
SIMULAÇÃO NUMÉRICA DO FLUXO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA DE SANTA BARBARA - SP

NUMERICAL SIMULATION OF GROUNDWATER FLOW AT THE ECOLOGICAL STATION OF SANTA BARBARA - SP

Anderson Luiz dos Santos Safre¹
Rodrigo Lilla Manzione²

RESUMO: Nesse estudo foi analisado o padrão de fluxo das águas subterrâneas na Estação Ecológica de Santa Barbara (EEcSB) em regime permanente, utilizando a simulação numérica por meio da plataforma open source FREEWAT no sistema de informações geográficas QGIS. Gerou-se uma camada de espessura variada, representando o Sistema Aquífero Bauru (SAB). As duas formações do SAB contidas na EEcSB (Adamantina e Marília) foram representadas por zonas com diferentes condutividades hidráulicas, a primeira com 1,75 m/d e a segunda com 0,9 m/d. A calibração teve um erro médio quadrático residual de 0,52 m. O valor total de afluxo simulado pelo modelo em regime permanente é de 66.893,882 m³/d, onde 59.079 m³/d correspondem ao volume escoado pelas drenagens e 7.813 m³/d ao valor de saída pela evapotranspiração. Foram observados três padrões principais de fluxo, com um divisor de águas subterrâneas no centro do domínio simulado.

Palavras-chave: Escoamento. Modelagem numérica. Aquífero Bauru. FREEWAT. QGIS.

ABSTRACT: In this study, the groundwater flow pattern of the Santa Barbara Ecological Station (EEcSB) was analyzed through the numerical simulation in steady state using the open source platform FREEWAT in the geographical Information System QGIS. One layer of varied thickness, representing the Bauru Aquifer System (BAS) was generated. The two BAS formations (Adamantina and Marília) at EEcSB were represented by two zones with different hydraulic conductivity, the first with 1.75 m/d, and the second with 0.9 m/d. The calibration had a mean square residual error of 0.52 m. The total value of simulated inflow by the steady state model is 66,893,882 m³/d where outflow was 59,079 m³/d by the leakage into the drains, and 7,813 m³/d by evapotranspiration. Three main flow patterns were observed, with a groundwater divide at the center of the simulated domain.

Keywords: Natural flow. Numerical modeling. Bauru Aquifer. FREEWAT. QGIS.

¹ Geógrafo, mestre em Agronomia (Irrigação e Drenagem) – UNESP – FCA, Botucatu.

² Professor Associado – UNESP – FCE, Tupã. E-mail: rlmanzione@gmail.com.

Artigo recebido em março de 2019 e aceito para publicação em abril de 2019.

1 INTRODUÇÃO

O gerenciamento das águas subterrâneas é essencial para o desenvolvimento econômico e social, devido à crescente demanda dos múltiplos usos d'água presentes em uma bacia hidrográfica. Uma ferramenta muito utilizada para a análise de sistemas aquíferos são os modelos matemáticos. Um modelo matemático consiste de um conjunto de equações diferenciais, que são conhecidas por reger o fluxo da água subterrânea (WANG; ANDERSON, 1982).

Nesses modelos, os processos físicos são representados utilizando formulações matemáticas, em que o sistema natural é traduzido em equações que representam as condições iniciais e as condições de contorno. De acordo com Anderson e Woessner (1992), um modelo matemático simula o fluxo da água subterrânea por meio de uma equação governante que representa os processos físicos e equações que descrevem cargas ou fluxos ao longo das fronteiras do modelo.

As UC's foram criadas por decretos federais e estaduais, com o objetivo da preservação da fauna e flora nativa remanescente em diversos municípios brasileiros. O cerrado já ocupou 14% do território paulista e ocupa hoje cerca de 1%, sendo que apenas a metade da área remanescente encontra-se protegida em unidades de conservação (DURIGAN et al., 2006). Do ponto de vista hidrogeológico, elas contribuem para a garantia da recarga e conseqüente contribuição do fluxo subterrâneo para abastecimento dos recursos hídricos superficiais da região. Entretanto, essa visão e abordagem que consideram as funções hidrológicas das UC's não constam dos documentos de criação das reservas e, muitas vezes, não são contemplados pelos seus planos de manejo.

Devido à importância estratégica dessas áreas e a crescente demanda de recursos hídricos para a irrigação na bacia do Médio Paranapanema, o objetivo desse trabalho foi realizar uma simulação numérica do fluxo em regime permanente, descrevendo as condições naturais de escoamento do SAB na EEcSB.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Estação Ecológica de Santa Bárbara fica localizada próxima a rodovia SP-280 (Castelo Branco), no município de Águas de Santa Bárbara – SP. Possui uma área de 2.712 hectares (Figura 1). O uso da terra é composto por áreas de cerrado com fragmentos da floresta Estacional Semidecidual em conjunto com talhões de pinus e eucalipto. O clima característico, de acordo com a classificação de Koeppen, é quente de inverno seco (Cwa), com temperatura média de 16°C no mês mais frio e 23°C no mês mais quente (MELO; DURIGAN, 2011). A precipitação pluviométrica anual oscila entre 1000 e 1500 mm. O Gráfico 1 foi elaborado com dados coletados de 1987 a 2017 por meio de um pluviômetro manual na EEcSB. É notável a sazonalidade climática marcada por um período seco (de junho a setembro), e um período úmido (com chuvas concentradas de outubro a fevereiro).

