



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
Campus de Ilha Solteira

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

**RENAN PEREIRA ZAMBIANQUI**

**MONITORAMENTO DOS NÍVEIS FREÁTICOS DO AQUÍFERO BAURU  
(FORMAÇÃO ADAMANTINA) NO MUNICÍPIO DE BASTOS-SP FRENTE A  
CORRELAÇÕES COM O REGIME DE PRECIPITAÇÃO**

Ilha Solteira  
2018

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE  
RECURSOS HÍDRICOS**

**RENAN PEREIRA ZAMBIANQUI**

**MONITORAMENTO DOS NÍVEIS FREÁTICOS DO AQUIFERO BAURU  
(FORMAÇÃO ADAMANTINA) NO MUNICÍPIO DE BASTOS-SP FRENTE A  
CORRELAÇÕES COM O REGIME DE PRECIPITAÇÃO**

Dissertação entregue à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como requisito para obtenção do Título de Mestre no Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - PROFÁGUA.

Área de concentração:

**Instrumentos da Política de Recursos Hídricos**

Orientador:

**Prof. Dr. Rodrigo Lilla Manzione**

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

Z23m      **Zambianqui, Renan Pereira.**  
Monitoramento dos níveis freáticos do aquífero Bauru (formação Adamantina) no município de Bastos-SP frente a correlações com o regime de precipitação / Renan Pereira Zambianqui. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2018  
59 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Instrumentos da Política de Recursos Hídricos, 2018

Orientador: Rodrigo Lilla Manzione  
Inclui bibliografia

1. Método da variação da superfície livre. 2. Recursos hídricos. 3. Gestão integrada.

*Raiane da Silva Santos*  
Raiane da Silva Santos

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO:** MONITORAMENTO DOS NÍVEIS FREÁTICOS DO AQUIFERO BAURU (FORMAÇÃO ADAMANTINA) NO MUNICÍPIO DE BASTOS-SP FRENTE A ANOMALIAS NO REGIME DE PRECIPITAÇÃO

**AUTOR:** RENAN PEREIRA ZAMBIANQUI

**ORIENTADOR:** RODRIGO LILLA MANZIONE

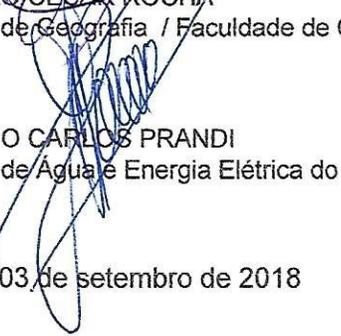
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS - PROFÁGUA, área: Regulação e Governança de Recursos Hídricos pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. RODRIGO LILLA MANZIONE  
Engenharia de Biosistemas / Faculdade de Ciências e Engenharia - UNESP - Tupã/SP



Prof. Dr. PAULO CESAR ROCHA  
Departamento de Geografia / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente



Prof. Dr. EMÍLIO CARLOS PRANDI  
Departamento de Água e Energia Elétrica do Estado de São Paulo / Marília (SP)

Ilha Solteira, 03 de setembro de 2018

## **DEDICATÓRIA**

**A Deus Uno e Trino que, além de ter me permitido chegar até aqui, me deu  
minha família, amigos e saúde!**

**A todos, muito obrigado.**

## AGRADECIMENTOS

O autor agradece aos que, direta e indiretamente, contribuíram para este trabalho.

Em primeiro lugar a Deus por estar sempre me acompanhando e abrindo os caminhos para minhas conquistas.

Ao meu orientador Prof. Dr. Rodrigo Lilla Manzione pela amizade, paciência e oportunidade de compartilhar seus conhecimentos.

Aos meus pais “Marinete e Donizete” pelo apoio e amparo em todos os momentos de minha vida.

Aos meus irmãos “Éverton e Letícia” pelo carinho e companheirismo em todos os momentos.

Aos meus amigos que me auxiliam e alegram, tornando a jornada mais leve e prazerosa, e em especial ao grande amigo Mateus Parra, pelo estímulo e motivação sempre prestados.

A “Tatiane”, mocinha que compartilhou comigo momentos únicos e que me fortaleceu sempre, com seus abraços apertados e acolhedores, meu muito obrigado.

À UNESP de Ilha Solteira e ao programa ProfÁgua e demais entidades envolvidas, agradeço a oportunidade de fazer parte dessa turma valiosa.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

A todos os professores que nos acompanharam em longas sextas e sábados de aprendizado, e em especial ao grande Prof. Dr. Jefferson Nascimento de Oliveira, que se mostrou dedicado e empenhado desde o início, idealizador e pai de toda essa família ProfÁgua.

A todos meu muito obrigado.

*“Comece fazendo o que é necessário, depois o que é possível, e de repente você estará fazendo o impossível”.*

**SÃO FRANCISCO DE ASSIS**

## RESUMO

Estimar os valores de recarga das águas subterrâneas é uma ferramenta necessária para uma gestão segura dos recursos hídricos, permitindo verificar a quantidade de água que o aquífero pode produzir através de descarga natural ou exploração. Essas informações são fundamentais na adoção de práticas de manejo preventivo, e em políticas públicas para a gestão integrada de um planejamento sustentável. O objetivo desse trabalho foi estimar a recarga das águas subterrâneas por meio do Método da Variação da Superfície Livre (*WTF*) em área do Sistema Aquífero Bauru (SAB) na formação geológica Adamantina, localizada na cidade de Bastos-SP. Foram utilizados dados de monitoramento climatológico do Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIIAGRO) e hidrogeológicos da Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas (RIMAS), para estimar a recarga das águas subterrâneas dos anos hidrológicos de 2013 a 2016. Durante os anos estudados a região passou por períodos climáticos distintos: um ano considerado seco seguido de um ano normal e outro com a presença do fenômeno ENOS (El Niño Oscilação Sul) aumentando a precipitação em 30,00% quando comparado aos anos de normalidade. Os resultados da aplicação do método *WTF* demonstraram para o período estudado uma recarga total de 833,20 mm, 17,80 % de toda a precipitação (4.209,90 mm). As recargas encontradas para o ano hidrológico de 2013-2014 foram baixas 5,02 % (50,40 mm) de toda precipitação que totalizou 1.002,70 mm, o ano de 2014-2015 apresentou valores de recarga de 19,00%. As maiores recuperações aconteceram nos anos de 2015-2016, variando a amplitude de flutuação do aquífero em 4,00 metros e recarga de 28,00% do volume precipitado (1.902.20 mm) evidenciando o fenômeno ENOS e a resposta da precipitação quanto a recarga do aquífero. Conclui-se que o método *WTF* é eficiente quando utilizado em aquíferos livres, mesmo apresentando grande influências das dinâmicas do solo e do escoamento superficial e podem servir como ferramenta no gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos.

**Palavras-chave:** Método da variação da superfície livre. Recursos hídricos. Gestão integrada.

## ABSTRACT

Estimating groundwater recharge values is a necessary tool for the safe management of water resources, since it allows to verify the amount of water that the aquifer can yield through natural discharge or exploitation. This information is fundamental in the adoption of preventive management practices, and in public policies for the integrated management of sustainable planning. The objective of this work was to estimate the groundwater recharge using the Free Surface Variation Method (WTF) in the Bauru Aquifer System (SAB) in the Adamantina geological formation, located in the city of Bastos-SP. Climatological data from the Integrated Center for Agrometeorological Information (CIIAGRO) and hydrogeological data of the Integrated Groundwater Monitoring Network (RIMAS) were used to estimate the groundwater recharge of the hydrological years from 2013 to 2016. During the years studied, the region (El Niño Southern Oscillation), increasing the precipitation by 30.00% when compared to the normal years. The results of the application of the WTF method demonstrated a total recharge of 833.20 mm for the studied period, 17.80% of all precipitation (4,209.90 mm). The recharges found for the hydrological year 2013-2014 were low 5.02% (50.40 mm) of all precipitation summing 1,002.70 mm, the year 2014-2015 presented recharge values of 19.00%. The greatest recoveries occurred in the years 2015-2016, varying the amplitude of the aquifer fluctuation in 4.00 meters and 28.00% recharge of the precipitated volume (1,902.20 mm) evidencing the ENSO phenomenon and the precipitation response to recharge the aquifer. It is concluded that WTF method is efficient when used in phreatic aquifers, even though it has great influence on soil and runoff dynamics and it can be useful as a important tool for the management of groundwater resources.

**Keywords:** Free surface variation method. Water resources. Integrated management.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> diferenças de aquíferos quanto a sua litologia e formas de armazenamento. ....	17
<b>Tabela 1:</b> diferenças de aquíferos quanto a sua litologia e formas de armazenamento (continuação).....	18
<b>Tabela 2 -</b> Valores de porosidade, rendimento específico e retenção específica para diferentes tipos de materiais geológicos .....	28
<b>Tabela 3 -</b> Características do Sistema Aquífero Bauru .....	29
<b>Tabela 4 -</b> Estatísticas descritivas da precipitação registrada na área de estudo entre 2013 e 2016 .....	42
<b>Tabela 5 -</b> Análise estatísticas da variação do nível freático.....	45
<b>Tabela 6 -</b> Relação entre as precipitações registradas e as recargas calculadas na área de estudo para os anos hidrológicos de 2013/2014, 2014/2015 e 2015/2016 ..	49

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Esquema de balanço hídrico em relação aos potenciais de absorção do solo.....	22
<b>Figura 2:</b> Elevação hipotética no nível de água do poço em resposta à precipitação .....	26
<b>Figura 3:</b> Proposta clássica da subdivisão da formação Grupo Bauru elaborada por SOARES <i>et al</i> (1980) .....	31
<b>Figura 4:</b> Localização do município de Bastos – SP. ....	32
<b>Figura 5:</b> Seção Geológica entre Panorama e Ubirajara oeste do estado de São Paulo .....	35
<b>Figura 6:</b> Imagem do poço MNT/SP/BS0 localizado no município de Bastos-SP. ....	37
<b>Figura 7:</b> Precipitação diária no ano hidrológico 2013-2014 .....	39
<b>Figura 8:</b> Precipitação diária no ano hidrológico 2014-2015 .....	40
<b>Figura 9:</b> Precipitação no ano hidrológico 2015-2016 .....	41
<b>Figura 10:</b> Precipitação diária nos anos hidrológicos compreendidos entre 2013 e 2016 .....	41
<b>Figura 11:</b> Monitoramento da precipitação e do nível freático para os anos de 2013-2014. ....	43
<b>Figura 12:</b> Monitoramento da precipitação e do nível freático para os anos de 2014-2015. ....	43
<b>Figura 13:</b> Monitoramento da precipitação e do nível freático para os anos de 2015-2016. ....	44
<b>Figura 14:</b> Monitoramento da precipitação e do nível freático para o período dos anos de 2013 a 2016.....	44
<b>Figura 15:</b> Aplicação do <i>WTF</i> para o ano hidrológico de 2013-2014.....	46
<b>Figura 16:</b> Aplicação do <i>WTF</i> para o ano hidrológico de 2014-2015.....	46
<b>Figura 17:</b> Aplicação do <i>WTF</i> para o ano hidrológico de 2015-2016.....	47
<b>Figura 18:</b> Aplicação do <i>WTF</i> para o período de 2013 á 2016 para o poço da cidade de Bastos – SP.....	47

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b> .....	14
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	15
3.1.	Objetivo Geral.....	15
3.2.	Objetivos específicos.....	15
<b>4</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	16
4.1.	Águas subterrâneas.....	16
4.1.1.	Aquíferos: conceitos e definições .....	17
4.2.	Recarga das águas subterrâneas.....	18
4.2.1.	Métodos de estimativa de recarga.....	21
4.2.1.1.	Método da Variação da superfície Livre <i>WTF (Water Table Fluctuation)</i> .....	24
4.2.1.2.	Rendimento específico .....	28
4.3.	Características do Sistema Aquífero Bauru .....	29
<b>5</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	32
5.1.	Área de estudo .....	32
5.1.1.	Aspectos Gerais .....	32
5.1.2.	História .....	33
5.1.3.	Clima .....	33
5.1.4.	Geologia .....	33
5.1.5.	Hidrogeologia .....	34
5.2.	Procedimentos adotados, coleta e tratamento dos dados .....	35
5.2.1.	Caracterização climatológica.....	35
5.2.2.	Caracterização dos níveis freáticos da superfície do aquífero .....	36
5.2.3.	Aplicação da metodologia WTF.....	37
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	39
6.1.	Análise das chuvas ocorridas nos anos hidrológicos 2013-2016 .....	39
6.2.	Análise da variação da superfície livre do aquífero .....	42
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	51
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	52

## 1 INTRODUÇÃO

Diante a realidade da dependência imposta sobre todos os seres vivos quanto à necessidade de água para sobreviver, a melhor opção é uma gestão adequada e preventiva dos recursos hídricos.

Algumas das principais consequências quanto à negligência em boas práticas de gestão de recursos hídricos e da falta de uma gestão integrada são: a falta de água potável, as enchentes, as degradações das águas superficiais, a contaminação do solo e de aquíferos (TUNDISI, 2003).

O crescimento populacional, as atividades econômicas, e a busca incessante pela água a fim de garantir uma melhor “qualidade de vida”, conduzem ao aumento da competição pelos recursos hídricos e os conflitos por água acabam sendo inevitáveis.

A falta de água potável nos grandes centros urbanos vem sendo uma das maiores preocupações do século XXI. Diante da crescente demanda por recursos hídricos, a exploração da água subterrânea é uma alternativa para o abastecimento público e para o desenvolvimento econômico da sociedade. Além de ser abundante em diversas regiões, as águas subterrâneas normalmente apresentam melhor qualidade quando comparadas às águas superficiais (CETESB, 2005).

A água é reconhecida como um recurso natural finito e vulnerável, passando a ter um valor estratégico para a humanidade. Segundo a UNESCO (WWAP, 2012), a taxa de uso de água subterrânea em escala global, triplicou nos últimos 50 anos. Assim, a gestão integrada é um dos desafios para o desenvolvimento sustentável, afim de garantir a disponibilidade para as gerações futuras, sendo a avaliação quantitativa da recarga um dos primeiros passos, principalmente no tocante a efeitos climáticos extremos que podem afetá-los diretamente (FOSTER *et al.*, 1999)

Segundo Coelho *et al.* (2016), a região sudeste do Brasil sofreu durante os verões 2013/2014 importantes déficits de precipitação, devido a uma cadeia de mecanismos que aumentaram as temperaturas sobre Atlântico e que bloquearam os sistemas frontais a formação de eventos de chuvosos de verão, trazidas pela Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

Todavia, entre 2015 e 2016, o mundo presenciou um dos fenômenos El Niño Oscilação Sul (ENOS) mais fortes já registrados, alterando positivamente os regimes

de precipitação, principalmente sobre as regiões do nordeste da Argentina, a parte mais meridional do Brasil e do Uruguai (PENALBA; RIVERA, 2016).

Estudos realizados no interior do Estado de São Paulo por Santarosa, (2016) e Manzione (2017) identificaram a recuperação de mananciais superficiais e subterrâneos afetados pela seca dos anos 2013/2014, os quais já nos anos de 2015/2016 receberam recargas significativas de acordo com a precipitação.

A estimativa da recarga de águas subterrâneas é um fator importante a ser estudado pelos tomadores de decisão no que se refere ao gerenciamento dos recursos hídricos, e quantificar a recarga dos aquíferos são fatores essenciais para uma gestão segura do recurso.

Mondin *et al.* (2006) afirma que “quantificação da recarga de um aquífero é um elemento chave para definir a sua exploração sustentável e para melhor compreender o modelo conceitual de circulação das águas subterrâneas”. Assim estimar a recarga de um aquífero, depende de vários elementos em função do tempo e espaço, como a localização, o clima, os fatores geológicos, entre outros, tornando a mensuração deste parâmetro muito difícil de quantificar (LUCAS, 2012).

Existem inúmeros métodos e técnicas para estimar a recarga em águas subterrâneas podendo ser subdivididos em 4 grupos principais, sendo: 1º métodos de balanço hídrico, 2º métodos baseados em estudos de interação com águas superficiais, 3º métodos baseados em estudos da zona não saturada, e 4º métodos baseados em estudos da zona saturada (HEALY, 2010)

Os principais estudos da recarga da zona saturada destacam-se o método da variação da superfície livre, métodos baseados na Lei de Darcy e métodos que utilizam traçadores históricos e ambientais (SCANLON *et al.*, 2002). Niazi *et al.* (2017) estimaram a distribuição espacial da recarga de águas subterrâneas através do fluxo de base e energia. Han *et al.* (2017) diagnosticaram alterações na recarga das águas subterrâneas por causa das ações antrópicas. Já Tabau *et al.* (2017) quantificaram a recarga das águas subterrâneas em ambientes urbanos.

Manzione (2015) relata as incertezas na estimativa da recarga, visto que é um fenômeno com elevada variabilidade espacial devido às diferenças geológicas, climatológicas e de uso e ocupação da terra. Assim os dados que envolvem a maioria dos modelos trazem embutidos uma grande quantidade de erros.

Os métodos físicos estão entre os mais utilizados para estimar a taxa de recarga em aquíferos livres, principalmente aqueles baseados na flutuação do nível da água subterrânea.

