessoas nessas regiões, formando-se uma densidade altíssima de população, o que aumentou drasticamente a pressão nos sistemas ambientais.

Sobre a disponibilidade de água no Planeta pode-se destacar que a maior parte da superfície da Terra está coberta por água, contudo, do volume total referente à água do planeta, 97,5% é salgada proveniente de mares e oceanos, e apenas 2,5 % é doce.

Da água doce existente na Terra, vale destacar que 68,9% formam as calotas polares, geleiras e neves eternas, 0,9 % corresponde à umidade do solo e pântanos, 0,3 % aos rios e lagos, e os 29,9 % restantes são águas subterrâneas (MMA, 2007).

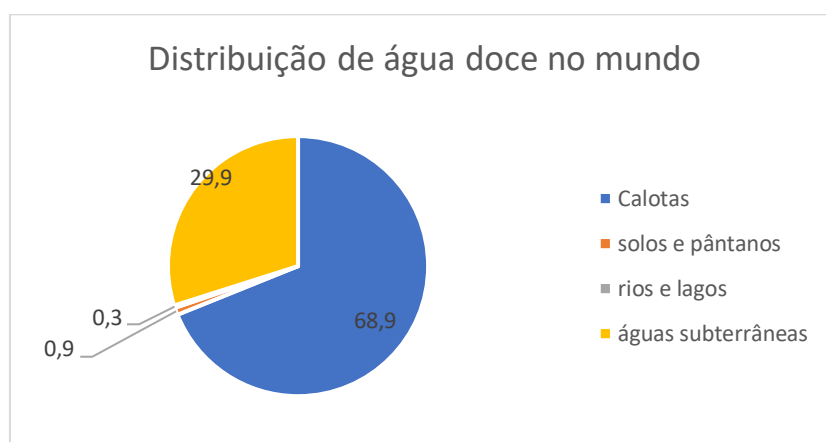


Figura 3: Distribuição de água doce no mundo. Fonte: MMA(2007).

Desta maneira, do total de água doce disponível para consumo, descontando-se a água congelada presente nas calotas polares, geleiras e neves eternas, as águas subterrâneas representam um total de cerca de 96% (MMA,2007), demonstrando a importância da gestão e gerenciamento deste recurso.

O gerenciamento dos recursos hídricos, principalmente os subterrâneos, é crescente em países no qual esta é a fonte principal de abastecimento, sendo esta intensamente explorada. Isto é bastante relevante em áreas áridas e semiáridas que sofrem com a carência de água superficial (FEITOSA, 2008).

Farias (2011) destaca que “através do gerenciamento das águas subterrâneas existe o monitoramento do nível da água, que em particular fornece um acompanhamento

contínuo e sistemático das variações no volume de água subterrânea, permitindo a outorga e uma gestão racional desse recurso natural renovável”.

Além disso, a estimativa da recarga aquífera também se configura como um importante viés para o gerenciamento dos recursos subterrâneos tendo em vista sua sustentabilidade, pois, a longo prazo, estima a quantidade e a qualidade da água dos aquíferos (FETTER, 2001).

Através de uma gestão e gerenciamento eficiente, a possibilidade de exploração do recurso passa a existir de forma sustentável, sem afetar a hidrodinâmica natural do aquífero.

Como um todo, na América Latina, muitas das maiores cidades do continente utilizam as águas subterrâneas no abastecimento municipal (WHO, 2006). As estatísticas para o Brasil para o uso da água subterrânea ainda não são totalmente fiáveis, mas inúmeras publicações destacam a importância deste recurso.

Quando se analisa a área de estudo (Figura 4), percebe-se que, em decorrência da baixa densidade de drenagem superficial do semiárido brasileiro, além do aumento da demanda de água para suprir os projetos de irrigação e o próprio consumo da sociedade na porção oeste da Bahia, a exploração de águas subterrâneas sofreu um expressivo aumento nos últimos anos, refletido no crescimento considerável de outorgas de uso da água. Vale destacar que a bacia hidrográfica do rio Grande possui muitos projetos de irrigação de grande porte, o que gera a necessidade de elevadas quantidades de água, superficial ou subterrânea e a irrigação é a atividade que mais exige a exploração e o uso de água (Figura 5).

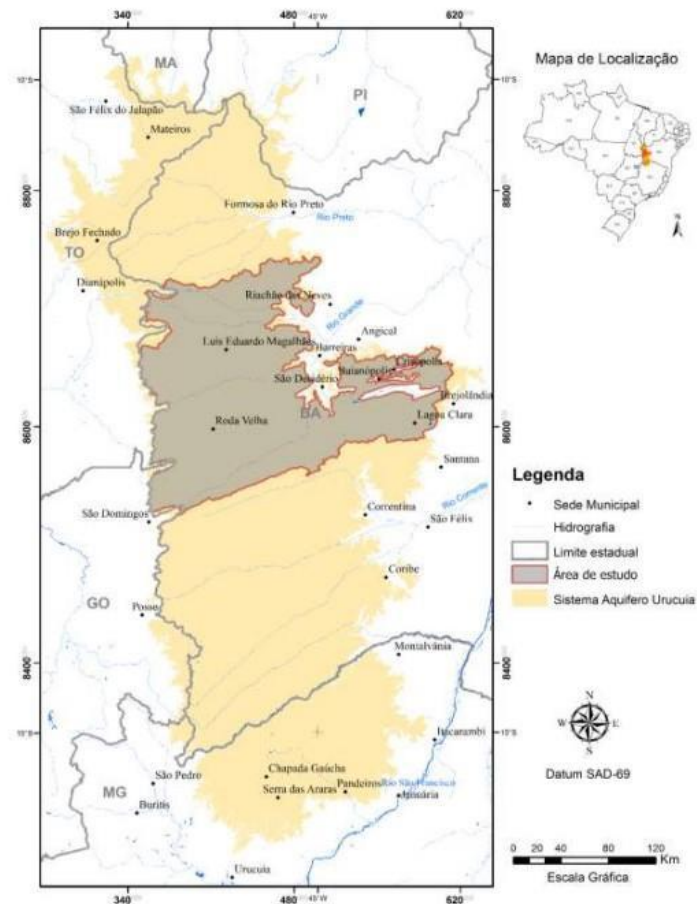


Figura 4: Mapa regional de ocorrência do SAU e localização da área de estudo na bacia hidrográfica do rio Grande. Fonte: GONÇALVES et.al (2016)

Os poços localizados na área são voltados principalmente ao abastecimento dos pivôs centrais, que se configuram como um dos principais métodos de irrigação utilizados pelo agronegócio na área estudada. Gaspar e Campos (2007) apontam que a ampliação do número de poços voltados ao abastecimento de pivôs tem exercido pressão sobre os recursos hídricos como um todo, uma vez que este processo exige altas quantidades de água para a irrigação. Desta maneira, percebe-se a necessidade de um monitoramento e gerenciamento das águas subterrâneas da área estudada com escopo de uma exploração de forma sustentável.



Abastecimento Humano Urbano	16.252.271 m <sup>3</sup> /ano
Abastecimento Humano Rural	5.158.770 m <sup>3</sup> /ano
Abastecimento Industrial	6.681.325 m <sup>3</sup> /ano
Abastecimento Animal	20.879.889 m <sup>3</sup> /ano
Irrigação	1.362.798.543 m <sup>3</sup> /ano
Piscicultura e Aquicultura	438.365 m <sup>3</sup> /ano

Figura 5: Demandas de uso da água no Rio de Grande. Fonte: INEMA (2012)

Os rios que compõem esta bacia são em geral do tipo efluente e são abastecidos pelo Aquífero Urucuiá (INEMA,2014); por conseguinte, o uso não sustentável das águas subterrâneas pode levar à sobreexploração deste aquífero.

Esse quadro de ocupação e manejo do solo além de períodos de déficits hídricos levanta preocupações com relação à sustentabilidade da área de recarga do SAU.

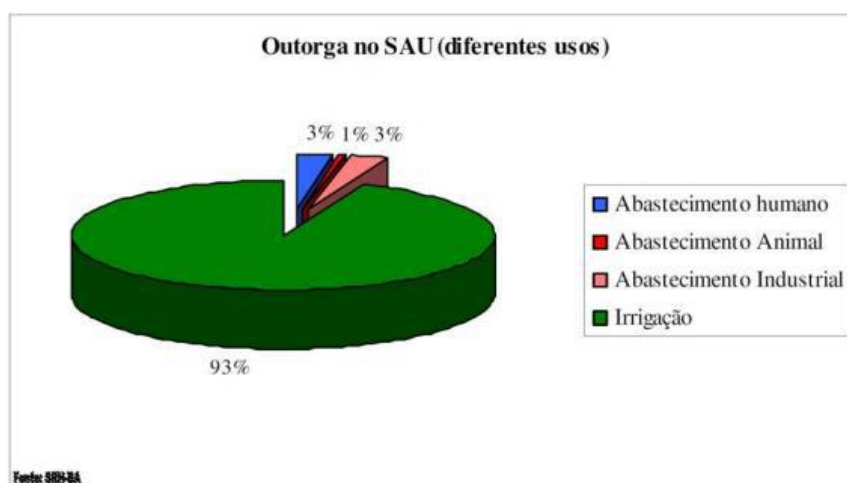


Figura 6: Representação percentual de outorgas de águas subterrâneas no SAU, destinados a diferentes usos. Fonte: GASPAR, 2006

Segundo dados do INEMA (2014) os primeiros poços perfurados na área datam das décadas de 1970 – 1980 e ao longo dos anos a quantidade de poços aumentou significativamente (Figura 6), assim como o monitoramento da regularidade do processo de captação de água. Gaspar (2006) destaca que:

“Muitos poços operam na região sem outorga, especialmente aqueles destinados a exploração de água subterrânea para uso doméstico e para aplicação de agrotóxicos, cujo volume explorado deve ser considerado tendo em vista o intenso bombeamento durante o ciclo de crescimento da soja e de outras culturas. A estimativa do volume total consumido, no procedimento de pulverização de agrotóxicos, para a área plantada de soja e algodão durante a safra 2005/06, foi de  $7,5 \times 10^5$  m<sup>3</sup>. Este valor, no entanto, deve ser muito maior, pois não foi computado o consumo relacionado às culturas de milho, sorgo, café e frutas irrigadas; e ao uso doméstico nas sedes das fazendas”.

Além disso, dentro desse contexto, poucas propriedades agem dentro da exigência legal de manter áreas destinadas a preservação agravando o quadro dos impactos gerados na área.

### *2.3 RECARGA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS*

O manejo dos recursos hídricos e a modelagem do fluxo em subsuperfície demandam, crescentemente, o entendimento sobre a forma pela qual a recarga subterrânea acontece. A estimativa de recarga é uma característica essencial para um manejo adequado dos recursos hídricos, uma vez que auxilia nas análises de disponibilidade e modelagem dos recursos e se torna um subsídio importante para tomadas de decisões, a fim de evitar impactos negativos no meio ambiente. Em geral, a recarga é definida como o fluxo descendente de água que, ao infiltrar, alcança o sistema aquífero, resultando em um volume adicional ao reservatório subterrâneo (LERNER et al., 1990). A recarga pode ocorrer naturalmente, através da precipitação ou infiltração em leitos de rios, canais e lagos, ou induzida por atividades antrópicas.

No entanto, as estimativas das taxas de recarga possuem um elevado grau de incerteza (SIMMERS, 1998), devido às diferenças de metodologias adotadas e à insuficiente base de dados disponível. Estimar a recarga requer conhecimento e entendimento sobre o sistema de fluxo de água no meio não saturado, como também a análise adequada dos principais processos físicos envolvidos (interação água-solo-

vegetação). Muitas vezes, esses tipos de dados são escassos e desta maneira, a metodologia a ser utilizada deve considerar o balanço entre a razoável representação do modelo físico conceitual e a realidade dos dados disponíveis.

Geralmente, a recarga natural dos aquíferos ocorre através da precipitação que ao cair na superfície do terreno infiltra nas rochas e solos, além da contribuição de rios, lagos e canais e irrigação. Destaca-se que os métodos para estimar a recarga são variados e muitos trabalhos salientam uma demonstração desses métodos como em Lerner et al. (1990), Allison et al. (1994), Simmers (1997) e Scanlon e Cook (2002).

## *2.4 MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE RECARGA*

Estimar os valores e condições de recarga de aquíferos são um desafio para os hidrogeólogos em muitas partes do mundo, especialmente em áreas onde há grande variação na distribuição espacial e temporal das precipitações.

Diversos são os métodos que podem ser utilizados para gerar uma estimativa do volume de recarga subterrânea de uma área, e estes variam de acordo com as características da área estudada e as escalas a serem trabalhadas. A escolha do melhor método deve-se basear não apenas nos dados disponíveis e nas características da área, mas também nas escalas temporais e espaciais.

Estimar a recarga de água subterrânea é muito importante em estudos de disponibilidade, gestão e modelagem dos recursos hídricos subterrâneos (EILERS, 2004). Para entender isto, pode-se dar como exemplo que o conhecimento da taxa de alimentação de um aquífero é um subsídio essencial para a tomada de ação para o aproveitamento sustentável das águas subterrâneas. Deste modo, efeitos ambientais indesejados provenientes da super(sobre-)exploração dos aquíferos podem ser evitados.

Ressalta-se aqui que as estimativas das taxas de recarga possuem um elevado grau de incerteza (SIMMERS, 1998). Para estimar a recarga, o conhecimento e o entendimento do complexo sistema de fluxo de água no meio não saturado e a elaboração de um modelo conceitual que represente adequadamente os principais processos físicos envolvidos (interação água-solo-vegetação) devem ser pontos primordiais.

De uma maneira simplificada, os métodos para estimativa de recarga podem ser classificados em: (i) métodos empíricos, que relacionam a precipitação com a recarga; (ii) métodos baseados em medidas diretas de determinados processos físicos; e, (iii) modelos numéricos baseados na solução da Lei de Darcy.

Dos métodos baseados em medidas diretas destaca-se a observação da variação do nível de água em poços de observação, o uso de lisímetros e a aplicação de traçadores.

#### *2.4.1 Water-table-fluctuation (WTF) ou Variação do Nível Freático (VNF)*

As técnicas baseadas na leitura de níveis d'água em poços estão entre os métodos mais aplicados na determinação da recarga (GONÇALVES et al., 2016). O método *Water-table-fluctuation (WTF)* ou Variação do Nível Freático (VNF) é a técnica mais amplamente utilizada para estimar a recarga de aquíferos e foi o escolhido para realização do presente trabalho. Isto ocorre devido a facilidade em se estimar a recarga através das variações temporais ou padrões espaciais de leituras dos níveis freáticos.

O método só pode ser utilizado em aquíferos não confinados e requer o coeficiente do rendimento específico do solo e das variações nos níveis d'água ao longo do tempo (FARIAS, 2011). Tal método já foi utilizado para séries de curta e/ou longa duração de dados.

Este método utiliza flutuações de níveis de água subterrânea ao longo do tempo

para estimar recarga em aquíferos livres (HEALY, 2010). Estima valores para a recarga das águas subterrâneas como consequência da análise das flutuações do nível da água nos poços de observação. O método é baseado na suposição de que um aumento na elevação do lençol freático medido em poços rasos é causado pela adição de recarga através do lençol freático.

A Recarga pelo método *WTF* é estimada como (Equação 01):

$$R = S_y \cdot \frac{dh}{dt} = S_y \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

Equação 01

Em que

R = recarga;

$S_y$  é o rendimento específico;

$\Delta h$  é a variação do nível freático;

$\Delta t$  é o tempo de avaliação.

Segundo a Equação 01, a água que atinge o nível freático entra diretamente em armazenamento, e quaisquer outros componentes como evapotranspiração subterrânea, fluxo de base, entrada e saída de fluxo subsuperficial são iguais a zero durante o período de recarga. Através da equação entende-se que, para cada elevação individual de nível, será gerada um valor estimado de recarga. Para quantificar a recarga total,  $\Delta h$  é considerado igual à diferença entre o pico de subida e ponto mais baixo da curva de recessão antecedente extrapolada até o instante do pico (Figura 7). A curva de recessão antecedente é o traço que o hidrograma do poço teria seguido na ausência de elevação do nível d'água (HEALY, 2010)

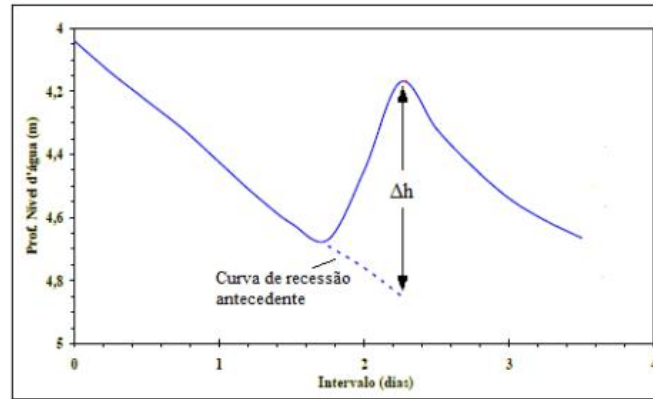


Figura 7: Elevação hipotética no nível d'água do poço em resposta à precipitação. Fonte: BARRETO et al. (2007)

Uma das principais vantagens do uso da estimativa de recarga por *WTF* é que, devido a sua simplicidade, pode-se desconsiderar, por exemplo, a existência de caminhos preferenciais de fluxo, uma vez que os mecanismos de transporte que regulam a passagem de água na zona não saturada não se configuram como algo essencial para a análise (HEALY; COOK, 2002)

Um parâmetro essencial no cálculo de recarga através do método *WTF* e que precisa ser levantado é o rendimento específico -  $S_y$ . Este é definido como a proporção do volume d'água que é drenado por gravidade com relação ao seu próprio volume depois de saturado (MAZIEIRO; WENDLAND, 2005).

#### 2.4.1.1 Rendimento Específico

O rendimento específico ( $S_y$ ), que pode ser considerado um sinônimo de porosidade efetiva, é a água sob armazenamento em subsuperfície e que irá escoar sob influência da gravidade. No caso de aquíferos freáticos, a água é escoada quando o nível freático tem um rebaixamento. Porém, nem toda água contida nos poros, como observado na figura 6, é removida por escoamento gerado pela gravidade. Deste modo, a água pode ser aprisionada nos interstícios entre os grãos do solo, por forças moleculares e tensões

superficiais, constituindo a denominada retenção específica (MAZIERO; WENTLAND, 2005).

O coeficiente de armazenamento ( $S$ ) é definido como o volume de água que um aquífero desprende ou armazena por unidade de área superficial do aquífero por variação unitária na componente de carga normal àquela superfície. Neste sentido, quando o nível d'água (N.A) rebaixa, a água é retirada dos poros e este armazenamento ou liberação de água é função do rendimento específico da formação, o que faz com que nesse tipo de aquífero  $S_y \approx S$ .

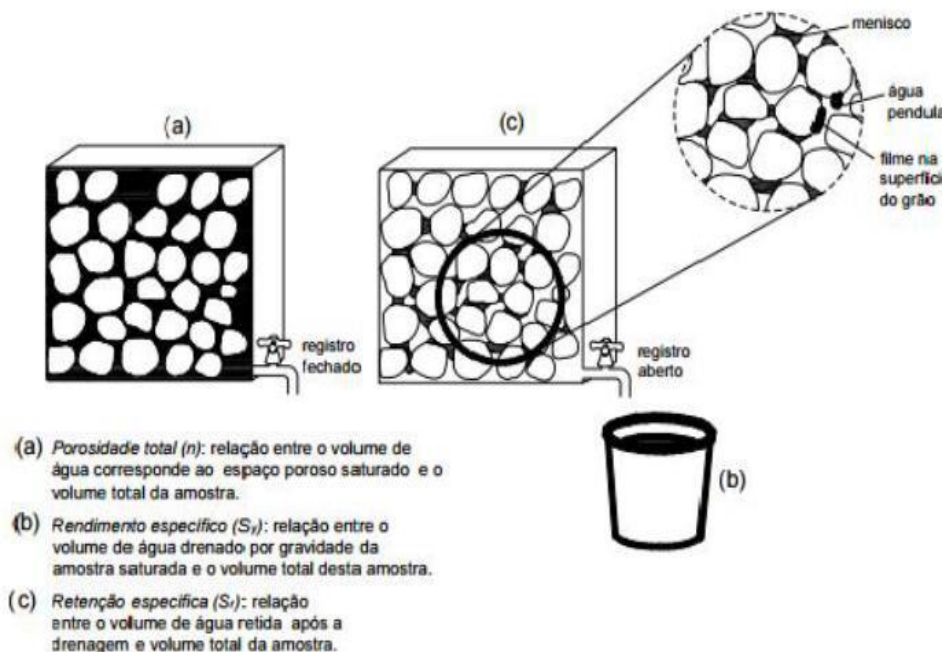


Figura 8: Desenho esquemático esclarecendo o conceito de rendimento específico e retenção específica. Fonte: GOMES (2008)

A determinação precisa do rendimento específico para a aplicação do método *WTF* é de extrema importância, porém os valores relatados na literatura são oscilantes, assim como os métodos para sua obtenção (MAZIERO; WENTLAND, 2005). No presente trabalho, utilizou-se a média encontrada em literatura para o rendimento específico da área.

Além de estimar os valores de recarga, este trabalho visa avaliar a aplicação do método *WTF*, cuja simplicidade requer a atenção do usuário para obter resultados significativos.

#### *2.4.2. Método dos Lisímetros*

Um outro método utilizado para estimar a recarga subterrâneo é através do uso de lisímetros, que proporciona o único método direto de medida de recarga. Entretanto, o uso de lisímetros não é um método prático de estimativa de recarga devido ao custo associado à sua construção e o tempo necessário para a sua estabilização (ALBUQUERQUE, 2009). Outro fator negativo é o caráter estritamente localizado dos seus resultados.

#### *2.4.3 Método dos Traçadores*

Segundo Healy (2010), traçadores geram estimativas de recarga tanto quantitativa como qualitativa. Eles identificam as fontes dessas recargas e fornecem outras informações, tais como velocidade da água e sua movimentação subterrânea.

Esta técnica utiliza uma grande variedade de substâncias químicas para caracterizar o fluxo de água na zona não saturada. Normalmente são íons, isótopos ou gases detectáveis que se movem junto com a água. Podem ser divididos em:

1. históricos, ou seja, análise de assinaturas decorrentes de um evento particular, por exemplo, testes nucleares;
2. ambientais, entre eles, cloretos, nitratos, isótopos estáveis; e artificiais, que são aplicados diretamente no local investigado, por exemplo, uso de trítio injetado.



Os problemas associados a estes métodos estão relacionados com as incertezas decorrentes da amostragem e interpretação dos resultados, bem como, pelas inúmeras simplificações conceituais adotadas.

O mais utilizado para medir o movimento da água subterrânea é o cloreto, sendo um excelente traçador, pois é altamente solúvel em água e, geralmente, não participa de reações bioquímicas ou geoquímicas.

#### *2.4.4 Método da Lei de Darcy*

Esse método utiliza formas numéricas baseadas na solução da equação de Darcy, combinado com a equação de conservação de massa. Esta metodologia permite a elaboração de modelos computacionais utilizados para simular o fluxo de água no meio não saturado em diferentes condições físicas. Embora a Lei de Darcy seja aplicável em condições de fluxo não saturado, o valor da condutividade hidráulica ( $K$ ) varia significativamente em função do conteúdo volumétrico e do potencial total. As incertezas na determinação da interação de  $K$  com o conteúdo volumétrico, associado ao grande número de parâmetros exigidos por modelos mais complexos, dificultam a utilização de modelos em condições com pouca disponibilidade de dados (EILERS, 2002).

#### *2.4.5 Método do Balanço Hídrico*

O método do balanço hídrico é um modo prático e plausível para a estimativa de recarga, desde que, os principais processos físicos existentes apontados pelo modelo hidrogeológico conceitual da área investigada estejam representados adequadamente. A metodologia de balanço hídrico faz uso de dados frequentemente disponíveis ou deduzidos de informações secundárias, tornando-o assim, um método atrativo para

estimativas de recarga. Os principais componentes do balanço hídrico são apresentados a seguir:

1. Água total armazenada no solo e o déficit de água no solo;
2. Precipitação, escoamento superficial direto e infiltração;
3. Evapotranspiração potencial e evapotranspiração efetiva em função da disponibilidade de água no solo;
4. Conceito de armazenamento temporário nas camadas superficiais do solo; e,
5. Drenagem de água da zona de solo, ou a recarga potencial.

## *2.5 SISTEMA AQUÍFERO URUCUIA (SAU)*

Este item trata da caracterização do Sistema Aquífero Urucuaia (SAU) no estado da Bahia. A área do aquífero Urucuaia abordada neste estudo encontra-se na Bacia Hidrográfica do rio Grande (Figura 9), situada no oeste do Estado da Bahia, entre as latitudes 10°50' e 13°00' Sul e as longitudes 45°25' e 45°30' Oeste. A bacia rio Grande é uma importante sub-bacia da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco e o rio Grande é o principal afluente do rio São Francisco na Bahia, estendendo-se desde o extremo sul do Maranhão e Piauí até o extremo noroeste de Minas Gerais. Seus limites meridionais são balizados a oeste pelo limite da serra Geral de Goiás, desde a região nordeste de Goiás até o sudeste do Tocantins; e a leste na altura das sedes dos municípios de Barreiras (BA), Correntina (BA), Cocos (BA), Formosa do Rio Preto (BA) e Gilbués (PI) (CPRM, 2012). O acesso à área pode ser feito pela BR-020 e pelas BR-242 e BA-462.