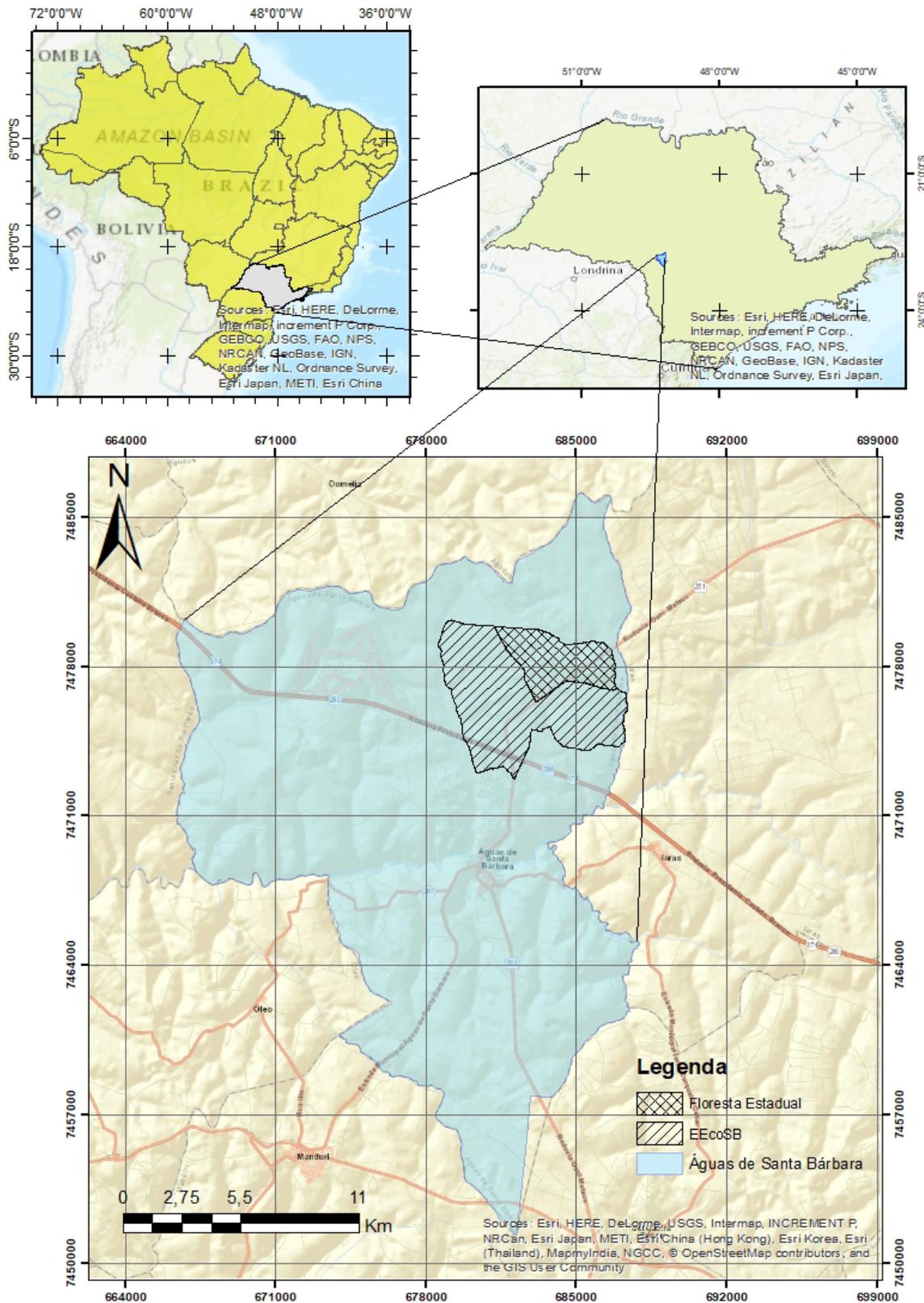
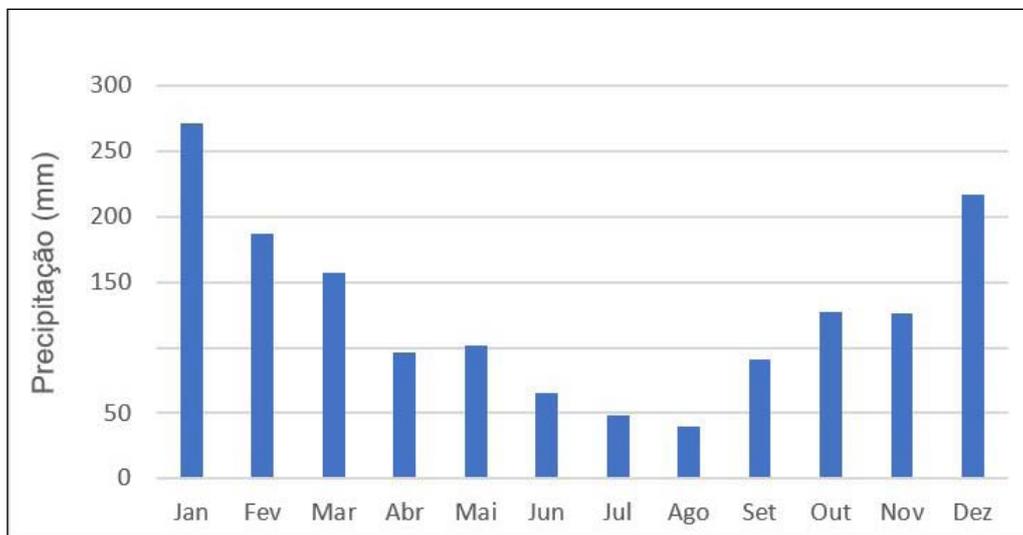


Figura 1. Localização da Estação Ecológica de Santa Barbara.

As baixas temperaturas no inverno fazem com que os valores de evapotranspiração potencial (ET0) sejam baixos, de modo que não exista um déficit hídrico significativo.

Gráfico 1. Variação da precipitação média mensal (1987-2017).



Na área ocorrem três grandes unidades geológicas, constituídas por arenitos da Formação Marília ao Norte, e arenitos da Formação Adamantina, ao Sul, ambas rochas do Grupo Bauru. Essas formações repousam sobre as rochas basálticas da Formação Serra Geral, Grupo São Bento (Figura 2).

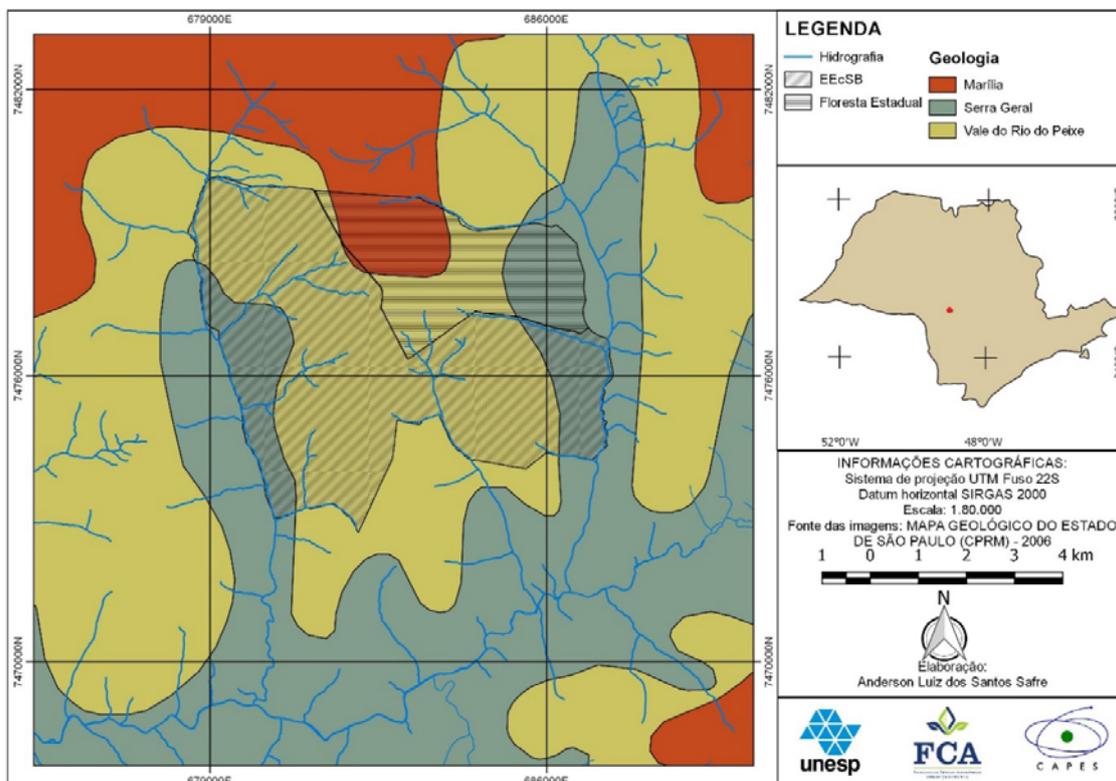


Figura 2. Geologia da região da Estação Ecológica de Santa Barbara.

O relevo da região é suave-ondulado com os divisores de água de topos aplainados. Não existem grandes variações de altitudes na área prevalecendo valores entre 640 m e 680 m. O relevo predominante é do tipo colinoso, paisagisticamente monótono, com baixas declividades (<15%) (MELO; DURIGAN, 2011).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Poços de monitoramento

Para monitoramento da carga hidráulica e calibração do modelo, foram utilizados dados de 43 piezômetros (Figura 3) localizados nas bacias do Guarantã, Boi, Santana, Bugre e Passarinho.

