



Alerta: Os artigos publicados nesta seção não são avaliados por pares e não são indexados. A intenção da seção ECNT é prover um espaço para divulgação de dados e estudos de interesse local, sem caráter científico. Sendo assim, a Revista Águas Subterrâneas não se responsabiliza pelo conteúdo publicado.

Disclaimer: Articles published in this section are not peer-reviewed and are not indexed. The intention of the ECNT section is to provide a space for the dissemination of data and studies of local interest, with no scientific character. Therefore, Revista Águas Subterrâneas is not responsible for this content.

# Estimativa da recarga de água subterrânea utilizando o método WTF na porção continental da Bacia Sedimentar de Campos, Rio de Janeiro, Brasil

## Groundwater recharge estimation using the Water-Table Fluctuation method in the continental portion of Campos Sedimentary Basin, Rio de Janeiro, Brazil

Lyndemberg Campelo Correia<sup>1</sup>; Maria da Gloria Alves<sup>1</sup>; Gerson Cardoso da Silva Júnior<sup>2</sup> ✉

<sup>1</sup> Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro.

<sup>2</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.

✉ [lyndemberg@yahoo.com.br](mailto:lyndemberg@yahoo.com.br), [mgalvesuenf@gmail.com](mailto:mgalvesuenf@gmail.com), [gerson@acd.ufri.com](mailto:gerson@acd.ufri.com)

### Palavras-chave:

Hydrogeologia.  
Recarga de água subterrânea.  
Método WTF.  
Gestão de água subterrânea.

### Keywords

Hydrogeology.  
Groundwater recharge.  
WTF method.  
Groundwater management.

### Resumo

No presente estudo, estimamos a recarga de aquíferos livres e rasos na porção continental da Bacia Sedimentar de Campos, estado do Rio de Janeiro, Brasil, aplicando o método WTF. Com exceção dos poços P1 e P2, onde foram encontrados os valores mais discrepantes, foi registrada uma recarga média de 106,1 mm, representando 16,5% da precipitação, para o período analisado. Dez poços selecionados na área de estudo tiveram sua variação de nível de água monitorada durante um ano hidrológico, de outubro de 2015 a setembro de 2016. Foram utilizados os registros de precipitação de três estações, Campos, Farol de São Tomé e São Francisco de Paula. A literatura descreve diversos métodos para quantificar a recarga do lençol freático, sendo o método da flutuação do lençol freático (WTF) um dos mais utilizados, provavelmente devido à abundância relativa de dados de variação do lençol freático disponíveis, bem como à sua simplicidade e fácil aplicação. Os resultados de recarga obtidos foram semelhantes em oito dos dez poços monitorados. O método WTF tem se mostrado aplicável em regiões com características climáticas semelhantes às da área de estudo. Recomenda-se a continuidade do monitoramento de forma contínua, de forma a atingir um período prolongado e com medições diárias do nível de água, se possível. Com isso, o método pode contribuir para a obtenção de resultados mais confiáveis, e que, consequentemente, auxiliarão aos tomadores de decisão na gestão do aquífero.

### Abstract

In the present study, we estimated the recharge of unconfined and shallow aquifers in the continental portion of the Campos Sedimentary Basin, Rio de Janeiro state, Brazil, by applying the WTF method. Except for wells P1 and P2, where the most discrepant values were found, an average recharge of 106.1 mm was recorded, representing 16.5% of the rainfall, to analyzed period. Ten wells selected in the study area had their water level variation monitored for one hydrological year, from October 2015 to September 2016. Rainfall records from three stations, Campos, Farol de São Tomé, and São Francisco de Paula, were processed through WTF. Recharge estimates are an essential consideration for the management of water resources, and it is generally challenging to estimate recharge accurately. The literature describes several methods to quantify groundwater recharge, the Water Table Fluctuation (WTF) method being one of the most widely used, likely due to the relative abundance of available water table variation data, as well as its simplicity and easy application. The recharge results obtained were similar in eight of the ten wells monitored. The WTF method is applicable for regions with climatic characteristics similar to those of the study area, since monitoring continues for an extended period, with daily water level measurements, if possible. The method may contribute to obtaining more reliable results, which will aid decision-makers in managing the aquifer.

DOI: <http://doi.org/10.14295/ras.v35i3.30079>

## 1. INTRODUÇÃO

Dada a importância das águas subterrâneas como fonte de água doce, o monitoramento dos níveis d'água e o conhecimento da taxa de recarga dos aquíferos são necessários para uma gestão eficiente e sustentável das águas subterrâneas (de Vries e Simmers 2002; Healy 2010; Ronayne et al., 2017 e Baum et al., 2018).

A recarga de aquíferos corresponde ao fluxo de água descendente que atinge o nível freático, adicionando-se ao armazenamento das águas subterrâneas (Meinzer, 1923; Freeze e Cherry, 1979; Lerner et al., 1990; Scanlon et al., 2002; Healy, 2010). Embora seja um dos principais componentes para o estudo de sistemas aquíferos, a estimativa da recarga é um dos mais difíceis de obter, devido à grande variação das taxas de recarga no espaço e no tempo. Fatores como intensidade e duração das chuvas, evapotranspiração, escoamento superficial, mudanças de cobertura da terra, propriedades do aquífero e do solo, causam essa variação, complicando a estimativa da recarga. Estimativas adequadas são, portanto, difíceis de alcançar, dada as incertezas de cada método, escalas diferentes e o tipo de recarga que representam: recarga difusa, recarga direta através de fraturas, recarga através de aquíferos ou por leitos de cursos hídricos superficiais, como córregos e rios – recarga indireta (Healy, 2010; Cuthbert et al., 2016).

Uma forma de diminuir as incertezas da estimativa da recarga é a utilização de vários métodos simultâneos no cálculo desse parâmetro, no entanto, essa é uma medida cara e muitas vezes inviável, de modo que a escolha de um método de estimativa de recarga depende muitas vezes da disponibilidade dos dados, aplicáveis a um determinado método que não necessariamente seja o método de estimativa de recarga mais adequado para o local de estudo (Walker et al., 2019). De acordo com esses autores, as estimativas de recarga variam dependendo da técnica escolhida, seja devido as incertezas associadas aos dados e/ou métodos, suposições insatisfeitas, diferentes escalas espaço-temporal ou pelo diferente tipo de recarga que está sendo computada pelo método (Healy, 2010; Cook and Kilty, 1992; Scanlon et al., 2003; Siebert et al., 2014; Wendland et al., 2015).

Apesar dessa dificuldade, vários métodos foram aplicados para quantificar a recarga de água subterrânea (Healy, 2010). É possível destacar os métodos mais utilizados e promissores, sendo esses o método do Balanço de Massa de Cloreto (CMB - *Chloride Mass Balance*), o método de Flutuação da Superfície Piezométrica (WTF - *Water Table Fluctuation*), o método da Separação de hidrogramas e a modelagem de água subterrânea (Scanlon et al., 2002; Xu e Beekman, 2003; Delin et al., 2006; King et al., 2017; Walker et al., 2019). Xu e Beekman (2003) frisam que os métodos baseados em relações entre precipitação e variações da superfície piezométrica têm um maior potencial de prever a recarga subterrânea adequadamente.

A seleção do método de estimativa da taxa de recarga em aquíferos livres, resultam frequentemente na escolha de métodos físicos, especialmente, aqueles baseados na flutuação do nível d'água. O método WTF destaca-se como sendo o mais amplamente aplicado, provavelmente devido a abundância de dados disponíveis de variação do nível freático, bem como pela simplicidade e facilidade de ser aplicado. Vários estudos têm sido realizados em todo o mundo aplicando essa metodologia (Healy and Cook, 2002; Delin et al., 2006; Baum et al., 2018; Carvalho et al., 2014).

Chripim (2016) e Lapasta (2018) investigaram a mesma área de estudo utilizada aqui, em que fizeram uso de vários métodos para a compreensão adequada das propriedades do aquífero e previsão de respostas futuras. Embora não tenham focado apenas na determinação da recarga de aquíferos, os autores mencionados utilizaram diferentes abordagens para estimá-la, como o método do Balanço Hidrometeorológico de Thornthwaite-Mather - TMHB, CMB e WTF. Os resultados desses trabalhos foram utilizados para fins de comparação com os resultados atuais.

Segundo Lapasta (2018), estudos climáticos apresentaram previsões um tanto pessimistas para a região, de modo que a determinação confiável da recarga é imperativa, e também um instrumento para gerar conhecimento para permitir uma melhor avaliação do impacto das mudanças climáticas no regime pluviométrico e, conseqüentemente, na recarga aos aquíferos que abastecem a população. Assim, o objetivo desta pesquisa é estimar a recarga para os aquíferos livres da área de estudo, utilizando o método WTF.

