



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JULIO DE MESQUITA FILHO”
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS



Trabalho de Formatura

Curso de Graduação em Geologia

**SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE FLUXO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO
AQUÍFERO RIO CLARO, NA REGIÃO DO CAMPUS DA UNESP – RIO
CLARO, SP.**

Guilherme Emídio Horta Nogueira

Orientador: Prof. Dr. Chang Hung Kiang
Co-Orientador: Me. Elias Hideo Teramoto

Rio Claro – SP
2014

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

GUILHERME EMIDIO HORTA NOGUEIRA

SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE FLUXO DE ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS DO AQUÍFERO RIO CLARO, NA REGIÃO
DO CAMPUS DA UNESP – RIO CLARO, SP.

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

Rio Claro - SP
2014

551.49 Nogueira, Guilherme
N778s Simulação numérica de fluxo de águas subterrâneas do aquífero Rio Claro, na região do campus da Unesp - Rio Claro / Guilherme Nogueira. - Rio Claro, 2014
115 f. : il., figs., gráfs., tabs., quadros, fots., mapas

Trabalho de conclusão de curso (Geologia) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Chang Hung Kiang
Coorientador: Elias Hideo Teramoto

1. Águas subterrâneas. 2. Elementos finitos. 3. Feflow. 4. Hidrogeologia. 5. Modelagem. 6. Modelagem hidrogeológica de fluxo. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

GUILHERME EMIDIO HORTA NOGUEIRA

SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE FLUXO DE ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS DO AQUIFERO RIO CLARO, NA REGIÃO
DO CAMPUS DA UNESP – RIO CLARO, SP.

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

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Chang Hung Kiang (orientador)

Dr. Miguel Angel Alfaro Soto

Geól. Me. Roger Dias Gonçalves

Rio Claro, 09 de Dezembro de 2014.

Assinatura do(a) aluno(a)

Assinatura do(a) orientador(a)

AGRADECIMENTOS

Mais um objetivo alcançado. Mais uma etapa concluída.

Mais um novo ponto de partida se inicia.

Com enorme alegria e amor, gostaria de agradecer a todos que de alguma forma (ou de muitas) me auxiliaram, me cobraram e me ensinaram durante esses belos anos que se passam.

Em primeiro lugar, digo obrigado aos meus pais, Fábio e Meiry, que souberam desde cedo como ser grandes exemplos, servindo-me de guia e referência para que um dia eu possa vir a ser tão belo como eles. São incontáveis as inúmeras vezes que devo ainda dizer obrigado por tudo! E é imensurável a tamanha gratidão e satisfação que tenho em ser filho de vocês.

Agradeço a minha irmã, Thaís, por ser muito mais que companheira, parceira e colega de risadas, choros e brincadeiras das mais inimagináveis, tenham sido elas em casa, no bar, no carro, na rua ou mesmo na rocha (ditos afloramentos entre geólogos)!

Um obrigado a TODOS os novos irmãos da República Milharal, especialmente *Murphy, Bernie, Mamute, Lara, Senta, Fruta, Lady e Don Rigo*, e da sala de aula – Álcool n’Geo, que percorreram junto a mim este caminho, aguentando os estresses, os campos, a música alta, as baboseiras, as boas festas e ressacas e que em muito foram importantes para a construção de meu perfil social/profissional. Um obrigado especial aos amigos Bruno (Gonzo), Roger (Bin) e demais companheiros que facilitaram e ajudaram meu aprendizado e trabalho no LEBAC.

Agradeço também a todos os mestres que, nesses anos de faculdade, se esforçaram com prazer para nos envolver nessa ciência exótica que é a Geologia. Um obrigado especial ao professor Chang, pela oportunidade de trabalho e voto de confiança dados.

Obrigado Amanda. Sem você, minha inspiração e companheira, os resultados não seriam os mesmos, nem se quer este caminho tão prazeroso.

Obrigado a de Moraes, Powell, Gilmour e todos os outros lordes das boas músicas e escritas únicas que nos trazem paz nos momentos difíceis e que aumentam o prazer dos momentos de alegria.

E obrigado aos demais, não aqui citados, mas que da mesma forma compuseram com perfeição e acompanharam toda a minha caminhada até aqui. Conto com vocês para as alegrias que advirão.

“Anfangen ist leicht, beharren eine Kunst”

(Começar é fácil, persistir é arte)

RESUMO

A administração das águas em uma área qualquer é de suma importância para o sucesso de muitos empreendimentos e também da vida. A compreensão de seu equilíbrio com o meio é necessária para uma melhor gestão de sua demanda. Logo, estudos hidrogeológicos são necessários no âmbito de melhor entendimento do comportamento de um aquífero, para que sua gestão seja efetuada de maneira a não exaurir ou prejudicar o mesmo. O objetivo deste trabalho é a modelagem numérica hidrogeológica em regime transiente de uma porção do aquífero da Formação Rio Claro no intuito de obter respostas acerca de seus parâmetros hidrogeológicos, suas direções principais de fluxo e ainda seus pontos mais sensíveis a alterações. A revisão bibliográfica e caracterização conceitual do aquífero, aliada a campanhas de campo e de monitoramento do nível d'água (NA) local, possibilitaram a posterior construção do modelo matemático através de elementos finitos, por meio do algoritmo computacional FEFLOW 6.1[®]. O local de estudo inclui o campus da UNESP e áreas residenciais e industriais da cidade de Rio Claro. Sua área de 9,73 km² foi discretizada em 318040 elementos triangulares, distribuídos por seis camadas, totalizando num volume total de 0,25 km³. A topografia do terreno e os contatos geológicos foram obtidos de estudos geológicos e geofísicos anteriores, bem como de perfis de poços do campus e do sistema SIAGAS/CPRM. Os sete poços de monitoramento do campus foram utilizados como pontos de observação para fins de calibração e checagem dos resultados da simulação. Coleta e caracterização de arenitos da Fm. Rio Claro destacam uma alta heterogeneidade litológica e hidrológica para a formação aquífera. Os resultados das simulações apontam para valores de condutividade hidráulica entre 10^{-6} e 10^{-4} m/s, ficando a razão Recarga/Precipitação da simulação em regime transiente em 13%. Mesmo com as simplificações impostas ao modelo, o mesmo foi capaz de representar as flutuações do NA ao longo de um ano de monitoramento. O resultado final foi a saída de 3774770 m³ de água e consequente queda do NA. O modelo é considerado representativo para a porção modelada do aquífero, auxiliando na melhor compreensão de seus processos e de suas incertezas, servindo ainda de apoio para investigações e estudos adicionais na região.

Palavras-chave: Água subterrânea. Aquífero Rio Claro. Simulação transiente. Modelagem. Feflow. Elementos finitos.

ABSTRACT

The water management in any area is highly important to the success of many business and also of life and the understanding of your relationship with the environment brings better control to its demand. I.e. hydrogeological studies are needed under better understanding of the behavior of an aquifer, so that its management is done so as not to deplete or harm it. The objective of this work is the numerical modeling in transient regime of a portion of the Rio Claro aquifer formation in order to get answers about its hydrogeological parameters, its main flow direction and also its most sensitive parameters. A literature review and conceptual characterization of the aquifer, combined with field campaigns and monitoring of local water level (NA), enabled the subsequent construction of the mathematical model by finite elements method, using the FEFLOW 6.1[®] computational algorithm. The study site includes the campus of UNESP and residential and industrial areas of Rio Claro city. Its area of 9.73 km² was divided into 318040 triangular elements spread over six layers, totaling a volume of 0.25 km³. The local topography and geological contacts were obtained from previous geological and geophysical studies as well as profiles of campus wells and SIAGAS / CPRM system. The seven monitoring wells on campus were set up as observation points for calibration and checking of the simulation results. Sampling and characterization of Rio Claro sandstones shows up a high hydrological and lithological heterogeneity for the aquifer formation. The simulation results indicate values of hydraulic conductivity between 10⁻⁶ and 10⁻⁴ m / s, getting the Recharge/Rainfall simulation in transient ratio at 13%. Even with the simplifications imposed on the model, it was able to represent the fluctuations of local NA over a year of monitoring. The result was the exit of 3774770 m³ of water and the consequently NA fall. The model is considered representative for the modeled portion of the aquifer, aiding in better understanding its processes and its uncertainties, by aiding to further research and studies in the area.

Keywords: Groundwater. Rio Claro aquifer. Transient simulation. Modeling. Feflow. Finite elements.