O método da variação da superfície livre do aquífero (*WTF Water Table Fluctuation*), aperfeiçoado por Healy e Cook (2002) é aplicado a aquíferos livres e possui vasta utilização em áreas do Brasil e no Sistema Aquífero Bauru. Baseia-se na hipótese de que a variação de volume do aquífero livre é inteiramente atribuída a elevação do seu nível freático, assumindo assim, que a precipitação pluviométrica, é o fenômeno natural de maior relevância na variação dos níveis freáticos em aquíferos tidos como livres (MANZIONE, 2015).

Neste contexto, estimar a recarga a partir de dados de fácil acesso, é um fator determinante em planos regionais, em estudos hidrogeológicos e no gerenciamento do uso de água subterrânea, tendo em vista a sustentabilidade, a longo prazo, da quantidade e da qualidade da água dos aquíferos (BERTOL, 2007).

## 2 JUSTIFICATIVA

As águas subterrâneas nas maiorias das vezes são encontradas puras e próprias para o consumo, e por serem naturalmente protegidas pela natureza, apresentam vantagens em relação às águas superficiais, no entanto, por muito tempo não foram protegidas legalmente (SILVA, 2015).

Trabalhar as informações sobre a dinâmica das águas subterrâneas são importantes para uma gestão eficiente dos recursos hídricos disponíveis em determinada região, principalmente frente a oscilações pluviométricas enfrentadas nas últimas décadas (BRASIL, 1988; MANZIONE, 2014).

O Sistema Aquífero Bauru (SAB) é um dos principais mananciais do estado de São Paulo e possui uma vulnerabilidade maior em comparação aos demais por apresentar níveis mais superficiais e recarga direta. Além dos perigos de contaminação pelas atividades conduzidas na região, o SAB é sensível às variações climáticas sazonais devido à sua dependência de recarga pela precipitação ali incidente (DAEE, 1976, 2000; IRITANI; EZAKI, 2009)

Em face à dependência de uso das águas subterrâneas do SAB para o abastecimento de diversas cidades paulistas, (cerca de 5,5 milhões de pessoas BARISON; KIANG, 2004), e de todas as demais interações entre águas superficiais e subterrâneas, estudos que possam quantificar a recarga e servir como ferramenta de gestão, afim de assegurar a disponibilidade dos aquíferos principalmente em períodos de estiagem ou fenômenos climáticos anômalos, são fatores essenciais para uma gestão segura do recurso subterrâneos (WAHNFRIED; HIRATA 2005).

Espera-se com os resultados deste estudo, demonstre-se a variabilidade da flutuação do aquífero e o tempo de resposta entre eventos pluviométricos e a recarga em detrimento dos níveis freáticos. Essas informações podem auxiliar planejadores e tomadores de decisão na quantidade de água que o aquífero pode ceder através de descarga natural ou exploração por poços tubulares, assim como na adoção de práticas de manejo preventivo, e políticas públicas para a gestão sustentável dos recursos hídricos.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo Geral**

O objetivo desse trabalho foi estimar a recarga das águas subterrâneas pelo método da variação da superfície livre em área do Sistema Aquífero Bauru (Formação Adamantina) em diferentes condições climáticas entre os anos de 2013 a 2016 no município de Bastos-SP e discutir os resultados sob a ótica da gestão de recursos hídricos.

#### **3.2. Objetivos específicos**

- a) Analisar dados pluviométricos e de evapotranspiração em série histórica no período de 2013 a 2016;
- b) Analisar dados de oscilação dos níveis freáticos diários de três anos hidrológicos, compreendendo o período de 2013 a 2016 para o poço tubular localizado no município de Bastos-SP;
- c) Analisar estatisticamente as relações entre os dados pluviométricos e as flutuações nos níveis de água do aquífero;
- d) Estimar a recarga subterrânea na área do SAB formação Adamantina, através do poço da Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas localizado no município de Bastos-SP com uso do método *WTF*;
- e) Discutir como as informações geradas podem servir como ferramenta nos instrumentos de gestão de recursos hídricos.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1. Águas subterrâneas

O Planeta Terra é constituído por 98% de água salgada e 2% de água doce (DOWBOR, 2005), sendo um elemento indispensável à vida e para o desenvolvimento das atividades humanas. De fato, são necessários em média de três litros de água por dia para a manutenção das atividades vitais e cerca de 80 litros por dia para as atividades diárias como higiene pessoal e outros usos (MATOS, 2007).

Contudo, Tundisi (2003), relata que o Brasil tem aproximadamente 16% das águas doces do planeta, distribuídas desigualmente e dependem de uma gestão segura, pois possuem aspectos como a instabilidade e mobilidade, que somadas aos componentes sólidos, líquidos e gasosos, que são parte do ciclo dinâmico e natural da água, conhecido como ciclo hidrológico, dificultam a estimativa e gestão descentralizada.

A circulação global da água entre os continentes, oceanos e a atmosfera, impulsionado pela energia solar em conjunto com a gravidade e a rotação terrestre, evidencia a complexidade da gestão de um recurso tão necessário para a vida (USGS, 2014)

Rebouças (2008) afirma que “não há falta de água doce no mundo para satisfazer todas as necessidades, mas não o suficiente para atender os desperdícios e degradação da qualidade”. Assim, a gestão dos recursos de forma racional faz-se necessidade imediata, tendo em vista as oscilações na variabilidade dos efeitos climáticos existentes na atualidade.

Teoricamente, água subterrânea é toda a água que ocorre abaixo da superfície dos continentes, preenchendo os poros ou vazios das rochas sedimentares, ou as fraturas, falhas das rochas compactas, e que, sendo submetida a duas forças (de adesão e de gravidade) desempenha um papel essencial na manutenção da umidade do solo, do fluxo dos rios, lagos e brejos perfazendo papel importante no ciclo hidrológico (BORGHETTI *et al.*, 2004).

A água subterrânea origina-se da chuva (água meteórica) que precipita e infiltra no solo (MANZIONE, 2015). A quantidade de água a ser infiltrar depende da quantidade de chuva, do tipo de litologia, da declividade do terreno, do tipo da

cobertura vegetal, entre outros. Conforme Todd (2005), as águas subterrâneas, mencionadas sem nenhuma outra especificação, são aquelas que ocupam todos os vazios de um estrato geológico, chamado de aquífero.

#### 4.1.1. Aquíferos: conceitos e definições

Segundo a Resolução Nº 15/2001, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, define aquífero como “o corpo hidrogeológico com capacidade de acumular e transmitir água através dos seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos”.

Maciel Filho e Nummer (2011), salienta que “da água doce disponível no planeta, a maior parte é subterrânea” e que os aquíferos são geralmente alimentados por águas da chuva que se infiltram nos solos/rochas.

Os aquíferos possuem inúmeras funções, dentre elas, pode-se citar a filtragem da água da chuva, a qual penetra no solo/rocha e recarrega os aquíferos (ciclo hidrológico), podendo ser classificados de acordo com a litologia da rocha armazenadora e a forma de armazenamento.

A tabela 1 apresenta as diferenciações entre os aquíferos.

**Tabela 1:** diferenças de aquíferos quanto a sua litologia e formas de armazenamento.

---

<b>Aquíferos de acordo com as formas de armazenamento da água</b>	
<b>Aquífero livre ou freático</b>	Os aquíferos não confinados, freáticos ou livres, são aqueles que ocorrem mais próximos da superfície, os limites desses Sistemas Aquíferos são o nível freático e a zona não saturada na parte superior. Sua formação geológica é permeável e superficial, totalmente aflorante, ou seja, sua superfície encontra à pressão atmosférica, esses sistemas aquíferos possuem recarga direta que podem sofrer alteração de acordo com a intensidade da chuva, o uso e ocupação do solo, a profundidade do lençol freático e o fluxo subterrâneo (TOWNLEY, 1998).
<b>Aquífero confinado ou artesiano</b>	Sua formação geológica permeável, confinada entre duas camadas impermeáveis ou semipermeáveis onde a pressão da água no topo da zona saturada é maior do que a pressão atmosférica naquele ponto, o que faz com que a água ascenda no poço (ABAS, 2015).

---

---

**Tabela 2:** diferenças de aquíferos quanto a sua litologia e formas de armazenamento (continuação).

**Aquíferos de acordo com a litologia rochosa**

<b>Poroso</b>	A água fica armazenada nos espaços porosos criados durante a formação da rocha, como exemplo tem-se o arenito do Sistema Aquífero Bauru e Guarani. Os aquíferos porosos funcionam como esponjas onde os espaços vazios são ocupados por água (BORGHETTI, 2004).
<b>Fissural</b>	A água circula pelas fissuras resultantes do fraturamento das rochas relativamente impermeáveis (ígneas ou metamórficas), como os basaltos que estão sobre o arenito do Guarani, sendo os materiais do grupo Serra Geral (REBOUÇAS, 2006).
<b>Cársticos</b>	São os aquíferos formados em rochas carbonáticas (sedimentares, ígneas ou metamórficas). Constituem um tipo peculiar de aquífero fraturado, onde as fraturas, devido à dissolução do carbonato pela água, podem atingir aberturas muito grandes, criando, neste caso, verdadeiros rios subterrâneos e a formação de dolinas pela ação do intemperismo das águas (BORGHETTI, 2010).

#### **4.2. Recarga das águas subterrâneas**

A recarga, de forma geral, consiste na quantidade de água que contribui para aumentar as reservas subterrâneas dos aquíferos que por sua vez, armazenam água no subsolo e ainda exercem função reguladora de perenização dos cursos da água e move-se descendentemente e lateralmente a locais de descarga de água subterrânea (HEATH, 1983).

O processo de recarga ocorre pelo movimento da água no solo, que atinge a zona não saturada do aquífero sob influências de duas forças (de adesão e de gravidade), que as direcionam para baixo ou em direção específica por condicionamento hidráulico (VASCONCELOS, 2005)

Healy (2010) define recarga como: “quantidade de água que atinge o aquífero em qualquer direção e que, por sua vez, somam-se ao armazenamento subterrâneo que está em subsuperfície, e por ter tal função, a recarga rege a quantidade de recurso disponível no aquífero”.

Para Manzione (2015), a recarga é o fluxo de água descendente que atinge o nível piezométrico, sendo um recurso natural renovável, em diferentes escalas

temporais sendo: horas, dias, anos, décadas, séculos e/ou milênios dependendo da sua interação com o meio.

Um dos fatores importantes relacionados ao nível piezométrico, é que sua configuração varia de acordo com a época, de um ano a outro, devido à recarga da água subterrânea, que é o acréscimo de água acima da superfície da zona saturada, e está relacionada com a quantidade e distribuição de precipitação, podendo assim ser definido como flutuação do volume saturado ou flutuação do nível d'água (ARANTES, 2003)

Após chegar no nível freático, a água considerada como recarga independentemente do mecanismo de transporte, continua a mover-se através da zona saturada, de áreas onde o nível freático está alto (áreas de alta pressão) em direção à área onde ele está mais baixo (áreas de baixa pressão) (WINCANDER; MONROE, 2011).

A recarga de aquíferos podem ocorrer naturalmente ou por fenômenos induzidos, sendo a precipitação, infiltração de rios, canais e lagos, fluxos inter-aquíferos os de cunho natural e irrigação e a urbanização os fatores antrópicos (LERNER, 1990).

Para LERNER (2002), existem três principais formas de ocorrência de recarga natural:

**I. Recarga direta:** originária da precipitação que infiltra pela zona não saturada até atingir o nível de água do aquífero. Todavia, uma parcela da água não chega ao aquífero, apresentando como umidade na zona não saturada, ou sendo retirada do meio pela evapotranspiração.

**II. Recarga indireta:** parcela de água introduzida por meio de corpos de águas superficiais, como rios e lagos.

**III. Recarga localizada:** águas provenientes da precipitação, que ficam acumuladas em poças, bacias de infiltração e obras de retenção e em seguida infiltram-se até atingir o aquífero.

Feitosa e Filho (2000), trata que a água infiltrada no solo pode ser dividida em três partes:

- a) água retida na zona não saturada;
- b) água na zona de interfluxo (escoamento superficial); e

- c) água que percola até o nível freático, constituindo a recarga ou recursos renováveis dos aquíferos.

O termo infiltração equivale a uma recarga dita como potencial, em que o fluxo de deslocamento vertical é mantido até o nível piezométrico, pode de fato tornar uma recarga aquífera (HEALY, 2010).

Algumas metodologias para análise da recarga, baseia-se na hipótese de que a variação de volume do aquífero livre é inteiramente atribuída a elevação do seu nível freático, assumindo assim, que a precipitação pluviométrica, é o fenômeno natural de maior relevância (MANZIONE, 2015)

Lerner *et al.* (1999) apresentam diversos estudos, nos quais verificou-se estimativas de recarga natural compreendidas na faixa entre 5% a 25% da precipitação, Gonçalves *et al.* (2016) também encontrou resultados de recarga de 22% para a cidade de Assis-SP, e recarga média em torno de 16,5% da precipitação, para área situada no centro-oeste paulista na Estação Ecológica de Santa Bárbara e da Floresta Estadual no município de Águas de Santa Bárbara – SP.

Outras respostas rápidas a eventos climatológicos podem ser evidenciadas como por Penalba *et al.* (2014); Santarosa (2016) e Manzione (2017), que encontraram as respostas da recarga para Estação Ecológica de Santa Bárbara, podendo ser imediata em alguns pontos localizados próximos às nascentes de cursos d'águas (nível piezométrico mais superficial) ou com pequenos atrasos da ordem de 1 a 2 meses para que ocorram flutuações nos níveis, a partir dos eventos de precipitação.

Moon *et al.* (2004) bem como Healy e Cook (2002) citam que as taxas de recarga podem variar dentro de uma bacia, resultando na flutuação do nível d'água subterrânea, isso, de acordo com as características dos eventos de precipitação (quantidade, duração e intensidade) e de outras variáveis hidrogeológicas (topografia, espessura da zona não - saturada e composição dos materiais da formação).

Os fatores que mais influenciam na quantidade das águas subterrâneas são: a exploração excessiva dos aquíferos, a quantidade e intensidade das chuvas e ainda o uso e ocupação do solo, principalmente em condições de pavimentação e impermeabilização, como ocorrente em grandes centros. (PARALTA *et al.*2003).

Estes fatores incidem diretamente no ciclo hidrológico e realça a necessidade do entendimento da recarga das águas subterrâneas para uma gestão eficaz, pois a estimativa de recarga é instrumento fundamental aos estudos hidrogeológicos e para a gestão integrada dos sistemas de águas subterrâneas (WAHNFRIED; HIRATA 2005).

A Resolução nº 22/2002 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), relata a importância de estimar as recargas e descargas de aquíferos e das reservas permanentes exploráveis, afim de ter dados importantes para conservação e poder subsidiar propostas na tomada de decisão de projetos de proteção ambiental e desenvolvimento sustentável, assegurando a qualidade e a quantidade de seu manancial para as futuras gerações (SOLDERA; MANZIONE, 2010; OAS/GEF, 2001).

#### **4.2.1. Métodos de estimativa de recarga**

Existe uma diversidade de métodos para estimativa da recarga, dos quais produzem dados ao longo de várias escalas de tempo e espaço e podem ser utilizados como instrumentos na gestão das águas subterrâneas em várias escalas de gestão. (HEALY; COOK, 2002).

Os métodos para estimar a recarga das águas subterrâneas podem ser divididos em quatro grandes grupos, sendo que cada um, pode ser classificado de acordo com a abordagem, sendo elas, Físicas, Traçadoras ou Modelagens Numéricas. Tais métodos são: (i) Método do Balanço Hídrico, (ii) Métodos baseados em estudos de interação com águas superficiais, (iii) Métodos baseados em estudos da zona não saturada e (iv) Métodos baseados em estudos da zona saturada.

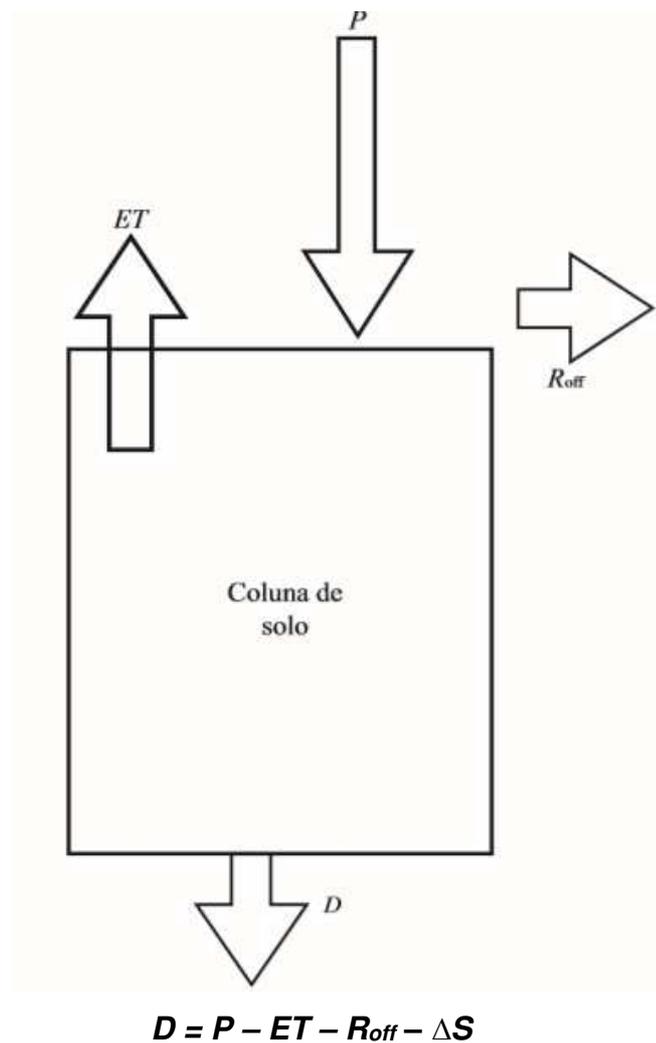
A aplicação das modelagens numéricas, são utilizadas a todas as abordagens, seja os de zona saturada ou não saturada. Em relação a águas superficiais, as abordagens traçadoras são mais utilizadas na relação precipitação/escoamento, em bacias hidrográficas e estimam a recarga através do residual da equação do balanço hídrico (MANZIONE, 2015).