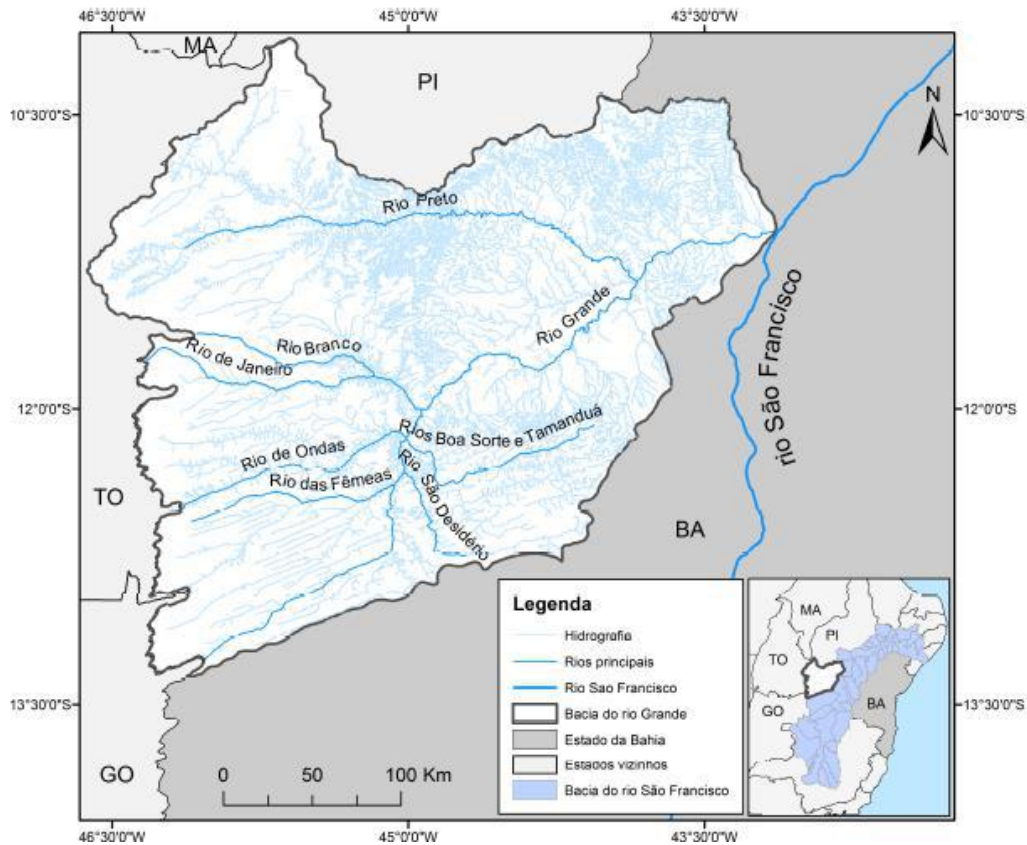


Figura 9: Bacia Hidrográfica Rio Grande. Fonte: SANTOS et al. (2014).

### 2.5.1 Geologia e Fisiografia

O contexto geológico da região do SAU consiste de sequências de arenitos, conglomerados e siltitos que integram um conjunto de aquíferos inter-relacionados do Grupo Urucuia, unidade neocretácea da Bacia Sanfranciscana (BARBOSA, 2016). Campos; Dardenne (1997) propuseram um modelo de bacia tipo SAG, enquanto que Bomfim; Gomes (2004) levantam hipóteses de bacia tipo *rifte*. O SAU, na região estudada, é constituído pelos arenitos do Grupo Urucuia (Neocretáceo), subdividido nas formações Posse e Serra das Araras (CAMPOS; DARDENNE, 1997), apresentando homogeneidade litológica e, portanto, hidráulica em toda a bacia, justificável pela predominância dos litotipos arenosos (Figura 10).

É do tipo intergranular (também chamado de granular, ocorre em rochas sedimentares clásticas com porosidade primária e no regolito) e se dispõe como um espesso tabuleiro, e constitui-se de quartzo-arenitos e arenitos feldspáticos eólicos, bem selecionados, com presença de níveis silicificados, e em menor proporção de níveis conglomeráticos (GASPAR, 2012).

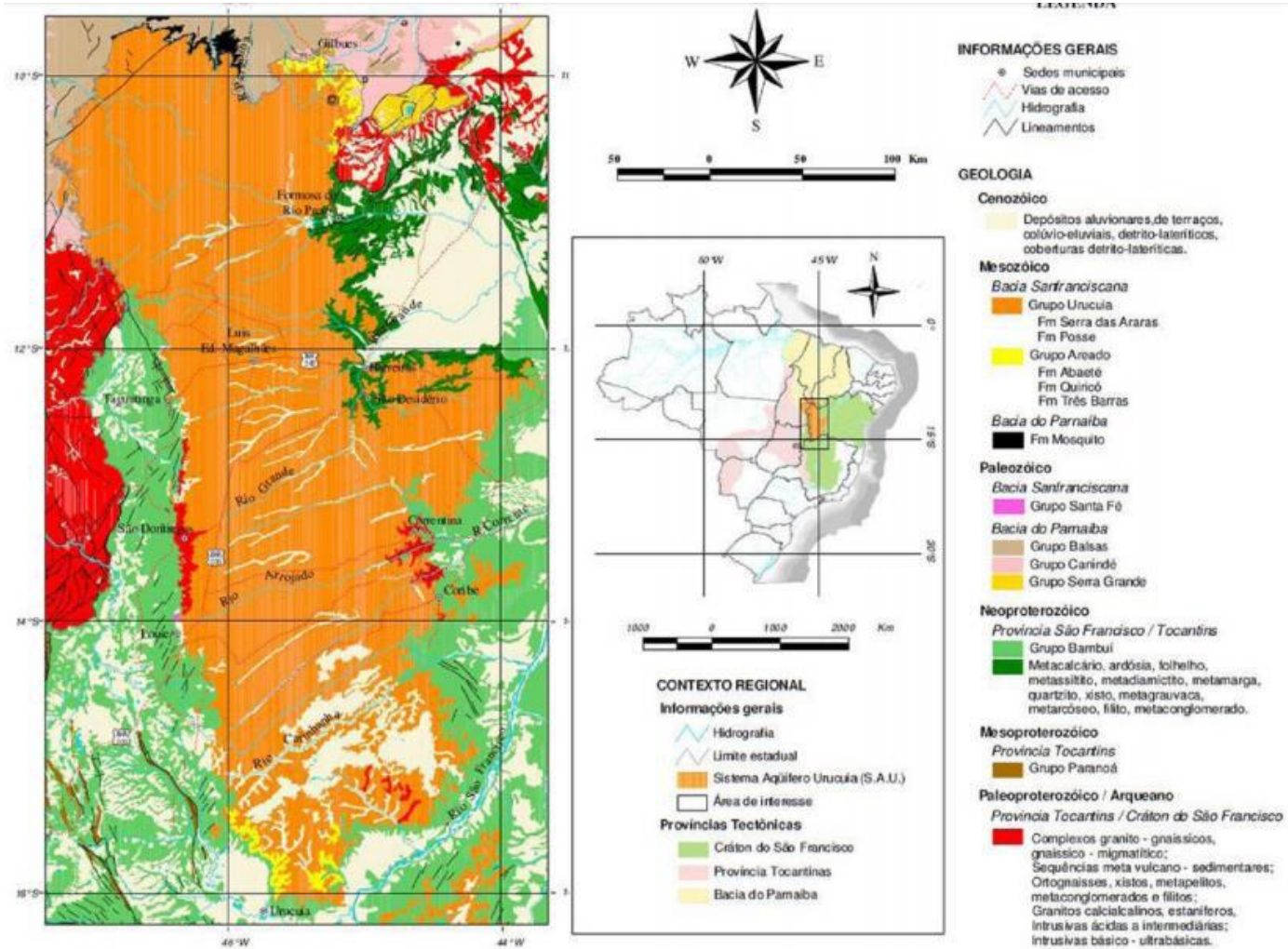


Figura 10: Mapa geológico do Aquífero Urucui. FONTE: GASPARG (2006).

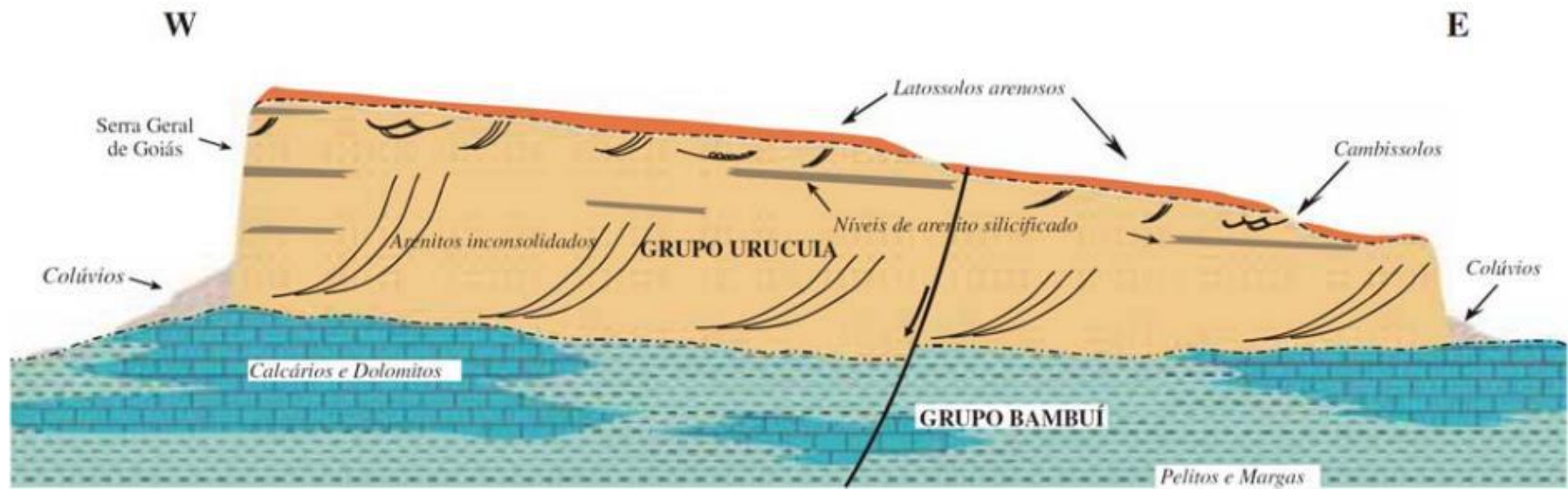


Figura 11: Perfil Leste-Oeste esquemático do contexto geológico do Sistema Aquífero Urucua no oesteda Bahia. Fonte: GASPAR (2006)

Segundo Chang e Gonçalves (2017), a cobertura cenozoica é representada pela Formação Chapadão, presente em alúvios, colúvios ou elúvios. O embasamento é composto por rochas neoproterozoicas do Grupo Bambuí (CAMPOS; DARDENNE, 1997) e o conjunto de unidades situadas sob o SAL (Figura 12) é, em geral, pouco permeável, representado, portanto, por uma condição de fluxo nulo. Estudos recentes mostram que há heterogeneidades, havendo a presença de níveis de arenitos de unidades geológicas mais antigas em algumas porções do território.

A geomorfologia predominante na área de estudo é representada pela unidade de relevo Chapada do São Francisco, também conhecida como Chapadão do Oeste Baiano, sendo considerada a mais importante unidade geomorfológica da região, em termos hidrogeológicos, já que abarca a área de recarga desse sistema.

As formas do relevo da bacia do rio Grande são bem peculiares e singulares e é resultado do complexo conjunto de processos que os formaram.

O relevo é bastante diversificado (Figura 13) e precisa ser bem utilizado nos planejamentos para que se tenha uma situação bem próxima do que se prega no conceito de desenvolvimento sustentável, utilizando áreas para o desenvolvimento socioeconômico e outras sendo preservadas (ALVES et al. 2009). Quatro unidades morfoesculturais, resultado de processos de agradação e denudação, são encontradas na área, devido a variações climáticas e movimentos tectônicos. Essas unidades morfoesculturais (Figura 14) são: planalto, planalto em patamar, depressão e serras (ALVES et al.2009).



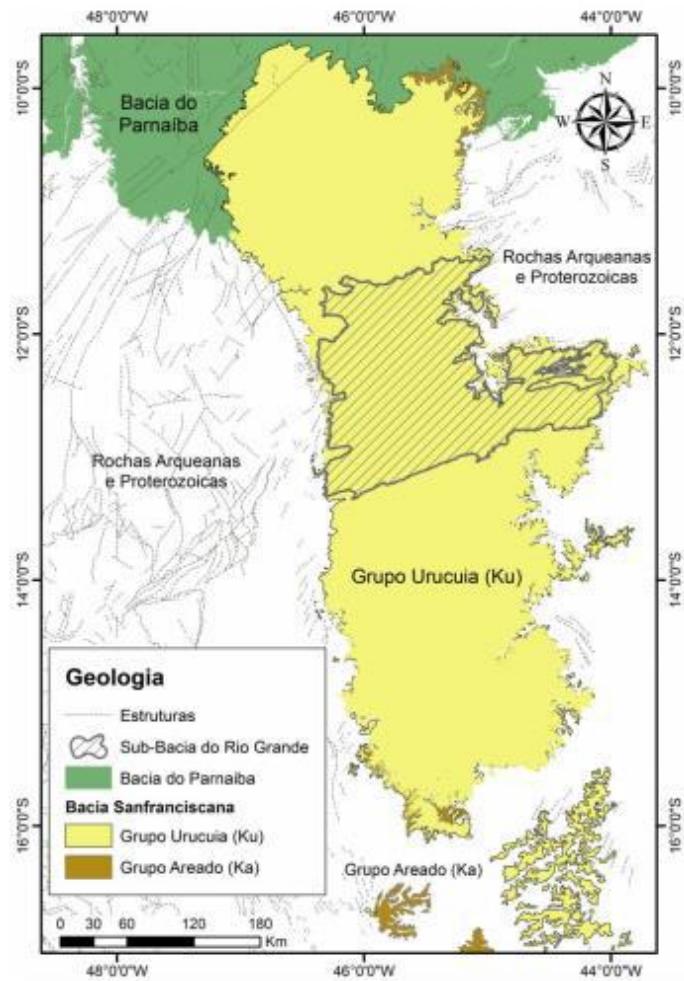


Figura 12 – Contexto geológico do Grupo Urucua e a localização da área de estudo (sub-bacia do rio Grande). Fonte: CPRM (2007).

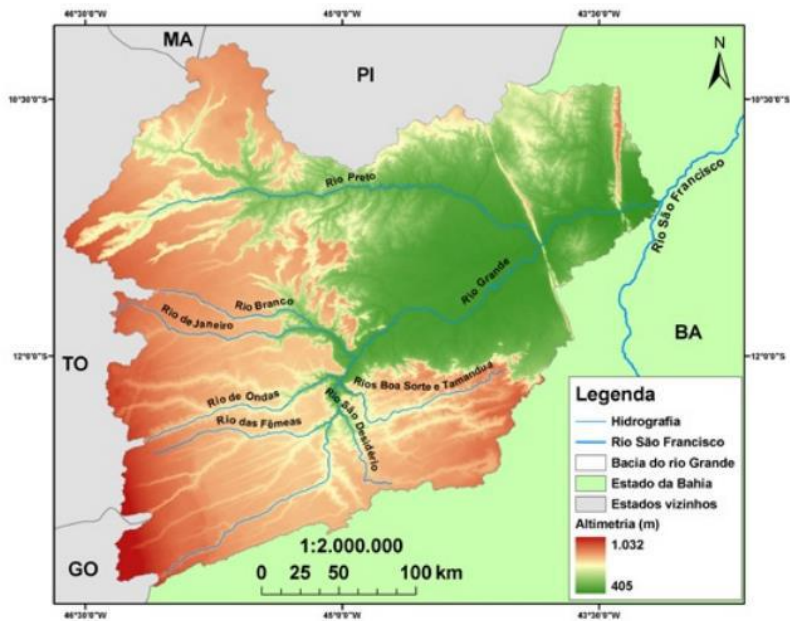


Figura 13: Altimetria da bacia do rio Grande. Fonte: Moreira (2010)



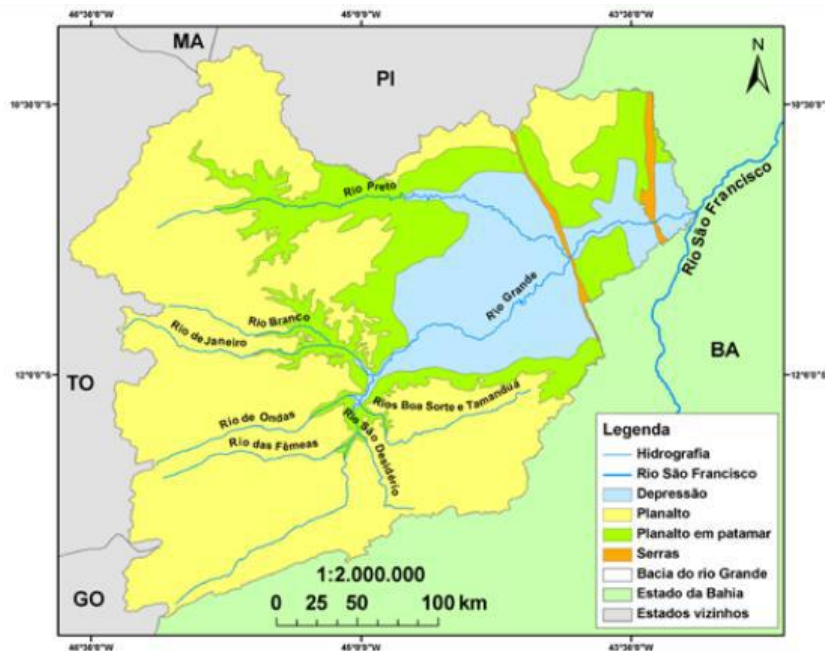


Figura 14: Morfoesculturas da bacia do rio Grande. Fonte: Alves et al., (2009).

O clima da área é tropical, com presença de verão chuvoso, que se estende de outubro a abril, e inverno seco, de maio a setembro. Pode-se identificar basicamente três tipos climáticos na região: úmido no extremo Oeste da bacia, onde se verificam índices pluviométricos que podem ultrapassar os 1700 mm anuais; subúmido, na região central da bacia; e semiárido, na parte oriental da bacia. Na região semiárida, junto à calha do rio São Francisco, são observados índices pluviométricos inferiores a 800 mm, sendo comuns períodos de seca (MOREIRA, 2010).

Segundo Gonçalves (2013), nos meses úmidos, a precipitação pluviométrica (Figura 15) corresponde à quase a totalidade da chuva anual (94%), sendo que o rio se mantém perene na estação seca devido apenas à exsudação do Sistema Aquífero Urucuaia. Esse comportamento irregular ocasiona na região períodos de excesso e déficits hídricos.

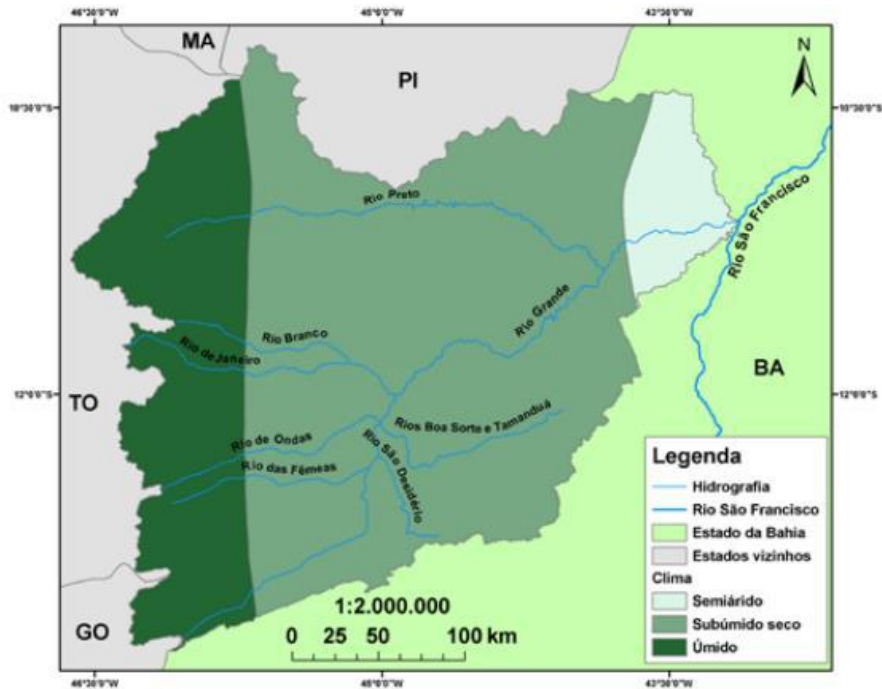


Figura 15: Clima da bacia rio Grande. Fonte: Moreira (2010) apud CODEVASF (1999).

A vegetação, predominante na área (Figura 16), é o cerrado, verificando áreas de tensão ecológica, na região central, as quais são caracterizadas pela transição das vegetações de cerrado, caatinga e florestas estacionais (MENINO et al, 2015).

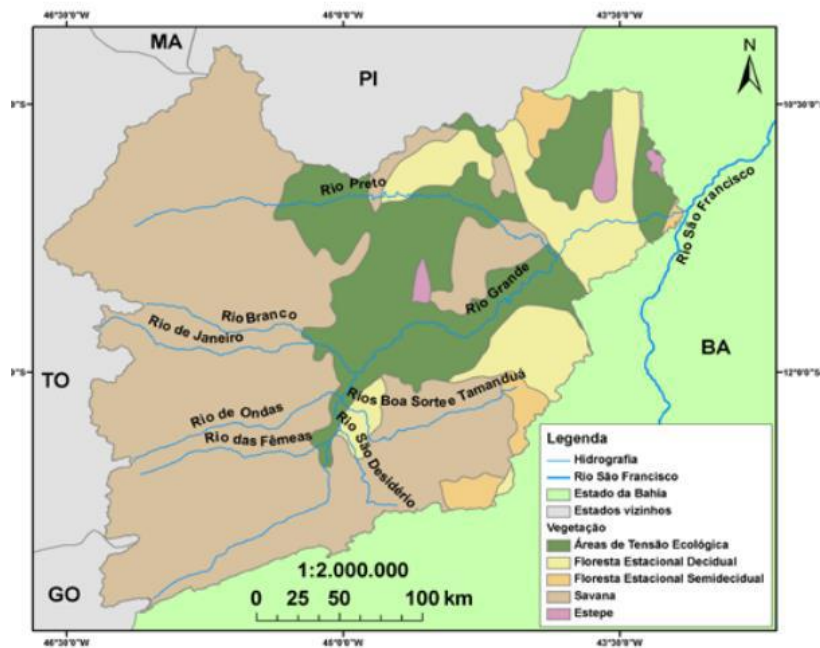


Figura 16: Vegetação da bacia do rio Grande. Fonte: Menino et al. (2015) apud IBGE (1991)

### 2.5.2 Hidrogeologia

Segundo Gaspar; Campos (2007) o sistema aquífero Urucuia é um conjunto de aquíferos, do tipo livre e semiconfinado, que ocorrem no domínio do Grupo Urucuia, com uma espessura saturada variando desde 80 a 460 metros (ou mais, segundo dados mais recentes) e está contido na província hidrogeológica do São Francisco.

A recarga ocorre por infiltração da água das chuvas nas áreas de chapada, com relevo plano e elevado, onde ocorrem espessos latossolos de textura média e arenosa e altos índices pluviométricos (isoietas normalmente superiores a 1000 mm por ano). Destaca-se que nessa região está instalada grande parte das áreas agricultáveis da região, o que compromete o processo de recarga devido à compactação provocada pelo manejo dos solos.

Pode-se destacar que há o predomínio do aquífero livre regional, considerado a maior unidade hidrogeológica, sendo de grande distribuição espacial. Possui nível estático variável, sendo comumente explorado por meio de poços tubulares para abastecimento doméstico e como insumo na diluição e aplicação de agrotóxicos nas lavouras (BARBOSA, 2016). Tem importância na manutenção do fluxo de base da rede de drenagem da região do extremo oeste baiano, apresentando sistemas locais e regionais de fluxo e águas de excelente qualidade e pouco mineralizadas.

O aquífero suspenso local representa um subtipo de aquífero desenvolvido em função da presença de níveis silicificados rasos e de extensão limitada que atuam como aquíferos<sup>2</sup> e formam uma zona saturada, provavelmente temporária, acima do nível d'água regional (BARBOSA, 2016). A maioria dos poços tubulares profundos utilizados para irrigação com uso de pivôs estão na região de Luís Eduardo Magalhães (BA), nas bacias dos rios Grande e Arrojado, e na parte norte, no município de Formosa do Rio Preto, que explora água desse subtipo hidrogeológico (CPRM, 2012).

O comportamento do nível freático local, o qual pode ser associado ao volume de infiltração que efetivamente chega ao lençol freático em forma de recarga aquífera é influenciado diretamente pelas chuvas.

### **3.METODOLOGIA**

#### *3.1 ESCOLHA DA ÁREA DE ESTUDO*

O estudo presente possui como área de interesse a bacia do rio Grande localizada no noroeste do estado da Bahia. A disponibilidade de dados do Projeto RIMAS (Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas) operado pelo CPRM na região e as questões relacionadas ao uso da terra e dos recursos hídricos da região, além da sua importância na manutenção hídrica do rio São Francisco, foram pilares importantes na motivação do estudo presente.

Além disto, esta região possui bons e relevantes estudos, dos quais se pode extrair informações hidrogeológicas que enriqueceriam as discussões e comparações.

Destaca-se que o rio Grande possui um regime hidrológico fortemente influenciado pela contribuição de água subterrânea (GONÇALVES, 2011) que varia de 70% até 100% da vazão total do rio, dependendo da estação do ano. Esta bacia foi escolhida por sua grande importância no contexto estadual e nacional, já que a bacia do rio São Francisco possui um destaque importante no cenário nacional. Também é uma bacia inserida numa região que apresentou um rápido crescimento impulsionado pelo desenvolvimento agrícola.

#### *3.2 LEVANTAMENTO DOS DADOS*

As caracterizações hidrogeológicas e geológicas foram fundamentadas em referências bibliográficas largamente disponíveis através de artigos, trabalhos e estudos existentes em plataformas online e físicas. Foram utilizados como base os estudos e mapas disponíveis pela CPRM, IBGE, Codevasf e SRTM. Todos os mapas gerados neste

trabalho foram feitos com o software *ArcGis10.5*, utilizando-se *shapefiles* e imagens *raster* de diferentes fontes e o sistema de coordenadas usado foi o WGS-1984.

O *software* Microsoft Excel 2016 foi utilizado para realizar todos os cálculos e gráficos, bem como a estruturação e organização inicial do banco de dados produzido.

### *3.3 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA AQUIFERO URUCUIA NA ÁREA DE ESTUDO*

Para iniciar a caracterização do sistema aquífero Urucua iniciou-se o levantamento de poços tubulares no estado da Bahia com a consulta ao SIAGAS (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas), operado e mantido pela CPRM. Dentre os poços levantados, foram identificados aqueles pertencentes à rede RIMAS, ou seja, poços utilizados de forma dedicada e exclusiva ao monitoramento da flutuação do nível de água. Entre estes poços da RIMAS, buscou-se os que fossem localizados dentro da bacia do rio Grande, pertencentes a aquíferos livres e que tivessem no mínimo 4 anos de dados de monitoramento. Após a escolha dos poços realizou-se o levantamento das fichas cadastrais junto ao SIAGAS, as quais contém os perfis construtivos dos poços, além de dados geológicos e hidrogeológicos da área onde estão localizados.

### *3.4 AVALIAÇÃO DA VARIAÇÃO DO NÍVEL D'ÁGUA E ESTIMATIVA DA RECARGA*

O monitoramento do nível freático tem como objetivo fornecer dados sobre as condições de equilíbrio do aquífero freático. Isso ocorre em termos de evolução temporal da resposta dos níveis piezométricos frente aos volumes de recarga/infiltração direta nos períodos de chuva (BETIO; SANTOS, 2017). Os dados de nível d'água foram obtidos a partir dos poços de monitoramento do projeto RIMAS e foram utilizadas as séries completas para avaliação do nível de água, sendo estas escolhidas até a data em que se

tinha dados com consistência. De uma maneira geral, tem-se o começo do monitoramento em 2013, estendendo-se até 2019.