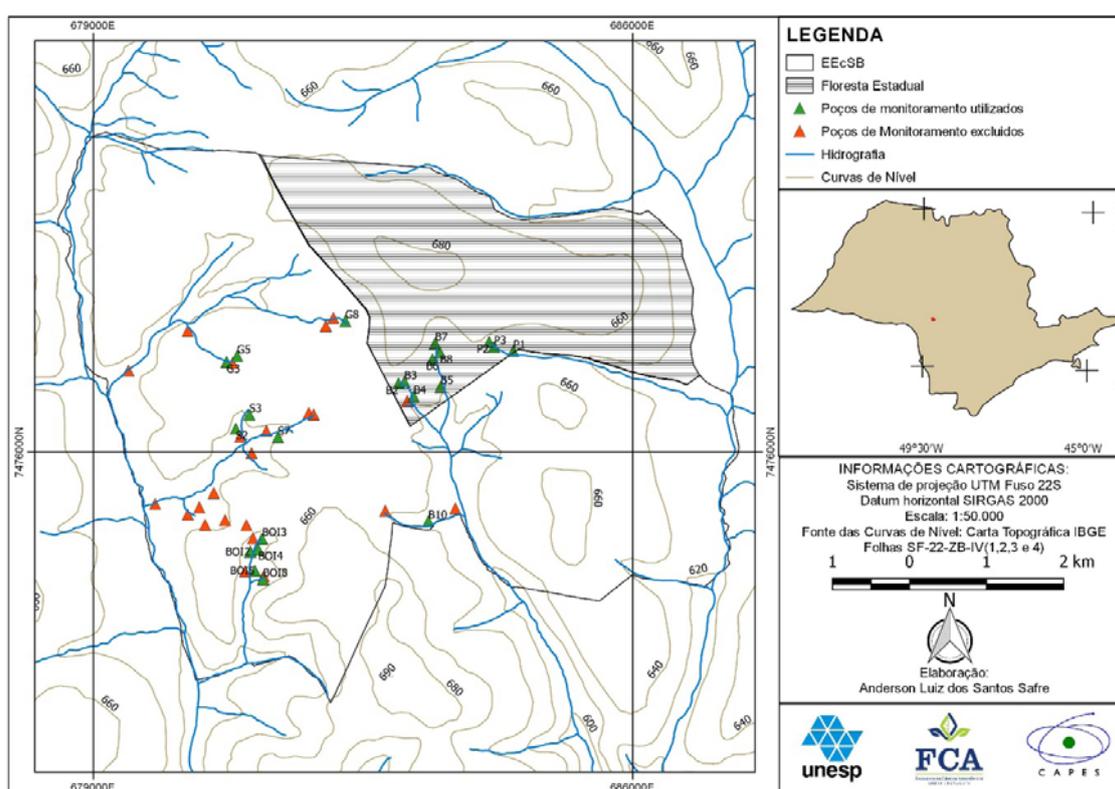
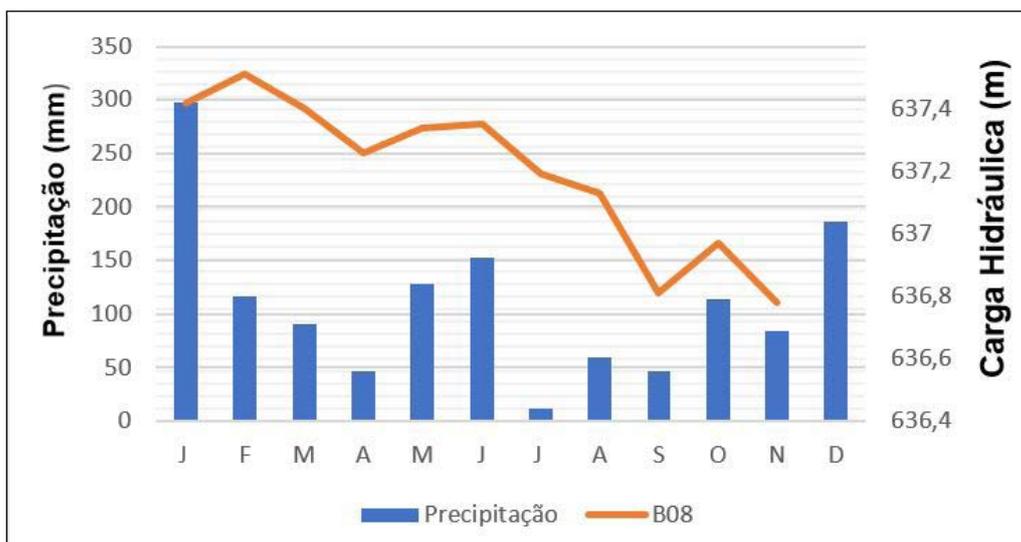


Figura 3. Localização dos poços de monitoramento.

As campanhas de leitura do nível d'água foram realizadas do dia 05 de dezembro de 2014 a 05 de setembro de 2017 em intervalos de 15 dias. Os níveis da água foram obtidos utilizando um medidor de nível automático Solinst modelo 102. O Gráfico 2 apresenta a altura do nível freático do poço de monitoramento B08 em relação aos valores de precipitação acumulada mensal no ano de 2016. É possível notar que a resposta do nível é muito rápida, característica de aquíferos livres com moderada permeabilidade.

Devido a grande maioria dos poços apresentar o nível médio de água ≤ 1 m, e a erros de generalização topográfica do modelo digital de elevação do SRTM (tamanho do pixel = 90 m), a calibração do modelo foi muito difícil inicialmente. Desse modo, 20 poços que apresentaram grande discrepância foram excluídos da calibração e o processo seguiu com 23 poços, distribuídos de maneira a representar todas as bacias monitoradas.

Gráfico 2. Precipitação acumulada e valor da carga hidráulica no poço B08 no ano de 2016.

3.2 Geoprocessamento dos dados

A coleta, organização e processamento dos dados iniciais foi realizada por meio de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), o software QGIS v. 2.14.8 (Essen). Todos os dados matriciais e vetoriais foram convertidos para o sistema de projeção de coordenadas planas (UTM), Fuso 22S, datum SIRGAS 2000. O banco de dados foi segmentado em dados físicos e dados do modelo. Os dados foram utilizados como parâmetros de entrada no modelo numérico de simulação do fluxo das águas subterrâneas elaborado com o FREEWAT. O FREEWAT é um ambiente de modelagem de código aberto e domínio público, para simulação da quantidade e qualidade da água em águas superficiais e subterrâneas com um módulo integrado de gerenciamento e planejamento de água (ROSSETO et al., 2015). O FREEWAT foi concebido como um *plugin* integrado ao Sistema de Informações Geográficas (SIG) QGIS. Ele foi projetado como um conjunto modular, com ferramentas para simulação de diversos processos do ciclo hidrológico, processos hidrogeoquímicos e sócioeconômicos. A plataforma livre e de código aberto é combinada às funcionalidades do geoprocessamento, permitindo a integração, manipulação e pós processamento de dados de entrada e saída do modelo.