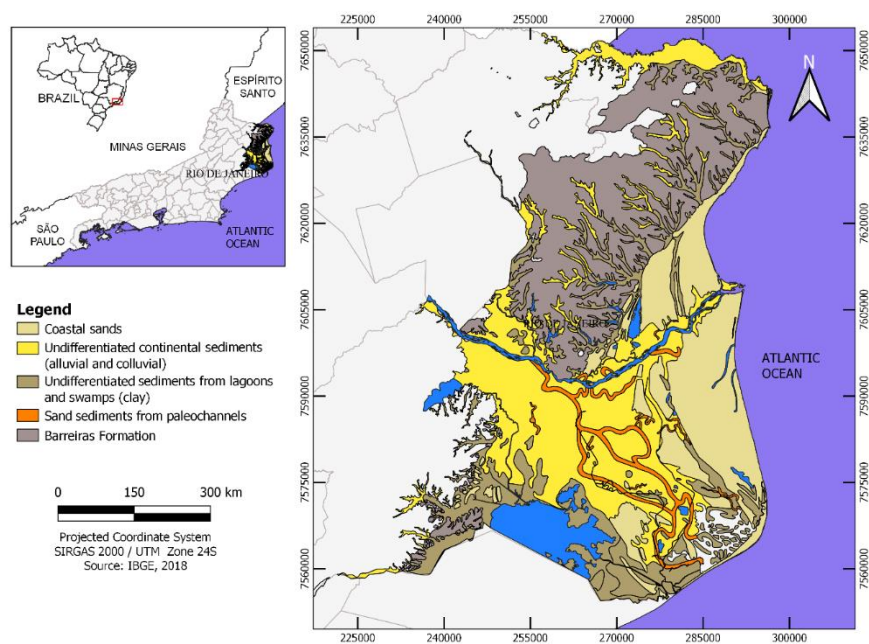
### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Área de estudo

A área de estudo está situada na costa norte do Estado do Rio de Janeiro, Região Sudeste do Brasil, abrangendo parte da área sedimentar da Bacia de Campos, composta pelo município de São João da Barra e porções dos municípios de Campos dos Goytacazes e São Francisco de Itabapoana. Situa-se entre os paralelos 21° 13' e 22° 10' de latitude sul e os meridianos 40° 55' e 41° 30' de longitude oeste (Figura 1).

A Bacia de Campos é uma bacia sedimentar costeira no sudeste do Brasil. Estende-se do norte do Rio de Janeiro aos estados do sul do Espírito Santo, limitada por duas fronteiras estruturais, as elevações de Cabo Frio e Vitória, ao sul e ao norte, respectivamente (Winter et al., 2007). Essa bacia, juntamente com as outras bacias sedimentares da margem continental brasileira, é uma bacia de "margem continental divergente". A evolução da bacia relaciona-se com os movimentos de distensão que resultam na separação dos continentes sul-americano e africano, começando no final do período Jurássico/início do período Cretáceo.

**Figura 1** – Localização da área de estudo com mapa geológico simplificado.



Fonte: Modificado de Silva Jr et al., 2014.

O clima da região é considerado tropical úmido, com período seco no inverno e chuvas de distribuição irregular, umidade relativa do ar ao redor de 75% em média e temperaturas médias anuais de 23,9 °C (Mendonça & Sousa, 2014). Conforme estudo de Correia et al., (2018), baseado nas Normais Climatológicas do INMET - Instituto Nacional de Meteorologia, a média pluviométrica da região é de 1030 mm anuais e os meses do verão são os mais chuvosos, sendo que aproximadamente 80% da pluviometria anual ocorre entre outubro e abril.

Os principais tipos de solo presentes na Baixada Campista, onde se encontra a área de estudo, são os cambissolos, argissolos, latossolos, neossolo flúvico (solo aluvial), espodossolos, organossolos e gleissolos (CPRM, 2001; Embrapa, 2013).

A hidrografia da área de estudo é comandada pelo rio Paraíba do Sul, rio Itabapoana e parte da Lagoa Feia e, ainda, por uma densa rede de canais e tributários, incluindo pequenas lagoas e alagadiços os quais, segundo o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Rio de Janeiro (PERHI-RJ, 2014), encontram-se situados na Região Hidrográfica IX - Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana.

Em termos geológicos, a área de estudo é constituída por Planícies Quaternárias, compostas por terraços marinhos do Pleistoceno e Holoceno, depósitos lagunares holocênicos e depósitos aluviais e coluviais (Martin et al., 1997), assentados em rochas do embasamento cristalino, o qual é caracterizado por gnaisses de idade Pré-Cambriana pertencentes à Província Proterozoica da Ribeira. Os terrenos de idade Cenozoica são representados pelas rochas sedimentares da Formação Barreiras (Mioceno), Emorê (Cretáceo Superior até o presente) e pelas Planícies Quaternárias, bastante desenvolvidas junto às desembocaduras dos principais rios, especialmente o rio Paraíba do Sul (Silva & Cunha, 2001; Winter et al., 2007).

Tomando como base os estudos de Fonseca (1998), Martin et al. (1997), Silva Júnior et al. (2014) e Martins (2015), pode-se apresentar um resumo das unidades geológicas/hidrogeológicas da área de estudo. As unidades hidrogeológicas correspondentes aos aquíferos livres e rasos da porção emersa da bacia sedimentar de Campos, são descritas a seguir:

**Areias Marinhas Litorâneas (cordões arenosos)** - Compostas de depósitos arenosos brancos, podendo conter grandes quantidades de conchas e apresentando alinhamentos de cristas de praia.

**Sedimentos Continentais Indiferenciados** - Compostos por variados materiais e processos deposicionais, tais como: 1) aluviões e coluviões, constituídos por sedimentos arenosos e argiloarenosos, sendo bem desenvolvidas nos vales fluviais do rio Paraíba do Sul como do Itabapoana; 2) sedimentos indiferenciados de lago e pântano, compostos por sedimentos silticos ou arenoargilosos, ricos em matéria orgânica, podendo conter grande quantidade de conchas de moluscos de ambiente lagunares, sendo encontrados com frequência em zonas rebaixadas, separando-se os terraços arenosos Pleistocênicos e Holocênicos ou nos cursos inferiores de grandes vales não preenchidos por sedimentos fluviais; e 3) sedimentos arenosos de paleocanais fluviais, que se encontram entre o rio Paraíba do Sul e a Lagoa Feia, preenchidos por sedimentos arenosos continentais. São considerados, também, como fontes de recarga para os aquíferos subjacentes.

**Formação Barreiras** - Composta por arenitos quartzosos, lamitos e conglomerados, poucos consolidados e ferruginosos.

A classificação mais recente para os aquíferos profundos da região foi proposta por Silva Jr. et al (2014), e se baseou em coleta de dados, análises estratigráficas, estruturais e petrográficas, além de levantamento e interpretações geofísicas. Segundo os autores, o subsistema aquífero profundo foi dividido em duas unidades: Aquífero Fluviodeltaico, considerado de maneira geral como livre e, o Aquífero Emorê, do tipo confinado e que apresenta uma subdivisão em fácies Emorê e fácies São Tomé, sucintamente descritas a seguir:

**Aquífero Fluviodeltaico:** Ocorre na parte oeste da porção emersa da Bacia de Campos, entre a margem sul do rio Paraíba do Sul e a margem norte da Lagoa Feia e trata-se de um aquífero livre, composto por sedimentos holocênicos continentais indiferenciados (aluviões e coluviões). Tem espessura média de 40 metros, com volume de água estimado em aproximadamente 6654 hm<sup>3</sup>, de acordo com o balanço hídrico realizado.

**Aquífero Emborê:** Aquífero confinado multicamadas, constituído por sedimentos neogênicos. São apresentadas duas fácies: a Fácies Emborê e a Fácies São Tomé. Essa subdivisão foi estabelecida segundo critérios geoquímicos e geográficos, não tendo uma fronteira claramente definida. Esse sistema aquífero foi estimado com uma espessura média de 80 metros, possuindo um volume estimado de aproximadamente 15.270 hm<sup>3</sup>, considerando a reserva permanente.

**Fácies Emborê** - Constituído por camadas arenosas e argilosas com presença de conchas ou arenitos com cimento carbonático, com características que indicam sua deposição em ambiente marinho. Ocorre predominantemente na região do Cabo de São Tomé. Esta fácies apresenta transmissividade média de cerca de 200 m<sup>2</sup>/dia e um coeficiente de armazenamento médio de 10<sup>-4</sup>.

**Fácies São Tomé** - Constituído por arenitos e cascalhos mal selecionados, disseminados em matriz argilosa vermelha, com características que indicam sua deposição em ambiente continental. Ocorre ao sul e ao norte do cabo de São Tomé. Esta fácies possui transmissividade estimada da ordem de 150 m<sup>2</sup>/dia e mesmo coeficiente de armazenamento médio da Fácies Emborê.

