

Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Graduação em Geologia

**ISÓTOPOS ESTÁVEIS NA COMPREENSÃO DA RECARGA NO SISTEMA
AQUÍFERO BAURU, MUNICÍPIO DE ARARAQUARA – SP**

Rodrigo Esteves Rocha

Orientador: Prof. Dr. Didier Gastmans

Rio Claro (SP)

2019

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Câmpus de Rio Claro

RODRIGO ESTEVES ROCHA

ISÓTOPOS ESTÁVEIS NA COMPREENSÃO DA RECARGA
NO SISTEMA AQUÍFERO BAURU, MUNICÍPIO DE
ARARAQUARA – SP

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Câmpus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para
obtenção do grau de Geólogo.

Rio Claro - SP

2019

R672i Rocha, Rodrigo Esteves
Isótopos estáveis na compreensão da recarga no Sistema
Aquífero Bauru, município de Araraquara - SP / Rodrigo
Esteves Rocha. -- Rio Claro, 2019
47 f. : il., tabs., fotos, mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado -
Geologia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro
Orientador: Didier Gastmans

1. Geologia. 2. Hidrologia. 3. Hidrogeologia. 4. Chuvas.
5. Aquíferos. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do
Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo
autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

RODRIGO ESTEVES ROCHA

ISÓTOPOS ESTÁVEIS NA COMPREENSÃO DA
RECARGA NO SISTEMA AQUÍFERO BAURU, MUNICÍPIO
DE ARARAQUARA – SP

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto de Geociências e
Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro,
da Universidade Estadual Paulista Júlio
de Mesquita Filho, para obtenção do grau
de Geólogo.

Comissão Examinadora

_____ (orientador)

Rio Claro, ____ de _____ de _____.

Assinatura do(a) aluno(a)

assinatura do(a) orientador(a)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço aos meus pais, Solange e Ricardo, pelo grande incentivo e apoio incondicional que me deram. Agradeço aos meus irmãos, Vívian e Vitor Hugo, pelo carinho e amor imensuráveis. Dedico aqui também minha profunda gratidão à minhas tias, tios, primas, primos, avós e avôs que mantiveram contato, e que me ajudaram no processo com o conforto singular do laço familiar.

Agradeço ao Professor Doutor Didier Gastmans pela orientação e empenho dedicados à elaboração deste trabalho. É com gratidão que levo os resultados obtidos com as aulas e discussões, assim como com as correções e advertências nos momentos em que foram necessários. Agradeço a todos os membros do Laboratório de Recursos Hídricos e Isótopos Ambientais pelo suporte indispensável para a conclusão deste projeto.

Agradeço a meus colegas de ingresso no curso de Geologia em 2015, a Turma XLVI, por me demonstrar na prática que é possível uma turma se manter unida ao longo dos cinco anos de graduação. Vocês me demonstraram o valor da amizade no dia-a-dia, com palavras e atitudes sinceras presentes apenas na mentalidade daqueles que desejam o bem a seus companheiros.

Agradeço aos amigos “Beck”, “Bigode”, “Chupeta”, “Job”, “Mundrongo”, Otavio e Ponce, por todos os conselhos, incentivos e ensinamentos ao longo dos três anos em que tive o prazer de morar com vocês na República Kaizuka. Acredito que cada um de vocês agiu como suporte para mim, assim como os raios de uma roda a mantém seguindo em frente. Agradeço também aos agregados da república, Amanda, “Caxaxa”, Lara, “Mari”, “Prozac” e Suelen, por sempre estarem presentes nos momentos de conforto, nas aventuras e nas dificuldades da graduação.

Agradeço aos colegas e ao tutor do grupo PET, Prof. Dr. Washington Barbosa Leite Júnior, por todo o aprendizado sobre teorias e práticas em pesquisa, ensino e extensão, que foram fundamentais no meu desenvolvimento como estudante de graduação.

Agradeço a todos os amigos que fiz de outros cursos, outros campi e outras universidades ao longo dos últimos cinco anos. Vocês fizeram parte, direta ou indiretamente, da minha formação, e sou grato pelos momentos que compartilhei com vocês.

RESUMO

Nos estudos hidrológicos e hidrogeológicos é cada vez mais comum a correlação das razões isotópicas de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ nas águas superficiais, subterrâneas e precipitadas com foco em compreender a interação entre partes dos mecanismos do ciclo da água. Isso é possível por meio da comparação da assinatura isotópica das águas em busca de tendências que apontem para as influências de processos naturais de fracionamento isotópico. O objetivo principal é interpretar a relação dos mecanismos de recarga com os fenômenos climáticos. Neste sentido, o escopo de trabalho é a análise temporal da variação da composição isotópica da precipitação e das águas subterrâneas. Foi feito por meio da organização de dados de série histórica atualizada, para área de recarga do Domínio Hidrogeológico do Sistema Aquífero Bauru-Caiuá (SAB) no município de Araraquara - SP. Como resultado para as águas de chuva, destaca-se a reta meteórica local definida pela função $\delta^2\text{H} = 8,022 * \delta^{18}\text{O} + 14,342$, quase paralela à reta meteórica global. A média ponderada pela quantidade de chuva das razões isotópicas de $\delta^{18}\text{O}$ (‰) VSMOW é igual a -5,48; de $\delta^2\text{H}$ (‰) VSMOW é igual a -28,73; e a média aritmética do excesso de deutério é igual a 14,24. O piezograma do poço foi analisado visualmente e registra uma tendência de recessão até novembro de 2015, seguida de uma forte recarga que elevou o nível d'água para uma profundidade média de 10 m com ciclos anuais de recarga bem definidos. As razões isotópicas para as águas subterrâneas apresentam médias mais depletadas e com menor variabilidade, sendo a média aritmética de $\delta^{18}\text{O}$ igual a -6,90; $\delta^2\text{H}$ igual a -43,94; e excesso de deutério igual a 11,23. A sazonalidade do volume de precipitação é marcada pela concentração de chuvas no período de outubro a março, com a maior média histórica no mês de dezembro igual a 242 mm, e menor no mês de junho igual a 25 mm. A sazonalidade da composição isotópica das águas de chuvas é destacada pelas amostras das chuvas na estação chuvosa serem mais depletadas que as amostras coletadas na estação seca. Os resultados estão de acordo com o esperado com base na literatura recente sobre isótopos estáveis da água em áreas tropicais, de modo que este estudo contribui para a expansão do conhecimento neste tópico.

PALAVRAS-CHAVE - Isótopos estáveis. Sistema Aquífero Bauru-Caiuá. Hidrogeologia. Precipitação. Água subterrânea.

ABSTRACT

In hydrological and hydrogeological studies, the correlation of isotopic ratios of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ in the surface, groundwater and precipitated waters is increasingly common, with a focus on understanding the interaction between parts of the water cycle mechanisms. This is possible by comparing the isotopic signature of waters in search of trends that point to the influences of natural processes of isotopic fractionation. The main objective is to interpret the relationship between recharge mechanisms and climatic phenomena. In this sense, the scope of work is the temporal analysis of the variation of the isotopic composition of precipitation and groundwater. It was made through the organization of updated historical series data for the recharge area of the Hydrogeological Domain of the Bauru-Caiuá Aquifer System (SAB) in the municipality of Araraquara - SP. Because of rainwater analysis, the local meteorological line defined by the function $\delta^2\text{H} = 8.022 * \delta^{18}\text{O} + 14.342$, almost parallel to the global meteorological line, stands out. The weighted average by the amount of rainfall of the $\delta^{18}\text{O}$ (‰) VSMOW isotopic ratios is -5.48; of $\delta^2\text{H}$ (‰) VSMOW is equal to -28.73; the arithmetic mean of excess deuterium is 14.24. The well's piezogram was visually analyzed and recorded a recession trend until November 2015, followed by a strong recharge that raised the water level to an average depth of 10 m with well-defined annual recharge cycles. The isotopic ratios for groundwater present more depleted averages and with less variability, with the arithmetic average of $\delta^{18}\text{O}$ equal to -6.90; $\delta^2\text{H}$ equal to -43.94; and deuterium excess equal to 11.23. The seasonality of rainfall volume is marked by rainfall concentration from October to March, with the highest historical average in December equal to 242 mm, and the lowest in June equal to 25 mm. The seasonality of the isotopic composition of rainwater is highlighted by the fact that rainfall in the rainy season is more depleted than in the dry season. The results are as expected based on recent literature on stable isotopes of water in tropical areas, so this study contributes to the expansion of knowledge on this topic.

KEYWORDS - Stable isotopes. Bauru-Caiuá Aquifer System. Hydrogeology. Precipitation. Underground water.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Isótopos do elemento químico Hidrogênio.	10
Figura 2 – Esquema ilustrativo de isótopos estáveis de água e sua relação com o ciclo hidrológico.	11
Figura 3 – Mapa da demanda por tipo de recurso hídrico no estado de São Paulo.	12
Figura 4 – Carta estratigráfica da Bacia do Paraná.	15
Figura 5 – Proposta para a estratigrafia do Grupo Bauru segundo Soares <i>et al.</i> (1980).	17
Figura 6 – Unidades litoestratigráficas da Superssequência Bauru de Fernandes e Coimbra (2000).	18
Figura 7 – Mapa do Domínio Hidrogeológico do Sistema Aquífero Bauru-Caiuá.	19
Figura 8 – Imagem de satélite da área de afloramento do Sistema Aquífero Bauru-Caiuá no município de Araraquara (SP).	20
Figura 9 - Mapa geológico do município de Araraquara.	22
Figura 10 - Poço com instalação para coleta de amostras e medição do nível estático da água.	23
Figura 11 – Gráficos de box-plot da composição isotópica da precipitação no município de Araraquara – SP.	26
Figura 12 – Composição isotópica da precipitação de Araraquara – SP, no período de 2014 a 2018.	27
Figura 13 - Médias mensais de precipitação e $\delta^{18}\text{O}$ do município de Araraquara – SP.	27
Figura 14 - Reta Meteorica Local (RML) em comparação com a Reta Meteorica Global (RMG) para o município de Araraquara – SP no período de 2014 a 2018.	28
Figura 15 - Gráficos de box-plot da composição isotópica das águas subterrâneas no poço de monitoramento.	29
Figura 16 – Valores de $\delta^{18}\text{O}$ e da profundidade do nível d'água no poço analisado.	30
Figura 17 - Valores de $\delta^2\text{H}$ e da profundidade do nível d'água no poço analisado.	30
Figura 18 – Valores de excesso de deutério e nível d'água do poço analisado.	31
Figura 19 – Piezograma do poço de monitoramento e precipitação no município de Araraquara – SP.	32
Figura 20 – Gráfico de dispersão das amostras de águas subterrâneas no poço analisado.	33
Figura 21 – Razões isotópicas das amostras de águas subterrâneas e meteóricas na área de estudo.	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Padrões de <i>Vienna Standard Mean Ocean Water</i> para os isótopos ^2H e ^{18}O	24
Tabela 2 – Valores estatísticos da composição isotópica da precipitação.....	26
Tabela 3 – Valores estatísticos dos parâmetros medidos para as águas subterrâneas.	29

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
1.1 Delimitação do tema e do problema de pesquisa	9
1.2 Objetivos.....	11
1.3 Justificativas	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 Isótopos estáveis da água.....	13
2.2 Grupo Bauru e Sistema Aquífero Bauru	14
3 MATERIAIS E MÉTODOS DE TRABALHO	20
3.1 Área de Estudo	20
3.2 Arcabouço Geológico	21
3.3 Análise isotópica e pluviométrica	22
4 RESULTADOS	26
4.1 Análise isotópica e pluviométrica	26
4.2 Análise das águas subterrâneas.....	29
4.3 Correlação das águas de chuva e subterrâneas	31
5 CONCLUSÕES.....	34
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
APÊNDICES	39
APÊNDICE A – Dados de chuvas e condições meteorológicas.	40
APÊNDICE B – Dados de águas subterrâneas do poço CRP-P03.....	45

1 INTRODUÇÃO

1.1 Delimitação do tema e do problema de pesquisa

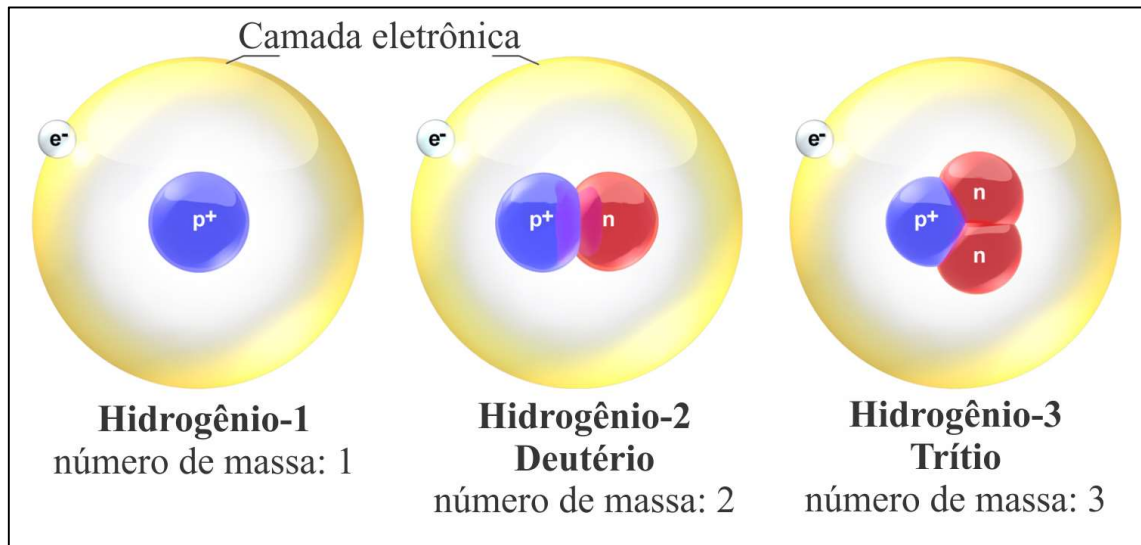
A relação da atividade antrópica com a hidrosfera ocorre de forma que uma altera e é alterada pela outra, tal que a disponibilidade de recursos hídricos é frequente alvo de discussões pela população em geral, mídia e meio científico (SILVA, 1998). A frequência e intensidade de anomalias correspondentes a eventos de escassez ou excesso hídrico são definidas por processos que estão fugindo ao esperado para a variabilidade interanual dos climas (MARENGO, 2008). Há uma demanda do meio científico para que os estudos hidrológicos criem avanços fora das regiões tradicionalmente estudadas, por meio do levantamento e teste de novas hipóteses (BURT & MCDONNEL, 2015; MCKNIGHT, 2017).

Os estudos hidrológicos possuem como principais temáticas a qualidade, quantidade e disponibilidade de água (CORDEIRO NETTO & TUCCI, 2003). Em um determinado espaço, essas três propriedades variam como resultado dos processos associados ao ciclo hidrológico (TUCCI, 2007). Neste sentido, um dos métodos mais conhecidos para estudo de movimentação de água na hidrosfera é por meio de isótopos estáveis da água, com estudos pioneiros tendo sido conduzidos por Dansgaard (1964), Gat (1996) e Araguas-Araguas *et al.* (2000).

Os isótopos estáveis da água são amplamente utilizados em estudos hidrológicos pois nos últimos anos houve grandes avanços na disponibilidade de dados e na construção de teorias e modelos para interpretá-los (GALEWSKY *et al.*, 2016). Estudos mais recentes focam em utilizar os isótopos estáveis da água como traçadores para diagnosticar mecanismos meteorológicos em áreas tropicais (AGGARWAL *et al.*, 2016; GALEWSKY *et al.*, 2016; ZWART *et al.*, 2018).

