

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"Júlio de Mesquita Filho"

Campus Experimental de Ourinhos

VICTOR JOSÉ FAVARIN

MAPEAMENTO DA TEMPERATURA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM
ÁREA DO SISTEMA AQUÍFERO BAURU NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA DE
SANTA BÁRBARA – SP

Ourinhos – SP

2017

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"Júlio de Mesquita Filho"

Campus Experimental de Ourinhos

MAPEAMENTO DA TEMPERATURA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM
ÁREA DO SISTEMA AQUÍFERO BAURU NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA DE
SANTA BÁRBARA – SP

Victor José Favarin

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à banca examinadora para
obtenção do título de Bacharel em
Geografia pela Unesp – Campus
Experimental de Ourinhos.

Orientador: Profº Dr. Rodrigo Lilla Manzione

Ourinhos/SP

2017

Banca Examinadora

Profº Drº Rodrigo Lilla Manzione
Faculdade de Ciências e Engenharia/ UNESP-Tupã

Profª Drª Maria Cristina Perusi
UNESP – Câmpus de Ourinhos

Profª Drª Daniela Fernanda da Silva Fuzzo
UNESP – Câmpus de Ourinhos

RESUMO

Muitas cidades encontraram nas águas subterrâneas uma alternativa para seu abastecimento, isso se justifica pela qualidade relativamente superior que os aquíferos possuem em relação a corpos hídricos superficiais, além de sua fácil exploração e farta disponibilidade. Porém o estado de conservação dos recursos hídricos não é o único fator limitante a vida, pois diferentes organismos atuam em intervalos térmicos restritos que permitem seu desenvolvimento e reprodução. Para compreender a presença das águas subterrâneas e suas dinâmicas em parte do Sistema Aquífero Bauru (SAB) na Estação Ecológica de Santa Bárbara (EEcSB), uma rede de monitoramento foi instalada, com um total de 56 piezômetros e a partir deles foram coletados dados para que uma série de mapeamentos e análises estatísticas fossem realizadas sobre diferentes variáveis buscando evidenciar sua disposição e interação com o meio. A área de estudos foi escolhida graças a intensa preservação ambiental que permite resultados com menores níveis de interferência antrópica. Foram encontradas diferentes intensidades de correlações entre as variáveis de temperatura, nível freático, atitude e profundidade dos poços. Os mapeamentos destacaram as diferenças térmicas presentes nas cinco microbacias inseridas na EEcSB e as oscilações em seu nível freático em dois períodos (01/07/2016 e 05/09/2017) com intervalo de um pouco mais de um ano entre eles.

Palavras-chave: Hidrografia; Análises; Estatística.

SUMMARY

Many cities have found an alternative to groundwater for their supply, which is justified by the relatively superior quality of aquifers in relation to surface water bodies, as well as their easy exploration and availability. However, the state of conservation of water resources is not the only limiting factor for life, since different organisms act in restricted thermal intervals that allow their development and reproduction. In order to understand the presence of groundwater and its dynamics in part of the Bauru Aquifer System (BAS) at the Ecological Station of Santa Bárbara (EEcSB), a monitoring network was installed, with a total of 56 piezometers. that a series of statistical mappings and analyzes were performed on different variables seeking to evidence their disposition and interaction with the environment. The study area was chosen due to the intense environmental preservation that allows results with lower levels of anthropic interference. Different correlation intensities were found between the variables of temperature, water table, attitude and depth of the wells. The mappings highlighted the thermal differences present in the five microcatchments inserted in the EEcSB and the oscillations in its water table in two periods (01/07/2016 and 05/09/2017) with interval of a little more than one year between them.

Key words: Hydrography; Analysis; Statistics.

Lista de Figuras

Figura 1: Esquemática do Ciclo Hidrológico	16
Figura 2: Principais Aquíferos do Estado de São Paulo	18
Figura 3: UGRHI – 17 Médio Paranapanema.....	24
Figura 4: Localização regional da Estação Ecológica de Águas de Santa Bárbara (EEcSB) Águas de Santa Bárbara - SP.....	26
Figura 5: Talhão de Pinus com árvores em diferentes estágios de desenvolvimento.	28
Figura 6 e 7: Talhão de Pinus em sua fase final desenvolvimento sob regime de extração resina (esquerda) e recipiente coletor de resina proveniente do tronco raspado da árvore (direita).	29
Figura 8: Espacialização das microbacias presentes na EEcSB.....	30
Figura 9 e 10: Medidor de Nível tipo carretel com sonda (SOL-10230); Medidor de nível instalado na parede externa do poço tubular.....	34
Figura 11: Termômetro tipo Espeto com display digital.....	35
Figura 12: Medição de Temperatura no interior de um piezômetro.....	246
Figura 13: Mapa de Altitude do Aquífero Bauru na Estação Ecológica de Águas de Santa Bárbara – SP.	43
Figura 14: Mapa de Profundidade do Aquífero Bauru na Estação Ecológica de Águas de Santa Bárbara – SP.	44
Figura 15: Mapa de Nível Freático do Aquífero na EEcSB – SP, data da medição 01/07/2016	45
Figura 16: Mapa de Nível Freático do Aquífero Bauru na EEcSB – SP, data da medição 05/09/2017.....	46
Figura 17: Mapa de Temperatura das águas subterrâneas do SAB na EEcSB – SP, data da medição 01/07/2016.	47
Figura 18: Mapa de Temperatura das águas subterrâneas do SAB na EEcSB – SP, data da medição 05/09/2017.	48

Lista de Gráficos

Gráfico 1: Coeficiente de dispersão entre temperatura e profundidade do poço, data da medição 01/07/2016	49
Gráfico 2: Coeficiente de dispersão entre temperatura e profundidade do poço, data de medição 05/09/2017	50
Gráfico 3: Coeficiente de dispersão entre temperatura e nível freático em 01/07/2016	51
Gráfico 4: Coeficiente de dispersão entre temperatura e nível freático em 05/09/2017	51
Gráfico 5: Coeficiente de correlação de Pearson para temperatura e altitude, em 01/07/2016	52
Gráfico 6: Coeficiente de correlação de Pearson para temperatura e altitude, em 05/09/2017	53
Gráfico 7: Coeficiente de Correlação de Pearson para nível freático e profundidade, data da medição 01/07/2016	54
Gráfico 8: Coeficiente de Correlação de Pearson para nível freático e profundidade, data da medição 05/09/2017	54
Gráfico 9: Coeficiente de Correlação de Pearson para nível e altitude em 01/07/2016	55
Gráfico 10: Coeficiente de Correlação de Pearson para nível e altitude em 05/09/2017	55

Lista de Tabelas

Tabela 1: Divisão em classes de intensidade do Coeficiente de Correlação de Pearson.....	39
Tabela 2: Valores estatísticos de média, variância e desvio padrão.	42
Tabela 3: r de Pearson para variáveis correlacionadas	48

Sumário

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	13
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1. TEMPERATURA	14
3.2. CICLO HIDROLÓGICO E BACIA HIDROGRÁFICA	15
3.3. AQUÍFEROS E O SISTEMA AQUÍFERO BAURU (SAB)	17
3.4. MONITORAMENTO FREÁTICO	19
3.5. SIG (SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA) E MAPEAMENTO	20
3.6. UGRHIS E O MÉDIO PARANAPANEMA (UGRHI-17)	23
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	26
5. MATERIAIS E MÉTODOS	31
5.1. REDE DE MONITORAMENTO	31
5.2. MONITORAMENTO DE NÍVEL FREÁTICO	33
5.3. MEDIÇÃO DE TEMPERATURA	34
5.4. CONSTRUÇÃO DO BANCO DE DADOS	36
5.5. CONSTRUÇÃO DOS MAPAS	37
5.6. COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON	39
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
6.1. INTERPOLAÇÃO DAS VARIÁVEIS E MAPEAMENTOS	43
6.2. COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON E GRÁFICOS DE DISPERSÃO	48
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
APÊNDICE 1	62

1. INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas representam um recurso de extrema importância política e administrativa, pois é essencial para o desenvolvimento de diferentes setores dentro das cidades. Sua presença se faz necessária desde o abastecimento residencial, até em usos industriais e agropecuários. Dotada então de grande valorização social e econômica, água significa possuir chances de desenvolvimento. Ao realizar uma revisão de alguns períodos históricos pode-se destacar um apanhado de batalhas entre diferentes povos e civilizações, que tiveram como origem de conflito a disputa pela posse de determinado recurso hídrico, por exemplo as batalhas entre o norte e o sul do Sudão, que são cortados pelo rio Nilo, iniciados em 1963 e que se arrastam até hoje, totalizando milhares de vítimas (ASSIS, 2008).

Mas a presença de água não é suficiente, pois seu potencial pode se tornar bastante limitado quando este é mal administrado. Por se tratar de um composto químico muito delicado, pois se trata do tão popularmente conhecido “solvente universal”, nascentes e córregos podem ser facilmente contaminados e ter seu uso comprometido caso uma série de cuidados não forem tomados para sua manutenção e preservação. A aplicação de agrotóxicos em larga escala sem qualquer tipo de monitoramento é um exemplo de risco que pode colocar em xeque a qualidade das águas. Da mesma forma a degradação e o desmatamento de matas ciliares geram o assoreamento dos córregos e prejudicam o fluxo das águas. Principalmente resíduos químicos industriais lançados em corpos hídricos sem o devido tratamento, podem tornar impróprio ao contato humano um rio que antes atendia aos padrões de qualidade satisfatórios para o consumo humano e/ou animal.

A Resolução 357/2005 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) estabelece as classes de qualidade para as águas doces, salobras e salinas. Tais classes de qualidade variam de 1 a 4 em níveis crescentes de poluição e degradação, sendo qualidade 1 águas com menores índices de contaminantes com uma maior variabilidade de usos e aplicações incluindo o abastecimento humano, e águas de classe 4 apresentam os maiores níveis de poluição, não sendo recomendado seu uso pra nada além de navegação

ou harmonia paisagística. Também existem as classes especiais que compreendem águas findadas à preservação e equilíbrio natural de comunidades aquáticas e preservação de ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral. Esta classe pode atender ao abastecimento humano, desde que realizada a devida desinfecção.

Por esses e diversos outros fatores a sociedade necessita voltar seu olhar para os recursos hídricos e valorizar uma boa gestão desse bem, assim como compreender as dinâmicas presentes em cada bacia hidrográfica e suas peculiaridades.

Segundo à Agência Nacional de Águas (ANA), existem diferentes parâmetros para se constatar a qualidade da água, os mais utilizados são Turbidez, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Temperatura da água, Nitrogênio total, Oxigênio Dissolvido, Coliformes Termotolerantes, Potencial hidrogenionico (pH), Fósforo total e Resíduo total (ANA,2017).

A temperatura influencia vários parâmetros físico-químicos, tais como a tensão superficial e a viscosidade.

A variação de temperatura é um fator limitante para a vida e reprodução de microrganismos na água, pois pode acelerar ou cessar suas atividades em diferentes intervalos térmicos. Os organismos aquáticos são afetados por temperaturas fora de seus limites de tolerância térmica, o que causa impactos sobre seu crescimento e reprodução (ANA, 2017). Em águas superficiais a principal fonte para obtenção de calor é a radiação solar direta, que aquece o espelho d'água. Para águas subterrâneas tem-se principalmente duas fontes de calor, a radiação solar que aquece o solo e essa energia é transferida para o aquífero através da infiltração de águas pluviais; a segunda é o gradiente geotermal, que no Brasil apresenta uma média de 30m/°C podendo apresentar anomalias em algumas regiões, originando fontes termais.

Buscando entender como a temperatura das águas subterrâneas varia em uma área sem perturbações antrópicas no Sistema Aquífero Bauru (SAB), realizou-se um levantamento dessa variável na Estação Ecológica de Águas de Santa Bárbara (EEcSB). A EEcSB é contornada pelo Rio Capão Rico e pelo Rio Capivari, os Ribeirões do Bugre, Passarinho, Santana, Boi e Guarantã possuem suas cabeceiras localizadas dentro dos limites da reserva

ecológica que faz parte unidade hidrográfica do Pardo, que integra bacia hidrográfica do Rio Paranapanema UGRH-17. Esta região foi escolhida devido a suas condições de preservação e por se tratar de uma área de recarga direta do SAB, com respostas mais rápidas as condicionantes meteorológicas (pluviais e térmicas), favorecendo a medição e captação de dados como o nível do aquífero. Para isso utilizou-se uma rede de monitoramento estabelecida dentro dos limites da EECSB que conta com 56 poços, distribuídos geograficamente, afim de representar as ocorrências de recarga e temperatura do aquífero raso. Realizar um mapeamento térmico dos poços instalados no SAB presentes na EECSB nos permite entender melhor a dinâmica de recarga presente na área de estudo.

2. OBJETIVOS

Os trabalhos exercidos durante o período de execução da presente pesquisa, buscaram examinar em campo as condições de manejo e preservação que se encontram os recursos hídricos dentro da EEcSB, com maior enfoque nas águas subterrâneas diferentes parâmetros foram analisados, tais como temperatura, nível freático e profundidade dos poços de monitoramento. Ao longo do trabalho buscou-se entender as variações de temperatura e identificar a possibilidade de existência de impacto desta sobre as demais variáveis devido a sua sazonalidade e interação com fatores climáticos.

Com a implantação dos piezômetros em diferentes pontos da EEcSB, o presente estudo procurou a partir da coleta de dados a campo atingir os seguintes objetivos específicos:

- Desempenhar visitas mensais à Estação Ecológica (EEcSB), para coleta de dados e realização de manutenções necessárias à rede de monitoramento, para manter suas plenas funções viabilizando seu uso para procedimentos posteriores;

- Realizar um mapeamento térmico das águas subterrâneas na área de influência das cinco microbacias (Passarinho, Bugre, Boi, Garantã e Santana), que possuem suas cabeceiras dentro dos limites territoriais da EEcSB;

- Elaborar mapas de variáveis auxiliares, tais como nível freático, profundidade e altitude que auxiliem na interpretação dos mapas de temperatura;

- Calcular estatísticas que evidenciem o grau de correlação entre essas variáveis;

- Construir gráficos de dispersão capaz de ordenar as variáveis destacando possível existência de correlação linear entre as mesmas; e

- Comparar os resultados obtidos com as análises da temperatura com outras variáveis físicas como nível freático, profundidade dos poços e altimetria.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Visando uma teorização dos conceitos, assim com a aplicabilidade dos mesmos na pesquisa exercida, se faz necessário a execução de uma revisão bibliográfica que seja capaz de esclarecer e embasar os capítulos seguintes do trabalho para que não haja divergências de interpretação.

3.1. Temperatura das águas subterrâneas

A temperatura é uma grandeza física capaz de quantificar a quantidade de calor em algum corpo, objeto ou até mesmo no ambiente. É considerada um fator limitante para a vida em qualquer meio, pois diferentes tipos de seres vivos reagem de formas diversificadas a esta variável. De forma geral todos os seres vivos possuem uma amplitude térmica considerada ideal para sua sobrevivência (pleno funcionamento das atividades metabólicas) e reprodução.

Assim como na vida dos seres vivos, a temperatura também influencia diretamente no ciclo hidrológico e na dinâmica da água com o meio. Um exemplo disso é a capacidade de vapor de água que o ar pode conter, essa relação é quase exponencial, pois um certo volume de ar é capaz de conter uma quantidade específica de vapor de água de acordo com sua temperatura, temos então com o aumento da temperatura uma maior capacidade de retenção de vapor (TUCCI, 2007).

Encontrada também em sua forma líquida no meio, quando a temperatura registrada estiver acima de 0°C (temperatura que estabelece seu ponto de fusão), à água é diretamente afetada pela variável em questão, a solubilidade dos gases e suas características físicas e químicas, e a própria densidade da água é afeta por sua temperatura (MANZIONE, 2015).

A energia necessária para a realização do ciclo hidrológico é adquirida em grande parte pela radiação solar, responsável por aquecer os oceanos e gerar a evaporação de um número incontável de moléculas de água, que futuramente irão retornar aos oceanos e também precipitar sobre os continentes na forma de chuvas e assim passam a infiltrar no solo e a escoar pela superfície dos mesmos (LEINZ; AMARAL, 2003).

Temos então a energia, obtida pela radiação solar, que por sua vez é responsável por aquecer os gases na atmosfera terrestre e gerar um aumento na temperatura, como a força motriz do ciclo hidrológico.

Quase toda a água subterrânea existente na Terra tem origem no ciclo hidrológico, isto é, no sistema pelo qual a natureza faz a água circular do oceano para a atmosfera e daí para os continentes, de onde ela retorna, superficial e subterraneamente, ao oceano (FEITOSA, 2008, p.53).