### 3.2. O método WTF (Water Table Fluctuation)

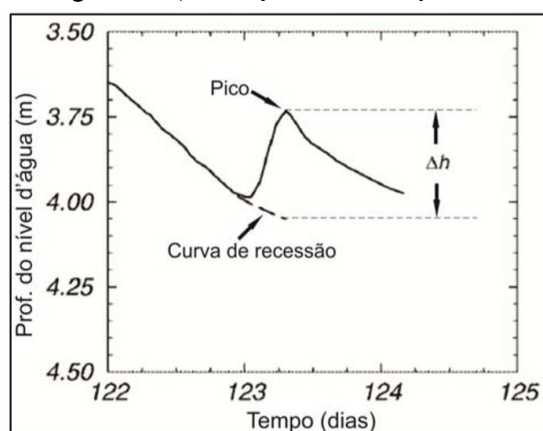
O método WTF baseia-se em medições de níveis freáticos em poços de monitoramento por um determinado período de tempo. Esse método está fundamentado na premissa de que as variações dos níveis de águas subterrâneas em aquíferos livres estão relacionadas com as mudanças na quantidade de água armazenada no aquífero, considerando que a água precipitada, após percolar no solo, atinge o nível freático, caracterizando a recarga (Healy e Cook, 2002). Este método é baseado na equação 1:

$$R = S_y \frac{dh}{dt} + D \cong S_y \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (1)$$

Em que  $R$  é a recarga estimada [LT<sup>-1</sup>],  $S_y$  o coeficiente de rendimento específico do aquífero (adimensional),  $\Delta h$  a variação da profundidade do nível d'água devido a um evento de recarga [L],  $\Delta t$  é o intervalo de tempo de duração do evento de recarga e  $D$  a taxa de drenagem de água subterrânea [LT<sup>-1</sup>]. Cuthbert et al. (2016) argumentam que as principais limitações do método WTF decorrem de dificuldades na estimativa adequada do  $S_y$  e do termo de drenagem ( $D$ ). Considerando um aquífero em estado de regime permanente e com dimensões suficientemente grandes, a ponto de diminuir os efeitos de contorno,  $D$  pode ser considerado nulo, bem como todos os outros componentes do balanço hídrico, tais como, fluxo de base, entrada e saída subsuperficial e evapotranspiração são admitidos nulos durante a recarga estimada pelo método WTF.

Na equação 1 o termo  $\Delta h$  é determinado através da diferença entre o pico do hidrograma e o ponto mais baixo da curva de recessão extrapolada no mesmo instante em que o pico ocorre (Figura 2). Essa curva é baseada no trajeto que o gráfico teria caso não ocorresse o fenômeno da precipitação (Carvalho et al., 2014). Barreto (2006) acrescenta que o traçado da curva de recessão é subjetivo e tenta adaptar a função de defasagem entre o início da precipitação e o início da recarga.

Figura 2 – Representação da determinação de  $\Delta h$ .



Fonte: Adaptado de Healy e Cook, 2002.

O termo  $S_y$  deve ser estimado ou calculado por vários métodos existentes (campo, laboratório ou empírico). Por definição, o rendimento específico de um aquífero livre consiste no volume de água descarregada pelo aquífero por unidade de área superficial por decréscimo unitário do nível d'água (Kruseman e De Ridder, 2000; Cabral, 2008).

Os valores  $S_y$  de rendimento específico foram estimados por formulação empírica com a devida comparação dos resultados obtidos com valores citados na literatura, assim como fizeram Wendland e Maziero (2008).

Uma formulação empírica para a avaliação de  $S_y$  é a equação de Bieciniski (Pazdro, 1983, In: Alvarez e Niedzielski, 1996), que relaciona o valor de  $S_y$  com o valor de  $K$  através da seguinte expressão (Eq. 2).

$$S_y = 0.117 \cdot \sqrt[3]{K} \quad (2)$$

Em que  $K$  é a condutividade hidráulica, expressa em m/dia.

A condutividade hidráulica foi obtida através de ensaios *slug tests* realizados em quatro dos dez poços de monitoramento estudados (P1, P3, P5 e P7). Os dados de carga hidráulica vs. tempo foram processados no software Aquifer Test, aplicando o método de Hvorslev (1951).

### 3.3. Monitoramento dos níveis d'água e dados de precipitação

A área de estudo é uma planície costeira plana baixa, de modo que a suposição de recarga através de fluxo 1-D na vertical para baixo pode ser perfeitamente aplicada. Os poços foram estrategicamente selecionados de forma a se obter uma distribuição espacial representativa da flutuação do lençol freático (Figura 3) e, que recobrissem as principais unidades hidrogeológicas existentes na área de estudo, que são as Areias Marinhas Litorâneas, os Sedimentos Continentais Indiferenciados e a Formação Barreiras).

O monitoramento do nível estático do aquífero livre e raso em poços previamente selecionados ocorreu durante o período de 2 anos. O primeiro ano compreendeu o período de outubro/2015 a setembro/2016 onde foram monitorados 10 poços distribuídos em toda área de estudo. O segundo ano de monitoramento, compreendeu o período de setembro/2018 a agosto/2019, sendo que nesse período, foram monitorados 07 poços. Para esse período, a quantidade de poços foi menor dada a escolha em priorizar os estudos na região de domínio das unidades hidrogeológicas representadas pelos Sedimentos Continentais Indiferenciados e as Areias Marinhas Litorâneas, isto é, nesse segundo ano de monitoramento, a região de domínio da Formação Barreiras não foi monitorada e, portanto, foram descartados 03 poços situados nessa região, que são os poços P8, P9 e P10.

Os poços possuem profundidade variando entre 5,0 e 14,0 m, com média de 8,5 m. Os níveis estáticos, por sua vez, apresentam variação entre 1,10 e 12,88 m, com média de 6,05 m. Em sua maioria, os poços rasos na região de estudo são construídos manualmente, a partir de ferramentas como o trado mecânico e completados com tubos de PVC, abertos para o aquífero apenas na parte inferior, com diâmetros entre 3" a 6", sendo mais comum na região a utilização de tubos de 4". A exceção são os poços P8, P9, e P10, que são poços escavados à mão, com diâmetros de aproximadamente 2 metros, estruturados lateralmente por tijolos ou anéis de concreto, popularmente conhecido na região como poços do tipo cacimba, construção típica dos poços rasos encontrados na região recoberta pela Formação Barreiras.

Os dados de níveis estáticos foram obtidos manualmente, através do equipamento eletrônico Water Level Meter, modelo 101 da Solinst. Ao longo dos 2 anos monitorados, os dados dos níveis estáticos em cada um dos poços foram obtidos numa frequência mensal.

A maioria dos poços de monitoramento são utilizados pela população local para consumo humano e algumas atividades domésticas, no entanto, com poucas retiradas d'água ao longo do dia. Contudo, antes das visitas aos poços de monitoramento, os moradores eram avisados, para que o bombeamento d'água pudesse ser interrompidos com pelo menos 12 horas de antecedência para a medição do nível, conforme proposto por Feitosa e Feitosa (2008).

Os dados de chuva para o período de monitoramento do nível das águas subterrâneas foram obtidos a partir de três estações pluviométricas na área de estudo: Campos (latitude: -21,74; longitude: -41,33; altitude: 11m), Farol de São Tomé (latitude: -22, 02; longitude: -41,03; altitude: 8m) e São Francisco de Paula – Cacimbas (latitude: -21,28; longitude: -41,06). Os dados são registrados e disponibilizados no site da HidroWeb, do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (ANA, 2019). No presente estudo, essas estações foram denominadas EP1, EP2 e EP3, respectivamente.

A medição dos dados pluviométricos é essencial para identificar sua influência na flutuação das águas subterrâneas, uma vez que é o principal fator responsável pela recarga de aquíferos livres (Moon et al., 2004).

Manoel Filho (2008) descreve os métodos mais utilizados para o cálculo da precipitação média em uma bacia hidrográfica, sendo esses: a média aritmética, o método dos Polígonos de Thiessen's e o método das Isoietas, destacando os dois últimos, como métodos que consideram a variabilidade espacial das estações.

Segundo Manoel Filho (2008), o método das isoietas é considerado como o mais preciso para estimar a precipitação média em uma área. No entanto, a confiabilidade desse método requer a experiência do analista, que deve levar em conta a topografia e outros fatores que condicionam a variabilidade espacial, sendo, portanto, um método mais complexo e trabalhoso do que o método de polígono do Thiessen que, por sua vez, não leva em conta as características topográficas.



A precipitação média na área de estudo e a área de influência de cada estação pluviométrica foram determinadas através do método dos polígonos de Thiessen, que é dado pela equação 3:

$$P_m = \sum W_i P_i \quad (3)$$

Em que,  $P_m$  é a precipitação média,  $W_i$  o peso calculado ao dividir a área de cada polígono ( $A_i$ ) pela área total ( $A$ ) e  $P_i$  é a precipitação em cada estação pluviométrica.

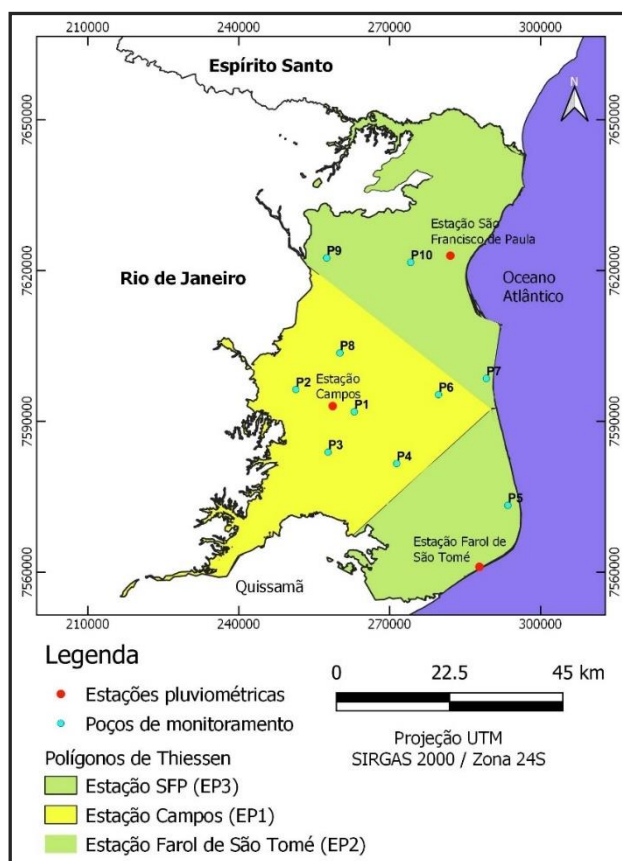
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Análise da precipitação

Os fatores que foram levados em conta para a escolha do método dos polígonos de Thiessen ao invés do método das isoietas foram, fundamentalmente, a quantidade e distribuição espacial das estações pluviométricas, especialmente a estação EP2, que está localizada muito perto do limite da área de estudo. Estas condições não favorecem a aplicação de um método que seja sensível à variabilidade espacial das estações. Outro aspecto que tornou a aplicação do método dos polígonos de Thiessen mais adequado para este estudo foi a topografia da região, caracterizada por uma planície extensa, consideravelmente plana e, portanto, favorável à aplicação de um método no qual as características do relevo não sejam consideradas.