Isótopos estáveis são nuclídeos de um mesmo elemento químico que não sofrem desintegração espontânea na natureza. O conceito de nuclídeo prioriza as propriedades nucleares da espécie atômica, que variam de acordo com o número de prótons e nêutrons no núcleo do átomo. O conceito de isótopo tem foco nas propriedades químicas dos átomos, que dependem essencialmente do número de prótons no núcleo. O termo isótopo agrupa diferentes átomos em um único elemento químico (Figura 1), por exemplo os isótopos do elemento químico Hidrogênio são três: hidrogênio (^1H), deutério (^2H) e trítio (^3H).

Figura 1 – Isótopos do elemento químico Hidrogênio.



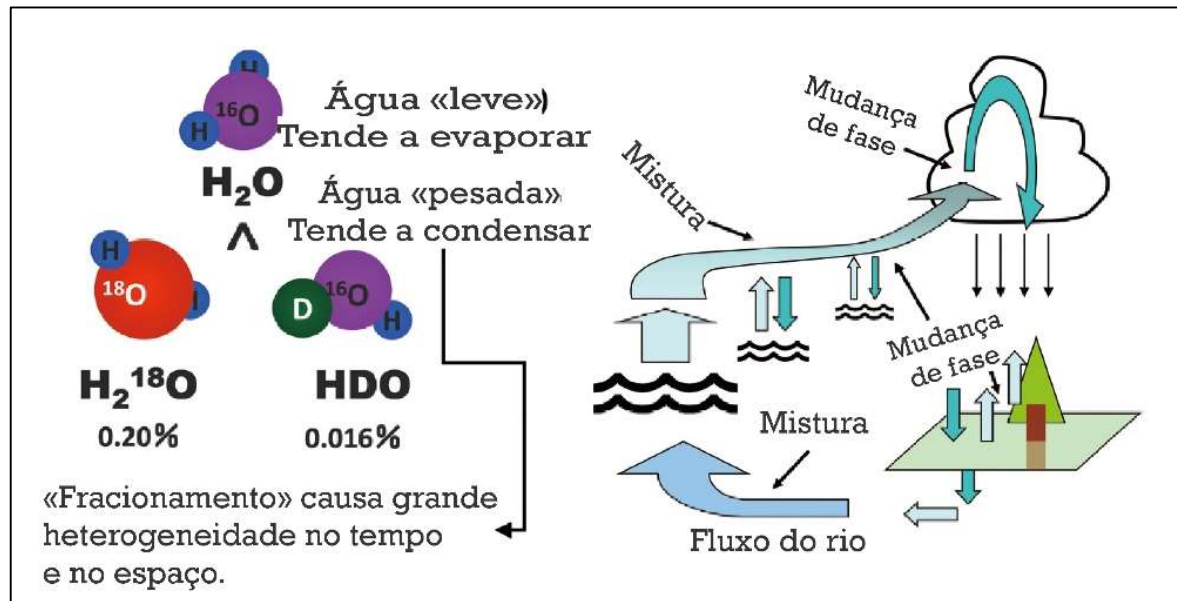
Modificado de Wikimedia Commons (2019).

Os fenômenos naturais associados aos sistemas biológico, hidrológico e geológico podem ser analisados de forma prática pela abundância dos isótopos de H, C, N, O e S. Os isótopos destes elementos são denominados isótopos ambientais (CLARK & FRITZ, 1997). Por serem átomos de pequena massa, a variação de um nêutron no núcleo representa uma grande variação percentual de massa para o átomo. A mesma lógica se aplica para agregados moleculares, pois uma molécula pode conter diferentes padrões de organização segundo o isótopo que ocupa o sítio de seu elemento.

O fracionamento químico de isótopos estáveis corresponde ao conjunto de processos naturais de separação e concentração de moléculas devido à diferença de massa. O ciclo hidrológico dita a circulação da água nos sistemas hidrosfera e atmosfera, tal que nos processos de mudança de fase predomina o fracionamento e nos processos de transporte predomina a mistura (Figura 2).

Os isótopos estáveis da água permitem avaliar a distribuição espacial e temporal dos processos relacionados ao ciclo hidrológico pois o fracionamento isotópico pode ser resumido segundo o modelo da Destilação Rayleigh (CRAIG, 1961a; CLARK & FRITZ, 1997). Também denominado de destilação diferencial, este fenômeno representa a concentração de isótopos mais leves da água na fase de maior energia em uma transformação fora do equilíbrio, por exemplo na evaporação sobre a superfície do oceano. Ele ocorre por conta do fato de que uma molécula formada por átomos mais pesados necessita de uma maior energia de ativação para sofrer uma transformação física como uma mudança de estado físico.

Figura 2 – Esquema ilustrativo de isótopos estáveis de água e sua relação com o ciclo hidrológico.



Modificado de Yoshimura (2015).

Em regiões tropicais a recarga de aquíferos ocorre essencialmente por meio da infiltração de águas de chuvas intensas, concentradas nos períodos chuvosos do ano (JASECHKO & TAYLOR 2015). O mecanismo de recarga em regiões tropicais difere do que ocorre em regiões temperadas, nas quais a recarga ocorre de forma dissipada ao longo do ano.

Neste projeto a resposta buscada é se a recarga do Sistema Aquífero Bauru, no município de Araraquara (SP) ocorre conforme o modelo esperado para regiões tropicais. O problema a ser solucionado é se a variação temporal dos atributos das águas subterrâneas e superficiais na região é resultado dos processos climáticos controladores da precipitação e recarga.

1.2 Objetivos

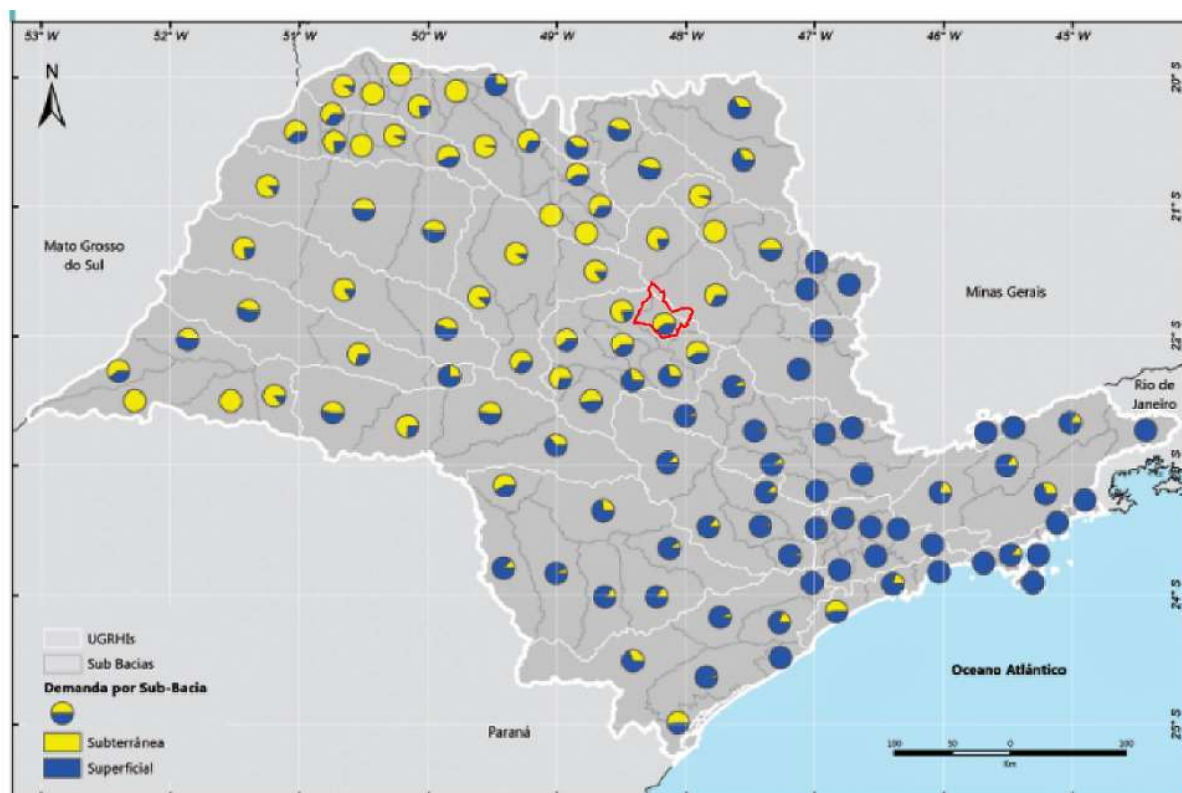
O objetivo principal do trabalho é avaliar as variações na composição isotópica da precipitação e das águas subterrâneas em área de afloramento do Sistema Aquífero Bauru em correlação com a profundidade do nível da água no município de Araraquara (SP). Os objetivos específicos são interpretar a relação entre os mecanismos do Ciclo Hidrológico na recarga do aquífero estudado e interpretar a relação dos mecanismos de recarga com o volume de precipitação.

1.3 Justificativas

O presente projeto constitui uma pesquisa empírica cujos resultados podem auxiliar na avaliação do potencial de perturbação causado por mudanças na disponibilidade de recursos hídricos nas atividades socioeconômicas. Em um contexto onde a demanda por águas subterrâneas é muito maior que por superficiais, que ocorre na região oeste do estado de São Paulo (Figura 3), dados científicos são fundamentais para uma gestão de recursos hídricos adequada.

Do ponto de vista científico, a abordagem por dois métodos com revisões positivas na literatura para uma alta correlação genética entre fenômenos e resultados é um requisito interessante e fator facilitador do desenvolvimento da pesquisa. Do ponto de vista ambiental os métodos selecionados permitem a avaliação da assinatura das águas de forma não intrusiva. Consequentemente não há impactos ambientais associados ao desenvolvimento do projeto. Do ponto de vista estatístico os métodos escolhidos levam à geração de dados quantitativos, que permite uma abordagem mais prática e realista dos fenômenos.

Figura 3 – Mapa da demanda por tipo de recurso hídrico no estado de São Paulo.



Destaque em vermelho para o município de Araraquara. Modificado de São Paulo (2014).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Isótopos estáveis da água

No trabalho intitulado “The thermodynamic properties of isotopic substances”, Urey (1947) define o comportamento de fracionamento das substâncias isotópicas em transformações de fase. O fracionamento isotópico é explicado pelo fato de que as moléculas com átomos mais pesados tendem a ter forças de ligação intermolecular mais intensas. Consequentemente apresentam uma resistência maior às mudanças da fase menos energética para mais, como no caso da evaporação. Na superfície de um lago, por exemplo (Figura 2), em um dia ensolarado predomina o processo de evaporação, tal que as moléculas de água mais leve ($^1\text{H}_2^{16}\text{O}$) tendem a quebrar as ligações que as mantêm no estado líquido mais facilmente que as pesadas ($^1\text{H}^2\text{H}^{18}\text{O}$).

Uma etapa fundamental para o desenvolvimento de pesquisas na área dos isótopos estáveis foi o trabalho de Nier (1947), que construiu o espectrômetro de massa de ionização por elétrons. Este equipamento é capaz de medir a quantidade de um determinado elemento em uma substância na fase gasosa e as suas propriedades químicas, como a razão carga/massa, essencial para a quantificação de isótopos. É aplicado na técnica conhecida como *Isotope-ratio mass spectrometry* (IRMS), e é considerado o método tradicional para medição de isótopos estáveis do hidrogênio e do oxigênio. Na atualidade o IRMS se mantém semelhante, mas as principais mudanças foram a evolução das técnicas de preparo de amostras para análise.

A partir de 2007 as medições de isótopos passaram a ser feitas por outro método, a espectroscopia de absorção laser no infravermelho, conhecida como *Laser Absorption Spectroscopy* (LAS). O LAS rapidamente substituiu o IRMS nos estudos hidrológicos (Wassenaar *et al.*, 2014) por apresentar resultados mais precisos para os isótopos ^2H e ^{18}O (Brand *et al.*, 2008), e por possuir custo menor que o associado ao de implantação e operação do IRMS.

O uso de isótopos estáveis em estudos hidrológicos e climáticos foi impulsionado pelo estabelecimento da Rede Global de Isótopos na Precipitação, a *Global Network of Isotopes in Precipitation* (GNIP), segundo Araguas-Araguas *et al.* (2000). A GNIP é fomentada pela Agência Internacional de Energia Atômica, *International Atomic Energy Agency* (IAEA), e o início das medições mensais da precipitação foi em 1961 em cooperação com a Organização Meteorológica Mundial, *World Meteorological Organization* - WMO (Rozanski *et al.*, 1992). Esta cooperação foi de fundamental importância para a criação de uma plataforma que permite

a formação de uma base de dados para estudar a relação dos isótopos estáveis da água com o clima em escala global.

Dentre estes estudos, em “Isotopic Variations in Meteoric Waters”, Craig (1961a) chegou à conclusão que há uma forte correlação isotópica entre as águas meteóricas. Ao desenhar em um gráfico de dispersão da razão isotópica do O-18 *versus* H-2, o conjunto de um grande número de amostras em escala global se assemelha a uma reta. O resultado da aproximação por regressão linear é a reta chamada de “Reta Meteórica Global”, frequentemente apresentada em trabalhos nesta área, que representa a média de diferentes retas locais. No mesmo ano, Craig (1961b) publicou o primeiro referencial para teores de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$, e chamou este valor de referência de *Standard Mean Ocean Water* (SMOW).