Lista de Figuras

- Figura 1.1:** Área de estudo delimitada pelo polígono vermelho na cidade de Rio Claro. Em destaque o campus da UNESP e as principais drenagens existentes na região..... 16
- Figura 3.1:** Experimento semelhante ao efetuado por H. Darcy onde um fluxo passa por um meio poroso. (Fonte da imagem: Hydrogeology GEOL 611, acesso online)..... 18
- Figura 3.2:** Diagrama esquemático de aquíferos confinados e não-confinados apresentando também um poço artesianos (*Flowing artesian well*) e um aquífero suspenso (*Perched aquifer*). Ainda é possível observar o nível potenciométrico (*Potentiometric surface*) do aquífero confinado. (Fonte da imagem: Colorado Geological Survey, disponível online)..... 22
- Figura 3.3:** Simplificação da natureza com a evolução da modelagem. (Adaptado de SÜß, 2004)..... 24
- Figura 3.4:** Exemplos de condições de contorno em hidrogeologia. Os números em romano representam as condições de contorno do tipo I, II e III, respectivamente..... 25
- Figura 3.5:** Comparação entre os fluxogramas dos autores Anderson & Woessner (1992) e Spitz & Moreno (1996) dentro de uma modelagem hidrogeológica. (Adaptado de ALBERTO, 2005)..... 26
- Figura 3.6:** Exemplo de área discretizada em elementos triangulares, em duas e em três dimensões, com diferentes parâmetros de condutividade hidráulica, K, representativos. (Modificado de Aquaveo, acesso online)..... 29
- Figura 3.7:** Diferença no parâmetro de carga hidráulica calculada pelo modelo, com progressivo aumento na discretização dos elementos da malha de 1 para 6. (Fonte: The Academy by DHI - <http://www.theacademybydhi.com>)..... 29
- Figura 4.1:** Localização da área de estudo no estado de São Paulo, com ampliação para a cidade de Rio Claro e destaque para as delimitações do polígono a ser modelado (em vermelho) e o campus da UNESP na cidade (em preto)..... 31
- Figura 4.2:** Mapa geológico simplificado da área de estudo. (Modificado de OLIVA, 2002)..... 32
- Figura 4.3:** Coluna estratigráfica da Bacia do Paraná na região de estudo. (modificada de Zaine et al, 2008)33
- Figura 4.4:** Seções colunares levantadas por Zaine (1994) e Perinotto *et al* (2006) próximas a área de estudo. É possível inferir a espessura média da Fm. Rio Claro na região e ainda o contato com a Fm. Corumbataí. (Retirado e modificado de Perinotto *et al*, 2006)..... 34
- Figura 4.5:** Localização e perfil descritivos de alguns dos poços localizados na área de estudo. Os demais poços encontram-se no ANEXO 1..... 35

Figura 4.6: Nível de cascalheiras e seixos existentes na base da Fm. Rio Claro demarcando o contato entre as formações. Afloramento dentro do campus da UNESP, em Rio Claro, próximo ao canteiro de obras do novo fórum.....	36
Figura 4.7: Províncias Geomorfológicas do estado de São Paulo, segundo divisão do IPT, e a localização do município de Rio Claro na província da Depressão Periférica. (Modificado de ALMEIDA, 1964).....	37
Figura 4.8: Esquema ilustrativo da distribuição dos níveis planálticos na depressão periférica do estado de São Paulo. A unidade Bd representa a Formação Rio Claro. (Modificado de MELO, 1995 apud OLIVA, 2006).....	38
Figura 4.9: Variação registrada das taxas pluviométricas anuais de 1937 a 2013, segundo dados do SigRH-SP. Detalhe para a existência de uma alternância em termos de anos secos e chuvosos.....	38
Figura 4.10: Taxas pluviométricas registradas entre os anos de 2012 e 2014. Nota-se as baixas taxas registradas no ano simulado.....	39
Figura 5.1: Fluxograma metodológico da pesquisa.....	43
Figura 6.1: Localização dos poços de monitoramento no campus da UNESP, além do furo de ensaio SPT, do qual foram retiradas amostras para análise e classificação granulométrica.....	44
Figura 6.2: Gráficos de NA dos poços monitorados, medidas manuais efetuadas entre setembro de 2013 e setembro de 2014, associados aos dados de precipitação diária para o mesmo período.....	46
Figura 7.1: Mapa do topo da Fm. Corumbataí, intervalo das curvas de 2 m. O maior detalhamento na área do campus é resultado da maior quantidade de dados ali disponíveis.....	49
Figura 8.1: À esquerda, malha de elementos finitos gerada, com as condições de contorno impostas nas drenagens. Em cinza claro destaca-se a área do campus da UNESP; À direita, a topografia do domínio simulado. Os pontos verdes indicam os pontos de observação do modelo.....	50
Figura 8.2: Visão em 3D do domínio simulado (exagero vertical de 7x).....	51
Figura 8.3: Gráfico de dispersão entre os valores de carga hidráulica observados e calculados; a equação da reta, os respectivos índices de determinação e correlação R^2 e ρ , valor de RMS e RMS normalizado. A barra preta vertical nos pontos serve como referência entre os valores e possui 20 cm no total.....	53
Figura 8.4: Distribuição da condutividade hidráulica pelo domínio simulado em cada <i>layer</i> , valores em m/s.....	54
Figura 8.5: Vista em 3D da distribuição dos valores de condutividade hidráulica pelo domínio simulado (exagero vertical de 7x).....	55

Figura 8.6a: Mapa da direção de fluxo das águas subterrâneas em cada nó da malha, velocidade em m/s (a maior densidade de flechas próximo aos poços é devido ao refinamento da malha no local).....	56
Figura 8.6b: Distribuição da carga hidráulica simulada pelo domínio. Cores quentes são valores maiores e cores frias os menores.....	56
Figura 8.7: Perfil NNE da área estudada. A linha azul representa a superfície potenciométrica simulada (exagero vertical 10x). A vista em planta apresenta a topografia da área.....	57
Figura 8.8: Projeção do traçado de partículas e o tempo, em dias, do percurso até as zonas de descarga mais próxima segundo direção do fluxo da água subterrânea. As cores mais frias representam menos dias enquanto as mais quentes mais dias (exagero vertical 8x).....	58
Figura 8.9: Distribuição das diferentes zonas de recarga, segundo características de uso e cobertura do solo, geologia e geomorfologia do local. À direita, a distribuição das zonas pelo domínio.....	59
Figura 8.10: Balanço hídrico após a simulação em regime estacionário, valores em m ³ /dia.....	60
Figura 8.11: Comparação entre os gráficos da carga hidráulica simulada pelo modelo (acima) e a observada nos poços de monitoramento (abaixo) ao longo do ano.....	64
Figura 8.12: Gráfico da dispersão da carga hidráulica calculada e observada para o último estágio (<i>time-step</i>) simulado; os respectivos índices de determinação e correlação R^2 e ρ , valor de RMS e RMS normalizado. A reta azul representa a reta de referência, na qual não haveria diferenças entre os valores.....	65
Figura 8.13: Análise do armazenamento específico médio ponderado para o furo de sondagem SP-04.....	67
Figura 8.14: Esquema ilustrativo da distribuição de porções de baixa condutividade hidráulica (em azul escuro) num aquífero livre sedimentar. (Modificado de SUN, 1986).....	67
Figura 8.15: Gráfico da relação da recarga aplicada ao modelo associada às taxas pluviométricas diárias registradas no período.....	68
Figura 8.16: Balanço de fluxo final do modelo em regime transiente, após 365 dias de simulação. Os valores são expressos em m ³	69

Lista de Tabelas

Tabela 3.1: Valores de condutividade hidráulica e de porosidade total de alguns materiais geológicos (modificado de FREEZE, 1979).....	21
Tabela 6.1: Coordenadas dos poços de monitoramento e do furo de sondagem do ensaio SPT.....	45
Tabela 6.2: Cota do nível d'água medido nos poços de monitoramento do campus.....	45
Tabela 6.3: Valores de condutividade hidráulica das amostras coletadas no furo SP-04, método de <i>Shepherd</i> , e suas variações segundo a profundidade do furo.....	47
Tabela 6.4: Valores de condutividade hidráulica obtidos após teste <i>SLUG</i> para os respectivos poços de monitoramento.....	47
Tabela 8.1: Valores de Carga hidráulica observada e calculada para cada poço de monitoramento e suas respectivas diferenças.....	52
Tabela 8.2: Valores de condutividade hidráulica para as camadas do domínio simulado.....	53
Tabela 8.3: Valores de recarga adotados para o domínio simulado após calibração.....	58
Tabela 8.4: Poços em funcionamento dentro do campus da UNESP inseridos no modelo....	63
Tabela 8.5: Valores de carga hidráulica para o último estágio simulado em comparação com os valores reais mensurados nos poços para o mesmo período e as diferenças entre eles.....	65
Tabela 8.6: Valores de armazenamento específico e porosidade efetiva, obtidos após calibragem do modelo em regime transiente.....	66
Tabela 8.7: Coeficiente de Sensibilidade obtido após mudanças nos parâmetros de entrada do modelo.....	70