A estimativa realizada na zona saturada parte dos modelos de fluxo subterrâneo e estimam as recargas por parâmetros físicos como potencial hidráulico

e condutividade, entre outros. A modelagem da zona não saturada é utilizada para estimar as recargas mais profundas em resposta a as precipitações.

O Método do Balanço Hídrico estima a recarga considerando a parte residual da equação de balanço hídrico, examinando todas as entradas e saídas de água no sistema (SCANLON *et al.*, 2002). Como apresentado na Figura 1.

**Figura 1** - Esquema de balanço hídrico em relação aos potenciais de absorção do solo



Fonte: Manzione (2015).

Manzione (2015) como apresentado na figura 1, indica como a precipitação pela letra **P**, evapotranspiração é definida por **ET**, **R<sub>off</sub>** é o escoamento superficial, **ΔS** a variação no armazenamento subterrâneo, ou seja, a quantidade de água na

coluna de solo e  $D$  a drenagem profunda ou infiltração, assim a Equação representada pelo método de Balanço Hídrico, conforme equação 1:

$$D = P - ET - R_{off} - \Delta S \quad (1)$$

onde:

$D$ : drenagem profunda ou infiltração;

$P$ : precipitação;

$ET$ : evapotranspiração é definida;

$R_{off}$ : escoamento superficial;

$\Delta S$ : variação no armazenamento subterrâneo

A limitação deste método dá-se pela dependência sobre as qualidades dos dados de medição que compõem a equação (SCANLON *et al.* 2002)

Os métodos baseados na interação de águas superficiais e subterrâneas, podem estimar a recarga de áreas úmidas e sub úmidas, onde existe a interação direta, podendo estes receberem ou doarem água. Os métodos mais comuns relacionados aos estudos com a interação da água subterrânea com as águas superficiais são: escoamento de base, medidores de infiltração, balanço hídrico do canal e traçadores isotópicos, contudo a estimativa é pontual e necessita de ampla rede de amostragem (SCANLON *et al.*, 2002)

As recargas em zona não saturada, são estimadas pelos métodos de Plano de Fluxo Zero (ZFP), Lei de Darcy, Traçadores Históricos e Ambientais, Traçadores aplicados e Modelagem numérica e Lisímetros, embora sejam utilizados em zonas não saturadas expeças, características de regiões áridas ou semiáridas (HEALY, 2010).

Os métodos para os estudos voltados a zona saturada abrangem amplas áreas e geralmente preveem recarga atual, visto que a água meteórica atinge o lençol freático e usualmente são: Variação do Nível Freático, Lei de Darcy, Traçadores Históricos, Traçadores Ambientais.

Os métodos mais utilizados e promissores para estimativa da recarga, atualmente, são o Método do Balanço de Massa de Cloreto (*CMB – Chloride Mass Balance*), o Método da Precipitação Cumulativa (*CRD – Cumulative Rainfall Departure*), a Modelação Subterrânea (*GM – Groundwater Modelling*), o Método EARTH (*Extended model for Aquifer Recharge and Moisture Transport through*

*unsaturated Hardrock*), Método de Flutuação do Volume Saturado (*SVF – Saturated Volume Fluctuation*) e o Método de Flutuação da Superfície Piezométrica (*WTF – Water Table Fluctuation*) (SCANLON *et al.* 2002; XU; BEEKMAN, 2003; WAHNFRIED; HIRATA, 2005; MANZIONE, 2015).

Os métodos baseados em relações entre precipitação e variações da superfície piezométrica na zona saturada têm um maior potencial de prever a recarga subterrânea, e estão entre os mais utilizados para estimar a taxa de recarga em aquíferos livres.

#### **4.2.1.1. Método da Variação da superfície Livre *WTF (Water Table Fluctuation)***

O *WTF* é uma metodologia que assume a precipitação pluviométrica anual a principal fonte de recarga de um aquífero livre, e estudos relacionados à flutuação do nível freático e avaliações de recarga semelhantes às estimativas realizadas pelo método *WTF*, ocorrem desde 1920, uma vez que este método se mantém atualizado e é amplamente aplicado por hidrogeólogos brasileiros e estrangeiros (DAMBROS, 2011, COELHO *et al.*, 2012, MANZIONE, 2017).

No Brasil, Hirata e Wahnfried (2004) utilizaram uma combinação de 3 métodos de estimativa de recarga de águas subterrâneas (Método de Flutuação da Superfície Piezométrica (*WTF*), Método do Balanço Hídrico e a Estimativa Darcyniana em uma planície aluvionar da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, no campus da Universidade de São Paulo (USP) em São Paulo/SP. Neste estudo o método de balanço hídrico estimou a menor recarga, seguido pelo Lei de Darcy e o maior com o método *WTF*, em que, para o ano de estudo o total precipitado, foi de 908mm e a recarga subsequente estimada para cada método foi 48, 66 e 187 mm, uma variação da recarga de 5,30% a 20,60%.

Maziero e Wendland utilizaram o método de *WTF* na determinação da recarga de água subterrânea de bacias urbanas no município de São Carlos-SP e encontraram valores com grande variabilidade espacial, possivelmente por ações do uso e ocupação do solo, variando entre 130 mm (8,19 % da precipitação anual de 1596,50 mm) e 540 mm (34,00 % da precipitação anual de 1596,5 mm).

Estudos realizados por Gonçalves *et al.* (2016), também encontram resultados de recarga de 22% para a cidade de Assis-SP, e recarga média de 16,5% para área situada no centro-oeste paulista, na Estação Ecológica de Santa Bárbara

no município de Águas de Santa Bárbara – SP realizados pelo método *WTF* em pastagens e cultivos de pinus.

Segundo Wahnfried e Hirata (2005), o método *WTF* é aplicável somente aos aquíferos não confinados e requer o conhecimento do rendimento específico, podendo ser usado de duas formas: para estimativas de eventos de curta duração (dias, semana, mês) ou em períodos mais extensos (anos), sendo também possível à estimativa em escala local e regional.

Martilneli (2012) relata que o *WTF* é sensível à estimativa de recarga e supre algumas deficiências que os outros métodos apresentam, incluindo sua simplicidade e uma sensibilidade aos mecanismos do movimento da água, na zona não saturada na interface solo/rocha sedimentar clástica (HEALY; COOK, 2002).

Delin *et al.* (2007) aponta como incerteza do método as dificuldades de estimar o valor do rendimento específico, pois pode variar em relação a profundidade do nível freático, e em períodos que a resposta ao histórico da flutuação do nível.

Manzione (2017) relata algumas limitações do *WTF*, visto que as taxas de recarga podem variar substancialmente em áreas amplas por inúmeros fatores, como diferença na elevação do terreno, geologia, declividade, vegetação uso do solo. Portanto como nem todas as elevações representam recarga, uma vez que método assume a recarga como um evento pontual, não levando em conta o fluxo lento e estável que pode vir a ocorrer em algumas áreas com a zona não saturada mais grossa.

O método *WTF* é amplamente utilizado na área acadêmica para se estimar dados de recarga das águas subterrâneas e parte da premissa que a oscilação do nível piezométrico dos aquífero não confinados está diretamente relacionado às quantidades de água que atingem esse nível recarregando os mananciais subterrâneos (SCANLON *et al.*, 2002).

Healy (2010) assume em sua teoria que a quantidade de água disponível em uma coluna de uma unidade de área é igual ao rendimento específico, vezes a altura de água na coluna. Assim, é possível desenvolver a equação fundamental do Método da Variação da Superfície Livre, Equação 2:

$$R = S_y (\Delta H / \Delta t) \quad (2)$$

onde:

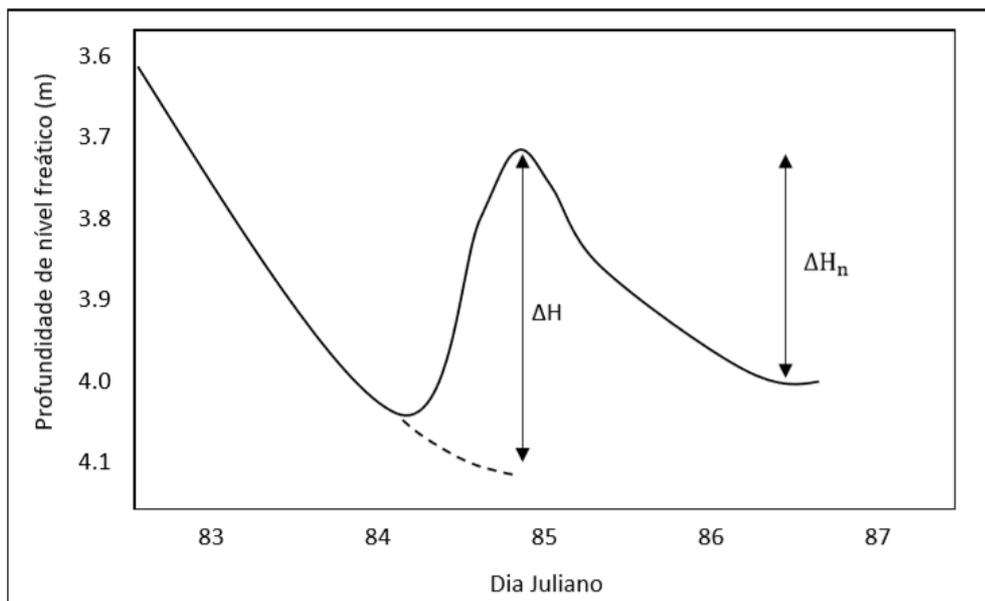
$R$ : recarga do poço observado;  
 $S_y$ : rendimento específico do aquífero;  
 $\Delta H$ : altura do nível freático analisado;  
 $\Delta t$ : tempo de ocorrência da recarga.

A equação 2 indica que a água da recarga que atinge o nível piezométrico entra imediatamente em armazenamento e que todos os outros componentes do balanço hídrico subterrâneo (fluxo de base, entrada e saída de fluxo sub-superficial e outros) são nulos durante o período de recarga.

A altura do nível freático ( $\Delta H$ ) é obtido a partir da diferença entre o pico de ascensão do nível freático e a base da linha extrapolada da última curva de recessão, este valor é inserido na fórmula acima, encontrando o valor da recarga parcial, assim, a soma das recargas é o que determina a recarga total para o período analisado. (HEALY,2010).

A Figura 4 apresenta o conceito apresentado para estimar a recarga pelo método *WTF*.

**Figura 2** - Elevação hipotética no nível de água do poço em resposta à precipitação



**Fonte:** Lucas (2012) adaptado de Healy (2010).

A linha extrapolada a curva (traçado) apresenta o nível piezométrico que teria seguido se não houvesse a elevação, em função da precipitação, ou seja, a curva de recessão antecedente é o traço que o hidrograma do poço teria seguido na ausência de elevação do nível d'água, indicando a recarga.

Goncalves (2016) relata que a linha pode ser desenhada manualmente, embora denota tempo e tende à subjetividade, ainda que existam tecnologias suficientes para ajudar o autor a criá-la digitalmente.

Segundo Scanlon *et al.* (2002) o método *WTF* é simples e fácil de se utilizar, visto que a presença de fluxo preferencial não o restringe, pois considera o movimento da água pela zona não saturada.

Um detalhe importante para a execução da metodologia é o entendimento de todas as variáveis que envolvem, sendo que o Glossário de Termos Hidrológicos (ANA) considera sinônimos os termos porosidade efetiva ( $n_e$ ) e rendimento específico ( $S_y$ ).

Feitosa e Manoel Filho (2000), bem como outros autores, também citam o rendimento específico como sendo a razão entre o volume de água efetivamente liberada de uma amostra de rocha porosa saturada e seu volume total (Equação 3) e utilizam os termos porosidade efetiva ou porosidade específica. Também observam que este parâmetro possui grande relevância na variação do nível d'água e nos modelos matemáticos de estimativa, sendo a precisão de seu cálculo refletida nas incertezas dos resultados obtidos (GOMES, 2008; MANZIONE, 2015):

$$N_e = \frac{V_d}{V} \quad (3)$$

onde:

$n_e$  = porosidade efetiva;

$V_d$  = volume de água drenado por gravidade;

$V$  = volume total.

#### 4.2.1.2. Rendimento específico

O rendimento específico ( $S_y$ ) refere-se ao volume de água que um aquífero libera por unidade de área superficial, por unidade de declínio da superfície do lençol, ou seja, é a água sob armazenamento em sub superfície, que irá drenar sob influência da gravidade, podendo ser entendida como a quantidade de água que se torna disponível para uso humano (HEATH, 1983)

Relaciona diretamente a porcentagem de água que consegue ser liberada pela drenagem dos poros da formação rochosa em que a água se encontra. Todavia, materiais com elevado rendimento específico permitem a liberação de mais água armazenada.

O rendimento específico é um parâmetro usado na obtenção das estimativas da recarga subterrânea, principalmente nos métodos que utilizam flutuações do nível d'água.

Segundo Wendland (2001) o rendimento específico não é igual à porosidade total do meio porque as forças de tensão molecular e de superfície no espaço poroso mantêm uma parte da água nos vazios. Contudo, os valores relatados para o rendimento específico na literatura são bastante variáveis, assim como os métodos para a sua obtenção.

Heath (1983), cita valores de porosidade, rendimento específico e retenção específica para diferentes tipos de materiais geológicos (Tabela 2).

**Tabela 3** - Valores de porosidade, rendimento específico e retenção específica para diferentes tipos de materiais geológicos

Material	Porosidade (%)	Rendimento específico (%)	Retenção específica (%)
Solo	55,00	40,00	15,00
Argila	50,00	2,00	48,00
Areia	25,00	22,00	3,00
Cascalho	20,00	19,00	1,00
Carbonato	20,00	18,00	2,00
Arenito (semi consolidado)	11,00	6,00	5,00
Granito	0,10	0,09	0,01
Basalto	11,00	8,00	3,00

Fonte: Adaptado de Heath (1983).

Apesar da importância na determinação precisa do rendimento específico, os valores relatados na literatura são variáveis e podem ser determinados por várias

maneiras podendo ser: em laboratórios, a partir de ensaios de drenagem de coluna de solo, por perfilagem geofísica de poços através da aplicação de diferentes sondas, na interpretação de ensaios de bombeamento (teste de aquífero ou *Aquífer Test*) (HEALY; COOK, 2002; MAZIERO; WENDLAND, 2005).

#### 4.3. Características do Sistema Aquífero Bauru

A área de afloramento das rochas do Grupo Bauru no Estado de São Paulo abrange 309 municípios e população estimada em cerca de 5.630.000 habitantes (IBGE, 2010), ocupa cerca de 47% do território paulista, referindo a 117.000 km<sup>2</sup> (DAEE, 1990), onde sua extensão total refere-se a 370.000 km<sup>2</sup> distribuídos pelo triângulo mineiro, noroeste do Paraná, sudoeste do Mato Grosso do Sul e sul de Goiás.

O Sistema Aquífero Bauru (SAB) divide em quatro Formações: Caiuá, Santo Anastácio, Adamantina e Marília conforme tabela 2, dos quais 240 dos 645 municípios paulistas (37%) captam água do SAB, sendo que em 210 (32%), o abastecimento é integralmente feito por água subterrânea.

**Tabela 4** - Características do Sistema Aquífero Bauru

CARACTERÍSTICAS DAS FORMAÇÕES DO SISTEMA AQUÍFERO BAURU	
Formações	Principais Características
Formação Caiuá	uniformidade litológica, com granulação fina a média de cor vermelho-escuro e arroxeados, estratificação cruzada de grande porte e matriz inferior a 5% com grãos sub arredondados a arredondados, a espessura máxima é de 200 metros
Formação Santo Anastácio	granulação de fina a média, de cor marrom-avermelhada, estratificação incipiente plano-paralela ou cruzada de baixo-ângulo, matriz inferior a 15% e grãos arredondados a sub angulares, espessura máxima de 80 metros e podem recobrir a formação Caiuá ou o embasamento basáltico
Formação Adamantina	granulação fina a muito fina, de coloração castanho-avermelhada a cinza-escuro, estratificação cruzada, espessuras estão entre 160 e 190 metros
Formação Marília	granulação grosseira a conglomeratória, teor de matriz variável, possuindo espessura máxima conhecida no município de Marília, 160 metros

Fonte: Adaptado de PAULA e SILVA *et al.* (2005).