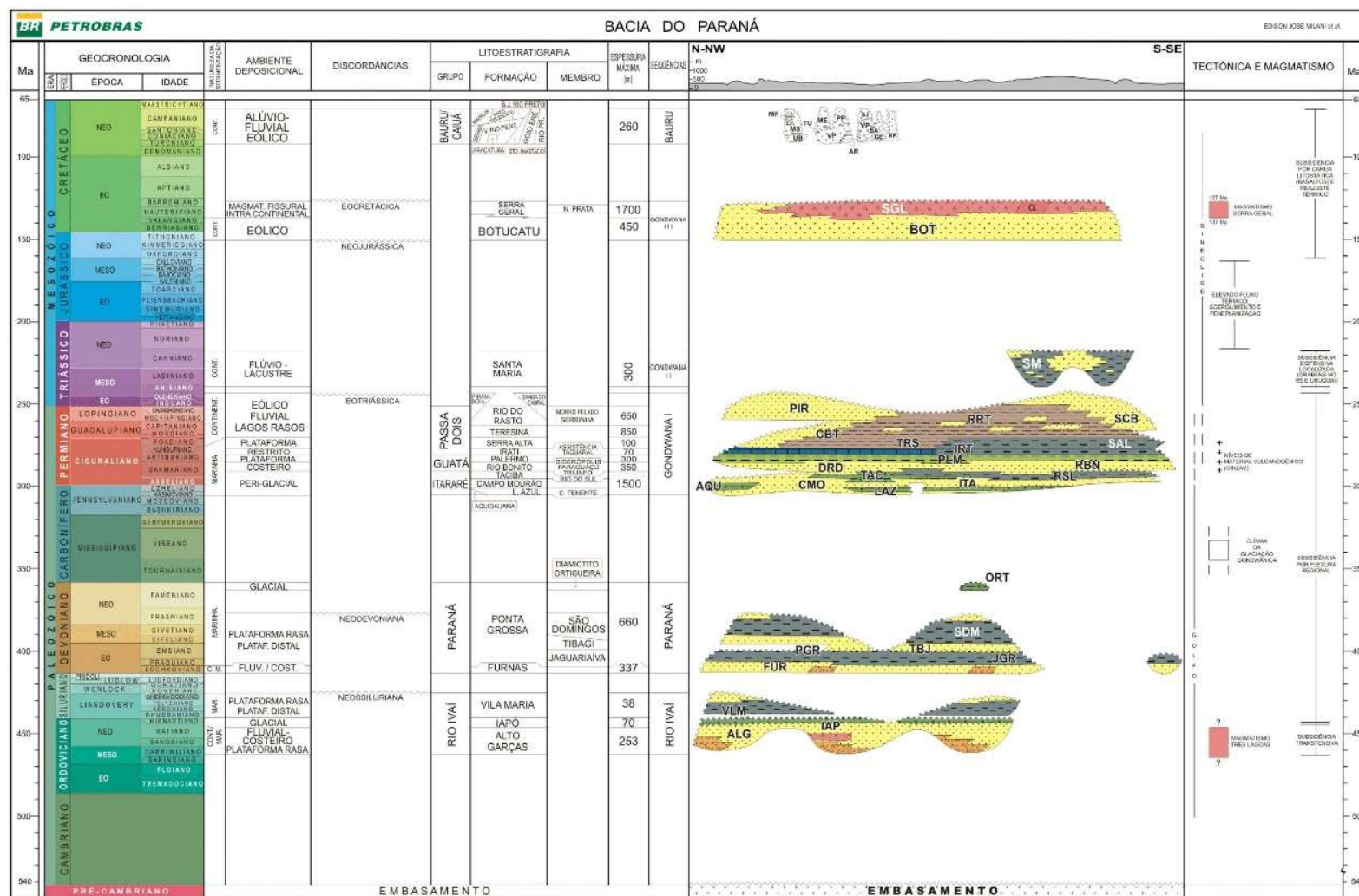
Por meio dos trabalhos de Baertschi (1976) e Hageman *et al.* (1970), a IAEA redefiniu o valor de referência com base em estimativas mais realistas do teor médio dos oceanos e o renomeou para *Vienna Standard Mean Ocean Water* (VSMOW). O estado da arte até este ponto, e os principais conceitos e aplicações de isótopos estáveis do século XX estão presentes em Clark e Fritz (1997). No início do século XXI, os trabalhos sobre isótopos estáveis foram focados em desenvolver a compreensão dos fenômenos observados em diferentes escalas espaciais e temporais, em regiões temperadas (Bowen, 2008). Na segunda década, é observada uma tendência de evolução do conhecimento em regiões tropicais (AGGARWAL *et al.*, 2016).

2.2 Grupo Bauru e Sistema Aquífero Bauru

Sob a perspectiva do arcabouço geológico regional, o município de Araraquara está inserido na porção centro-oeste do estado de São Paulo, onde afloram unidades da Bacia do Paraná (Figura 4). A Bacia do Paraná é uma unidade tectônica interpretada como uma sinéclise intracratônica composta por seis unidades aloestratigráficas, as Supersequências Rio Ivaí, Paraná, Gondwana I, Gondwana II, Gondwana III, e Bauru (MILANI, 1997). Na área de estudo estão presentes duas dessas sequências sedimentares: as supersequências Gondwana III, e Bauru.

A deposição da Supersequência Gondwana III é marcada pela interrupção da condição de erosão que predominava no período anterior, que ocorreu quando os derrames basálticos do Magmatismo Serra Geral afetam a bacia no Eocretáceo. O conjunto de rochas formado por dunas eólicas e por derrames e intrusivas de característica básica representam a Supersequência Gondwana III (MILANI *et al.*, 2007).

Figura 4 – Carta estratigráfica da Bacia do Paraná.

Retirado de Milani *et al.* (2007).

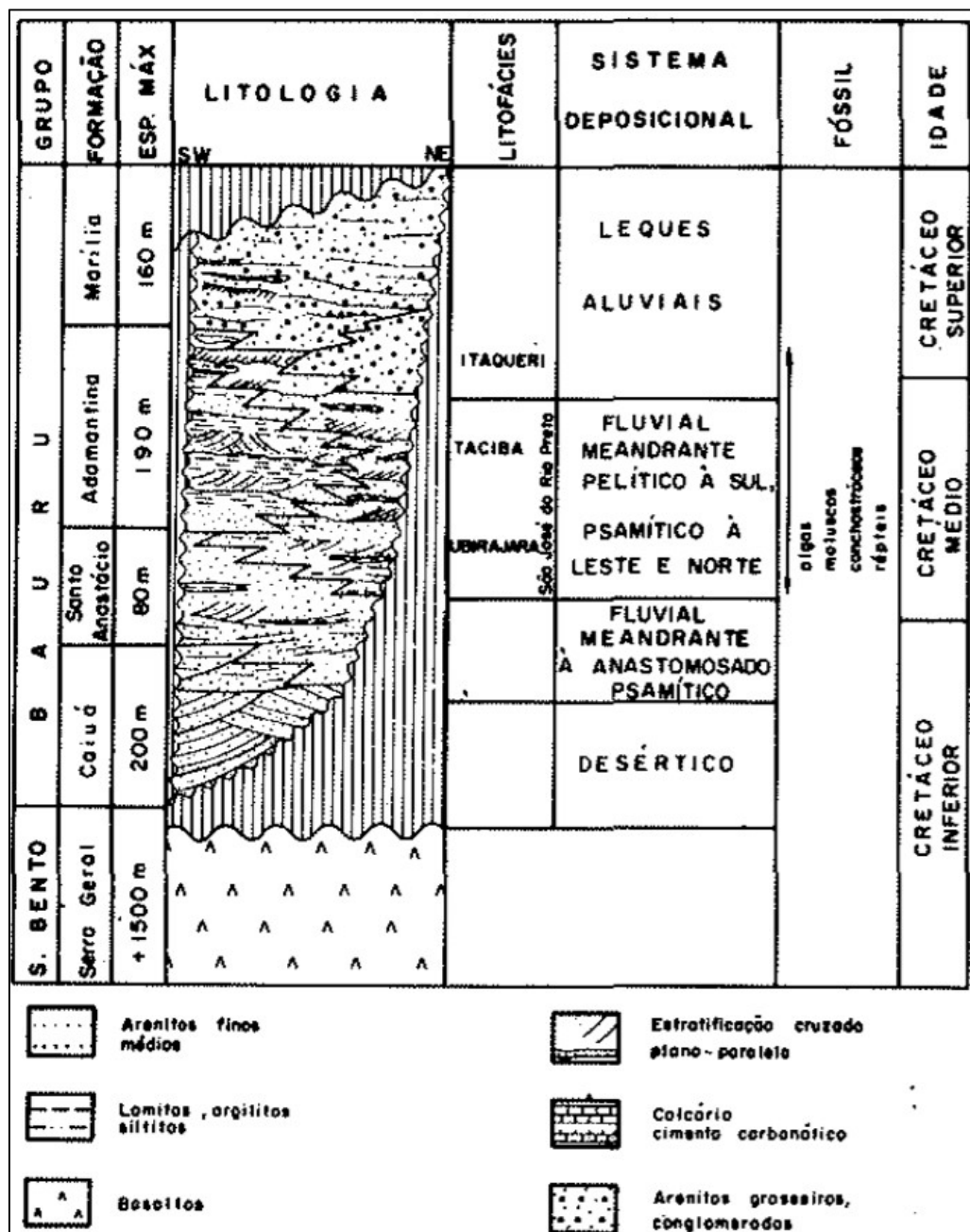
As unidades litoestratigráficas do Grupo São Bento são duas, a Fm. Botucatu na base e a Fm. Serra Geral no topo. De acordo com Milani *et al.* (2007), a Fm. Botucatu é composta por arenitos médios a finos, altamente esféricos e de aspecto fosco, associados a fácies eólicas, justificadas também por sua estrutura sedimentar principal, a estratificação cruzada tangencial de médio a grande porte. A Formação Serra Geral corresponde ao vulcanismo fissural mesozoico comum às bacias cratônicas sul-americanas, que se manifestou na Bacia do Paraná sob a forma de uma espessa cobertura de lavas, além de múltiplos níveis de soleiras e diques, compostos por basaltos toleíticos, andesitos basálticos, riolitos e riodacitos, datados entre 137 e 127 Ma. (MILANI *et al.*, 2007).

A abertura do paleocontinente Gondwana marcou um longo período de ascensão litosférica das áreas adjacentes à separação, predominando os processos erosivos na área. Com o resfriamento e tendência a compensação isostática, a Bacia do Paraná passou pelo seu último ciclo de subsidência, que caracteriza a Supersequência Bauru. Os depósitos indicam que a sedimentação ocorreu em sistema continental, de ambiente desértico no centro e mais úmido nas bordas da bacia (MILANI *et al.*, 2007). O Grupo Bauru no estado de São Paulo é limitado abaixo por discordância litológica com os basaltos da Fm. Serra Geral (Grupo São Bento, do Cretáceo Inferior), e limitado acima por diferentes unidades do Quaternário.

Segundo Fernandes (1992), as primeiras descrições de unidades suprabasálticas da Bacia do Paraná foram feitas por Gonzaga de Campos (1905) e Florence (1907), que descreveram a existência de arenitos em discordância litológica com os basaltos da Formação Serra Geral. As diferentes fácies de arenitos foram organizadas em unidades Bauru e Caiuá (sotoposta), e foram apresentadas como unidades formais em mapa pela primeira vez na Carta Estratigráfica do Estado de São Paulo (Florence & Pacheco, 1929).

Entre as décadas de 1940 e 1960 houve trabalhos focados na caracterização das regiões do Pontal do Paranapanema e noroeste do Paraná, com diferentes propostas para a organização em unidades (Scorza, 1952). A década de 1970 foi marcada por pesquisas de mapeamento litoestratigráfico, que levaram ao trabalho de Soares *et al.* (1980), em que a unidade aparece pela primeira vez com o *status* de Grupo Bauru, sendo dividido nas Formações Caiuá, Santo Anastácio, Adamantina e Marília (Figura 5).

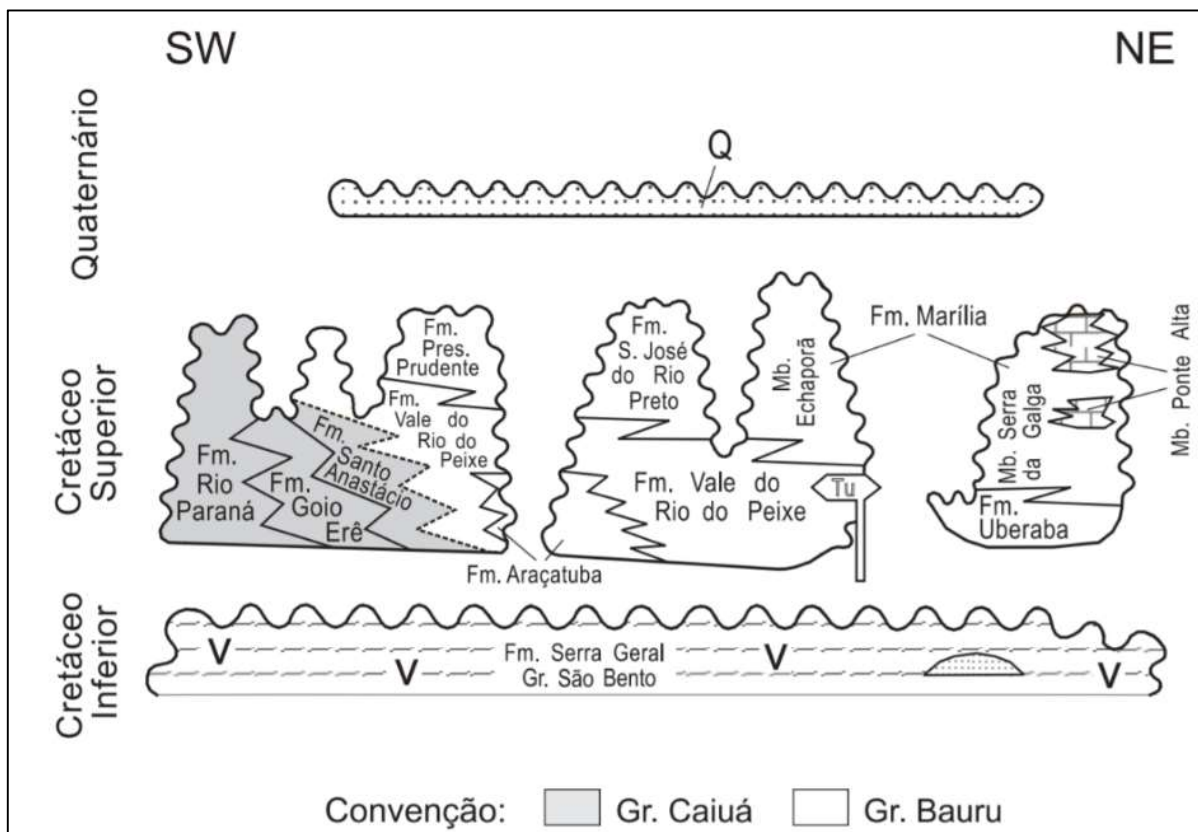
Figura 5 – Proposta para a estratigrafia do Grupo Bauru segundo Soares *et al.* (1980).



Retirado de Soares *et al.* (1980).

Na década de 1990, o trabalho de Fernandes (1992) se destaca como uma das grandes sínteses do conhecimento sobre o Grupo Bauru. Sob a influência da estratigrafia de sequências, Fernandes (1998) propõem a separação do Grupo Bauru e Grupo Caiuá. Os dois grupos são parcialmente cronocorrelatos e representam uma fase de subsidência termomecânica, com deposição de sedimentos em sistema continental no Cretáceo Superior (Fernandes, 1998). Houve formação de diferentes fácies sedimentares arenosas, cuja relação de interdigitação (Figura 6) é resultado de intensificação da tectônica e mudanças climáticas na bacia.

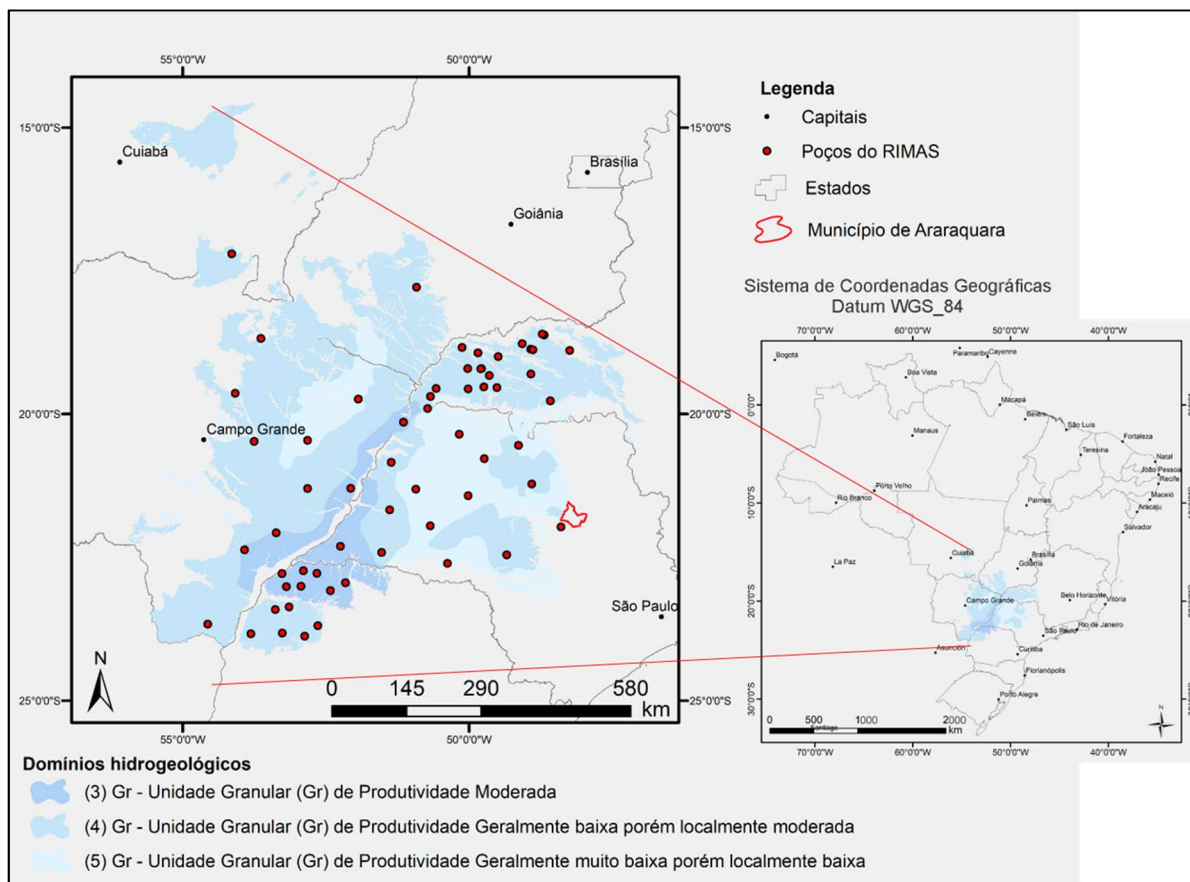
Figura 6 – Unidades litoestratigráficas da Superssequência Bauru de Fernandes e Coimbra (2000).