Lista de Símbolos e Abreviaturas

Q	Vazão	BC	<i>Boundary Conditions</i> – Condições de Contorno
K	Condutividade Hidráulica	NA	Nível d'água
A	Área	q	Velocidade Aparente
L	Distância	n	Porosidade Total
Δh	Gradiente Hidráulico	ne	Porosidade Efetiva
k	Permeabilidade Intrínseca	Ss	Armazenamento Específico
μ	Viscosidade Dinâmica	Sy	Produtividade Específica
ρ	Massa Específica	T	Transmissividade
b	Espessura Saturada	Fm.	Formação
SPT	<i>Standard Penetration Test</i> – Ensaio de Sondagem à Percussão		

Lista de Equações

$$(3.1) \quad Q = -KA \frac{\Delta h}{L} \quad [L^3/T]$$

$$(3.2) \quad K = k \frac{\rho g}{\mu} \quad [L/T]$$

$$(3.3) \quad q = -K \frac{\Delta h}{L} \quad [L/T]$$

$$(3.4) \quad q_x = -K \frac{\partial h}{\partial x}; \quad q_y = -K \frac{\partial h}{\partial y}; \quad q_z = -K \frac{\partial h}{\partial z} \quad [L/T]$$

$$(3.5) \quad q = -K \mathbf{grad} \, h \quad [L/T]$$

$$(3.6) \quad \mathbf{n} = \frac{V_d}{V} - Re \quad [\text{adimensional}]$$

$$(3.7) \quad [K] = \begin{bmatrix} K_{xx} & K_{xy} & K_{xz} \\ K_{yx} & K_{yy} & K_{yz} \\ K_{zx} & K_{zy} & K_{zz} \end{bmatrix} ; \quad \begin{pmatrix} q_x \\ q_y \\ q_z \end{pmatrix} = -[K] \cdot \begin{pmatrix} \partial h / \partial x \\ \partial h / \partial y \\ \partial h / \partial z \end{pmatrix} \quad [L/T]$$

(3.8)

$$\phi = gz + \frac{\Delta p}{\rho}$$

[L]

(3.9)

$$\phi = gh$$

[L]

(3.10)

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

[adimensional]

(3.11)

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{S_s}{K} \frac{\partial h}{\partial t}$$

[adimensional]

(3.12)

$$T = Kb$$

[L²/T]

(8.1)

$$x_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2}$$

[adimensional]

(8.2)

$$S = \frac{|\Delta h|}{\left| \Delta p / \rho \right|}$$

[adimensional]

Sumário

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	17
3. CONCEITUALIZAÇÃO GERAL	17
3.1. Conceitos básicos de fluxo subsuperficial	17
3.2. Aquíferos	20
3.3. Conceitos básicos sobre modelos	23
3.3.1. Tipos de modelos	23
3.3.2. Condições de contorno e Condições Iniciais	24
3.3.3. Solução de modelos	26
3.3.4. Método dos Elementos Finitos (MEF)	28
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA	30
4.1. Caracterização Fisiográfica	30
4.2. Caracterização Geológica	31
4.3. Caracterização Geomorfológica	37
4.4. Caracterização Climática	38
4.5. Caracterização Hidrogeológica	39
5. MÉTODOS E ETAPAS EXECUTADAS	40
1ª Etapa: Pesquisa Bibliográfica	40
2ª Etapa: Etapas de Campo e Monitoramento do Nível d'água	40
3ª Etapa: Construção do Modelo Conceitual	41
4ª Etapa: Modelagem em Regime Estacionário	41
5ª Etapa: Modelagem em Regime Transiente	41
6ª Etapa: Análise dos Resultados e Relatório Final	42
6. ETAPAS DE CAMPO E MONITORAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA	44
7. CONSTRUÇÃO DO MODELO CONCEITUAL	48
8. SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE FLUXO	50
8.1. Domínio Simulado	50
8.2. Modelagem em regime Estacionário	52
8.2.1. Carga Hidráulica	52
8.2.2. Condutividade Hidráulica	53
8.2.3. Potenciometria e Direção do Fluxo	55
8.2.4. Recarga	58
8.2.5. Balanço de fluxo	59
8.2.7. Conclusões	60
8.3. Modelagem em Regime Transiente	62

8.3.1. Carga Hidráulica	63
8.3.2. Armazenamento Específico e Porosidade Efetiva	66
8.3.3. Recarga	68
8.3.4. Balanço de Fluxo	69
8.3.5. Simulações e Análise de Sensibilidade	70
8.3.6. Conclusões da Modelagem em Regime Transiente	71
9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	72
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
ANEXO 1.....	78

1. INTRODUÇÃO

A expansão de uma região, vinculada à ampliação das áreas urbanas e comerciais juntas aos polos industriais, traz o crescimento na demanda do bem mais precioso em vários setores da sociedade e na manutenção da vida: a água. Isto ocasionou um uso exacerbado das fontes superficiais nas últimas décadas e que, por serem limitadas, não são suficientes e fazem-se necessárias novas fontes para tal bem.

Assim, vê-se a importância das águas subterrâneas, representantes de mais de 95% de toda a água doce disponível no mundo (FREEZE & CHERRY, 1979), e do melhor entendimento de seu comportamento físico perante as mudanças do cenário climático e socioeconômico. Para isso são elaborados modelos hidrogeológicos.

Modelos são ferramentas utilizadas para representar processos da natureza, utilizando-se de simplificações para tal objetivo. Eles podem ser modelos físicos, em menor escala, ou mesmo modelos analógicos, que fazem uso de processos similares aos reais no intuito de representá-los.

Modelos numéricos vêm sendo aplicados em investigações de águas subterrâneas e de áreas contaminadas, com altos índices de sucesso em suas respostas, como pode ser visto, por exemplo, em Freeze & Cherry (1979), Wang & Anderson (1982), Anderson & Woessner (1992), Spitz & Moreno (1996), Teramoto (2007). Isto é devido, principalmente, ao caráter preditivo que os modelos apresentam, possibilitando projeções de exploração, cenários de contaminações e também de remediação.

Segundo Pegden *et al* (1990) simular é o processo de conduzir experimentos com um modelo, no propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação.

A partir destes conceitos, foi efetuada a simulação numérica de fluxo das águas subterrâneas em regime transiente de uma porção do aquífero Rio Claro, numa área que abrange o campus da UNESP, bairros residenciais e ainda parte do distrito industrial da cidade, Figura 1.1.

A modelagem propõe melhor representatividade do mesmo, como em seu comportamento, sua dinâmica e seus pontos mais sensíveis a alterações, visando a melhor

O trabalho conta com a orientação do Prof. Dr. Chang Hung Kiang, docente do Departamento de Geologia Aplicada (DGA/IGCE), co-orientação do doutorando Elias Hideo Teramoto e apoio técnico do Lebac – Laboratório de Estudos de Bacias.

2. OBJETIVOS

Na área do campus da UNESP de Rio Claro, o abastecimento hídrico é provindo unicamente de poços instalados no aquífero Rio Claro, exigindo uma melhor compreensão do mesmo, que carece ainda de estudos adicionais.

O objetivo principal desta pesquisa é a modelagem em regime transiente, no período de um ano, na porção do aquífero Rio Claro por meio do *software* FEFLOW 6.1[®], através de modelos matemáticos por elementos finitos, com foco na área do campus.

Com isso, esperamos obter o melhor entendimento do comportamento do aquífero, da dinâmica do fluxo das águas subterrâneas da área, os pontos mais vulneráveis e sensíveis a alterações no sistema e ainda o balanço de fluxo final do período simulado.

3. CONCEITUALIZAÇÃO GERAL

3.1. Conceitos básicos de fluxo subsuperficial

Segundo Fetter (2001), a água flui de pontos com maior nível energético para aqueles com menor energia em busca do equilíbrio. Os principais fatores que regem a movimentação do fluido por esses ambientes são: a força da gravidade e a pressão litostática.

Através de experimentos com a passagem de um fluxo por um tubo preenchido com areia homogênea, Figura 3.1, o engenheiro hídrico Henry Darcy pautou, em 1856, que o regime de escoamento obedecia a seguinte equação (3.1):

$$Q = -KA \frac{\Delta h}{L} \quad (3.1)$$

Onde Q representa a vazão do fluido em escoamento (em volume por unidade de tempo), proporcional à seção transversal constante A do tubo, dependente da constante K (condutividade hidráulica do material poroso em questão), com uma diferença de cargas

hidráulicas Δh entre os piezômetros e sendo inversamente proporcional à distância L entre os mesmos. O sinal negativo indica que o fluxo é no sentido de perda da carga hidráulica.