A medição de nível d'água pelos poços de monitoramento são realizadas por sensores (*dataloggers*) que realizam a medida de nível a cada uma hora. Sendo assim, para obtenção dos dados diários é feita a média destes valores. No caso dos poços selecionados, as medições já apareceram registradas com a média.

Para determinação do  $\Delta h$ , aplicou-se a metodologia apresentada por Healy; Cook (2002), e também utilizada por vários outros autores. Inicialmente, optou-se pela avaliação do método gráfico, na qual a curva de recessão antecedente a uma subida no NA é extrapolada manualmente com base na análise de todo o conjunto de dados para determinar o valor de  $\Delta H$  (amplitude do ponto mais alto e mais baixo do nível freático observado). Quando o NA é visualizado com os dados pluviométricos correspondentes, as subidas que não são causadas pela chuva (e, portanto, não indicam recarga) podem ser identificadas claramente e eliminadas do cálculo de recarga.

Vale destacar que existem diversas divergências de opiniões quanto à tendência que uma curva de recessão do nível de águas subterrâneas deve apresentar após iniciado o período de ascensão do hidrograma e cada área, por possuir distintas características, possui uma tendência específica de escoamento de base. Barreto et al. (2010), Gomes (2008) e Dambrós (2011) tratam a curva de recessão como subjetiva no ambiente de estudo.

Para ajuste do cálculo de recarga, depois de identificar todas as elevações dos níveis de água e das curvas de recessão antecedentes, somou-se os  $\Delta h$ s encontrados para os oito poços do estudo em m(metros), precisando redimensionar para recarga em mm (milímetro). O valor do  $\Sigma \Delta h$  para cada poço foi multiplicado pelo  $S_y$ , encontrando-se a recarga em mm.

Para determinar  $S_y$ , foram realizadas pesquisas para obter informações sobre este parâmetro. A literatura indica que ele pode variar entre 0,1 e 0,15 na área de estudo, optando-se por um valor de média entre esses, ou seja 0,125.

Destaca-se que valores acima de 25% e abaixo de 5% podem não ser fontes confiáveis de análise, dado que são anormais na prática.

Para efeito de comparação com os resultados de precipitação e gerar a recarga efetiva em %, multiplicou-se cada valor de recarga pelo período analisado, e fez-se a soma das precipitações no mesmo período para cada poço. Dividindo-se estes valores de recarga (em mm) pela precipitação total (em mm) no período, obteve-se a quantidade de precipitação que corresponde ou que pode ser considerada como recarga.

No monitoramento, foram observadas interrupções em alguns períodos de medição, para alguns poços, ocorridas devido a falhas do tipo: calibração, instalação do sensor, e mecânicas (falta de bateria do sensor). Esses dados foram obtidos com medições que ocorriam todos os dias e as medições que apresentaram menos de 15 dias de falhas foram preenchidas por interpolação linear do Excel. Os dados com interrupções maiores não puderam ser preenchidos por correlação e foram descartados para cálculos.

#### *3.4.1 Curva de recessão*

Para realizar o estudo e estimar a recarga através do método *WTF* foi necessário realizar uma análise estatística através da curva de recessão. Esta deve ser extrapolada até o momento em que o nível d'água alcance seu pico máximo.

Destaca-se que a curva de recessão corresponde ao traço que a hidrografia do poço de monitoramento seguiria caso não houvesse uma elevação do nível d'água (BARRETO, 2006). Os estudos do comportamento das curvas de recessão do nível freático (que



posteriormente levaram a quantificação da recarga via método *WTF*) foram analisados com o auxílio do *software* Excel para cada um dos eventos de recessão registrados.

De forma geral, segundo Barreto (2006) a técnica de identificação e extrapolação das curvas de recessão consiste em identificar os períodos em que não há recarga direta (que ocorre quando as águas da chuva penetram por meio da infiltração pelos poros e fendas), observando a precipitação ocorrida no período e mudanças bruscas na elevação da declividade do nível do aquífero. Gomes (2008) utiliza uma função do tipo exponencial para extrapolar as curvas de recessão dos níveis dos poços. Entretanto, Healy; Cook (2002) afirmam não haver um tipo específico de função. Neste trabalho utilizou-se a função de tendência do *Software Microsoft Excel 2010* para extrapolação das curvas de recessão que prevê valores futuros na curva de recessão baseando-se em valores conhecidos. De forma geral, a linha de recessão antecedente foi obtida através de uma reta de ajuste, aplicada nos valores de nível d'água correspondentes a diminuição do nível.

Além disso, para efeito de análise do comportamento da recessão e a sua representação gráfica optou-se por utilizar funções do tipo linear no traçado das curvas de recessão (via *software* Excel) por possuir representação gráfica semelhante ao que se espera do comportamento do volume de água de um aquífero em períodos de estiagem (PASINI, 2016).

### 3.5 DADOS PLUVIOMÉTRICOS

A caracterização pluviométrica foi feita de acordo com o levantamento de dados que possuísse proximidade em relação aos poços de monitoramento além da análise dos mapas e dados disponíveis (Figura 17). Os dados de precipitação foram selecionados no site da ANA (Agência Nacional de Águas), através do Portal Hidroweb, e se compõe apenas de dados brutos, que posteriormente foram tratados para a pesquisa.

Com as informações dos postos pluviométricos gerou-se um mapa com a localização das estações utilizadas neste trabalho, associada aos postos de monitoramento de nível d'água. Esses dados de pluviometria foram posteriormente utilizados para comparação da precipitação com a recarga aquífera. Também, foi proposto analisar as médias dos anos hidrológicos da bacia pois deste modo se poderia construir uma espacialização desses dados através do método de interpolação por IDW (Ponderação do Inverso das Distâncias).

Esta interpolação foi feita utilizando-se ferramentas do ArcMap, no programa ArcGis, usando como base os dados tratados do Hidroweb e do *shape* da bacia Rio Grande, cedido pelo Hidrogeo (UFRJ).

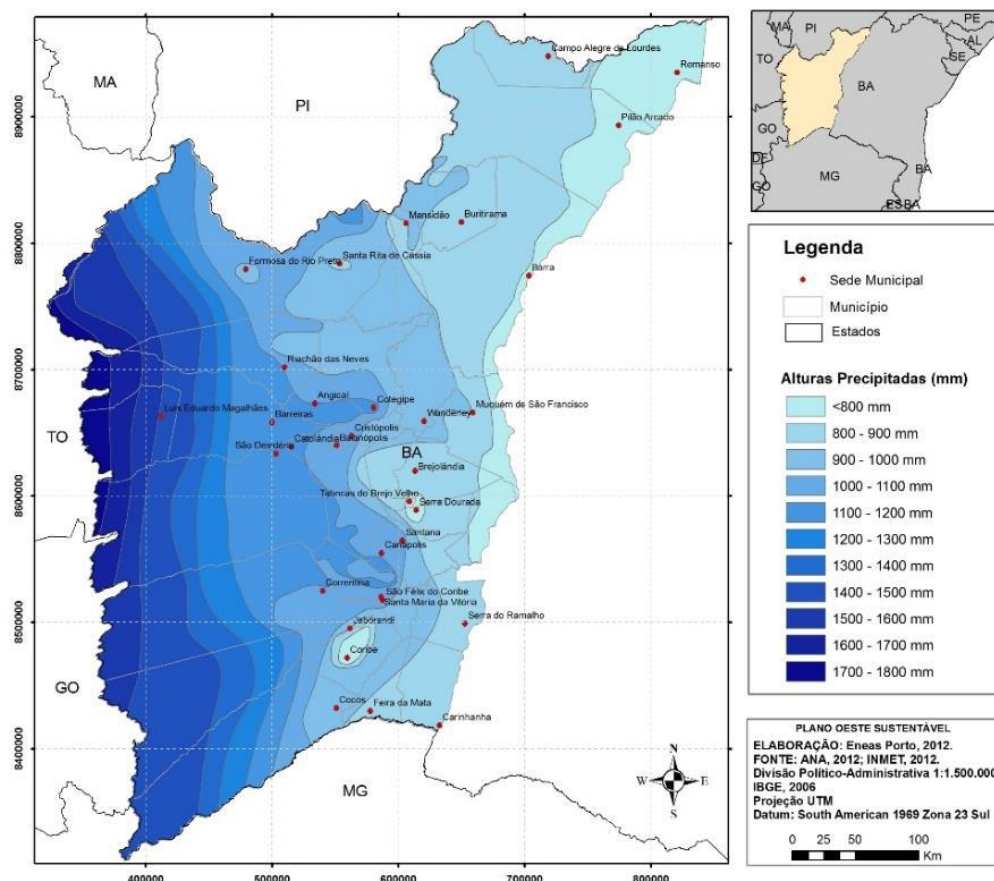


Figura 17: Mapa Pluviométrico do oeste da Bahia. Fonte: AIBA apud Porto (2012)

A seguir observa-se o fluxograma (Figura 18) utilizado nas atividades empregadas.

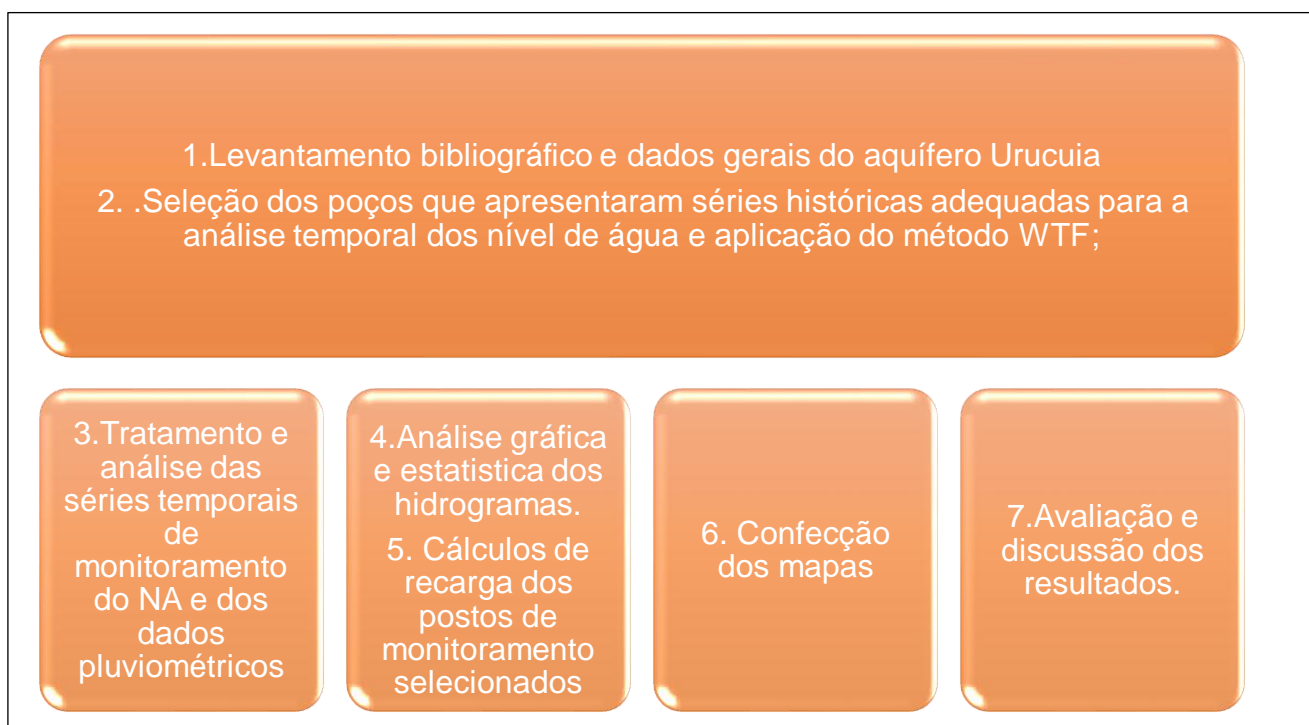


Figura 18: Fluxograma das atividades principais realizadas no trabalho.

## 4. DISCUSSÃO E RESULTADOS

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA

Os poços de monitoramento selecionados encontram-se apresentados na Tabela 1 e espacializados na figura 19. Estes possuem profundidades de mais de 250 m, com vazões de produção chegando a mais de 400 m<sup>3</sup>/h, com capacidades específicas da ordem de 10 a 12 m<sup>3</sup> /h/m.

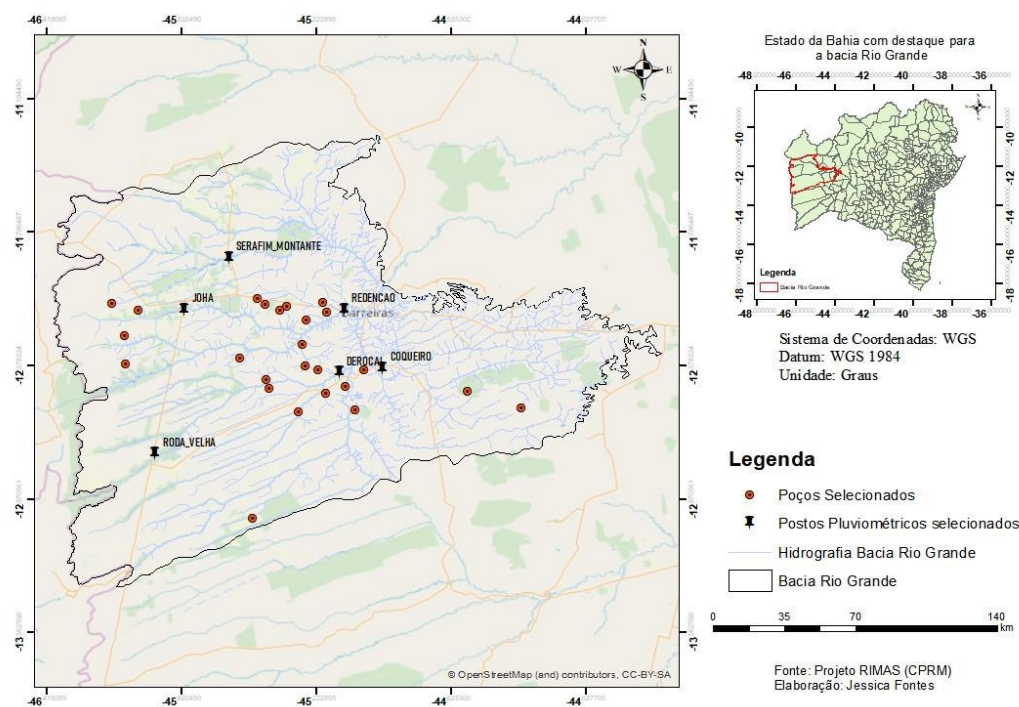


Figura 19: Distribuição dos poços e pluviômetros de monitoramento utilizados neste trabalho. Fonte: Projeto Rimas (CPRM). Elaboração: a autora

Estão disponíveis dados de 51 poços, porém optou-se por escolher os 25 mais representativos em termos de consistência e qualidade de dados. Apesar da distribuição dos poços não ocorrer de forma regular e muitos estarem próximos geograficamente um do outro, buscou-se distribuir os mesmos da forma mais regular possível abrangendo a área do Urucuia.

LOCALIDADE	LATITUDE	LONGITUDE	UTM (NORTE/SUL)	UTM (LESTE/OESTE)	COTA DO TERRENO	FORMAÇÃO	PROFUNDIDADE	NÍVEL D'ÁGUA
FAZENDA CABECEIRA GRANDE	123950	450112	8600036	497843	669.92	Urucuia	63	4.973
FAZENDA DURRI ZUTTON /	123946	452142	8600124	460727	704.21	Urucuia	63.00	6.9
FAZENDA SERTANEJA	121325	460138	8648503	388265	819.06	Urucuia	71.00	55.165
FAZENDA PONTA PEDRA DO RIO	121403	451746	8647530	467794	585.82	Urucuia	70.00	55.165
FAZENDA SANTA HELENA	121129	453533	8652208	435546	733.62	Urucuia	51	30.137
FAZENDA JOHÁ	120811	454839	8658229	411775	725.35	Urucuia	71.50	33.83
FAZENDA VISTA ALEGRE	124700	450938	8586815	482574	713.44	Urucuia	80.00	32.954
FAZENDA SÃO JOÃO	120956	451943	8655113	464249	728.75	Urucuia	121	77.28
VILA CAMPO ERÊ	121758	452659	8640289	451098	673.85	Urucuia	51	8.562
FAZENDA BURITIS	123804	452717	8603238	450615	728.14	Urucuia	101	13.65
FAZENDA RIO BRILHANTE	124803	454338	8584774	421075	774.2	Urucuia	73	9.65
FAZENDA TONINI	121045	454508	8653516	418166	748.26	Urucuia	64	18.04
FAZENDA CHAPARRAL	123446	455628	8609184	397771	813.91	Urucuia	92	32.41
FAZENDA SÃO ROQUE	123702	460705	8604930	378565	864.19	Urucuia	111	70.92
FAZENDA MARANATA	125645	443152	8568803	550859	683	Urucuia/ Formação Sete Lagoas	34	8.713
FAZENDA SIKUÉ-BIONERGIA	125834	453009	8565448	445502	765.93	Urucuia	71	23.79
FAZENDA BOM RETIRO	124917	445513	8582610	508651	711.67	Urucuia	73	9.617
FAZENDA VEREDA NOVA	125012	451821	8580900	466814	702.69	Urucuia	91	5.159
FAZENDA ESTÂNCIA	124401	454445	8592202	419033	773.58	Urucuia	64	11.281
FAZENDA AGROBASSO	121332	453830	8648417	430205	753.67	Urucuia	60	24.413
FAZENDA SANTO ANTONIO	125753	450512	8566746	490600	764	Urucuia	70	30.134
FAZENDA GALHO DO FURTADO	122833	452853	8620777	447689	699.57	Urucuia	72	4.731
FAZENDA SAVAI	121001	461305	8654685	367476	810.67	Urucuia	83	20.607
FAZENDA BALDISSARELA	122414	460724	8628522	377893	858.28	Urucuia	110	74.44
FAZENDA XINGU AGRICOLA TABULEIRO IV	130558	455040	8551710	408461	836.28	Urucuia	72	28.57

Tabela 1: Postos de monitoramento e características. Fonte: SIAGAS e RIMAS (2013-2019).

## 4.2 ANÁLISE DA PLUVIOMETRIA DURANTE O MONITORAMENTO

Para análise de recarga foram utilizados dados de precipitação de forma a obter-se o percentual da precipitação pluviométrica que resulta em recarga do aquífero. Na tabela 2 estão caracterizadas as estações pluviométricas utilizadas e quais poços de monitoramento foram relacionadas a estas. Na tabela 3 foram caracterizadas as médias dos anos hidrológicos em mm, o que possibilitou a espacialização das recargas na bacia do Rio Grande (Figura 20) pelo método de interpolação (*Inverse Distance Weighting*) (IDW).

Segundo Jakob; Young (2006) o método IDW, ou seja, Ponderação do Inverso das Distâncias implementa explicitamente o pressuposto de que as coisas mais próximas entre si são mais parecidas do que as mais distantes. Para predizer um valor para algum local não medido, o IDW usará os valores amostrados à sua volta, que terão um maior peso do que os valores mais distantes, ou seja, cada ponto possui uma influência no novo ponto, que diminui na medida em que a distância aumenta.

A escolha por esse método de interpolação relaciona-se ao fato desta ser mais flexível e que exige poucos parâmetros de decisão, além de ser um método interpolador exato. Além disso, este método pode ser adequado para uma visualização ou interpretação preliminar da interpolação de uma superfície.

Pelos mapas e análises pode-se observar que esta área apresenta estações chuvosas bem definidas, na qual os meses mais chuvosos vão de outubro até abril do próximo ano, e o período seco de maio a setembro, correspondendo a um ano hidrológico de outubro a setembro. O índice pluviométrico médio da região é de 1104 mm, com picos de até 1800 mm, o que evidencia que os últimos 5 anos, que abrangem o período de monitoramento (2013-2018), foram de baixas históricas. Pode-se apontar como uma das causas dessas baixas taxas de pluviometria o fato de que o fenômeno do El Niño apresentou

características muito fortes, principalmente entre 2015-2016 (INPE, 2018). O El Niño é responsável por desequilibrar o sistema climático do Brasil agravando o quadro de seca no Nordeste, por diminuir os índices de chuva.

Segundo os estudos da *International Research Institute for Climate and Society (IRI)*, na Universidade da Colúmbia (EUA), as águas da superfície do Pacífico equatorial mantiveram-se mais quentes que o normal entre 2013 e fevereiro de 2019, o que indicou a permanência do El Niño. O fenômeno apresentou intensidade forte principalmente entre 2015 e 2016, resultando em chuvas menos abundantes no Nordeste brasileiro, numa seca que se estendeu até o início de 2019. Desta maneira, quando se analisam as taxas de pluviometria da bacia, percebe-se que em 2019 ocorreu um aumento considerável das taxas pluviométricas da região, que poderia corroborar esta ideia. Vale destacar que seriam necessários estudos mais aprofundados para gerar uma análise mais conclusiva do assunto.

As médias anuais variaram de 848 mm a 1010 mm e o posto pluviométrico Johá foi o que registrou as menores taxas de chuva. No ano hidrológico de 2013/2014, o posto registrou 789,9 mm, em 2014/2015 foi de 719,9 mm, e em 2015/2016 de 761 mm. Os registros só passaram a elevar-se em 2016/2017 quando o posto registrou 1076.3 mm e em 2017/2018, com registro de 1010.2 mm. Deve-se destacar que o máximo anual registrado para a área foi de 1861 mm no ano hidrológico em 1996/1997, e o mínimo de 634 no ano 2004/2005.

Vale observar que índices pluviométricos de até 1800 mm e demais condições de clima e solos favoráveis, contribuem para o sucesso do agronegócio na região.

Através do mapa, visualiza-se que a precipitação varia de 789,9 mm a 1123,7 mm na bacia durante o período de monitoramento. Apesar da heterogeneidade encontrada nas tendências de pluviometria para os diferentes anos hidrológicos da bacia Rio Grande, percebe-se que os três poços situados mais ao norte da bacia localizam-se em região que

predomina a precipitação de valores entre 970 mm e 1030 mm. Essa tendência e as diferenças encontradas na espacialização dos dados de pluviometria podem ocasionar variações nos valores de recarga.

ESTAÇÃO	CÓDIGO	POÇO MAIS PRÓXIMO
<b>Fazenda Johá</b>	01245014	Fazenda Savaí Fazenda Baldissarela
<b>Fazenda Redenção</b>	01245004	Fazenda Ponta Pedra do Rio Fazenda Vila Campo Erê Fazenda Galho Furtado Fazenda Agrobasso
<b>Ponte Serafim Montante</b>	01145013	Fazenda Johá Fazenda Tonini Fazenda Santa Helena
<b>Derrocal</b>	01245005	Fazenda Durri Fazenda Estancia Fazenda Sikué- Bioenergia Fazenda Vereda Nova Fazenda Buritis Fazenda Rio Brillhante Fazenda Santo Antônio
<b>Coqueiro</b>	01245016	Cabeceira Grande Maranata
<b>Roda Velha</b>		Fazenda Xingu AgriTabuleiroIV

Tabela 2: Estações Pluviométricas utilizadas no estudo

LOCALIDADE	MÉDIA ANO 2013/2014	MÉDIA ANO 2014/2015	MÉDIA ANO 2015/2016	MÉDIA ANO 2016/2017	MÉDIA ANO 2017/2018
<b>SERAFIM MONTANTE</b>	917.4	777.6	1068	970.5	971
<b>COQUEIRO</b>	887.2	1076.7	986.9	957.4	1123.7
<b>REDENCAO</b>	844	910.3	794.4	922.6	1106.8
<b>DERROCAL</b>	839.5	743.6	870.3	834	1005.9
<b>JOHA</b>	789.9	719.9	794.2	824.3	978.6
<b>RODA VELHA</b>	1119.9	862.3	761	1076.3	1010.2

Tabela 3: Médias pluviométricas dos anos hidrológicos analisados.