Retirado de Fernandes e Coimbra (2000).

Do ponto de vista hidrogeológico, os Grupos Bauru e Caiuá foram reconhecidos como duas unidades hidroestratigráficas formais no trabalho de DAEE (1979). Sua exploração como fonte de recurso hídrico data da ocupação da região oeste do estado de São Paulo, por meio de poços rasos. Em DAEE (2005) é feita a caracterização das águas do Sistema Aquífero Bauru (SAB), que sob a perspectiva química são essencialmente de baixa salinidade, e sob a perspectiva ambiental estão fortemente suscetíveis à contaminação por atividades antrópicas. Em Franzini e Mourão (2012), é proposto o Sistema Aquífero Bauru-Caiuá (SABC), e são apresentadas as subdivisões segundo os aspectos hidrodinâmicos (Figura 7).

Figura 7 – Mapa do Domínio Hidrogeológico do Sistema Aquífero Bauru-Caiuá.



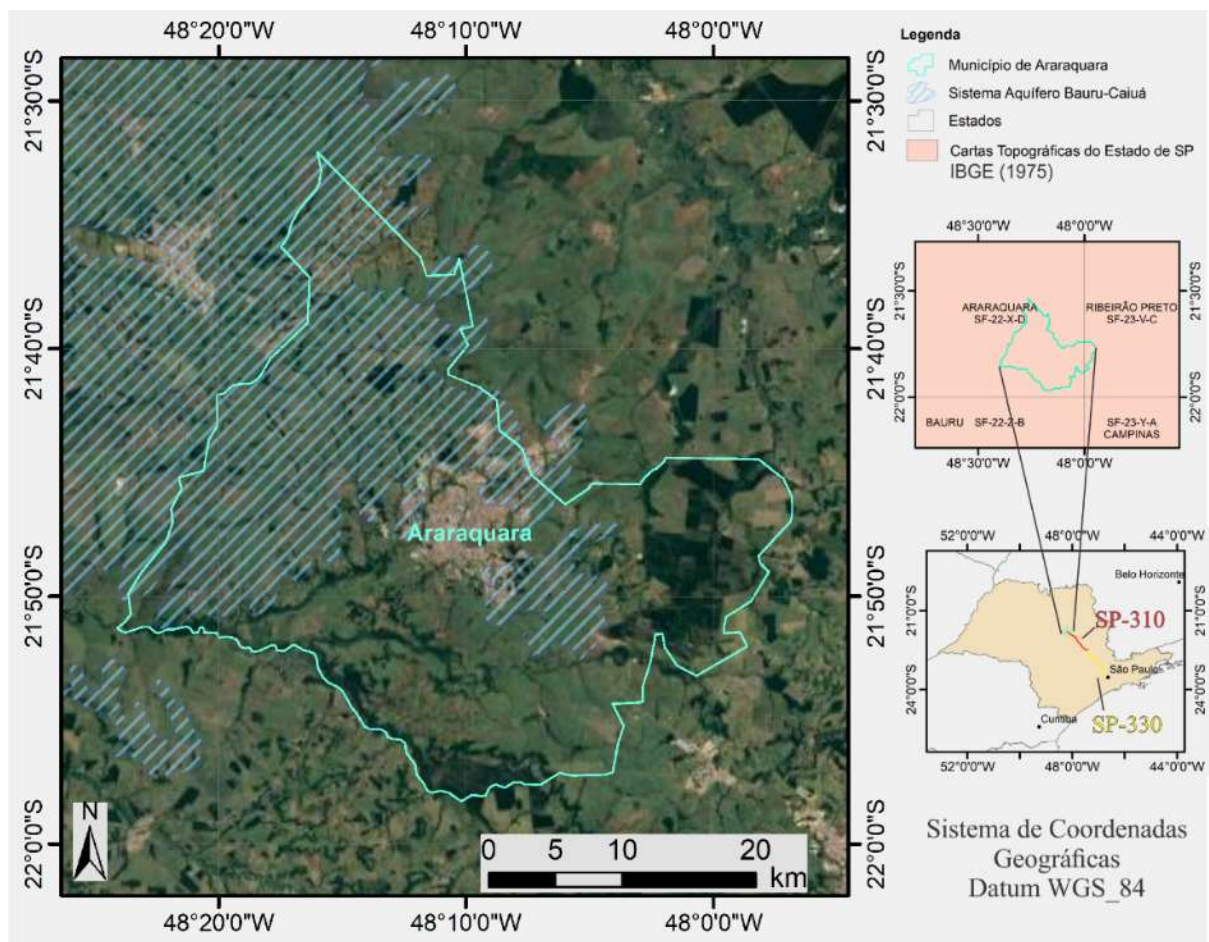
Mapa confeccionado pelo autor com dados vetoriais das bases GeoSGB (SGB, 2017) e RIMAS (2018).

3 MATERIAIS E MÉTODOS DE TRABALHO

3.1 Área de Estudo

A área de estudo é a região de afloramento do Sistema Aquífero Bauru-Caiuá no município de Araraquara (Figura 8). O SABC aflora em uma área de 354.770 km² sobre as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. Na região de Araraquara o nível potenciométrico do aquífero atinge valores de cota próximos a 600 metros, com variações locais (Franzini e Mourão, 2012).

Figura 8 – Imagem de satélite da área de afloramento do Sistema Aquífero Bauru-Caiuá no município de Araraquara (SP).



Confeccionado pelo autor com dados vetoriais das bases GeoSGB (SGB, 2017) e RIMAS (2018).

Do ponto de vista geomorfológico a área de estudo está inserida no contexto da margem leste do Planalto Ocidental Paulista (Almeida, 1964). Em escala local, o município de Araraquara apresenta diferentes domínios geomorfológicos, sendo o domínio de colinas amplas e suaves associado à região sob controle litológico do Grupo Bauru.

Do ponto de vista climático o município de Araraquara é classificado como subtropical úmido, e devido ao padrão de distribuição da precipitação é identificado como Cwa de Köppen (Alvares *et al.*, 2013). As temperaturas médias estão bem próximas aos limites de classificação, tal que no mês mais quente do ano este valor é de 22,8 °C e no mês mais frio é de 16,8 °C. Para esta pesquisa a característica mais importante é a distribuição da precipitação, que está concentrada nos meses mais quentes. Em valores, a precipitação pode atingir uma média de 237 mm no mês de agosto, enquanto que durante o inverno a média é de 22 mm.

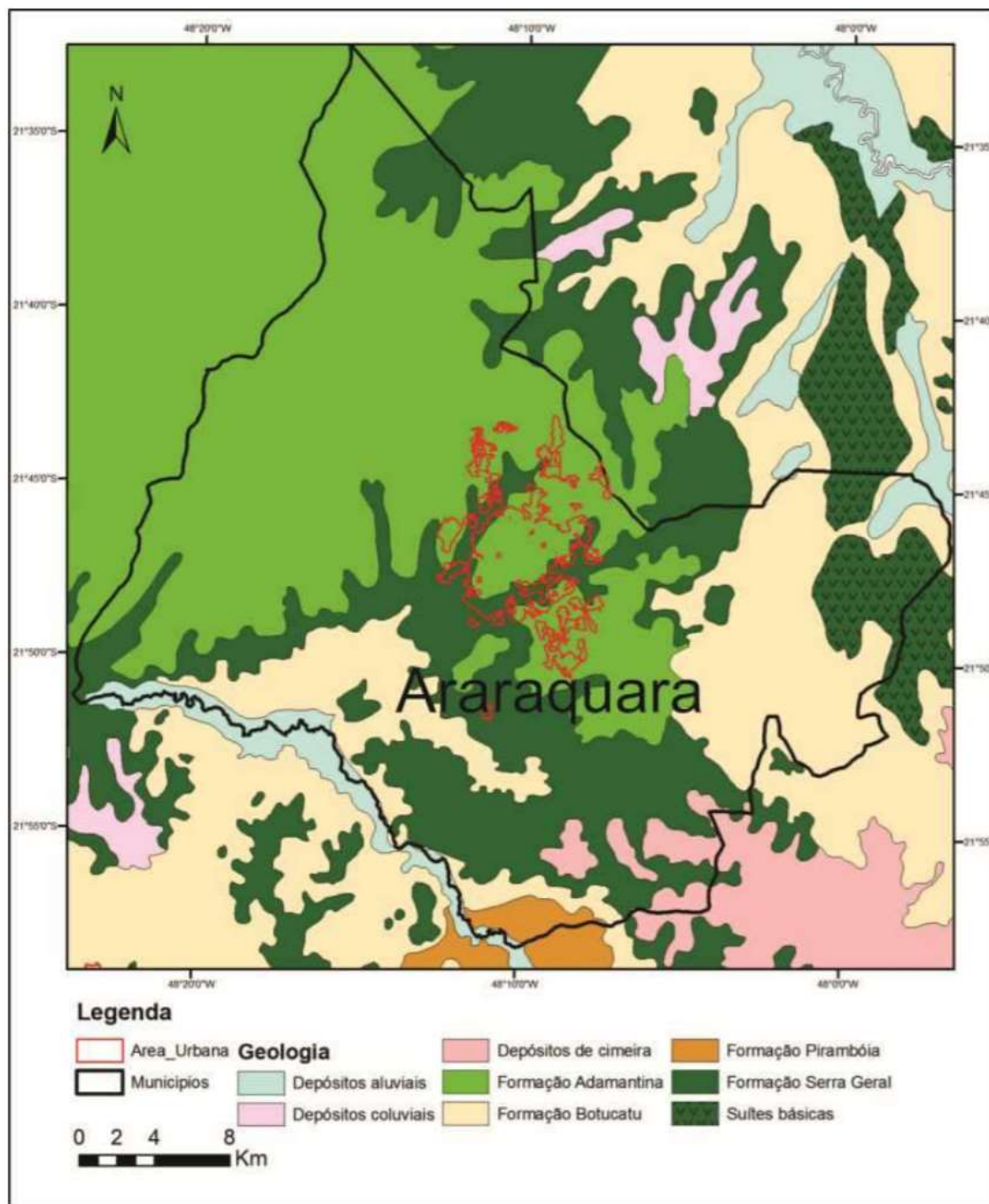
3.2 Arcabouço Geológico

No município de Araraquara há afloramentos de oito unidades geológicas distintas: Formação Piramboia, Formação Botucatu, Formação Serra Geral e Suítes Básicas, Formação Adamantina, Depósitos coluviais, Depósitos aluviais e Depósitos de cimeira (Figura 9). A área de estudo corresponde à zona de afloramento do Grupo Bauru nos limites de Araraquara. A porção aflorante do Grupo Bauru no estado de São Paulo é representada principalmente pela Formação Adamantina, que é em partes correlata à Formação Vale do Rio do Peixe de Fernandes (1992).

Neste trabalho será utilizada a terminologia clássica de Formação Adamantina, tal como proposta por Soares *et al.* (1980). Segundo os autores, esta formação pode atingir 190 m de espessura na região dos rios Santo Anastácio e Paranapanema, mas apresenta um forte adelgaçamento rumo a leste até apresentar espessuras mínimas de apenas 10 m na região de Araraquara.

A Formação Adamantina no município de Araraquara é representada por sedimentos silto-arenosos, tipicamente com formação de solos de coloração vermelha a vermelha alaranjada (MEAULO, 2007). Seu contato basal com a Formação Serra Geral é tipicamente marcado por um nível conglomerático no qual predominam seixos e cascalhos quartzosos. Segundo Meaulo (2007), na porção nordeste do município há afloramentos do contato de topo da unidade com os Sedimentos Cenozoicos, que é de difícil reconhecimento devido à semelhança entre os materiais.

Figura 9 - Mapa geológico do município de Araraquara.



Retirado de Convênio DAEE/UNESP (1980, apud Scalvi, 2007).

3.3 Análise isotópica e pluviométrica

As amostras de águas subterrâneas foram coletadas de um poço convencional (Figura 10). O poço tem como características de construção: 30 m de profundidade, com filtro para captação dos 15 aos 30 m, diâmetro de 6 polegadas, com tubo para medição do nível d'água.

Figura 10 - Poço com instalação para coleta de amostras e medição do nível estático da água.



Fotografia registrada em campo.

As amostras de chuva foram coletadas com a estação de prefixo C5-125 do DAEE, localizada nas coordenadas Latitude 21°48'45"S e Longitude "48°09'54"W. Os dados de precipitação estão disponíveis para consulta no endereço eletrônico <<http://www.hidrologia.daee.sp.gov.br/>>.

A determinação das razões isotópicas foi feita pelo método da Espectrometria a Laser de Cavidade Oca (*Cavity Ring Laser Spectroscopy*). Foi utilizado o Espectrômetro da marca Los Gatos Research INC, do Laboratório de Estudos de Bacias, UNESP. Os resultados estão expressos em relação ao VSMOW. Para fins de estudos científicos, é adotada a notação de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$, que representa a concentração relativa, portanto adimensional, dos principais isótopos estáveis dos elementos químicos Oxigênio e Hidrogênio, respectivamente. Essa relação é apresentada na Equação 1, que é aplicada de forma análoga ao H.

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{amostra}} = \left[\frac{m(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{amostra}}}{m(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{referência}}} - 1 \right] \times 1000 \text{ ‰ VSMOW} \quad (\text{Equação 1})$$

O denominador da razão é o valor de referência VSMOW, determinado pela razão da abundância molar do isótopo menos comum sobre o mais comum para a amostra tida como referência global das águas oceânicas, e é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Padrões de *Vienna Standard Mean Ocean Water* para os isótopos ^2H e ^{18}O .

Referência	Isótopo	Razão para cálculos
V-SMOW	^2H	0,0001557
V-SMOW	^{18}O	0,0020004

Retirado de Gonfiantinni (1978).

A correlação dos teores de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ nas águas subterrâneas e precipitadas com foco em compreender a interação entre mecanismos do ciclo da água é possível por meio da comparação dessas assinaturas isotópicas das águas em busca de tendências que apontem para as influências de processos naturais de fracionamento. Essa tendência é analisada por método gráfico, em que se analisa a distribuição das amostras em comparação com a Reta Meteorica Global. Para a obtenção de dados estatísticos sobre as amostras, foi utilizado o *software* Past 3.20 (HAMMER *et al.*, 2001).