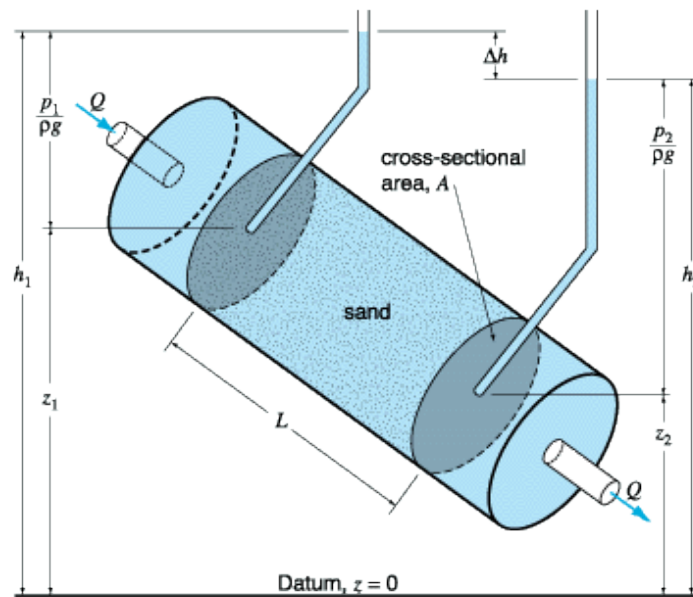


Figura 3.1: Experimento semelhante ao efetuado por H. Darcy onde um fluxo passa por um meio poroso. (Fonte da imagem: Hydrogeology GEOL 611, acesso online).

A Lei de Darcy é válida somente sobre algumas premissas, como: fluxo laminar, número de Reynolds < 1 , meio saturado e fluido homogêneo.

O parâmetro K é próprio de cada meio e depende de características como porosidade, tamanho, forma, homogeneidade e rugosidade dos grãos. Tais parâmetros foram agrupados por Darcy no parâmetro de permeabilidade intrínseca k . A condutividade hidráulica depende também das características do fluido em questão, como sua viscosidade dinâmica μ e massa específica ρ . Assim, tomando g como a aceleração constante da gravidade, sua formulação fica:

$$K = k \frac{\rho g}{\mu} = (L/T) \quad (3.2)$$

A permeabilidade intrínseca, k , é comumente expressa em cm^2 , ou em unidades de Darcy ($1 \text{ Darcy} = 9.87 \cdot 10^{-9} \text{ cm}^2$).

A velocidade aparente de fluxo pode ser enunciada através da fórmula da Lei de Darcy, onde $q = Q/A$, chamada de descarga específica ou vazão por unidade de área:

$$q = -K \frac{\Delta h}{L} \quad (3.3)$$

Segundo Wang & Anderson (1982), para sua representação no espaço, como princípio de que ela seja igual para as três direções x y e z no espaço, a equação (3.3) derivada se torna:

$$q_x = -K \frac{\partial h}{\partial x}; \quad q_y = -K \frac{\partial h}{\partial y}; \quad q_z = -K \frac{\partial h}{\partial z} \quad (3.4)$$

Que, escrita na forma de notação vetorial, resulta na equação (3.5):

$$q = -K \mathbf{grad} h \quad \text{ou} \quad q = -K \nabla h \quad (3.5)$$

Adicionalmente, a velocidade linear média é dada por $\mathbf{v} = \mathbf{q}/ne$, na qual ne representa a porosidade efetiva do meio, podendo ser obtida através de análises laboratoriais, onde:

$$ne = \frac{V_d}{V} - Re \quad \begin{array}{l} ne = \text{porosidade efetiva} \\ V_d = \text{volume de água drenada} \\ V = \text{volume total da rocha} \\ Re = \% \text{ de água retida na amostra após drenagem} \end{array} \quad (3.6)$$

Em um meio ideal, isotrópico, o valor de K é independente da direção, de maneira que $K_x = K_y = K_z$, sendo verdadeira a equação acima elencada. Porém, se o meio é anisotrópico, e $K_x \neq K_y \neq K_z$, a constante K varia nas três direções e a condutividade hidráulica deve ser adequadamente representada por meio de uma matriz, posteriormente relacionada às velocidades do fluxo:

$$[K] = \begin{bmatrix} K_{xx} & K_{xy} & K_{xz} \\ K_{yx} & K_{yy} & K_{yz} \\ K_{zx} & K_{zy} & K_{zz} \end{bmatrix}; \quad \begin{pmatrix} q_x \\ q_y \\ q_z \end{pmatrix} = -[K] \cdot \begin{pmatrix} \partial h / \partial x \\ \partial h / \partial y \\ \partial h / \partial z \end{pmatrix} \quad (3.7)$$

Segundo Hubbert (1940), o conceito de potencial hidráulico enuncia que o fluxo de água subterrânea segue dos pontos de maior potencial hidráulico para o de menor potencial, sendo este representado por h na equação de Darcy, o qual possui uma cota z em relação ao datum local z_{ref} , segundo a equação (3.8):

$$\phi = gz + \frac{\Delta p}{\rho} \quad (3.8)$$

Na qual ρ representa a densidade do fluido e Δp a diferença de pressão entre dois pontos, podendo ser desprezado se o líquido é tido como incompressível (FREEZE AND CHERRY, 1979). Sendo g constante, em um ponto qualquer P de cota $z = (h - z_{ref})$, a equação (3.8) se torna (3.9):

$$\phi = gh \quad (3.9)$$

Logo, o potencial hidráulico em um dado ponto é igual à carga hidráulica daquele local multiplicada pela aceleração da gravidade.

A lei da conservação de massa também é importante no regimento das águas subterrâneas. Ela enuncia que, não havendo fontes secundárias e/ou sumidouros no sistema, os volumes de água que entram e que saem devem ser os mesmos, resultando num balanço de fluxo nulo. Assim, podemos expressar a equação geral governante de fluxos subterrâneos, conhecida como Equação de Laplace (3.10) (WANG & ANDERSON, 1982):

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad (3.10)$$

Caso o modelo seja em regime transiente, leva-se em consideração a possibilidade de armazenamento de água e a equação se torna tal, chamada de equação de difusão (3.11), em sua forma reduzida (FREEZE, 1979):

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{S_s}{K} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (3.11)$$

Na qual, S_s representa o armazenamento específico e é dado em função da compressibilidade do aquífero, da porosidade do meio e das densidade e compressibilidade do fluido.

3.2. Aquíferos

Aquífero é um meio geológico saturado, capaz de armazenar e transmitir significativas quantidades de água sob gradientes hidráulicos naturais (FREEZE, 1979). Geralmente essas

formações rochosas apresentam valores de K entre de 10^{-5} e 10^{-2} cm/s e são associadas a arenitos, calcários, sedimentos inconsolidados, rochas cristalinas e vulcânicas fraturadas (Tabela 3.1).

A porosidade de uma rocha pode ser tanto primária, na qual a água fica retida nos interstícios dos grãos minerais; ou secundária, tratando-se de fraturas e fissuras na rocha, dando origem aos aquíferos fissurais, comuns às rochas cristalinas e rochas carbonáticas.

Tabela 3.1: Valores de condutividade hidráulica e de porosidade total de alguns materiais geológicos (modificado de FREEZE, 1979).

Material	K (cm/s)	Porosidade n
Cascalho	10^2 - 10^{-1}	0.20-0.40
Areia	10^0 - 10^{-4}	0.25-0.55
Silte	10^{-3} - 10^{-7}	0.35-0.60
Calcário	10^{-4} - 10^{-7}	0.01-0.20
Calcário cárstico	10^0 - 10^{-4}	0.05-0.50
Arenito	10^{-4} - 10^{-8}	0.30-0.50
Siltito	10^{-7} - 10^{-12}	0.01-0.10
Cristalina fraturada	10^{-2} - 10^{-6}	0.01-0.10
Cristalina sã	10^{-8} - 10^{-12}	0.01-0.05

Aquíferos podem ser confinados, não-confinados (livres ou freáticos) e mistos, Figura 3.2. Aquíferos confinados ocorrem entre camadas de baixa permeabilidade que isolam a unidade aquífera, tanto no topo quanto na base, gerando uma pressão interna que mantém a carga hidráulica acima da cota do terreno. Uma característica importante deste tipo de aquífero é sua permanente saturação.