A figura 3 mostra a distribuição espacial das estações pluviométricas com suas respectivas áreas de influência e a localização de poços de monitoramento.

**Figura 3** - Distribuição espacial das estações pluviométricas com as áreas de influência e localização de poços de monitoramento.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Os dados pluviométricos para os 2 anos de monitoramento, extraídos do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (HidroWeb), individualmente para as estações EP1, EP2 e EP3, foram de 707,7 mm; 412,3 mm e 807,2 mm, respectivamente, para o período de outubro de 2015 a setembro de 2016 e de 780,7 mm; 668,2 mm e 855,5 mm, respectivamente, para o período de setembro de 2018 a agosto de 2019.

A área de influência das estações pluviométricas na área de estudo, obtida dos polígonos de Thiessen para as estações EP1, EP2 e EP3, foi de 1.418,3 km<sup>2</sup>, 881,8 km<sup>2</sup> e 1.328,2 km<sup>2</sup>, respectivamente.

Foi possível observar que, durante o período de monitoramento, os maiores índices pluviométricos ocorreram na região de São Francisco do Itabapoana, porção nordeste da área de estudo. Na figura 3, é possível observar que as estações pluviométricas EP1, EP2 e EP3 exercem influência em pelo menos um dos poços monitorados.

A precipitação média na área de estudo, estimada pela equação 3, ou seja, pelo método dos polígonos de Thiessen para o período de outubro de 2015 a setembro de 2016, foi de 672,32 mm e para o período de setembro de 2018 a agosto de 2019, foi de 780,73 mm. Estes valores representam uma redução no índice pluviométrico de aproximadamente 33% e 23%, respectivamente, quando comparado com a média histórica para Campos e região, que segundo as Normais Climatológicas de 1981-2010 registradas pelo INMET, é da ordem de 1007,5 mm/ano (Correia et al., 2018).

De acordo com a classificação climática de uma região com base no índice pluviométrico anual (Healy, 2010), a área de estudo se enquadra em uma região de clima subúmido a úmido, isto é, com precipitação média anual variando entre 500 a 1000 mm/ano e acima de 1000 mm/ano, respectivamente. As regiões com esse tipo de clima são indicadas como as mais apropriadas para a aplicação dos métodos de recarga baseados nas flutuações do nível freático.

#### 4.2. Rendimento específico

A tabela 1 mostra os dados de condutividade hidráulica e os de rendimento específico, estimados por meio da equação 2, bem como os retirados da literatura (JOHNSON, 1967). Esta tabela mostra ainda as características dos materiais, em termos de textura dos sedimentos, e os intervalos de valores de Sy, reportados por Johnson.

**Tabela 1** – Condutividade hidráulica (K) e rendimento específico (Sy) estimados para este estudo.

Poço monitorado	Textura do sedimento	Sy (por Johnson)	K (m/dia)	Sy (Estimada pela Eq.2)
P1	Areia média	0,15 - 0,32	37,80	0,20
P2	Areia média	0,15 - 0,32	37,80	0,20
P3	Areia fina a média	0,10 - 0,32	30,24	0,19
P4	Areia fina a média	0,10 - 0,32	30,24	0,19
P5	Areia fina	0,10 - 0,28	11,40	0,17
P6	Areia fina a média	0,10 - 0,32	34,26	0,19
P7	Areia fina a média	0,10 - 0,32	34,26	0,19
P8	Argila arenosa	0,03 - 0,12	-	0,07*
P9	Argila arenosa	0,03 - 0,12	-	0,07*
P10	Argila arenosa	0,03 - 0,12	-	0,07*

\*Valores médios de Sy para argila arenosa relatado por Johnson.

A condutividade hidráulica foi obtida através da realização de ensaios *slug tests* em quatro dos dez poços de monitoramento estudados (P1, P3, P5 e P7). Para os poços P2, P4 e P6 foram considerados valores equivalentes aos obtidos nos ensaios *slug tests* para os poços P1, P3 e P7, respectivamente, uma vez que eram poços com semelhantes textura de sedimentos na camada filtrante.

Os valores de condutividade hidráulica encontrados são semelhantes entre si (em ordem de magnitude) e compatível com os valores de condutividade hidráulica determinados por Bernardes (2005). Esse autor utilizou testes de campo e laboratório em solos arenosos saturados na mesma área de estudo, em que foram encontrados valores entre 8,64 m/dia e 86,4 m/dia.

Comparando os valores de Sy calculados (pela equação de Bieciniski) com os relatados na literatura, como mostrado na tabela 1 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, pode-se notar que os valores determinados para os poços P1 a P7 estão dentro da faixa de valores relatados por Johnson.

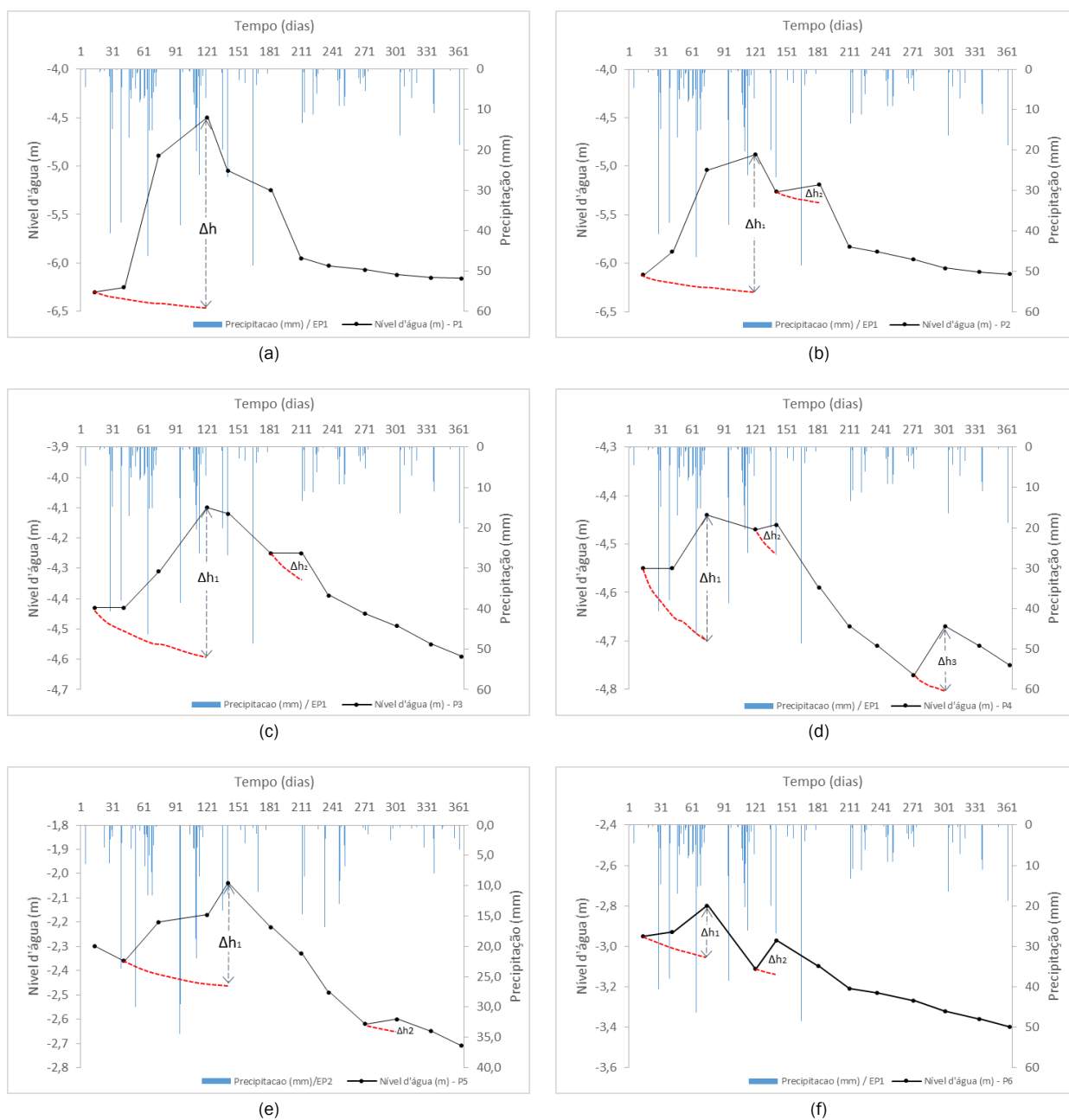
Wendland e Maziero (2008) realizaram um trabalho semelhante na avaliação da recarga do aquífero freático na região urbana de São Carlos – SP. Segundo estes autores, a adoção dos valores de Sy determinados pela equação de Bieciniski, baseada em dados de condutividade hidráulica, retrata a dificuldade em eliminar incertezas em qualquer método existente (de campo, de laboratório ou empírico).