Os dados hidrológicos obtidos foram compilados na tabela do Apêndice A, e são referentes ao período de fevereiro de 2014 até dezembro de 2018. Vale destacar que a quantidade de chuva representa o valor acumulado no coletor durante os 7 dias anteriores ao dia da coleta da amostra. Algumas amostras foram coletadas em intervalos de tempo maiores do que 7 dias. Algumas amostras com dados isotópicos não possuíam dados correspondentes para a quantidade de chuva, portanto foram considerados valores obtidos a partir da Estação C5-125 do DAEE. Estes foram indicados pela cor vermelha na tabela do Apêndice A.

Como os dados de chuva não foram coletados com regularidade, para construir as médias mensais foram considerados os valores da estação C5-125 do DAEE. Esta estação possui série histórica com início em julho de 2005, e a última entrada é de abril de 2019. Os valores mensais de chuva são as alturas acumuladas no medidor desde às 7 horas do último dia do mês anterior até às 7 horas do último dia do mês considerado. A unidade de medida apresentada é o milímetro (mm), tal que 1 mm de chuva equivale ao volume de 1 litro precipitado sobre uma superfície de 1 m² de área.

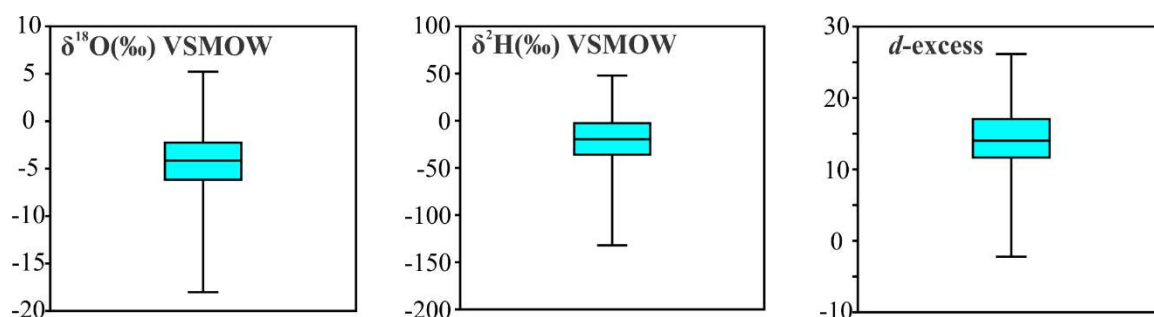
Para a separação das amostras foi considerado que os meses de outubro a março constituem o período chuvoso e que os meses de abril a setembro constituem o período de seca. Os dados e gráficos foram trabalhados no *software* Microsoft Excel.

4 RESULTADOS

4.1 Análise isotópica e pluviométrica

Os valores de referência são apresentados na Tabela 2, na forma de valores mínimos, máximos e as médias aritmética e ponderada da composição isotópica das chuvas. Na Figura 11 são apresentados os gráficos box-plot para este mesmo conjunto amostral. Nos box-blots fica clara a variabilidade dos valores, assim como a posição da média, dos percentis (25 e 75%), assim como os valores extremos.

Figura 11 – Gráficos de box-plot da composição isotópica da precipitação no município de Araraquara – SP.



Confeccionado pelo autor com base nos dados do Apêndice A.

Tabela 2 – Valores estatísticos da composição isotópica da precipitação.

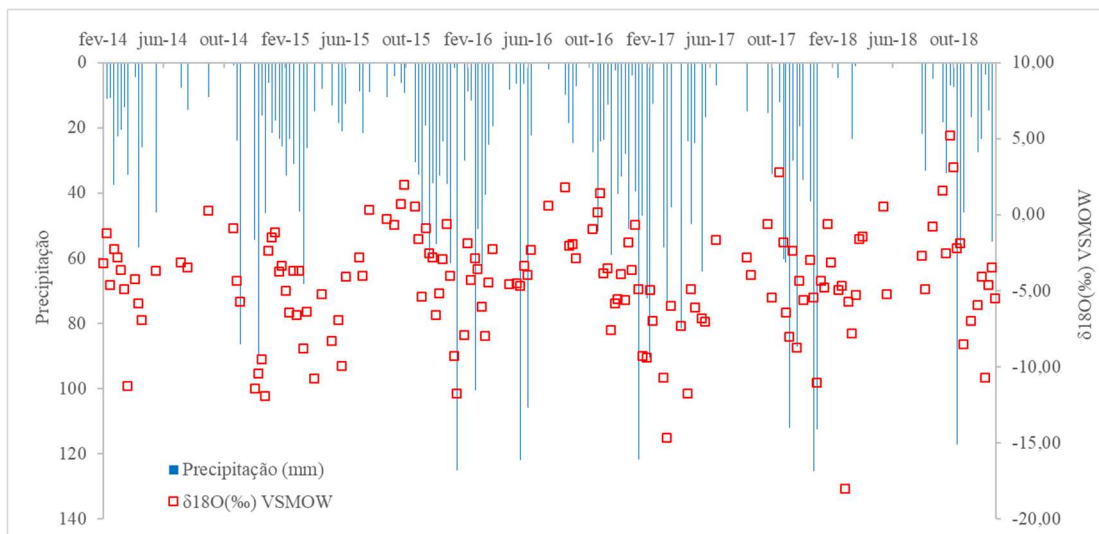
Dados	Valor Mínimo	Valor Máximo	Média Aritmética	Média Ponderada
$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$ VSMOW	-18,02	5,22	-4,44	-5,48
$\delta^2\text{H}(\text{‰})$ VSMOW	-132,1	47,9	-21,26	-28,73

Confeccionado pelo autor com base nos dados do Apêndice A.

A média ponderada em ambos os casos apresenta um valor mais depletado do que a média aritmética, de acordo com o esperado para o efeito quantidade na precipitação (DANSGAARD, 1964). Isto significa que a composição isotópica é afetada pelo volume de chuva, no sentido de que o fracionamento isotópico é mais forte em chuvas mais intensas.

Outra forma de analisar a variabilidade da média histórica dos valores é por meio de um gráfico de $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$ VSMOW e da precipitação pelo tempo. Este gráfico é apresentado na Figura 12, e fica clara a existência do fenômeno de sazonalidade climática devido às oscilações da precipitação e da composição isotópica ao longo do período de um ano de forma cíclica.

Figura 12 – Composição isotópica da precipitação de Araraquara – SP, no período de 2014 a 2018.

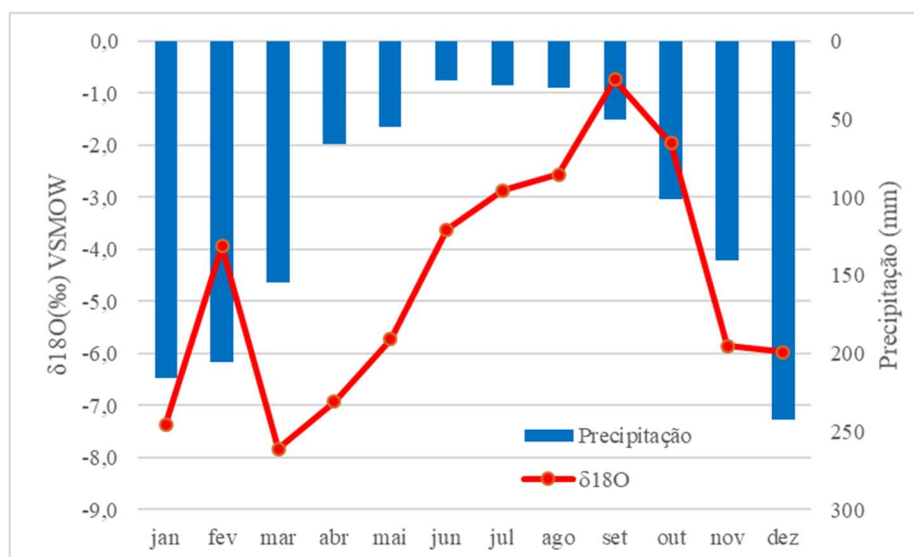


Confeccionado pelo autor com base nos dados do Apêndice A.

Há diferenças marcantes na quantidade total de chuva entre os anos por conta de fenômenos climáticos de larga escala, como o fenômeno do El Niño (TAN, 2014). Este foi responsável pela forte diminuição da incidência de chuvas na região da área de estudo (DOS SANTOS *et al.*, 2019), tal que nos anos de 2014 e 2015 o volume de precipitação acumulada é relativamente menor que o volume dos anos seguintes.

A variabilidade no período de um ano pode ser melhor interpretada a partir do gráfico da Figura 13. Nesta é apresentada a comparação das médias mensais de precipitação para a área com as médias mensais de $\delta^{18}\text{O}$.

Figura 13 - Médias mensais de precipitação e $\delta^{18}\text{O}$ do município de Araraquara – SP.



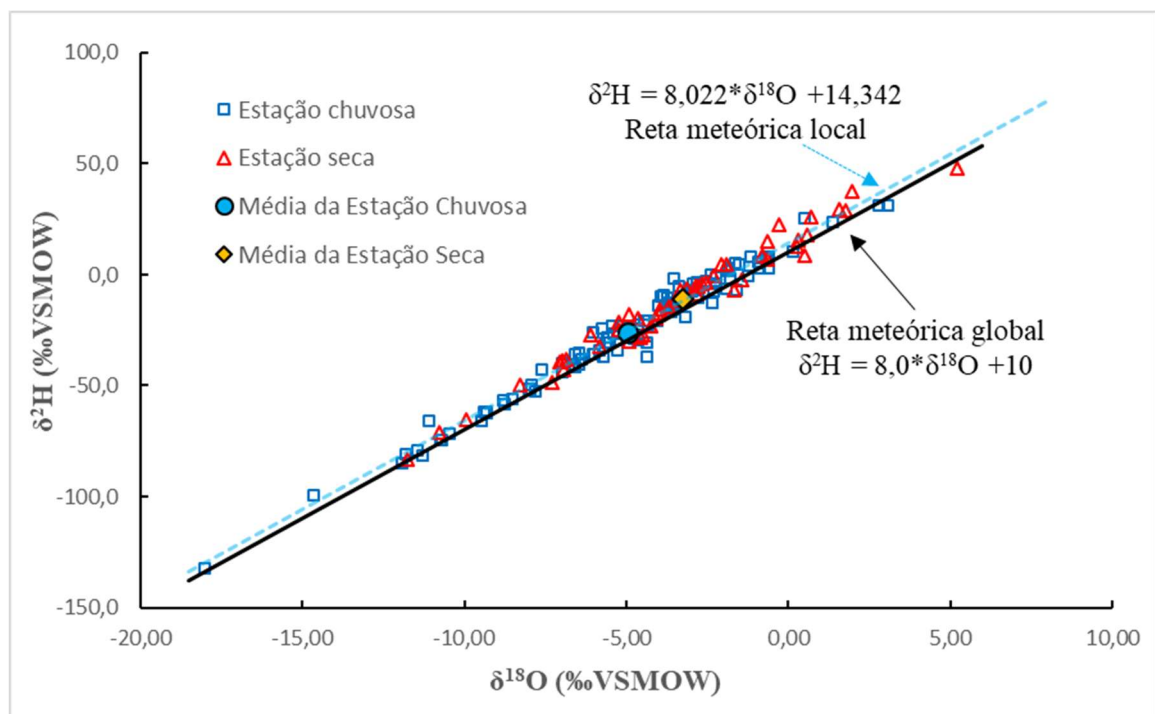
Confeccionado com os dados isotópicos do Apêndice A e pluviométricos da estação C5-125 do DAEE.

Pelo gráfico fica evidente que durante a estação seca a precipitação é menos depletada, e durante a estação chuvosa ela é mais depletada, indicando a ocorrência do efeito quantidade sobre a precipitação em áreas tropicais (JASECHKO & TAYLOR 2015).

A reta meteórica local (Figura 14) é relativamente semelhante à Reta Meteórica Global (GMWL - Global Meteoric Water Line). Enquanto esta representa a reta de regressão obtida no clássico trabalho de Craig (1961a), aquela representa a regressão linear a partir dos dados coletados. Há grande amplitude de variação dos dados ao longo da reta. Os valores mais enriquecidos nos isótopos pesados são aqueles que foram coletados durante a estação seca, e os valores mais depletados são os que foram coletados na estação chuvosa como indicado pelas médias no gráfico.

As amostras da estação chuvosa que se destacam por serem mais enriquecidas em isótopos pesados são aquelas coletadas no mês de outubro, indicando que a assinatura isotópica das chuvas sofre uma transição antes de atingir médias mais empobrecidas a partir de novembro. De maneira análoga, as amostras da estação seca que se destacam por apresentar valores mais empobrecidos em isótopos pesados são as coletadas no mês de abril.

Figura 14 - Reta Meteórica Local (RML) em comparação com a Reta Meteórica Global (RMG) para o município de Araraquara – SP no período de 2014 a 2018.

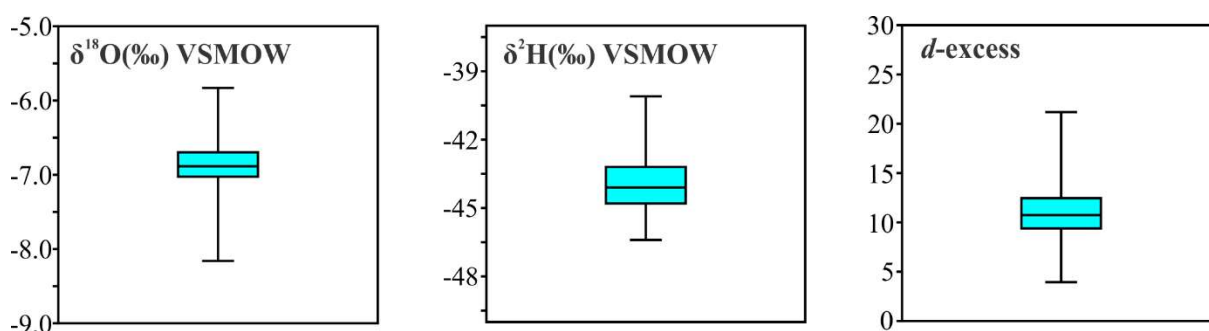


Confeccionado pelo autor com os dados do Apêndice A e com a equação da RMG de Craig (1961a).

4.2 Análise das águas subterrâneas

Os dados coletados no poço CRP-P03 são apresentados no Apêndice B, e incluem o nome da amostra, a data de coleta, o nível estático da água no momento da coleta, e os valores medidos em laboratório de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$. O período de coletas foi entre agosto de 2013 e dezembro de 2018, com um total de 66 amostras. Os dados isotópicos são resumidos nos gráficos box-plot (Figura 15), em que fica destacado o contraste com a composição da água das chuvas. A Tabela 3 mostra um resumo dos valores medidos para as águas subterrâneas neste poço.

Figura 15 - Gráficos de box-plot da composição isotópica das águas subterrâneas no poço de monitoramento.