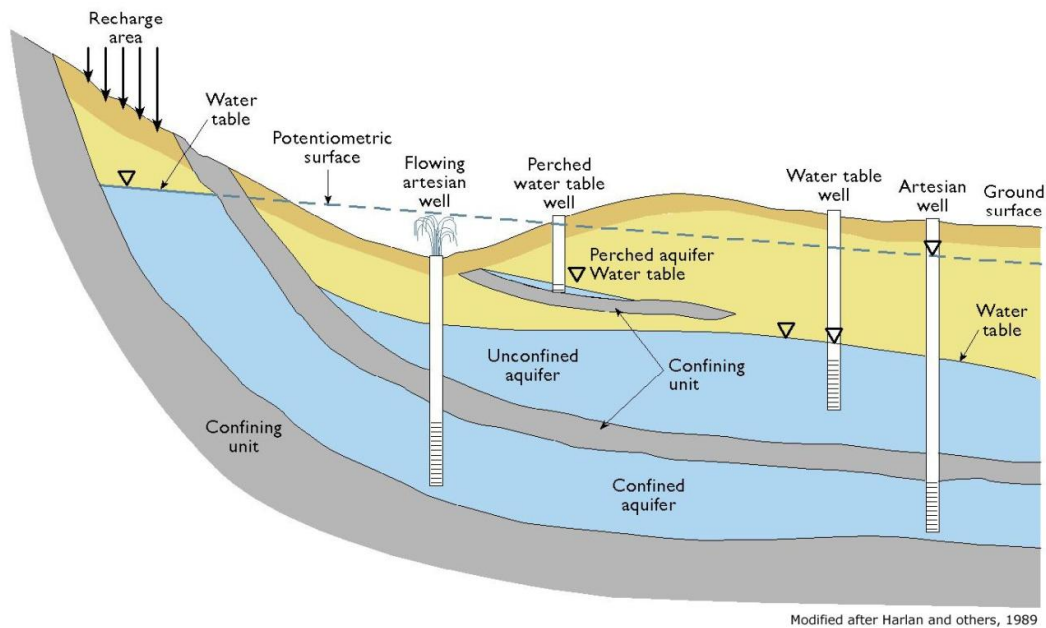


Figura 3.2: Diagrama esquemático de aquíferos confinados e não-confinados apresentando também um poço artesiano (*Flowing artesian well*) e um aquífero suspenso (*Perched aquifer*). Ainda é possível observar o nível potenciométrico (*Potentiometric surface*) do aquífero confinado. (Fonte da imagem: Colorado Geological Survey, disponível online).

Aquíferos livres são aqueles que não possuem camadas confinantes e estão apenas sob influência da pressão atmosférica. Seu limite superior coincide com a superfície freática. Aquíferos mistos são a combinação dos tipos anteriormente citados, podendo variar desde confinados a não-confinados.

A capacidade de armazenamento de água em um aquífero foi citada anteriormente como o parâmetro de armazenamento específico, S_s . A capacidade de transmitir quantidades significativas de água neste meio é chamada de transmissividade, T .

A transmissividade pode ser entendida como a taxa de escoamento de água por unidade de tempo em um segmento unitário do aquífero. É diretamente proporcional à condutividade hidráulica do meio e à espessura saturada b do aquífero, equação (3.12).

$$T = Kb \quad (3.12)$$

No caso de aquíferos livres, considera-se a porção saturada para o valor de b . Valores de transmissividade maiores que $0,015 \text{ m}^2/\text{s}$ representam bons aquíferos para exploração de água.

O armazenamento específico em aquíferos livres é substituído pelo parâmetro de produtividade específica S_y , uma vez que o armazenamento dos mesmos apresenta uma insignificante contribuição (SELIM, 2011). A produtividade específica representa a quantidade de água disponível para exploração, já que uma porção, mesmo que pequena, continua retida na rocha após sua drenagem (retenção específica). Os valores de produtividade específica variam entre 0.1 e 0.4, sendo os maiores valores relacionáveis a maiores porosidades efetivas.

3.3. Conceitos básicos sobre modelos

Modelos são ferramentas desenvolvidas para representar a realidade. Sua fidelidade depende de quão próximo essa representação esteja da situação real de campo. Inevitavelmente, simplificações devem ser feitas, ao passo que as condições reais são muito complexas para serem transcritas (WANG & ANDERSON, 1982).

Desde a década de 60, com a evolução dos supercomputadores, os modelos computacionais numéricos tem sido o melhor instrumento para a representação e interpretação das águas subterrâneas no âmbito de predição de cenários e planejamento de sua gestão. Num modelo matemático, os processos hidrogeológicos são descritos por formulações e equações numéricas que permitem a simplificação e a representação de um aquífero.

3.3.1. Tipos de modelos

Em hidrogeologia existem dois principais tipos de modelos: modelos de fluxo, que representam a dinâmica do fluxo das águas subterrâneas; e modelos de transporte, usados para simular transporte de contaminantes, sendo previamente necessário as simulações de fluxos do meio.

Um modelo pode ter três diferentes propósitos (PRICKETT, 1975 apud WANG & ANDERSON, 1982): *preditivo* – analisar as consequências frente a cenários propostos, *interpretativo* – utilizado para o entender o funcionamento de um sistema; e *genérico* – o qual faz a hipótese de sistemas e situações genéricas. Um modelo pode ainda ser classificado como modelo *físico*, *analógico* ou *matemático*, diferenciados a seguir.

O modelo físico, ou reduzido, representa as situações de campo em escala laboratorial. Já um modelo analógico faz uso de sistemas análogos ao sistema real em questão para sua

representação. Um exemplo de modelo analógico é a reprodução do fluxo de água subterrânea através do fluxo de corrente elétrica, que apresenta propriedades físicas e equações análogas ao primeiro.

Modelos matemáticos são compostos de um sistema de equações diferenciais que representam o fenômeno observado, na busca de estudar suas variáveis dependentes e outras que afetam o sistema (ADAM & BELLOMO, 1997). Na modelagem hidrogeológica, é buscada a simplificação da realidade frente sua verdadeira complexidade, Figura 3.3.

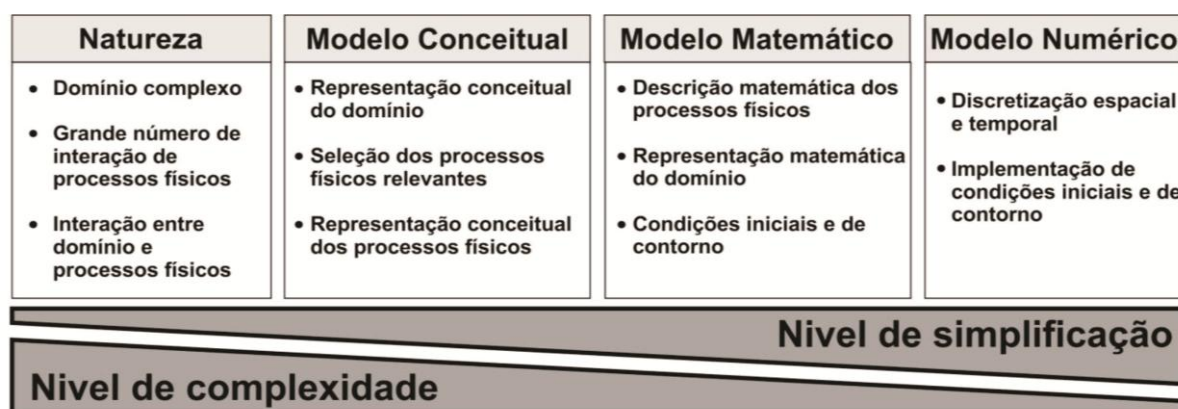


Figura 3.3: Simplificação da natureza com a evolução da modelagem. (Adaptado de SÜß, 2004).

Além de depender de propriedades físicas e processos do meio e de seu método de solução, um modelo matemático hidrogeológico se alicerça nos seguintes elementos principais: Equações Governantes, Condições de Contorno e Condições Iniciais. As equações governantes são as mesmas que regem o fluxo subterrâneo da água e derivam-se da Lei de Darcy em combinação com a Equação de Laplace, da continuidade e da conservação de massa. Já as condições de contorno e iniciais são explicadas a seguir.

3.3.2. Condições de contorno e Condições Iniciais

Por se tratarem de equações parciais, com soluções analíticas, as equações governantes podem convergir para um número infinito de soluções. Dessa maneira necessitam de valores de referência dentro do domínio, que direcionam o modelo à convergência de uma única solução real. Tais parâmetros matemáticos são chamados de condições de contorno (*Boundary Conditions - BC*). As BC podem ser constantes ou variar em função do tempo. No caso da hidrogeologia, as condições de contorno podem ser elementos físicos como rios, lagos

e/ou falhas geológicas. Matematicamente, as condições de contorno podem ser divididas em três tipos principais, representadas na Figura 3.4:

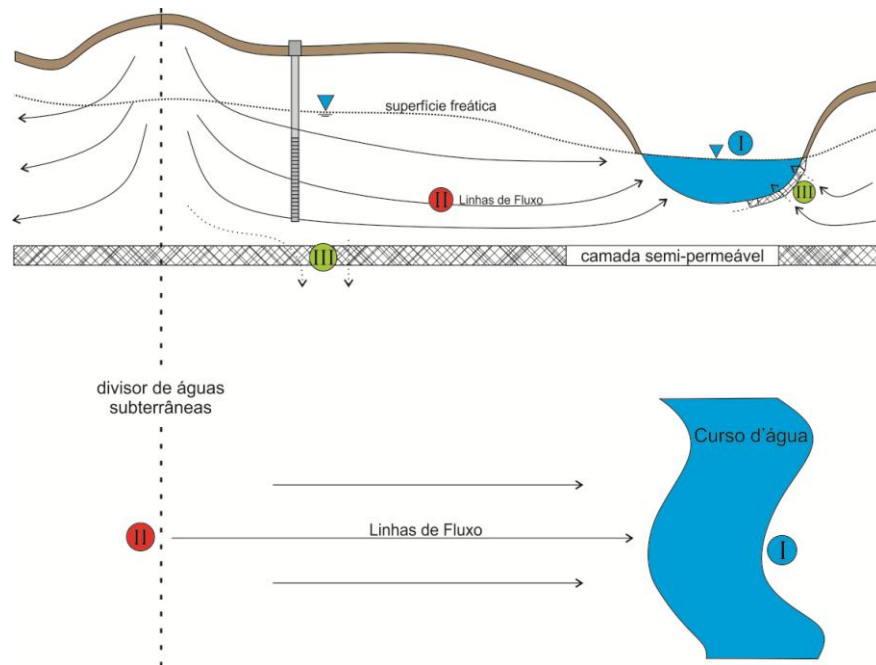


Figura 3.4: Exemplos de condições de contorno em hidrogeologia. Os números em romano representam as condições de contorno do tipo I, II e III, respectivamente.

Tipo I: condição de carga hidráulica constante ou especificada, condição de *Dirichlet*, representada pela expressão: $h(x,y,z,t) = \text{especificado}$. Os valores aqui explícitos servem como referência para a solução do modelo e correspondem a pontos em que a carga hidráulica e/ou a pressão são conhecidas. É a condição de contorno que mais restringe a simulação a uma solução única. Geralmente associam-se a rios e/ou lagos que apresentam conexão direta com o aquífero (FRANKE *et al*, 1987);

Tipo II: condição de fluxo conhecido, condição de *Neumann*, podendo ser inclusive fluxo nulo em divisores de água subterrâneos e/ou contornos impermeáveis. Dessa maneira a carga hidráulica não é especificada, sendo uma incógnita a ser calculada (STOLLBERG, 2013).

Tipo III: tipo misto, ou condição de *Cauchy*, definida através de uma combinação entre os dois primeiros tipos, relacionada com valores de drenança. Usada em problemas com contornos semipermeáveis entre aquíferos, ou mesmo em contatos entre o aquífero e corpos de água superficiais interligados por uma camada de diferente condutividade hidráulica.

Isto posto, admite-se que são necessárias condições iniciais de referência para o início da simulação em regime transiente ($\Delta h = f(t)$). Logo, valores de carga hidráulica obtidos em uma simulação em regime estacionário são utilizados na representação do estado inicial da simulação em regime transiente. Tais condições são essencialmente importantes em modelos de transporte de massa (ZHENG & BENNETT, 1995).

3.3.3. Solução de modelos

Um modelo matemático bem elaborado deve seguir um fluxograma com etapas bem definidas e sequenciais. Dentre as inúmeras possibilidades de passos, autores como Anderson & Woessner (1992) e Spitz & Moreno (1996) recomendam a sequência de trabalho ilustrada na Figura 3.5 para a elaboração de um modelo matemático bem consolidado.

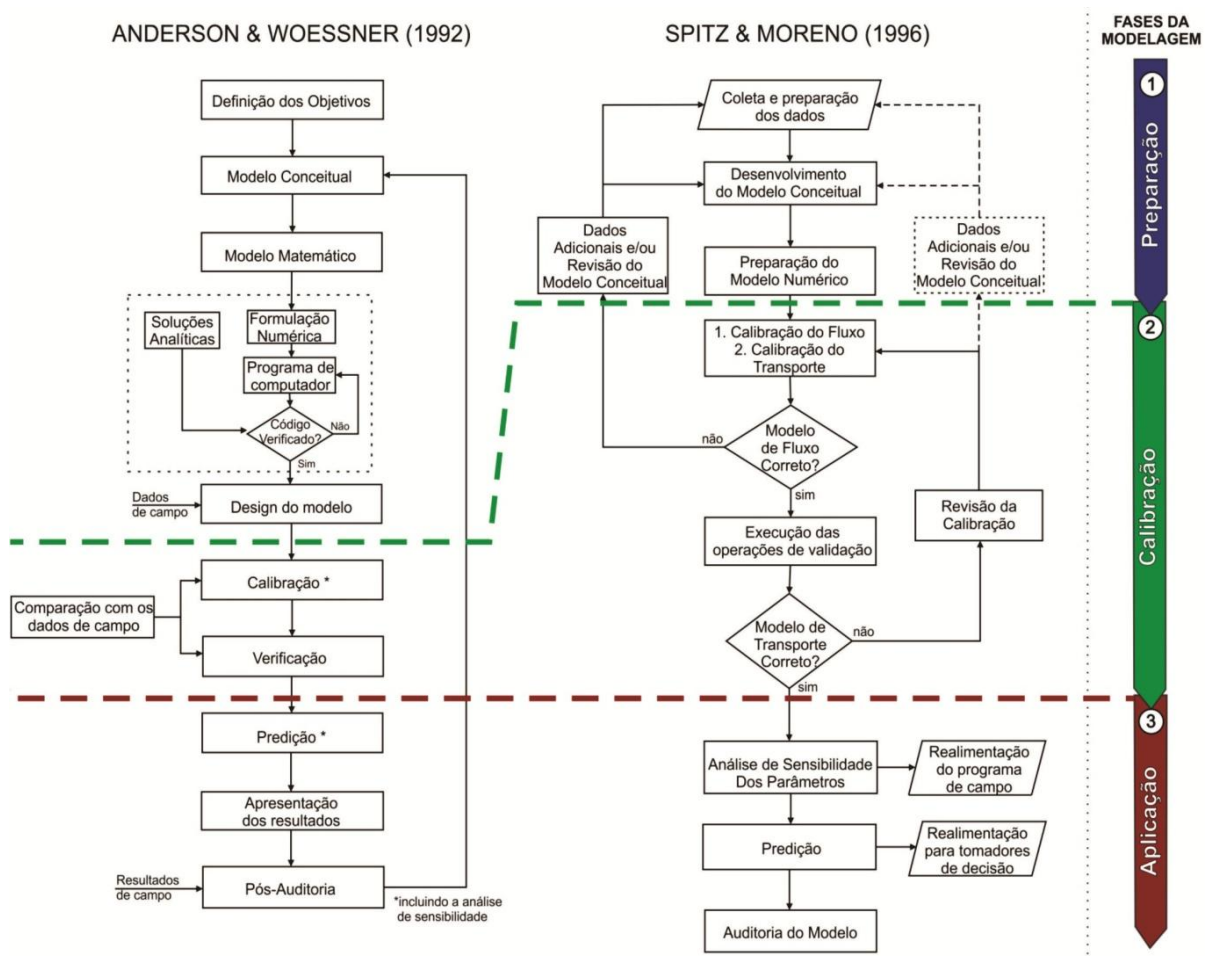


Figura 3.5: Comparação entre os fluxogramas dos autores Anderson & Woessner (1992) e Spitz & Moreno (1996) dentro de uma modelagem hidrogeológica. (Adaptado de ALBERTO, 2005).

Na etapa de preparação são definidos os objetivos e o modelo conceitual, representativo das principais características hidrogeológicas que alimentarão o modelo matemático, como, por exemplo, unidades relevantes no meio, seus processos controladores, as condições de contorno e condições iniciais (SPITZ & MORENO, 1996). Visitas em campo são de extrema importância nesta etapa para que o modelador possa entender a realidade hidrogeológica do aquífero e seu entorno, o que resultará em escolhas decisivas de parâmetros durante a modelagem.

Para a preparação do modelo matemático, é necessária a escolha do código computacional que subsidiará o mesmo, optando-se por aquele que mais se adapte às complexidades do objetivo proposto. Aqui devem ser decididos aspectos como a estrutura do modelo, os mecanismos principais que governam o fluxo das águas e as simplificações pertinentes.

Na etapa de calibração, parte-se para as simulações iniciais. Aqui o modelo é constantemente alimentado com valores distintos, na busca de menor disparidade entre os resultados obtidos e os observados em campo. Com um alto índice de correlação atingido, tem início a análise de sensibilidade do modelo, a qual indica quais parâmetros são mais sensíveis e que alteram de forma significativa o resultado da simulação.

A aplicação de um modelo depende diretamente do seu grau de representatividade para com o meio real. Quando alta, os resultados obtidos podem ajudar na predição de fenômenos de interesse e ainda na projeção de cenários hipotéticos. Se não, uma nova coleta de dados e uma nova etapa de calibração devem ser. Uma vez calibrado e verificado, o modelo pode ser utilizado para estimar previsões (FOWLER, 1997).