Para P8, P9 e P10, que são poços do tipo cacimba construídos no aquífero Barreiras, foi adotado o valor de rendimento específico reportado por Johnson para argila arenosa (Sy = 0,07), assim como fizeram outros autores em estudos na Formação Barreiras, em outra região costeira do Brasil (Coelho et al., 2012), bem como na mesma área de estudo do presente trabalho de pesquisa (Chispim, 2016).

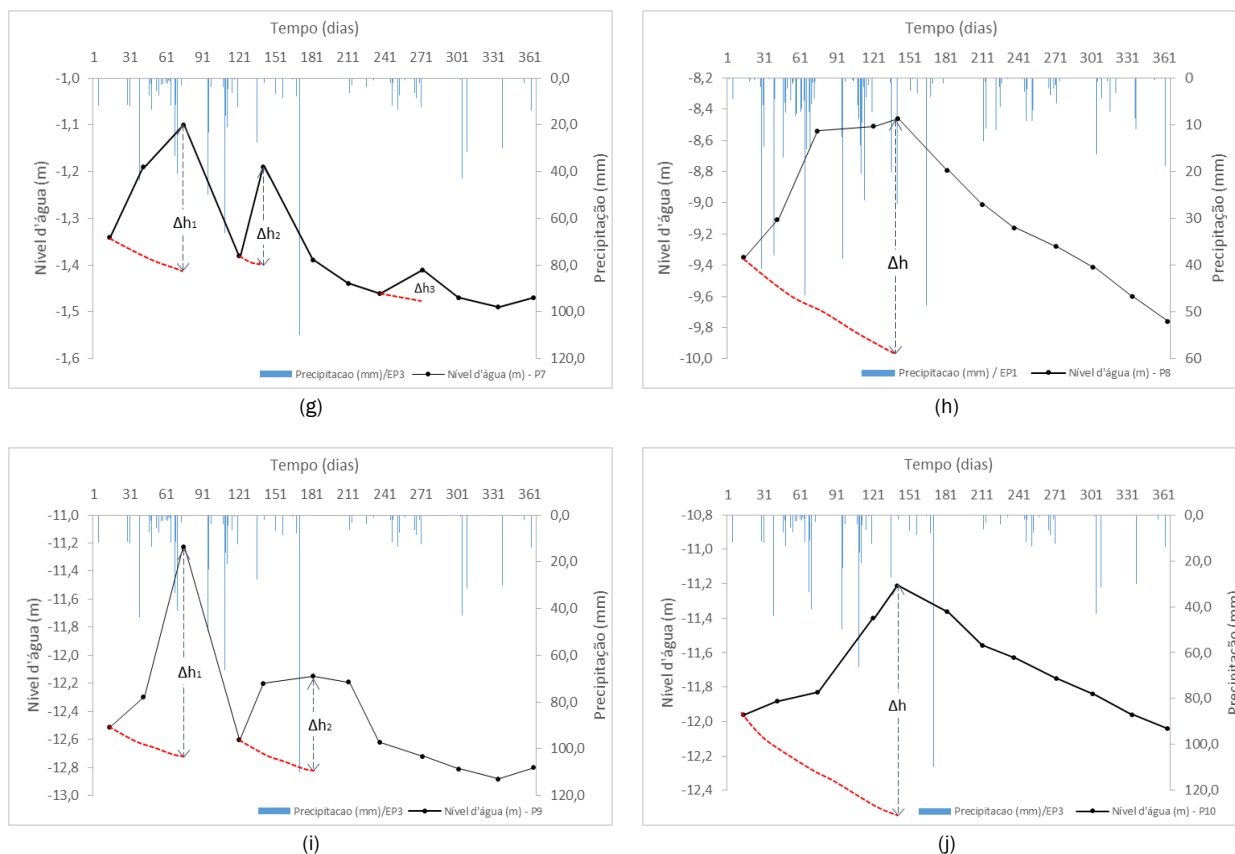
### 4.3. Flutuação do nível d'água

A variação do nível d'água nos dez poços monitorados são apresentadas na figura 4, juntamente com a representação gráfica dos registros de chuvas ao longo do período de monitoramento (outubro/2015 a setembro/2016). As figuras 4(a), 4(b), 4(c), 4(d), 4(f) e 4(h), mostram a flutuação do nível d'água para os poços P1, P2, P3, P4, P6 e P8, respectivamente, os quais estão sob a influência da estação pluviométrica EP1 (Estação de Campos). O poço P5 está sob influência da EP2 (Farol de São Tomé) (Figura 4(e)) e os poços P7, P9 e P10 estão sob influência da EP3 (São Francisco de Paula - Cacimbas), figura 4(g), figura 4(i) e figura 4(j), respetivamente.

**Figura 4** – Flutuação do nível d'água juntamente com o registro da precipitação ao longo do período de outubro/2015 a setembro/2016, para os poços (a) P1 sob influência da estação pluviométrica EP1; (b) P2 sob influência da EP1; P3 sob influência da EP1; P4 sob influência da EP1; P5 sob influência da EP2; P6 sob influência da EP1; P7 sob influência da EP3; P8 sob influência da EP1; P9 sob influência da EP3 e P10 sob influência da EP3. E, ainda, extrapolação da curva de recessão e determinação do  $\Delta h$  em cada um dos 10 poços monitorados.





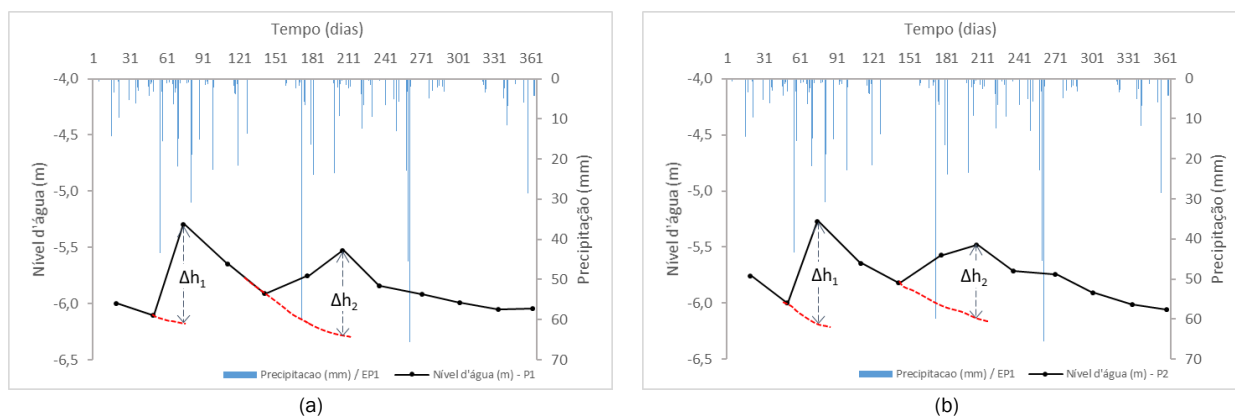


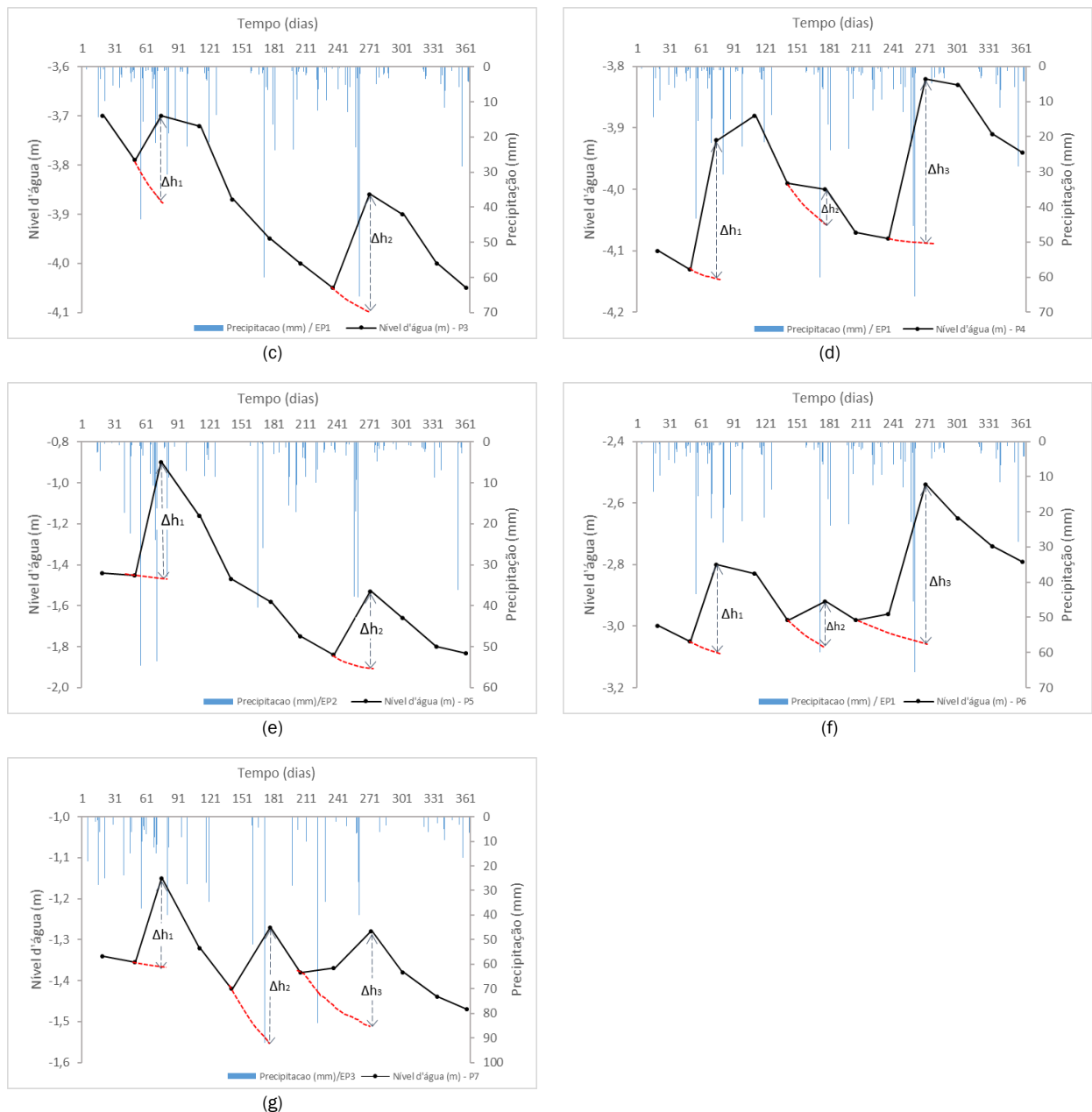
Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