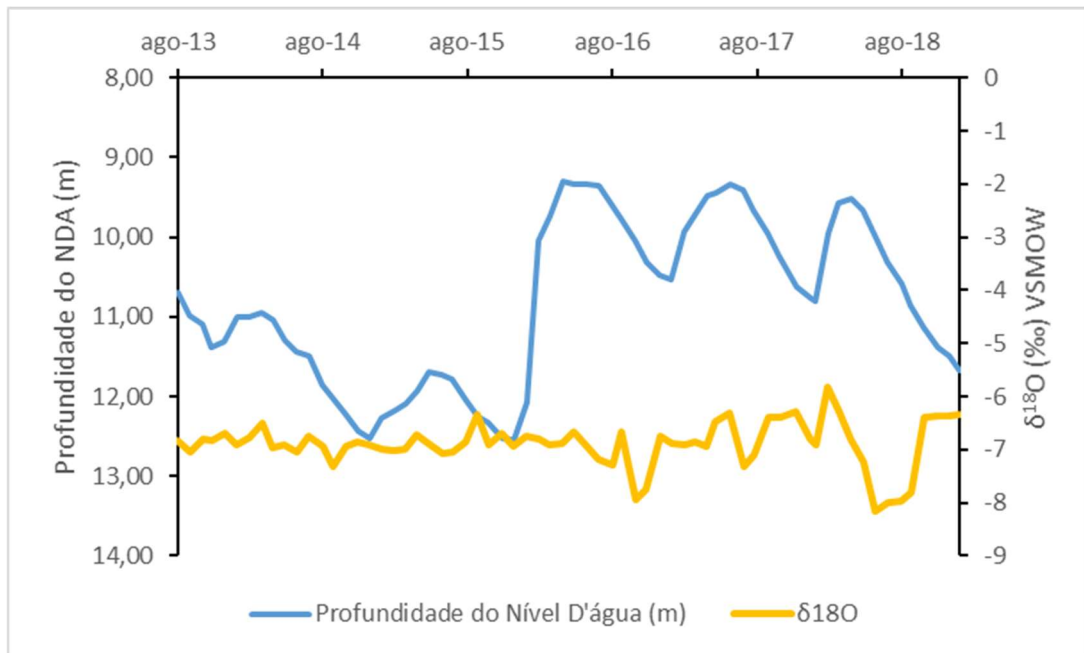
Confeccionado com os dados do Apêndice B.

Tabela 3 – Valores estatísticos dos parâmetros medidos para as águas subterrâneas.			
Dado	Valor mínimo	Valor máximo	Média aritmética
Profundidade do Nível d'Água (m)	9,3	12,54	10,84
$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	-8,16	-5,83	-6,90
$\delta^2\text{H}$ (‰)	-46,4	-40,1	-43,94

Confeccionado com os dados do Apêndice B.

Os valores de $\delta^{18}\text{O}$ das águas subterrâneas são mais negativos e apresentam menor variância (0,191) em contraste com a da água das chuvas (12,6). Essa pequena variação nos valores é destacada no gráfico que correlaciona a oscilação do nível d'água com os valores de $\delta^{18}\text{O}$ (Figura 16).

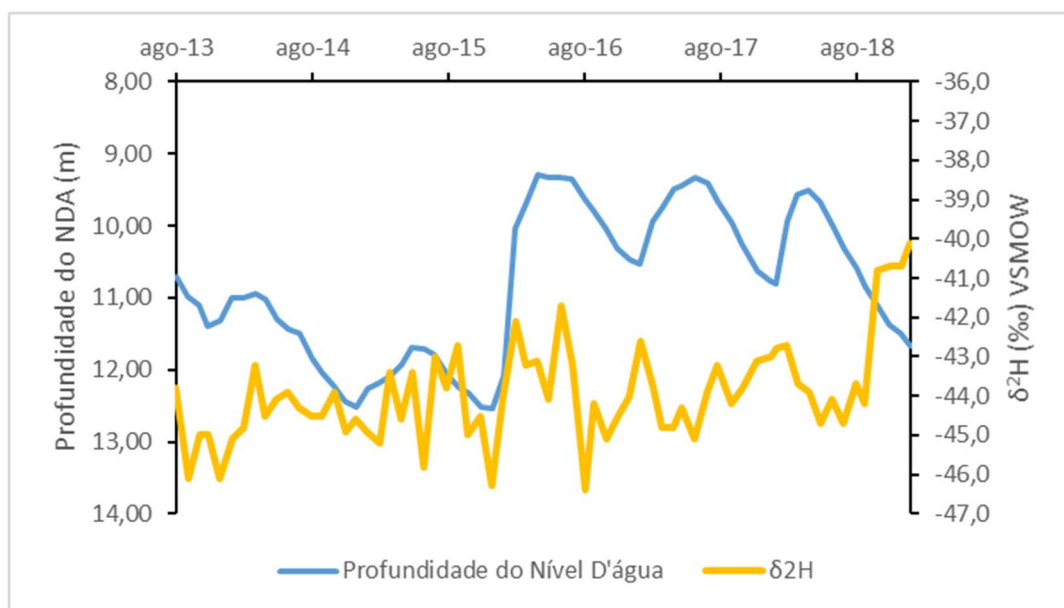
Figura 16 – Valores de $\delta^{18}\text{O}$ e da profundidade do nível d'água no poço analisado.



Confeccionado com os dados do Apêndice B.

Para o comportamento do deutério, a água das chuvas apresentou uma variância muito mais elevada, de 833 em contraste com o valor de 1,66 para as águas subterrâneas. Os valores de $\delta^2\text{H}$ também variaram muito pouco e, portanto, não apresentam correlação com a oscilação do nível d'água (Figura 17).

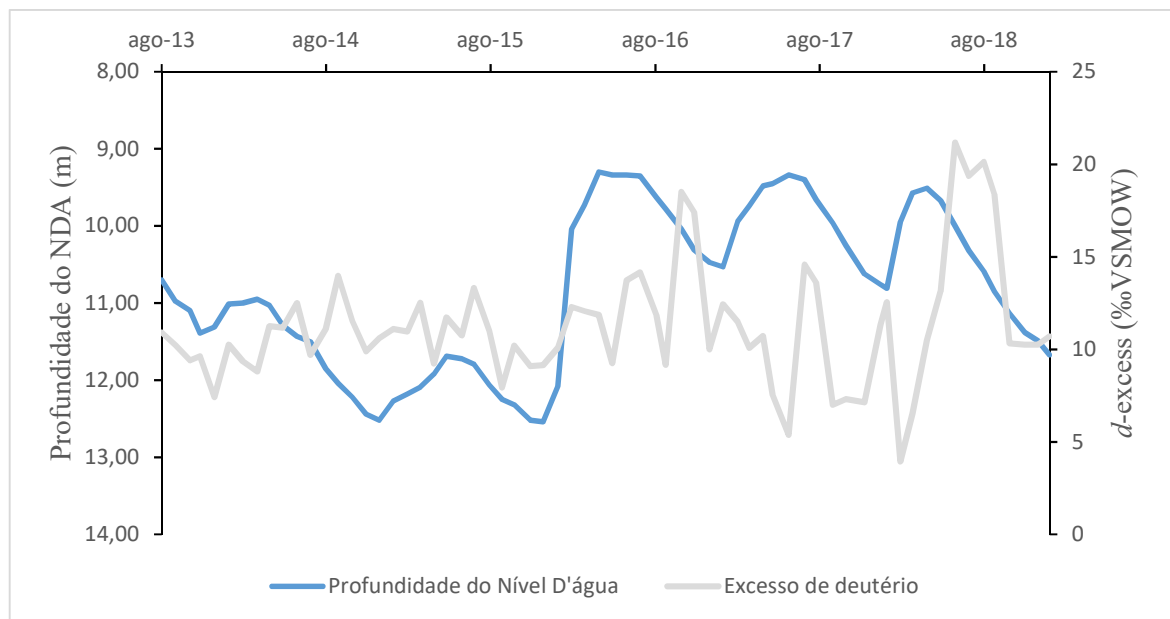
Figura 17 - Valores de $\delta^2\text{H}$ e da profundidade do nível d'água no poço analisado.



Confeccionado com os dados do Apêndice B.

Ao contrário dos dois parâmetros anteriores, o excesso de deutério apresentou correlação com a oscilação do nível d'água no poço (Figura 18). Nota-se que após grandes oscilações positivas do nível d'água, o excesso de deutério também apresenta um aumento significativo. Essa resposta do excesso de deutério à recarga ocorre com um atraso de aproximadamente 2 meses, como observado nas fases de maior nível d'água no período próximo a agosto de 2016 e maio de 2018.

Figura 18 – Valores de excesso de deutério e nível d'água do poço analisado.

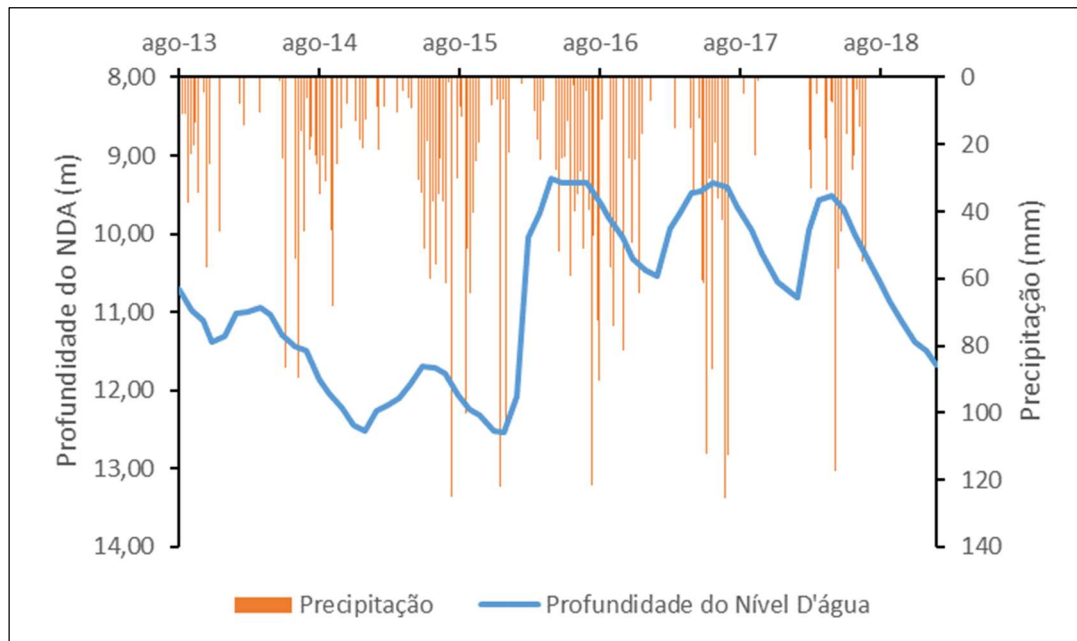


Confeccionado com os dados do Apêndice B.

4.3 Correlação das águas de chuva e subterrâneas

O valor mínimo para a profundidade do nível d'água foi a amostra coletada em março de 2016, que corresponde à maior subida do nível freático no período de estudo (Figura 19). O valor máximo foi registrado em novembro de 2015, e corresponde ao período em que o aquífero estava mais rebaixado.

Figura 19 – Piezograma do poço de monitoramento e precipitação no município de Araraquara – SP.



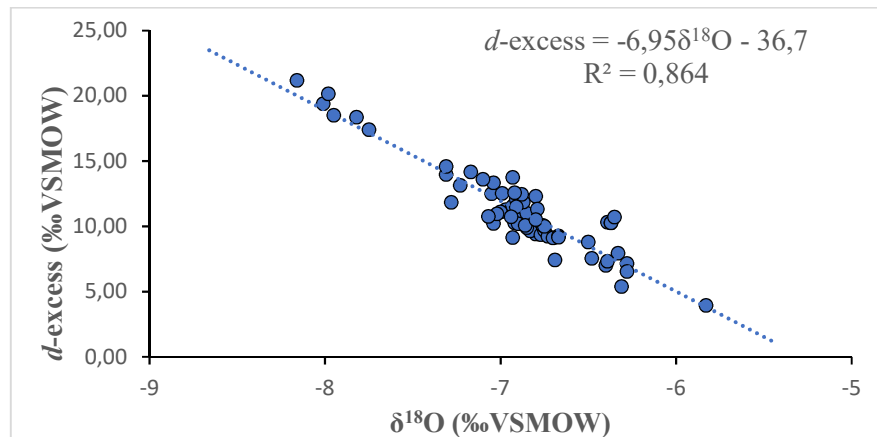
Confeccionado pelo autor com os dados dos Apêndices A e B.

O gráfico de dispersão do excesso de deutério pela razão isotópica de O-18 nas águas subterrâneas (Figura 20) possui uma linha de tendência negativa igual a -6,95; como esperado para estes dois parâmetros devido à sua relação inversamente proporcional no fenômeno do fracionamento isotópico. A reta de regressão apresenta coeficiente de correlação igual a 0,930; isto indica que há forte correlação entre os dois parâmetros. Além disso, o fator de determinação R^2 apresentou um valor alto (0,864), indicando que mais de 86% das amostras podem ser explicadas pela reta de regressão.

Quanto mais enriquecidas forem as águas subterrâneas, menor é o excesso de deutério. O resultado desta relação é a distribuição horizontalizada das amostras em comparação à Reta Meteorica Local (Figura 21).

Sob análise visual do piezograma, destaca-se o período de recessão marcado por uma tendência decrescente de 2013 até novembro de 2015. Os ciclos de recarga neste período foram afetados pela baixa quantidade de precipitação causada pelo fenômeno do El Niño. A partir de dezembro de 2015 o grande volume de chuvas na região atingiu valores elevados o suficiente para gerar uma forte recarga no aquífero livre, que manteve o nível estático d'água a valores mais elevados.

Figura 20 – Gráfico de dispersão das amostras de águas subterrâneas no poço analisado.

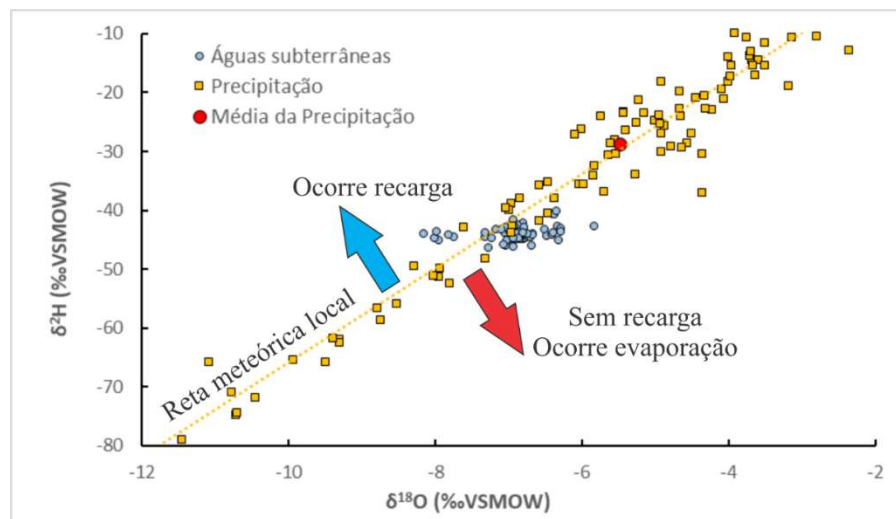


Confeccionado pelo autor com os dados do Apêndice B.

As águas subterrâneas são mais depletadas que a média ponderada das águas meteóricas (Figura 21). O fato de que as águas subterrâneas não possuem uma assinatura isotópica semelhante à média das chuvas indica que apenas parte das chuvas é responsável pela recarga do aquífero na área. As chuvas que não geram recarga direta na área são aquelas cujas amostras apresentam assinatura abaixo da reta meteórica local no gráfico apresentado (Figura 21).

As chuvas de verão são aquelas cuja assinatura isotópica mais se aproximam da água subterrânea, pois são mais depletadas que as chuvas registradas no período de inverno. Isto indica que a recarga ocorre concentrada nos períodos chuvosos de verão (de dezembro a março), enquanto que as chuvas que ocorrem no período seco, de inverno, não constituem recarga direta para o Sistema Aquífero Bauru devido ao predomínio da evaporação.

Figura 21 – Razões isotópicas das amostras de águas subterrâneas e meteóricas na área de estudo.