Os dados físicos coletados foram: (I) Mosaico com as cartas topográficas do IBGE georreferenciadas; (II) *Shapefile* com os dados potenciométricos dos poços da EECSB; (III) Modelo Digital de Elevação (MDE) obtido utilizando as imagens SRTM; (IV) *Shapefile* contendo as drenagens extraídas das cartas topográficas. (V) *Shapefile* com as curvas de nível de acordo com as cartas topográficas; (VI) Mapa Geológico do Estado de São Paulo (CPRM, 2006) georreferenciado; (VII) mapas com interpolações dos valores do nível freático na EECSB; (VIII) Limites das UGRHI do Estado de São Paulo, limite do município de Águas de Santa Barbara e Limites da EECSB; (IX) Mapa pedológico do estado de São Paulo (IF, 2017); (X) *Shapefile* com localização e descrição dos poços do SIAGAS; (XI) *Shapefile* com os Aquíferos do Estado de São Paulo; (XII) *Shapefile* com dados Litológicos do Estado de São Paulo.

Os dados do modelo correspondem aos *shapefiles* gerados após a criação do modelo

como: (i) *shapefile* contendo a geometria e os parâmetros hidráulicos do aquífero Bauru; (ii) *shapefiles* contendo os dados referentes as condições de contorno do tipo dreno atribuído a todas as drenagem representadas no modelo numérico; (iii) *shapefile* contendo informações a respeito da distribuição da recarga no domínio simulado; (iv) *shapefile* contendo informações a respeito da distribuição da evapotranspiração no domínio; (v) *Shapefile* contendo informações a respeito dos poços para entrada no processo de calibração e criação dos *Head Observation Data* (HOB's).

3.3 Modelo conceitual

O processo de modelagem obedece a uma série de etapas (Figura 4) que antecedem as simulações. Alguns autores, como Bear (1972), Anderson e Woessner (1992), Spitz e Moreno (1996), Kresic (1997) definiram os procedimentos necessários para realizar a simulação numérica.

O modelo conceitual foi criado a partir de algumas alterações do Modelo Hidrogeológico conceitual da EECSB descrito por Santarosa (2017). Esse modelo foi gerado a partir de dados da profundidade do nível freático, espessura da camada saturada, valores de porosidade efetiva, condutividade hidráulica e o Modelo Digital de Terreno (MDT). O desenvolvimento de um modelo conceitual apropriado é a chave para um estudo de modelagem bem-sucedido (SPITZ; MORENO, 1996).

As seguintes hipóteses foram admitidas no modelo conceitual adotado neste trabalho: (I) Heterogeneidade litológica. O domínio foi dividido em duas unidades litológicas com comportamentos isotrópico e homogêneo de condutividades hidráulicas (Fm. Marília e Fm. Adamantina). (II) Os afloramentos impermeáveis de basalto nas fronteiras laterais e na base do domínio caracterizam uma condição de conectividade hidráulica inexistente com o SAB, representado por condições de contorno de fluxo nulo. (III) Para delimitação da fronteira norte do domínio, foi utilizado o divisor de águas da bacia hidrográfica do Rio Pardo, que é um divisor regional de água subterrânea e configura uma condição de contorno de fluxo nulo.

Outros divisores de água nas bacias do Capivari e Capão Rico foram utilizados para delimitar o modelo na região Nordeste e Noroeste. (IV) A espessura do modelo varia de 0,1 m nas bordas indo até 60 m ao norte do modelo. A espessura média das unidades foi obtida pelos dados de profundidade dos poços do Sistema de Informação de Águas Subterrâneas (SIAGAS) da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) na área, juntamente com os dados do *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM). (V) O aquífero foi representado como livre em toda sua extensão. (VI) Os fluxos de entrada foram simulados pela recarga pela precipitação, e os fluxos de saídas foram representados pela evapotranspiração e os córregos presentes no domínio. (VII) A descarga de água subterrânea ocorre através das drenagens presentes na área. Estas apresentam alto grau de dissecação, com espessuras menores do SAB próximo ao leito dos rios. Foi identificado na área que todos os córregos, no trecho inicial, estão sob o SAB, entretanto, após curtas distancias, os mesmos corpos d'água fluem sobre os afloramentos de basalto. Os trechos que fluem para além do domínio foram excluídos da simulação.

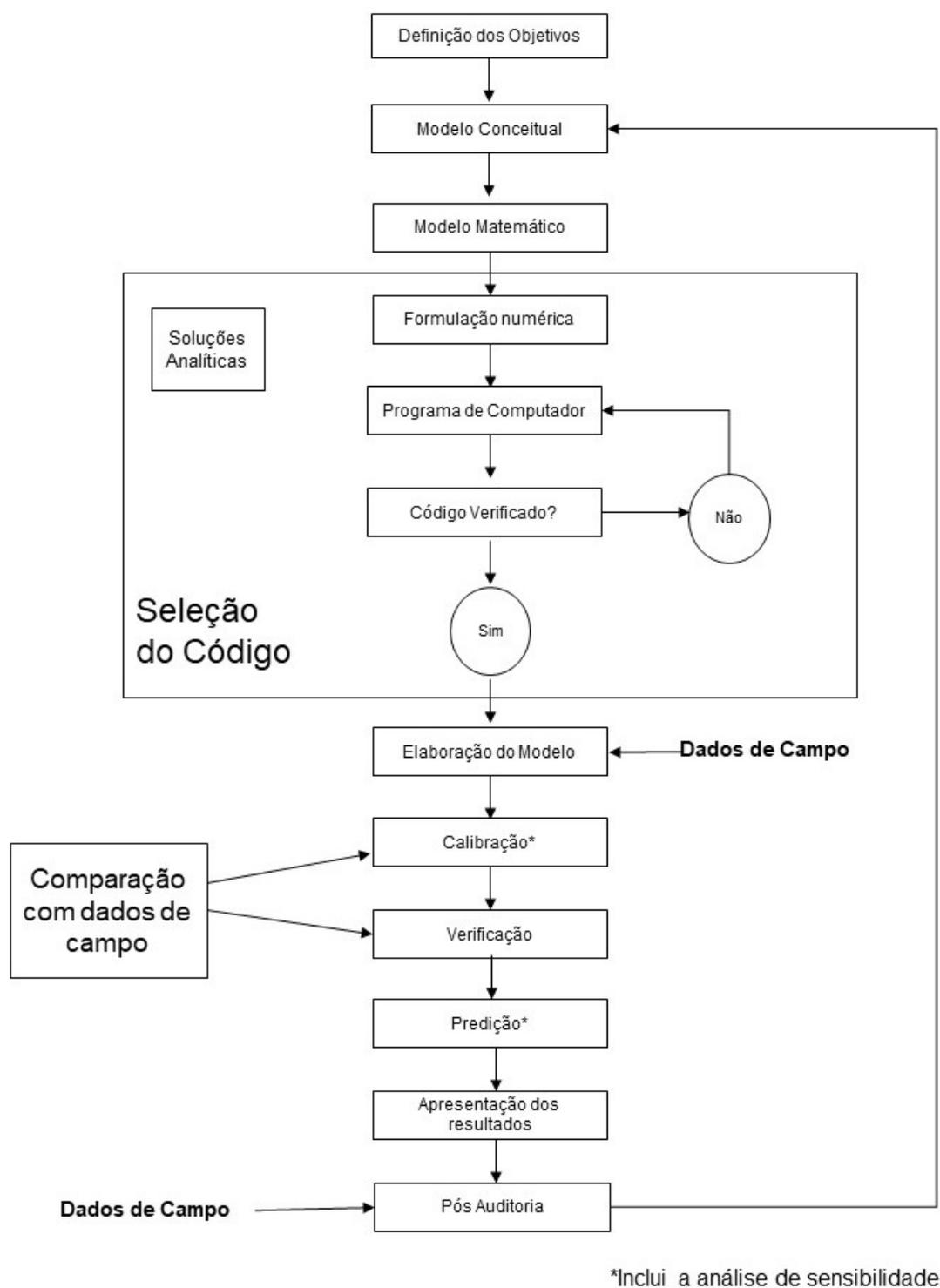


Figura 4. Fluxograma das atividades realizadas.