A maioria dos poços apresentam curvas de flutuação de nível d'água semelhantes, com um aumento máximo no nível d'água entre os dias 60 - 150, seguido por um declínio gradual, distinguindo-se dois padrões sazonais distintos durante o período avaliado (Outubro de 2015 a Setembro de 2016), associados ao regime climático: um com elevada pluviosidade, que se estende de outubro a março, destacando os meses de novembro, dezembro e janeiro como os mais chuvosos; e o outro com baixa pluviosidade, que vai de abril a setembro.

Para o período de monitoramento de setembro de 2018 a agosto de 2019, a variação do nível d'água nos sete poços monitorados são apresentadas na figura 5, juntamente com a representação gráfica dos registros de chuvas ao longo desse período. Sendo que, as figuras 5(a), 5(b), 5(c), 5(d) e 5(f), mostram a flutuação do nível d'água para os poços P1, P2, P3, P4 e P6, respectivamente, os quais estão sob a influência da estação pluviométrica EP1 (Estação de Campos). O poço P5 está sob influência da EP2 (Farol de São Tomé) (Figura 5(e)) e o poço P7 sob influência da EP3 (São Francisco de Paula - Cacimbas, figura 5(g)).

**Figura 5** – Flutuação do nível d'água juntamente com o registro da precipitação ao longo do período de setembro/2018 a agosto/2019, para os poços (a) P1 sob influência da estação pluviométrica EP1; (b) P2 sob influência da EP1; P3 sob influência da EP1; P4 sob influência da EP1; P5 sob influência da EP2; P6 sob influência da EP1 e P7 sob influência da EP3. E, ainda, extrapolação da curva de recessão e determinação do  $\Delta h$  em cada um dos 07 poços monitorados.





Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Na figura 5, a maioria dos poços apresentam curvas de flutuação de nível d'água semelhantes, em que foram registrados, na maioria dos casos, 2 picos com aumento máximo no nível d'água entre os dias 60 - 90, e os dias 240 - 270. Alguns poucos poços mostraram 3 picos de aumento máximo no nível d'água, que foi o caso dos poços P4, P6 e P7. Para esses poços, além dos picos já mencionados, foi observado também um máximo no nível d'água entre os dias 150 - 180.

As poucas diferenças apresentadas em algumas curvas de flutuação de nível d'água (Figuras 4 e 5) podem estar relacionadas ao fato das medições dos níveis d'água mensais, tornando possível omitir respostas a eventos pluviométricos de grande intensidade e de curta duração que possam ter ocorrido ao longo dos dias (registros sub-mensais) e, também, devido à característica da variabilidade temporal e espacial da chuva, registrados por apenas 3 estações, que apesar de exercerem influência em pelo menos um dos poços (pelo polígono de Thiessen), podem acarretar no uso de informações pluviométricas com certo grau de incerteza, sobretudo para os poços mais afastados das estações, como é o caso dos poços P4, P6, P7 e P9 (Figura 3).

Apesar das incertezas decorrentes das medições mensais do nível d'água, esta é uma metodologia válida e comumente aplicada em estudos de recarga pelo método WTF, citam-se por exemplo, Baum et al., (2018), Carvalho et al., (2014) e Takounjou et al., (2011).

Os valores de  $\Delta h$  foram determinados pela diferença entre o pico da curva de flutuação do nível d'água e o ponto mais baixo na curva de recessão. A determinação deste parâmetro também oferece um certo grau de incerteza, uma vez que sua estimativa está baseada em uma curva de recessão em que o traçado é subjetivo (Carvalho et al., 2014; Barreto, 2006). No entanto, essas curvas foram desenhadas com o máximo cuidado possível, de forma que pudessem realmente representar a função de defasagem entre o início da precipitação e o início

da recarga. As curvas de recessão foram extrapoladas, muitas vezes, a partir do primeiro ponto da curva de flutuação no nível d'água, sobretudo, para as curvas do monitoramento do período de outubro/2015 a setembro/2016 (Figura 4), em que o gradiente de recessão naquele momento ainda não era conhecido diretamente. A extrapolação dessas curvas foi baseada no padrão histórico de chuvas na região, que apresenta um período típico de seca de abril a setembro, iniciando o período chuvoso a partir de outubro (Correia et al., 2018).

Apesar das incertezas envolvidas, observou-se que as curvas de flutuação do nível d'água são compatíveis, proporcionando uma boa representação da resposta às chuvas. E, ainda, apesar dos níveis d'água terem sido medidos mensalmente, o comportamento das curvas de flutuação para os poços monitorados provou ser representativo da flutuação em função da precipitação. As curvas de flutuação obtidas sugerem uma relação direta entre a precipitação e a recarga dos aquíferos livres e rasos na área de estudo.

#### 4.4. Estimativa da recarga

A recarga foi estimada para cada um dos poços monitorados utilizando a equação 1, em que o valor de  $\Delta t$  é equivalente ao período de 1 ano. O valor do parâmetro  $\Sigma\Delta h$  foi determinado graficamente, ao se extrapolar as curvas de recessão do nível d'água em cada poço monitorado (Figuras 4 e 5).

Os valores obtidos para  $\Sigma\Delta h$ , recarga ( $R$ ) e a taxa de recarga ( $r$ ), estimados para cada poço são apresentados na tabela 2. Em termos de valores médios obteve-se uma recarga estimada em 152,9 mm, e taxa de recarga de 21,8%, da média pluviométrica para o período de outubro/2015 a setembro/2016 e, uma recarga estimada em 183,9 mm, e taxa de recarga de 23,8%, da média pluviométrica para o período de setembro/2018 a agosto/2019.

**Tabela 2** – Condutividade hidráulica ( $K$ ) e rendimento específico ( $S_y$ ) estimados para este estudo.

Poço monitorado	$\Sigma\Delta h$	$R$	$r$	$\Sigma\Delta h$	$R$	$r$
	(m)	(mm)	(%)	(m)	(mm)	(%)
	(Out/2015 a Set/2016)			(Set/2018 a Ago/2019)		
P1	1,85	370	52,3	1,63	326	41,8
P2	1,55	310	43,8	1,58	316	40,5
P3	0,60	114	16,1	0,42	79,8	10,2
P4	0,45	85,5	12,1	0,54	102,6	13,1
P5	0,48	81,6	19,8	0,89	151,3	22,6
P6	0,53	100,7	14,2	0,92	174,8	22,4
P7	0,57	108,3	13,4	0,72	136,8	16
P8	1,52	106,4	15	-	-	-
P9	2,20	154	19,1	-	-	-
P10	1,40	98	12,1	-	-	-
Média	1,11	152,9	21,8	1,0	183,9	23,8
Máximo	2,20	370	52,3	1,6	326	41,8
Mínimo	0,45	81,6	12,1	0,4	79,8	10,2

$\Sigma\Delta h$  - Variação da profundidade do nível d'água;  $R$  - recarga e  $r$  - taxa de recarga.

O objetivo do presente trabalho foi estimar a recarga utilizando o método WTF. Contudo, para buscar a validação desses resultados, foi feita uma comparação com outros trabalhos de pesquisa na região.

Embora não fosse o foco principal de suas pesquisas, Chrispim (2016) e Lapasta (2018), avaliaram a recarga dos aquíferos livres e rasos na mesma área de estudo aqui utilizada. Em ambos os trabalhos, foram aplicados o método do Balanço Hidrometeorológico de Thornthwaite-Mather (TMHB), o método do Balanço de Cloretos (CMB), e o método WTF (em três poços de monitoramento, apenas). A tabela 3 mostra as estimativas de recargas ( $R$ ) e taxas de recargas ( $r$ ) calculadas por esses autores, bem como informações sobre o período considerado na análise da recarga e precipitação média registrada para o período investigado.