Segundo Rebouças (1976), o SAB como um todo é um sistema hidrogeológico de rochas sedimentares, de comportamento predominante granular livre, sobreposto a rochas cristalinas magmáticas, com interações hidráulicas inexistentes ou muito localizadas, onde Mezzalira (1974) e Carvalho (1980) descrevem algumas inter-relações entre o Sistema Aquífero Bauru e os aquíferos subjacentes, no sentido de estabelecer fluxos ascendentes e uma comunicação hidráulica entre os sistemas aquíferos Guarani e Bauru, através de fraturas no basalto.

Tendo em vista que sua área de ocorrência é totalmente aflorante em superfície, a recarga ocorre por toda a sua extensão, diretamente através da infiltração das precipitações atmosféricas, considerado moderadamente permeável (DAEE, 1976, 2000; IRITANI; EZAKI, 2009).

Alguns pesquisadores ainda dividem esse Sistema Aquífero em: unidade aquífera Bauru inferior, que compreende as formações Caiuá e Santo Anastácio, e a unidade aquífera Bauru médio/superior, que compreende as formações Adamantina e Marília (BARISON; KIANG, 2004). A Figura 3 apresenta a Divisão estratigráfica do Grupo Bauru, de acordo com Soares *et al* (1980).

**Figura 3** - Proposta clássica da subdivisão da formação Grupo Bauru elaborada por Soares *et al* (1980)

Divisão estratigráfica do Grupo Bauru, de acordo com Soares et alii (1980)								
Grupo	Formação	Esp. Máx.	Litologia		Litofácies	Sistema Depositional	Fósseis	Idade
			SW	NE				
Grupo Bauru	Marília	160 m	Marília		Itaqueri	Leques Aluviais	Algas Moluscos Conchíferos Répteis	Cretáceo Superior
	Adamantina	190 m	Itaqueri Taciba Ubirajara		Taciba	Fluvial meandrante pelítico a sul		Cretáceo Médio
	Santo Anastácio	80 m	S. J. R. Preto Slo. Anastácio		Ubirajara	Psamítico a leste e norte		Cretáceo Inferior
	Caiuá	200 m	Caiuá			F. meandrante anastomosado psamítico		
G. S. Bento	Serra Geral	+ 1500 m	Basaltos			Desértico		

Fonte: Paula e Silva *et al.* (2005).

Mancuso e Campos (2005) relatam a facilidade e menor custo de exploração do sistema SAB em relação ao Sistema Aquífero Guarani, uma vez que se encontram confinado pelo Sistema Aquífero Serra Geral. Por essa razão, observa-se um crescimento na perfuração de poços no SAB devido à facilidade de atendimento às demandas individuais e coletivas nas regiões sudoeste do estado de São Paulo.

Pode-se citar como exemplo as UGRHIs 20 e 21, conforme definidas na Política de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (São Paulo, 1991a), nas quais os poços do sistema SAB somam 65% de todas as captações de água outorgadas. Considerando-se somente a UGRHI 20, constatou-se um incremento de 94,3% no volume captado de água subterrânea, apenas no período entre 2007 e 2011 (CBH-AP, 2013).

## 5 MATERIAL E MÉTODOS

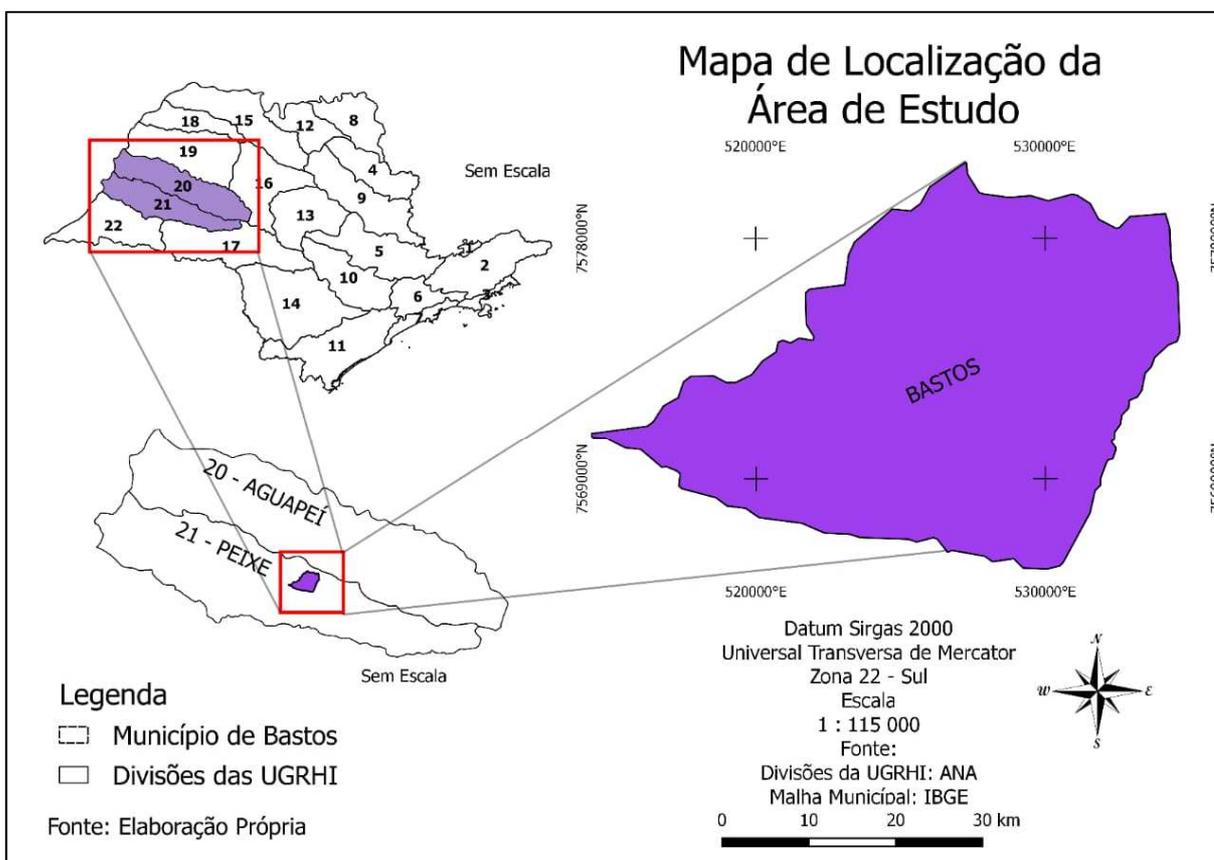
### 5.1. Área de estudo

#### 5.1.1. Aspectos Gerais

Bastos -SP está a oeste da capital paulista cerca de 550 km, com coordenadas Lat. 21° 55' 14" e Long. 50° 44' 07", a uma altitude de 450 metros em relação ao nível do mar, possui segundo o censo demográfico de 2010 população total de 20.446 habitantes, sendo que deste total, 17.609 (86%) concentram-se na área urbana e 2.837 (14%), na área rural (SEADE, 2013).

A área territorial é de aproximadamente 172 km<sup>2</sup> e limita-se a norte com o município de Jacri, a sul com Rancharia, a leste com Tupã e a oeste, com Parapuã, UGRHIs 20 e 21, conforme apresentado na figura 3.

**Figura 4:** Localização do município de Bastos – SP.



### **5.1.2. História**

O nome do município foi herdado da fazenda onde a cidade se estabeleceu (Fazenda Bastos) em 1928 por colonizadores japoneses, que até meados da década de 50 dedicaram-se a agricultura e criação de bicho da seda. A partir dessa data, gerou-se uma nova diversidade agrícola que incluiu o cultivo de amendoim, café, algodão, bem como as granjas de avicultura de postura. Atualmente o município é considerado o maior produtor de ovos do Brasil, responsável pela produção de 60% do consumo de ovos do Estado, e 20% do consumo nacional, equivalente a 14,4 milhões de ovos/dia (BASTOS, 2017), essas atividades também favoreceram ao município um passivo ambiental pela falta de tratamento e destinação final adequada dos resíduos desta atividade, resultando na contaminação das águas subterrâneas (TAVARES *et al.*, 2016).

### **5.1.3. Clima**

A classificação do climática segundo *Koepfen* no município de Bastos como Aw, como tropical chuvoso com inverno seco e mês mais frio com temperatura média superior a 8 °C. A precipitações segundo o Relatório Zero de Situação dos Recursos Hídricos das Bacias dos Rios Aguapeí e Peixe (CBH-AP, 1997) apresentam valores médio anual nas bacias é de 1250 mm, com temperatura média anual superior a 18 °C. e o mês mais chuvoso sendo janeiro e o mês mais seco é julho.

### **5.1.4. Geologia**

O subsolo do município de Bastos é composto por rochas sedimentares da Formação Adamantina do Grupo Bauru, sobrepostas às rochas da Formação Araçatuba, que têm como substrato as rochas basálticas da Formação Serra Geral na região segundo mapa geológico do Estado de São Paulo (DAEE/UNESP, 1980).

Segundo Prandi (2010), a Formação Adamantina é a de mais ampla distribuição em área nas bacias dos rios Aguapeí e Peixe, dentre as formações do

Grupo Bauru, estando sobreposta apenas pela Formação Marília, áreas de nascentes dessas bacias, possuindo espessura máxima de 100 metros no município de Iacri e suprimida por processos erosivos onde afloram a Formação Araçatuba.

Soares *et al.* (1980), caracteriza a Formação Adamantina por bancos de arenitos róseos a castanhos, de espessura variando entre 2 e 20 m, de granulação fina a muito fina, com estratificação cruzada, intercalados por bancos de lamitos, siltitos e arenitos lamíticos de cor castanho avermelhada a cinza castanho, maciços ou com acamamento plano-paralelo, com marcas de onda e microestratificação cruzada.

#### **5.1.5. Hidrogeologia**

As formações hidrogeológicas da Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe são constituídas principalmente por rochas sedimentares de depósitos aluvionares do Grupo Bauru de idade cenozoica e em pequenas áreas (PRANDI, 2010).

O Sistema Aquífero Bauru (SAB), aquífero sedimentar de extensão regional formado por arenitos do período cretáceo superior, apresenta superfície aflorante por mais de 96 mil km<sup>2</sup>, representando uma importante fonte de água para vários municípios do Estado de São Paulo.

Alguns pesquisadores ainda dividem esse Sistema Aquífero em: unidade aquífera Bauru inferior, que compreende as formações Caiuá e Santo Anastácio, e a unidade aquífera Bauru médio/superior, que compreende as formações Adamantina e Marília (BARISON; KIANG, 2004).

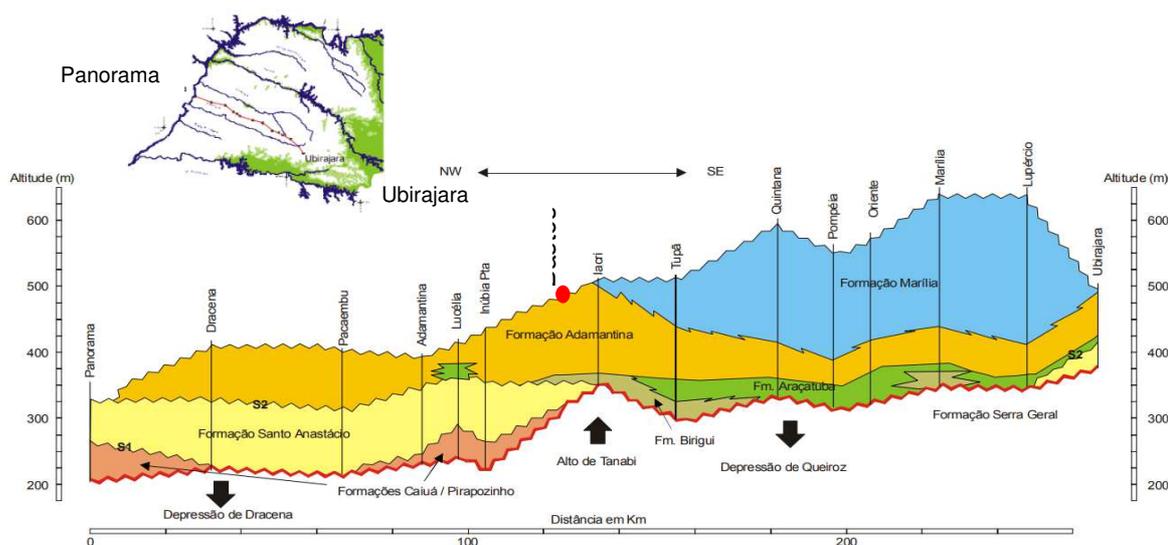
Na região de estudo ocorrem apenas a Formação Adamantina, caracterizado como uma unidade hidrogeológica contínua, livre a semiconfinada, de extensão regional, constituído de arenitos finos e mal selecionados na base, de arenitos argilosos e calcíferos no topo (DAEE, 2005), conforme apresentado na Figura 5 o perfil estratigráfico do sudeste de São Paulo dos municípios de Ubirajara a Panorama em direção ao Rio Paraná.

Paula e Silva (2003), definem que a Formação Adamantina é composta por arenitos avermelhados e acastanhados, finos a muito finos, argilosos, carbonáticos, quartzosos, com intercalação de lamitos marrons a avermelhados.

Segundo Rocha *et al.* (1979), os valores médios de transmissividade predominantes da porção inferior do Bauru estão entre 30 m<sup>2</sup>/h e 50m<sup>2</sup>/h e correspondem ao domínio de ocorrência da Formação Adamantina, Mendonça e Gutierrez (2000), relatam que a formação é heterogênea e anisotrópica, apresentando vazões variando de 5 a 50 m<sup>3</sup> /h, vazões específicas entre 0,5 e 3 m<sup>3</sup>/h/m e transmissividades entre 10 e 100 m<sup>2</sup> /dia.

Paula e Silva (2003) consideram, para o perfil estratigráfico de sudoeste (Ubirajara) a noroeste (Panorama) em direção ao Rio Paraná (Figura 5), pode-se admitir que no município de Bastos está inteiramente inserido na Formação Adamantina e tem uma espessura de 150 metros e se apresenta de forma livre.

**Figura 5:** Seção Geológica entre Panorama e Ubirajara oeste do estado de São Paulo



Fonte: Paula e Silva *et al.* (2003).

## 5.2. Procedimentos adotados, coleta e tratamento dos dados

### 5.2.1. Caracterização climatológica

A precipitação pluviométrica é uma variável climática, que nesse trabalho foi utilizada para observar possíveis relações estatísticas das chuvas com a variação do nível do lençol freático. Também, foi usada para fornecer uma estimativa da recarga

subterrânea de água, empregado pela metodologia *WTF* adjunto com informações de evapotranspiração.

Os dados referentes às precipitações pluviométricas e evapotranspiração estão disponibilizados no site da plataforma CIIAGRO *online*, que possui uma estação de coleta de dados instalada no município de Osvaldo Cruz -SP. O seu banco de dados possui registros diários referentes a precipitações e ainda de outras variáveis climáticas, tais como: temperatura do ar, direção e velocidade do vento.

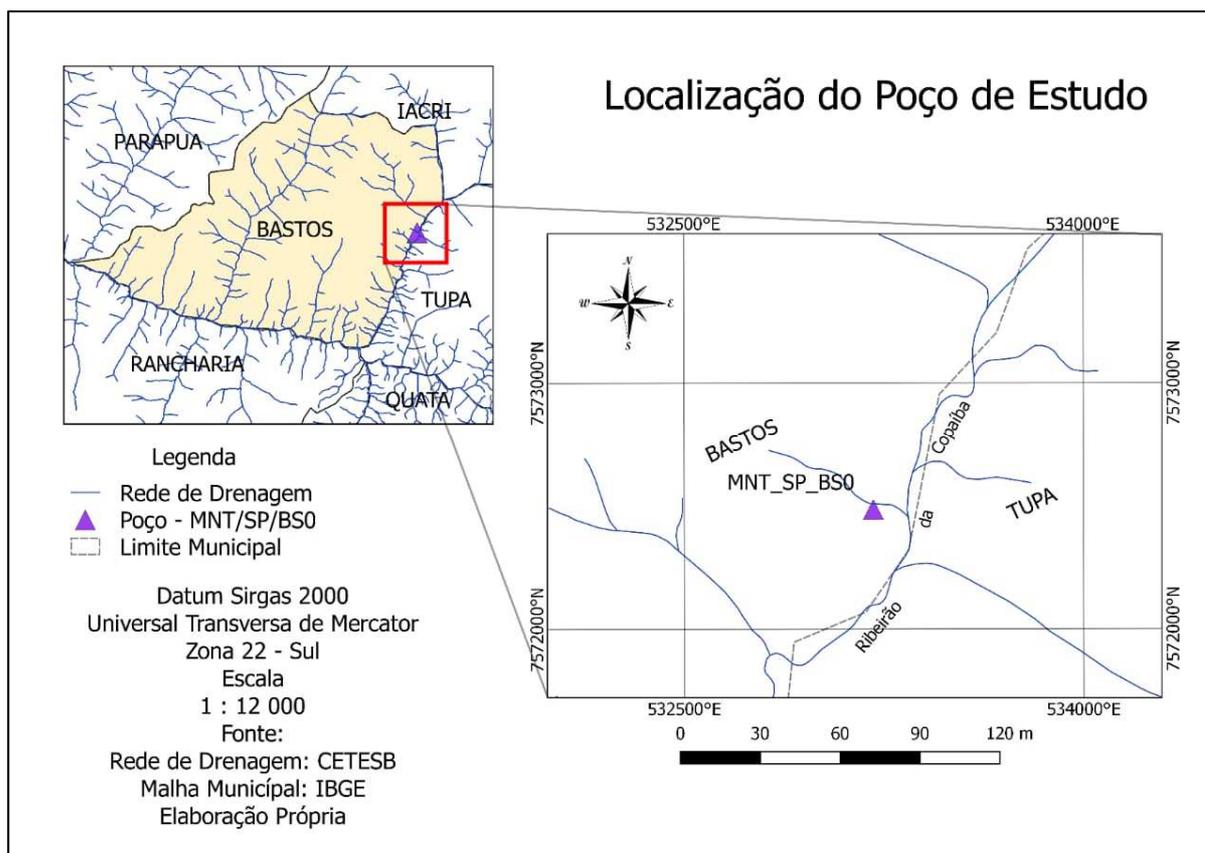
A escolha da estação pluviométrica para ser utilizada neste estudo foi realizada de acordo com sua proximidade em relação ao poço de monitoramento, assim como a disponibilidade de dados nos anos abordados no estudo.