Segundo Nielsen e Nielsen (2006), a temperatura anual média do aquífero raso é relativamente próxima da temperatura média anual da localidade onde se encontra, com valores podendo variar em menos 2°C.

3.2. Ciclo Hidrológico e bacia hidrográfica

Em constante e complexa movimentação pelo planeta, a água é um recurso vital para a sobrevivência de praticamente toda fauna e flora existente. Estudar os caminhos percorridos pela água é compreender toda a dinâmica à qual a mesma foi imposta.

O fenômeno conhecido como ciclo hidrológico, ou ciclo da água, expõe o funcionamento da recirculação da água pela Terra, que atua em escala global (ciclo fechado) e em escala regional (ciclo aberto). Em escala global o ciclo hidrológico atua de modo fechado pois não existe entrada de novas água para o sistema, nem a perda da água existente para fora do planeta. Já em termos de escala regional pode sim existir maior entrada de água em alguns períodos, como o aumento das chuvas, assim como também podem ocorrer período de ressecação onde a diminuição dos níveis pluviométricos e aumento da evaporação acarretam em menores quantidades de água no sistema regional, justificando então a atuação do ciclo como um fenômeno fechado (MANZIONE, 2015).

Como pode-se notar na Figura 1, a mesma água que evapora dos oceanos, que são os grandes responsáveis por moderar o clima, é aquela que condensa na atmosfera dando origem as nuvens que, quando saturadas, precipitam sobre o solo gerando escoamento superficial e infiltração, que abastecem respectivamente os corpos hídricos superficiais e os aquíferos.

Os aquíferos, por sua vez, também abastecem os rios que acabarão se encontrando com os oceanos, reiniciando a circulação da água dentro do ciclo hidrológico. É importante lembrar que a atuação do ciclo hidrológico não se dá de maneira tão restrita como foi descrito acima, pois é apenas uma exemplificação do processo, o sistema de recirculação de água é muito mais dinâmico em todos os seus estágios.

Figura 1: Esquematisação do Ciclo Hidrológico



Fonte: Adaptado de USGS (United States Geological Survey)

A bacia hidrográfica é onde os processos do ciclo hidrológico ocorrem em escala local, regional e até mesmo global. Definindo rapidamente bacia hidrográfica, compreende-se que ela é a parcela do terreno responsável por captar a água que realiza o abastecimento dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos em uma região.

A formação das bacias hidrográficas é originada pelos desníveis nos terrenos que proporcionam as águas pluviométricas diferentes destinações. Com as precipitações, a água que impacta sobre as copas das árvores e os solos tende a escoar para zonas mais baixas graças a ação da gravidade aliada as declividades do terreno. Parte dessa água, quando encontra solo

suficientemente permeável, dá início ao processo de percolação onde irá se infiltrar até atingir uma camada rochosa impermeável, gerando zonas de saturação.

Essas zonas saturadas são as responsáveis por abastecer as nascentes encontradas geralmente em fundos de vale ou regiões de afloramento do aquífero.

As bacias hidrográficas são áreas delimitadas topograficamente, onde o escoamento superficial em qualquer ponto do terreno irá convergir para o exutório. Bacias hidrográficas são responsáveis pela captação e drenagem das águas pluviométricas para abastecimento dos reservatórios subterrâneos.

3.3. Aquíferos e o Sistema Aquífero Bauru (SAB)

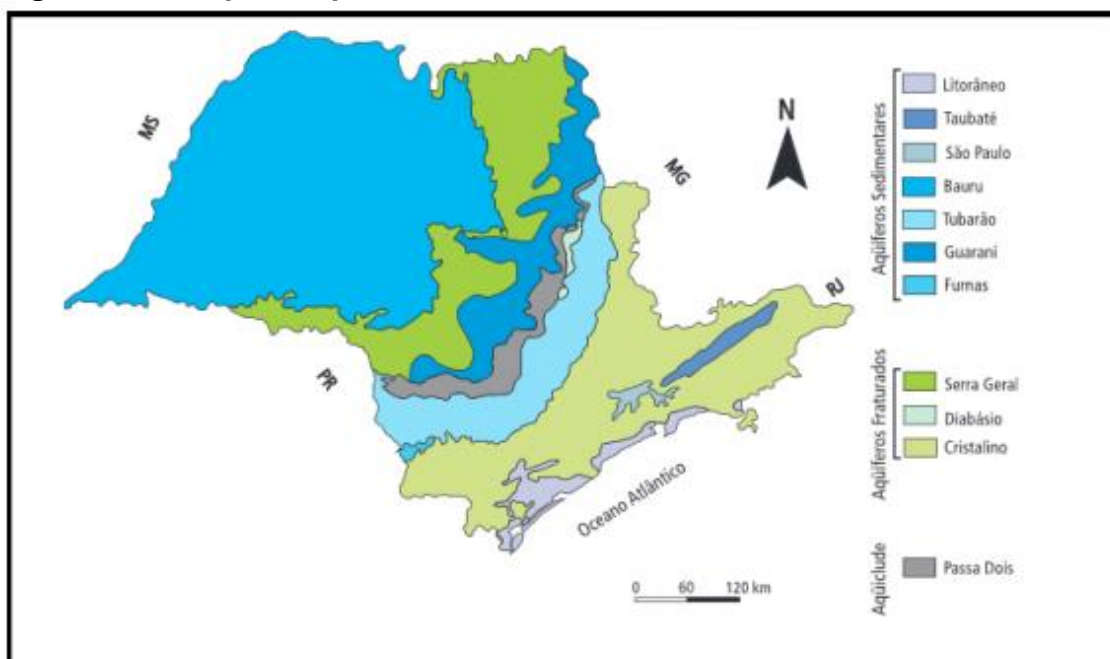
O ciclo hidrológico é o grande responsável por manter os aquíferos, o abastecimento dos mesmos se dá graças as águas meteóricas, chuvas que com ocorrências regulares geram a infiltração, também é absorvida pelas plantas, escoam até os rios e uma parcela evapora retornando a atmosfera na forma de gases.

A água da chuva pode ter vários destinos após atingir a superfície da Terra. Inicialmente uma parte se infiltra. Quando o solo atinge seu ponto de saturação, ficando encharcado, a água passa a escorrer sobre a superfície em direção aos vales. Dependendo da temperatura ambiente, uma parte da chuva volta à atmosfera em forma de vapor. A parcela da água que se infiltra vai dar origem à água subterrânea, que constitui 99,6% de toda a água doce disponível na Terra (DINIZ, 2014, p.44)

Os aquíferos são formações geológicas com capacidade de reter quantidades significativas de água, isso se dá graças a porosidade presente em sua estrutura rochosa. Além dos poros responsáveis pelo armazenamento hídrico, é necessário que exista permeabilidade suficiente para que a água possa percolar até atingir a camada impermeável, também conhecida como camada confinante, onde então sobre esta se originam as zonas saturadas. Em relação às suas características hidráulicas, eles podem ser classificados em “Aquífero Não Confinado” (Freático ou Livre) e “Aquífero Confinado” quando localizado abaixo da camada rochosa confinante (HYPOLITO, 2011).

Os estudos deste trabalho foram realizados no SAB, que pode ser considerado um aquífero não confinado, raso, ou livre, por estar situado sobre a camada impermeável. Na Figura 2 é possível estão retratados os principais aquíferos que ocupam o território do estado de São Paulo, sua espacialização está ordenada por localização geográfica e são divididos em três grupos, estes são Aquíferos sedimentares, Aquíferos fraturados e Aquíclude, cada grupo com seus diferentes aquíferos são representados por diferentes colorações.

Figura 2: Principais Aquíferos do Estado de São Paulo



Fonte: Iritani e Ezaki, (2012).

O segmento preenchido com a coloração azul na porção superior esquerda do estado de São Paulo se trata da área de atuação do Aquífero Bauru, como pode-se perceber, este aquífero corresponde a quase metade do estado, com responsabilidade de abastecer cerca de 240 municípios paulistas (MANZIONE, 2015).

O Sistema Aquífero Bauru está incluso no grupo dos aquíferos sedimentares, em sua formação se encontram rochas areno-argilosas e rochas sedimentares dos Grupos Bauru e Caiuá, ocupa quase que a totalidade da porção oeste do Estado de São Paulo.

Estas rochas sedimentares do SAB estão situadas sobre a Formação Serra Geral composta por basaltos, apresenta sua totalidade uma área aflorante que garante ao mesmo as características de aquífero livre. Sua produtividade é considerada de média a alta, com frequente aplicação no abastecimento de cidades, de modo geral a qualidade da água presente nesta composição hidrogeológica é boa, tal fator justifica o abastecimento de cerca de 240 municípios do interior do Estado de São Paulo, entre eles estão Araçatuba, Marília e Presidente Prudente.

Por se tratar de um aquífero livre, existe altas chances do Sistema Aquífero Bauru ser contaminado por descartes inadequados de resíduos poluentes, devido a recarga do mesmo ser realizado em toda sua extensão que corresponde a 96.900km². Outro fator que proporciona o alto consumo desse recurso hídrico é a fácil exploração e obtenção de água, devido à pouca profundidade do aquífero (SILVA et al.2005).

O SAB tem sua formação constituída pelo agrupamento dos aquíferos Marília, Adamantina, Birigui, Santo Anastácio e Caiuá, e os aquíferos Araçatuba e Pirapozinho. Nos limites da EECsB há o predomínio das características do aquífero Adamantina, com comportamento de aquífero livre à semiconfinado (SANTAROSA, 2016).

3.4. Monitoramento Freático

A execução de um monitoramento das águas subterrâneas é o instrumento principal para avaliar as condições desse recurso natural, pois melhores tomadas de decisões podem ser realizadas com as informações que o monitoramento pode fornecer, tanto no âmbito preventivo quanto proativo, buscando o uso sustentável para que se possa perdurar a qualidade e quantidade desse meio natural (MANZIONE, 2015).

Entre as funções de um bom monitoramento de águas subterrâneas se tem a coleta de dados, armazenamento, análise e interpretação dos dados. Os dois tipos de monitoramento que podem ser exercidos são quantitativos e qualitativos, cada qual com sua diferente perspectiva e análise.

Os monitoramentos qualitativos, como o nome já sugere, são voltados para análises das características de qualidade da água, assim como para a avaliação de riscos de contaminação, causas, extensão dos danos, origem

dos contaminantes e diagnósticos. Já os monitoramentos de ordem quantitativa visam avaliar os níveis freáticos buscando entender a recarga do aquífero, sua vazão, capacidade de armazenamento e suas variações sazonais.

Para a implantação de uma rede de monitoramento de águas subterrâneas é imprescindível que haja uma série de visitas a área destinada a receber o monitoramento, afim de avaliar os melhores pontos de coletas de dados buscando maior representatividade das condições do meio, para isso os poços que constituem a rede de monitoramento devem estar especializados e ordenados.

Um bom programa de monitoramento irá incluir o planejamento, execução, interpretação, avaliação e reavaliação da eficiência do programa” (MESTRINHO, 2008).

A rede de monitoramento instalada na Estação Ecológica de Águas de Santa Bárbara conta com 56 poços de monitoramento (piezômetros) que são capazes de fornecer informações sobre o nível freático, temperatura, profundidade, altitude em diferentes pontos do Aquífero Bauru, englobando as cinco microbacias inseridas na EEcoSB, “utilizados para medição ou verificação de parâmetros de qualidade/quantidade das águas subterrâneas, em frequência definida” (HYPOLITO, 2011, p.191), dispersos geograficamente afim de amostrar a realidade hidrológica subterrânea da área de estudo, a rede de monitoramento também conta com uma estação climatológica automática. Em síntese, as redes de monitoramentos têm a finalidade de proporcionar conhecimento sobre os sistemas aquíferos, caracterizando os mesmos espacial e temporalmente.

3.5. SIG (Sistema de Informação Geográfica) e mapeamento

É de grande dificuldade abordar temas relacionados a geoestatística, mapeamento e gestão de recursos hídricos sem a utilização da geoinformação, pois tudo o que acontece, acontece em algum lugar e saber trabalhar com diferentes variáveis conseguindo entender a influência que elas exercem sobre o meio onde estão inseridas, ou a influência que o meio exerce sobre elas, é fator fundamental que pode definir tomadas de decisões importantes e poupar gastos de recursos de maneira desnecessária.

Os “SIG’s” (Sistema de Informação Geográfica), podem ser definidos como um conjunto de procedimentos, manuais ou automatizados, capazes de armazenar, manipular e processar informações georreferenciadas (ARONOFF, 1985).

Para compreender o funcionamento de um SIG é necessário realizar sua divisão em cinco segmentos básicos:

- Hardware: são os aparelhos físicos, computadores, notebooks, ferramentas, equipamentos que viabilizaram a execução do trabalho;

- Software: componentes lógicos inseridos nos computadores que proporcionarão o processamento dos arquivos e dados destinados à análise, são basicamente os programas utilizados. Entre as plataformas mais utilizadas estão os softwares ArcGis, QuantumGis, Spring, Terra View entre outros que compreendem os mais distintos usos e aplicações;

- Liveware: neste segmento compreende os recursos humanos, as pessoas responsáveis pelo processamento das informações e união de todos os outros segmentos. Para o bom funcionamento do liveware é preciso que a pessoa responsável pelo uso dos softwares tenha conhecimento das metodologias e procedimentos que a mesma aplica sobre seus dados, pois a administração errada desses recursos pode invalidar todo o trabalho e por consequência o seu resultado final, pela construção e informações que não correspondem à realidade. Então o liveware tem que ser dotado de conhecimento sobre as operações a serem realizadas para cumprir os objetivos pretendidos;

- Dados/Informações: conjunto de conhecimentos sobre algo, ou algum local. Os dados e informações nos SIG’s possuem coordenadas geográficas que os relacionam ao local onde essas informações estão presentes, ou seja, são dados geoespaciais, pois estão associados a uma região específica dentro de um plano cartográfico;

O início da utilização dos SIGs para a compreensão das dinâmicas do meio e a consequente tomada de decisões é datada desde os anos sessenta:

As primeiras aplicações dos SIGs ocorreram no início dos anos sessenta do século XX e buscavam soluções para os problemas de gerenciamento de dados espaciais

georreferenciados, relativos ao uso da terra, dos recursos naturais e das análises ambientais (SILVA, 2006, p. 15).

Ainda hoje em pleno funcionamento e expansão, os SIG's se tornam cada vez mais populares, e isso se deve ao fato de que são plataformas interativas que não são limitadas à trabalho com dimensões locais, atendendo a trabalhos em escala municipal até mesmo em projetos maiores com dimensões continentais. Outro fator que justifica a sua popularização no meio científico, profissional e acadêmico é a multidisciplinariedade que os SIGs são capazes de abranger, os softwares operam os projetos divididos por camadas (layers) e com isso um único trabalho realizado no SIG pode fornecer um maior leque de informações sobre a região em estudo.

Os mapeamentos sempre acompanharam o desenvolvimento da humanidade, desde os babilônicos, até as grandes expedições marinhas o homem buscou de alguma forma representaram e registrar tanto a descoberta de novos lugares quanto a região que vivia.

Mapear é realizar o registro gráfico de um conjunto de informação, com um sentido organizacional para que terceiros possam interpretar e extrair as informações que o autor transpassou para seu mapa. Inicialmente atendiam a finalidade de localização para os povos primitivos, mas com o passar do tempo e o avanço das técnicas de mapeamento, os mapas passaram a ser utilizados para fins estratégicos e militares, tornando-se ferramentas poderosas de diferentes exércitos.

Para os cartógrafos, o mapa é uma representação da superfície da Terra conservando com esta relações matematicamente de redução, localização e de projeção no plano. Sobre um mapa-base, assim obtido, pode-se representar uma série de informações, escolhidas por interesses ou necessidades das mais diversas ordens: política, econômica, militar, científica, educacional etc. (ALMEIDA, 2009, p. 7).

Os mapas são uma expressão reduzida de uma porção definida do real, a função dos mapas é compilar estudos técnicos e teóricos, traduzindo-os para simbologias gráficas atreladas a coordenadas que remetem a sua localização sobre uma projeção cartográfica. Mapear a atuação das águas

subterrâneas entender sua dinâmica é essência para a gestão e preservação desse recurso.

3.6. UGRHIs e o Médio Paranapanema (UGRHI-17)

Em 27 de dezembro de 1994, com a criação da LEI 9.034, o Estado de São Paulo passou a ser dividido em 22 UGRHI (Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos), delimitadas a partir do conceito de bacias hidrográficas. Entre os objetivos gerais desta lei, se tinha o melhor manejo e gestão dos recursos hídricos pela divisão dos mesmos em unidades de gerenciamento, formada pelas cidades que integram suas respectivas bacias hidrográficas.