3.4 Discretização do modelo

Foi gerado um grid de diferenças finitas, com células de 100 x 100 m, gerando um total de 17.168 células. O domínio ativo possui uma área de 7.789,00 ha (Figura 5).

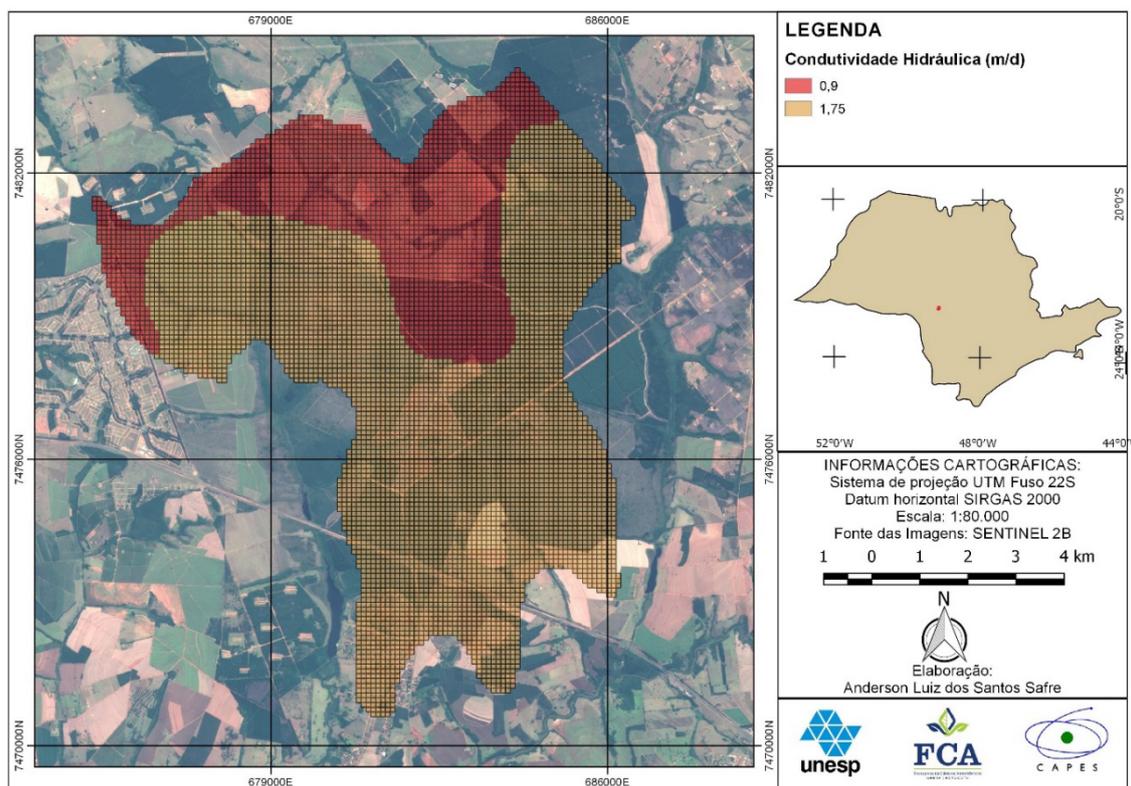


Figura 5. Distribuição dos valores de condutividade hidráulica.

Todas as células fora do domínio foram desativadas, restando 7.789 células ativas. Uma única camada de espessura variada foi utilizada para representar o SAB. Essa camada foi então dividida em duas zonas com o intuito de simular a Formação Marília e a Formação Adamantina. Para a Formação Adamantina um valor de condutividade hidráulica de $2,02 \times 10^{-5}$ m/s (1,75 m/d) foi adotado. Para a Formação Marília foi adotado o valor médio de $K = 1,04 \times 10^{-5}$ m/s (0,90 m/d), esse valor foi considerado segundo o levantamento de Luiz et al. (2016), que obteve esse valor após realizar 8 testes slugs em uma área da Formação Marília no município de Itatinga – SP. Foi admitido um valor médio de rendimento específico de 10 % para toda a camada 1.

Para simular as características hidrodinâmicas na área de estudo, foram selecionados como condição de contorno os elementos hidrogeológicos naturais como os afloramentos de formações impermeáveis e divisores topográficos. As condições de contorno são expressões matemáticas especificando a variável dependente (carga hidráulica) ou a derivada da variável dependente (fluxo) nas fronteiras do domínio do problema (ANDERSON; WOESSNER, 1992). Estas feições foram representadas como condições de contorno de fluxo nulo nas fronteiras norte, sul, leste e oeste do domínio. O contato inferior do SAB com o basalto também foi representado como fluxo vertical nulo (Figura 6).

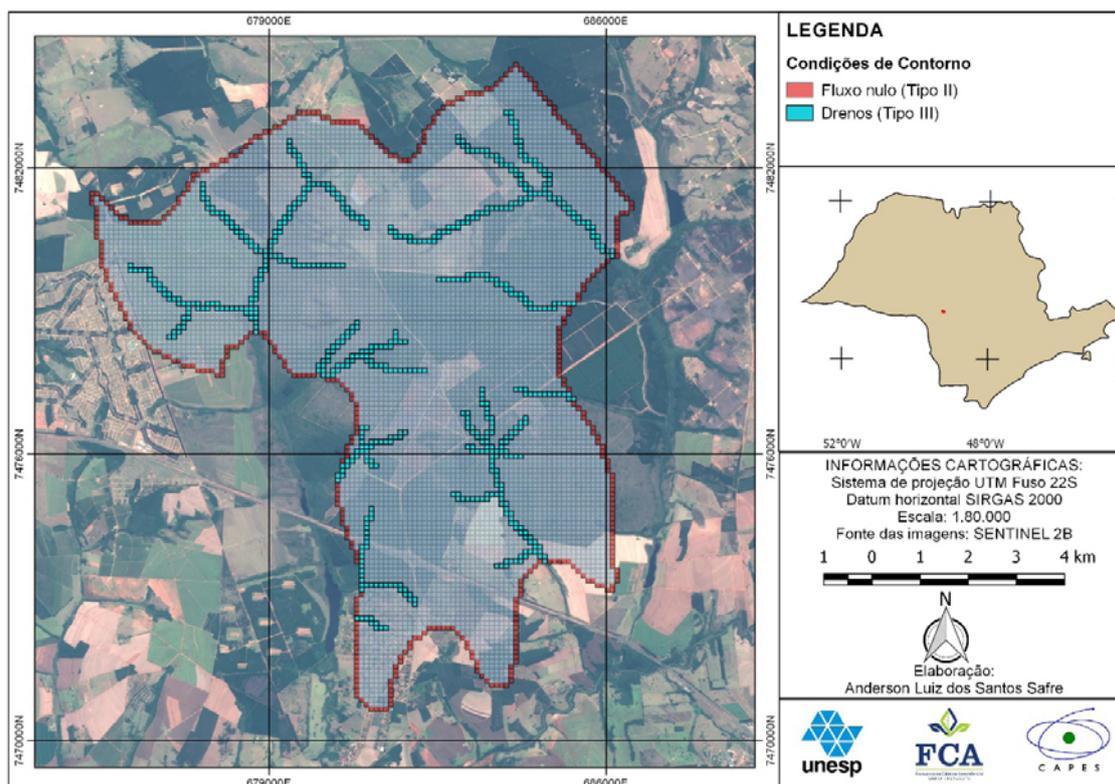


Figura 6. Condições de contorno utilizadas no modelo.