Os diversos resultados encontrados para a recarga e taxa de recarga pelos métodos aplicados e períodos de investigação considerados, mostram uma recarga média entre 78 e 163,9 mm/ano e taxa média de recarga entre 8,2 e 26% da pluviométrica (Tabela 3).

Os resultados obtidos por Chrispim (2016) e Lapasta (2018) mostram valores de recarga mais baixos utilizando o método TMHB, recarga em torno de 78 a 108,8 mm/ano, e taxa de recarga em torno de 8,2 e 11,5% da precipitação, respectivamente.

Os valores encontrados com a aplicação do método CMB foram em torno de 95 mm e taxa de recarga de 18%, para ambos os autores.

**Tabela 3** – Condutividade hidráulica (K) e rendimento específico (Sy) estimados para este estudo.

Autor	Método	Período investigado	Precipitação média (mm/ano)	R (mm/ano)	r (%)
Chrispim (2016)	TMHB	42 anos (1972 - 2014)	951	78	8,2
Lapasta (2018)	TMHB	56 anos (1961 - 2017)	946	108,8	11,5
Chrispim (2016)	CMB	1 ano (Jun/2014 - Mai/2015)	519,3*	95*	18,3
Lapasta (2018)	CMB	07 meses (Jan/2017 - Ago/2017)	530,7*	94,4*	17,8
Chrispim (2016)	WTF	1 ano (Jun/2014 - Mai/2015)	490,4*	127,7*	26
Lapasta (2018)	WTF	09 meses (Nov/2016 - Ago/2017)	844,3*	163,9*	19,4

\* Precipitação total [mm] e recarga total - R [mm] para período investigado (1 ano).

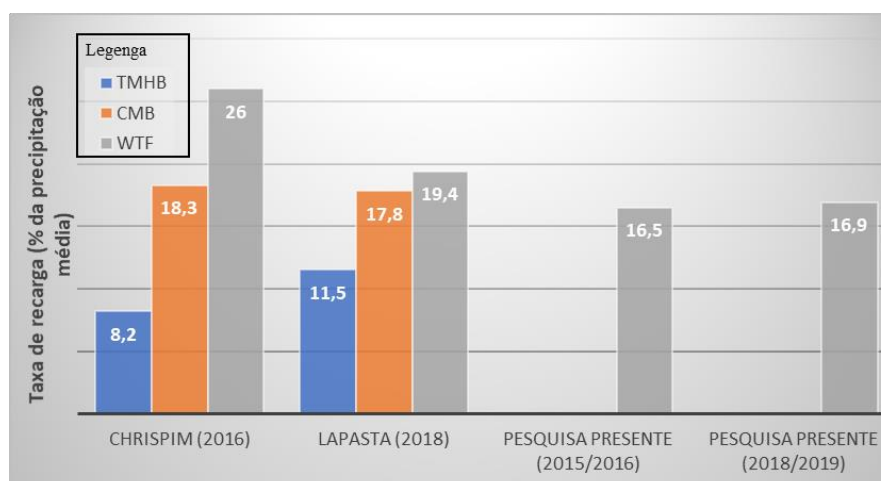
TMHB - método do Balanço Hidrometeorológico de Thornthwaite-Mather; CMB - método do Balanço de Cloretos e WTF - método da flutuação do nível d'água.

Em particular, para o presente trabalho, os altos valores obtidos para a recarga nos poços P1 e P2 (Tabela 2 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**) podem ser explicados, provavelmente, pela proximidade que se encontram do rio Paraíba do Sul, cerca de 60 m e 130 m de distância, respectivamente. Esta provável explicação é corroborada por Silva Jr. et al. (2014) que ao apresentarem um modelo conceitual para o aquífero fluviodeltaico, sugerem que a recarga desse aquífero se dá pela precipitação pluviométrica e pelo rio Paraíba do Sul. Ainda, Chrispim (2016) observou uma significativa variação na flutuação do nível freático no poço P1 durante o período de sua investigação (2014 a 2015), sendo constatado, inclusive, o rebaixamento do nível freático a ponto de o poço se apresentar seco, justamente no período de grande estiagem no qual o rio Paraíba do Sul apresentou cotas muito baixas.

Portanto, um valor mais representativo pode ser obtido excluindo os poços P1 e P2. Com isso, a média dos outros oito poços é de 106,1 mm para a recarga e 16,5% para a taxa de recarga, para o período de outubro de 2015 a setembro de 2016. E, para o período de monitoramento de setembro de 2018 a agosto de 2019, a média dos outros cinco poços é de 129,1 mm para a recarga e 16,9% para a taxa de recarga.

A figura 6 mostra uma comparação entre as taxas de recarga encontradas no presente trabalho com os resultados das taxas de recarga estimadas por Chrispim (2016) e Lapasta (2018). Observou-se que foram encontrados valores de recarga mais elevados para o método WTF, em torno de 19,4 a 26% da precipitação média. Lapasta (2018) destaca que os altos valores encontrados para recarga pelo método WTF podem ser explicados pela provável existência de uma ou mais fontes de recarga, além da precipitação, por exemplo, o rio Paraíba do Sul.

**Figura 6** - Comparação entre os valores da taxa de recarga estimados a partir dos métodos TMHB, CMB e WTF por Chrispim (2016), Lapasta (2018) e pelo presente trabalho (WTF, apenas).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Vale salientar que a estimativa de recarga calculada neste trabalho está de acordo com vários outros estudos realizados em outras regiões do Brasil, tais como Baum et al (2018), Carvalho et al (2014) e Wendland e Maziero (2008), que apresentam em seus resultados taxas de recarga entre 12 a 17%.

Portanto, apesar das limitações encontradas na metodologia aplicada neste trabalho, pode-se considerar que a estimativa da recarga pelo método WTF na área de estudo foi coerente. Assim, favorecendo a indicação deste método como aceitável para aplicação em trabalhos futuros e, também, como uma ferramenta a ser utilizada pelos gestores dos recursos hídricos da região.

## 5. CONCLUSÕES

Este estudo apresentou uma estimativa para a recarga dos aquíferos livres e rasos da porção continental da Bacia Sedimentar de Campos, utilizando o método WTF. Apesar de ter sido utilizado um único método (WTF) para o cálculo, a metodologia aplicada é válida para a área de estudo.

Como resultado, ao se desconsiderarem os poços P1 e P2, onde foram encontrados os valores mais discrepantes, a recarga média obtida para a área de estudo, durante o período de outubro/2015 a setembro/2016, foi de 106,1 mm, o que representa 16,5% da precipitação, e para o período de setembro/2018 a agosto/2019, foi de 129,1 mm, o que representa 16,9% da precipitação.

O presente estudo representa um avanço em termos do conhecimento da recarga de aquíferos livres e rasos na área de estudo, principalmente por ter sido, até então, o trabalho em que foram considerados o maior número de poços de monitoramento simultaneamente, gerando com isto um conjunto de dados mais representativo e de grande relevância, sobretudo para os órgãos que gerem os recursos hídricos da região.

Considerando a importância da estimativa da recarga dos aquíferos, sobretudo, a relevância que essa informação tem para subsidiar o gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos da porção sedimentar da Bacia de Campos, recomenda-se que seja dada a continuidade dessa pesquisa, através do estabelecimento definitivo de uma rede de poços de monitoramento, inclusive, com um maior número de poços, onde possam ser instalados medidores de nível d'água automáticos, que possibilitem o registro da flutuação de nível d'água diário e constante, ao longo dos anos, para que no futuro, se obtenha dados de séries históricas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) a UENF/LECI/PPGEC (Universidade Estadual do Norte Fluminense / Laboratório de Engenharia Civil / Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) e ao CBH BPSI (Comitê Bacias Hidrográfica Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana) pelo apoio e logística e aos proprietários dos poços tubulares e poços amazonas por terem gentilmente permitido a realização do monitoramento do nível d'água.