### **5.2.2. Caracterização dos níveis freáticos da superfície do aquífero**

Os dados, referentes aos níveis estáticos e dinâmicos dos poços foram realizados através de medidor automático de nível, o qual foi calibrado para obter dados de frequência horária. Os dados do monitorado assim como a metodologia de coleta está disponível no site CPRM através do projeto Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas (RIMAS) (<http://rimasweb.cprm.gov.br/layout/>).

O poço localizado no município de Bastos-SP (Figura 6) cujo nome de identificação é: MNT/SP/BS0, situado nas coordenadas latitude: 21°57'5.28" S e longitude: 50°40'42.00" O, possui profundidade final de 52,70 metros, faz captação do SAB, tem o nível dinâmico em 16,20 m e nível estático em 4,17 m conforme descrito pelo teste de bombeamento do CPRM.

**Figura 6** - Imagem do poço MNT/SP/BS0 localizado no município de Bastos-SP.



Os dados em princípio, foram obtidos no período de três anos hidrológicos, iniciando em setembro de 2013 e finalizando em agosto de 2016, perfazendo uma série temporal entre precipitações, evapotranspiração e flutuação do nível freático.

Essas séries temporais ou históricas, são observações com intervalos definidos, e período total determinado, auxiliam no entendimento da dinâmica dos fenômenos geográficos a ser analisado e possibilitam a criação de cenários futuros, uma vez que podem apresentar ciclos e rotinas.

As análises foram realizadas a partir de ferramentas da estatística descritiva através do uso do aplicativo *Microsoft Excel*, conduzidas no software *ESPERE* (LANINI *et al.*, 2016)

### 5.2.3. Aplicação da metodologia WTF

O método da variação da superfície livre (*Water Table Fluctuation Method – WTF*), e foi escolhido por ser um método amplamente utilizado na área acadêmica

para estimar dados de recarga das águas subterrâneas (MOON *et al.*, 2004; MARÉCHAL *et al.* 2006; WANG *et al.*, 2014; MANZIONE, 2015; LUCAS; WENDLAND, 2016; COELHO *et al.*, 2017).

Os dados em princípio, foram analisados no campo da estatística descritiva através do uso do aplicativo *Microsoft Excel*, para auxiliar na elaboração dos gráficos, tabelas e na análise dos dados de valores máximos, mínimos, e de média das variáveis da precipitação pluviométrica e da flutuação freática.

Na etapa de tratamento de dados foi utilizado o método *WTF* para realizar a estimativa de recarga subterrânea no poço MNT/SP/BS0. O espaço temporal dos dados considerados foi entre 01 de agosto de 2013 a 4 de novembro de 2014, totalizando 1.649 dias ( $\Delta t$ ) de monitoramento, compreendendo, três anos hidrológicos.

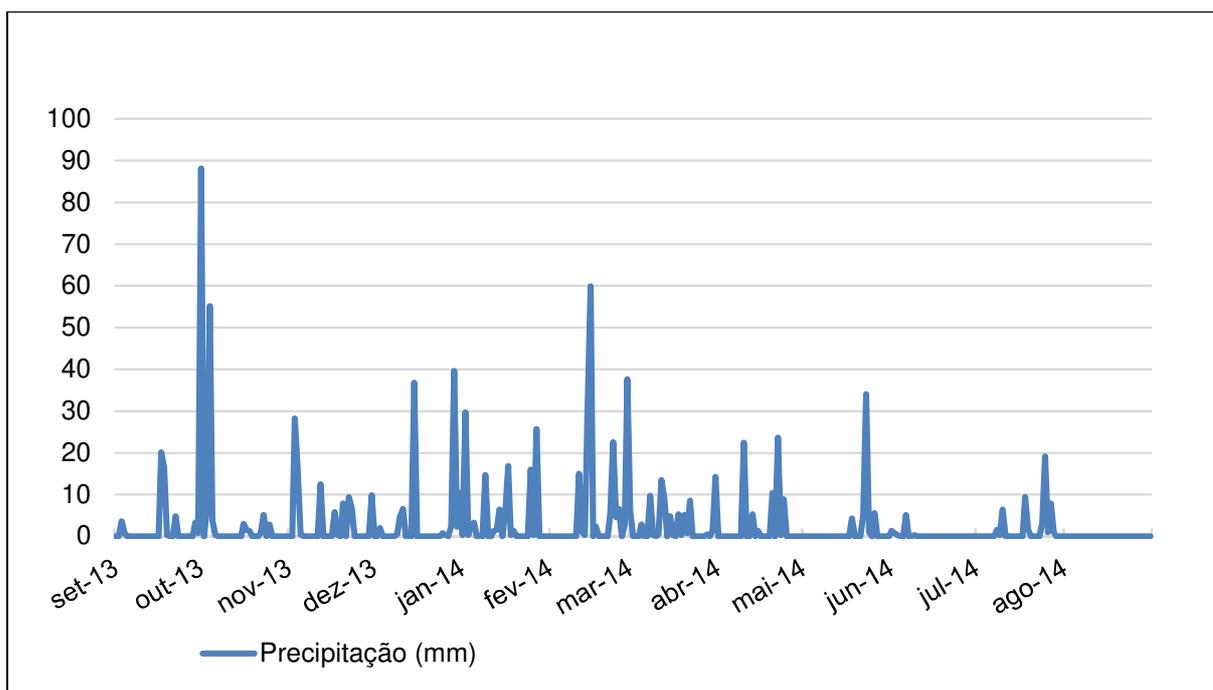
Para tanto neste estudo as análises da recarga da água subterrânea do SAB Formação Adamantina, da cidade de Bastos – SP foram realizadas através do método *WTF*, conduzidas no software *ESPERE (Estimation de la Pluie Efficace et de la Recharge selon différentes méthodes)* (LANINI *et al.*, 2016) e adotadas com rendimento específico no valor de 12% (0,12), como evidenciado por Velásquez e Romano (2004) e Velásquez *et al.* (2008).

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1. Análise das chuvas ocorridas nos anos hidrológicos 2013-2016

Os gráficos contidos nas Figuras 7 a 10 apresentam as precipitações diárias registradas no período dos anos hidrológicos estudados, totalizando um período amostral de 1.649 dias e somaram um volume total de 4.209,2 mm, onde a média encontrada para o período estudado foi de 1.400,00 mm, o ano de maior índice de precipitação foi o ano de 2015-2016 (1.902,20 mm), e o menor foi o ano de 2013-2014.

**Figura 7** – Precipitação diária no ano hidrológico 2013-2014

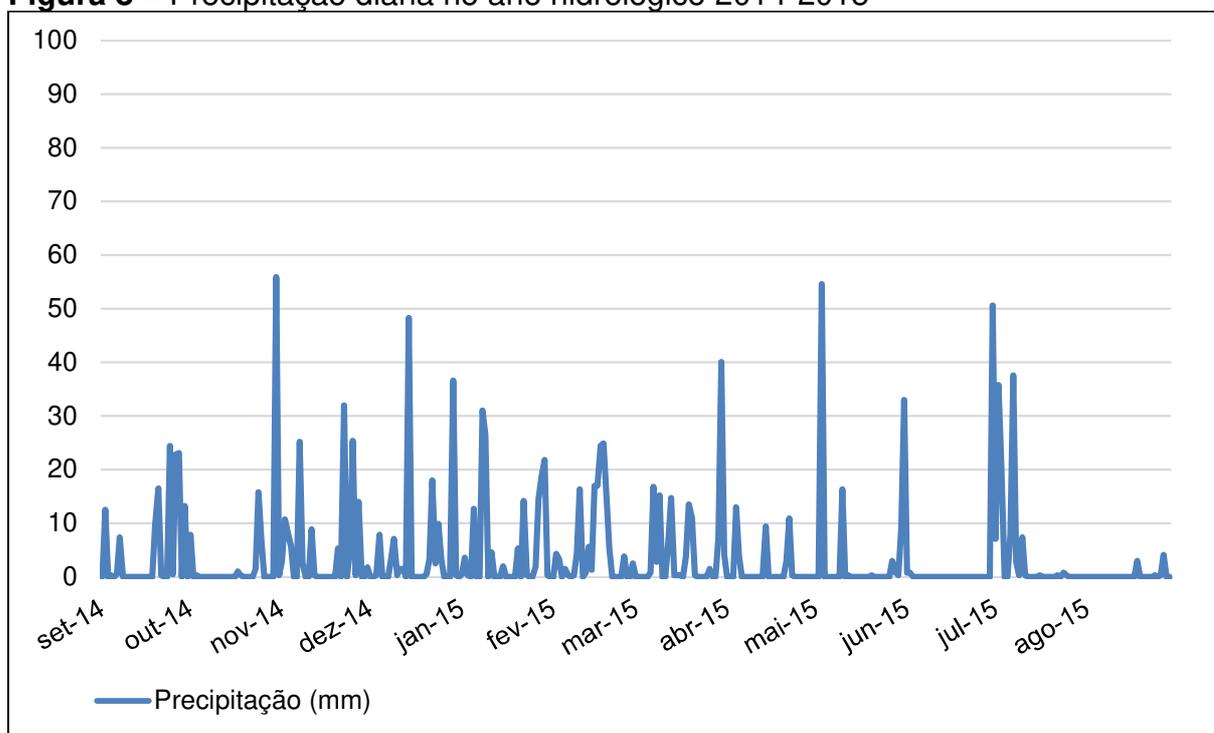


**Fonte:** Adaptado de CIIAGRO (2018).

O período de maior ocorrência de chuvas foi observado entre os meses de outubro a março, esse é o chamado período úmido ou chuvoso, porque ocorrem mais de 70% das precipitações anuais. O período seco ou de estiagem abrange os meses de abril até setembro, em que há ocorrência de pouca chuva.

Para o ano de 2013-2014, foram registrados o valor máximo diário foi de 88,10 mm e total de 1.002,70 mm totais, valor abaixo da média regional que apresentam valores médio anual de 1.250,00 mm (CBH-AP, 1997).

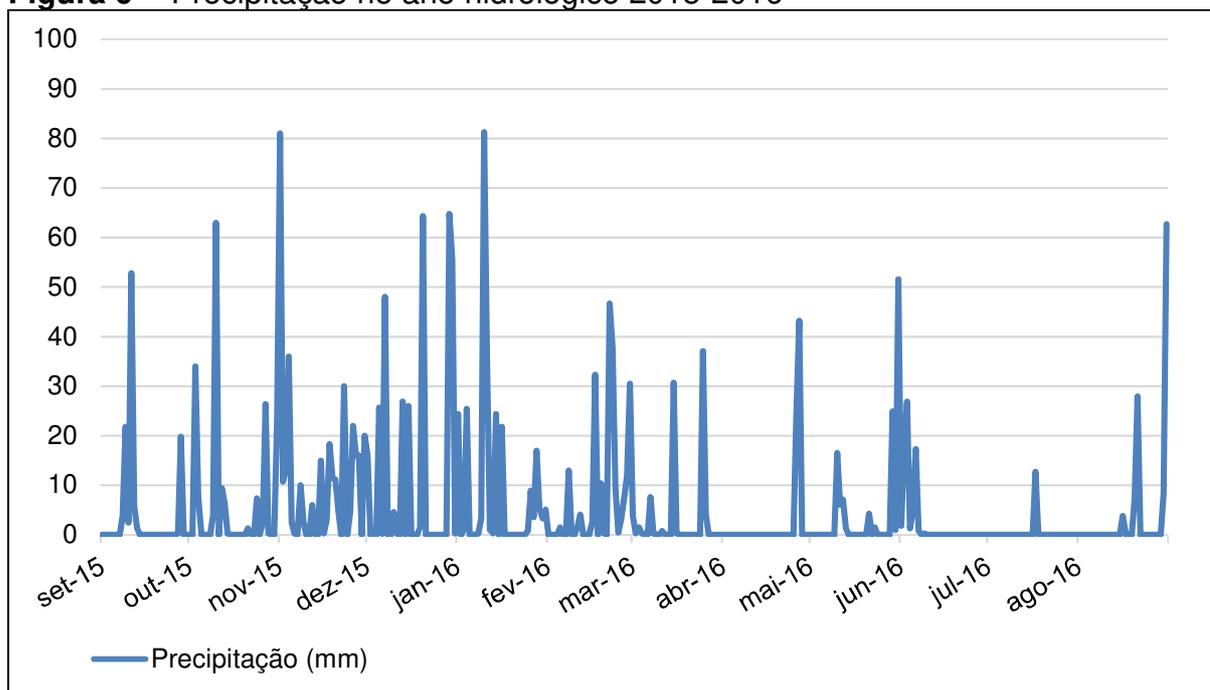
**Figura 8 – Precipitação diária no ano hidrológico 2014-2015**



**Fonte:** Adaptado de CIIAGRO (2018).

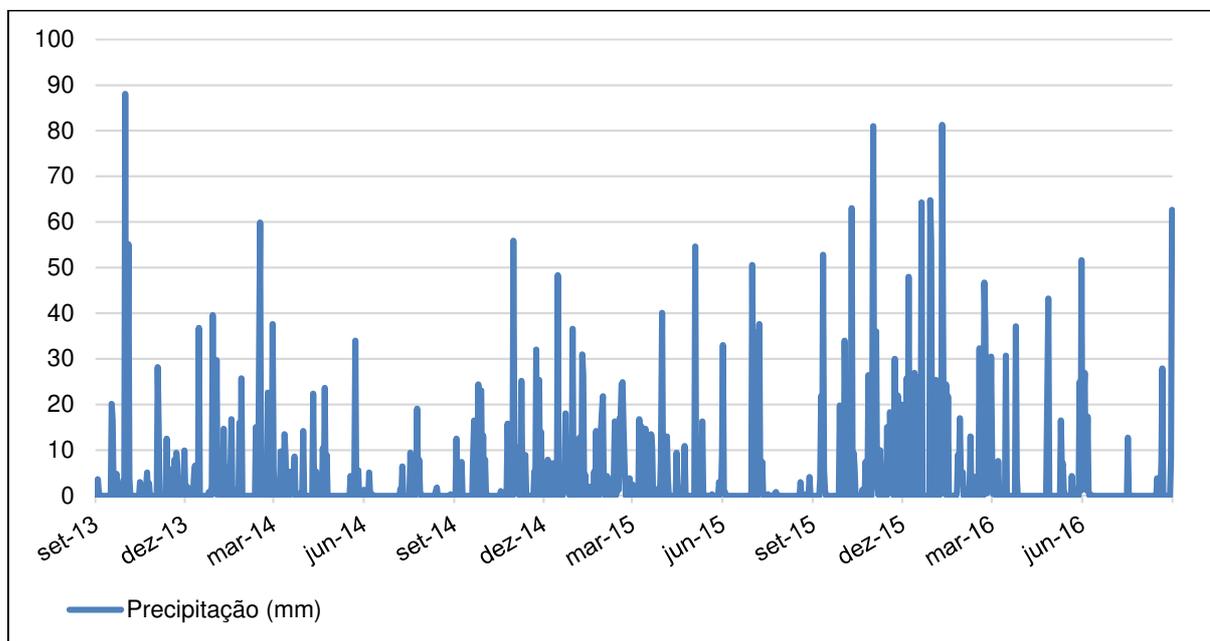
O ano hidrológico de 2014-2015 apresentou uma maior distribuição da precipitação entre os meses de novembro/maio, modificando o ciclo do período de estiagem. O valor máximo diário precipitado foi de 55,90 mm, a precipitação total do período foi de 1.298,00 mm.