Os rios foram simulados como condições de contorno de fluxo dependente da carga no interior do domínio. Os córregos foram simulados com o pacote dreno (MODFLOW DRN). Esse módulo se comportou da melhor maneira para representar essas feições devido as características dos leitos na área de estudo, visto que essa condição de contorno atua somente como um sumidouro de água. Uma abordagem semelhante foi adotada por Iritani (1999), onde as drenagens secundárias da bacia do Rio Paraíba foram simuladas como condições de contorno do tipo dreno, para facilitar a verificação da influência de poços de bombeamento, pois quando o nível d'água no aquífero está abaixo do dreno, a descarga é nula e o dreno torna-se seco.

A recarga foi dividida em duas zonas, a zona 1 representando a EECSB e a zona 2 os demais usos. Os valores de recarga admitidos foram de aproximadamente 5% da precipitação registrada no dia 31/05/2016 (29,5 mm), ou seja, 0,00132 m/d (1,32 mm/d) para a zona 1 e 0,000277 m/d (0,277 mm/d) na zona 2. A evapotranspiração adotada foi de 0,61 mm/d em função do valor de ET₀ médio calculado pela estação meteorológica automática.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

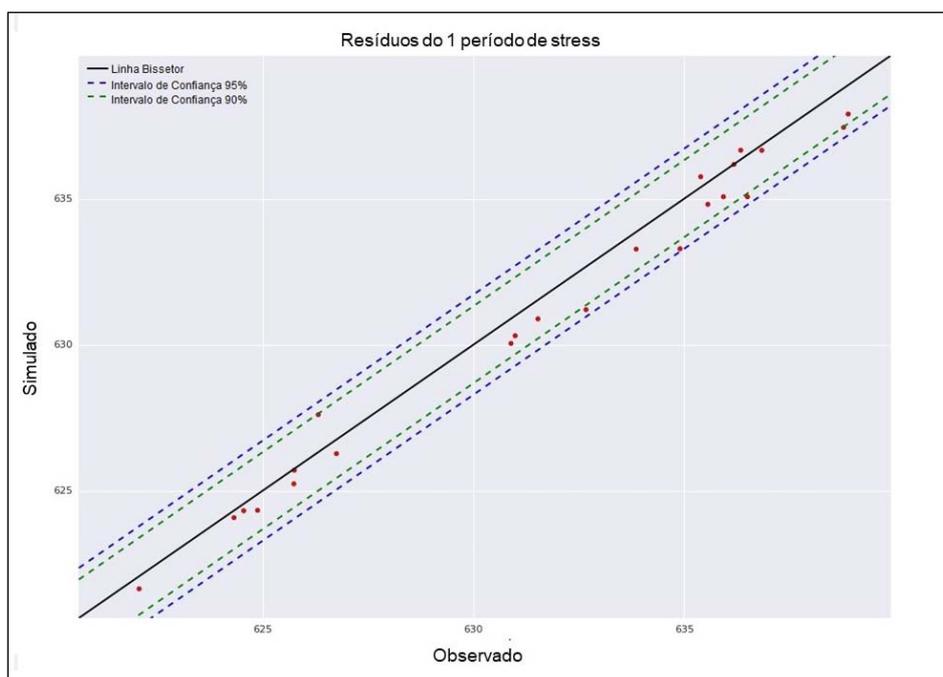
4.1 Calibração do modelo

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos após a calibração, que se baseou na análise da curva de correlação e nos resultados obtidos pela análise de sensibilidade.

Tabela 1. Resultados da comparação entre os valores observados e simulados

Nome da observação	Valor observado (m)	Valor Simulado (m)	Resíduo (m)
B2	635,9299	635,0664	0,8635
B3	636,5000	635,0639	1,4360
B4	633,8599	633,2721	0,5878
B5	634,9000	633,2826	1,6173
B6	636,8400	636,6532	0,1867
B7	638,7800	637,4411	1,3388
B8	636,3400	636,6584	-0,3184
B10	622,0700	621,6388	0,4311
P1	635,5599	634,8067	0,7532
P2	636,1799	636,1729	7,080 x 10 ⁻³
P3	635,3900	635,7519	-0,3619
BOI2	625,7399	625,2349	0,5050
BOI3	624,3200	624,0769	0,2430
BOI4	626,7500	626,2683	0,4816
BOI5	625,7500	625,7017	4,82 x 10 ⁻²
BOI6	624,8800	624,3279	0,5520
BOI8	624,5499	624,3136	0,2363
G3	631,5300	630,8838	0,6461
G5	632,6699	631,1987	1,4712
G8	638,8900	637,8969	0,9931
S2	626,3200	627,6015	-1,2814
S3	630,8900	630,0415	0,8484
S7	630,9899	630,3051	0,6848

Os parâmetros utilizados na calibração foram a condutividade hidráulica horizontal e a recarga. A variação nos valores de condutância dos drenos não apresentou influência significativa nos valores de escoamento dos córregos presentes na área, o que levou a priorizar a condutividade hidráulica e recarga do modelo no momento da calibração. O Gráfico 3 apresenta os resultados da calibração após os ajustes da condutividade hidráulica e recarga.

Gráfico 3. Correlação entre os valores simulados e observados.

A maioria dos resíduos está dentro do intervalo de confiança de 90%, apenas 4 observações ficaram no intervalo de confiança de 95%. Na Tabela 2, é possível visualizar os resultados encontrados após a análise estatística dos resíduos.

Tabela 2. Resultados do processo de calibração do modelo de fluxo subterrâneo.

Estatística dos resíduos	Valor
Número de resíduos	23
Média	-0,5204
Desvio Padrão	0,6481
Mínimo	-1,6173
Máximo	1,2814
Erro padrão da estimativa	0,1381
Erro quadrático médio residual	0,5204
Erro quadrático médio normalizado	0,0300
Coefficiente de correlação de Pearson	0,9926

O coeficiente de correlação entre os valores observados e simulados de carga hidráulica foi de 0,9926 representando uma boa calibração do modelo, ao passo que o resíduo médio foi de 0,520 m e o erro quadrático médio normalizado foi de 3 %.

4.2 Simulação potenciométrica

Na Figura 7 é apresentado o mapa da superfície potenciométrica simulado pelo modelo em regime permanente. É possível identificar que a drenagem de água do aquífero, realizada pelos rios, estabeleceu linhas de fluxo com forte influência local. As linhas de fluxo também foram condicionadas pelo relevo, fazendo com que na maioria dos locais o fluxo subterrâneo apresentasse semelhança com as variações topográficas do terreno. Foi constatado que os corpos d'água superficiais são os principais responsáveis pelo transporte de água na EEcSB, e que em razão da espessura do SAB próximo a essas drenagens, o tempo de permanência da água no meio poroso é relativamente curto, fazendo com que a filtragem não seja tão efetiva.