## REFERÊNCIAS

- ANA. Agência Nacional de Águas. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil. 2013. Disponível em: <[http://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/webSite\\_relatorioConjuntura/projeto/index.html](http://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/webSite_relatorioConjuntura/projeto/index.html)>. Acesso em: 23 nov. 2020.
- \_\_\_\_\_. (2019). Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: panorama das águas. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/usuarios-da-agua/abastecimento>>. Acesso em: 30 set. 2020.
- BARRETO, C. E. A. G. Balanço Hídrico em zona de afloramento do Sistema Aquífero Guarani a partir de monitoramento hidrogeológico em bacia representativa. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento). 2006, 249f. - Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos.
- BAUM, C.A., MANCUSO, M.A., FRITZEN, R.R. Application of the WTF method in the study of recharge variability in urban aquifer. Revista Geociências. v.37, n.1, p.85-98, 2018.
- BERNARDES, R. S. (2005). Condutividade Hidráulica de Três solos da Região Norte Fluminense. Universidade Federal Norte Fluminense (UENF). Campos dos Goytacazes/RJ. (Dissertação de Mestrado). 2005.
- CABRAL, J.J.S.P., 2008. Movimento das águas subterrâneas. In: FEITOSA, F.A.C., MANOEL FILHO, J., FEITOSA, E.C., DEMETRIO, J.G.A. (EDS.), Hidrogeologia: Conceitos e aplicações. Rio de Janeiro, CPRM: LABHID, 2008, p. 77-91
- CHRISPIM, Z. M. P. Análise da vulnerabilidade e caracterização hidrogeoquímica dos aquíferos livres rasos da parte emersa da Bacia Sedimentar de Campos Campos dos Goytacazes. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), 2016. 320f - Laboratório de Engenharia Civil, Centro de Ciência e Tecnologia, UENF, Campos dos Goytacazes.
- COELHO, V. H. R., ALMEIDA, C. DAS N., SILANS, A. M. B. P. DE. (2012). 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, v.17, n.2, p. 241-252, 2012.
- COOK, P. G.; KILTY, S. A helicopter borne electromagnetic survey to delineate groundwater recharge rates. Water Resources Research, v.28, n.11, p. 2953-2961, 1992.
- CORREIA, L. C.; ALVES, M. G.; CHRISPIM, Z. M. P. Avaliação do balanço hídrico e dos dados de chuvas de Campos dos Goytacazes/RJ. In: Congresso Estadual de Prevenção e Proteção Contra os Efeitos da Estiagem. Comitê de Bacia Hidrográfica do Baixo Paraíba de Sul e Itabapoana (CBH BPSI). Atas.. Campos dos Goytacazes - RJ, 2018.
- CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Projeto Rio de Janeiro. Ministério das Minas e Energia / Secretaria de Minas e Metalurgia. Brasília. [CD-ROM], 2001

- CUTHBERT, M.O., ACWORTH, R.I., ANDERSEN, M.S., LARSEN, J.R., MCCALLUM, A.M., RAU, G.C., TELLAM, J.H. Understanding and quantifying focused, indirect groundwater recharge from ephemeral streams using water table fluctuations. *Water Resources Research*, v.52, p.827-840, 2016.
- DE VRIES, J.J.; SIMMERS, I. Groundwater recharge: an overview of processes and challenges. *Hydrogeology Journal*. v.10, n.1, p.5-17, 2012.
- DELIN, G. N.; HEALY, R. W.; LORENZ, D. L.; NIMMO, J. R.. Comparison of local-to regional-scale estimates of ground-water recharge in Minnesota, USA. *Journal of Hydrology*, v.334, n.1-2, p.231-249, 2006.
- EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3ª. Edição. Rio de Janeiro: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2013,353 p.
- FEITOSA, E. C.; FEITOSA, F. A. C. Metodologia básica de pesquisa de água subterrânea, In: FEITOSA, F.A.C., MANOEL FILHO, J., FEITOSA, E.C., DEMETRIO, J.G.A. (EDS.), *Hidrogeologia: Conceitos e aplicações*. CPRM: LABHID, Rio de Janeiro, 2008. p.179-206.
- FREEZE, R.A.; CHERRY, J.A. *Groundwater*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, p. 624, 1979.
- HEALY, R. W. *Estimating groundwater recharge*. Cambridge University Press, 2010, 256 p.
- HEALY, R. W.; COOK, P. G. Using ground-water levels to estimate recharge. *Hydrogeology Journal*, v.10, P.91-110, 2002.
- HVORSLEV M. J. Time Lag and Soil Permeability in Ground-Water Observations. Bulletin n°36, U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, 1951,49p.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa de Informações Básicas Municipais, 2020. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/perfilmunic/>>. Acesso em: 30 set. 2020.
- JOHNSON, A. I. Specific yield – compilation of specific yields for various materials. US Geological Survey Water Supply. Paper 1662-D, 74p, 1967.
- KING, A.C., RAIBER, M.; COX, M.E.; CENDON, D.I. Comparison of groundwater recharge estimation techniques in an alluvial aquifer system with an intermittent/ephemeral stream (Queensland, Australia). *Hydrogeology Journal*. v.25, p. 1759–1777, 2017.
- KRUSEMAN, G. P. & RIDDER, N. A. *Analysis and Evaluation of Pumping Test Data*. 2ª ed. International Institute for Land Reclamation and Improvement - ILRI. Amsterdam, Holanda, 2000. 372p.
- LERNER, D. N.; ISSAR, A. S.; SIMMERS I. *Groundwater Recharge: a guide to understanding and estimating natural recharge*. International Contributions to Hydrogeology, v.8, 1990.
- MANOEL FILHO, J. Ocorrência das águas subterrâneas, In: FEITOSA, F.A.C., MANOEL FILHO, J., FEITOSA, E.C., DEMETRIO, J.G.A. (EDS.), *Hidrogeologia: Conceitos e aplicações*. CPRM: LABHID, Rio de Janeiro, 2008. p.53-91.
- MARTIN, L.; SUGUIO, K.; DOMINGUEZ, J.M.L.; FLEXOR, J.M. *Geologia do quaternário costeiro do litoral norte do Rio de Janeiro e do Espírito Santo*. Belo Horizonte, CPRM-FAPESP, 1997, 104 p.
- MEINZER, O. E. (1923) *The Occurrence of Ground Water in the United States with a Discussion of Principles*. Disponível em: <<https://pubs.usgs.gov/wsp/0489/report.pdf>>. Acesso em 01 out.2020.
- MENDONÇA, J.C; SOUSA, E.F. (2014). Balanço Hídrico Climatológico Sequencial da Cultura da Cana-de-açúcar na Região Norte do Estado do Rio de Janeiro/2010 a Fevereiro/ 2013. In: organizadores em letra maiúscula. *Gestão de Águas no Baixa Paraíba do Sul: Região Hidrográfica IX do Estado do Rio de Janeiro*, Essentia Editora, Campos dos Goytacazes, RJ. 2014. p. 129 – 152.
- MOON, S.; WOO, N. C.; KWANG, G. L. Statistical analysis of hydrographs and water-table fluctuation to estimate groundwater recharge. *Journal of Hydrology*, v.292. p.198-209, 2004.
- PAZDRO, Z. *Hidrogeologia Ogólna*, W.G. Warszawa, p.575. In: Alvarez, R.H.; Niedzielski, H., 1996. *Estimacion de la recarga en la subcuena Rio de las Avenidas Pachuca Hidalgo México*. In: Congreso Latino-Americano de Hidr. Sub., 3. Atas..México: ALHSUD, p.35-46, 1983.
- RONAYNE, M.J., ROUDEBUSH, J.A., STEDNICK, J.D. (2017). Analysis of managed aquifer recharge for retiming streamflow in an alluvial river. *Journal of Hydrology*, 544, 373-382.
- SCANLON, B. R.; DUTTON, A.; SOPHOCLEOUS, M. (2003). *Groundwater recharge in Texas: Bureau of Economic Geology*. The University of Texas at Austin, Kansas Geological Survey, Lawrence, KS. Disponível em: <<http://www.beg.utexas.edu/files/content/beg/research/swr/pubs/TWDBRechRept.pdf>> Acesso em: 25 mar.2020.
- SCANLON, B. R.; HEALLY, R. W.; COOK, P. G.. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. *Hydrogeology Journal*, v.10, p.18–39, 2002
- SIEBERT, C. RÖDIGER, T.; MALLAST, U; GRÄBE, A.; GUTTMAN, J.; LARONNE, J. B.; STORZ-PERETZ, Y.; GREENMAN, A.; SALAMEH, E.; AL-RAGGAD, M.; VACHTMAN, D.; BEN ZVI, A.; IONESCU, D.; BRENNER, A. MERZ, R.; GEYER, S Challenges to estimate surface- and groundwater flow in arid regions: The Dead Sea catchment, *Science of the Total Environment*, v.485–486, n.1, p.828-841, 2014.
- SILVA JUNIOR, G. C., ALVES, M. G. & MELLO, C. L. Projeto Avaliação Hidrogeológica da Formação Emborê na porção emersa da Bacia de Campos visando o descarte de produção de petróleo. Relatório Técnico Final. ANP/PETROBRAS, 2014.
- TAKOUNJOU, A.F., NGOUPAYOU, J.R.N., RIOTTE, J. Estimation of groundwater recharge of shallow aquifer on humid environment in Yaounde, Cameroon using hybrid water-fluctuation and hydrochemistry methods. *Environmental Earth Sciences*, v.64, p.107–118, 2011.
- WALKER, D., PARKIN, G., SCHMITTER, P., GOWING, J., TILAHUN, S. S., HAILE, A. T., YIMAM, A.Y. Insights from a multi-method recharge estimation comparison study. *Groundwater*, v.57, n. p.245-258, 2019.
- WALTER, T., ANTJE, B., BROSE, D., WOLTER, R. Determining natural background values with probability plots. In: MALOSZEWSKI, P., WITCZAK, S., MALINA, G. (Eds.), *Groundwater Quality Sustainability, IAH - Selected Papers on Hydrogeology*. cap 26. 2012. CRC Press, p. 331–342.
- WENDLAND, E., AND MAZIERO, T.A. Spatial Variability of Recharge in an Urban Area. *Brazilian Journal of Water Resources*, v.13, n.3, p.35-46, 2008.



WINTER, W. R.; JAHNERT, R. J.; FRANÇA, A. B. Bacia de Campos. Boletim de Geociências da Petrobras, v.15, n.2 p.501-509, 2007.

XU, Y., BEEKMAN, H. (Eds). Groundwater Recharge Estimation in Southern Africa. UNESCO, Paris, 2003, (UNESCO IHP Series nº 64), (ISBN 92-9220-000-3).