**Figura 9 - Precipitação no ano hidrológico 2015-2016**



Fonte: Adaptado de CIIAGRO (2018).

**Figura 10 – Precipitação diária nos anos hidrológicos compreendidos entre 2013 e 2016**



Fonte: Adaptado de CIIAGRO (2018).

As chuvas ficaram distribuídas, de maneira desiguais principalmente comparados com o ano de 2015-2016, sendo que picos de chuva foram registrados nos meses de outubro, novembro, dezembro e janeiro. Pode-se considerar a

estação inverno como a menos chuvosa e o verão como de maiores índices pluviométricos.

O ano hidrológico 2013-2014, apresentou a precipitação abaixo da média, assim como abaixo do primeiro quartil, o segundo ano estudado (2014-2015) apresentou precipitações dentro da normalidade, 1298 mm. O ano de 2015-2016, apresentou precipitações 10% acima da máxima encontrada na série histórica, totalizando 1902,2 mm. A Tabela 4 apresenta as estatísticas para cada ano hidrológico.

**Tabela 5** - Estatísticas descritivas da precipitação registrada na área de estudo entre 2013 e 2016

Estatísticas	Precipitação				
	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2013-2016	1993-2017
Total	1.002,70	1.298,00	1.902,00	4.209,90	*1.274,16
Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00	788,50
Quartil 1 (25%)	0,00	0,00	0,00	0,00	1154,20
Quartil 3 (75%)	0,80	1,65	2,37	1,30	1438,70
Máximo	88,10	55,90	81,30	88,10	1747,50
Desvio Padrão	8,55	8,69	12,80	10,24	218,87
Variância	73,20	75,66	163,84	105,00	47.905,89
Assimetria	5,45	3,40	3,33	4,01	0,27
Curtose	38,53	13,05	12,26	19,33	0,50

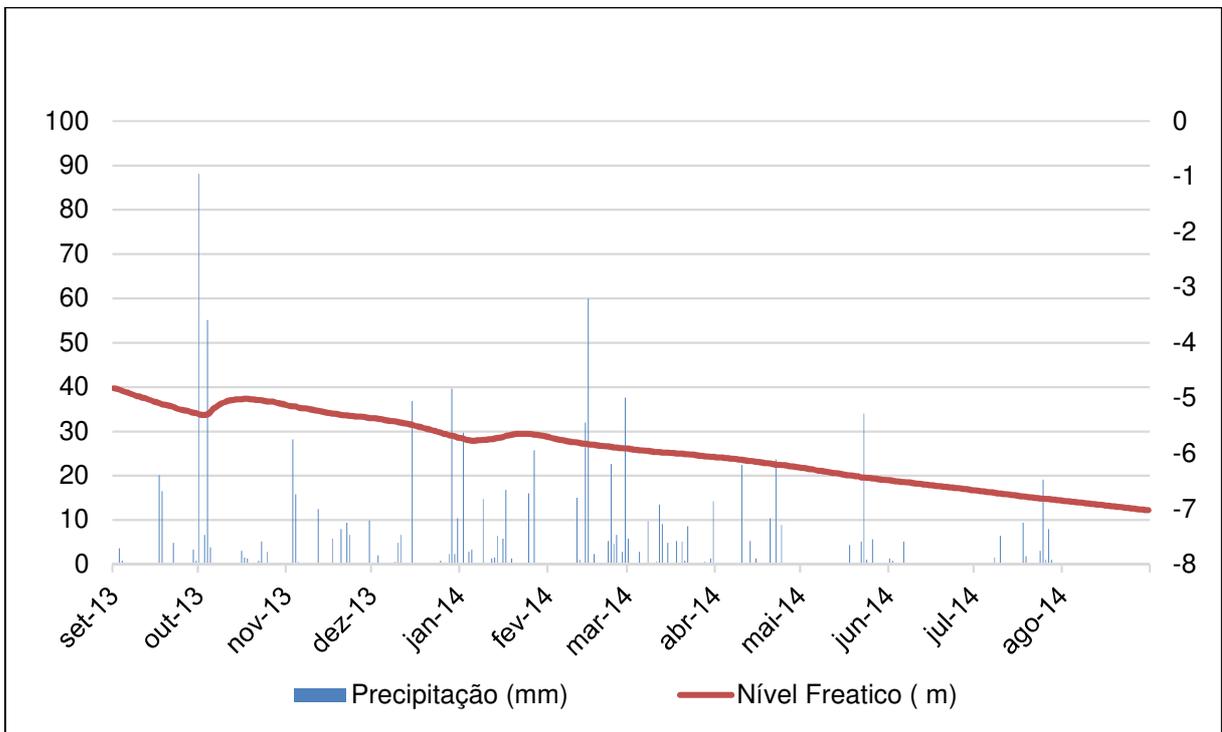
**Fonte:** Adaptado de CIIAGRO (2018). \* Valor médio para o período.

Nos dois últimos anos o desvio padrão e a variância foram maiores, com destaque para 2015-16, ápice do ENOS (12,80). Tal variação pode ser explicada pela quantidade maior de chuva, oscilando o desvio. Todas as distribuições são assimétricas positivas, típico para dados de chuva, sendo o ano da seca o mais assimétrico pois até o terceiro quartis, os valores eram inferiores a 1 mm, replicando as indicações para a curtose, que nos anos de seca, a distribuição foi menos achatada.

## 6.2. Análise da variação da superfície livre do aquífero

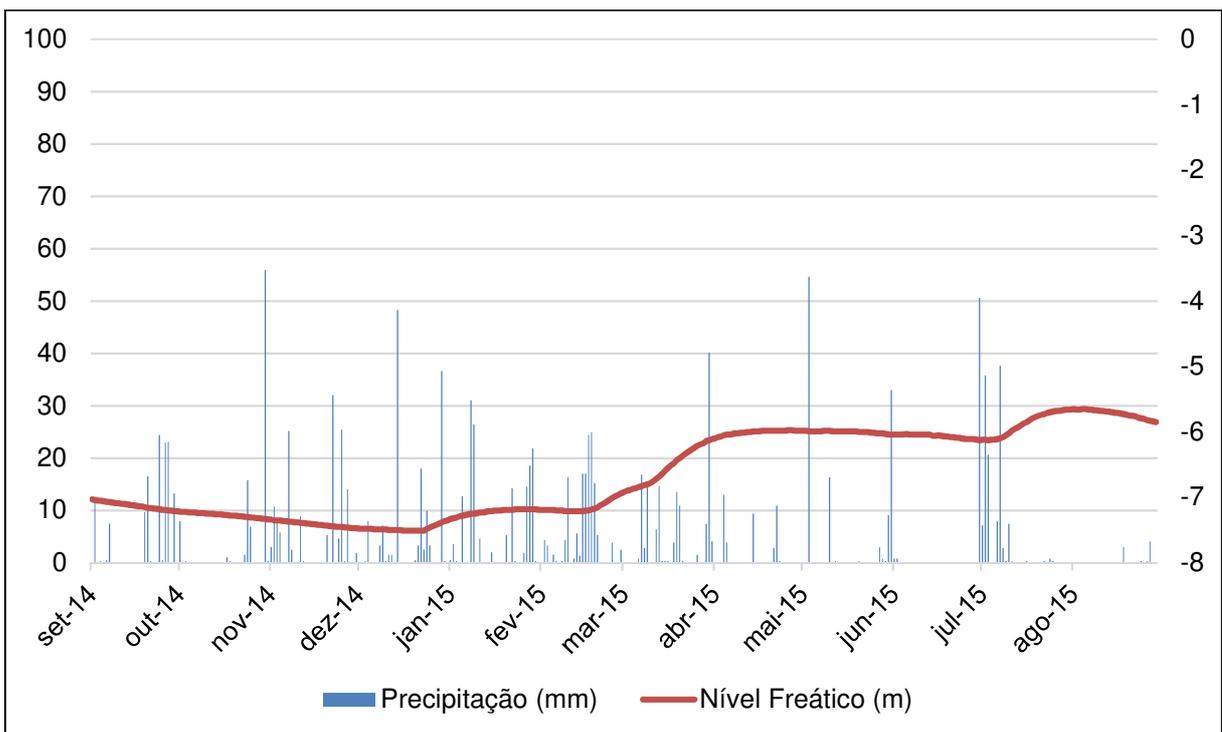
Podemos observar nas Figuras 11, 12, 13 e 14 a representação das oscilações freáticas e as precipitações no poço estudado.

**Figura 11** - Monitoramento da precipitação e do nível freático para os anos de 2013-2014.



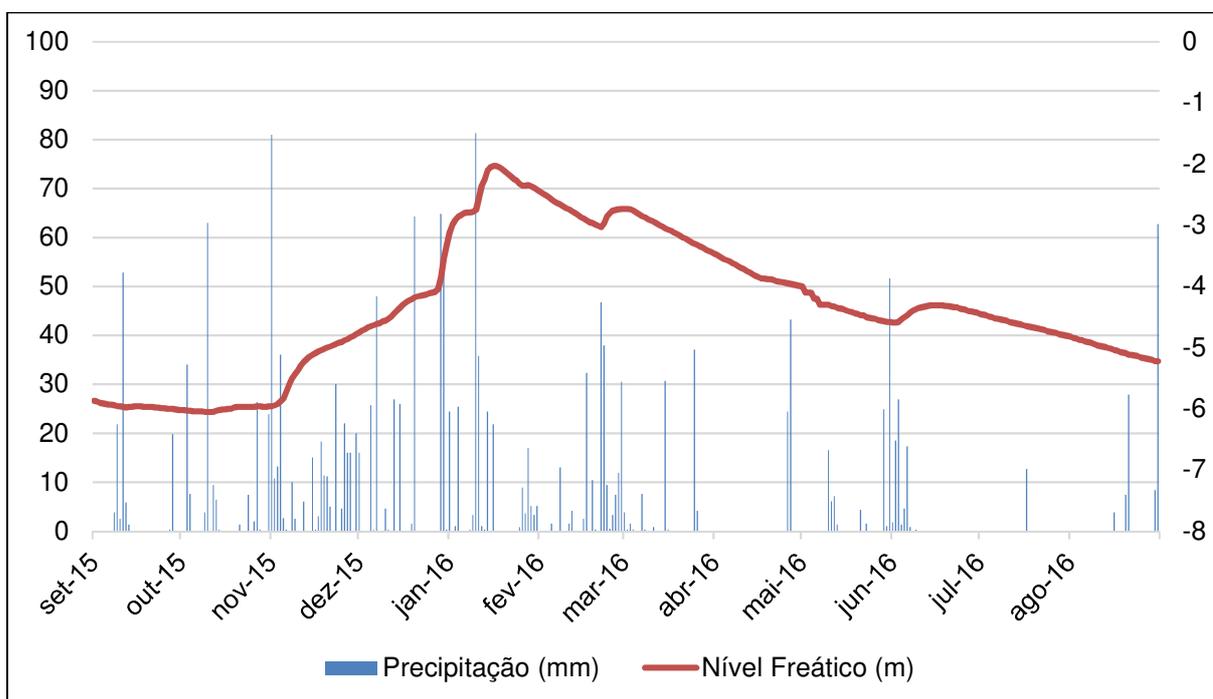
Fonte: Adaptado de CIIAGRO e RIMAS (2017).

**Figura 12** - Monitoramento da precipitação e do nível freático para os anos de 2014-2015.



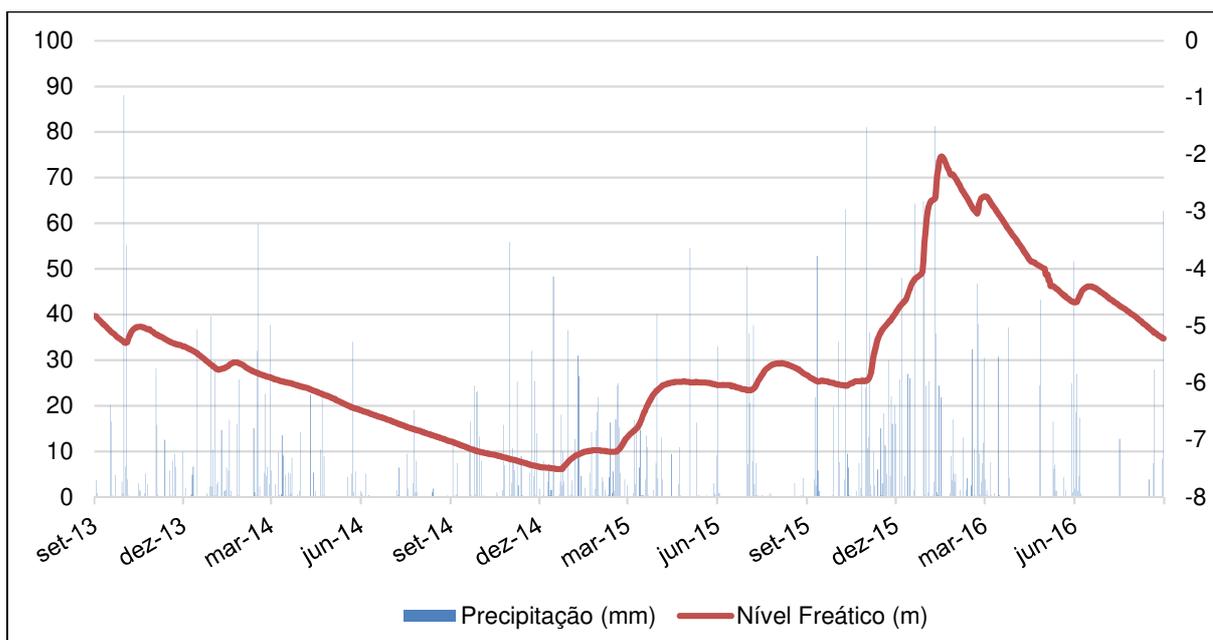
Fonte: Adaptado de CIIAGRO e RIMAS (2017).

**Figura 13** - Monitoramento da precipitação e do nível freático para os anos de 2015-2016.



**Fonte:** Adaptado de CIIAGRO e RIMAS (2017).

**Figura 14** - Monitoramento da precipitação e do nível freático para o período dos anos de 2013 a 2016.



**Fonte:** Adaptado de CIIAGRO e RIMAS (2017).

As variações de níveis da água subterrânea possuem relação com as chuvas apresentadas, em uma resposta direta e rápida como apresentado na Figura 14, onde a flutuação piezométrica deu-se em alguns momentos em um mês, após o evento chuvoso no ano de 2016.

Para todo o período analisado os níveis da água oscilaram de 2,03 m a 7,51 m, com uma amplitude de 5,48 m no período, a média da flutuação para o todo o período foi de 5,64 m, estando mais profundas nos anos de 2014-2015 (6,65m) e mais superficiais em 2015-2016, tais respostas estão diretamente ligadas a chuva ocorridos neste período conforme apresentado na Tabela 5.