Além da gestão preservativa dos corpos hídricos, visando seu uso com menor degradação, a lei prevê a melhora das condições em que os mesmos se encontram a partir da realização de projetos integrados de utilização, regularização, conservação, proteção e recuperação da qualidade dos recursos hídricos.

Como forma de avaliar o desenvolvimento das ações realizadas por cada UGRHI, a legislação impõe a elaboração de um relatório anual que deve ser emitido por cada unidade de gerenciamento, esclarecendo a situação dos recursos hídricos em sua bacia hidrográfica.

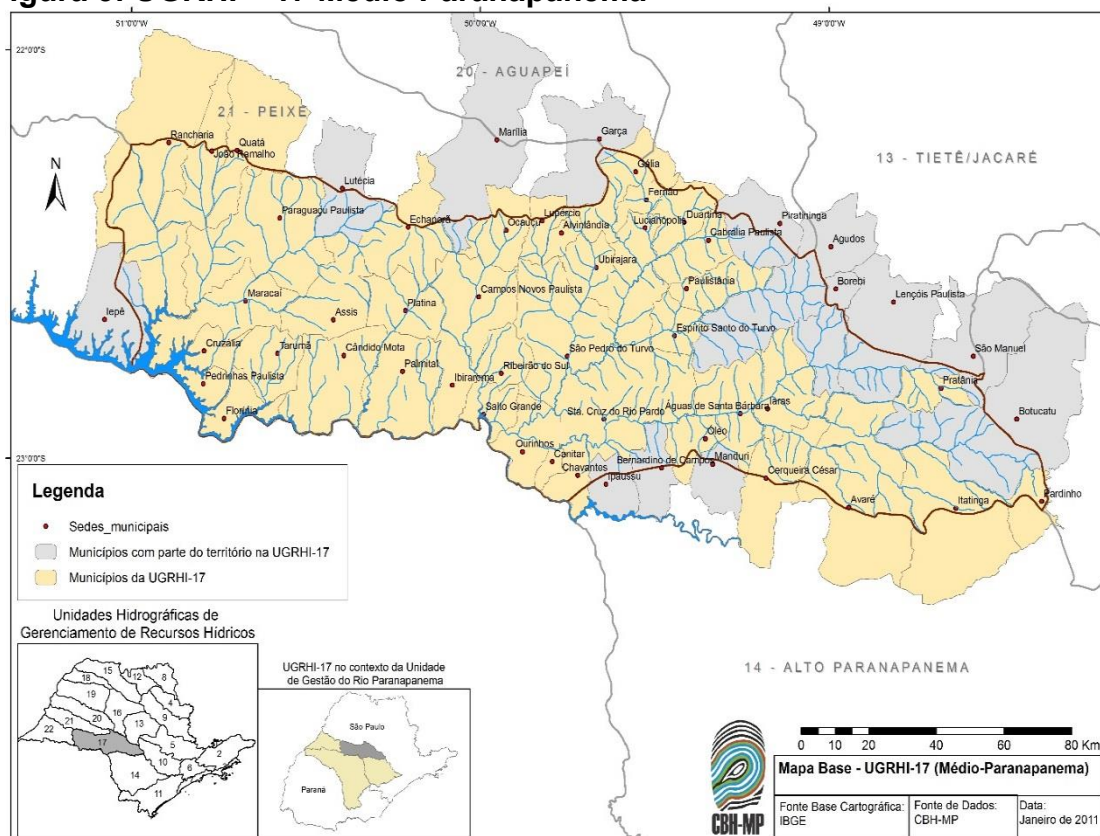
Entre as pautas indispensáveis deste relatório estão: balanço entre disponibilidade e demanda de recursos hídricos, com indicação das bacias hidrográficas críticas, em termos quantitativos e qualitativos; ocorrência de eventos hidrológicos críticos como inundações, estiagens, chuvas intensas que provoquem escorregamentos de solo e avaliação dos respectivos prejuízos; demandas para o abastecimento público, industrial e irrigação, com discriminação das outorgas de uso e licenças concedidas; demandas consultivas para geração hidrelétrica, navegação fluvial, recreação e outras; e anexos com documentação técnica, jurídica e administrativa suficiente para instruir a aprovação do relatório.

Ao todo, são 22 UGRHI responsáveis pelo monitoramento, gestão e manejo dos recursos hídricos do estado de São Paulo. Com destaque para a UGRHI-17 Médio Paranapanema, onde está situada a região onde os estudos desta pesquisa foram exercidos.

A UGRHI-17 possui uma extensão territorial de aproximadamente 16.749 Km², agregando sob sua administração corpos hídricos com grande expressão dentro do estado, sendo eles os rios Pardo, Turvo, Novo, Pari e Capivara. O Rio Paranapanema, que nomeia esta unidade de gerenciamento, por estar entre divisas interestaduais (São Paulo e Paraná), é classificado como de domínio da união, sendo assim do Governo Federal a responsabilidade de seu gerenciamento, no que tange os aspectos qualitativos e quantitativos. Para esta tarefa, foi aprovado ano de 2010 pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), a criação do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paranapanema, administrado pelos estados de São Paulo e Paraná (CBH-MP, 2017).

Na composição da UGRHI-17 presente na Figura 3, contabiliza-se um total de 42 municípios, todos com sede administrativa integrantes da área de abrangência da mesma bacia hidrográfica.

Figura 3: UGRHI – 17 Médio Paranapanema



Fonte: cbhmp.org/ugrhi-17/ (2011).

Estão representados no mapa pela coloração cinza os municípios que possuem apenas parte do território inserido na UGRHI-17, e na cor

amarelada aqueles com total inserção da sede administrativa na unidade de gerenciamento.

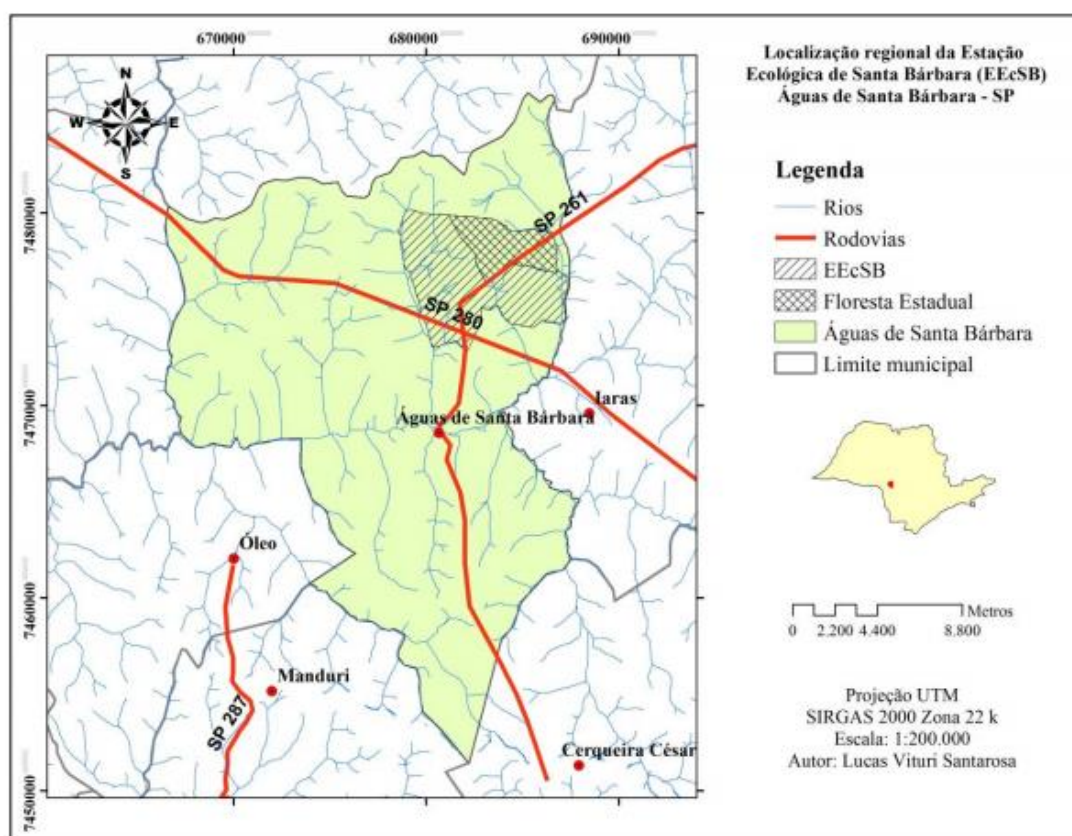
Esta unidade de gerenciamento caracteriza-se principalmente pela atividade agropecuária, responsável por utilizar 54,9% de todo o território com pastagens, o segundo uso da terra com maior percentual é dado pela presença de culturas temporárias com 14,8%, seguida de culturas semi-perenes com 13,6%. Áreas de reflorestamento e Cobertura vegetal nativa corresponde a 4,8% e 6,2% respectivamente, outros usos da terra tem atuação de 2,5%, e por fim com menor percentual de uso e ocupação está a área urbana com apenas 1% do percentual de toda bacia hidrográfica (CBH-MP, 2017).

Com maior expressividade no âmbito agrícola e pecuário, a UGRH-17 mostra-se extremamente vulnerável ambientalmente em relação ao risco de contaminação do solo, isso ocorre devido a vasta aplicação que agrotóxicos e outros componentes químicos que as atividades comerciais presentes na região fazem uso.

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Os dados para a realização dessa pesquisa foram obtidos em visitas de campo realizadas na Estação Ecológica de Santa Bárbara (EEcSB), localizada a latitude 24°48' Sul e longitude 49°13' Oeste, no município de Águas de Santa Bárbara/SP (Figura 4). A área está legalmente amparada pelo Decreto 22.337 de 07 de junho de 1984, onde está prevista a sua constituição e delimitação com área de aproximadamente 4.371 hectares, inseridos na Floresta Estadual de Santa Bárbara, sendo dessa área 2.712 hectares de vegetação nativa com a presença de brejos, mata de galeria e cerrado, ainda conta com talhões de pinus e eucaliptos, espécies inicialmente destinadas para o reflorestamento (SANTAROSA, 2016).

Figura 4: Localização regional da Estação Ecológica de Águas de Santa Bárbara (EEcSB) Águas de Santa Bárbara - SP



Fonte: SANTAROSA (2016).

Com subsídios do Governo do Estado de São Paulo e sob os cuidados do Instituto Florestal, a EEcSB possui amplitude de altitude entre 600 à 680m. Seu relevo pode ser classificado com colinas amplas, com clima quente e inverno seco. Segundo dados do Melo e Durigan (2011) seguindo a classificação de Koeppen, o clima é quente com inverno seco, a temperatura média do mês mais frio é 16°C, e para o mês mais quente se tem média de 23°C, evidenciando então uma amplitude térmica média de 7°C ao longo do ano.

O solo da região é representando como latossolo vermelho amarelo em fase arenosa, caracterizado basicamente por Arenitos das Formações Adamantina e Marília, do grupo Bauru. Devido a essas características pedológicas, a área apresenta alta velocidade de resposta à carga pluvial, fator que beneficia a vegetação de cerrado com fisionomias distintas (campo sujo e cerradão), mas também ainda são encontrados resquícios da presença de pinus e eucaliptos que fazem uso do potencial hídrico disponível no solo.

No Brasil, esta espécie se desenvolve bem nas regiões com clima fresco e inverno frio, com disponibilidade constante de umidade durante o ano, em solo bem drenado, onde não haja déficit hídrico. Esta condição é encontrada em todo o planalto das regiões sul e sudeste, isto inclui as partes serranas do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, bem como as partes mais chuvosas do sul dos estados de São Paulo e Minas Gerais (EMBRAPA, 2005).

Atualmente a presença de *Pinus* encontra-se sob um regime de controle, para evitar sua proliferação, no intuito de restaurar a condição natural da flora dentro da estação ecológica, visto que essa cultura é heliófila e altamente competitiva. Ela se reproduz com facilidade e impede o desenvolvimento das demais espécies, principalmente a vegetação em nível rasteiro, pois o *Pinus* ao fazer a troca de sua folhagem forma uma camada bastante densa de folhas no solo ao seu redor, que em muitos pontos alcança até 30 centímetros de espessura, dificultando o desenvolvimento de outras plantas. A Figura 5 ilustra o uso da terra por *Pinus* na área da EEcSB.

Figura 5: Talhão de Pinus com árvores em diferentes estágios de desenvolvimento.

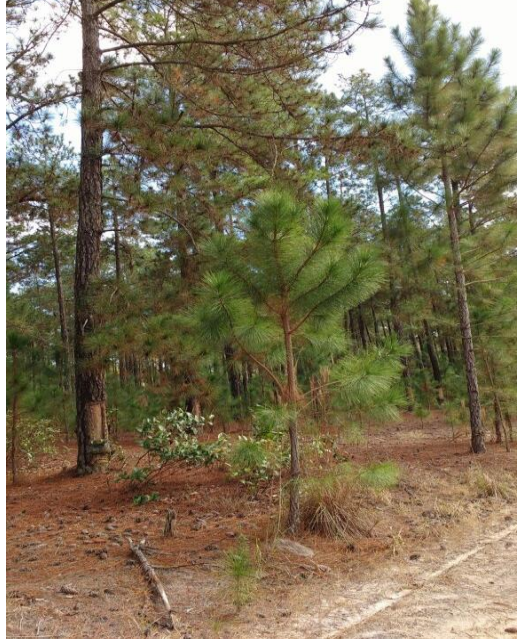


Foto: FAVARIN (2016).

Uma das medidas de controle usadas na EEcSB, foi a concessão de talhões de *Pinus* para exploração de sua madeira, que possui relativo valor comercial, e também a extração de sua resina, um material com alto valor agregado no mercado devido aos seus componentes terebintina e breu (rosina), material usado para confecção de adesivos, tintas de impressoras, borrachas sintéticas, adesivos, revestimentos de papel entre outras aplicações. A extração desse material se dá a partir da retirada parcial de sua casca na porção mais externa do tronco, seguida da fixação de um recipiente coletor onde o material será depositado (Figuras 6 e 7).

Figura 6 e 7: Talhão de Pinus em sua fase final desenvolvimento sob regime de extração resina (esquerda) e recipiente coletor de resina proveniente do tronco raspado da árvore (direita).



Foto: FAVARIN (2016).

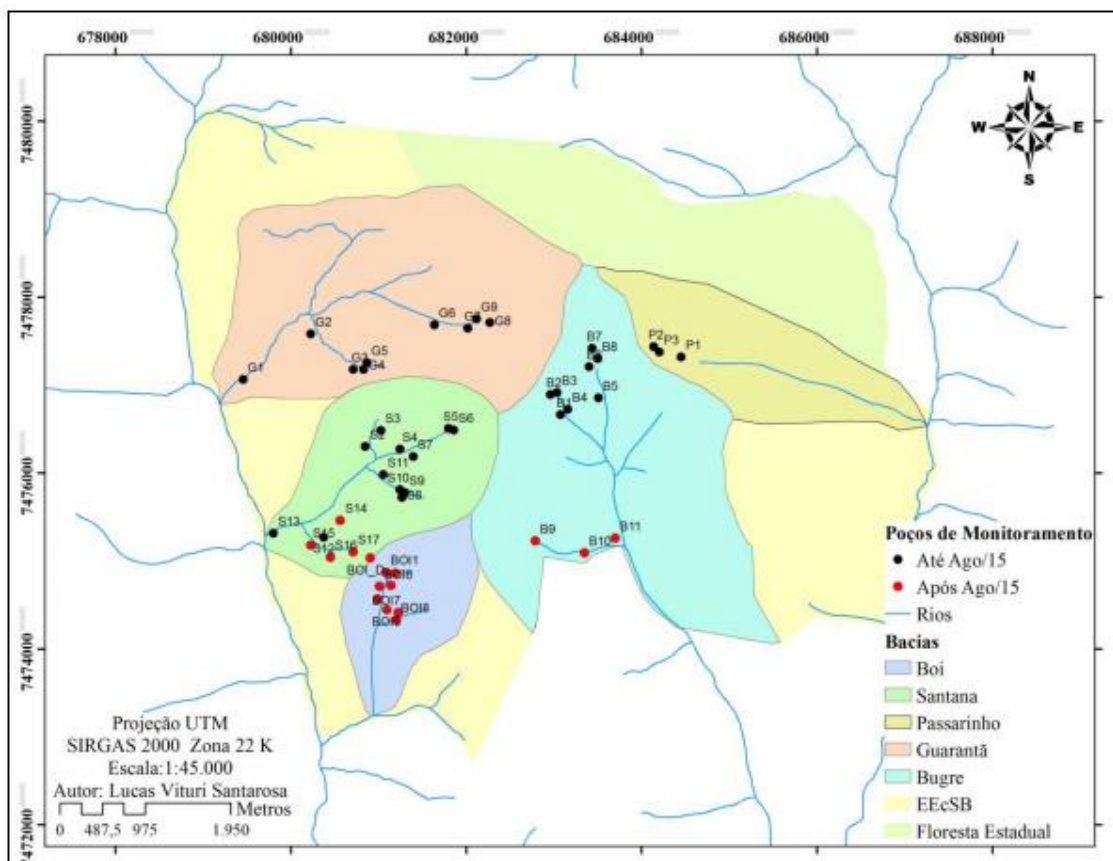
A mesma composição geológica e pedológica que atribui a região da EECSB a capacidade de ser um reservatório hídrico subterrâneo, também a torna vulnerável a contaminação de poluentes agrícolas e industriais. Graças a alta permeabilidade do solo e das rochas porosas presentes no grupo Bauru, resíduos químicos podem facilmente se infiltrar no aquífero com o auxílio da precipitação pluvial, ou se descartados de maneira inadequada podem alcançar corpos hídricos aumentando sua área de contaminação.