Na solução de modelos numéricos são necessárias técnicas matemáticas mais elaboradas devido às suas complexidades como heterogeneidade, anisotropia e contornos geométricos irregulares. A simulação é realizada em intervalos discretos, onde a área do modelo é representada por pequenos elementos que se relacionam entre si através de equações com incógnitas a serem solucionadas, no caso a carga hidráulica.

A discretização do espaço permite a melhor reprodução desses problemas, uma vez que regiões com características diferentes podem ser individualizadas. Os métodos mais utilizados para essa discretização são: o Método das Diferenças Finitas (MDF) e o Método

dos Elementos Finitos (MEF), este último empregado pelo *software* escolhido para a modelagem.

3.3.4. Método dos Elementos Finitos (MEF)

No MEF, a discretização do domínio é mais flexível quando comparada ao do MDF e as equações de fluxo são aproximadas por integração, enquanto no MDF por diferenciação (SPITZ & MORENO, 1996), embora não existam diferenças significativas entre ambos (ZHENG & BENNET, 1995). O princípio matemático do MEF é converter uma equação diferencial parcial em uma série de equações algébricas com n número de variáveis, assumindo assim uma solução aproximada à equação diferencial (DURRAN, 2010).

De tal modo, a área do aquífero é dividida em elementos poligonais irregulares, via de regra triangulares, definidos e interligados entre si por nós, um em cada vértice de cada elemento (Figura 3.6), chamado de “*mesh*” ou malha. Em cada nó será feito o cálculo da carga hidráulica desconhecida naquele ponto, através das equações numéricas governantes e dos elementos existentes no modelo (EL-KADI, 1995).

Caso um ponto não caia exatamente sobre um nó, ou seja, dentro de um elemento, seu valor de interesse é proporcionalmente dividido entre os nós adjacentes, baseado em funções de interpolação. Áreas de maior interesse tem um refinamento na malha local, representada por um maior número de elementos e de pontos, Figura 3.7.

A geração da malha corresponde a uma das mais importantes etapas da criação de um modelo, uma vez que todas as equações matemáticas serão pautadas sobre ela.

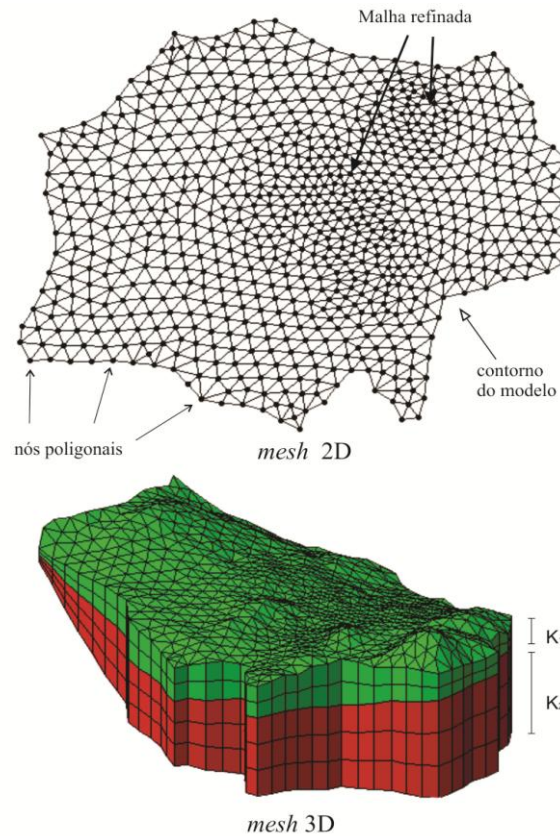


Figura 3.6: Exemplo de área discretizada em elementos triangulares, em duas e em três dimensões, com diferentes parâmetros de condutividade hidráulica, K , representativos. (Modificado de Aquaveo, acesso online).

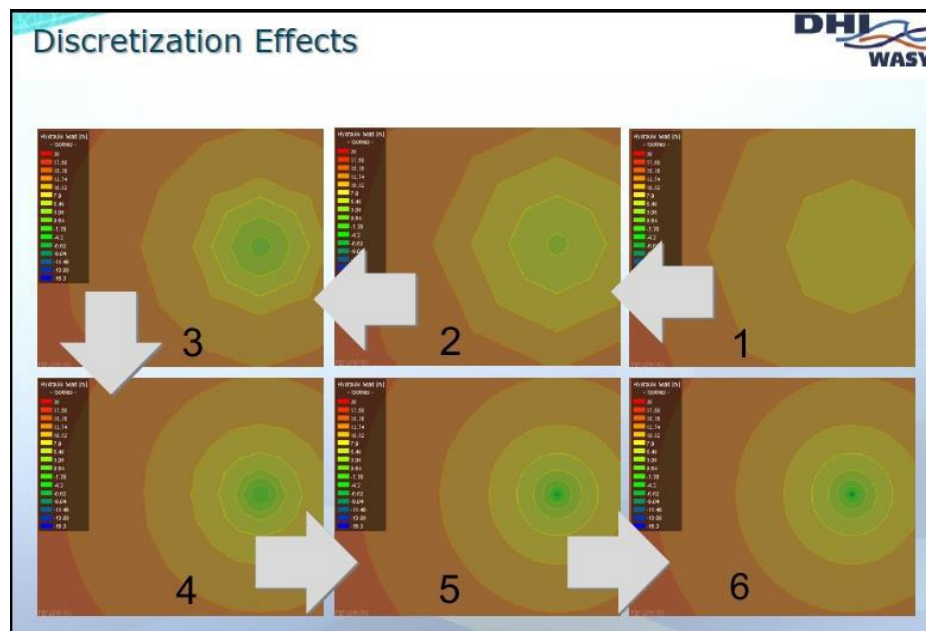


Figura 3.7: Diferença no parâmetro de carga hidráulica calculada pelo modelo, com progressivo aumento na discretização dos elementos da malha de 1 para 6. (Fonte: The Academy by DHI - <http://www.theacademybydhi.com>).

Em problemas de fluxo subterrâneo, é empregado o método de *Galerkin* de interpolação para a resolução das incógnitas. O método dissipa o erro gerado ao longo do domínio, enquanto a estimativa não satisfazer o fator de convergência para aquele nó (WANG & ANDERSON, 1982).

O *software* escolhido para a resolução do problema foi o FEFLOW 6.1 – *Finite Element Subsurface Flow and Transport Simulation System*, do grupo DHI-WASY. O *software* trabalha com o método de elementos finitos para a simulação de fluxos e transporte de massa e de calor em subsuperfície, tanto em zonas saturadas como em não saturadas. O *software* foi escolhido por apresentar facilidade na entrada de dados, bem como em sua interface de trabalho, adaptação a geometrias complexas e escolha das condições de contorno.

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

4.1. Caracterização Fisiográfica

O município de Rio Claro situa-se na porção centro-leste do estado de São Paulo, a 190 km da capital do estado. Pode ser acessado pela rodovia SP-310, Washington Luís, ou ainda pela rodovia SP-191, a norte. A cidade também é atendida pelas ferrovias da linha tronco da companhia América Latina Logística (ALL).

Sua população é estimada em 190.000 habitantes e representa o maior polo cerâmico das Américas, juntamente com os municípios de Santa Gertrudes, Ipeúna, Araras, Cordeirópolis e Limeira. Sua área municipal é de aproximadamente 498 km².

A área de estudo está localizada na parte leste da cidade, situada entre os meridianos 47°33'W e 47°32'W, e paralelos 22°22'S e 22°25'S. É adjacente ao horto florestal municipal (Floresta Estadual) e abrange o campus da UNESP, bairros residenciais e ainda parte do distrito industrial da cidade, Figura 4.1.