Os resultados encontrados aqui, em relação as direções de fluxo subterrâneo foram semelhantes aos encontrados por Santarosa (2017). Entretanto, o modelo hidrológico conceitual adotado aqui é diferente do modelo idealizado por esse autor, principalmente em relação à condutividade hidráulica adotada, à espessura do pacote de arenito, e à localização dos afloramentos de basalto.

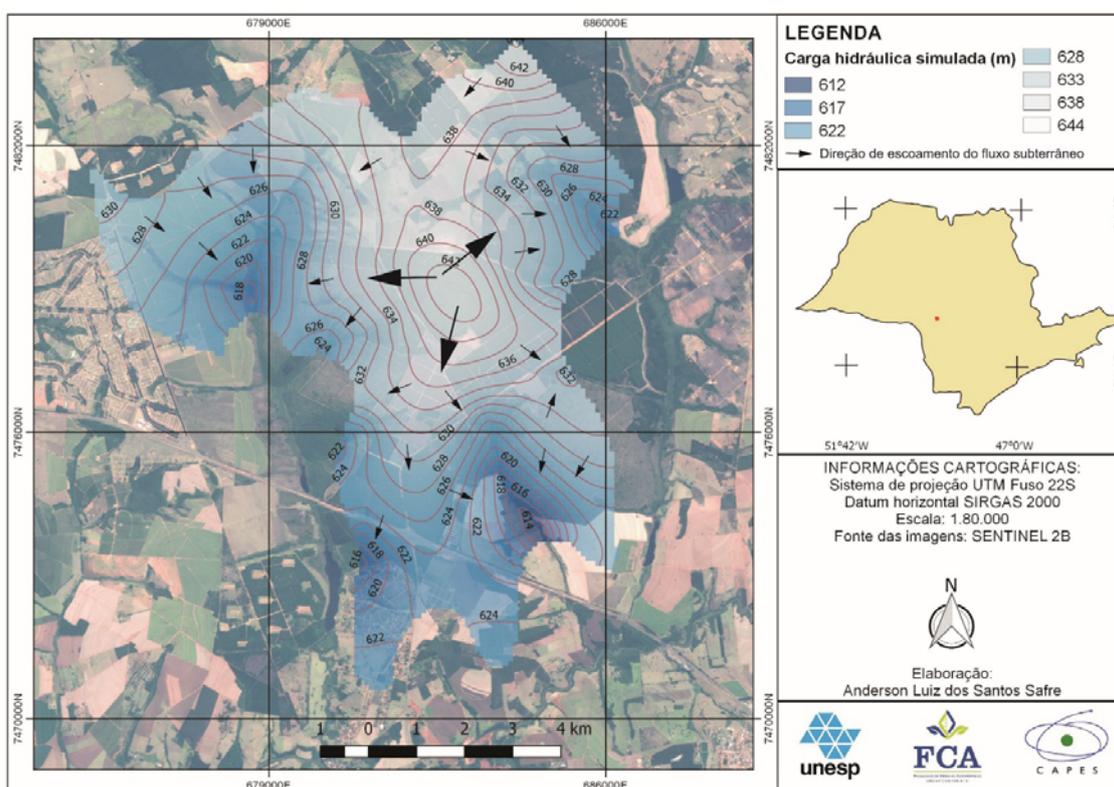


Figura 7. Mapa Potenciométrico simulado pelo modelo de fluxo em regime permanente.

Soldera e Manzione (2012) aplicaram o modelo PIRFICT em uma área do SAB em Assis-SP e identificou que os poços localizados em área de baixada são mais rasos e sensíveis as variações sazonais da precipitação e evapotranspiração, e que o relevo das áreas de estudo condiciona as dinâmicas distintas nos poços de monitoramento. Essa condição é semelhante a observada no EEcSB.

Com a ferramenta 'Terrain Profile' do QGIS foi traçado o perfil A-B (Figura 8) que representam a superfície potenciométrica simulada pelo modelo e o modelo digital de elevação do SRTM, evidenciando os principais rios que drenam o aquífero.

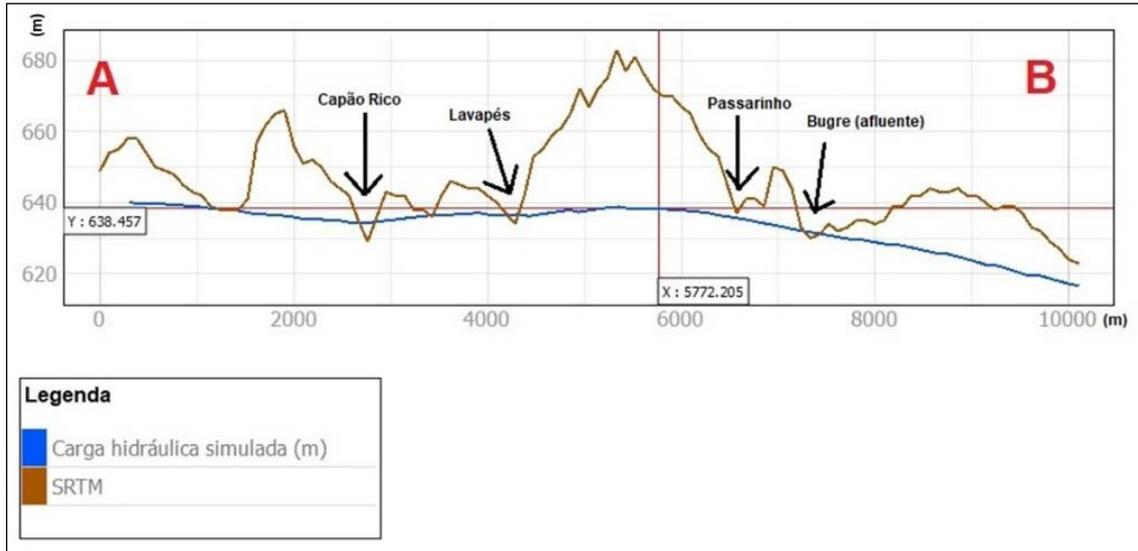
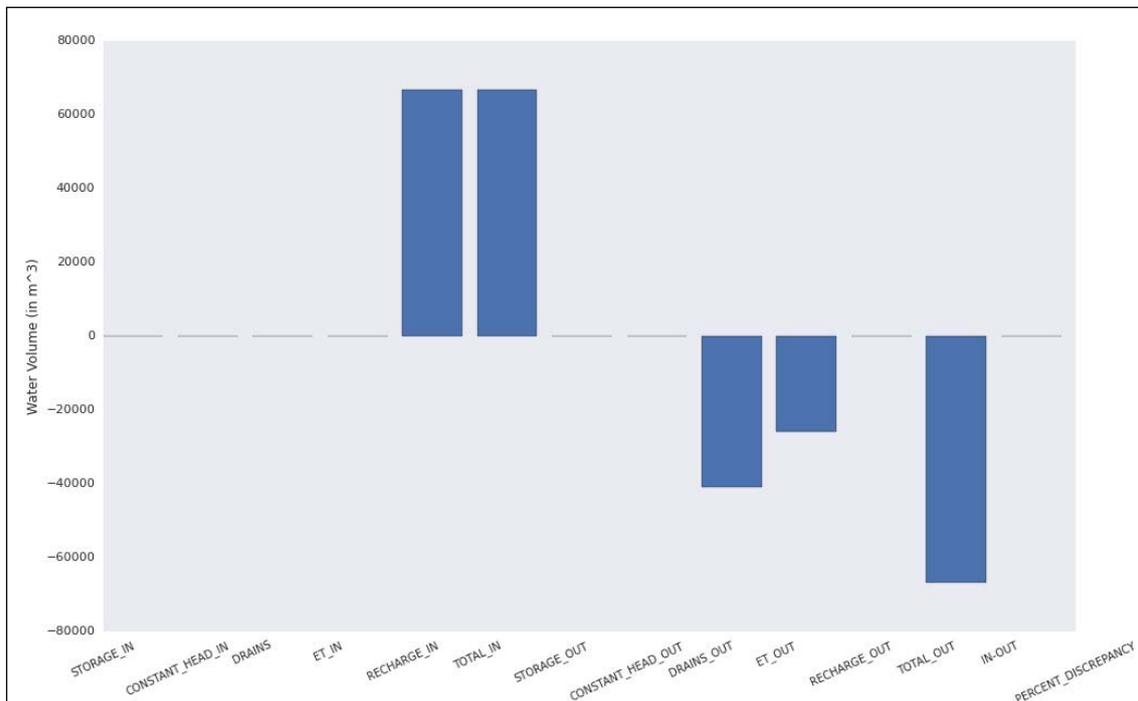