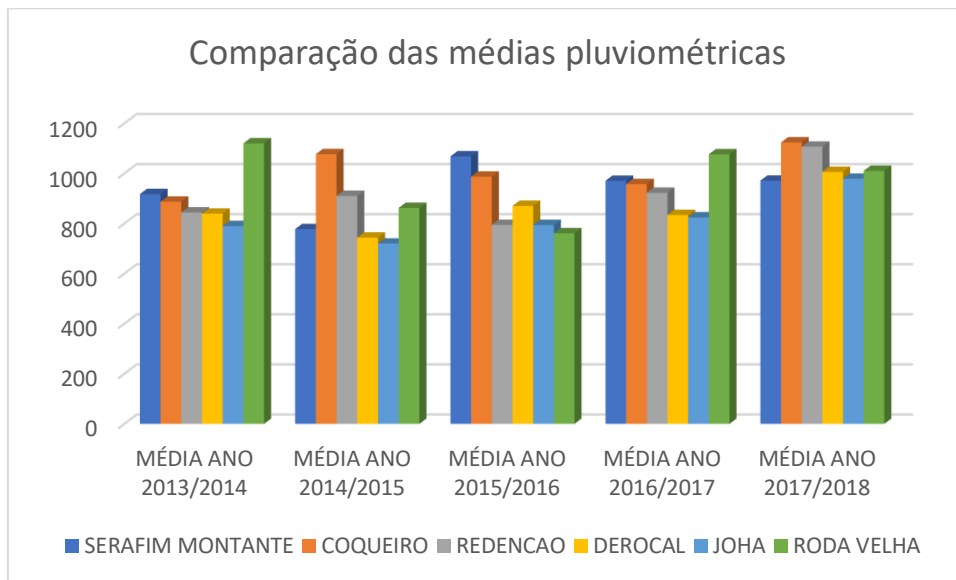
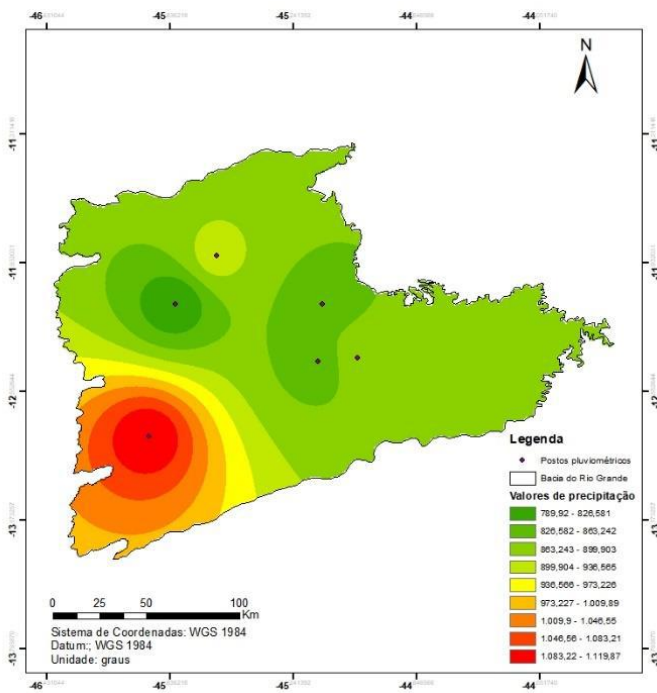
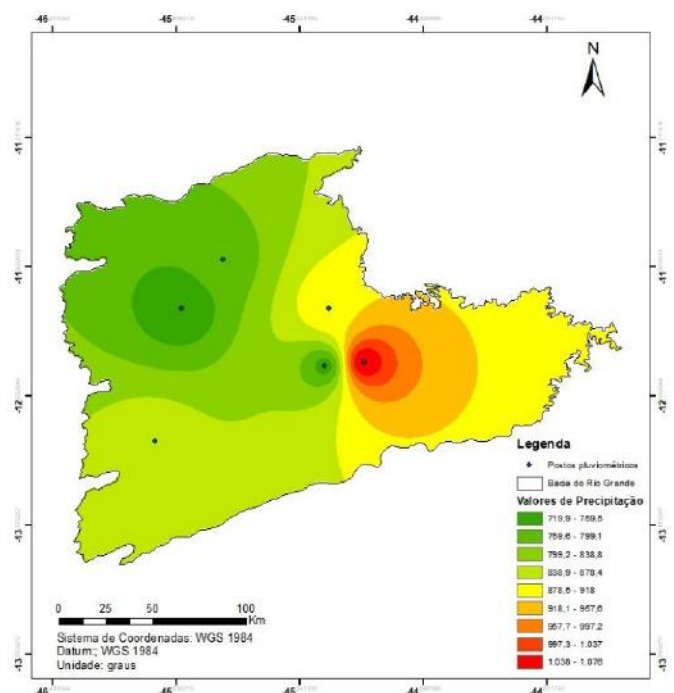


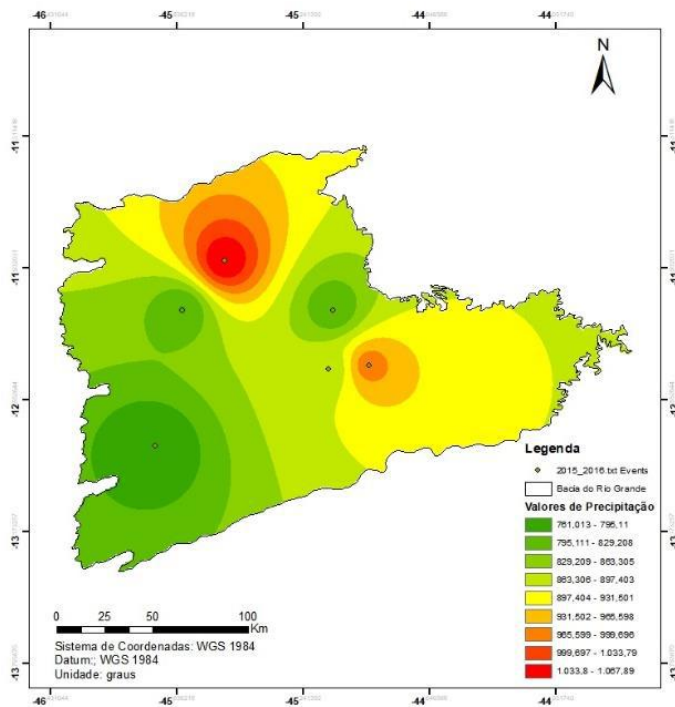
Gráfico 1: Comparação das médias pluviométricas dos anos hidrológicos por estações.



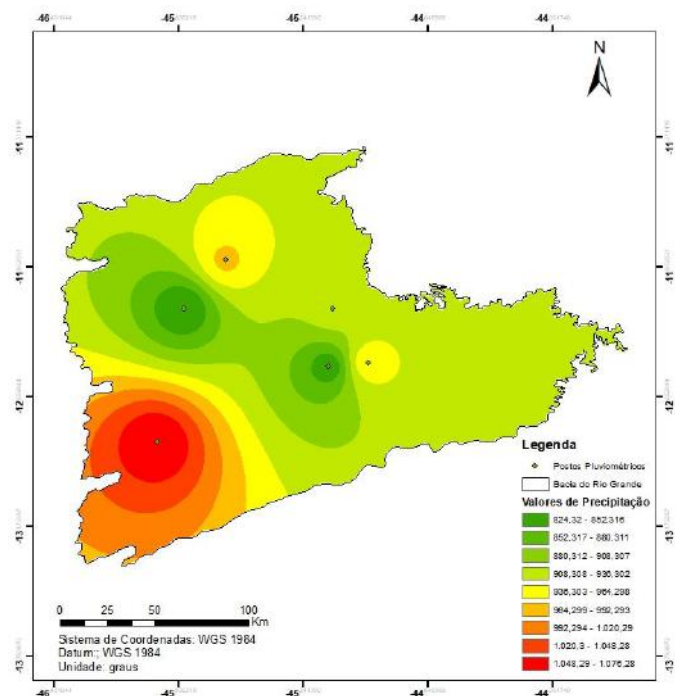
(a) Ano hidrológico 2013/2014



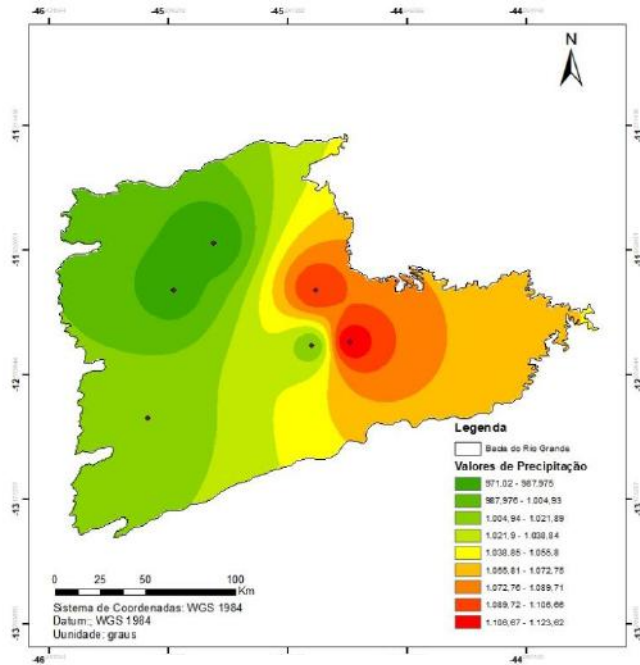
(b) Ano hidrológico 2014/2015



( c ) Ano hidrológico 2015/2016



( d ) Ano hidrológico 2016/2017



( e ) Ano hidrológico 2016/2017

Figura 20: Mapas de precipitação dos anos hidrológicos (período de monitoramento) na bacia Rio Grande por interpolação por IDW Fonte: Dados tratados Hidroweb (ANA). Elaboração: autora

### 4.3 ANÁLISE DOS REGISTROS DE NÍVEIS DOS POÇOS E SAZONALIDADE DA RECARGA

Todos os poços monitorados foram analisados gráfica e estatisticamente, buscando-se entender os picos de variação e a amplitude dos dados registrados durante o período de monitoramento. Na avaliação dos dados de flutuação de nível d'água para os 25 poços selecionados, percebeu-se tendências diferenciadas entre eles, predominando queda do nível d'água e respostas mais lentas aos principais eventos de chuva durante o período de estudo. As respostas sazonais dos poços de monitoramento foram registradas durante o período e plotados nos gráficos e a recarga foi estimada usando a análise *WTF*.

Em geral, o método *WTF* pode ser aplicado para estimar taxas de recarga quando os níveis de água mostraram uma rápida resposta a eventos individuais de precipitação. Devido a instabilidade da precipitação e dos recentes eventos de estiagem, rebateu-se as informações encontradas nos poços com os dados de pluviometria.

Para poder realizar a comparação das taxas de chuva e a quantidade de água que efetivamente gerou recarga foram escolhidas oscilações onde houve maiores amplitudes de variação de nível d'água. Este procedimento permitiu o cálculo da recarga observando as diferenças de altura ( $\Delta h$ ) entre o ponto mais baixo de N.A. calculado a partir da extrapolação da curva de recessão e o nível de água mais elevado da curva de recarga subsequente. As diferenças entre as alturas do N.A. calculadas ( $\Delta h$ ) foram somadas e desta maneira, a altura total da recarga no período de estudo.

As flutuações do NA foram consideráveis em muitos poços e o desvio cumulativo da precipitação média indica que ocorreram períodos chuvosos e secos que foram essenciais para determinar o padrão da oscilação dos níveis d'água. A maior parte dos poços mostrou valores mais elevados dos níveis nos períodos chuvosos e valores mais baixos nos períodos de estiagem, o que era esperado. A água precipitada infiltra no solo

e atinge rapidamente o aquífero, produzindo um aumento na altura da superfície freática. O inverso ocorre quando a precipitação na área se reduz e, como consequência, o nível de água se aprofunda. Esta tendência de aprofundamento no nível d'água se mostrou constante e com valores significativos nos últimos 5 anos, com leve recuperação em 2019.

Ao estudar os poços utilizados para análise das variações do nível estático do aquífero, a autora constatou três diferentes padrões de flutuação dos níveis nos poços e que foram classificados pela autora neste trabalho como tipo I, tipo II e tipo III.

#### 4.3.1 Análise da variação do nível de água Tipo I

A variação do Tipo I é a que apresentou constantes oscilações dos níveis durante o período estudado, com estes aumentando de forma mais rápida em resposta aos eventos de precipitação na bacia.

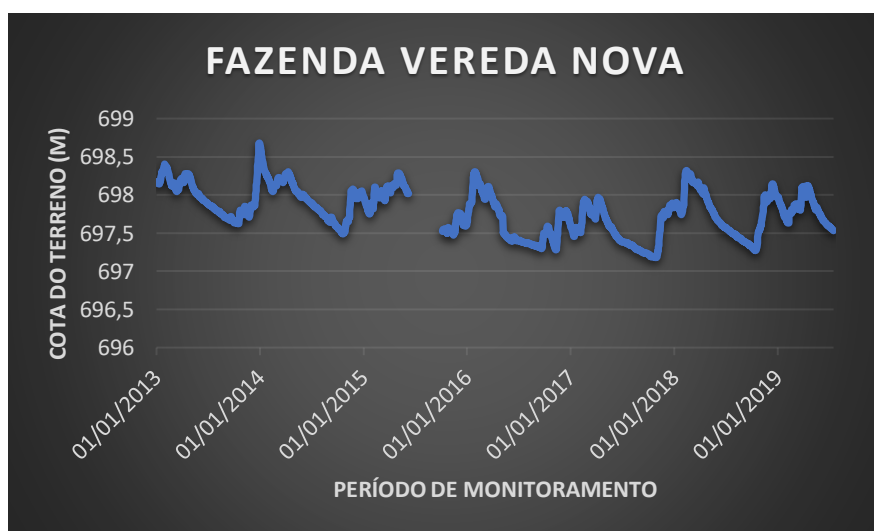


Figura 21: Hidrograma subterrâneo do poço Vereda Nova com variação do Tipo I

A Figura 21 mostra o comportamento do nível do poço da fazenda Vereda Nova, com características de variação do Tipo I. De maneira geral, a ascensão dos níveis aconteceu durante os meses de janeiro e fevereiro.

#### 4.3.2 *Análise da variação do nível de água Tipo II*

A variação do Tipo II é representada pelos poços que apresentaram respostas lentas às precipitações. De maneira geral, apenas os eventos chuvosos mais extremos, atingiram a zona saturada do solo, provocando pequenas elevações dos níveis. A Figura 22 mostra a variação do nível do poço da Fazenda Santa Helena, característico deste tipo de oscilação.

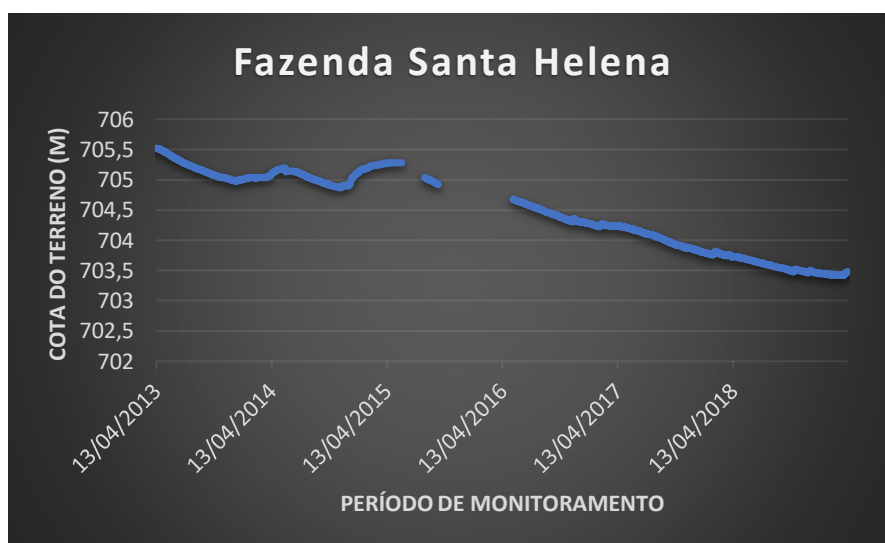


Figura 22: Hidrograma subterrâneo do poço Santa Helena com variação do Tipo II

### 4.3.3 Análise da variação do nível de água Tipo III

As curvas do Tipo III não apresentaram respostas dos níveis aos eventos de precipitação, ou seja, sem nenhuma ascensão do nível em relação à medição anterior durante todo o monitoramento.

Quatro poços apresentaram esta tendência, exemplificada na Figura 23 para o poço da Fazenda São João.

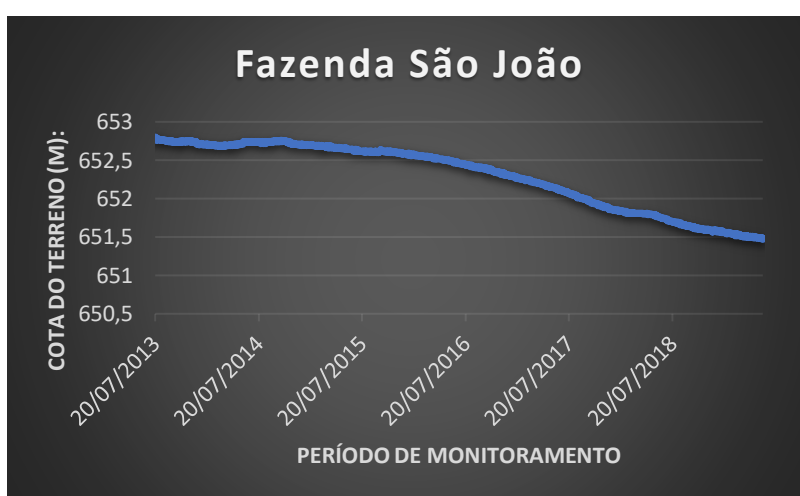


Figura 23 — Hidrograma subterrâneo do poço São João com variação do Tipo III.

Os fatores que interferem no padrão de oscilação dos níveis dos poços estão relacionados a diferentes causas, e um estudo mais consistente destas deve ser feita para o melhor conhecimento do aquífero. Os fatores que podem gerar estas diferenças são: a precipitação, a geologia, a espessura da camada não saturada, a topografia, o uso e ocupação do solo, a granulometria da camada superficial do solo e a condutividade hidráulica do solo

Vale destacar que o contexto geomorfológico da área é um importante fator para a diferenciação vista nos padrões de oscilação do nível d'água e que a variabilidade espacial das flutuações das águas subterrâneas na escala regional mostrou-se como heterogêneo

(Figura 24). Porém, pode-se observar que os poços que apresentaram oscilação do tipo III são os que se encontram mais próximos da drenagem.

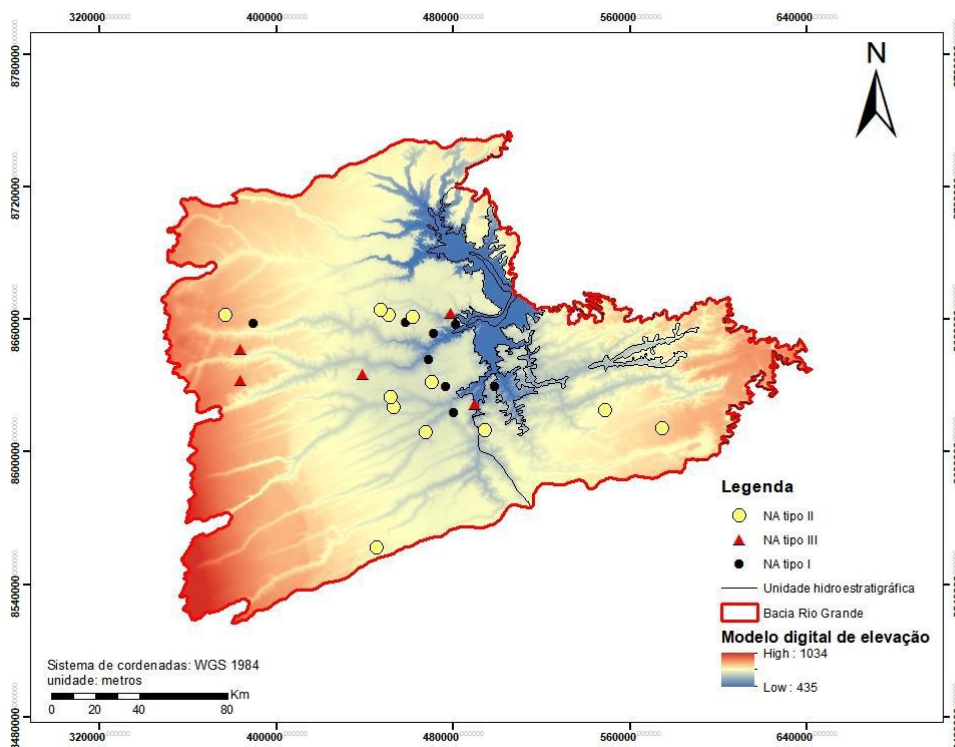


Figura 24: Mapa de distribuição dos pontos de NA com diferenciação do padrão de oscilação (tipo I, tipo II e tipo III) com associação a hipsometria da área.

Além, deve-se observar com atenção os processos de recarga e fluxo da região que é predominantemente oeste-leste, com perceptíveis tendências de sentido SW-NE e que apresenta variações locais (Figura 25). A partir dos vetores disponibilizados pelos SIRNH (ANA) pode-se confeccionar um mapa de características potenciométricas do aquífero Urucuia na bacia Rio Grande, onde se detalha o divisor de fluxo subterrâneo, a direção do fluxo e a zona de recarga e descarga.

A partir deste mapa, pode-se perceber que toda área aflorante do aquífero é potencialmente apta a receber recarga proveniente de precipitação. Destaca-se que pelas características geomorfológicas presente na área, percebe-se que o processo de recarga



principal ocorre por infiltração da água das chuvas nas áreas de chapada, com relevo plano e elevado.

As características do relevo são as principais ferramentas para entender o processo de reabastecimento do aquífero. Outro ponto a ser destacado é que as áreas mais propícias para o processo de recarga do aquífero, onde predominam as maiores taxas pluviométricas são as principais áreas voltadas para o agronegócio regional que compromete o processo de recarga devido à compactação provocada pelo manejo dos solos.

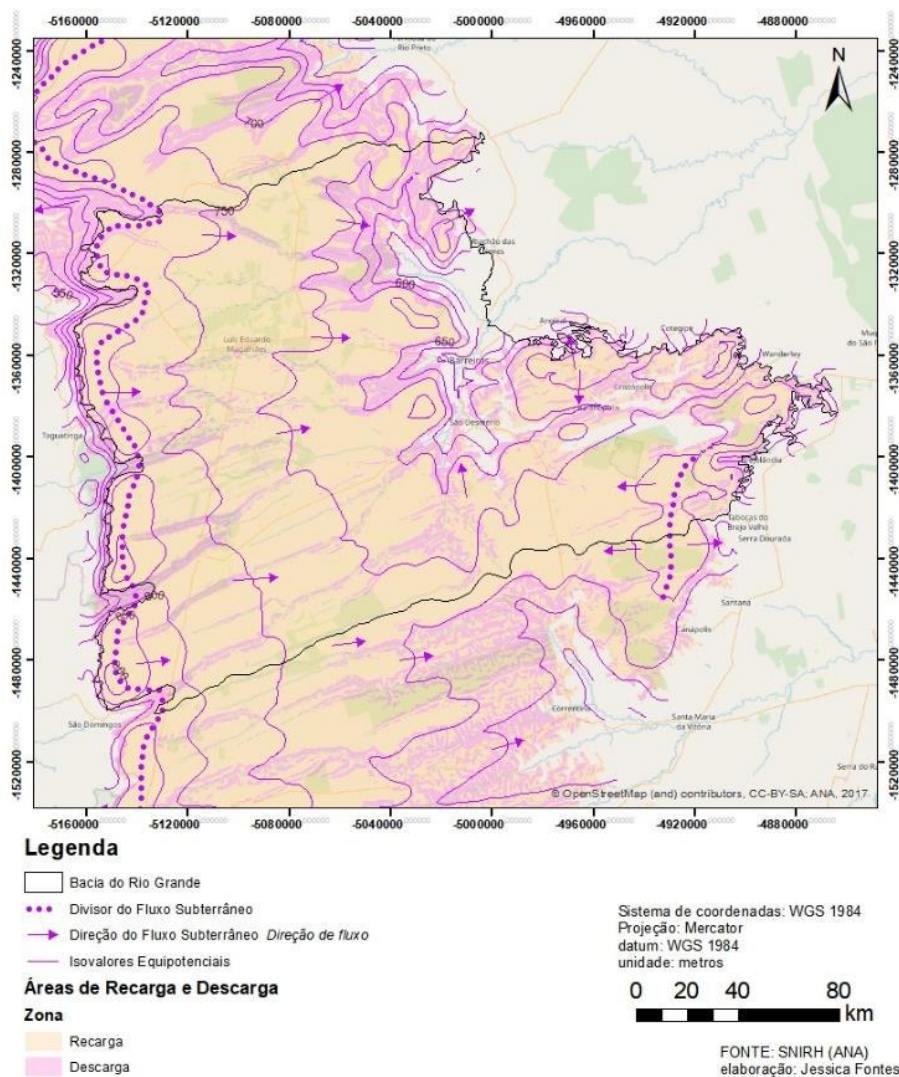


Figura 25: Características potenciométricas do aquífero Uruçua na bacia Rio Grande.



#### 4.4. ANÁLISE DA VARIAÇÃO SAZONAL DOS NÍVEIS D'ÁGUA NOS POÇOS

Ao analisar as tendências de flutuação do NA subterrâneo, no período de monitoramento, observou-se em geral que as linhas de tendência seguem um padrão de decaimento, ou seja, queda do nível d'água. As principais variações dos níveis de água subterrânea foram respostas dos eventos de chuvas apresentadas na área.

Dos 25 poços que foram monitorados na área de estudo, 19 apresentaram tendência de rebaixamento do NA., cinco mostraram padrões estáveis e um exibiu tendência de recuperação do NA. A seguir estão detalhadas as análises feitas dos poços de monitoramento escolhidos para a pesquisa:

- *Poço de monitoramento 1.*

O poço 1 está localizado na Fazenda Sertaneja, no município de Luís Eduardo Magalhães e apresentou flutuação do tipo III. Este poço registra um nível estático de 51,20 m e nível d'água de 54,685 m.

Apesar dos erros de leitura nas informações concedidas pelo CPRM, este gráfico se torna ilustrativo para entender o contexto geral de oscilação do nível freático do aquífero na área analisada já que ele registrou uma das maiores quedas de NA observados. As análises das tendências obtidas através do monitoramento do poço mostraram uma queda média de 5,87 metros no nível freático local. Isso pode indicar uma relação dinâmica entre as águas subterrâneas, as variações climáticas e o uso do solo. Aponta-se, principalmente, que a queda do nível pode estar associada as baixas taxas de pluviometria, uma vez que essa área sofreu com períodos de estiagem nos anos analisados. Mesmo sem um posto pluviométrico próximo para validar esta hipótese, tomou-se como padrão a média dos postos dentro da bacia do rio Grande. Vale destacar que, segundo os dados de

pluviometria dos postos na bacia, o início de 2019 apresentou um aumento das taxas pluviométricas que, associado ao hidrograma evidenciou uma recuperação para este ano.

A fazenda Sertaneja não pode ser utilizada para o cálculo de recarga por não apresentar picos de elevação do nível freático. O seu padrão é de queda constante, mesmo em períodos chuvosos. Outros poços que apresentaram o mesmo padrão também foram descartados, ou seja, o efeito da precipitação não era óbvio.

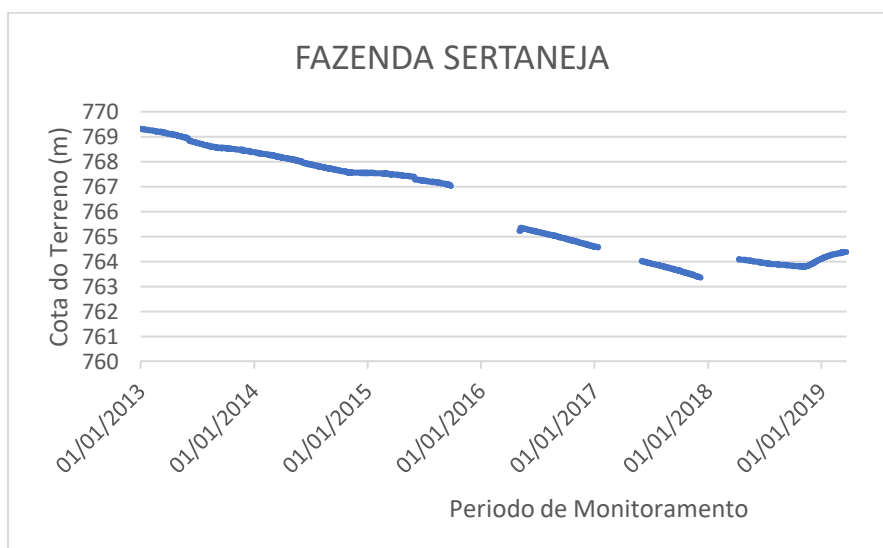


Gráfico 2: Hidrograma Fazenda Sertaneja para o período de monitoramento (01/01/2013 a 19/03/2019)

- *Poço de monitoramento 2*

O poço 2 está localizado na Fazenda Vista Alegre, no município de São Desidério. Este poço apresentou flutuação do tipo III e registra um nível estático de 32.50 m e com nível da água em 32.954 m.