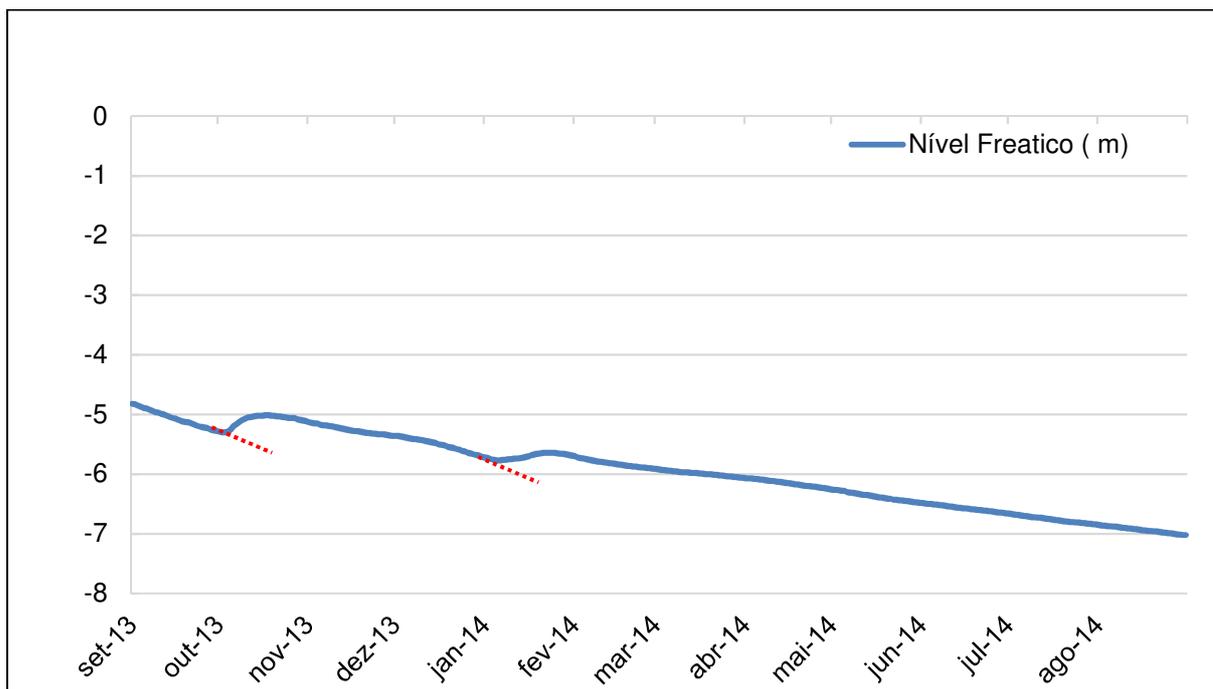
**Tabela 6** - Análise estatísticas da variação do nível freático

Estatísticas	Flutuação da superfície livre do aquífero			
	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2013-2016
Média	-5,93	-6,65	-4,33	-5,64
Mediana	-5,92	-6,92	-4,44	-5,94
Quartil 1 (25%)	-6,48	-7,25	-5,05	-6,57
Quartil 3 (75%)	-5,36	-6,00	-3,44	-4,97
Máximo	-4,82	-5,65	-2,03	-2,03
Mínimo	-7,02	-7,51	-6,05	-7,51
Desvio Padrão	0,62	0,66	1,12	1,27
Variância	0,38	0,43	1,27	1,63
Assimetria	-0,05	0,14	0,19	0,76
Curtose	-1,18	-1,72	-0,86	0,13

**Fonte:** Adaptado de RIMAS (2018).

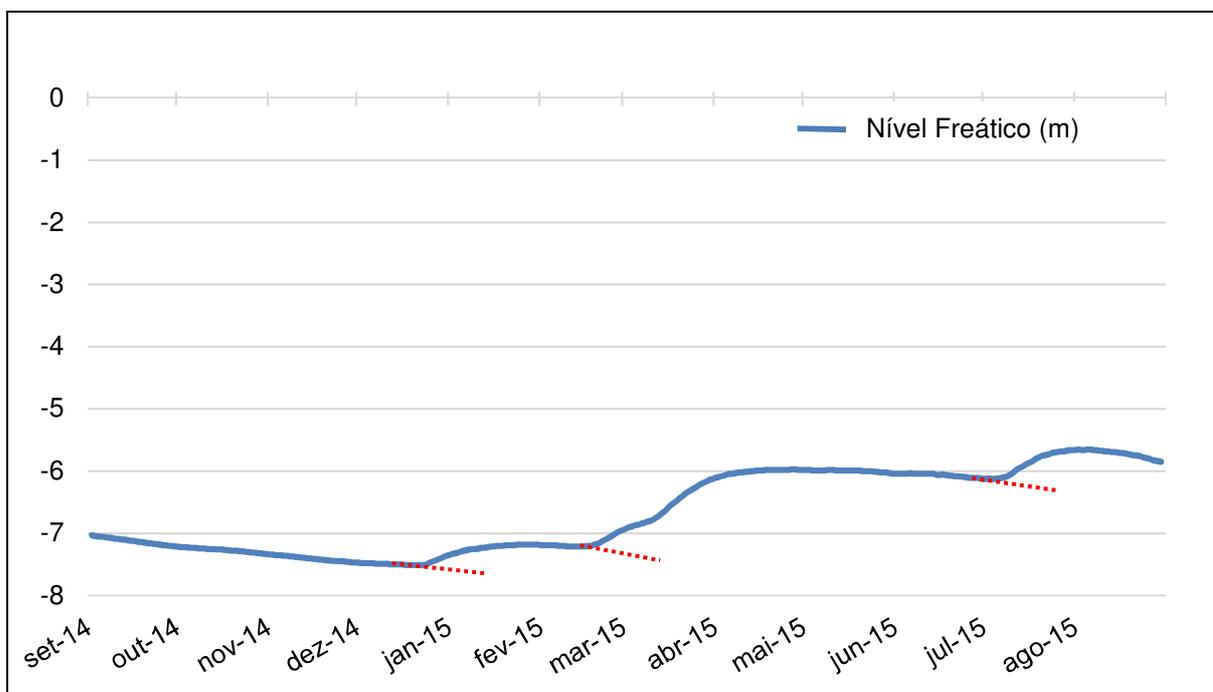
O método da variação da superfície livre foi aplicado para cada série temporal, gerando um gráfico com os valores do nível freático e da precipitação do período, e um gráfico com os valores do nível freático, as linhas extrapoladas para cada uma das recargas estimadas e os valores de recarga, conforme apresentado nas Figuras 15, 16, 17, e 18 que demonstram isso para o poço da cidade de Bastos – SP.

**Figura 15** - Aplicação do *WTF* para o ano hidrológico de 2013-2014



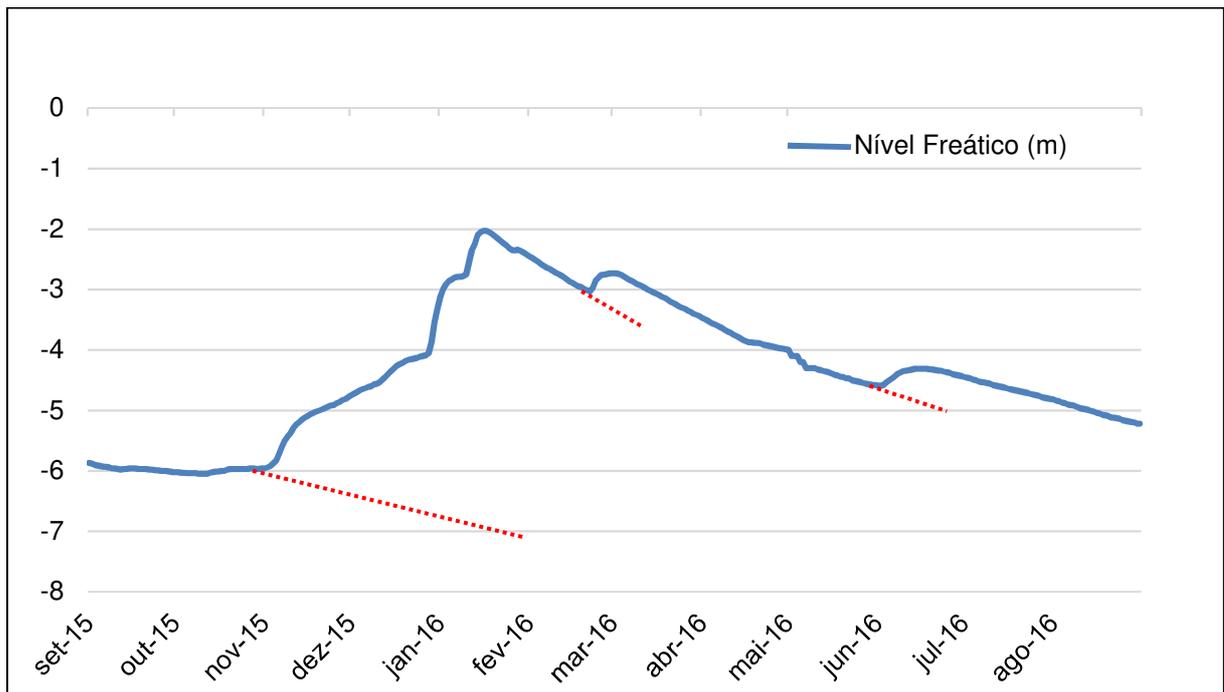
**Fonte:** Adaptado de CIIAGRO e RIMAS (2017).

**Figura 16** - Aplicação do *WTF* para o ano hidrológico de 2014-2015



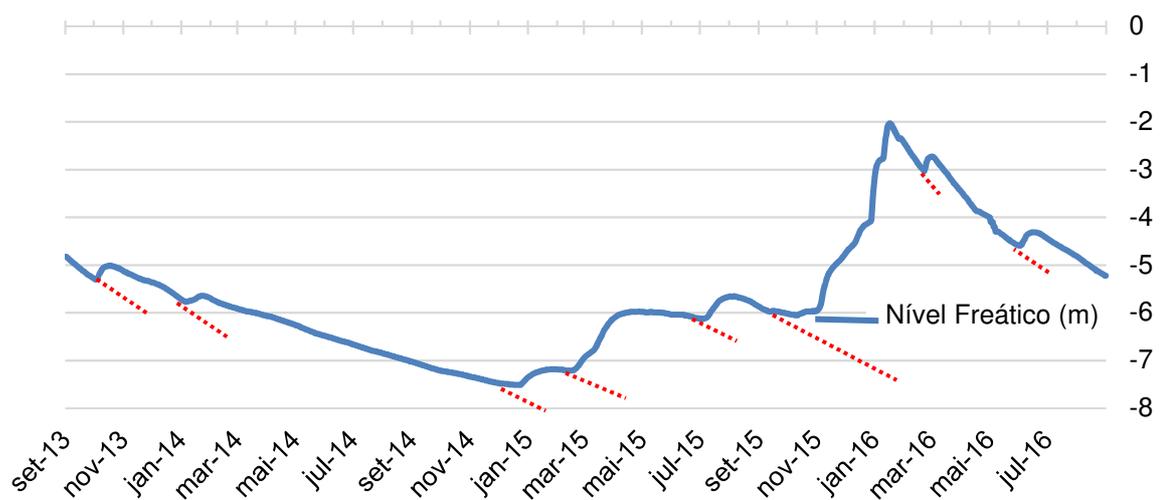
**Fonte:** Adaptado de CIIAGRO e RIMAS (2017).

**Figura 17** - Aplicação do *WTF* para o ano hidrológico de 2015-2016



**Fonte:** Adaptado de CIIAGRO e RIMAS (2017).

**Figura 18** - Aplicação do *WTF* para o período de 2013 á 2016 para o poço da cidade de Bastos – SP



**Fonte:** Adaptado de CIIAGRO e RIMAS (2017).

Com os dados diários da recarga do poço, foi possível elaborar gráficos para ilustrar a oscilação nos níveis. Visualmente já foi possível notar um declínio no nível freático para o ano hidrológico de 2013-2014, e uma recuperação lenta a partir de janeiro de 2015, todavia o aumento significativo nos níveis para o terceiro ano hidrológico pode ser visto drasticamente.

Para o período estudado obteve-se cerca de 833,20 mm, de recarga total, cerca de 17,80 % de toda a precipitação (4209,90mm).

As maiores recuperações aconteceram no ano de 2015-2016, variando sua amplitude de flutuação cerca de 4,00 metros e apresentando recarga de 28,00% do volume precipitado, e o ano de 2013-2014 o de menor recarga, cerca de 5,02 % (50,40 mm) de toda precipitação 1002,70 mm, todavia o período de janeiro de 2014 á Janeiro de 2015, foi o intervalo de tempo onde existiu maior declínio nos níveis freáticos.

O comportamento de declínio para o intervalo citado, deve-se ao comportamento da precipitação entre os anos hidrológicos, assim como a resposta pela baixa precipitação do primeiro ano estudado 2013-2014 (1002,70 mm), assim o acréscimo de chuva para o segundo ano estudado foi de (2014-2015) foi de aproximadamente 30,00% (295,30 mm).

O aumento na precipitação, e conseqüentemente nos valores de recarga, pode ser explicado pelo fato de que o período subsequente ter sido marcado pelo fenômeno ENOS, ou seja, um período com aumento de chuvas.

Com relação aos eventos chuvosos sobre a variação do Nível piezométrico, notou-se que as precipitações mais volumosas e em período maior de duração, geram maior recarga, sem excluir as precipitações menos volumosas que também geram recarga, como evidenciado na Figura 17, do ano 2015-2016.

As estimativas parciais foram reunidas em estimativas anuais para os três anos hidrológicos analisados. Ao compararmos esses valores com os dados de precipitação, obtivemos os valores de precipitação que se tornam recargas, chamados de percentuais de recarga/precipitação como observado na Tabela 6.

**Tabela 7** - Relação entre as precipitações registradas e as recargas calculadas na área de estudo para os anos hidrológicos de 2013/2014, 2014/2015 e 2015/2016

	2013-2014	2014-2015	2015-2016
<i>P</i> (mm)	1.002,70	1.298,00	1.902,20
<i>R</i> (mm)	50,40	250,00	532,80
<i>R/P</i> (%)	5,02	19,26	28,00

**Fonte:** Adaptado de CIIAGRO e RIMAS (2017).

*P* = precipitação em milímetros; *R* = recarga em milímetros; *R/P* = relação percentual entre o volume da recarga e o volume precipitado.

É importante observar que o período analisado consta um período de seca atípica (2013-2015) e um período de recuperação (2015-2016) e que apesar das recargas terem sido calculadas para períodos bem distintos quanto a precipitação, em termos percentuais o volume médio de precipitação que recarregou o SAB na área estudada para os três anos hidrológicos foi cerca de 17,00% (833,20 mm), valores que correlaciona-se com a literatura.

Martelli (2012) encontrou uma taxa de 25,00% em relação a precipitação na área da cidade de Cacequi – RS para o Sistema Aquífero Guarani, ainda no mesmo aquífero Lucas (2012) encontrou valores de recarga direta de 9,00 a 20,00% na Bacia do Ribeirão da Onça, Gonçalves *et al.*, (2016), também encontrou resultados de recarga de 22,00% para a cidade de Assis-SP, e recarga média de 16,50% para área situada no centro-oeste paulista, na Estação Ecológica de Santa Bárbara no município de Águas de Santa Bárbara – SP e SIMON *et al.* (2017), encontram valores de recarga em relação a precipitação entre 13,00 e 17,00% para o Sistema Aquífero Guarani.

Os resultados podem ser utilizados como ferramentas de auxílio para os tomadores de decisão quanto à adoção de práticas de manejo de fontes potenciais de contaminação, uso da água, planos de remediação e políticas públicas para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos, uma vez que podemos identificar padrões de recarga para períodos de oscilações na precipitação.

Manzione (2018), relata que a gestão de recursos hídricos superficiais e subterrâneos requerem o uso de técnicas de modelagem que reconheçam a variabilidade e a incerteza associadas aos elementos hidrológicos e aplicadas no planejamento dos recursos hídricos, em forma de atribuições das vazões de poços

para abastecimento urbano ou até mesmo no dimensionamento de complexos industriais.

O monitoramento das águas subterrâneas é instrumento fundamental para a avaliação das condições em que esse meio natural se encontra e, posteriormente, pode ser utilizado como base ao tomar medidas preventivas e/ou proativas, uma vez que trabalhar as informações da recarga é um parâmetro importante de análise da situação dos recursos hídricos, que pode ser utilizado junto aos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos - Lei 9.433/97 (BRASIL, 1997).

Dessa forma, podemos compreender as possíveis interações respostas em relação a diferentes estímulos climáticos e fatores antrópicos que podem otimizar a adoção de práticas de manejo de resíduos e efluentes que são fontes potenciais de contaminação das águas subterrâneas (MANZIONE, 2018).

Tavares *et al.*, 2016, indicam sinais de contaminação por meios antrópicos no município de Bastos-SP e que com o entendimento do tempo resposta entre fenômenos de precipitação e recarga, auxiliam nas estratégias de monitoramento/remediação em função do tempo para que causem impactos no meio, quando tratando de áreas contaminadas.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A recarga nos apresenta a quantidade da precipitação que realmente torna-se recursos hídricos subterrâneas possíveis de se ser explorados e a compreensão deste processo que compreende uma dinâmica global, é um importante dado na gestão e planejamento integrado das águas superficiais e subterrâneas.

O monitoramento das águas subterrâneas é fundamental para a avaliação das condições entre as relações naturais com a ação antrópica, e que, com análises históricas podem ser utilizadas como medidas preventivas ou proativas na gestão dos usos, como outorgas ou mesmo no gerenciamento de áreas contaminadas.

A busca de desenvolver um uso sustentável com ações integradas torna o entendimento das respostas entre vários estímulos climatológicos, ferramenta importante para evitar situações como a crise hídrica no tocante dos usos subterrâneos, e a utilização de metodologias como a *WTF*, podem contribuir diretamente para a gestão local e regional assim fomentar bases legais na gestão, seja rural ou urbano, dos mais variados usos de águas subterrâneas.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS - ABAS. **O que são águas subterrâneas**. São Paulo, 2017. Disponível em: <http://www.abas.org.br/educacao.php#ind21> Acesso em: 01 out. 2017.

ARANTES, E. J. **Emprego de infiltrômetros na caracterização da interação entre rio e aquífero**. 2003. 103 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

BASTOS. Prefeitura Municipal. **Histórico do município**. Bastos, 2017. Disponível em: <https://www.bastos.sp.gov.br/>. Acesso em: 05 ago. 2017.

BRASIL. **Lei Federal n.º 9.433 de 08/01/1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Col. Leis Rep. Fed. Brasil, Brasília, DF, v. 189, n. 1, p. 37-307, jan. 1997. Diário Oficial da União - Seção 1 - 9/1/1997, Página 479 (Veto). Brasília, DF, 2017.

BARISON, M. R.; KIANG, C. H. Parâmetros Hidrogeoquímicos Regionais do Sistema Aquífero Bauru no estado de São Paulo. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., [s. l.], 2004. **Anais** [...] Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/viewFile/23569/15647>. Acesso em: 22 set. 2017.

BRASIL/CPRM. **Tipos de aquíferos**. [S. l.: s. n.], 2013. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=1377&sid=129>. Acesso em: 07 mar. 2017.