A EECSB teve a infraestrutura de pesquisa instalada como investimentos do projeto “Monitoramento de níveis freáticos no Sistema Aquífero Bauru em área de conservação em Águas de Santa Bárbara, SP” financiado pela FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – Processo: 2014/04524-7) sob responsabilidade do orientador dessa monografia o Prof. Dr. Rodrigo Lilla Manzione. Além de pesquisas voltadas para o estudo do SAB e os corpos hídricos presentes na EECSB, sua fauna e flora também são objetos de pesquisas por outros grupos e universidades nacionais e internacionais, com ênfase no bioma Cerrado.

Para atender a demanda dos projetos realizados, a EEcSB conta com conjunto de chalés para recepcionar e abrigar os pesquisadores durante a estadia e trabalhos de campo. Estas instalações proporcionam maior comodidade para campos que se estendem por mais de um dia, evitando deslocamentos desnecessários em busca de alojamentos e ainda proporcionam a troca de informações e interdisciplinaridade entre os pesquisadores que executam estudos sobre a região.

A EEcoSB é contornada pelo Rio Capão Rico e pelo Rio Capivari, os Ribeirões do Bugre, Passarinho, Santana, Boi e Garantã possuem suas cabeceiras localizadas dentro dos limites da reserva ecológica que faz parte unidade hidrográfica do Pardo, que integra bacia hidrográfica do Rio Paranapanema UGRH-17. Essas cinco microbacias, representadas na Figura 8, são mantidas pelo excedente hídrico do aquífero na EEcSB, podendo-se classificar seus rios como efluentes, ou seja, corpos hídricos que são abastecidos pelos aquíferos. Quando a situação oposta ocorre, o rio é responsável por fornecer água para o aquífero, estes são chamados de influentes (HYPOLITO, 2011).

Figura 8: Espacialização das microbacias presentes na EEcSB.



Fonte: SANTAROSA (2016).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Para se alcançar os objetivos propostos para este trabalho foi necessário, além da revisão bibliográfica dos conceitos mais utilizados, a formulação de metodologias que viabilizassem a execução das tarefas, permitindo a coleta de dados com maior grau de veracidade sem que houvesse distúrbios que pudessem invalidar a pesquisa exercida. Em cada etapa do trabalho, desde sua teoria até a aplicação prática da mesma em campo o embasamento teórico e normas técnicas estiveram em constante aplicação.

Todas as visitas realizadas mensalmente na Estação Ecológica de Santa Bárbara contaram com a participação do Prof. Dr. Rodrigo Lilla Manzione, ou em caso de sua ausência, com a participação do Técnico do Laboratório da UNESP/Ourinhos biólogo Jakson José Ferreira. O uso de material de segurança e proteção sempre foi obrigatório e esteve presente em todas as visitas de manutenção e coletas de dados na EEcSB. Entre esses materiais pode-se citar botinas de campo, botas impermeáveis, perneiras de segurança para picadas e cortes, camisetas de mangas compridas, uso de protetor solar e repelentes.

5.1. Rede de monitoramento

Os primeiros 49 poços tubulares destinados ao monitoramento do aquífero foram perfurados durante o segundo semestre de 2014, porém nem todos poços puderam ser aproveitados. Posteriormente no segundo semestre de 2015, tendo início em agosto, foram perfurados mais 16 poços.

Para a perfuração do solo e implementação da rede de monitoramento foi necessário o uso de um trato manual. Todos os poços tubulares foram perfurados até que se conseguisse constatar a presença do nível freático, que se dava pelo completo encharcamento da amostra de solo retirada na base do trado. O material de perfuração utilizado é conhecido como “trado holandês”, é confeccionado em aço inoxidável para permitir a retirada de amostras sem que haja sua contaminação pelo metal ou tintas de revestimento, sua “caçamba” é capaz de retirar amostras de solo, e com

mecanismo de hastes extensoras e travas para prolongar o alcance de perfuração do trado no solo.

Os pontos de monitoramentos, aqui chamados de piezômetros, são estruturas tubulares verticais subterrâneas responsáveis por medir a coluna de pressão da água em um conjunto de poços. Cada piezômetro instalado é constituído por duas paredes tubulares feitas de PVC (Policloreto de Vinila), material plástico destinado a fins hidráulicos, uma interna e subterrânea, de menor diâmetro com aproximadamente 25 mm, onde a água fica retida e são realizadas as medições de temperatura e nível do aquífero, mensalmente, sendo capazes de avaliar a oscilação e capacidade de recarga. A outra parede externa e superficial, de maior diâmetro com aproximadamente 75 mm, é destinada a isolar e proteger o tubo interno, além de servir como ponto referencial de altitude para as medições de nível. Os piezômetros contam com uma tampa em seu topo para evitar que animais e insetos se alojem no interior dos tubos, e também evita a evaporação contínua da recarga do aquífero.

Todos os piezômetros estão dispersos geograficamente dentro da EEcSB, com o intuito de cobrir diferentes pontos de interesse e assim melhor retratar as dinâmicas no aquífero. Para que não haja o desencontro de informações coletadas em campo, os piezômetros são nomeados ordenadamente de acordo com a microbacia onde estão inseridos (Boi, Bugre, Guarantã, Passarinhos e Santana) e seu entorno é identificado com fitas refletivas sinalizadoras para facilitar sua distinção dentro da vegetação nativa.

Por se tratar de uma estação ecológica, onde a mata nativa possui crescimento livre sem qualquer tipo de restrição, isso faz com que a identificação das áreas onde estão locados os piezômetros seja de difícil reconhecimento. As visitas para manutenção e coleta de dados ocorrem com intervalos médios de trinta dias, período suficiente para a vegetação recobrir qualquer ponto habituado aos olhos do observador, portanto o uso de fitas de identificação reflexivas as margens das estradas são de fundamental importância para a efetuação da coleta de dados e manutenção dos poços.

Com o auxílio de um dispositivo GPS (Sistema de Posicionamento Global), da marca Garmin linha eTrex disponibilizado pelo laboratório de

Geologia e Pedologia da UNESP/Ourinhos, foi possível realizar com precisão a coleta das coordenadas geográficas de cada poço de monitoramento, e conseqüentemente com essas informações foram geradas tabelas no software Excel com os atributos de cada poço e suas coordenadas, para que fossem exportadas e georreferenciadas no SIG Qgis (2.8.2 - Wien).

Ao todo, a rede de monitoramento contou com 56 piezômetros em pleno funcionamento capazes de fornecer informações sobre as variáveis de temperatura e nível freático. Estes equipamentos ainda se encontram em boas condições, podendo servir à próximas pesquisas que se instale nesta mesma área de estudo.

5.2. Monitoramento de nível freático

Examinar e medir o nível freático de cada piezômetro exige além de preparação técnica do indivíduo responsável por executar essa função, o uso de materiais precisos, que sejam capazes de constatar variações milimétricas no interior do piezômetro.

Para a medição de nível o aparelho utilizado durante toda a pesquisa foi um medidor de nível tipo carretel com sonda acoplada a ponta, da marca "Soilinst", modelo "SOL10230" (Figura 8 e 9). Este equipamento conta com uma sonda fixa na ponta da fita graduada, que ao entrar em contato com a água estabelece um circuito elétrico e dispara um sinal sonoro e luminoso no carretel carregado pelo responsável por aferir a medição. O instrumento de medição também possui um suporte plástico chamado de "cinta guia", que deve ser fixado na parte superior do poço tubular para obter maior precisão ao examinar a fita graduada e registrar o nível freático.

Figura 9 e 10: Medidor de Nível tipo carretel com sonda (SOL-10230); Medidor de nível instalado na parede externa do poço tubular.



Fonte: FAVARIN (2017).

As medições são realizadas pela fixação do carretel na parede externa do poço tubular, em seguida é encaixada a cinta guia onde é efetuada a medição do nível, a partir de então, o carretel pode ser destravado permitindo que a sonda desça até atingir o nível da recarga no interior do piezômetro. Ao entrar em contato com o nível d'água a sonda fecha um circuito elétrico e dispara um sinal luminoso e sonoro no carretel, permitindo que a medição seja realizada com precisão. A medição aferida é registrada em uma caderneta de campo e posteriormente repassada para o computador alimentando o banco de dados.

5.3. Medição de temperatura

Para a aquisição de dados a respeito da temperatura do nível freático do aquífero no interior dos piezômetros, foi implementado o uso de um aparelho específico para medições térmicas, neste caso um termômetro da marca "Windaus", modelo "6199 99002", digital do tipo espeto blindado, com fiação de 5 metros entre a sonda e o display digital (Figura 10). Neste aparelho a função de blindagem designa ao mesmo a capacidade ter sua

sonda submersa sem que haja qualquer tipo de dano em seus mecanismos, ou prejuízos a medição.

Figura 11: Termômetro tipo Espeto com display digital.



Foto: MANZIONE (2017).

Por se tratar de uma variável bastante delicada, para se obter maior precisão durante as coletas, é necessária uma preparação e uma sequência estipulada para o mesmo. Primeiramente é realizada a medição do nível freático, buscando estabelecer a qual profundidade a sonda térmica deve ser projetada. Com a introdução da sonda até sua total submersão na coluna d'água, sem permitir que a mesma toque no fundo do poço, para evitar interferência da temperatura do solo, deve-se esperar a total estabilização da temperatura mostrada no display do equipamento. Ao obter uma temperatura estabilizada, sem oscilações, pode-se então registrar os dados na caderneta de campo (Figura 11).

Figura 12: Medição de Temperatura no interior de um piezômetro.



Foto: MANZIONE (2017).

5.4. Construção do banco de dados

A construção de um banco de dados é fundamental para o armazenamento das informações, pois auxilia em futuras análises e organização das mesmas, servindo como um acervo disponível a consultas.

Considera-se aqui como dados as observações de campo em sua forma bruta e dissociado de outras referências. Com a união dos mesmos e sua sistematização esse conjunto de dados passa a ser chamado de informação, que por sua vez possuem referências com os demais dados, estando todos interligados gerando sentido.

O banco de dados obteve efetiva construção a partir da compilação dos dados brutos obtidos durante as campanhas de monitoramentos e medições realizadas em campo. Os dados brutos são organizados de acordo com o seu piezômetro de origem e catalogados em ordem crescente, do primeiro ao último piezômetro de cada bacia, com isso se estabelece um padrão lógico e cronológico das medições aferidas.

O software Microsoft Excel foi utilizado para organizar essas informações, todos os dados encontram-se classificados de acordo com o nome do poço tubulares de onde foram extraídos os dados, juntamente com suas coordenadas geográficas (projeção UTM SIRGAS 2000 Zona 22K), as características locais dos poços (profundidade e altitude), e as variáveis que sofrem interferências sazonais (temperatura e nível). Essas últimas informações se apresentam associadas as datas de suas relativas medições.

Como exemplificação do banco de dados elaborado durante a realização deste trabalho, uma planilha (Apêndice 1) foi inserida para viabilizar consultas e assim eliminar possíveis dúvidas.

5.5. Construção dos Mapas

Antes mesmo que se possa dar início a elaboração dos mapas, é necessário que se faça a escolha do software SIG que será utilizado. Por motivos de acessibilidade ao software e também pelo mesmo atender as necessidades que o próprio trabalho exigia, foi empregado uso do SIG Quantum GIS (Qgis), pois se trata de um plataforma livre, que não obriga o usuário/operador a comprar uma licença para sua disponibilização. Este software é capacitado a realizar as mesmas operações presentes no programa Arcgis, porém é totalmente gratuito e dispõe de layout totalmente em português.

Ao fazer uso de um SIG (Sistema de Informação Geográfica), mais especificamente do software Qgis em sua versão 2.8.2 – Wien os mapas passam a ser construídos em formato de camadas (layers), onde as informações relativas a cada camada são inseridas e tratadas uma de cada vez, atendendo a finalidade pretendida.

Para os mapas construídos neste trabalho, primeiro foram inseridos os arquivos em formato “*shapefile*”, referente aos limites de cada bacia hidrográfica. A partir da inserção desse arquivo no projeto do Qgis, suas coordenadas são ajustadas ao datum que será utilizado, juntamente com as coordenadas base do projeto para que todas informações que vierem a ser adicionadas sigam esta mesma projeção, evitando erros relacionados a ambiguidade de coordenadas.

Os piezômetros, juntamente com suas coordenadas geográficas e as informações de cada variável, só podem ser inseridos no projeto Qgis com a conversão de seu arquivo original de formato “.xls” ou “.xlsx”, para o formato “.csv”. Isso ocorre graças a especificação da nova camada que será inserida com o comando “*criar camada a partir de arquivo de texto delimitado*”, onde caracteres como vírgulas, pontos, não são capazes de desconfigurar as informações numéricas, ou desestruturas as colunas e linhas do arquivo recém inserido.

Com duas camadas já presentes no projeto de mapa, constando o arquivo “*shapefile*” com os limites das bacias hidrográficas estudadas, e os pontos que representam cada piezômetro disperso dentro da área de estudo, começa agora o processo de tratamento das informações.

Clicando no ícone nomeado “*Interpolação*” no cabeçalho do projeto, uma nova guia será aberta, nesta guia obrigatoriamente deve ser selecionado o arquivo que se deseja interpolar, neste caso a camada que contém informação sobre os piezômetros (.csv). Após selecionado o arquivo se deve escolher o atributo que será interpolado, ou seja, qual variável será utilizada para interpolação das informações. Com a variável selecionada, deve-se escolher o método de interpolação a ser utilizado. Para a confecção dos mapas do presente trabalho foi selecionado a metodologia de interpolação representada pela sigla IDW (*Inverse Distance Weighting Interpolation* ou Interpolação pela Ponderação do Inverso da Distância), pois esse método utiliza a informação de cada ponto e sua respectiva variação para construir um balanço da distribuição dos valores da variável analisada. Selecionado o método de interpolação, agora atribui-se a dimensão da nova camada que será criada no projeto, para isso se habilita a opção “Definir pela extensão atual”.

Gerada distribuição dos valores da variável na área de estudos, com o auxílio da ferramenta “*Extração*” que se encontra inserida na guia “*Raster*” na barra superior do Qgis, é selecionado a opção “*Cortador*”. Esta função é a responsável por realizar o recorte do contorno da interpolação feita pelo método IDW utilizando as dimensões da máscara inserida, no caso o contorno das microbacias em formato *shapefile*.

Enfim, a última etapa a ser realizada é a classificação da variável em classes e escolha da rampa de cores desejada, lembrando que cada rampa de cor tem o objetivo de retratar informações diferentes. Para representar uma única variável com valores de intensidade diferentes, foi escolhido a rampa espectral gradativa que tem sua cor alterada de acordo com a intensidade do atributo em sua divisão por classes.

Finalmente encerrado os procedimentos básicos para a elaboração dos mapas, resta a construção do layout integrando informações fundamentais como escala, legenda, fonte, rosa dos ventos e título que deixe explícito o que o mapeamento está representando.

5.6. Coeficiente de Correlação de Pearson

Conhecido como “coeficiente de correlação de Pearson” ou “r de Pearson” é uma maneira estatística de medir o grau de correlação linear entre duas variáveis de ordem distinta. A correlação, segundo Pearson, pode ser positiva ou negativa, em diferentes graus de intensidade variando entre 1 e -1. Sendo então considerada positiva perfeita quando assume o valor 1, e negativa perfeita ao assumir o valor -1.

Como mostra a Tabela 1, existem cinco níveis de intensidade que classificam os coeficientes correlações positivos (acima de 0, até 1), um nível de correlação considerado nulo (igual a 0), e cinco níveis de intensidade para os coeficientes de correlação negativos (menos que zero até -1).