O poço de monitoramento da Fazenda Vista Alegre, também presente na área de estudo, apresentou claramente uma queda de nível d'água semelhante aos outros poços próximos. Os erros encontrados na leitura dos níveis d'água ultrapassaram o ideal para preenchimento, porém ele se torna representativo do padrão de oscilação freática que

ocorreu na área no período compreendido do estudo. A queda não foi significativa já que a amplitude encontrada foi de 0,82 m. Possivelmente este decaimento está associado com o período de baixa pluviometria dos últimos anos, justificativa geral para o comportamento encontrado em quase todos os poços.

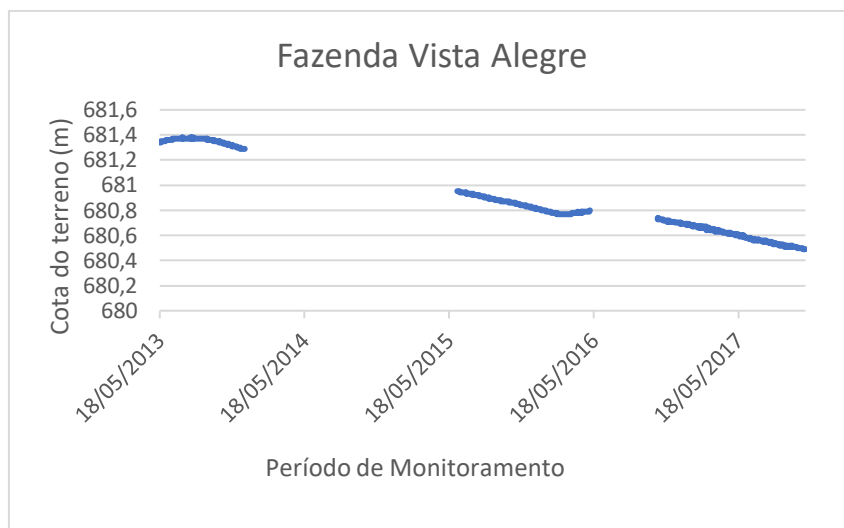


Gráfico 3: Hidrograma Fazenda Vista Alegre para o período de monitoramento (18/05/2013- 02/11/2017)

- *Poço de monitoramento 3*

O poço 3 está localizado na Fazenda São João, no município de Barreiras. Este poço apresentou flutuação do tipo III e registra um nível estático de 74.10 m e com nível da água em 77.28m.

Sua utilização nesse trabalho foi para fins de análise dos padrões de flutuação do nível de água subterrânea. Ele também apresentou padrão de queda constante, principalmente a partir do ano de 2017 que o torna um hidrograma importante para fins de comparação com outros hidrogramas dos poços monitorados.

Apresentou uma queda com amplitude de 1,3 m que não se torna tão representativo para uma análise de desequilíbrio ambiental da área.

Também, para este poço não foi realizado uma associação com os dados dos postos pluviométricos, uma vez que ele não mostrou nenhuma resposta direta a qualquer evento de precipitação.

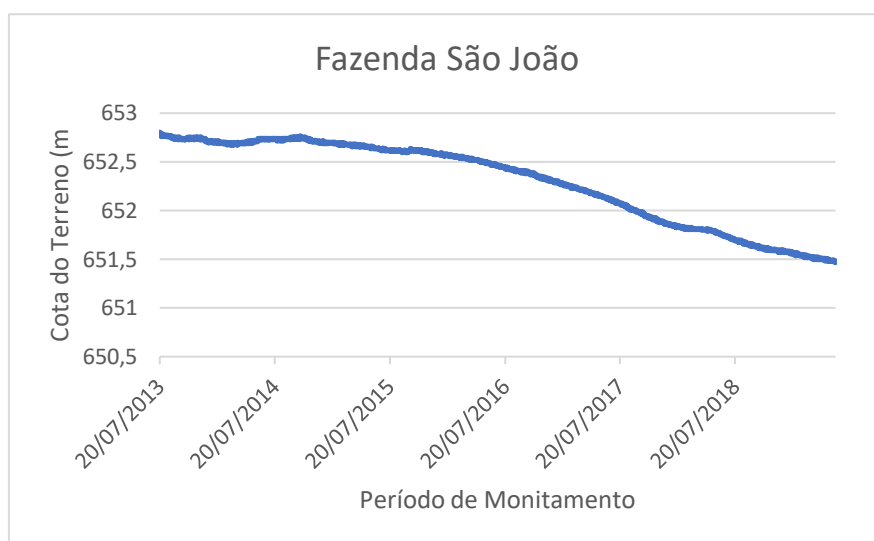


Gráfico 4: Hidrograma Fazenda São João) para o período de monitoramento (20/07/2013- 03/06/2019)

- *Poço de monitoramento 4*

O poço 4 está localizado na Fazenda São Roque, no município de São Desidério. Este poço de monitoramento não possui uso específico e registra um nível estático de 67,85 m e com nível da água em 70,92 m.

O poço de monitoramento São Roque apresentou leitura apenas de 3 anos, sendo finalizado em 2015. Apresentou grande erro de leitura em 2013-2014, porém para efeitos de observação ele foi utilizado no trabalho. Também, vale destacar que nos anos de leitura, a queda do nível d'água deste poço de monitoramento foi um dos maiores observados, de 4,04 m.

Através de observações e análise no Google Earth pode-se perceber que os poços, especialmente o São Roque, estão situados numa região de intensa mecanização agrícola, onde possivelmente a água subterrânea tem sido bastante explorada. Com baixas taxas de

pluviometria, característicos dos últimos 5 anos, este padrão é uma consequência direta destes fatores.

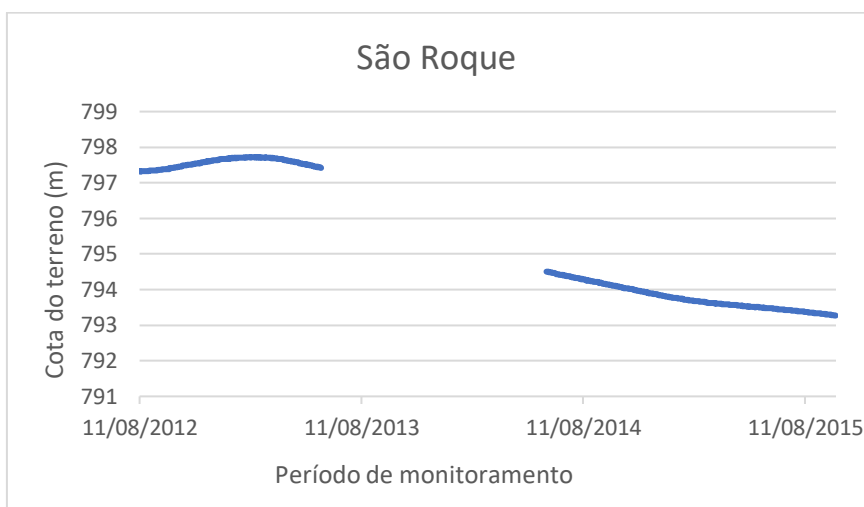


Gráfico 5: Hidrograma Fazenda São Roque para o período de monitoramento ( 11/08/2012- 30/09/2015)

- *Poço de monitoramento 5*

O poço 5 está localizado na Fazenda Chaparral, no município de São Desidério. Este poço de monitoramento não possui uso específico e registra um nível estático de 26,63 m e com nível da água em 32,41 m. Este apresentou flutuação do tipo II já que pode-se perceber claramente uma resposta, mesmo que lenta, a algum tipo de evento de precipitação que gerou uma resposta de recarga.

A fazenda Chaparral ilustra o mesmo padrão de queda de nível d'água dos outros poços de monitoramento, porém este poço é um exemplo de uma perturbação mais significativa do sistema ambiental da área, já que a queda do nível d'água foi de 4,68 m (786,02 m no início do monitoramento e 781,34m no ponto de maior queda), uma das maiores registradas. Também, a resposta às chuvas do período úmido de 2019 ( o primeiro trimestre) não obteve uma resposta tão significativa de recuperação, como apresentado nos outros poços.

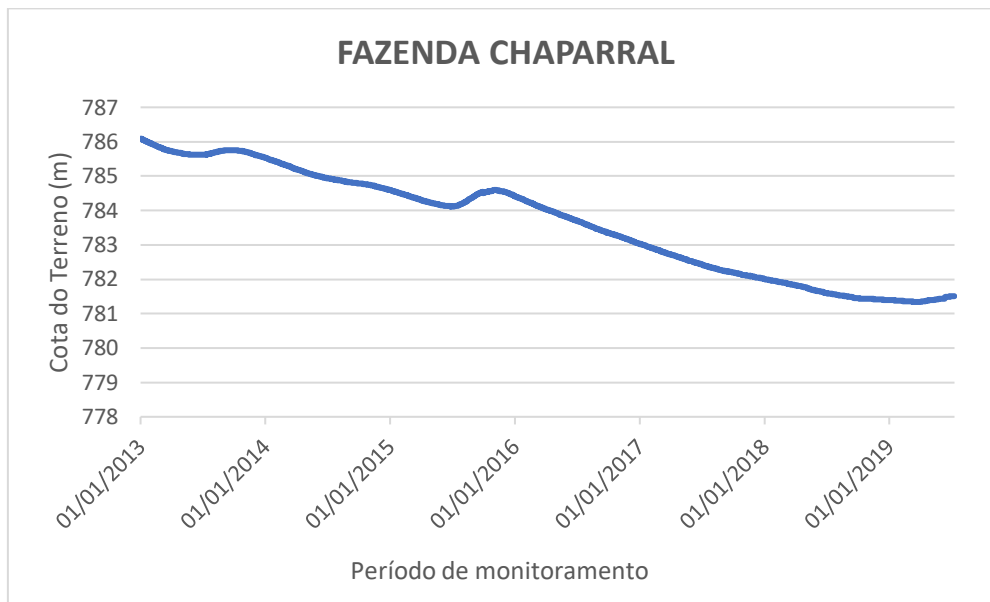


Gráfico 6: Hidrograma Fazenda São Roque para o período de monitoramento (01/01/2013 – 10/07/2019)

- *Poço de monitoramento 6*

O poço 6 monitorado é o localizado na Fazenda Tonini, localizado no município de Luís Eduardo Magalhães. Este poço de monitoramento não possui uso específico e registra um nível estático de 16.93 m e possui um tipo de flutuação do tipo II.

O poço de monitoramento Fazenda Tonini registrou para o período de monitoramento um padrão de rebaixamento de seu nível freático. A maior amplitude de queda foi de 1,2 m (731 a 729,8) com leve recuperação de 0,42 m em 2019. Constatou-se que, apesar da queda, a amplitude ainda não é considerada alarmante para desestabilizar o equilíbrio do sistema ambiental do aquífero. Este padrão de queda é resultado direto do período de estiagem na qual a área passou pelos últimos anos. Uma evidência é que os meses de janeiro a março de 2019 (meses que possuíam dados em todos os poços) mostrou-se com altas taxas pluviométrica, ou seja mais chuvoso do que os anos anteriores. Neste sentido, ocorreu uma quebra no ciclo de estiagem comum aos anos de monitoramento e quase todos os postos de monitoramento tiveram recuperação do nível d'água. O fato da recuperação do nível freático em 2019 aponta que apesar da intensa

,mecanização agrícola da área, a diminuição de chuvas dos últimos anos possui um peso relevante para a diminuição do NA, já que com o aumento das chuvas ocorreu um aumento do NA.

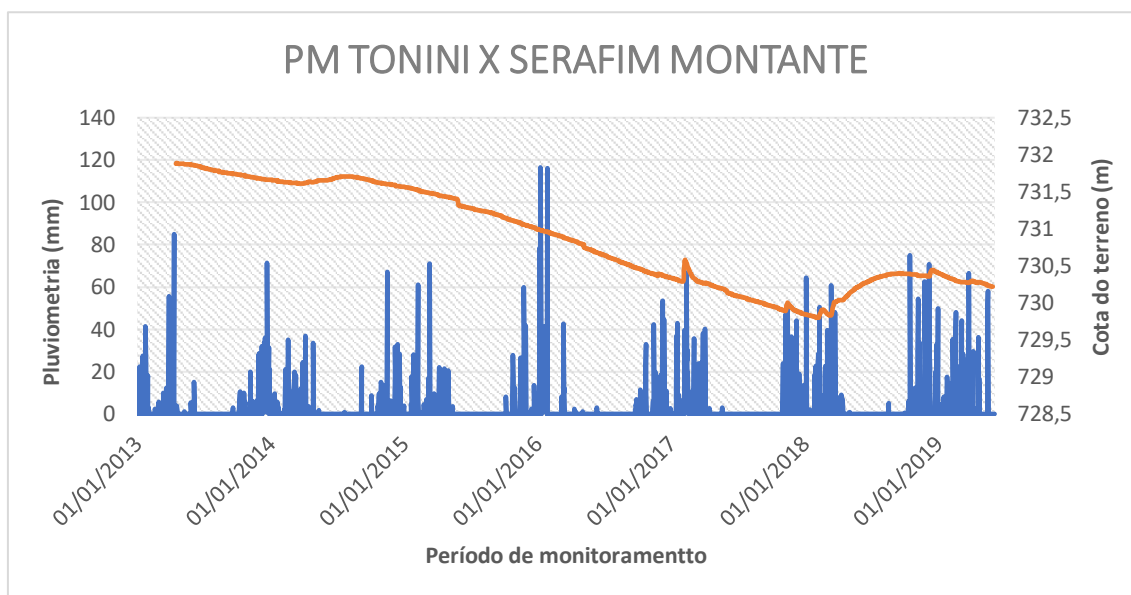


Gráfico 7: Hidrograma Fazenda Tonini x Posto Pluviométrico Serafim Montante para o período de monitoramento (16/04/2013- 30/05/2019)

Deve-se salientar que ao observar o gráfico de pluviometria associado com a oscilação do nível d'água percebeu-se que, apesar das chuvas, o poço não sofreu recuperação marcante ao longo dos últimos 5 anos. Pelo gráfico, pode-se ver que os valores apresentados não se alteraram, independentemente da ocorrência de eventos de precipitação com mais intensidade e volumes de chuva, como pode ser visto em dezembro e janeiro de 2016 ou também em tempos de longa depleção, ou seja, uma longa descarga associada a períodos de estiagem prolongados como ocorreu em junho de 2016 (com período de estiagem de quase 3 meses) e junho de 2017 (com quase 5 meses de estiagem).

- *Poço de monitoramento 7*

O poço 7 está localizado na Fazenda Johá, no município de Luís Eduardo Magalhães. Este poço de monitoramento não possui uso específico e registra um nível estático de 33,15 m e com nível da água em 33,94 m. Este poço possui flutuação do tipo II, uma vez que é nítida sua resposta a eventos de precipitação, porém de forma mais lenta o que gera picos mais suaves no hidrograma.

O poço de monitoramento da Fazenda Johá representa um dos PM escolhidos para que o método de *WaterTableFluctuation* fosse colocado em prática para cálculo da recarga. Este poço mostrou significativas oscilações do nível freático, que rebatido com o gráfico de pluviometria mostrou boa correlação com o período úmido e seco (gráfico 8).

O padrão de comportamento para todo o poço durante o período de monitoramento é a diminuição do nível d'água, entretanto de uma forma não significativa, uma vez que amplitude de oscilação foi de 1,21m no momento de menor queda.

Entretanto, no ano de 2019 ele mostrou boa recuperação (o que coincide com os significativos eventos de precipitação do início do ano de 2019 para área).

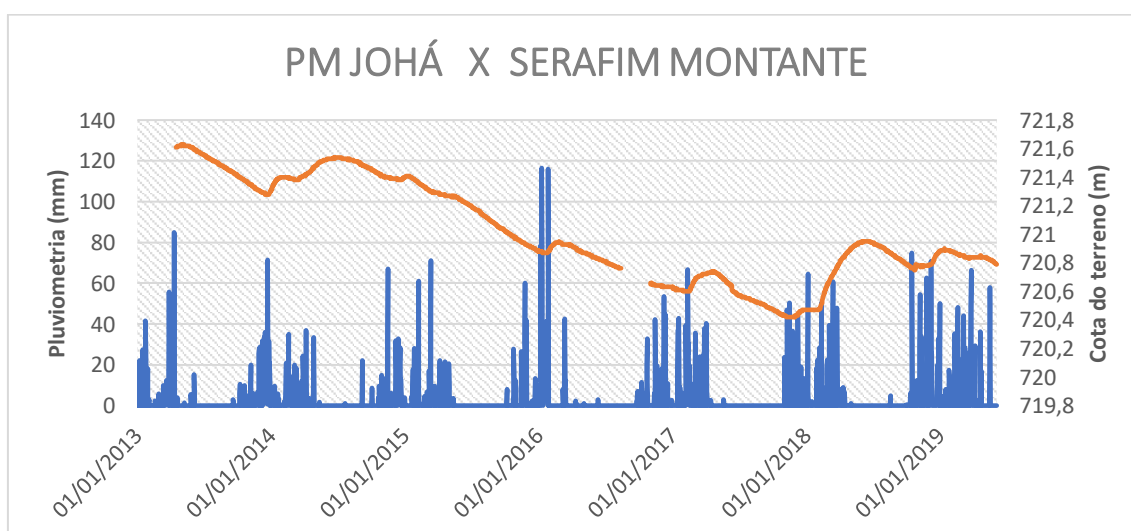


Gráfico 8: Hidrograma Fazenda Johá x Posto Pluviométrico Serafim Montante para o período de monitoramento (16/04/2013- 06/06/2019).



Pelos resultados do poço Johá, percebe-se uma correlação entre recarga e precipitação, pois os picos de recuperação dos níveis freáticos têm acompanhado os excedentes pluviométricos.

- *Poço de monitoramento 8*

O poço 8 está localizado na Fazenda Santa Helena no município de Barreiras. Este poço de monitoramento não possui uso específico e registra um nível estático de 28.90m e com nível da água em 30.137 m.

O poço de monitoramento presente na Fazenda Santa Helena mantém os padrões encontrados para a oscilação do nível freático dos outros poços da região, com uma amplitude de queda de 2,02 m.

Na avaliação da resposta à precipitação para este PM pode-se perceber que só ocorre elevação do nível d'água após eventos maiores de precipitação e que este também apresentou constante queda do seu NA.

Este comportamento poderia indicar um possível grau de semiconfinamento do aquífero na região de localização deste poço, fato de certa forma corroborado pela pequena magnitude de recarga estimada pelo método (0,98%). Para este poço, mesmo calculando-se a recarga para a pequena elevação de nível visualizada no gráfico, este valor é muito pequeno quando comparado com a precipitação no período. O condicionamento geológico e outras características desta área de recarga podem estar influenciando no comportamento das flutuações dos níveis d'água de PM do tipo II.

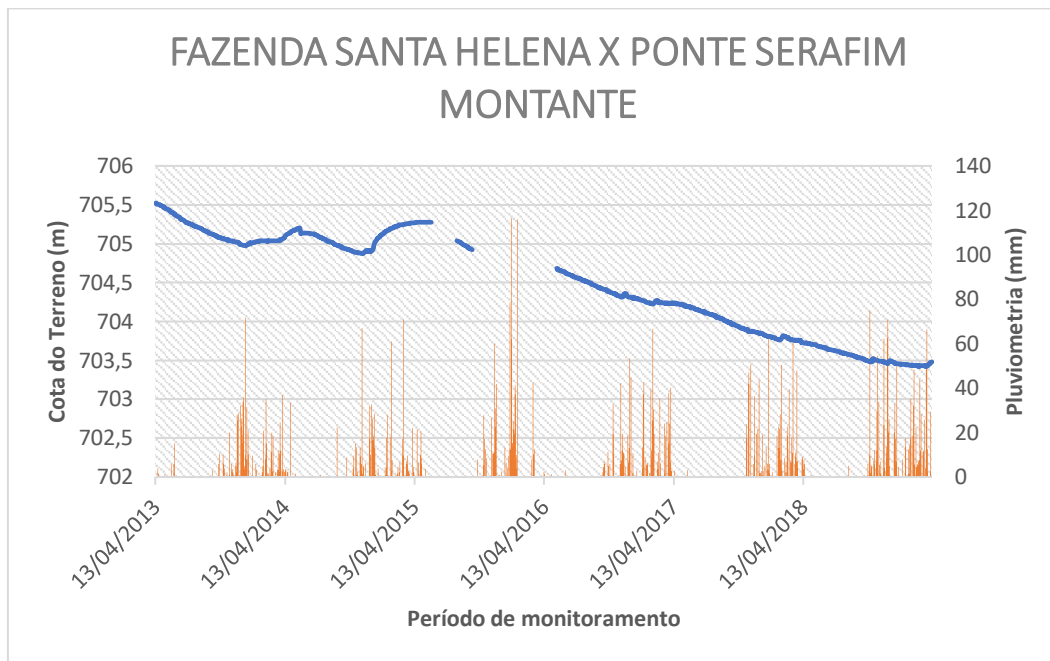


Gráfico 9 : Hidrograma Fazenda Santa Helena x Posto Pluviométrico Serafim Montante para o período de monitoramento (13/04/2013- 09/04/2019)

- *Poço de monitoramento 9*

O poço 9 está localizado na Fazenda Ponta Pedra do Rio, no município de Barreiras. Este poço de monitoramento não possui uso específico e registra um nível estático de 12.00 m e com nível da água em 12.92 m. A oscilação desse nível freático é considerada do tipo I, uma vez que apresentou rápida oscilação do N.A. nos eventos de precipitação, reagindo quase que instantaneamente.

Este foi um dos poços escolhidos para aplicação do método *Water Table fluctuation* pois o nível da água subterrânea flutuou com grande variação. Ele apresentou o mesmo padrão dos poços anteriores, porém com características distintas, o que permitiu sua individualização. A variação do nível d'água foi de 1 m com boa recuperação em 2019. Os picos de elevação de recarga possuem uma resposta de 12 dias em média, se ajustados com os períodos de picos chuvosos, ou seja, estes poços demonstraram boa correlação entre os eventos de chuva e recarga.

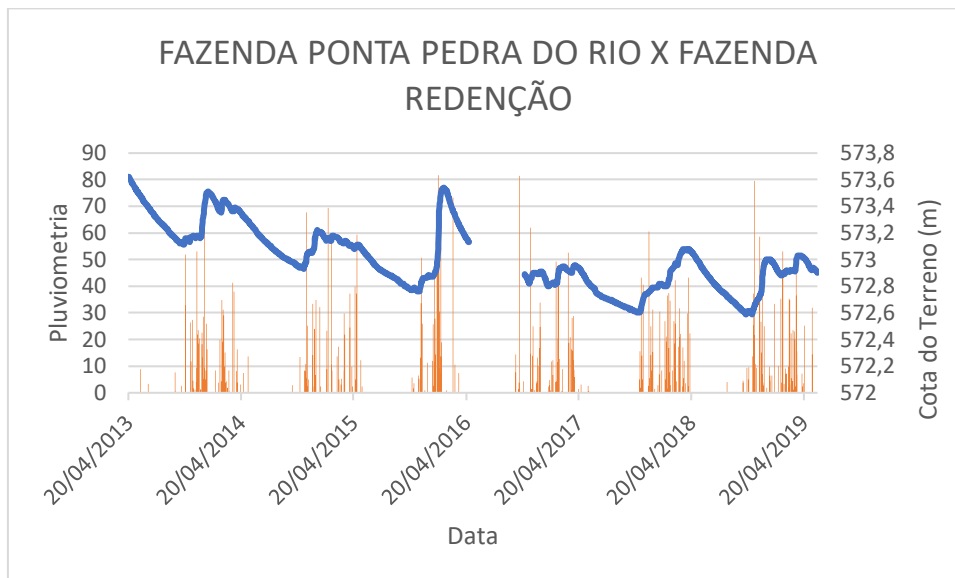


Gráfico 10 : Hidrograma Fazenda Ponta Pedra do Rio x Posto Pluviométrico Fazenda Redenção para o período de monitoramento (20/04/2013 – 03/06/2019)

- *Poço de monitoramento 10*

O poço 10 está localizado na Fazenda Vereda Nova, no município de São Desidério. Este poço de monitoramento não possui uso específico e é classificado como tipo I, pois registra rápidas respostas aos eventos chuvosos e rápida oscilação do NA. Registra um nível estático de 3,86 m e com nível da água em 5,159 m.

Este poço apresentou uma das menores quedas e um dos maiores padrões de oscilação do nível freático, sendo possível perceber que ao longo do período de monitoramento ele manteve-se praticamente estável em relação a subida ou descida do NA. Os picos apresentados no gráfico de nível d'água estão ajustados com os períodos de maior pluviosidade.

Pelos resultados deste PM, pode-se perceber que os eventos de flutuação de nível foram semelhantes nos cinco anos completos do monitoramento, com valores similares de resposta à precipitação. Visualiza-se que a flutuação de nível no poço responde diretamente à precipitação, o que pode ser evidenciado principalmente nos maiores picos. Este poço de monitoramento representa um dos PM escolhidos para que o método de *Water Table Fluctuation* fosse colocado em prática para cálculo da recarga.

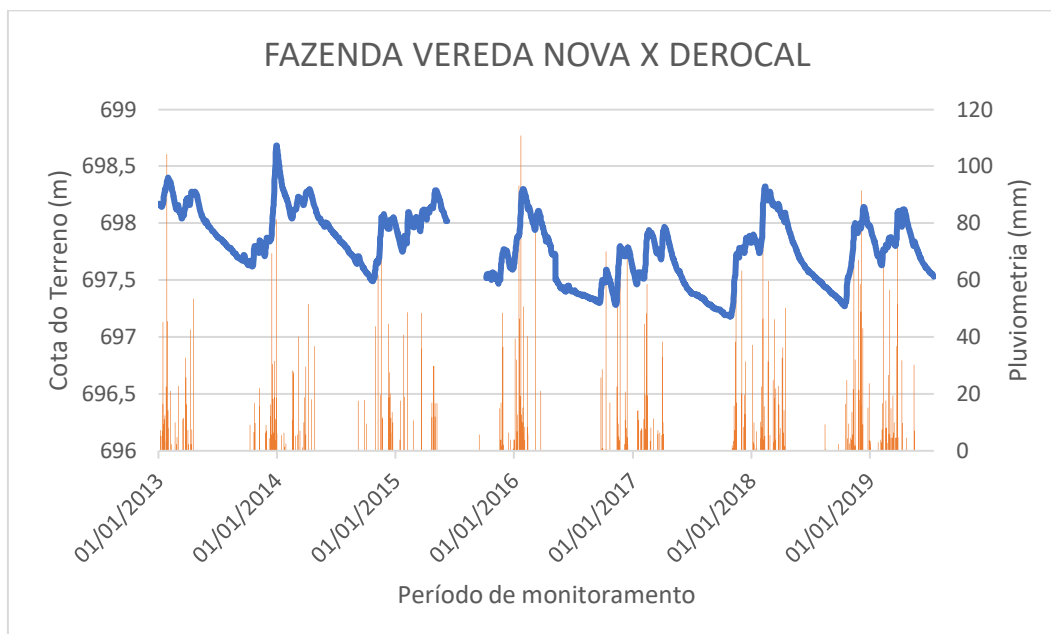


Gráfico 11 : Hidrograma Fazenda Vereda Nova x Posto Pluviométrico Derrocal para o período de monitoramento (01/01/2013- 16/07/2019)

- *Poço de monitoramento 11*

O poço 11 está localizado na Fazenda Buritis, no município de São Desidério. Este poço de monitoramento não possui uso específico e registra um nível estático de 12.20m e com nível da água em 13.65m e pode ser classificação como tipo II.