Figura 8. Seção vertical com direção Norte-Sul na EecSB.

O fluxo total de entrada foi de 66.893,882 m³/d representado pela recarga. Os fluxos de saída pelos sistemas de drenagem representados no modelo matemático com o módulo drenos, na data da simulação, totalizam uma vazão de 59.079,00 m³/d (Gráfico 4).

Gráfico 4. Balança volumétrica obtido na simulação em regime permanente.



Esse valor aproxima-se do valor de vazão obtido por Honda e Nizoli (2005), que foi de 56.540,00 m³/d no período seco, somando-se a vazão encontrada na saída dos Rios Capivari, Capão Rico e Bugre. A evapotranspiração total da área foi de 7.813,00 m³/d, e a discrepância percentual no balanço hídrico foi abaixo de 0,1%. Manzione (2018) verificou recarga nos níveis freáticos da EecSB entre 2014 e 2016, indicando a recuperação dos níveis após a seca 2013/14 (COELHO; CARDOSO; FIRPO, 2016). Essas informações

são úteis tanto para planejamento das atividades agrícolas e florestais conduzidas na EEcSB e na região, como também na tomada de decisão quanto a práticas de manejo da vegetação de Cerrado, como fogo controlado e áreas estratégicas para restauração vegetal.

CONCLUSÕES

No processo de modelagem baseado nas etapas seguidas por este trabalho, deve se dar ênfase para a construção do modelo hidrogeológico conceitual que é de extrema importância para o sucesso do modelo matemático. A etapa mais extensa, porém, essencial foi a de calibração, pois nessa fase foram identificadas as incertezas na área simulada, e quais dados são passíveis de novos levantamentos, ou ainda a necessidade de revisão do modelo conceitual.

Em relação ao desempenho do FREEWAT este se mostrou uma ferramenta eficaz, pois o plugin é estruturado em módulos o que faz com que a configuração do modelo seja mais intuitiva, além do que esse software reduziu significativamente os gastos do processo de modelagem, ao passo que não necessita de licença para utilização.

Como o Rio Pardo flui sobre os afloramentos de basalto e que as contribuições nas margens deste depende de fraturas, todo o volume de água gerado pelo SAB na EEcSB é drenado em direção ao Rio Pardo, contribuindo para o montante de vazão deste corpo d'água. Constatou-se que a porção Oeste do domínio possui um declive topográfico e fluxo com direção principal para a bacia hidrográfica do rio Capivari. As linhas de fluxo apresentaram padrões locais por conta do papel dos córregos efluentes, Boi, Divisa, Garantã e Santana que atuaram como áreas de descarga, drenando as águas subterrâneas. A porção Leste possui declive topográfico com sentido principal do fluxo em direção ao rio Capão Rico, com contribuição dos afluentes Lavapés e Passarinho. O terceiro padrão de fluxo identificado foi um com sentido Norte-Sul em direção a bacia do Bugre, captando a água infiltrada a partir do divisor topográfico no centro do domínio.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, M. P.; WOESSNER, W. W. **Applied Groundwater Modeling: Simulation of Flow and Advective Transport**. London: Academic Press, 1992. 381p.
- BEAR, **Dynamics of Fluids In Porous Media**. New York, American Elsevier Publishing Company, 1972. 746p.
- 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**, v. 125, p. 769-784, 2016.
- COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS (CPRM)**. Domínio Geológico Litoestratigráfico do Estado de São Paulo. 1:750.000. São Paulo, 2006
- DURIGAN, G., SIQUEIRA, M. F., FRANCO, G. A. D. C., RATTER, J. M. Seleção de fragmentos prioritários para a conservação do cerrado no Estado de São Paulo. **Rev. Inst. Flor.** v. 18, p. 23-37. 2006.
- HONDA, E. A.; NIZOLI, E. C. **Caracterização das águas da Estação Ecológica de Águas de Santa Bárbara**. Relatório Técnico. São Paulo: Instituto Florestal, 2005. 41 p.
- INSTITUTO FLORESTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (IF). **Mapa pedológico do estado de São Paulo**. 1:250.000. São Paulo, 2017.
- IRITANI, M. A. **Modelação matemática tridimensional para a proteção das captações de água subterrânea**. Tese (Doutorado em Recursos Mineirais e Hidrogeologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999. 210 p.

- KRESIC, N. **Quantitative Solutions in Hydrogeology and Groundwater Modeling**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1997. 445 p.
- LUIZ, M. B.; HIRATA, R.; TERADA, R.; SARAIVA, F.; TASSE, N. Fitorremediação de aquíferos contaminados por nitrato. In: XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2016, Campinas. **Anais...** São Paulo: ABAS, 2016.
- MANZIONE, R. L. Water table depths trends identification from climatological anomalies occurred between 2014 and 2016 in a cerrado conservation area in the Médio Paranapanema Hydrographic Region/SP-Brazil. **Bol. Goiano de Geografia**, v. 38, p. 68–85, 2018.
- MELO, A. C. G.; DURIGAN, G. **Plano de manejo da Estação Ecológica de Santa Bárbara**. São Paulo: Instituto Florestal, 2011. 222p.
- ROSSETTO, R., BORSI, I., FOGLIA, L. FREEWAT: FREE and open source software tools for WATER resource management. Roma, Rendiconti Online, **Società Geologica Italiana** v.35, p. 252-255, 2015.
- SANTAROSA, L.V. Modelo hidrogeológico conceitual da Estação Ecológica de Santa Barbara (EEcSB) em área do Sistema Aquífero Bauru (SAB). **Águas Subterrâneas**, v.31, n.4, p. 404-412, 2017.
- SOLDERA, B. C.; MANZIONE, R. L. Modelagem de níveis freáticos no sistema Aquífero Bauru como ferramenta na gestão de recursos hídricos subterrâneos. **Ciência Geográfica**, v. 16, n. 1, p. 54-61, 2012.
- SPITZ, K. & MORENO, J. **A practical guide to groundwater and solute transport modeling**. New York: John Wiley and Sons, 1996. 461p.
- WANG, H. F. & ANDERSON, M. P. **Introduction to Groundwater Modelling: Finite Difference and Finite Element Methods**. San Diego, California, USA: Academic Press Limited, 1982. 237 p.