Tabela 1: Divisão em classes de intensidade do Coeficiente de Correlação de Pearson.

Coeficiente de Correlação	Intensidade de Correlação
$r = 1$	Perfeita positiva
$0,8 \leq r < 1$	Forte positiva
$0,5 \leq r < 0,8$	Moderada positiva
$0,1 \leq r < 0,5$	Fraca positiva
$0 < r < 0,1$	Ínfima positiva
0	Nula
$-0,1 < r < 0$	Ínfima negativa
$-0,5 < r \leq -0,1$	Fraca negativa
$-0,8 < r \leq -0,5$	Moderada negativa
$-1 < r \leq -0,8$	Forte negativa
$r = -1$	Perfeita negativa

Quando o coeficiente de correlação de Pearson é dado pelo valor “0”, significa que a variável “x” não possui qualquer tipo de dependência da variável “y”, sendo assim não há correlação.

A equação utilizada para calcular o coeficiente de correlação de Pearson se escreve da seguinte maneira:

$$r = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 \sum_i (y_i - \bar{y})^2}}$$

O resultado expresso por “r” representa a intensidade da correlação linear presente entre os dois conjuntos de variáveis (“x” e “y”), onde essa correlação pode ser positiva, negativa ou sem associação (igual a 0). A equação “r de Pearson”, utiliza os valores obtidos entre duas variáveis para calcular o grau de correlação linear, positiva (acima de 0 até 1), ou negativa (abaixo de 0 até -1). O resultado pode ser transmitido em valor numérico, ou por meio de um gráfico de dispersão, também conhecido como “nuvem de pontos”.

Todas as informações presentes no banco de dados construído durante a pesquisa foram analisadas pela utilização deste método estatístico, evidenciando suas possíveis correlações. Contabilizando ao todo, seis cálculos de coeficiente de correlação estabelecidos:

- “Temperatura X Nível (01/01/2016)”
- “Temperatura X Nível (05/09/2017)”
- “Temperatura X Profundidade”
- “Temperatura X Altitude”
- “Nível X Profundidade”
- “Nível X Altitude”

Como produto final, além do valor numérico do r de Pearson para cada cálculo, foi elaborado um gráfico de dispersão (Gráfico 1), onde as variáveis encontram-se ordenadas num eixo cartesiano, sendo o eixo “y” o valor

registrado para cada variável, e o eixo “x” os piezômetros da rede de monitoramento.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da coleta de diferentes variáveis e sua sistematização em um banco de dados devidamente ordenado, foram realizadas as primeiras análises estatísticas, que resultaram em informações preliminares sobre a disposição das variáveis de forma geral na área de estudos.

A Tabela 2 expõe as noções estatísticas básicas a qual estão submetidas as quatro variáveis analisadas.

Tabela 2: Valores estatísticos de média, variância e desvio padrão.

Variáveis	Média	Variância	Desvio Padrão
Temperatura (°C) (01/07/16)	18,92	1,30	1,14
Temperatura (°C) (05/09/2017)	20,01	1,09	1,04
Nível (M) (01/07/2016)	-0,85	0,82	0,90
Nível (M) (05/09/2017)	-1,00	1,15	1,07
Profundidade (M)	4,76	1,12	1,06
Altitude (M)	633,37	106,16	10,30

Os valores expressos pela “Média” representam a soma de todos os dados obtidos para determinada variável, divididos pelo número de elementos. Os valores de representados na coluna designada à média são resultados da somatória dos dados coletados em todos os poços, divididos por 56, número de poços monitorados.

Este cálculo relativamente simples é capaz de evidenciar que houve o aumento médio de um pouco mais de 1°C na temperatura média dos poços no intervalo de um ano entre as medições realizadas. Já o nível freático apresentou diminuição média de 15 centímetros na coluna de água no interior dos poços. As variáveis de profundidade e altitude apresentaram médias de 4,76 e 633,37 metros respectivamente.

Posterior aos cálculos das médias estão a terceira e quarta coluna, indicando a variância e o desvio padrão das variáveis trabalhadas. A variância é uma medida de dispersão estatística que indica o distanciamento aproximado entre os valores obtidos. E o desvio padrão representa a dispersão dos dados em relação à média amostral.

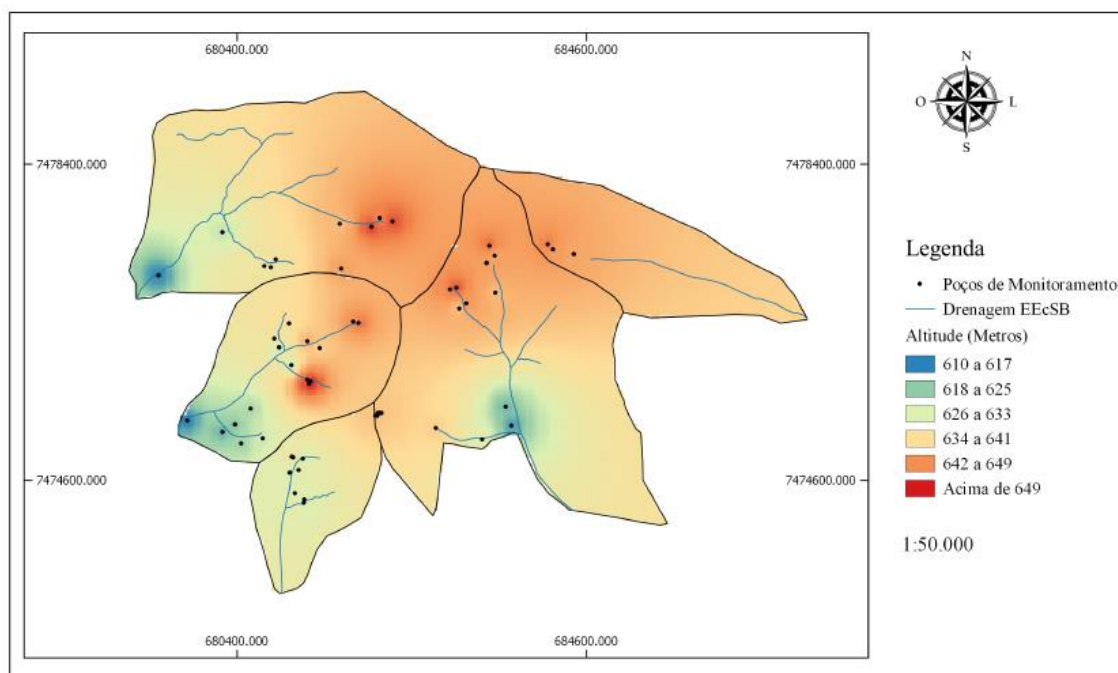
6.1. Interpolação das variáveis e mapeamentos

Com a realização da interpolação das diferentes variáveis trabalhadas durante o período de pesquisa, foi possível a elaboração de mapeamentos de distribuição das mesmas na área de influência das cinco microbacias hidrográficas inseridas na EEcSB. Com o auxílio dos mapas construídos pode-se entender melhor a dinâmica presente no aquífero raso, e buscar melhores decisões no que diz respeito a gestão dos recursos hídricos.

No mapa da Figura 12 pode-se perceber a variação das altitudes onde encontram-se os poços de monitoramento do aquífero raso. Apresentam maior expressão os intervalos altimétricos de 642 à 649 metros, representados pelas cores laranja e vermelho do centro do mapa até a porção nordeste.

As menores altitudes ficam localizadas à oeste nas microbacias Santana e Guarantã e com outros dois poços situados na porção sul da microbacia do Bugre, com altitude que variam entre 610 a 617 metros, justamente nos exutórios da bacias.

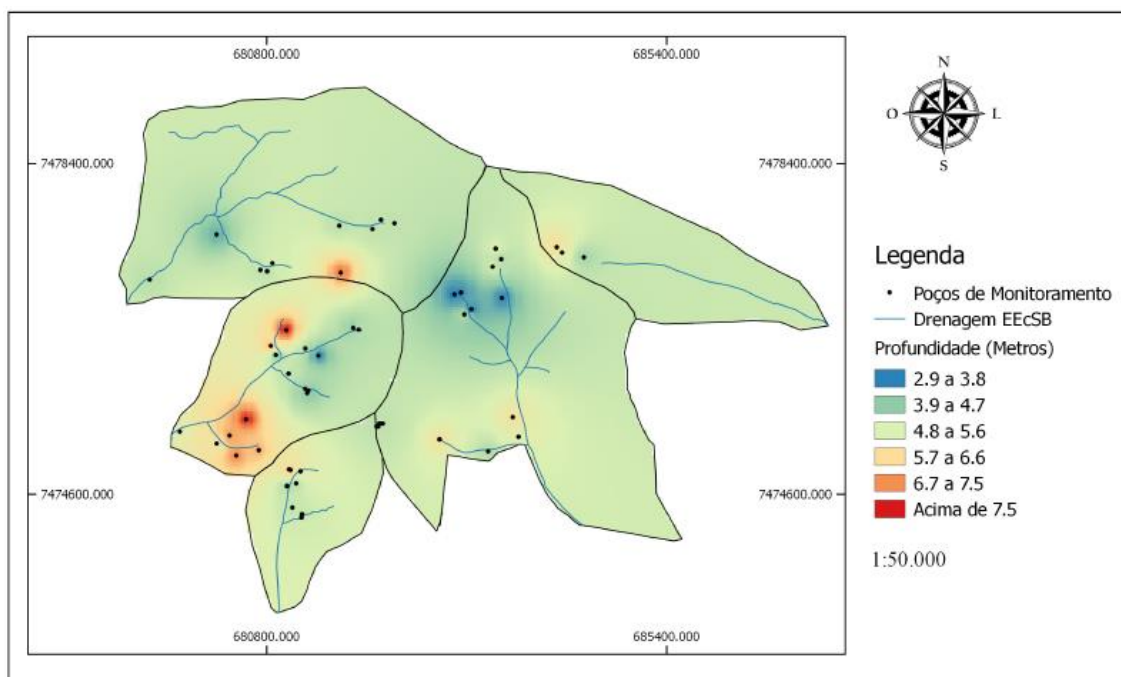
Figura 13: Mapa de Altitude do Aquífero Bauru na Estação Ecológica de Águas de Santa Bárbara – SP.



Elaboração: FAVARIN (2017).

Com o mapeamento das profundidades dos poços de monitoramento (Figura 13) fica bem claro por que o aquífero Bauru é considerado um aquífero raso na EEcSB. A menor profundidade registrada da camada satura foi à 2,9 metros da superfície, isso significa que com essa profundidade já foi possível obter água no aquífero. No geral o mapeamento de profundidade evidenciou profundidade de metragem bastante homogênea para toda região de influência das microbacias, com exceção de dois poços localizados na microbacia do Santana com 7,5 metros de profundidade e um poço na parte sul do Guarantã onde foi registrada profundidade de 6,7 à 7,5 metros. Esses poços encontram-se justamente próximos aos divisores das bacias, explicando a natureza mais profunda dos níveis das águas subterrâneas nessas regiões da EEcSB.

Figura 14: Mapa de Profundidade dos Poços de Monitoramento do Aquífero Bauru na Estação Ecológica de Águas de Santa Bárbara – SP.



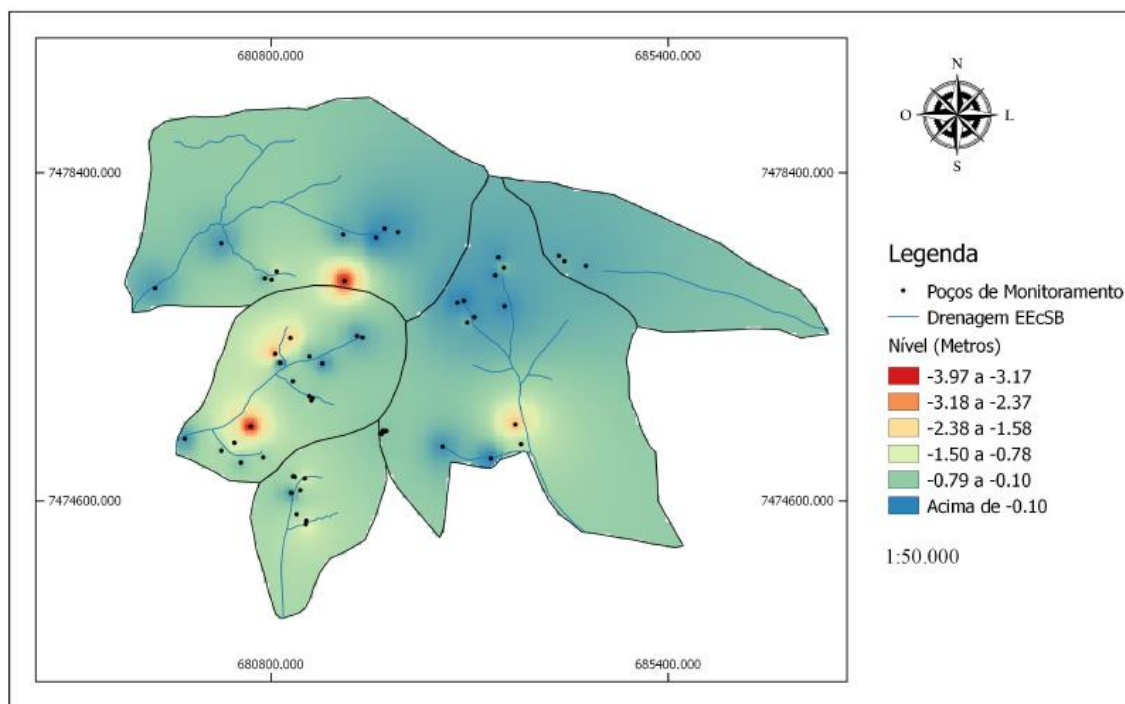
Elaboração: FAVARIN (2017).

O monitoramento de nível freático do aquífero foi mapeado para o dia 1º de julho de 2016 conforme a Figura 14. Esse mapa apresenta-se diferente dos outros anteriormente, não só pela coloração azulada, mas por trazer valores negativos em sua legenda. Isso se dá graças a variável em questão,

ela representa a altura da coluna de água no interior de cada piezômetro abaixo da superfície. Sendo assim os valores mais próximos de “0” retratam nível freático com maior proximidade da superfície, e para valores mais distante de “0” entende-se níveis freáticos mais profundos.

A grande maioria dos poços apresentam-se com níveis freáticos próximo a superfície com variação entre -0,79 metros à poços com nível superficial. Porém um poço na microbacia do Santana e um poço no Guarantã apresentam valores superiores a -3,17 metros de profundidade de nível freático.

Figura 15: Mapa de Nível Freático do Aquífero na EEcSB – SP, data da medição 01/07/2016.

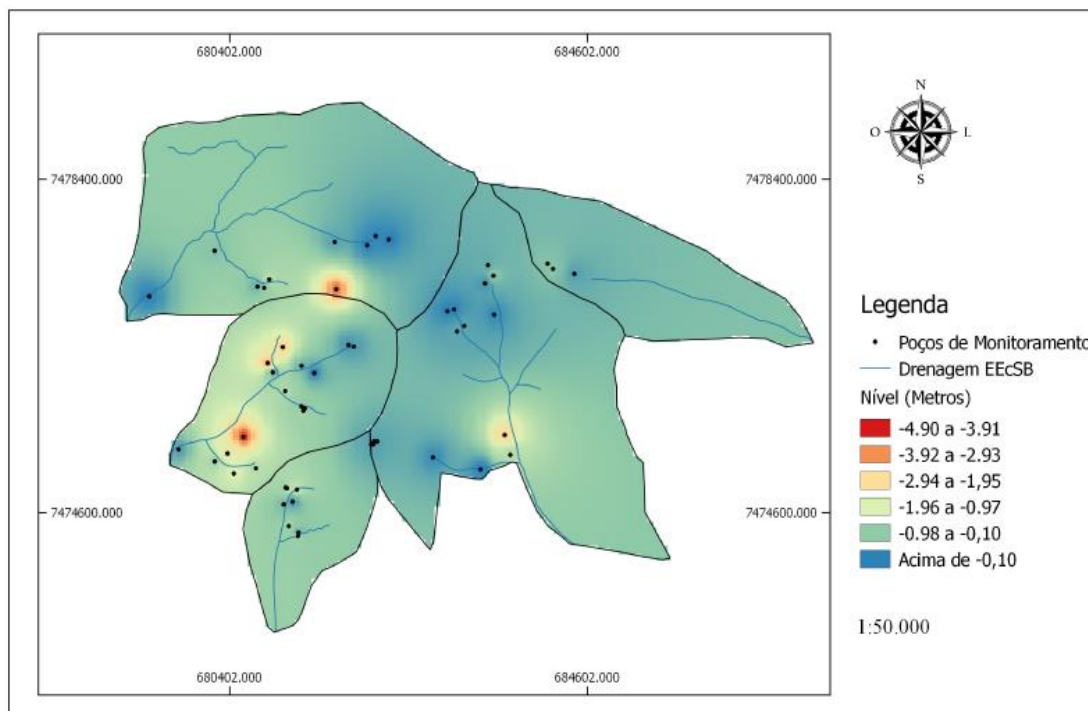


Elaboração: FAVARIN (2017).