O gráfico 12 mostra os níveis mensais das águas subterrâneas do poço da Fazenda Buritis em resposta à precipitação acumulada do posto pluviométrico Derrocal. Pelos resultados do poço Buritis, não se tem uma correlação tão direta para precipitação, embora no ano de 2014 as elevações de nível seguiram-se aos picos de precipitação. Este poço apresentou muitos erros de leitura, porém uma análise preliminar do padrão de oscilação desse nível freático não pode ser descartado uma vez que se pode analisar tendências. No ano de 2013 ocorreu uma diminuição significativa do nível d'água, que só se tornou a se elevar após a precipitação ocorrida em dezembro daquele ano. Percebe-se também que a recarga é mais elevada no ano de 2014. No início do ano de 2016, por exemplo, percebe-se que o aumento do nível de água ocorre muito próximo aos eventos de precipitação do

período, o que pode indicar que a elevação ocorreu devido a estes eventos. Outro padrão evidente é que este poço também sofreu com uma queda do seu NA.

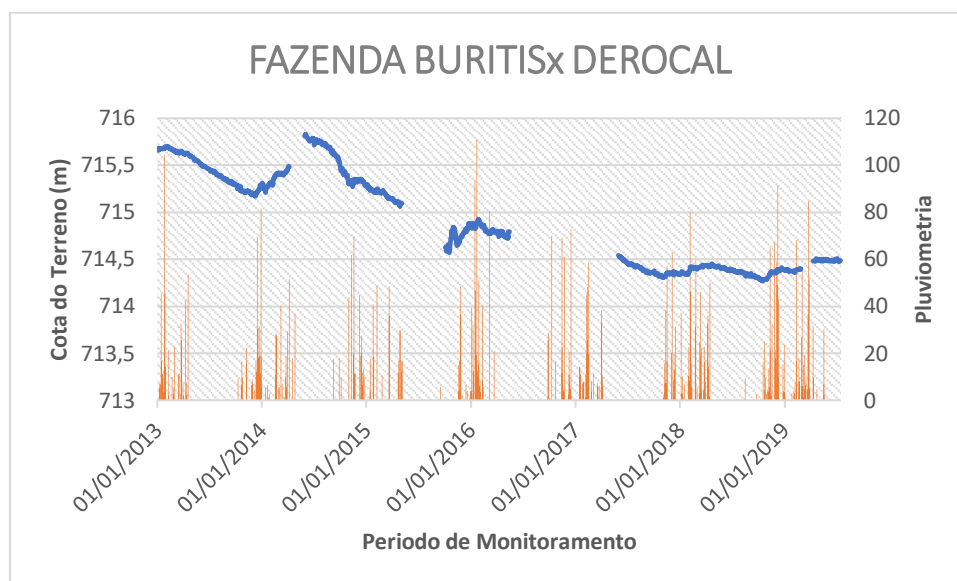


Gráfico 12 : Hidrograma Fazenda Buritis x Posto Pluviométrico Derrocal para o período de monitoramento (01/01/2013- 16/07/2019)

- *Poço de monitoramento 12*

O poço 12 está localizado na Fazenda Durri, no município de São Desidério. Este poço de monitoramento não possui uso específico e é classificado como tipo I. Registra um nível estático de 7,81m e com nível da água em 7,31m

No gráfico 13 tem-se a as flutuações de nível no período monitorado da PM Durri, em comparação com a precipitação no mesmo período da estação Derrocal. Observa-se uma correlação direta da elevação do nível d'água com a precipitação local. O atraso entre o pico de precipitação e a resposta das águas subterrâneas sugere que alguns limites de precipitação devem ser atingidos antes da saturação da umidade do solo e da rocha atingir o aquífero. Pode-se perceber que este poço também apresentou tendências de estabilidade de seu NA assim como o Poço 10 e apresentou baixíssimas taxas de queda do seu nível freático, além de apresentar oscilação expressiva com picos de grande amplitude. Pode-se destacar que o nível de água é pouco profundo, o que pode indicar que essa oscilação expressiva é consequência da recepção de águas do escoamento subsuperficial.

Os períodos de recessão monitorados neste poço foram aplicados para o cálculo da recarga pelo método *WTF*.

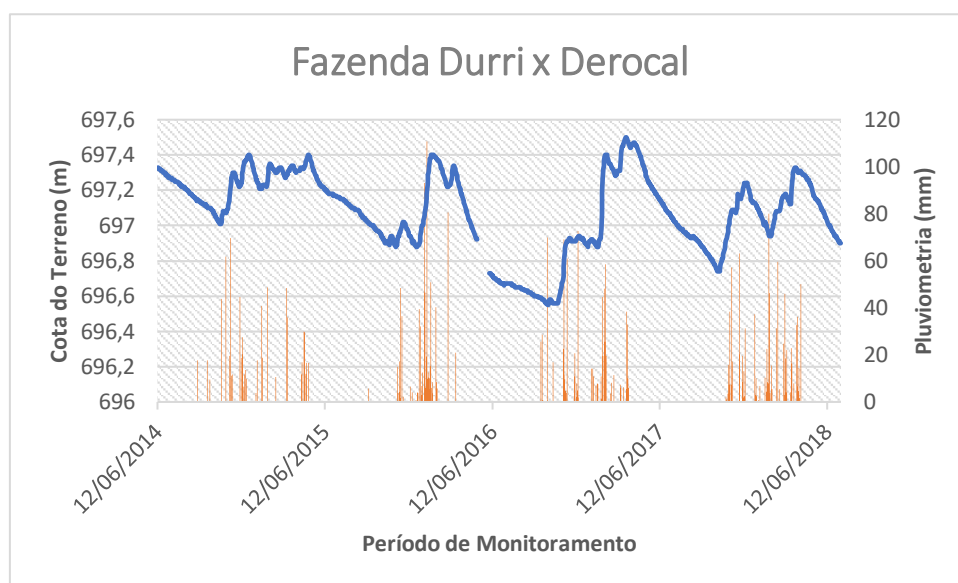


Gráfico 13 : Hidrograma Fazenda Durri x Posto Pluviométrico Derrocal para o período de monitoramento (02/07/2014-08/07/2018)

- *Poço de monitoramento 13*

O poço 13 está localizado na Fazenda Cabeceira Grande, no município de São Desidério. Este poço de monitoramento não possui uso específico e registra um nível estático de 3,48 m e com nível da água em 4,851 m, sendo classificado do tipo I.

O poço Cabeceira Grande apresentou uma queda de menos de 1 m entre janeiro de 2012 e Janeiro de 2013 e boa recuperação nos meses úmidos. Seus níveis de água variaram de um mínimo de 4,13 m a 5,58 m, portanto, obteve-se uma amplitude de variação de 1,45 m no período estudado. Este poço também mostra uma tendência de baixo decaimento e reflete uma maior estabilidade do nível com bons resultados de recuperação pós evento chuvoso.

Estes resultados mostram que apesar do leve decréscimo, os eventos de flutuação de nível foram semelhantes nos anos de monitoramento com valores bem parecidos de resposta à precipitação. Visualiza-se que a flutuação de nível no poço responde

diretamente a precipitação, o que pode ser evidenciado principalmente nos maiores picos e também pode ser visto pelos valores encontrados. O ano de 2019 foi o ano que mostrou a maior recuperação deste poço que havia sofrido uma queda maior em outubro de 2017.

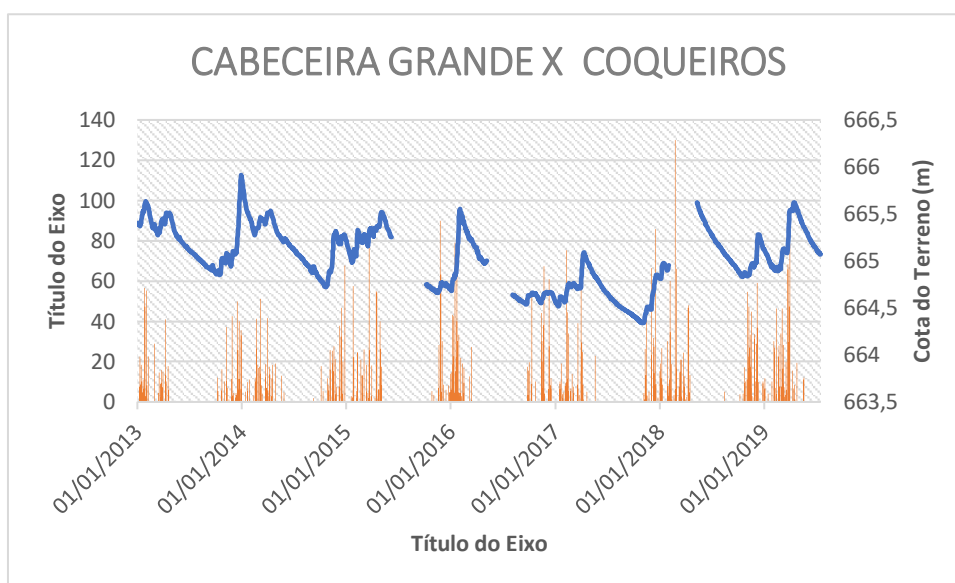


Gráfico 14 : Hidrograma Fazenda Cabeceira Grande x Posto Pluviométrico Coqueiros para o período de monitoramento (01/01/2013 -14/07/2019)

- *Poço de monitoramento 14*

O poço 14 está localizado na Fazenda Agrobasso, no município de Barreiras e é classificado como poço de oscilação do tipo I. Este poço de monitoramento não possui uso específico e registra um nível estático de 20,78 m com nível da água em 24,413 m.

O gráfico 15 mostra os níveis mensais das águas subterrâneas do poço da Fazenda Agrobasso em resposta à precipitação acumulada do posto pluviométrico Serafim Montante. Pelos resultados do poço percebe-se uma correlação com a precipitação, porém de forma lenta. Esse hidrograma apresentou uma oscilação constante com picos geralmente em março e maio e padrão de queda, com amplitude de 4,1 m.

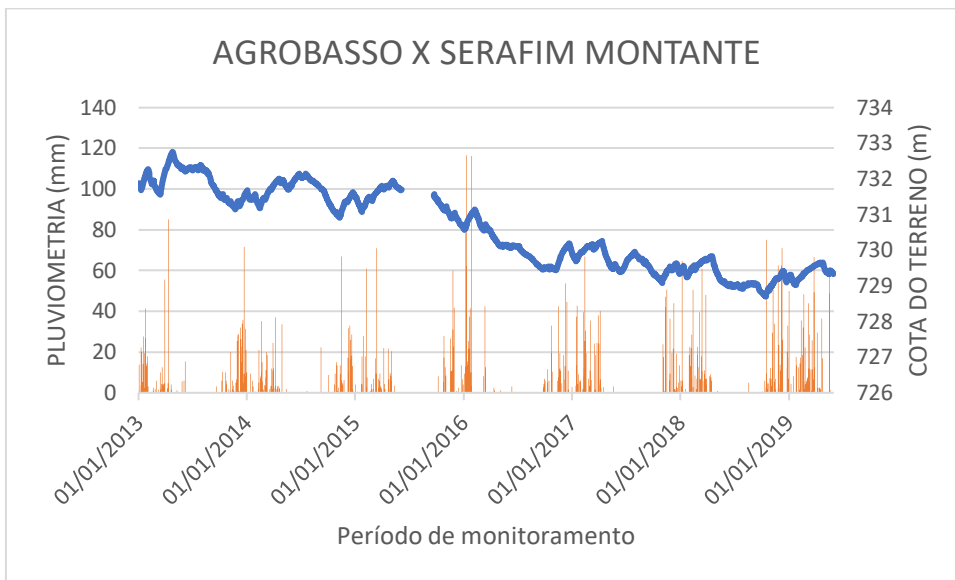


Gráfico 15 : Hidrograma Fazenda Agrobasso x Posto Pluviométrico Serafim Montante período de monitoramento (01/01/2013 -31/05/2019)

- *Poço de monitoramento 15*

O poço 15 está localizado na Fazenda Estancia, no município de São Desidério e é classificado como poço de oscilação do tipo II. Este poço de monitoramento não possui uso específico e registra um nível estático de 8,20 m e com nível da água em 11,281 m.

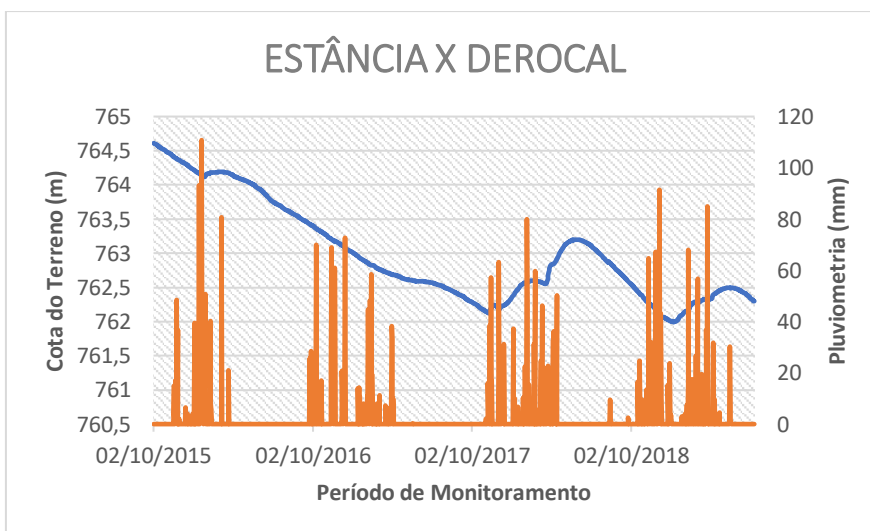


Gráfico 16 : Hidrograma Fazenda Estância x Posto Pluviométrico Derrocal para o período de monitoramento (02/10/2015 -09/07/2019)



Para o poço da Fazenda Estância percebeu-se que as maiores oscilações de N.A foi em outubro de 2017 e que nos anos seguintes voltou a apresentar boa recuperação tendo uma queda brusca da linha de tendência a partir de maio de 2018. No geral, a recessão do N.A. ocorreu de forma lenta. Abril e outubro foram os períodos de maior estiagem para esta área na qual houve rebaixamento do N.A. do poço.

Nos poços de monitoramento do tipo I e II percebeu-se que o mês de dezembro e janeiro representam o período das maiores precipitações do período de estudo e que, também, representou os maiores padrões de resposta de oscilações do N.A. subterrânea nos períodos subsequentes.

Este fato se explica pela elevada saturação de água no solo, que apresentou em média 24 dias de resposta (para este poço) ao longo do mês com chuvas a partir de novembro de 2017. Anteriormente a esta data, a oscilação do NA fora apenas de queda constante sem recuperação mesmo com eventos de chuva, que no caso não foram suficientes para alterar o comportamento do nível de água, principalmente em 2015 e novembro de 2017.

- *Poço de monitoramento 16*

O poço 16 está localizado na Fazenda Galho Furtado, no município de São Desidério e é classificado como poço de oscilação do tipo I. Este poço de monitoramento não possui uso específico e registra um nível estático de 3,90 m e com nível da água em 4,731m.

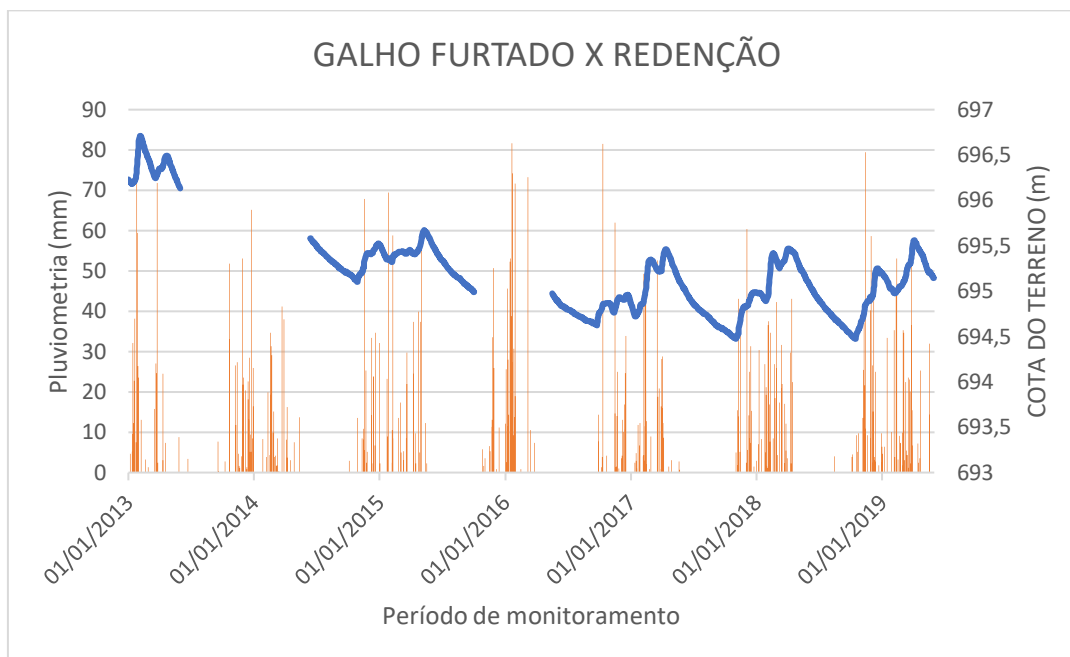


Gráfico 17 : Hidrograma Fazenda Galho Furtado x Posto Pluviométrico Redenção para o período de monitoramento (01/01/2013 - 11/07/2019)

Mesmo com os erros de leitura apresentado observa-se que este poço apresenta um comportamento parecido ao N.A. do poço 10 e 13, com rápida oscilação do N.A. perante eventos de precipitação e reagindo quase que instantaneamente a este, além de uma queda com baixa amplitude e padrão constante de oscilação.

Pelo gráfico, pode-se constatar que o início de recessão também ocorre bem próximo ao fim do evento chuvoso, entendendo que as medições devem ocorrer em curtos períodos de tempo com o escopo de identificar estas rápidas variações.

- *Poço de monitoramento 17*

O poço 17 está localizado na Fazenda Bom Retiro, no município de São Desidério e é classificado como poço de oscilação do tipo II. Este poço de monitoramento não possui uso específico e registra um nível estático de 7,81m e com nível da água em 7,31 m.

Não havia próximo a Fazenda um posto de pluviometria, porém como este poço apresentou características de oscilação muito bem destacadas e para o trabalho ele apresentaria boas características, optou-se por utilizar os dados da Fazenda Coqueiros como dados representativos para entender as peculiaridades deste poço de monitoramento. Ao final, percebeu-se que, apesar dos erros de leitura em 2014 e 2015, pode-se observar padrões destacados de oscilação no hidrograma. As mudanças foram lentas do N.A. em resposta aos eventos de precipitação uma vez que o NA. reage aos poucos à precipitação, demorando dias para atingir o pico de recarga.

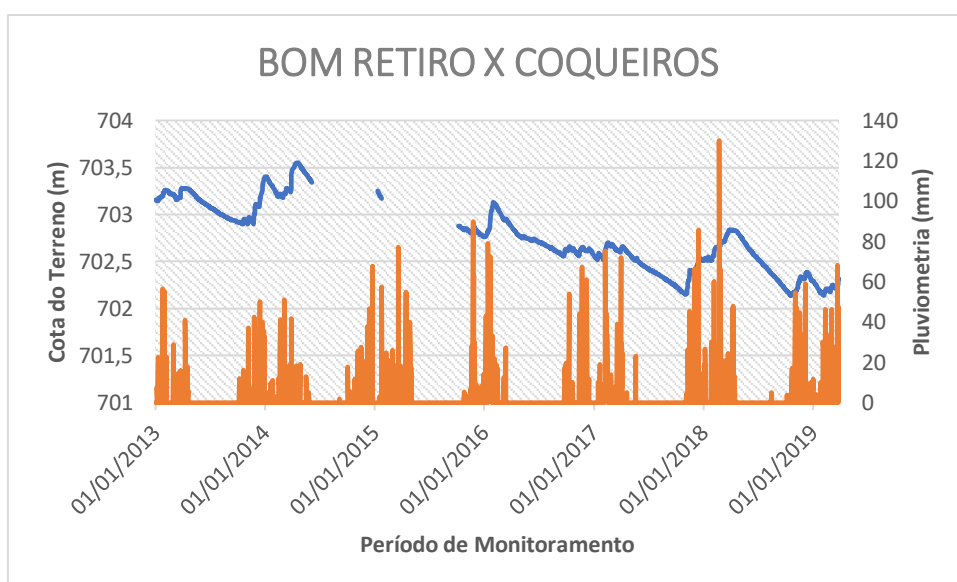


Gráfico 18 : Hidrograma Fazenda Bom Retiro x Posto Pluviométrico Coqueiros para o período de monitoramento (01/01/2013 -23/03/2019)

- *Poço de monitoramento 18*

O poço 18 está localizado na Fazenda Santo Antônio, no município de São Desidério e é classificado como poço de oscilação do tipo II. Este poço de monitoramento não possui uso específico e registra um nível estático de 27,50 m e com nível da água em 30,134 m.

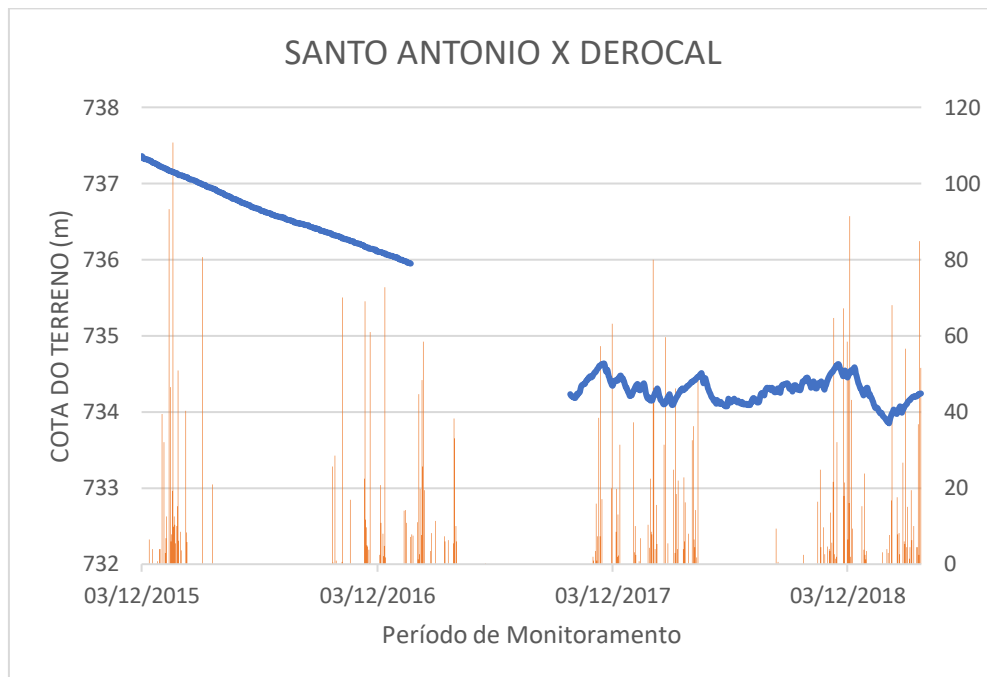


Gráfico 19 : Hidrograma Fazenda Santo Antônio x Posto Pluviométrico Derrocal para o período de monitoramento (03/12/2015 -23/03/2019)

Pelos resultados do poço visualiza-se respostas diferenciadas aos eventos de precipitação. O que pode ser observado é que de 2015 a 2017 o padrão do nível freático, mesmo com os erros de 2016, fora de queda constante (porém não muito proeminente) e de uma carência de respostas do nível freático à eventos de precipitação. Neste caso, não se tem uma correlação tão direta com as chuvas.

Entretanto, no final de 2017 (dezembro) percebe-se que o aumento do nível de água ocorreu após eventos de precipitação (novembro), o que pode indicar que a elevação ocorreu devido a este evento do mês anteriores.

A partir disto, percebe-se que as respostas desse poço a precipitação se tornaram mais destacado, criando um padrão de estabilidade para respostas.

- *Poço de monitoramento 19*

O poço 19 está localizado na Fazenda Maranata no município de Baianópolis e é classificado como poço de oscilação do tipo II. Este poço de monitoramento não possui uso específico e registra um nível estático de 8,69 m e com nível da água em 8,562 m.

Assim como nos poços anteriores, não havia próximo a Fazenda um posto de pluviometria, mas como este apresentou características de oscilação muito bem destacada e que poderia ser individualizada no estudo escolheu-se a fazenda Coqueiros para representar dados de pluviometria, mesmo estando em municípios diferentes.

Pelo hidrograma abaixo percebe-se uma oscilação lenta do N.A. em consequência dos eventos de precipitação, porém com picos com destacada amplitude (0,98 m entre janeiro e abril de 2018). Em fevereiro de 2018 por ter sido o mês mais abundante de chuvas na área deste poço registrou-se conseqüentemente o maior nível de recarga do mesmo.

Este poço fugiu a um dos principais padrões registrados nos poços de monitoramento, apresentando subida do nível freático para o período monitorado, com altos valores de recarga, se comparados aos outros poços.