Confeccionado pelo autor com os dados dos Apêndices A e B.

5 CONCLUSÕES

Este estudo é fundamental para avaliar o potencial de perturbação causado por mudanças na disponibilidade de recursos hídricos em assembleias ecológicas e atividades socioeconômicas. A Formação Adamantina forma um importante aquífero livre no município de Araraquara e em considerável superfície do oeste do estado de São Paulo, servindo como importante área de recarga para o Sistema Aquífero Bauru-Caiuá.

Existe sazonalidade na composição isotópica da chuva, marcada pelos valores mais depletados na estação chuvosa. Existe uma relação forte entre a composição isotópica e a quantidade de chuva, indicada pelo contraste entre estações e repetição deste fenômeno ao longo dos anos de amostragem.

As águas subterrâneas apresentam uma variabilidade muito menor nas razões isotópicas ao longo do ano, e apenas o excesso de deutério apresenta correlação visivelmente reconhecível com a flutuação da profundidade do nível d'água. A assinatura isotópica das águas subterrâneas não é equivalente à média ponderada das águas de chuva ao longo do ano. Isto ocorre porque no caso de aquíferos livres em zonas tropicais, a recarga é um fenômeno diretamente associado às chuvas intensas do período chuvoso, e portanto apresentam assinatura similar à da precipitação desta época do ano.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGGARWAL, P. K.; ROMATSCHKE, U.; ARAGUAS-ARAGUAS, L.; BELACHEW, D.; LONGSTAFFE, F. J.; BERG, P.; SCHUMACHER, C.; FUNK, A. Proportions of convective and stratiform precipitation revealed in water isotope ratios. **Nature Geoscience**, v. 9, n. 8, p. 624, 2016.

ALMEIDA, F. F. M. de. Fundamentos geológicos do relevo paulista. **Boletim do Instituto Geográfico e Geológico**, v. 41, p. 169-263, 1964.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ARAGUAS-ARAGUAS, L.; FROEHLICH, K.; ROZANSKI, K. Deuterium and oxygen-18 isotope composition of precipitation and atmospheric moisture. **Hydrological processes**, v. 14, n. 8, p. 1341-1355, 2000.

BAERTSCHI, P. Absolute ^{18}O content of standard mean ocean water. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 31, n. 3, p. 341-344, 1976.

BIOE - Banco Internacional de Objetos Educacionais. **Isótopos de Hidrogênio**. Imagem disponível em: < <http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/handle/mec/18395> >. Acesso em 08 de outubro de 2018.

BOWEN, G. J. Spatial analysis of the intra-annual variation of precipitation isotope ratios and its climatological corollaries. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 113, n. D5, 2008.

BRAND, W. A.; GEILMANN, H.; CROSSON, E. R.; RELLA, C. W. Cavity ring-down spectroscopy versus high-temperature conversion isotope ratio mass spectrometry; a case study on $\delta^2\text{H}$ and $\delta^{18}\text{O}$ of pure water samples and alcohol/water mixtures. **Rapid Communications in Mass Spectrometry: An International Journal Devoted to the Rapid Dissemination of Up-to-the-Minute Research in Mass Spectrometry**, v. 23, n. 12, p. 1879-1884, 2009.

BURT, T. P.; MCDONNELL, J. J. Whither field hydrology? The need for discovery science and outrageous hydrological hypotheses. **Water Resources Research**, v. 51, n. 8, p. 5919-5928, 2015.

CLARK, I.; FRITZ, P. **Environmental Isotopes in Hydrogeology**. Boca Raton/New York: Lewis Publishers, 1997.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **GeoSGB**. 2017. Disponível em: <<http://geosgb.cprm.gov.br/>>. Acesso em 01/10/2018.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **RIMAS: Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas**. Disponível em: <<http://rimasweb.cprm.gov.br/layout/>>. Acesso em 02 outubro 2018.

CRAIG, H. Isotopic variations in meteoric waters. **Science**, v. 133, n. 3465, p. 1702-1703, 1961a.

CRAIG, H. Standard for reporting concentrations of deuterium and oxygen-18 in natural water. **Science**, v. 133, n. 3467, p. 1833-1834, 1961b.

DAEE. Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Estudo de Águas Subterrâneas - Regiões Administrativas 10 e 11 - Presidente Prudente e Marília**. São Paulo: DAEE, 1979, v.1 e 2.

DAEE. Departamento de Águas e Energia Elétrica. Síntese dos Planos de Bacia - Plano Estadual de Recursos Hídricos, 2004-2007. São Paulo: DAEE/ Consórcio JMR-ENGEORPS (Relatório nº 1/2005).

DANSGAARD, W. Stable isotopes in precipitation. **Tellus**, v. 16, n. 4, p. 436-468, 1964.

DELIN, G. N.; HEALY, R. W.; LORENZ, D. L.; NIMMO, J. R. Comparison of local-to regional-scale estimates of ground-water recharge in Minnesota, USA. **Journal of Hydrology**, v. 334, n. 1-2, p. 231-249, 2007.

DOS SANTOS, V.; GASTMANS, D.; SANTAROSA, L.V.; BATISTA, L.V.; BETANCUR, S.B.; de OLIVEIRA, M.E.D.; PEREIRA FILHO, A.J. Variabilidade da Composição Isotópica da Precipitação na Região Central do Estado de São Paulo. **Águas Subterrâneas**, v. 33, n. 2, p. 171-181, 2019.

FERNANDES, L. A. **A cobertura cretácea suprabasáltica no Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): os grupos Bauru e Caiuá**. 1992. Dissertação (Mestrado em Geologia Sedimentar) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo 1992.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. Revisão estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo). **Rev. Bras. Geociências**, 30(4):717-728, 2000.

FERNANDES, L. A. **Estratigrafia e Evolução Geológica da Parte Oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil)**. 1998. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

FLORENCE, G.; PACHECO, J. **Carta Geológica do Estado de São Paulo, Brasil**. São Paulo, Comissão Geographica e Geológica. Escala 1:2.000.000.

FRANZINI, A. S.; MOURÃO, M. A. A. (Coord.). **Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas: relatório diagnóstico Sistema Aquífero Bauru-Caiuá nos Estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná**. Bacia do Paraná. Belo Horizonte: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2012.

LANINI, S.; CABALLERO, Y.; SEGUIN, J. J.; MARÉCHAL, J. C. ESPERE, a multiple-method Microsoft Excel application for estimating aquifer recharge. **Groundwater**, v. 54, n. 2, p. 155-156, 2016.

GALEWSKY, J.; STEEN-LARSEN, H. C.; FIELD, R. D.; WORDEN, J.; RISI, C.; SCHNEIDER, M. Stable isotopes in atmospheric water vapor and applications to the hydrologic cycle. **Reviews of Geophysics**, v. 54, n. 4, p. 809-865, 2016.

GAT, J. R. Oxygen and hydrogen isotopes in the hydrologic cycle. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, v. 24, n. 1, p. 225-262, 1996.

HAGEMANN, R.; NIEF, G.; ROTH, E. Absolute isotopic scale for deuterium analysis of natural waters. Absolute D/H ratio for SMOW 1. **Tellus**, v. 22, n. 6, p. 712-715, 1970.

HAMMER, Ø.; HARPER, D. A.; RYAN, P. D. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia electronica**, v. 4, n. 1, p. 9, 2001.

HEALY, R. W. **Estimating Groundwater Recharge**. Cambridge: Cambridge University Press, 2010.

JASECHKO, S.; TAYLOR, R. G. Intensive rainfall recharges tropical groundwaters. **Environmental Research Letters**, v. 10, n. 12, p. 124015, 2015.

LAWRENCE, R. J.; GEDZELMAN, D. S. Low stable isotope ratios of tropical cyclone rains. **Geophysical Research Letters**, v. 23, n. 5, p. 527-530, 1996.

MARENGO, J. A. Água e mudanças climáticas. **Estudos avançados**, v. 22, n. 63, p. 83-96, 2008.

MCKNIGHT, D. M. Debates—Hypothesis testing in hydrology: A view from the field: The value of hydrologic hypotheses in designing field studies and interpreting the results to advance hydrology. **Water Resources Research**, v. 53, n. 3, p. 1779-1783, 2017.

MEAULO, F. J. **Caracterização geológica, hidrogeológica e o mapeamento da vulnerabilidade natural à poluição dos aquíferos, na escala 1:25.000, das áreas urbana e de expansão do município de Araraquara-SP**. 2007. 113 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2007.

MEAULO, F. J. (Coord.). **Desenvolvimento do software de vulnerabilidade natural à poluição ambiental: FORTGEO Planejamento Ambiental®**. Rio Claro: FORTGEO. 2007. 189 p. Relatório Parcial de Pesquisa FAPESP, Programa de Inovação Tecnológica em Pequenas Empresas – Fase II.

MILANI, E. J. 1997 **Evolução Tectono-Estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica de Gondwana Sul-Occidental** (v.I, Texto; v. II, Figuras e Anexos). Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Tese de Doutorado, 225 p.

MILANI, E. J.; FRANÇA, A. B.; SCHNEIDER, R. L. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 15, n. 2, p. 265-287, 2007.

CORDEIRO NETTO, O. M.; TUCCI, C. E. M. Os desafios em ciência, tecnologia & inovação: resultados alcançados com o fundo setorial de recursos hídricos. **Ciência e Cultura**, v. 55, n. 4, p. 44-46, 2003.

NIER, A. O. A mass spectrometer for isotope and gas analysis. **Review of Scientific Instruments**, v. 18, n. 6, p. 398-411, 1947.

ROZANSKI, K.; ARAGUAS-ARAGUAS, L.; GONFIANTINI, R.. Relation between long-term trends of oxygen-18 isotope composition of precipitation and climate. **Science**, v. 258, n. 5084, p. 981-985, 1992.

SÃO PAULO, Governo do Estado de São Paulo - Secretaria do Meio Ambiente. **As Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo**: Cadernos de Educação Ambiental. 3ª Ed. 2014.

SCALVI, B. **Arcabouço hidroestratigráfico e evolução temporal dos níveis d'água no sistema aquífero Guarani na cidade de Araraquara – SP**. 2016. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro 2016.

SCORZA, E. P. Considerações sobre o Arenito Caiuá. Departamento Nacional de Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia, Rio de Janeiro. **Boletim**, n. 139, p. 1-62, 1952.

SILVA, E. R. da. O curso da água na história: simbologia, moralidade e gestão de recursos hídricos. Tese (Doutorado em Saúde Pública) - Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro. 1998.

SOARES, P. C.; LANDIM, P. M.; FOLFARO, V. J.; NETO, A. F. S. Ensaio de caracterização estratigráfica do Cretáceo no estado de São Paulo: Grupo Bauru. **Revista brasileira de geociências**, v. 10, n. 3, p. 177-185, 1980.

TUCCI, C.E.M. 2007. Hidrologia: Ciência e Aplicação. Editora da UFRGS/ABRH, Porto Alegre, 943 p.

UREY, H. C. The thermodynamic properties of isotopic substances. **Journal of the Chemical Society**, v. 0, p. 562-581, 1947.

WASSENAAR, L. I.; COPLEN, T. B.; AGGARWAL, P. K. Approaches for achieving long-term accuracy and precision of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ for waters analyzed using laser absorption spectrometers. **Environmental science & technology**, v. 48, n. 2, p. 1123-1131, 2014.

WIKIMEDIA COMMONS. Arquivo: ‘Blausen 0530 HydrogenIsotopes.png’. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Blausen_0530_HydrogenIsotopes.png&oldid=285030395>. Acesso em 14 jul. 2019.

YOSHIMURA, K. Stable water isotopes in climatology, meteorology, and hydrology: A review. **Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II**, v. 93, n. 5, p. 513-533, 2015.

ZWART, C.; MUNKSGAARD, N. C.; PROTAT, A.; KURITA, N.; LAMBRINIDIS, D.; BIRD, M. I. The isotopic signature of monsoon conditions, cloud modes, and rainfall type. **Hydrological processes**, v. 32, n. 15, p. 2296-2303, 2018.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Dados de chuvas e condições meteorológicas.

Amostra	Data	Precipitação acumulada (mm)	d ¹⁸ O (‰)	d ² H (‰)	d-excess
AQA-R-01/02	07/02/2014	10	-3,18	-19,0	6,44
AQA-R-02/02	14/02/2014	11	-1,23	-0,6	9,24
AQA-R-03/02	21/02/2014	10,9	-4,65	-24,1	13,10
AQA-R-04/02	28/02/2014	37,5	-2,29	-7,7	10,62
AQA-R-10/14	07/03/2014	22,7	-2,80	-10,4	12,00
AQA-R-11/14	14/03/2014	20,5	-3,63	-17,0	12,04
AQA-R-12/14	21/03/2014	13,6	-4,91	-26,9	12,38
AQA-R-13/14	28/03/2014	34,4	-11,29	-81,7	8,62
AQA-R-15/14	11/04/2014	4,4	-4,23	-22,9	10,94
AQA-R-16/14	19/04/2014	56,8	-5,83	-32,5	14,14
AQA-R-17/14	25/04/2014	26	-6,95	-42,7	12,90
AQA-R-21/14	23/05/2014	46	-3,68	-14,5	14,94
AQA-R-28/14	12/07/2014	7,8	-3,14	-6,5	18,62
AQA-R-30/14	25/07/2014	14,4	-3,50	-11,5	16,50
AQA-R-36/14	05/09/2014	10,6	0,26	12,8	10,72
AQA-R-43/14	26/10/2014	0,9	-0,90	2,8	10,00
AQA-R-44/14	01/11/2014	24	-4,33	-20,6	14,04
AQA-R-45/14	08/11/2014	86,5	-5,74	-24,1	21,82
AQA-R-49/14	07/12/2014	54,3	-11,45	-79,0	12,60
AQA-R-50/14	14/12/2014	89,7	-10,46	-71,8	11,88
AQA-R-51/14	21/12/2014	16,2	-9,49	-65,9	10,02
AQA-R-52/14	28/12/2014	46,2	-11,94	-85,2	10,32
AQA-R-01/15	04/01/2015	6,3	-2,37	-0,3	18,66
AQA-R-02/15	10/01/2015	21,6	-1,52	4,6	16,76
AQA-R-03/15	17/01/2015	17,7	-1,16	8,0	17,28
AQA-R-04/15	25/01/2015	23,4	-3,75	-10,7	19,30
AQA-R-05/15	31/01/2015	25,8	-3,37	-5,3	21,66
AQA-R-06/15	08/02/2015	34,8	-5,01	-24,7	15,38
AQA-R-07/15	14/02/2015	23,4	-6,46	-40,5	11,18
AQA-R-08/15	22/02/2015	31,2	-3,71	-13,8	15,88
AQA-R-09/15	01/03/2015	0,3	-6,58	-41,8	10,84
AQA-R-10/15	07/03/2015	45,6	-3,69	-13,0	16,52
AQA-R-11/15	14/03/2015	68,1	-8,79	-56,7	13,62
AQA-R-12/15	22/03/2015	26,1	-6,38	-38,0	13,04
AQA-R-14/15	05/04/2015	15	-10,78	-70,9	15,34
AQA-R-16/15	20/04/2015	8,1	-5,25	-25,1	16,90
AQA-R-19/15	10/05/2015	13,2	-8,29	-49,5	16,82
AQA-R-20-21/15	24/05/2015	18,6	-6,96	-38,8	16,88
AQA-R-22/15	30/05/2015	21	-9,94	-65,5	14,02
AQA-R-23/15	07/06/2015	12,6	-4,09	-19,5	13,22