Na Figura 15, onde está representado o segundo mapa de nível freático, em 05 de setembro de 201, a profundidade máxima das águas subterrâneas é encontrada à 4,90 metros da superfície do solo. A primeira impressão pode parecer que os dois mapeamentos de nível freático são idênticos, mas apesar de muito parecidos, existem diferenças significativas entre eles. Os números expressos na legenda do mapa confirmam que neste intervalo de um pouco mais de ano entre as duas coletas de dados na EEcSB

(01/07/2016 – 05/09/2017), o nível freático do aquífero reduziu, de modo quase uniforme, todos os piezômetros se apresentam com menor nível.

Figura 16: Mapa de Nível Freático do Aquífero Bauru na EEcSB – SP, data da medição 05/09/2017.

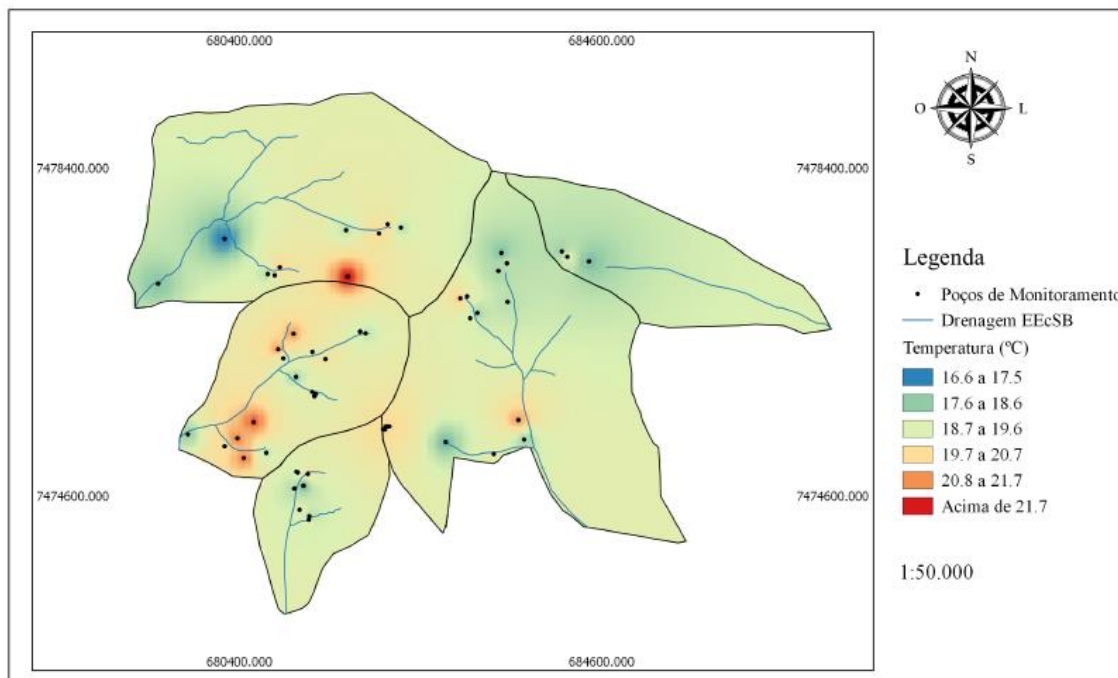


Elaboração: FAVARIN (2017).

Os mapeamentos referentes a temperatura no interior dos piezômetros são bastante peculiares. Apesar da EEcSB apresentar solos relativamente similares em sua composição, atribuindo características semelhantes a absorção de radiação solar e a sua dispersão, os piezômetros monitorados apresentam valores muito distintos entre si, com variação entre as temperaturas mínima e máxima acima dos 5°C.

A seguir na Figura 16, para os poços com a menor temperatura aferida registrou-se entre 16,6 a 17,5 °C, e as maiores temperaturas constam entorno dos 21,7°C.

Figura 17: Mapa de Temperatura das águas subterrâneas do SAB na EEcSB – SP, data da medição 01/07/2016



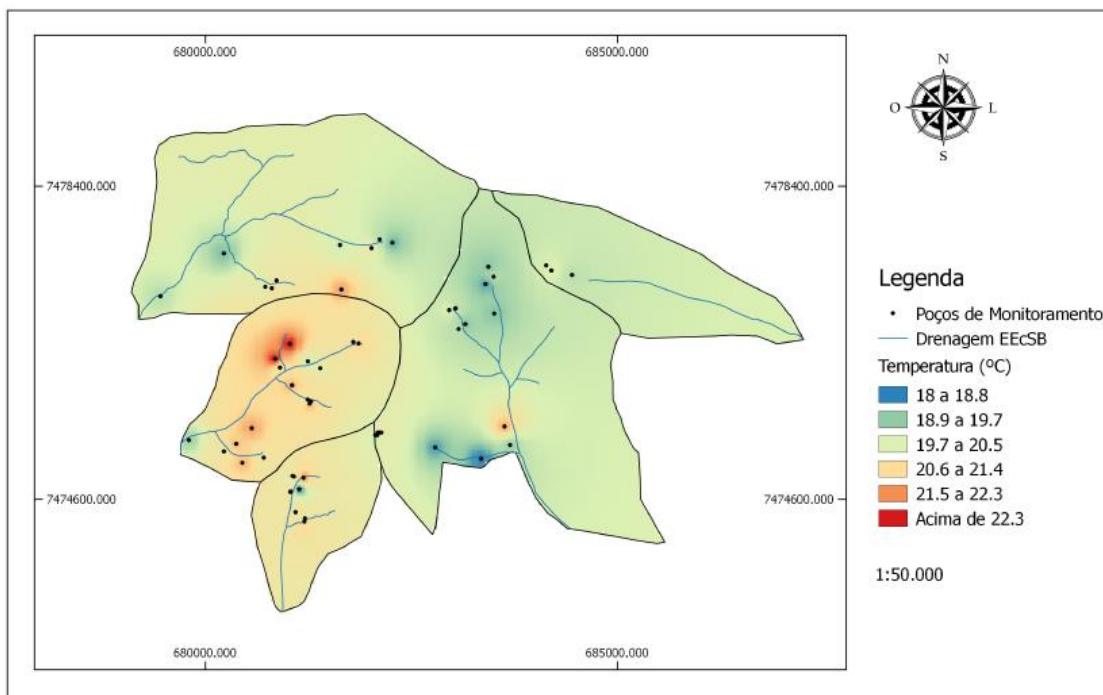
Elaboração: FAVARIN (2017).

Novamente se destacam como nos mapas apresentados anteriormente os mesmos poços localizados nas microbacias do Santana e Guarantã, com os maiores valores obtidos.

Com um pouco mais de um ano entre as duas medições de temperaturas, ainda foram registrados valores bastante semelhantes, entretanto deve-se notar que ocorreram mudanças nos valores de temperaturas mínimas e máximas, com um aumento aproximado de 2°C para ambas em relação ao ano anterior.

Praticamente todos os poços onde as medições foram realizadas, se apresentaram com aumento de temperatura (Figura 17), com ênfase nos poços localizados no Guarantã, onde foi possível verificar que as temperaturas de um ano para o outro subiram significativamente, destacando a região oeste do mapa com coloração mais alaranjada quando comparada com o ano anterior, o que retrata o aumento de temperatura na recarga do aquífero em quase todos os piezômetros inseridos nesta microbacia.

Figura 18: Mapa de Temperatura das águas subterrâneas do SAB na EEcSB – SP, data da medição 05/09/2017.



Elaboração: FAVARIN (2017).

6.2. Coeficiente de correlação de Pearson e gráficos de dispersão

Buscando entender os valores destacados por alguns piezômetros, principalmente aqueles com valores mais discrepantes quando comparados com os outros, foi utilizado o cálculo de coeficiente de correlação de Pearson, para evidenciar a existência de algum padrão na repetição dos acontecimentos. Os resultados podem ser vistos na Tabela 3, onde estão descritas os pares variáveis correlacionadas, alinhadas ao seu r de Pearson e a data em que foi realizada sua medição em campo.

Tabela 3: r de Pearson para variáveis correlacionadas

Variáveis Correlacionadas	r de Pearson (01/07/2016)	r de Pearson (05/09/2017)
Temperatura X Nível	-0,64	-0,71
Temperatura X Profundidade	0,50	0,51
Temperatura X Altitude	-0,02	-0,11
Nível X Profundidade	-0,69	-0,77
Nível X Altitude	0,25	0,29

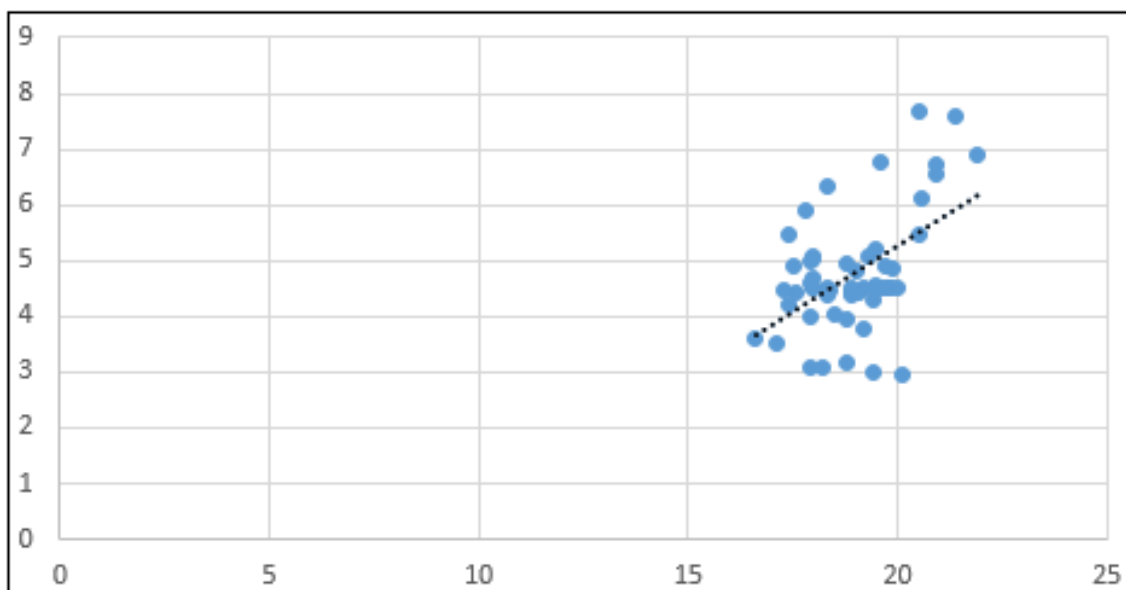
Com isso foi constatado as existentes correlações que variam de intensidade fraca até modera-forte, tanto nas correlações positivas, quanto nas negativas.

Para melhor visualização e interpretação das informações apresentadas foram construídos seis gráficos de dispersão, também conhecidos como nuvem de pontos. Em cada um dos gráficos todos valores de duas variáveis são comparados buscando estabelecer o seu grau de correlação linear (Gráficos 1 a 6).

No Gráfico 1 e 2 o eixo “y” apresenta os valores relativos a profundidade do poço, enquanto que o eixo “x” representa a temperatura. Os gráficos são relativos as medidas em 01/07/2016 e 05/09/2017 respectivamente.

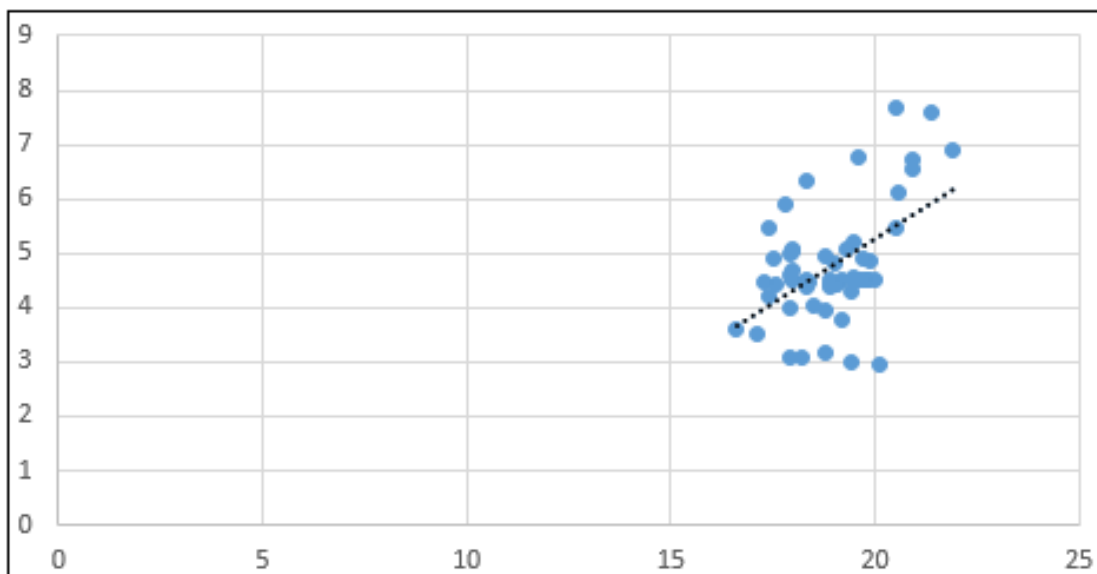
Ao se aplicar o cálculo do “r” de Pearson na análise dos valores de temperatura buscando sua correlação com a profundidade dos piezômetros, foi constatado que essas duas variáveis possuem relativo grau de correlação linear positiva, com $r = 0,509$ na primeira medição realizada e $r = 0,516$ para a segunda medição, podendo se classificar como uma correlação de intensidade moderada positiva.

Gráfico 1: Coeficiente de dispersão entre temperatura e profundidade do poço, data da medição 01/07/2016.



Elaboração: FAVARIN, 2017.

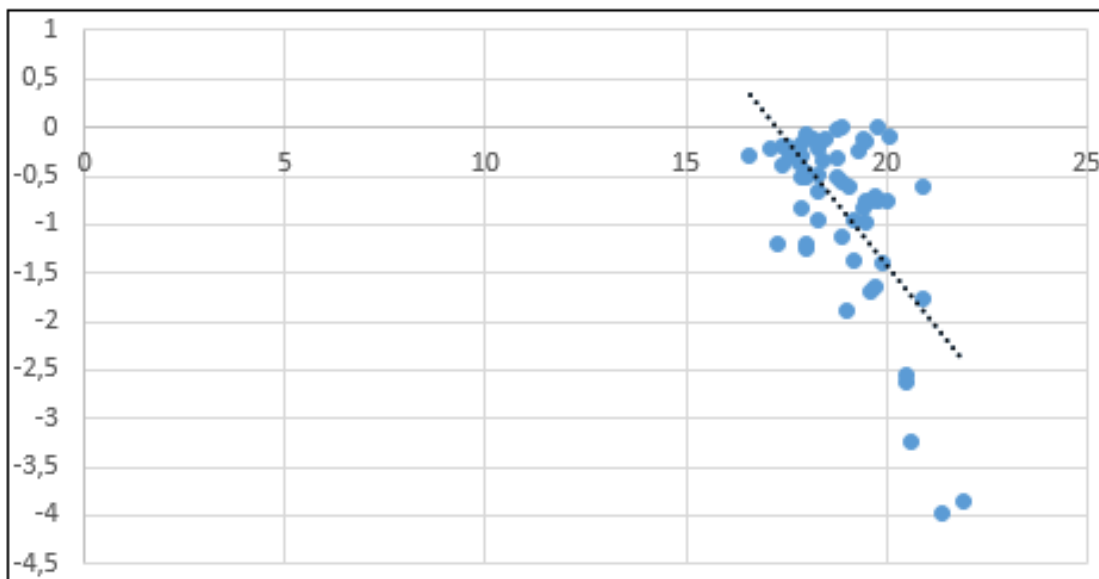
Gráfico 2: Coeficiente de dispersão entre temperatura e profundidade do poço, data da medição 05/09/2017.



Elaboração: FAVARIN, 2017.