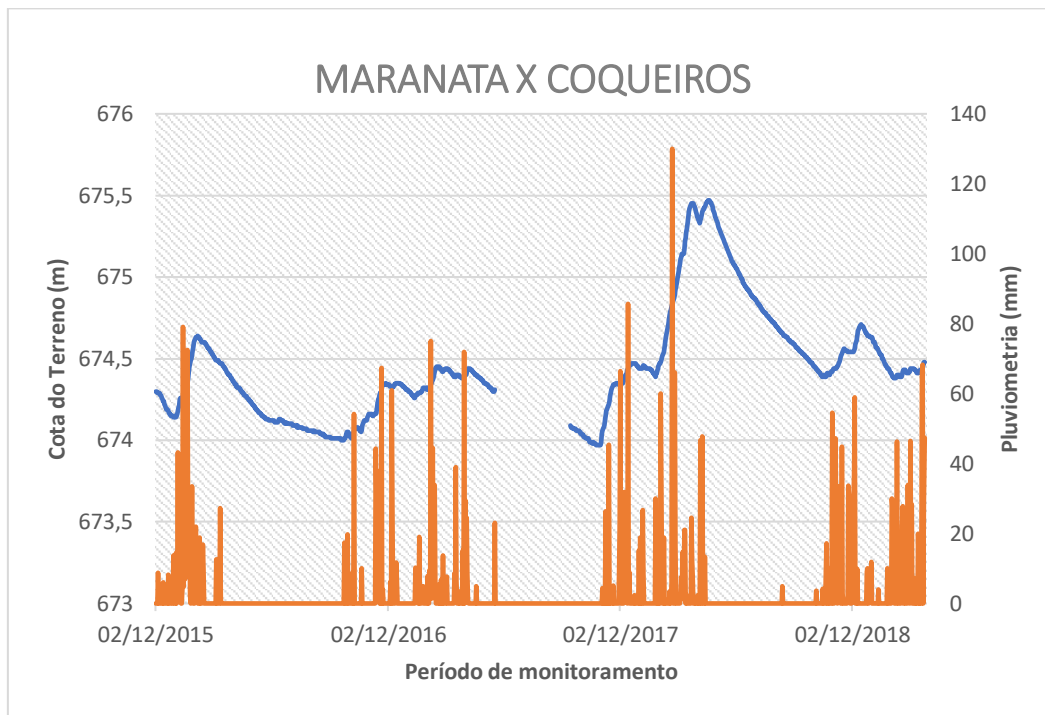


Gráfico 20 : Hidrograma Fazenda Maranhata x Posto Pluviométrico Coqueiros para o período de monitoramento (02/12/2015 -22/03/2019)

- *Poço de monitoramento 20*

O poço 20 está localizado na Fazenda Vila Campo Êre no município de Barreiras e é classificado como poço de oscilação do tipo I. Este poço de monitoramento não possui uso específico e registra um nível estático de 8,69 m e com nível da água em 8,562 m

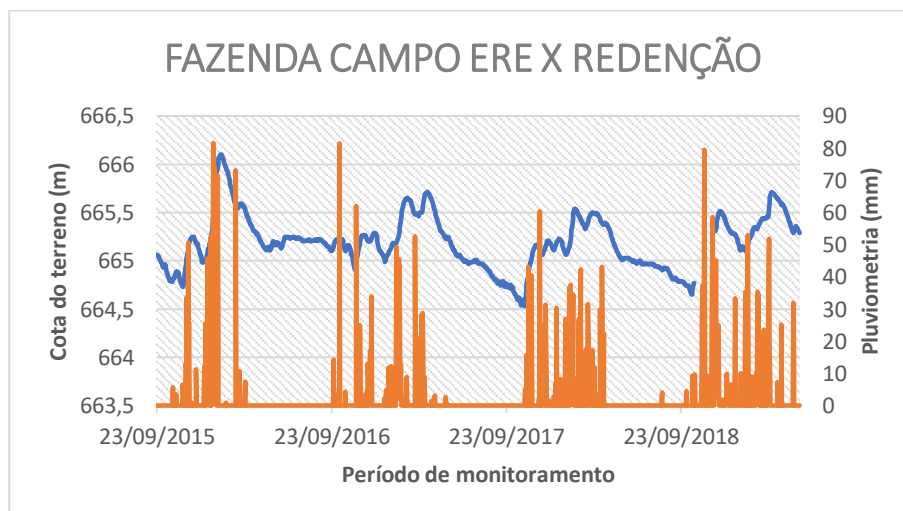


Gráfico 21: Hidrograma Fazenda Vila Campo Ere x Posto Pluviométrico Redenção para o período de monitoramento (23/09/2015 -28/05/2019)

Pelo hidrograma, pode-se observar que o aquífero possui respostas diferenciadas aos eventos de precipitação e que praticamente teve respostas a todas as chuvas ocorridas no período de monitoramento.

No pico do mês de janeiro de 2015, percebeu-se uma rápida elevação no nível d'água logo após, o que também ocorre após os picos nos meses de outubro e novembro de 2016, além dos eventos de chuva de 2017 em que o nível d'água só passou a descer após maio, tendo o seu mínimo registrado em novembro de 2017. Após, o aquífero recuperou-se, com eventos de precipitação do início de 2018 e percebe-se que apesar de padrões de queda, observou-se bons padrões de recuperação do nível d'água.

- *Poço de monitoramento 21*

O poço 21 está localizado na Fazenda Rio Brilhante, no município de São Desidério e é classificado como poço de oscilação do tipo II. Este poço de monitoramento não possui uso específico e registra um nível estático de 7,8 m e com nível da água em 9,65 m.

O gráfico 22 mostra os níveis mensais das águas subterrâneas do poço da Fazenda Rio Brilhante em resposta à precipitação acumulada do posto pluviométrico Derrocal. Pelos resultados do poço, percebe-se uma correlação com a precipitação, porém de forma lenta, mesmo com os erros de leitura no ano de 2014/2015. Esse hidrograma apresentou uma oscilação constante com picos geralmente em abril e maio e padrão de queda, com amplitude de 4,1 m.

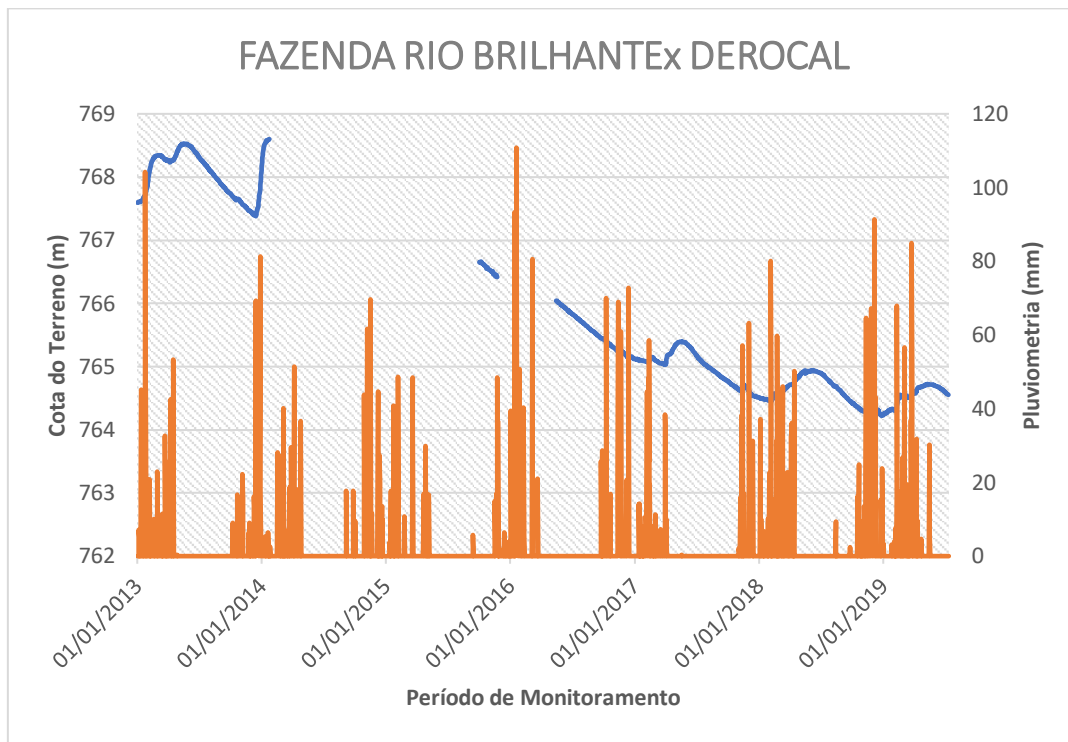


Gráfico 22: Hidrograma Fazenda Rio Brilhante x Posto Pluviométrico Derrocal para o período de monitoramento (01/01/2013 -07/07/2019)

- *Poço de monitoramento 22*

O poço 22 está localizado na Fazenda Sikué-Bionergia no município de São Desidério e é classificado como poço de oscilação do tipo II. Este poço de monitoramento não possui uso específico e registra um nível estático de 22,45 m e com nível da água em 23,79 m.



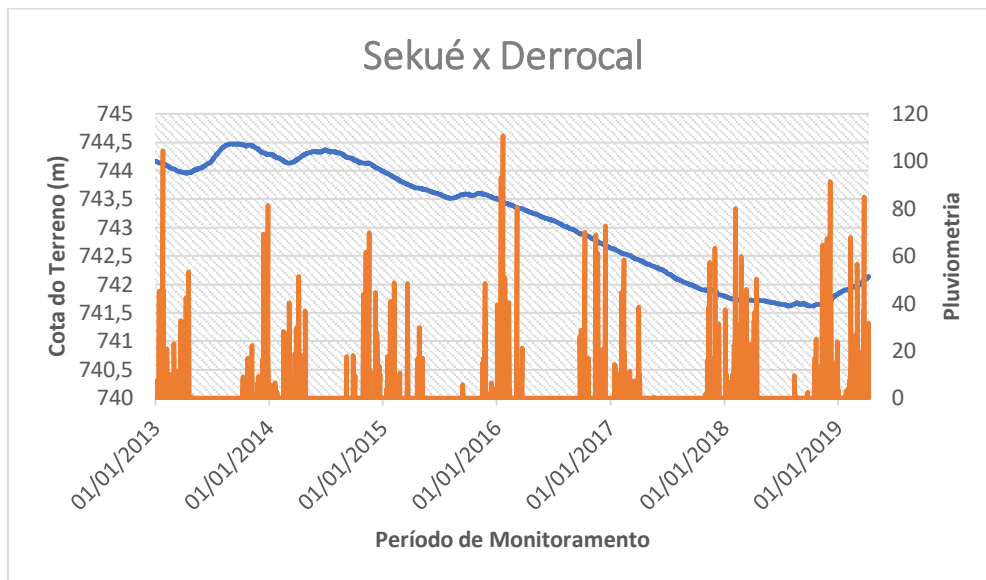


Gráfico 23: Hidrograma Fazenda Sekué-Bioenergia x Posto Pluviométrico Derrocal para o período de monitoramento (01/01/2013 -26/03/2019)

Para o poço da Fazenda Sekué percebeu-se que ocorreu a tendência de queda, algo semelhante aos outros poços.

Em 2013 e 2014, observa-se que ocorreu uma recuperação do lençol no período seco final e inicial, entretanto os maiores eventos de recarga ocorreram em seu período chuvoso. A não continuidade dos eventos de recarga no decorrer do período analisado é dado pela variação da chuva de um mês para outro alternando entre uma baixa e uma alta precipitação, não suficiente para promover acréscimo do nível potenciométrico. Pelo gráfico pode perceber que os eventos de chuva não foram suficientes para manter a recarga ou evitar o déficit hídrico.

- *Poço de monitoramento 23*

O poço 24 está localizado na Fazenda Xingu Agri Tabuleiro IV no município de São Desidério e é classificado como poço de oscilação do tipo II. Este poço de monitoramento não possui uso específico e registra um nível estático de 27,25 m e com nível da água em 28,57 m.

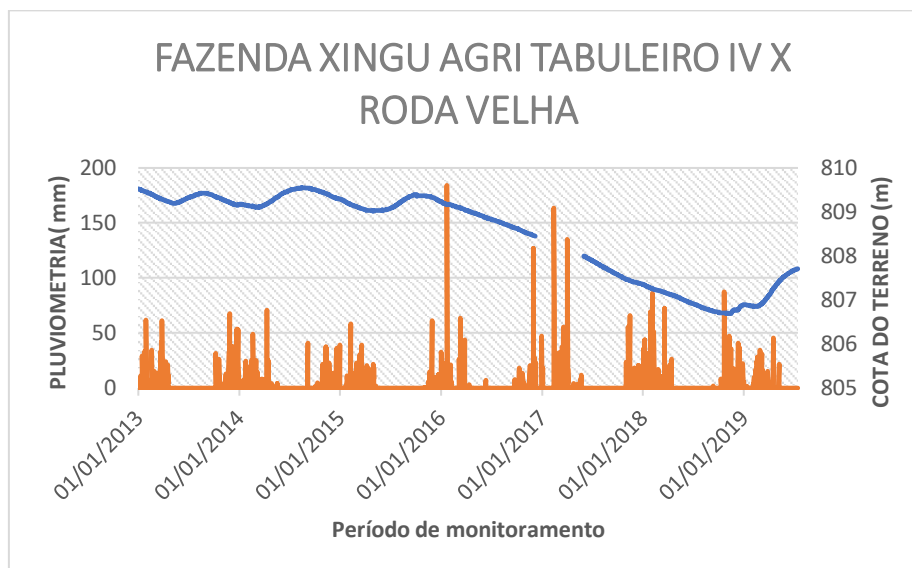


Gráfico 24: Hidrograma Fazenda Xingu Agri Tabuleira IV x Posto Pluviométrico Roda Velha para o período de monitoramento (01/01/2013 15/07/2019)

O gráfico 24 mostra os níveis mensais das águas subterrâneas do poço da Fazenda Xingu em resposta à precipitação do posto pluviométrico Roda Velha. Pelos resultados do poço, percebe-se uma correlação com a precipitação ao notar os períodos de ascensão do nível do lençol nos primeiros anos. Essa ascensão identifica que a precipitação, até 2015 levava a uma ascensão média do nível do lençol subterrâneo e após ocorreu alguma perturbação significativa no sistema ambiental próxima a área de recarga do aquífero no poço 23 que impossibilitou a resposta do nível d'água.

Esta afirmativa baseia-se no fato de que após o término do período chuvoso, há uma redução do nível da água dos poços. A partir de 2016, observa-se uma tendência geral de queda, mesmo com as taxas pluviométricas excedendo as taxas dos anos anteriores. A recuperação do nível d'água coincide com os períodos de maior pluviosidade do início de 2019, fenômeno observado em outros poços.

- *Poço de monitoramento 24*

O poço 24 está localizado na Fazenda Savaí no município de Luís Eduardo Magalhães e é classificado como poço de oscilação do tipo II. Este poço de

monitoramento não possui uso específico e registra um nível estático de 14,30 m e com nível da água em 20,607 m.

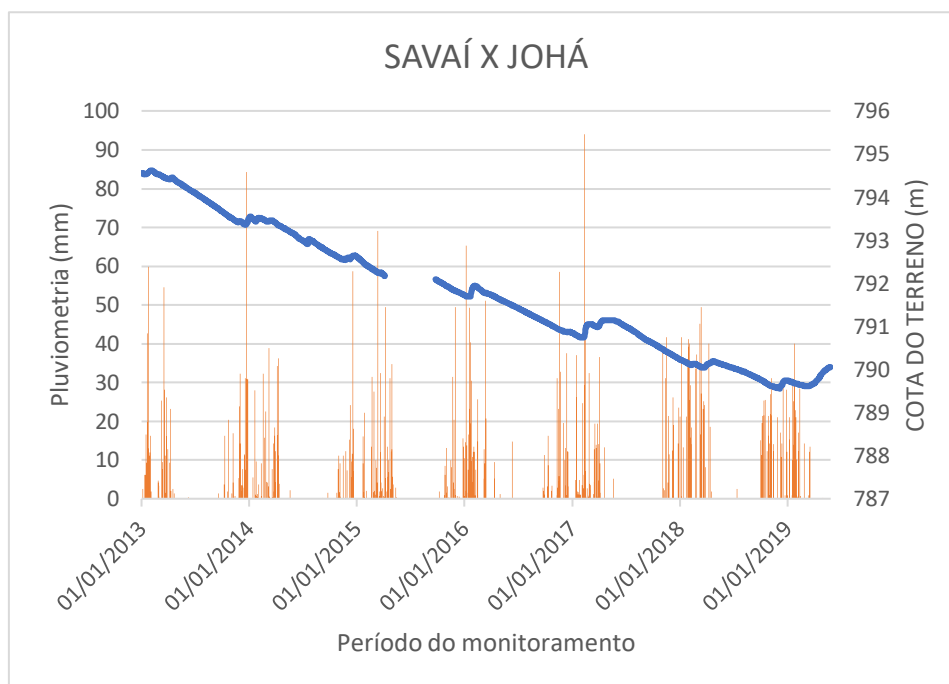


Gráfico 25: Hidrograma Fazenda Xingu Savaí x Posto Pluviométrico Johá para o período de monitoramento (01/01/2013 27/05/2019)

No posto Savaí percebe-se um declínio contínuo da água com leve recuperação em 2017 e 2019, fenômeno que foi padrão de grande parte dos poços monitorados no município de Luís Eduardo. Este padrão de decréscimo reflete o atraso na resposta das águas subterrâneas às chuvas e estão mais alinhados com as tendências de longo prazo em oposição ao efeito de curto prazo das chuvas.

Deve-se observar que a queda do nível d'água foi de 4,98 m (794,54 m no início do monitoramento e 789,56 m no ponto de maior queda), uma das maiores registradas.

- Poço de monitoramento 25

O poço 25 está localizado na Fazenda Baldissarela no município de São Desidério e é classificado como poço de oscilação do tipo III. Este poço de monitoramento não

possui uso específico e registra um nível estático de 66,34 m e com nível da água em 74,44 m

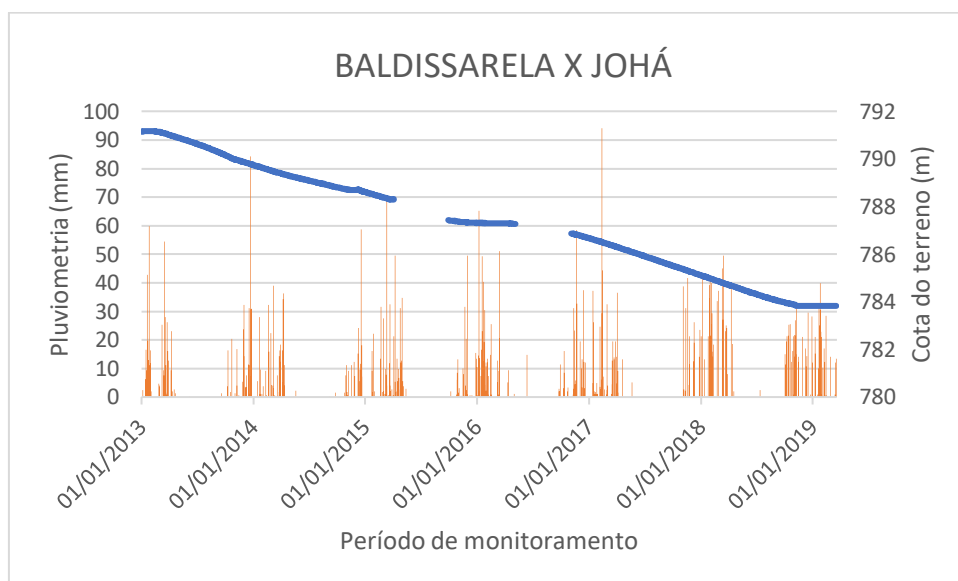


Gráfico 26: Hidrograma Fazenda Baldissarela x Posto Pluviométrico Johá para o período de monitoramento (01/01/2013 - 19/03/2019)

Vale destacar que este poço está próximo à rede de drenagem, o que caracterizaria este geomorfologicamente inserido numa planície aluvial. Deste modo, pode -se observar que as chuvas não contribuem com a recarga do lençol freático, comportamento também observado em outros vales aluviais do semiárido nordestino (BURTE et. al,2005). Desta maneira, pode-se analisar a relação íntima entre a ação da sazonalidade climática na dinâmica do nível do lençol freático. Outra importante observação, que os poços localizados nas áreas próximas a este poço, no município de Luís Eduardo Magalhaes, possuem as maiores quedas de nível d'água observados. Para este poço, a queda registrada foi a maior observada de 7,33 m (791,17 no início do monitoramento e 783,84 no período de maior queda). Vale destacar que poços próximos a este, como o poço Sertaneja e Novos Tempos (não colocado no presente trabalho devido ao enorme período de falhas na leitura do nível d'água) registraram significativas amplitude de quedas, acima de 5 m.

#### 4.5 CÁLCULO DE RECARGA PELO MÉTODO WTF

A recarga natural direta foi estimada através do método *WTF* para os anos totais de monitoramento, utilizando-se separadamente os anos hidrológicos, que iam de outubro de um ano a setembro de outro. Esse método exige a extrapolação das curvas de recessão, que foram criadas a partir dos dados de N.A. subterrâneo registrados nos poços de monitoramento.

Os poços do Tipo III, que apresentaram apenas rebaixamento do nível, foram descartados para a aplicação do método *WTF*, pois como não houve elevação do lençol freático a recarga estimada pelo método seria nula.

Alguns poços do tipo II, também não foram utilizados, pois a elevação do nível d'água foi mínima e possuíam muitos erros de leitura. Com isso, foi estimada a recarga direta de 8 poços monitorados, detalhados abaixo.

O primeiro poço de monitoramento é o Poço Rio Brilhante, cujos resultados do cálculo da recarga estão apresentados na Tabela 1. À esquerda na tabela são apresentados os valores de variação do nível de água, enquanto que à direita encontram-se dispostos os valores da flutuação separados pelos anos de monitoramento, com destaque para os meses em que ocorreram os picos.

Flutuação do nível d'água					
Ano hidrológico	Valores de $\Delta h$ (m)	Valores de $\Delta h$ (mm)	$\Delta h \times S_y$	Pluviometria	Recarga %
Out13/Set 14	-				
Out 14/Set 15	-				
Out 15/Set 16	-				
Set 16/Out 17	0,56	560 mm	70	834,5 mm	8,39 %
Out 17/Set 18	0,71 m	710 mm	88,75	1005 mm	8,83 %

Tabela 3: Resultado do cálculo da recarga para o PM Rio Brilhante

Obs: O ano hidrológico 2018/2019 foi excluído (de todas as análises) porque não havia disponível o ano completo. Entretanto a carga de observação, mesmo apresentando apenas resultados até julho, a recarga deste poço já tinha sido de 12,04% se calculado de

outubro de 2018 até julho de 2019, ou seja, maior do que dos outros anos de monitoramento

Flutuação do nível d'água					
Ano hidrológico	Valores de $\Delta h$ (m)	Valores de $\Delta h$ (mm)	$\Delta h \times S_y$	Pluviometria	Recarga %
Out13/Set 14	0,69	690	86,25	917	9,4
Out 14/Set 15	-				
Out 15/Set 16	0,15	150	18,75	1068,5	1,75
Set 16/Out 17	0,35	350	43,75	970,5	4,5
Out 17/Set 18	0,83	830	103,75	971	10,7

Tabela 4: Resultado do cálculo da recarga para o PM Tonini

Flutuação do nível d'água					
Ano hidrológico	Valores de $\Delta h$ (m)	Valores de $\Delta h$ (mm)	$\Delta h \times S_y$	Pluviometria(mm)	Recarga %
Out13/Set 14	0,69	690 mm	86,25	917	9,4 %
Out 14/Set 15	-				
Out 15/Set 16	-				
Set 16/Out 17	-				
Out 17/Set 18	1,12 m	1120 mm	140	1005 mm	14,42 %

Tabela 5: Resultado do cálculo da recarga para o PM Johá

Flutuação do nível d'água					
Ano hidrológico	Valores de $\Delta h$ (m)	Valores de $\Delta h$ (mm)	$\Delta h \times S_y$	Pluviometria(mm)	Recarga %
Out13/Set 14	1,06	1.063	132,92	839,5	15,8
Out 14/Set 15	-	-	-	-	-
Out 15/Set 16	1,34	1340	167,5	870,3	19,24
Set 16/Out 17	1,67	1675	209,37	834,5	25,01
Out 17/Set 18	2,37	2370	296,25	1005,9	29,04

Tabela 6: Resultado do cálculo da recarga para o PM Vereda Nova

Flutuação do nível d'água					
Ano hidrológico	Valores de $\Delta h$ (m)	Valores de $\Delta h$ (mm)	$\Delta h \times S_y$	Pluviometria(mm)	Recarga %
Out13/Set 14	-	-	-	-	-
Out 14/Set 15	0,97	970	121,25	743,6	16,3
Out 15/Set 16	0,77	770	96,25	870,3	12
Set 16/Out 17	1,57	1577	197,14	834,5	23,6
Out 17/Set 18	1,43	1430.	178,75	1005,9	17,8

Tabela 7: Resultado do cálculo da recarga para o PM Durri

Flutuação do nível d'água					
Ano hidrológico	Valores de $\Delta h$ (m)	Valores de $\Delta h$ (mm)	$\Delta h \times S_y$	Pluviometria(mm)	Recarga %
Out13/Set 14	2,56	2560	320	887,2	36
Out 14/Set15	-	-	-	-	-
Out 15/Set16	-	-	-	-	-
Set 16/Out17	1,4	1400	175	957,4	18,57
Out 17/Set18	-	-	-	-	-

Tabela 8: Resultado do cálculo da recarga para o PM Cabeceira Grande

Flutuação do nível d'água					
Ano hidrológico	Valores de $\Delta h$ (m)	Valores de $\Delta h$ (mm)	$\Delta h \times S_y$	Pluviometria(mm)	Recarga %
Out13/Set 14	1,56	1566	195,83	917,4	21,34
Out 14/Set 15	-	-	-	-	-
Out 15/Set 16	1,25	1250	156,25	1068	14,63
Set 16/Out 17	2,3	2300	287,3	970,5	29,6
Out 17/Set 18	1,29	1290	161,25	971	16,06

Tabela 9: Resultado do cálculo da recarga para o PM Agrobasso

Flutuação do nível d'água					
Ano hidrológico	Valores de $\Delta h$ (m)	Valores de $\Delta h$ (mm)	$\Delta h \times S_y$	Pluviometria(mm)	Recarga %
Out13/Set 14	-	-	-	-	-
Out 14/Set 15	-	-	-	-	-
Out 15/Set 16	-	-	-	-	-
Set 16/Out 17	-	-	-	-	-
Out 17/Set 18	2,24	2240	280	1105,9	27,83

Tabela 10: Resultado do cálculo da recarga para o PM Estância

Flutuação do nível d'água					
Ano hidrológico	Valores de $\Delta h$ (m)	Valores de $\Delta h$ (mm)	$\Delta h \times S_y$	Pluviometria(mm)	Recarga %
Out13/Set 14					
Out 14/Set 15					
Out 15/Set 16					
Set 16/Out 17	1,48	1480	185	794,4	23,28
Out 17/Set 18	1,84	1840	230	922,6	24,92

Tabela 11: Resultado do cálculo da recarga para o PM Galho Furtado

Flutuação do nível d'água					
Ano hidrológico	Valores de $\Delta h$ (m)	Valores de $\Delta h$ (mm)	$\Delta h \times S_y$	Pluviometria(mm)	Recarga %
Out13/Set 14	-	-	-	-	-
Out 14/Set 15	-	-	-	-	-
Out 15/Set 16	-	-	-	-	-
Set 16/Out 17	-	-	-	-	-
Out 17/Set 18	1,95	1950	243,75	1123,7	21,69

Tabela 12: Resultado do cálculo da recarga para o PM Maranata

Flutuação do nível d'água					
Ano hidrológico	Valores de $\Delta h$ (m)	Valores de $\Delta h$ (mm)	$\Delta h \times S_y$	Pluviometria(mm)	Recarga %
Out13/Set 14	-	-	-	-	-
Out 14/Set 15	-	-	-	-	-
Out 15/Set 16	1,33	1330	197,5	986	20
Set 16/Out 17	0,47	465	58,12	957,4	6,1
Out 17/Set 18	1,58	1580	197,5	1123,7	17,57

Tabela 13: Resultado do cálculo da recarga para o PM Fazenda Bom Retiro

Flutuação do nível d'água					
Ano hidrológico	Valores de $\Delta h$ (m)	Valores de $\Delta h$ (mm)	$\Delta h \times S_y$	Pluviometria(mm)	Recarga %
Out13/Set 14	-	-	-	-	-
Out 14/Set 15	-	-	-	-	-
Out 15/Set 16	2,12	2125	262,62	910	29,17
Set 16/Out 17	1,936	1930	241,25	794,4	30,36
Out 17/Set 18	2,01	2010	251,25	922,6	27,3

Tabela 14: Resultado do cálculo da recarga para o PM Fazenda Vila Campo Òre

A tabela 15 contém a média de recarga para os poços escolhidos, na qual foram eliminados os anos que apresentaram médias discrepantes quanto à média normalizada. Deste modo, foi possível confeccionar um mapa de recarga para a área de estudo através do método de interpolação por IDW (Figura 26). Deve-se observar que a escolha pelo método de interpolação de dados foi importante para eliminar o que se chama de “efeito mosaico” ou “efeito xadrez” presentes em geral na visualização de mapas temáticos e para destacar as principais concentrações espaciais de determinado atributo, suavizando suas diferenças. Pela escolha dos postos de monitoramento, com dados consistentes e que



mostraram picos temporais, os poços concentraram-se em uma determinada região da bacia. Este fato gerou uma interpolação de dados concentrados consistentes, porém os resultados não foram satisfatórios nos limites da bacia do Rio Grande.