BERTOL, G. A. **Avaliação da recarga anual no Aquífero Bauru no município de Araguari, Minas Gerais**. 2007. (Dissertação de mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

BORGHETTI, N. R. B.; BORGHETTI, J. R.; ROSA FILHO, E. F. da. **Aquífero Guarani: a verdadeira integração dos países do Mercosul**. Curitiba: GIA: Fundação Roberto Marinho, 2004. 214 p.

CENTRO INTEGRADO DE INFORMAÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS - CIIAGRO. **CIIAGRO online**. [S. l.: s. n.], 2017. Disponível em: <http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/>. Acesso em: 15 jul. 2017.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Valores orientadores para solo e águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. Decisão de Diretoria nº 195-2005 - 23 de novembro de 2005. São Paulo, 2005. 4 p.

COELHO, C. A. S.; CARDOSO, D. H. F.; FIRPO, M. A. F. Precipitation diagnostics of an exceptionally dry event in São Paulo, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, Wien, v. 125, p. 769-784, 2016.

COELHO, V. H. R.; ALMEIDA, C.N.; PASSERAT DE SILANS, A. M. B. Análise da flutuação do nível d'água para estimativa da recarga subterrânea da bacia representativa do Rio Gramame no nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p. 241-252, 2012.

COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS AGUAPEÍ E PEIXE – CBH AP. **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos das Bacias dos Rios Aguapeí e Peixe**. [S. l.], 1997. 202 p.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS - CNRH. **Resolução nº 22, de 24 de maio de 2002**. Estabelece diretrizes para inserção das águas subterrâneas no instrumento Planos de Recursos Hídricos. Brasília, DF: CNRH, 2002. Disponível em: [http://www.cnrh.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=14](http://www.cnrh.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=14). Acesso em: 06 nov. 2017.

DAMBRÓS, C.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; DESCOVI FILHO, L. L. V. Aproximando ideias e construindo reflexões na busca da sustentabilidade das águas subterrâneas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E XVII ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS, 16., 2010. **Anais** [...] São Luís do Maranhão, 2010.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE. Plano estadual de recursos hídricos: Primeiro plano do Estado - Síntese. São Paulo, 1990.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DAEE/UNESP (Convênio). Mapa Geológico do Estado de São Paulo- Folhas de Dracena e Araçatuba, escala 1:250.000. 1984.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. Estudo de águas subterrâneas - regiões administrativas 10 e 11 - Presidente Prudente e Marília. São Paulo: DAEE, v. 1 e v. 2, 1979.

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**, Amsterdam, v. 334. p.231-249, 2007.

DOWBOR, L. **Economia da água. Administrando a água como se fosse importante**: gestão ambiental e sustentabilidade. São Paulo: Ed. Senac, 2005. p. 27-36.

DOMENICO, P. A.; SCHWARTZ, F. W.; **Physical and Chemical Hydrogeology**. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1997. 506 p.

FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. M.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. (Org.). **Hidrogeologia**: conceitos e aplicações. 3 ed. rev. ampl. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. 812 p.

FIUMARI, S. L. **Caracterização do Sistema Hidrogeológico Bauru no município de Araguari – MG**, 2004. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

FOSTER, S.; MORRIS, B.; CHITON, L. **Groundwater in urban development - a review of linkages and concerns**. In: ELLIS, J.B. (ed). Impacts of urban growth on surface water and groundwater quality. [S. l.]: IAHS, 1999. p. 3-12.

GONÇALVES, V. F. M.; SANTAROSA, L. V.; MANZIONE, R. L. **Mapeamento da recarga de águas subterrâneas no Sistema Aquífero Bauru (SAB) em área de proteção ambiental durante o ano de 2014/15**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, Campinas, 2015

GOMES, L. H. **Determinação da recarga profunda na bacia-piloto do Ribeirão da Onça em zona de afloramento do Sistema Aquífero Guarani a partir do balanço hídrico em zona saturada**. 2008. 167 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2008.

HAN, D.; CURREL, M. J.; CAO, G.; HALL, B. Alterations to groundwater recharge due to anthropogenic landscape change. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 554, p. 545-557, 2017.

HEALY, R. W.; COOK, P. G. Using groundwater levels to estimate recharge. **Hydrogeology Journal**, [s. l.], v. 10, p. 91-109, 2002

HEALY, R. W. **Estimating groundwater recharge**. United Kingdom: Cambridge University Press, 2010. 245 p.

HEATH, R. C. **Hidrologia básica de águas subterrâneas**. Denver: USGS Paper nº20. Wrege, M. e Potter, P. (Trad.) Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS.

HIRATA, R.; ZOBY, J. L. G.; OLIVEIRA, F. R. de. Água subterrânea: reserva estratégica ou emergencial. In.: BICUDO, C. E. de M; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. Águas do Brasil: análises estratégicas. [S. l.: s. n.], 2010. Disponível em: <http://www.abc.org.br/IMG/pdf/doc-815.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 06 fev. 2017.

IRITANI, M. A.; EZAKI, S. **Cadernos de educação ambiental: as águas subterrâneas do Estado de São Paulo**. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, Instituto Geológico, 2009. 104 p.

LERNER, D. N. Groundwater recharge in urban areas. **Atmos. Environment**, [s. l.], 24 b, n. 1, p. 29-33, 1990.

LERNER, D. N. Identifying and quantifying urban recharge: a review. **Hydrogeology Journal**, Amsterdam, n. 10, p. 143-152, 2002.

LUCAS, M. C. **Influência da precipitação e do uso do solo sobre a taxa de recarga em zona de afloramento do sistema Aquífero Guarani**. 2012. 171 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/134250>. Acesso em : 06 abr. 2017.

LÖBLER, C. A. **Avaliação quantitativa da recarga das águas subterrâneas na bacia escola do Campus da Universidade Federal de Santa Maria**. 2015. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015

MACIEL FILHO, C. L.; NUMMER, A. V. **Introdução à Geologia de Engenharia**. 4. ed. Santa Maria: UFSM. 2011.

MANCUSO, M.; CAMPOS, J.E.. Aquífero Bauru. *In*: DAEE/IG/IPT/CPRM. **Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo**. São Paulo: CPRM, escala 1:1.000.000, p. 32-38.

MANZIONE, R. L. **Águas Subterrâneas**: conceitos e aplicações sob uma visão multidisciplinar. Jundiaí: Paco editorial, 2015. 384 p.

MANZIONE, R. L. Impactos do clima no comportamento de níveis freáticos em área de conservação utilizando um modelo autoregressivo de séries temporais. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, [s. l.], v. 11, p. 185-198, 2017.

MANZIONE, R. L. Incorporação de incertezas associadas à predições de modelos hidrológicos aos instrumentos de gestão em recursos hídricos. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, v. especial, n. 36, p. 215-227, 2014. Disponível em: <http://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/2647>. Acesso em: 05 jan. 2018.

MANZIONE, R. L. Mapeamento das características dinâmicas do nível freático do Sistema Aquífero Bauru como instrumento de gestão de recursos hídricos. **Revista do Instituto de Geociências – USP**, São Paulo, v. especial n. 18, p. 2- 40, 2018 Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/guspsc/article/view/147298/140836>. Acesso em: 28 jun. 2018.

MATOS, J. C. C. T. de. **Proposição de método para definição de cotas per capita mínimas de água para consumo humano**. 2007. 122 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2007.

MAZIERO, T. A.; WENDLAND, E. **Avaliação da recarga subterrânea de bacias urbanas no município de São Carlos, SP**. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS E II SIMPÓSIO DE HIDROGEOLOGIA DO SUDESTE, 14., 2005, São Paulo. **Anais [...]** São Paulo: [s. n.], 2005.

MARTELLI, G. V. **Monitoramento da flutuação dos níveis de água em aquíferos freáticos para avaliação do potencial de recarga em área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani em Cacequi – RS.** 2012. 151 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

MENDONÇA, J. L. G.; GUTIERREZ, T. M. C. O Potencial Hidrogeológico no Estado de São Paulo. *In.*: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ÁGUA SUBTERRÂNEA, 1., 2000, Fortaleza. **Anais** [...] Fortaleza: [s. n.], 2000. 1 CD ROM.

MEZZALIRA S. Contribuição ao conhecimento da estratigrafia e paleontologia do arenito Bauru. **Boletim do Instituto Geográfico e Geológico**, São Paulo, v. 51, p. 162, 1974.

MESSIAS, C. G. *et al.* Análise empírica de fragilidade ambiental utilizando técnicas de geoprocessamento: o caso da área de influência da Hidrelétrica do Funil – MG. **Revista Geonorte**, v. 2, n. 4, p. 112-125, 2012.

MONDIN, M. *et al.* Mecanismos de Controle da Recarga em Aquíferos Sedimentares Livres Estudo na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. **RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, São Paulo, v. 11, n. 3, p. 89-99, jul./set. 2006. Disponível em: [https://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/ed179ace787f40ceb8ed2b0cb45a1bdb\\_518ad2623210a3c5b8a3cdd8790ae5dc.pdf](https://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/ed179ace787f40ceb8ed2b0cb45a1bdb_518ad2623210a3c5b8a3cdd8790ae5dc.pdf). Acesso em: 01 maio 2017.

MOON, S.; WOO, N. C.; KWANG, G. L. Statistical analysis of hydrographs and water-table fluctuation to estimate groundwater recharge. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 292, p.198-209, 2004.

NIAZI, A.; BENTLEY, L.R.; HAYASHI, M. Estimation of spatial distribution of groundwater recharge from stream baseflow and groundwater chloride. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 546, p. 380-392, 2017.

ORGANIZATION OF AMERICAN STATES / GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY (OAS/GEF). **Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible Integrado del SAG.** Montevideo, 2001. 133 p.

PAULA e SILVA, F.; KIANG, C. H.; CAETANO-CHANG, M. R. **Hidroestratigrafia do Grupo Bauru (K) no Estado de São Paulo.** *Águas Subterrâneas*, v. 19, n. 2, p. 19-36, 2005.

PAULA e SILVA, F. **Geologia de subsuperfície e hidroestratigrafia do Grupo Bauru no Estado de São Paulo.** 2003. 166 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

PARALTA, E. A.; OLIVEIRA, M. M.; LUBCZYNSKI, M. W.; RIBEIRO, L. F. Avaliação da recarga do sistema aquífero dos Gabros de Beja segundo critérios múltiplos: disponibilidades hídricas e implicações agro-ambientais. *In*: SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA, 6., 2003, Cabo Verde. **Anais** [...] [S. l.: s. n.], 2003. Disponível em: [http://www.itc.nl/library/papers\\_2003/art\\_proc/lubczynski\\_ava.pdf](http://www.itc.nl/library/papers_2003/art_proc/lubczynski_ava.pdf). Acesso em: 21 set. 2017.

PENALBA, O. C.; PÁNTANO, V. C.; SPESCHA, L. B.; MURPHY, G. M. ENSO impact on dry sequences during different phenological periods in the east-northeast of Argentina. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENSO: BRIDGING THE GAPS BETWEEN, 3., 2014, [s. l.]. **Anais** [...] [S. l.: s. n.], 2014.

PRANDI, E. C. **Gestão integrada das águas do sistema Aquífero Bauru nas bacias hidrográficas dos rios Aguapeí e Peixe / SP**. 2010. 192 f. Tese (Doutorado em Geociências e Ciências Exatas) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2010.

REBOUÇAS, A. C. Importância das Águas Subterrâneas. 3. ed. *In*: FEITOSA, F. A. C.; MANUEL FILHO, J. **Hidrogeologia**: Conceitos e aplicações. [S. l.]: CPRM, 2008. Cap. 1.2. p.13-29.

REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. **Águas doces do Brasil**: capital ecológico, uso e conservação. São Paulo: Institutos de Estudos Avançados da USP, Academia Brasileira de Ciências, 1999. 717 p.

REDE INTEGRADA DE MONITORAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS – RIMAS. Site. [S. l.]: CPRM/RIMAS, 2017. Disponível em: [http://rimasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa\\_complexa.php?rimas=true](http://rimasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php?rimas=true). Acesso em: 29 nov. 2017.

ROCHA, G. A. O grande Manancial do Cone Sul. **Estudos avançados**. São Paulo, v. 11, n. 30, p. 191-212, 1997. Disponível em <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/9003/10555>. Acesso em: 28 dez. 2017.

SANTAROSA, L. V. **Mapeamento de níveis freáticos do Sistema Aquífero Bauru (SAB) em área de proteção ambiental em Águas de Santa Bárbara/SP durante o ano hidrológico 2014/15**. 2016. 124 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.

SCANLON, B. R.; HEALY, R. W.; COOK, P. G. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. **Hydrogeology Journal**, Amsterdam, v. 10, n. 2. p. 18-39, 2002.

FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS – SEADE. **Perfil municipal de Bastos**. [S. l.: s. n.], 2013.

SEILER, K.-P.; GAT, J.R. **Groundwater recharge from run-off, infiltration and percolation**. New York: Springer: 2007. v. 55.

SILVA, R. C. F.; MANZIONE, R. L. Aplicação do modelo HARTT no estudo das oscilações dos níveis freáticos do sistema aquífero Bauru (SAB) sob vegetação de cerrado. **Revista Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 362-374, 2016.

SOARES, P. C.; LANDIM, P. M. B.; FÚLFARO, V. J.; & SOBREIRO NETO, A. F. 1980. Ensaio de caracterização estratigráfica do Cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 3, n. 10, p. 177-185.

SILVA, F.P. **Geologia de subsuperfície e hidroestratigrafia do Grupo Bauru no Estado de São Paulo**. 2003. 167 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociência e Ciências Exatas, Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho – UNESP, Rio Claro, 2003.

SOLDERA, B. C.; MANZIONE, R. L. Modelagem de níveis freáticos no Sistema Aquífero Bauru como ferramenta na gestão de recursos hídricos subterrâneos. **Ciência geográfica**, Bauru, v. 16, p. 54 – 61, 2012

TABAU, I.; VÁZQUEZ-SUÑÉ, E.; CARRERA, J.; VALHONDO, C.; CRIOLLO, R. Quantification of groundwater recharge in urban environments. **Science of the total environment**, Amsterdam, v. 592, p. 391-402, 2017.

TAVARES, T.; VARNIER, C.; BEVILACQUA, R.; CORREA, N.; FACCINI, L.G.; CARVALHO, A.M.; ALBUQUERQUE FILHO, J.L.; IRITANI, M.A.; ODA, G.; FERREIRA, L. M. R.; PRANDI, E.C.; MODAELLI, S. Caracterização Hidrogeológica E Hidroquímica Do Sistema Aquífero Bauru No Município De Bastos (SP). ABAS: **Revista Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 362-374, 2016. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28724/18631>. Acesso em: 01 maio 2017.

TUCCI, C. E. M. (org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2012.

TUNDISI, J. G. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. **Revista Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 55, n. 4, p. 31-33, 2003.

TODD D. K.; MAYS, L. W. **Groundwater hydrology**. 3. ed. New York: John Wiley and Sons, 2005. 636 p.

TOWNLEY, L. R. Shallow Groundwater Systems. *In*: DILLION, P.; SIMMERS, I. **Shallow groundwater systems**. Netherlands: Balkema, 1998. 232 p.

UNITED STATES GEOLOGICAL SERVICE - USGS. **O ciclo da água**. [S. l.: s. n.], 2014. Disponível em: <http://water.usgs.gov/edu/watercycleportuguese.html>. Acesso em: 13 nov. 2017.

UNESCO – WWPA. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o desenvolvimento dos recursos hídricos 4: o manejo dos recursos hídricos em condições de incerteza e risco.** Brasília, DF, 2012. Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002154/215491por.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2017.

VASCONCELLOS, C. A. B. **Modelagem de águas subterrâneas utilizando a aproximação explícita de Green e o método dos elementos finitos.** 2008, 175f. Tese (Doutorado em Ciência em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

VIEIRA, S. R.; LOMBARDI NETO, F.; BURROWS, I. T. Mapeamento da chuva diária máxima provável para o estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 15, p. 93-98, 1991.

VICTOR, M. A. **A cobertura vegetal primitiva.** São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1974. 48 p.

VELÁSQUEZ, L. M. N.; BRANCO, O. E. A.; CARVALHO FILHO, C. A.; MINARDI, P. S. P.; COTA, S. D. S.; BOMTEMPO, V. P.; CAMARGOS, C. C.; RODRIGUES, P. C. H.; FIUMARI, S. L. Caracterização hidrogeológica dos aquíferos Bauru e Serra Geral e avaliação das reservas do aquífero Bauru no município de Araguari, Minas Gerais. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 15., 2008, [s. l.]. **Anais [...]** [S. l.: s. n.], 2008.

VELÁSQUEZ, L.N.M. e ROMANO, A.W. **Caracterização hidrogeológica do município de Araguari – MG.** Belo Horizonte, 2004. 80 p (Relatório Final: SAE/FUNDEP/UFMG/DGEO).

XU, Y.; BEEKMAN, H. E. **Groundwater recharge estimation in Southern Africa.** Paris: UNESCO, 2003. (UNESCO IHP, 64.)

WAHNFRIED, I.; HIRATA, R. Comparação de métodos de estimativa de recarga de aquíferos em uma planície aluvionar na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (São Paulo). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 15-25, 2005.

WINCANDER, R.; MONROE, J. S. **Fundamentos de Geologia.** São Paulo: Cengage Learning, 2011.