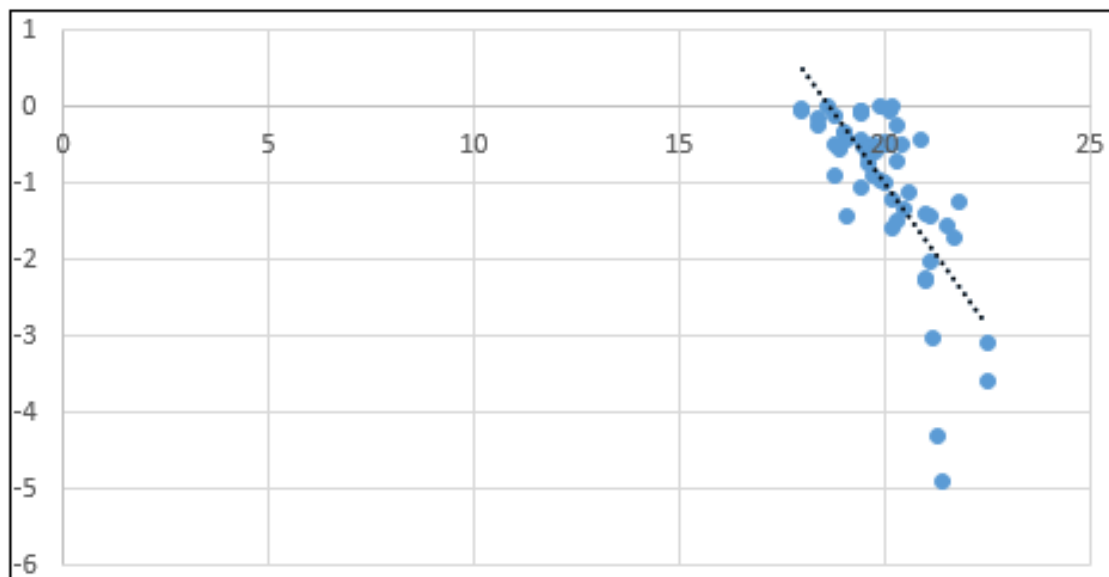
O oposto foi evidenciado nos Gráficos 3 e 4, ao aplicar o mesmo cálculo para as variáveis de temperatura e nível, destacando o valor de $r = -0,640$ para a primeira medição e $r = -0,717$ para segunda medição. Uma correlação moderada negativa. Em outras palavras os poços associados a maiores temperaturas são aqueles com menor nível de recarga freática, o seu inverso também é verdadeiro, onde poços com maior nível freático possuem valores com menores temperaturas registradas. Nestes gráficos os eixos “x” e “y” são representados pelas variáveis temperatura e nível respectivamente.

Gráfico 3: Coeficiente de dispersão entre temperatura e nível freático em 01/07/2016.



Elaboração: FAVARIN, 2017.

Gráfico 4: Coeficiente de dispersão entre temperatura e nível freático em 05/09/2017.



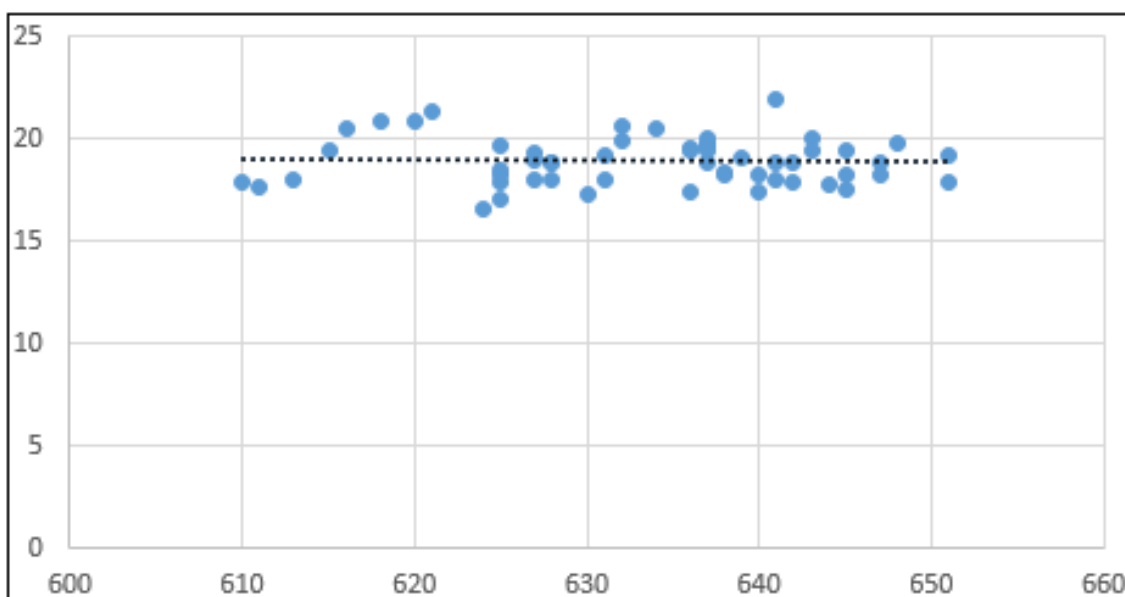
Elaboração: FAVARIN, 2017.

Em relação aos Gráficos 5 e 6, a temperatura e altitude, o coeficiente de correlação de Pearson foi dado por $r = -0,267$ e $r = -0,112$ para a primeira e segunda medição realizada respectivamente, categorizando uma intensidade fraca e negativa, mostrando que os registros dessas variáveis obtiveram pouca ligação entre si. No plano “x” e “y” estão os valores de altitude e

temperatura medidos nos piezômetros. Nitidamente se nota que os pontos se distribuem desagregados, sem qualquer tipo de uniformidade, em grande parte distante do eixo de correlação, reafirmando a intensidade fraca negativa.

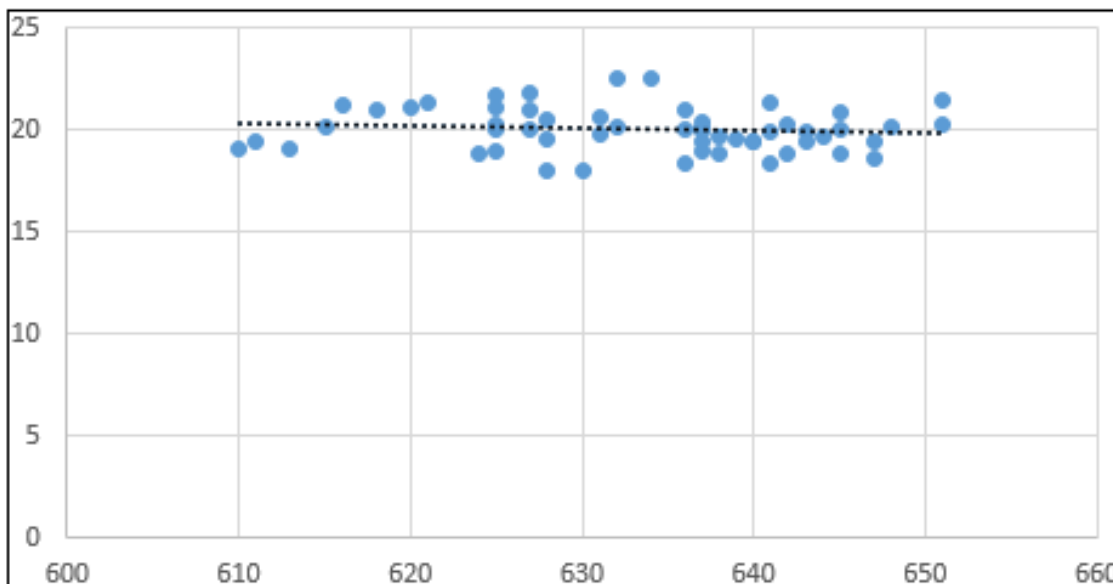
Correlação linear negativa é caracterizada pelo posicionamento decrescente do eixo pontilhado na cor preta no gráfico, e para correlação positiva o eixo pontilhado se apresenta com posicionamento crescente.

Gráfico 5: Coeficiente de Correlação de Pearson para temperatura e altitude, em 01/07/2016.



Elaboração: FAVARIN, 2017.

Gráfico 6: Coeficiente de Pearson para temperatura e altitude, em 05/09/2017.

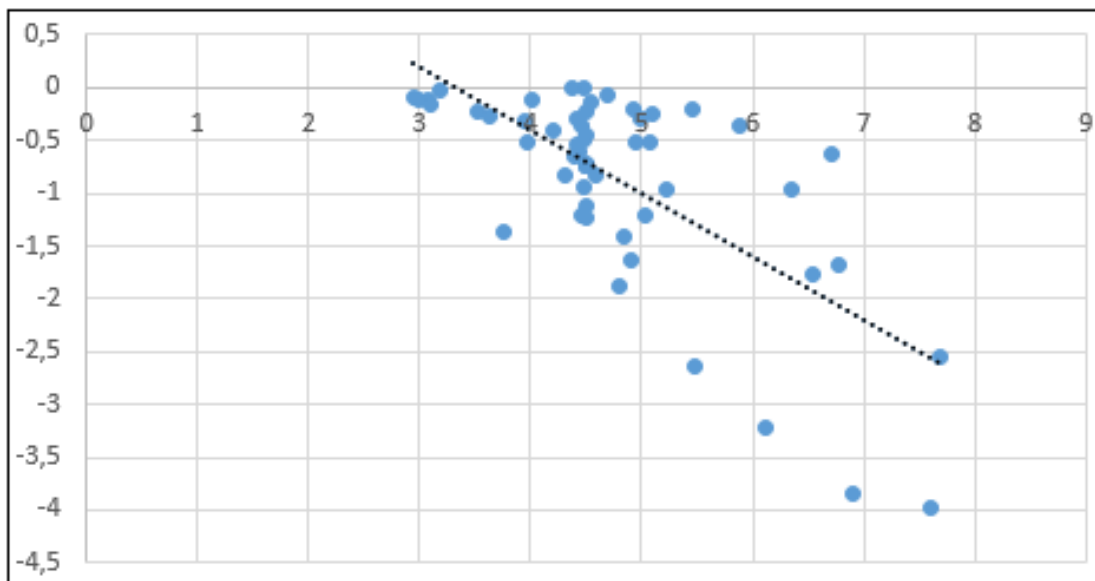


Elaboração: FAVARIN, 2017.

Com intensidade classificada como moderada negativa, mas quase atingindo os valores de uma correlação forte negativa, se apresentam as variáveis nível e profundidade com “r” de Pearson igual à -0,695 e -0,774 para a primeira e segunda medição. A profundidade é dada pelo eixo horizontal, e o nível pelo eixo vertical (Gráfico 7 e 8). O agrupamento dos pontos próximos ao eixo de correlação linear é intenso no intervalo de profundidade entre 3 e 5 metros, com poços onde o nível encontra-se a 1 metros da superfície.

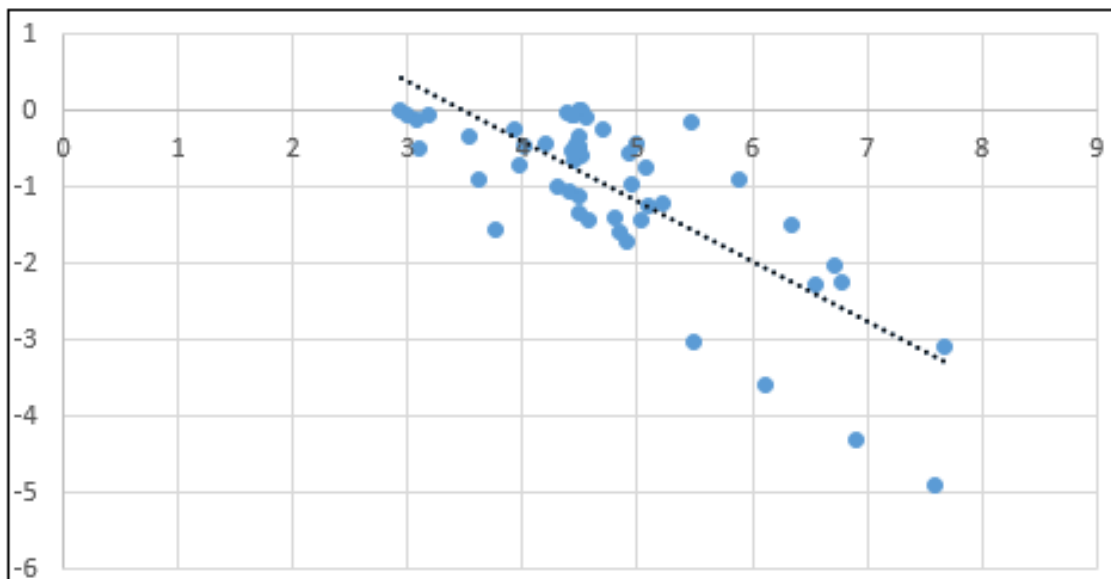
No caso do demais pontos, por estarem consideravelmente distantes do eixo linear central, o coeficiente de correlação de Pearson não pode ser considerado perfeito (-1).

Gráfico 7: Coeficiente de Correlação de Pearson para nível freático e profundidade, data da medição 01/07/2016.



Elaboração: FAVARIN, 2017.

Gráfico 8: Coeficiente de Correlação de Person para nível freático e profundidade, data da medição 05/09/2017.

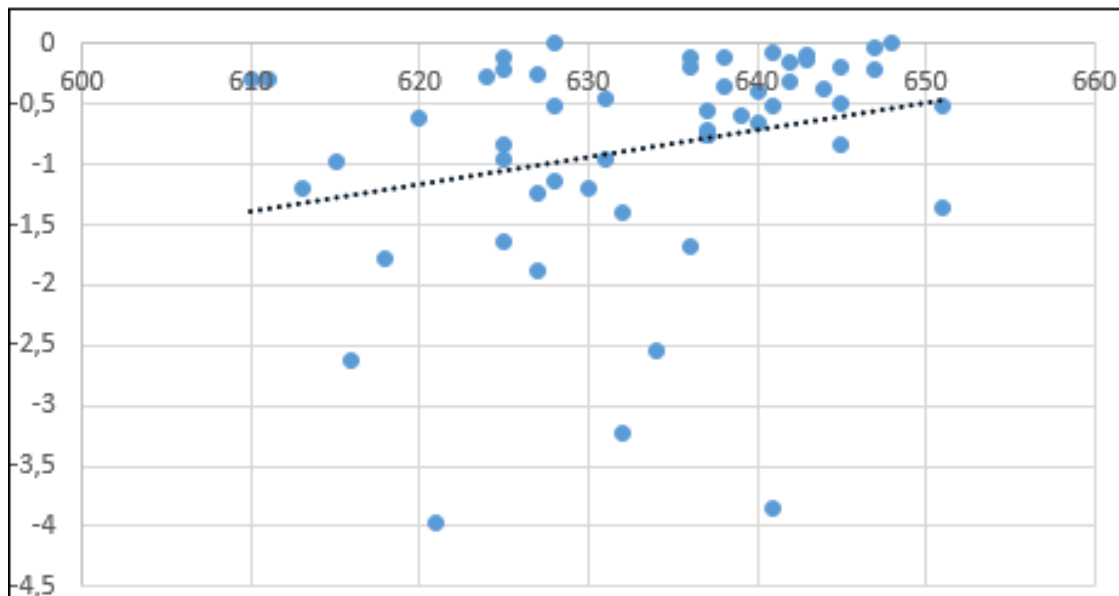


Elaboração: FAVARIN, 2017.

Nos Gráficos 9 e 10 foram confrontados os valores obtidos das variáveis de altitude e nível (eixos “x” e “y”), e destas foi obtido uma correlação de intensidade fraca e positiva, com valor de $r=0,255$ (primeira medição) e $r=0,290$ (segunda medição). Mostrando que os dados de nível e altitude possuem pouca correlação linear, observando o gráfico abaixo, tal

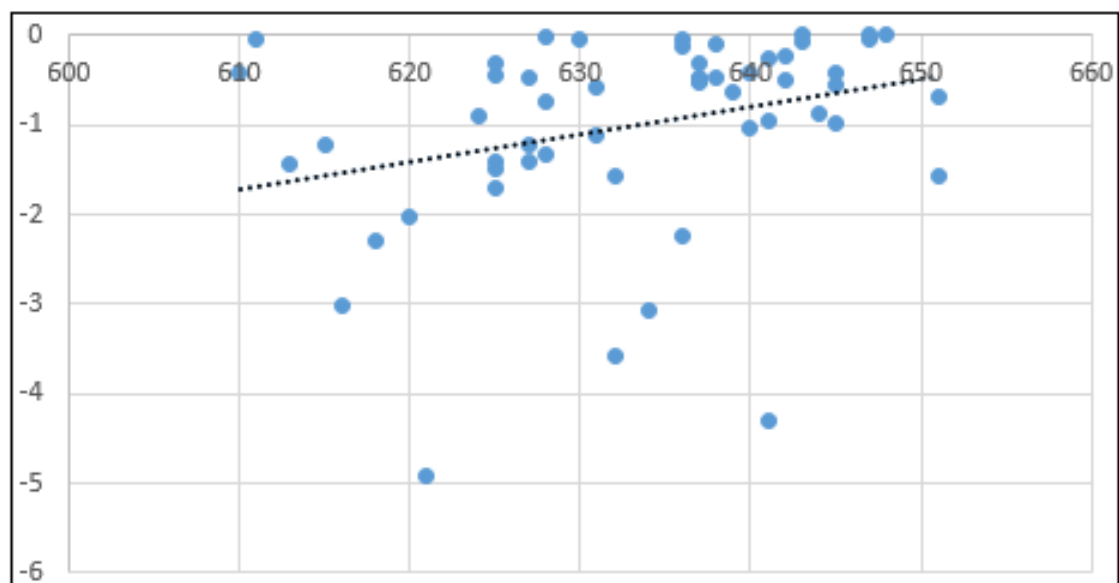
afirmação fica evidente graças a alta dispersão dos pontos, onde apenas três pontos estão em contato direto com o eixo de correlação. Os demais pontos encontram-se desordenados e divididos metade acima do eixo, e a outra metade abaixo.