LOCALIDADE	MÉDIA DE RECARGA (%)
Vila Campo Êre	28.94
Tonini	10.05
Johá	11.91
Cabaceira Grande	27.28
Rio Brilhante	8.61
Estância	27.83
Galho Furtado	24.1
Vereda Nova	22.27
Durri	17.43
Agrobasso	20.54
Bom Retiro	18.78
Maranata	21.69

Tabela 15: Média das recargas para os poços escolhidos para o método WTF

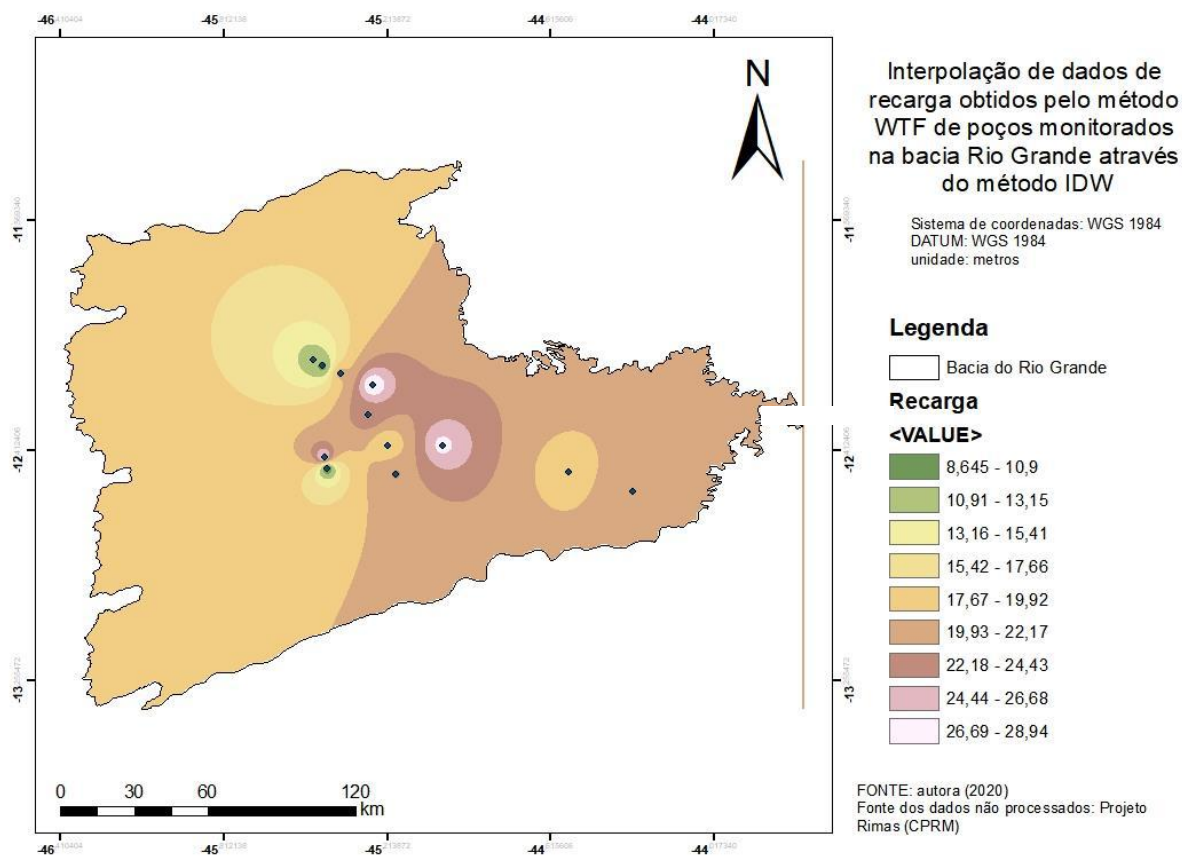


Figura 26: Mapa de recarga por interpolação IDW

## 5. CONCLUSÃO

Temas relativos à proteção e uso de água subterrânea são pouco discutidos nas legislações brasileiras. Portanto, as questões de gerenciamento e planejamento dos recursos hídricos subterrâneos não são tratadas com todas as peculiaridades que o tema merece. Desta maneira, este trabalho esforça-se na direção de discutir a questão de análise e gerenciamento dos recursos de águas subterrâneas através do seu monitoramento e recarga.

Para tal, monitorou-se o nível freático e aplicou-se para cálculo da recarga o método *WTF*, que foi possível de ser efetuado nos postos de monitoramento pertencentes a rede RIMAS, no aquífero Urucuia. Vale destacar que foram escolhidos poços que apresentaram séries históricas adequadas para a aplicação do método *WTF*.

Destaca-se que se trata da primeira iniciativa da autora de avaliá-los e de extrair informações hidrogeológicas. Deve-se ressaltar que, como qualquer outro método, o utilizado neste trabalho tem suas fontes de incertezas. Devido à dependência do valor de rendimento específico, uma mudança nesse parâmetro causaria mudanças no resultado final.

Para o referido trabalho adotou-se a média entre as porosidades relatadas nas bibliografias para que esse dado fosse o mais próximo da recarga ideal. O valor de 0,125 utilizado foi escolhido por ser representativo da área monitorada. Portanto, a estimativa de recarga obtida pode ser considerada como significativa para a área e ele pôde gerar uma avaliação da ordem da grandeza dos valores.

Um estudo de recarga mais detalhado, em escala mais abrangente, poderia utilizar os dados totais de heterogeneidades do aquífero para determinar os diversos valores de rendimento específico, com o escopo de gerar um valor mais preciso para as diferentes áreas do aquífero.

A recarga direta, calculada pelo método *WTF* para os anos monitorados, representou uma recarga de 8% a 29 % (excluindo os resultados abaixo de 5% e acima de 30%) referente a precipitação média na bacia durante o estudo, o que representa uma oscilação maior da recarga em relação àquelas encontradas em bibliografias para bacias próximas, que varia de 15 a 20%.

De forma mais específica, através dos gráficos, pode-se observar que o uso da extrapolação linear pode ser considerado uma boa base de análise para a variação do nível freático, principalmente nas áreas mais rasas do aquífero pois estas apresentaram diversos pulsos relacionados à chuva seguidos de recessão de curta duração, durante a época da recarga.

Durante todo o trabalho, o método *WTF* projetou-se como uma alternativa muito interessante para os estudos de análise de oscilação freática. Percebeu-se isso uma vez que é um método que pode ser aplicado em uma ampla escala de tempo (da duração de um evento até todo o registro hidrológico), da área (de dezenas de m<sup>2</sup>) e de magnitudes para a recarga (de alguns milímetros até dezenas de centímetros).

Além disso, os dados de nível d'água que o método utiliza são de fácil acesso podendo ser conseguidos *online* em sites públicos e pode ser realizado em intervalos de vários dias, dependendo das condições do aquífero.

Os dados obtidos demonstram a importância da particularização dos fenômenos associados a variação do nível d'água subterrânea e como o método *WTF* é um modo eficaz na estimativa da recarga por meio de dados de monitoramento de NA, que pode contribuir de forma ampla para o gerenciamento de forma eficiente dos recursos hídricos.

Sobre a análise das variações dos lençóis, as leituras no nível de água dos poços monitorados apresentaram tendências proporcionais de variações, sendo as elevações observadas resultados das recargas devido às precipitações.

Pode-se perceber que o nível de águas e reduziu em quase todos os poços monitorados, podendo ser uma resposta a déficits de precipitação na bacia, principalmente nos meses de maio a outubro (períodos secos normais), associados a altas taxas de evaporação e a solos com textura arenosa. Também, pode-se apontar que a tendência de queda observada possa estar coincidindo com o aumento das demandas de água para a agricultura da região, uma vez que as principais áreas de cultivo se encontram muito próximas das áreas mais susceptíveis a processos erosivos, o que acaba por influenciar a infiltração de água no solo. Esta tendência é preocupante já que pode indicar uma diminuição da disponibilidade hídrica subterrânea. Sugere-se uma avaliação conjunta com as vazões dos rios e cursos d'água com o objetivo de esclarecer se está havendo impacto no escoamento de base. Pode-se observar que as áreas mais susceptíveis são as de maior declividade com alta convergência de fluxo.

Também, verifica-se a tendência de diminuição da recarga ao longo dos anos hidrológicos, porém com importante aumento em 2019. Essa situação pode estar associada tanto à precipitação pluviométrica abaixo da média histórica nos anos anteriores à 2019, quanto à compactação dos solos na região pela atividade agrícola.

Vale destacar que a maior parte dos poços localizados no município de São Desidério, mostraram características muito similares, e que apesar da queda coincidir com os momentos de baixa das taxas pluviométricas, esse município é o maior produtor de soja e outros importantes gêneros agrícolas do Estado, o que pode estar influenciando diretamente na recarga do aquífero na área. Nos últimos 5 anos, segundo o Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA), que é divulgado pelo IBGE, apontou-se a produção da Bahia como a que mais cresceu no Brasil e, portanto, a demanda por água para as atividades agrícolas. Em 2018, segundo o levantamento, o município produziu 54,4% a mais em 2018 em comparação a 2017 e gerou R\$ 3,6 bilhões, representando sozinho 1,8% do valor gerado pela agricultura brasileira. De acordo com as Projeções do Agronegócio, um

relatório divulgado pelo Ministério da Agricultura e Pecuária com base em dados fornecidos por vários órgãos nacionais, com a análise de técnicos do ministério e da Embrapa, a agropecuária da Bahia vai registrar um crescimento anual geral de até 3% entre as safras de 2018/2019 e a de 2028/2029. Desta maneira, percebe-se que a produção agrícola é uma variável muito importante para entender as características hidrodinâmicas apresentadas nos poços de monitoramento durante o período de estudo e que ela deve ser levada em consideração durante o planejamento para uso das águas subterrâneas.

Análises mais detalhadas são demandadas já que processos de recarga em áreas irrigadas, como a área estudada, podem ser complexos e o movimento da água infiltrada da superfície através da zona não saturada até a zona saturada envolve várias características.

As tendências de descida de nível da água regional apresentadas no trabalho refletem a influências das condições regionais e locais e ela é o melhor parâmetro para integrar os processos hidrogeológicos em pequenas e médias escalas. A extensão da pesquisa de no mínimo 5 anos, além de análises preliminares de anos mais antigos, permitiu uma perspectiva em escalas mais longas do sistema ambiental da área e de suas relações com o gerenciamento e gestão de recursos hídricos locais.

Devido a medições, foram observadas flutuações anuais de forma detalhada do lençol freático durante e após a estação chuvosa, que gera boas comparações com a literatura existente. Foi visível neste trabalho que as variações de recarga estão relacionadas com a precipitação, e esta influencia diretamente os valores encontrados para os diferentes anos de monitoramento.

É necessário ressaltar que estudos de água subterrânea, com acompanhamento do nível freático necessitam de observações por muitos anos e dados consistentes. O acompanhamento durante o período é considerado representativo para uma análise concisa do comportamento do nível do lençol no aquífero Urucuia nas fazendas

analisadas, porém para um trabalho mais completo e abrangente as análises devem conter mais subsídios para o estudo.

Neste trabalho buscou-se apenas uma visão da situação geral da área, que hidrologicamente é complexa e precisa de estudos detalhados. Para melhor compreensão e tomada de decisões, o trabalho de monitoramento deveria desenvolver-se integrando outros estudos como a modelagem hidrogeológica, etc.

## **6.RECOMENDAÇÕES**

As águas subterrâneas são um recurso natural valioso, com alto valor econômico e significado social. Frente às últimas estiagens, as demandas hídricas têm sido cada vez mais supridas com a participação das águas subterrâneas, que têm sido uma importante fonte de suprimento para usos domésticos e agrícolas.

Na área da bacia o declínio do nível de água em praticamente 100% dos poços analisados ainda precisa de estudos mais complexos para apontar a explicação para este fenômeno, porém com a análise do trabalho pode-se destacar que o déficit de pluviometria dos últimos anos se caracteriza como base para o entendimento deste. Mudanças no nível do lençol freático também podem ocorrer por outros motivos além da precipitação, que não foram abordados neste trabalho, tais como a evapotranspiração (especialmente para aqueles com nível mais próximo a superfície, ou mudanças na pressão atmosférica), retenção de ar entre o lençol freático e uma frente úmida que avança para baixo a partir da superfície do solo (mais raro), mudanças na temperatura da superfície, bombeamento de outros poços e outros fenômenos induzidos por atividades humanas, como irrigação e urbanização.

Porém, o declínio marcante do nível d'água é um fenômeno que merece atenção nos próximos anos. Além disso, é necessário que se invista no desenvolvimento do sistema de monitoramento e no controle do planejamento da gestão da água da região. Desta forma, a sociedade conseguirá lidar com o equilíbrio entre exploração dos recursos hídricos subterrâneos com as crescentes demandas dos usuários de água e terra. Também, a bacia do rio Grande apresentou valores de recarga diferenciados, o que pode ocorrer devido a variações e a outras componentes hidrogeológicas como topografia, geologia,

declividade da superfície do terreno, vegetação, espessura da zona não saturada, entre outros.

Deste modo, propõe-se a realização de estudos mais avançados que procurem determinar outras variáveis hidrogeológicas que possam interferir na estimativa da recarga.



## 7.BIBLIOGRAFIA

- AIBA. Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia. Áreas fundiárias da região Oeste da Bahia. Disponível em: <http://aiba.org.br/regiao-oeste/>. Acesso em: 18/10/19
- ALLISON, G.B., GEE, G.W. & TYLER, S.W. (1994) Vadose-zone techniques for estimating groundwater recharge in arid and semiarid regions. *Soil Science Society of America Journal*, 58, 6-14.
- ALVES, R. R.; SERATO, D. S.; CAMPOS, E. H.; CAMPOS, P. B. R.; RODRIGUES, S. C. As Relações Existentes entre as Ocorrências das Formas do Relevo e o Uso do Solo na Bacia do Rio Grande - Ba. In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2009, Viçosa - MG. A Geografia Física Aplicada e as Dinâmicas de Apropriação da Natureza
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRANEAS. Águas Subterrâneas: O que são?. Disponível em <https://www.abas.org/>. Acesso em: 12/06/2019
- BAHIA. Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Balanço hídrico para a revisão do Plano Estadual de Recursos Hídricos. Bahia, 2012.
- BARBOSA, N. da S. HIDROGEOLOGIA DO SISTEMA AQUÍFERO URUCUIA, BAHIA. Tese de Doutorado (Geologia). Universidade Federal da Bahia. BAHIA, 2016.
- BARRETO, C. E.A. G. Balanço hídrico em zona de afloramento do sistema aquífero Guarani a partir de monitoramento hidrogeológico em bacia representativa. Dissertação apresentada ao PPG em Engenharia. Escola de Engenharia de São Carlos USP, 2006. 271p.
- BARRETO C. E. A. G; WENDLAND E.; GOMES L. H. 2007. Definição de um modelo de balanço hídrico para uma bacia representativa localizada em zona de afloramento do Sistema Aquífero Guarani. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo/SP, 20p.
- BETIO, M.M. SANTOS, M.M. Monitoramento das oscilações do nível freático na área do antigo lixão de Rolândia – PR. *Águas Subterrâneas*. 10.14295/ras.v0i0.28793. 2017
- BONFIM, L.F.C., GOMES, R.A.A.D., 2004. Aquífero Urucuia – geometria e espessura: ideias para discussão, in: XX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Cuiabá-MT. 8p.
- BORGHETTI, N. R. B.; BORGHETTI, J. R; ROSA FILHO, E. F.. Aquífero Guarani: a verdadeira integração dos países do Mercosul. – Curitiba, 2004.
- BURTE J, COUDRAIN A, FRISCHKORN H, CHAFFAUT I & KOSUTH, P. Impacts Anthropiques sur Les Termes du Bilan Hydrologique d'un Aquífère Alluvial Dans Le Nordeste Semi-Aride, Brasil. *Hydrological Sciences Journal*, 50:001-110. 2005
- CAMPOS, J.E.G., DARDENNE, M.A., 1997. Estratigrafia e sedimentação da bacia San franciscana: uma revisão. *Revista Brasileira de Geociências*, 27, 269-282.

ALBUQUERQUE, C. G. de. Recarga de aquífero em aluvião no semiárido: estudo de caso em pesqueira – PE. Dissertação de mestrado (Eng. Agrícola e Ambiental). Universidade Federal Rural de Pernambuco. Pernambuco, 2009

COELHO, V.H.R. ALMEIDA, C. N. DE SILANS, A.M.B. P. Análise da Flutuação do Nível D'água para Estimativa da Recarga Subterrânea da Bacia Representativa do Rio Gramame no Nordeste Brasileiro. RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 17 n.2 - Abr/Jun 2012, 241-252

CPRM. RIMAS- Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas. Disponível em <http://rimasweb.cprm.gov.br/layout/>. Acesso em: 2019

DAMBRÓS, C. Recarga e flutuação do nível da água subterrânea em sub-bacias com floresta e campo nativo. Dissertação de Mestrado, PPGEC, UFSM, 2011, p.119.

EILERS, V. Estimativa de recarga de águas subterrâneas utilizando o método do balanço hídrico. Revista Águas Subterrâneas. 2004

FARIAS, P.V.C. Flutuação dos níveis de água subterrânea em microbacias hidrográficas do Rio Vacacaí-Mirim. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. RS, p.102.2011

FEITOSA, F.A.C. MANOEL FILHO, J. Hidrogeologia: conceitos e aplicações. Organização e coordenação científica:-3.ed.ver.e ampl.- Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. 812 p.

FETTER, C.W. Applied Hydrogeology. Fourth Edition. Prentice Hall. 2001. 598 p.

GASPAR M.T.P.CAMPOS J.E.G. O Sistema Aquífero Urucua. Revista Brasileira de Geociências, 37(4):216-226. 2007

GASPAR, M.T.P. Sistema Aquífero Urucua: Caracterização Regional e Propostas de Gestão. 2006. 158 f. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília. 2006.

GASPAR M.T.P, CAMPOS J.E.G, MORAES, R.C.V. Determinação das espessuras do Sistema Aquífero Urucua a partir de estudo geofísico. Revista Brasileira de Geociências, volume 42(Suppl 1), 2012.

GOMES, L. H. Determinação da recarga profunda na bacia piloto do ribeirão da onça em zona de afloramento do Sistema Aquífero Guarani a partir de balanço hídrico em zona saturada. Dissertação a escola de São Paulo (Mestre em Engenharia Civil- Hidráulica e Saneamento), 2008.

GONÇALVES, R. D.; ENGELBRECHT, B. Z.; CHANG, H. K. Análise hidrológica de séries históricas da Bacia do Rio Grande (BA): contribuição do Sistema Aquífero Urucua. *Águas Subterrâneas*, v. 30, n. 2, p. 190, 26 jun. 2016.

GONÇALVES, R. D. CHANG, H. Modelo Hidrogeológico do Sistema Aquífero Urucua na Bacia do Rio Grande (BA). São Paulo, UNESP, Geociências, v. 36, n. 2, p. 205 – 220, 2017.

HEALY, R.W. Estimating groundwater recharge. Cambridge. 2010

HEALY, R. W.; COOK, P. G. Using groundwater levels to estimate recharge. In: Hydrogeology Journal. v.10(1). February 2002. Springer-Verlag, Berlin. p 91-109.

HEINEN, Clarissa; BRINCKMANN, Wanderléia Elizabeth; BRINCKMANN, Carlos André. Aquífero Guarani. Boletim Informativo, v.4, n.2, fev.2001. Santa Cruz do Sul: Núcleo de Pesquisa e Extensão em Gerenciamento de Recursos Hídricos da Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Mapa de vegetação do Brasil 1988/1991: escala 1:5.000.000. 1991. Disponível em: [geoftp.ibge.gov.br](http://geoftp.ibge.gov.br). Acesso em 02.04.2019

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais)/ CPTEC- Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Últimas Ocorrências do El Niño (2016) Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acesso em: dezembro de 2019

International Research Institute for Climate and Society .Climate Briefing: El Niño Transitions. Disponível em: <https://iri.columbia.edu/>. Acesso em dezembro de 2019.

JAKOB, A.A.E., YOUNG, A.F. O uso de métodos de interpolação espacial de dados nas análises sociodemográficas. XV Encontro Nacional de Estudos Populacionais. Mg2006

Lei n.º 9.433/97. Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). 08 jan. 1997.

LERNER, D.N., ISSAR, A.S. & SIMMERS, I. (1990) Groundwater recharge: a guide to understanding and estimating natural recharge. International Contributions to Hydrogeology, Vol. 8. International Association of Hydrogeologists, Verlag Heinz Heise.

LIMA, O. A. L. Estudos Geológicos e Geofísicos do Aquífero Urucuia na Bacia do rio do Cachorro – Oeste da Bahia. 42p. 2000. Publicação da SRH-BA e UFBA. Disponível em [www.srh.ba.gov.br/publicações](http://www.srh.ba.gov.br/publicações).

MAZIERO, T. A.; WENDLAND, E. (2005) Avaliação da recarga subterrânea de bacias urbanas no município de São Carlos, SP. In: XIV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, II Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste.

MACHADO, P. J O. TORRES, F.T.P. *Introdução a hidrogeografia*. Brasil: Cengage Learning. 2013

MENDONÇA, M. R. A urdidura do capital e do trabalho nas áreas de Cerrado. In: THOMAZ JUNIOR, A.; OLIVEIRA, A. M. S. de; GONÇALVES, M, A. (Org.). Geografia e trabalho no século XXI. Presidente Prudente: Centelha/ CEGeT, 2007. p. 84-106. 2006, v.3

MENINO, G. C. de O., SANTOS, R. M dos, APGAUA, D. M. G., PIRES, G. G, PEREIRA, D. G. S., FONTES, M. A. L., & ALMEIDA, H. de S. Florística e estrutura de florestas tropicais sazonalmente secas. *CERNE*, 21(2), 277-291. 2015

Ministério do Meio Ambiente (MMA). Águas Subterrâneas um recurso a ser conhecido e protegido. Brasília/DF. 2007

MOREIRA, M. C Atlas hidrológico da bacia hidrográfica do Rio Grande. Editora Gazeta Santa Cruz, 2010. 80 p. il. Barreiras, BA. 2010

Outorga de direito de uso de recursos hídricos / Agência Nacional de Águas. -- Brasília: SAG, 2011.

OHTSUKA, H. I.; Mori, N.; INSGSKI, T.; MISAWA, S. 1996. Effective porosity and specific yield of a sedimentary rock determined by a field tracing test using tritium as a tracer. *Env. Geol.* 27:170-177.

PASINI, F. Abordagem de diferentes funções para extrapolação da curva de recessão do hidrograma de águas subterrâneas para cálculo de recarga em zona de floresta. Monografia (Engenharia Ambiental e Sanitária). Rio Grande do Sul. 2016

REIS, S. L. da S. Desenvolvimento e natureza: a dinâmica de ocupação do cerrado e repercussões ambientais na região agroexportadora do oeste baiano. Dissertação de mestrado. Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

SCANLON, R.B. COOK, P.G. (eds) (2002) Theme issue: groundwater recharge. *Hydrogeology Journal*, 10, 18-39.

SCHUSTER, H. D. M; SILVA, F. F. da; TEIXEIRA, S. L.; BATISTA, L. H. G. & FREITAS, W. A. 2002. Estudos Hidrogeológicos do Aquífero Urucuia no Oeste baiano para Obtenção de Parâmetros nas outorgas de mananciais Subterrâneos. In: ABAS, Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 12, Santa Catarina, CD-ROM

SILVA, F.F. DA; NETO, A.V.L; CARDOSO, E.R. SCHUSTER, H.D.M. Aplicação da modelagem matemática no uso conjunto água superficial e subterrânea para a gestão de recursos hídricos no oeste do Estado da Bahia. In: simpósio de recursos hídricos da Amazônia, Palmas: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2005.

SIMMERS, I. Groundwater recharge: an overview of estimation problems and recente developments. In: N.S. Robins, ed. *Groundwater Pollution, Aquifer Recharge and Vulnerability*. Geological Society, London, Special Publications, 130, 107-115, 1998.

SIMON, F.W. Estimativa de recarga do aquífero guarani na bacia do rio Ibicuí( RS), com base na aplicação do método de variação dos níveis de água. 2014. 69f. Trabalho de Conclusão de curso (monografia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, 2014.

United Nations world water development report 4: managing water under uncertainty and risk. UNESCO-World Water Assessment Programme. 2012. Link: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000215644>. Acesso em 20.03.2019