Amostra	Data	Precipitação acumulada (mm)	d¹⁸O (‰)	d²H (‰)	d-excess
AQA-R-27/15	05/07/2015	8,7	-2,83	-8,5	14,14
AQA-R-28/15	11/07/2015	21,6	-4,00	-18,1	13,90
AQA-R-30/15	25/07/2015	9	0,29	15,7	13,38
AQA-R-35/15	29/08/2015	10,5	-0,28	22,3	24,54
AQA-R-37/15	12/09/2015	4,2	-0,65	15,1	20,30
AQA-R-39/15	26/09/2015	6,3	0,7	26	20,40
AQA-R-40/15	03/10/2015	9,3	1,95	37,5	21,90
AQA-R-43/15	24/10/2015	30,6	0,52	25,7	21,54
AQA-R-44/15	31/10/2015	34,5	-1,62	5,1	18,06
AQA-R-45/15	07/11/2015	51	-5,4	-26,4	16,80
AQA-R-46/15	14/11/2015	19,2	-0,87	4,9	11,86
AQA-R-47/15	21/11/2015	60	-2,55	-2,7	17,70
AQA-R-48/15	28/11/2015	36,9	-2,83	-3,5	19,14
AQA-R-49/15	05/12/2015	55,8	-6,58	-35,7	16,94
AQA-R-50/15	12/12/2015	34,8	-5,15	-23,4	17,80
AQA-R-51/15	19/12/2015	24,3	-2,94	-3,9	19,62
AQA-R-52/15	26/12/2015	37,2	-0,6	8,2	13,00
AQA-R-53/15	03/01/2016	61,5	-4	-13,9	18,10
AQA-R-01/16	10/01/2016	1,5	-9,30	-62,0	12,40
AQA-R-02/16	15/01/2016	125,1	-11,79	-80,8	13,52
AQA-R-04/16	30/01/2016	30	-7,93	-49,8	13,64
AQA-R-05/16	06/02/2016	8,7	-1,90	-6,4	8,80
AQA-R-06/16	13/02/2016	11,7	-4,32	-22,8	11,76
AQA-R-07/16	21/02/2016	100,5	-2,89	-6,8	16,32
AQA-R-08/16	27/02/2016	51	-3,59	-14,5	14,22
AQA-R-09/16	06/03/2016	64,2	-6,04	-35,6	12,72
AQA-R-10/16	13/03/2016	40,5	-7,95	-51,3	12,30
AQA-R-11/16	19/03/2016	25,2	-4,44	-21,0	14,52
AQA-R-12/16	27/03/2016	19,5	-2,27	-3,9	14,26
AQA-R-17/16	30/04/2016	8,4	-4,56	-28,6	7,88
AQA-R-19/16	14/05/2016	6,6	-4,50	-26,9	9,10
AQA-R-20/16	22/05/2016	122	-4,66	-19,8	17,48
AQA-R-21/16	29/05/2016	6,6	-3,35	-6,9	19,90
AQA-R-22/16	05/06/2016	105,9	-3,97	-17,3	14,46
AQA-R-23/16	12/06/2016	22,5	-2,30	-0,8	17,60
AQA-R-28/16	17/07/2016	2,1	0,58	17,7	13,06
AQA-R-33/16	20/08/2016	9,9	1,78	29,1	14,86
AQA-R-34/16	27/08/2016	18,6	-2,06	4,4	20,88
AQA-R-35/16	03/09/2016	24,6	-1,91	4,5	19,78
AQA-R-36/16	10/09/2016	7,2	-2,86	-5,1	17,78

Amostra	Data	Precipitação acumulada (mm)	d¹⁸O (‰)	d²H (‰)	d-excess
AQA-R-41/16	14/10/2016	27,6	-0,93	5,9	13,34
AQA-R-42/16	23/10/2016	51,9	0,13	10,6	9,56
AQA-R-43/16	29/10/2016	24,3	1,39	23,7	12,58
AQA-R-44/16	04/11/2016	23,7	-3,85	-9,3	21,50
AQA-R-45/16	12/11/2016	12,9	-3,52	-2,00	26,16
AQA-R-46/16	19/11/2016	59,1	-7,61	-42,90	17,98
AQA-R-47/16	27/11/2016	2,4	-5,84	-34,10	12,62
AQA-R-48/16	03/12/2016	40,2	-5,55	-28,10	16,30
AQA-R-49/16	10/12/2016	35	-3,92	-10,00	21,36
AQA-R-50/16	17/12/2016	27,9	-5,61	-28,60	16,28
AQA-R-51/16	24/12/2016	51	-1,80	-1,90	12,50
AQA-R-52/16	31/12/2016	3,9	-3,66	-15,50	13,78
AQA-R-01/17	07/01/2017	39,6	-0,70	7,40	13,00
AQA-R-02/17	14/01/2017	121,8	-4,88	-25,60	13,44
AQA-R-03/17	21/01/2017	47,1	-9,30	-62,50	11,90
AQA-R-04/17	30/01/2017	72,3	-9,40	-61,80	13,40
AQA-R-05/17	05/02/2017	90,6	-4,95	-23,90	15,70
AQA-R-06/17	11/02/2017	12,6	-6,99	-40,00	15,92
AQA-R-09/17	04/03/2017	56,7	-10,72	-74,80	10,96
AQA-R-10/17	11/03/2017	74,4	-14,67	-99,70	17,66
AQA-R-11/17	19/03/2017	44,4	-6,01	-26,30	21,78
AQA-R-14/17	08/04/2017	81,6	-7,31	-48,3	10,18
AQA-R-16/17	22/04/2017	24,3	-11,76	-83,2	10,88
AQA-R-17/17	29/04/2017	49,5	-4,91	-30	9,28
AQA-R-18/17	06/05/2017	24,6	-6,1	-27,2	21,60
AQA-R-20/17	20/05/2017	64,2	-6,84	-37,9	16,82
AQA-R-21/17	27/05/2017	16,8	-7,04	-39,6	16,72
AQA-R-24/17	17/06/2017	6,9	-1,66	-7,1	6,18
AQA-R-33/17	19/08/2017	15	-2,8	-5,4	17,00
AQA-R-34/17	26/08/2017	0,3	-3,96	-15,4	16,28
AQA-R-39/17	29/09/2017	15,4	-0,64	7,1	12,22
AQA-R-40/17	07/10/2017	34,3	-5,43	-23,3	20,14
AQA-R-41/17	22/10/2017	12,2	2,78	31,1	8,86
AQA-R-43/17	31/10/2017	60,4	-1,85	3,1	17,90
AQA-R-44/17	04/11/2017	61,4	-6,46	-35,3	16,38
AQA-R-45/17	11/11/2017	112,2	-8,02	-51,2	12,96
AQA-R-46/17	18/11/2017	30,2	-2,35	-12,9	5,90
AQA-R-47/17	26/11/2017	87,2	-8,74	-58,6	11,32
AQA-R-48/17	02/12/2017	19,6	-4,35	-30,4	4,40
AQA-R-49/17	09/12/2017	36	-5,64	-30,7	14,42

Amostra	Data	Precipitação acumulada (mm)	d¹⁸O (‰)	d²H (‰)	d-excess
AQA-R-51/17	23/12/2017	42,6	-2,99	-7,7	16,22
AQA-R-52/17	30/12/2017	125,4	-5,43	-23,4	20,04
AQA-R-01/18	06/01/2018	112,6	-11,08	-65,9	22,74
AQA-R-02/18	14/01/2018	0,3	-4,36	-37,1	-2,22
AQA-R-03/18	20/01/2018	0,4	-4,78	-29,1	9,14
AQA-R-04/18	27/01/2018	0	-0,6	2,9	7,70
AQA-R-05/18	03/02/2018	0	-3,13	-10,6	14,44
AQA-R-07/18	17/02/2018	4,8	-4,93	-25,3	14,14
AQA-R-08/18	24/02/2018	0	-4,66	-22,7	14,58
AQA-R-09/18	03/03/2018	0	-18,02	-132,1	12,06
AQA-R-10/18	10/03/2018	0	-5,7	-36,9	8,70
AQA-R-11/18	17/03/2018	23,4	-7,8	-52,4	10,00
AQA-R-12/18	24/03/2018	1,2	-5,27	-33,9	8,26
AQA-R-13/18	31/03/2018	0	-1,61	-6,9	5,98
AQA-R-14/18	07/04/2018	0	-1,43	-2,4	9,04
AQA-R-20/18	19/05/2018	0	0,52	8,4	4,24
AQA-R-21/18	26/05/2018	0	-5,23	-21,2	20,64
AQA-R-31/18	04/08/2018	21,8	-2,68	-3,8	17,64
AQA-R-32/18	11/08/2018	33,2	-4,92	-18,1	21,26
AQA-R-34/18	25/08/2018	5	-0,79	8,9	15,22
AQA-R-37/18	15/09/2018	18,4	1,57	29,7	17,14
AQA-R-38/18	21/09/2018	33,8	-2,54	-3,3	17,02
AQA-R-39/18	29/09/2018	7	5,22	47,9	6,14
AQA-R-40/18	06/10/2018	7,6	3,09	31,3	6,58
AQA-R-41/18	13/10/2018	117,2	-2,22	-1,4	16,36
AQA-R-42/18	20/10/2018	57,2	-1,87	1,8	16,76
AQA-R-43/18	26/10/2018	46	-8,53	-55,9	12,34
AQA-R-45/18	10/11/2018	16,8	-6,97	-43,9	11,86
AQA-R-47/18	24/11/2018	27,4	-5,97	-35,6	12,16
AQA-R-48/18	01/12/2018	23,5	-4,06	-21,1	11,38
AQA-R-49/18	08/12/2018	3,6	-10,71	-74,4	11,28
AQA-R-50/18	15/12/2018	14,6	-4,64	-29,4	7,72
AQA-R-51/18	22/12/2018	54,9	-3,5	-15,4	12,60
AQA-R-52/18	29/12/2018	52,8	-5,53	-30,5	13,74

**APÊNDICE B – Dados de águas subterrâneas
do poço CRP-P03.**

Amostra	Data de Coleta	Profundidade do Nível d'Água (m)	d¹⁸O	d2H	d-excess
CRP-03-07/13	04/08/2013	10,70	-6,84	-43,8	10,92
CRP-03-08/13	04/09/2013	10,98	-7,04	-46,1	10,22
CRP-03-09/13	06/10/2013	11,10	-6,80	-45,0	9,40
CRP-03-10/13	28/10/2013	11,39	-6,83	-45,0	9,64
CRP-03-11/13	29/11/2013	11,31	-6,69	-46,1	7,42
CRP-03-12/13	31/12/2013	11,01	-6,92	-45,1	10,26
CRP-03-01/14	31/01/2014	11,00	-6,77	-44,8	9,36
CRP-03-02/14	04/03/2014	10,95	-6,50	-43,2	8,80
CRP-03-03/14	31/03/2014	11,03	-6,97	-44,5	11,26
CRP-03-04/14	30/04/2014	11,29	-6,91	-44,1	11,18
CRP-03-05/14	31/05/2014	11,43	-7,05	-43,9	12,50
CRP-03-06/14	30/06/2014	11,50	-6,75	-44,3	9,70
CRP-03-07/14	03/08/2014	11,85	-6,95	-44,5	11,10
CRP-03-08/14	31/08/2014	12,04	-7,31	-44,5	13,98
CRP-03-09/14	01/10/2014	12,22	-6,93	-43,9	11,54
CRP-03-10/14	01/11/2014	12,44	-6,85	-44,9	9,90
CRP-03-11/14	30/11/2014	12,52	-6,90	-44,6	10,60
CRP-03-12/14	31/12/2014	12,27	-7,00	-44,9	11,10
CRP-03-01/15	31/01/2015	12,18	-7,02	-45,2	10,96
CRP-03-02/15	01/03/2015	12,09	-6,99	-43,4	12,52
CRP-03-03/15	31/03/2015	11,92	-6,73	-44,6	9,24
CRP-03-04/15	28/04/2015	11,69	-6,89	-43,4	11,72
CRP-03-05/15	01/06/2015	11,72	-7,07	-45,8	10,76
CRP-03-06/15	28/06/2015	11,79	-7,04	-43,0	13,32
CRP-03-07/15	01/08/2015	12,06	-6,85	-43,8	11,00
CRP-03-08/15	30/08/2015	12,25	-6,33	-42,7	7,94
CRP-03-09/15	26/09/2015	12,32	-6,9	-45	10,20
CRP-P03-10/15	31/10/2015	12,52	-6,7	-44,5	9,10
CRP-P03-11/15	29/11/2015	12,54	-6,93	-46,3	9,14
CRP-P03-12/15	31/12/2015	12,08	-6,76	-44	10,08
CRP-03-01/16	31/01/2016	10,04	-6,80	-42,1	12,30
CRP-03-02/16	28/02/2016	9,73	-6,91	-43,2	12,08
CRP-03-03/16	31/03/2016	9,30	-6,87	-43,1	11,86
CRP-03-04/16	30/04/2016	9,34	-6,67	-44,1	9,26
CRP-03-05/16	01/06/2016	9,34	-6,93	-41,7	13,74
CRP-03-06/16	01/07/2016	9,35	-7,17	-43,2	14,16
CRP-03-07/16	06/08/2016	9,63	-7,28	-46,4	11,84
CRP-03-08/16	27/08/2016	9,78	-6,67	-44,2	9,16
CRP-03-09/16	01/10/2016	10,04	-7,95	-45,1	18,50
CRP-P03-10/16	29/10/2016	10,31	-7,75	-44,6	17,40
CRP-P03-11/16	02/12/2016	10,47	-6,75	-44,00	10,00
CRP-P03-12/16	01/01/2017	10,53	-6,88	-42,60	12,44
CRP-P03-01/17	03/02/2017	9,94	-6,91	-43,80	11,48
CRP-P03-02/17	28/02/2017	9,74	-6,86	-44,80	10,08

Amostra	Data de Coleta	Profundidade do Nível d'Água (m)	d¹⁸O	d2H	d-excess
CRP-P03-03/17	31/03/2017	9,48	-6,94	-44,80	10,72
CRP-P03-04/17	21/04/2017	9,45	-6,48	-44,30	7,54
CRP-P03-05/17	27/05/2017	9,34	-6,31	-45,10	5,38
CRP-P03-06/17	01/07/2017	9,40	-7,31	-43,90	14,58
CRP-P03-07/17	27/07/2017	9,66	-7,10	-43,20	13,60
CRP-P03-08/17	02/09/2017	9,96	-6,40	-44,20	7,00
CRP-P03-09/17	01/10/2017	10,25	-6,39	-43,80	7,32
CRP-P03-10/17	11/11/2017	10,62	-6,28	-43,10	7,14
CRP-P03-11/17	17/12/2017	10,76	-6,79	-43,00	11,32
CRP-P03-12/17	31/12/2017	10,81	-6,92	-42,80	12,56
CRP03-01/18	30/01/2018	9,95	-5,83	-42,70	3,94
CRP03-02/18	26/02/2018	9,57	-6,28	-43,70	6,54
CRP03-03/18	30/03/2018	9,51	-6,80	-43,90	10,50
CRP03-04/18	29/04/2018	9,67	-7,23	-44,70	13,14
CRP03-05/18	31/05/2018	10,00	-8,16	-44,10	21,18
CRP03-06/18	01/07/2018	10,32	-8,01	-44,70	19,38
CRP03-07/18	03/08/2018	10,59	-7,98	-43,70	20,14
CRP03-08/18	27/08/2018	10,85	-7,82	-44,20	18,36
CRP-P03-09/18	29/09/2018	11,13	-6,39	-40,80	10,32
CRP-P03-10/18	02/11/2018	11,38	-6,37	-40,70	10,26
CRP-P03-11/18	01/12/2018	11,49	-6,37	-40,70	10,26
CRP-P03-12/18	27/12/2018	11,67	-6,35	-40,10	10,70