Gráfico 9: Coeficiente de Correlação de Pearson para Nível e Altitude em 01/07/2016.



Elaboração: FAVARIN, 2017.

Gráfico 10: Coeficiente de Correlação de Pearson para nível freático e altitude em 05/09/2017.



Elaboração: FAVARIN, 2017.

Inicialmente acreditava-se que o gradiente geotermal fosse o principal fator para que os poços mais profundos fossem também aqueles cujo as temperaturas mais altas foram registradas, porém revisando a bibliografia essa teoria foi desabilitada, pois a média do gradiente geotermal no Brasil é 30m/°C podendo apresentar anomalias em algumas regiões, originando fontes termiais. Entretanto nenhum dos poços construídos na rede de monitoramento apresenta profundidade superior à 10 metros, sendo assim torna-se inviável atribuir esses valores de temperatura ao gradiente geotermal.

Fazendo o uso dos cálculos realizados e comparando os resultados com a dispersão apresentada nos gráficos, foi possível constatar que nas localidades onde é mais profundo o nível freático, maior a temperatura obtida.

Os aquíferos são sistema subterrâneos submetidos as variações climáticas, que por sua vez afetam diretamente o ciclo hidrológico, em especial o SAB por ser considerado aflorante em toda sua extensão, está mais propenso a essas variações, e também a diferentes tipos de contaminação.

Com a análise dos mapeamentos realizados e com o auxílio dos gráficos de dispersão, pode-se constatar que existe correlação entre os dados registrados. Nos poços onde foram constatadas as maiores temperaturas, respectivamente estão os maiores valores de nível freático seguidos consequentemente pela maior profundidade do poço durante a perfuração. Tal fato se deve principalmente a união de diferentes fatores, sendo eles a menor velocidade de dispersão de calor apresentada pela água e a alta velocidade de dispersão de calor do solo.

Tais conclusões foram reafirmadas com os resultados dos cálculos de coeficiente de correlação de Pearson, e elaboração de gráficos de dispersão que mostram o coeficiente de correlação linear entre as variáveis. Os valores apresentados pelo “r de Pearson” para as variáveis de temperatura e nível foram os mais expressivos, com $r = -0,640$ para a primeira medição e $r = -0,717$ para a segunda medição onde o nível no aquífero estava mais baixo. Então para menores níveis consequentemente são registrados os maiores valores térmicos, assim como os oceanos a água no subsolo funciona como um estabilizador térmico, reduzindo a variação brusca entre as temperaturas máximas e mínimas.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção e constante manutenção da rede de monitoramento foi indispensável para a realização deste trabalho, pois permitiram a aquisição de diferentes fontes de dados para as análises exercidas. Sem a manutenção da rede de monitoramento o banco de dados e todos produtos construídos a partir do mesmo não seriam realizados.

Diante das análises e resultados apresentados, foi possível ganhar algum conhecimento de como diferentes tipos de dados se apresentam na dinâmica de interação do aquífero com o meio onde encontra-se inserido, mostrando que o manejo e a gestão das águas subterrâneas devem ser pensados, de forma interdisciplinar, pois o ambiente exige esta abordagem. A análise geográfica evidenciou os padrões espaciais das variáveis em estudo e acrescentou informações sobre a dinâmica das águas subterrâneas na EECSB como um todo a partir de observações pontuais. A análise estatística também contribuiu de forma decisiva para validação e hipóteses e verificação do que foi medido a campo.

Com os mapeamentos realizados tornou-se um pouco mais visível como o aquífero está espacializado na EECSB, deixando de ser um recurso abstrato, onde sua representação se dava apenas por materiais teóricos descritivos. Por fim, fazendo uso da estatística aplicada ao banco de dados elaborado durante a realização da pesquisa, se conferiu a existente relação entre as diferentes variáveis analisadas.

De forma geral é possível notar que os poços com maior temperatura se localizam dentro das microbacias hidrográficas do Santana e Guarantã, atrelados as maiores temperaturas também estão registrados nesses poços altas profundidades e baixo nível freático. Como afirmado com os cálculos de correlação de Pearson, estas variáveis aparentemente independentes possuem correlações que em conjunto justificam as altas térmicas obtidas.

O uso dos mapeamentos por si só foi capaz de tornar explícito que as variáveis possuíam algum tipo de correlação, mas foi incapaz de expressar matematicamente o grau de intensidade das mesmas.

Com o uso de diferentes formas de análises, gráficos e cálculos estatísticos, foi possível afirmar que as semelhanças visuais destacadas nos

mapas eram verdadeiras, De fato existe correlação entre variáveis até então consideradas distintas.

Os valores mais notáveis obtidos com o cálculo de correlação de Pearson foram dados pelas variáveis temperatura X nível, com $r = -0,717$, e profundidade X nível, com $r = -0,774$. Ambos valores são referentes a segunda medição realizada (05/09/2017), onde tanto a média térmica e a profundidade média do nível freático foram maiores que em relação ao ano anterior.

As maiores temperaturas foram fortemente associadas a níveis freáticos mais profundos, conseqüentemente em lugares com o nível freático mais próximo a superfície foram encontradas temperaturas mais baixas.

Por fim, recomenda-se a continuidade do monitoramento de níveis freáticos e temperatura na EECSB para pesquisas futuras.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSIS, F. S. Q. **As raízes dos conflitos entre o norte e o sul do Sudão: O processo de formação do Estado-Nação**; Sankofa Revista de História da África e Estudos da Diáspora Africana. v. 1, n. 2, p. 7 – 36, 2008.

ALMEIDA, R. D. **Do desenho ao mapa: iniciação cartográfica na escola**; São Paulo: Contexto, 2009.

ARONOFF, S. **Geographic Information Systems: a management perspective**; Ottawa. DI, 1985.

BIZZI, L. A. et al. **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: texto, mapas e SIG**; CPRM, 2003.

CAMPOS, J. E. G. **Hidrogeologia do Distrito Federal: bases para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos**; Revista Brasileira de Geociências, v.34, n.1, p. 41-48, 2016.

DINIZ, J. A. O; MONTEIRO, B. A; SILVA, R. C; PAULA, T. L. F. **Manual de cartografia hidrogeológica**. Recife, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2014.

FEITOSA, F. A. C. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**; Rio de Janeiro, CPRM: LABHID, 3ªed, 2008.

FIGUEIREDO FILHO, D. B; JUNIOR, J. A. S. **Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r)**; Revista Política Hoje v. 18, n. 1, p. 115-146, 2010.

GODOY, A. S. **Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades**. Revista de administração de empresas, v. 35, n. 2, p. 57-63, 1995.

HYPOLITO, R.; ANDRADES, S; EZAKI, S. **Geoquímica da interação: água/rocha/solo: estudos preliminares**; São Paulo, All Print Editora, 2011.

IRITANI, M. A.; EZAKI, S. **As águas subterrâneas do Estado de São Paulo**. São Paulo: Secretaria do Estado do Meio Ambiente- SMA, 2008.

LEINZ, V; AMARAL, S. E. **Geologia Geral**. São Paulo, Editora Nacional, 2003.

MANZIONE, R. L. **Águas Subterrâneas: Conceitos e Aplicações sob uma visão Multidisciplinar**; Jundiaí, Paco Editorial, 2015.

MELO, A. C. G.; DURIGAN, G. **Plano de manejo da Estação Ecológica de Santa Bárbara**. São Paulo: Instituto Florestal, 2011. 222p.

MONTEIRO, J. E.B. A. **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção**; Brasília, DF: INMET, 2009.

NIELSEN, D. M. **The essential handbook of ground-water sampling**; New York, Taylor & Francis Group, 2007.

SANTAROSA, L. V. **Mapeamento de níveis freáticos do Sistema Aquífero Bauru (SAB)** em áreas de proteção ambiental em Águas de Santa Bárbara/SP durante o ano hidrológico de 2014/2015; Botucatu, 2016.

RAMIREZ, T. **Balanço hídrico e recarga do Sistema Aquífero Bauru (SAB)** com dados de diferentes resoluções espaciais em Águas de Santa Bárbara – SP; Botucatu, 2017.

REBOUÇAS, A. C; BRAGA, B; TUNDISI, J. G. **ÁGUAS DOCES NO BRASIL: Capital Ecológico, Uso e Conservação**; São Paulo, Escrituras Editora, 2006.

SILVA, M. S. **Sistemas de Informações Geográficas: elementos para o desenvolvimento de bibliotecas digitais geográficas distribuídas**; Marília, 2006.

SOARES, A. **Geoestatística para ciências da terra e do ambiente. 2ª. ed.** Instituto Superior Técnico; Lisboa, 2006.

TUCCI, C. E. M; SILVEIRA, A. L. L. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**; Porto Alegre, UFRGS/ABRH, 2007.

VALENTE, O. F. **Conservação de nascentes: hidrologia e manejo de bacias hidrográficas de cabeceiras**; Viçosa-MG; Aprenda Fácil, 2005.

VASCONCELOS, V. V; **RECARGA DE AQUÍFEROS: Subsídios a gestão hídrica e ambiental-bacia do rio Paracatu (SF7)**; Boletim de Geografia, v. 32, n. 3, p. 1-3, 2015.

YAMAMOTO, J. K; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**; Oficina de Textos, 2015.

CBH-MP Comitê de Bacias Hidrográficas Médio Paranapanema. Disponível em:

< <http://cbhmp.org/ugrhi-17/>> Acesso em Abr. 2017.

CPT Centro de Produções Técnicas. Disponível em: <<https://www.cpt.com.br/cursos-meioambiente/artigos/bacias-hidrograficas-saiba-mais-sobre-elas>> Acesso em Set. 2017.

<<http://www.sondaterra.com/produto-163-Trado%20Holand%C3AAs.xhtml>> Acesso em: Out. 2017

IF Secretária do Meio Ambiente (Instituto Florestal). Disponível em: <<http://iflorestal.sp.gov.br/areas-protegidas/estacoes-ecologicas/santa-barbara/>> Acesso em: Abr. 2016.

Portal Qualidade das Águas; Enquadramento - Bases Conceituais. Disponível em: <<http://portalpnqa.ana.gov.br/enquadramento-bases-conceituais.aspx>>
Acesso em: Fev. 2017.

APÊNDICE 1

Banco de Dados

ID	X	Y	Temperatura (°C) (05/09/2017)	Temperatura (°C) (01/07/2016)	Nível (m) (01/07/2016)	Nível (m) (05/09/2017)	Profundidade do poço (m)	Altitude (m)
G1	679455,39	7477065,8	19,4	17,6	-0,3	-0,04	4,42	611
G2	680224,44	7477585	18,8	16,6	-0,28	-0,89	3,62	624
G3	680727,86	7477178,1	19,8	18	-0,46	-0,59	4,51	631
G4	680805,72	7477162,8	20,6	19,2	-0,95	-1,12	4,49	631
G5	680865,37	7477257,3	20,2	19,9	-1,4	-1,57	4,85	632
G6	681634,44	7477686,7	19,7	18,4	-0,35	-0,48	4,46	638
G7	682015,97	7477648,9	20,2	19,8	0	0	4,49	648
G8	682269,35	7477714,5	18,6	18,3	-0,22	0	4,51	647
G9	682114,79	7477755,1	19,4	19,5	-0,14	-0,08	4,55	643
G10	681652,32	7477147	21,3	21,9	-3,85	-4,29	6,91	641
B1	683073,03	7476666	19,5	18,9	-0,55	-0,52	4,42	637
B2	682959,79	7476896,6	19,9	20,1	-0,09	0	2,94	643
B3	683036,04	7476918,9	19,4	18,8	-0,03	-0,04	3,18	647
B4	683155,92	7476728,1	18,8	17,9	-0,16	-0,49	3,1	642
B5	683506,56	7476855,7	18,8	18,2	-0,11	-0,1	3,08	638
B6	683400	7477213,6	18,4	18	-0,07	-0,25	4,7	641
B7	683434,36	7477422,5	18,9	17,5	-0,2	-0,56	4,92	645
B8	683498,62	7477302,1	19,4	18,3	-0,65	-1,04	4,4	640
B9	682788,66	7475230,3	18,4	17,4	-0,2	-0,13	5,46	636
B10	683347,35	7475093	18	18,9	0	-0,01	4,38	628
B11	683697,51	7475259,3	19,1	18	-1,2	-1,44	5,04	613
B12	683631,16	7475485,9	21,2	20,5	-2,63	-3,01	5,48	616
S1	680906,15	7476200,3	20	18,5	-0,11	-0,44	4,02	625
S2	680847,86	7476305,1	22,5	20,6	-3,23	-3,58	6,12	632
S3	681024,57	7476486,8	22,5	20,5	-2,54	-3,07	7,68	634
S4	681244,84	7476274,8	19,6	19,1	-0,6	-0,63	4,44	639
S5	681795,94	7476510,8	20,3	18,8	-0,31	-0,24	3,94	642
S6	681858,35	7476492,3	20,9	18,3	-0,49	-0,41	4,47	645
S7	681394,78	7476192,2	20,1	19,4	-0,12	-0,05	2,99	636
S8	681266,44	7475762,9	21,5	19,2	-1,36	-1,56	3,76	651
S9	681281,13	7475789,3	20,3	17,9	-0,51	-0,69	3,97	651
S10	681242,38	7475811,9	20	19,4	-0,83	-0,99	4,3	645
S11	681052,47	7475985,9	21,1	17,9	-0,83	-1,41	4,58	625
S12	680374,59	7475274,1	21	20,9	-1,77	-2,28	6,55	618
S13	679801,23	7475319,7	19,1	17,9	-0,3	-0,41	5	610
S14	680562,37	7475463,9	21,4	21,4	-3,98	-4,91	7,6	621
S15	680225,46	7475182,8	20,2	19,5	-0,97	-1,21	5,22	615
S16	680449,58	7475045,2	21,1	20,9	-0,62	-2,02	6,71	620

S17	680708,82	7475106,4	20,3	18,3	-0,96	-1,48	6,34	625
P1	684449,69	7477322,7	19,4	17,4	-0,4	-0,42	4,2	640
P2	684135,88	7477439,5	19,7	17,8	-0,37	-0,88	5,89	644
P3	684198,79	7477377,8	19,9	18,8	-0,51	-0,94	4,95	641
BOI_D	681074,14	7474878,2	21	19,6	-1,68	-2,24	6,78	636
BOI1	681057,39	7474885,3	19,6	18	-0,51	-0,74	5,07	628
BOI2	681036,94	7474694	19	17,1	-0,22	-0,32	3,53	625
BOI3	681189,87	7474862,8	21,7	19,7	-1,64	-1,71	4,91	625
BOI4	681139,66	7474725,3	18	17,3	-1,2	-0,05	4,45	630
BOI5	681094,85	7474446	20,5	18,9	-1,13	-1,34	4,5	628
BOI6	681032,51	7474692,8	21,8	19,3	-0,25	-1,23	5,09	627
BOI7	681207,09	7474371,4	20	18	-1,24	-0,48	4,5	627
BOI8	681201,39	7474332,4	21	19	-1,88	-1,4	4,8	627
BG1	682063,67	7475379	20	19,6	-0,75	-0,49	4,5	637
BG2	682084,2	7475378,8	19	19,5	-0,75	-0,32	4,5	637
BG3	682094,87	7475411,9	20,1	19,8	-0,75	-0,5	4,5	637
BG4	682115,4	7475411,6	20,1	20	-0,75	-0,5	4,5	637
BG5	682135,93	7475411,4	20,4	19,7	-0,71	-0,48	4,5	637