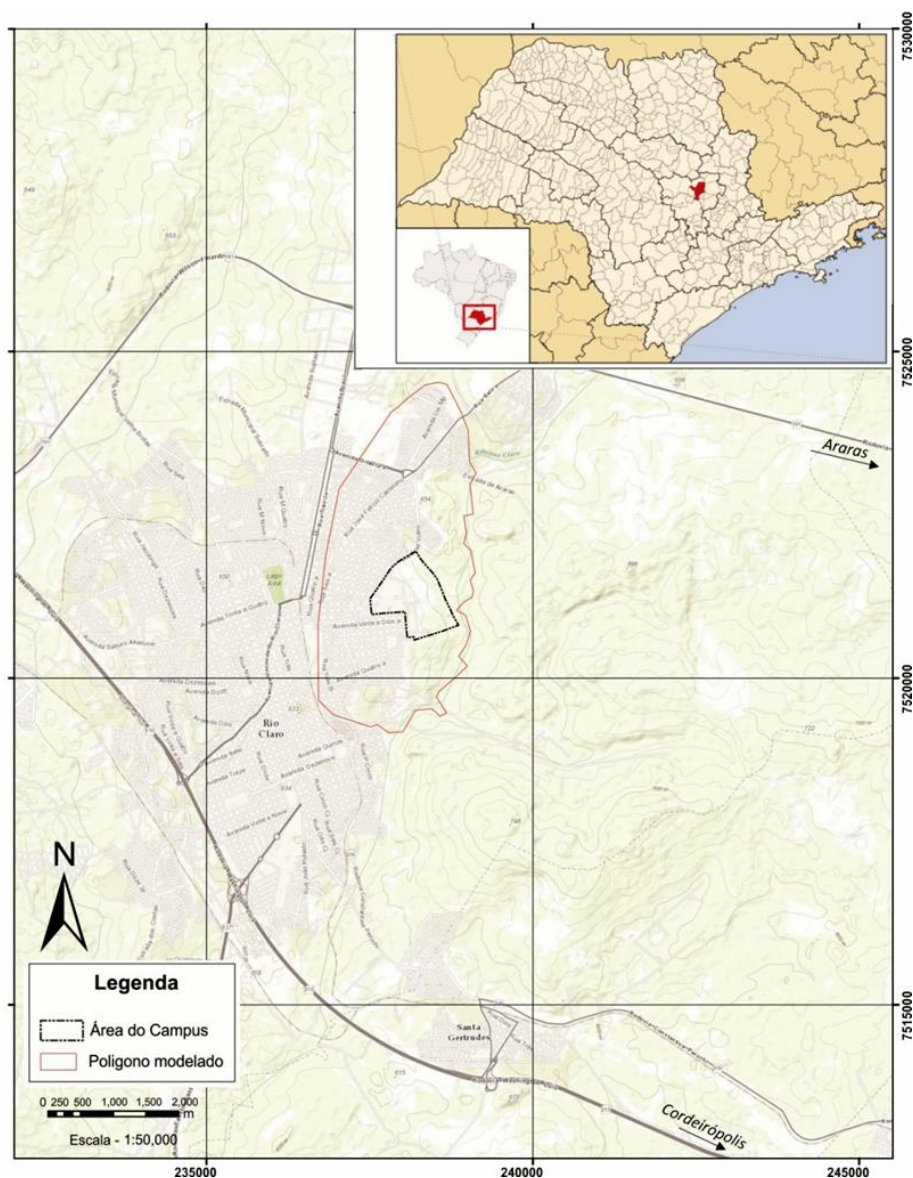


Figura 4.1: Localização da área de estudo no estado de São Paulo, com ampliação para a cidade de Rio Claro e destaque para as delimitações do polígono a ser modelado (em vermelho) e o campus da UNESP na cidade (em preto).

4.2. Caracterização Geológica

A área de pesquisa está inserida no contexto da Bacia do Paraná, definida como uma bacia sedimentar flexural, intracratônica, da era Fanerozóica, constituída de seis grandes ciclos sedimentares, além de um evento vulcânico-fissural no Cretáceo (MILANI, 1997).

A Figura 4.2 apresenta o mapa geológico simplificado da região, retirado de Oliva (2002). A coluna estratigráfica da Figura 4.3 traz informações sucintas sobre os litotipos das principais unidades geológicas aflorantes na área e ainda os aquíferos presentes nessas unidades.

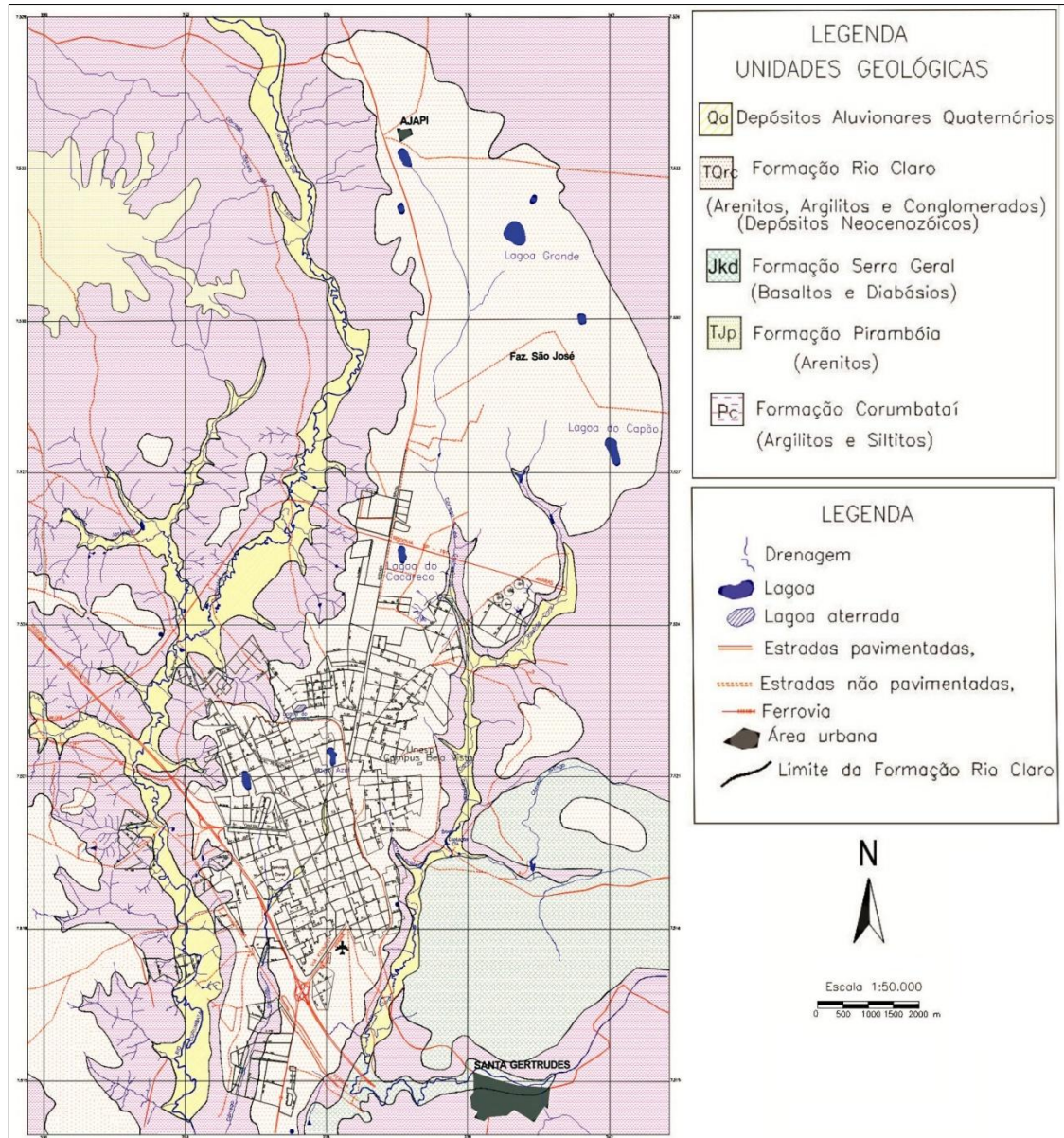


Figura 4.2: Mapa geológico simplificado da área de estudo. (Modificado de OLIVA, 2002).

COLUNA ESTRATIGRÁFICA DA BACIA DO PARANÁ SIMPLIFICADA				
ERA	PERÍODO	GRUPO	FORMAÇÃO	DESCRIÇÃO/LITOTIPOS PRINCIPAIS
CENOZÓICA	QUATERNÁRIO	BAURU	RIO CLARO	Arenitos pouco consolidados, com lentes de argila e níveis conglomeráticos na base. (Aqüífero Rio Claro)
	NEOGENO		ITAQUERI	Arenitos conglomeráticos, por vezes silicificados e com crostas ferruginosas.
	PALEOGENO		SERRA GERAL	Derrames basálticos e intrusões de diques e soleiras de diabásio.
MESOZÓICA	CRETÁCEO	SÃO BENTO	BOTUCATU	Arenitos avermelhados, bem selecionados e bem arredondados com estratificações cruzadas de grande porte.
	JURÁSSICO		PIRAMBÓIA	Arenitos com grãos arredondados e níveis de lamitos, com estratificação cruzada de médio porte.
	TRIÁSSICO		CORUMBATAÍ	Argilitos e siltitos arroxeados e marrom avermelhados com intercalações de arenitos, níveis carbonáticos e coquinas.
PALEOZÓICA	PERMIANO	PASSA DOIS	IRATI Mb. Assistência Mb. Taquaral	Folhelhos pirobetuminosos, siltitos e calcários dolomíticos.
			TATUI	Siltitos e siltitos arenosos esverdeados, com níveis conglomeráticos localmente.
		ITARARÉ	GR. ITARARÉ	Arenitos, arenitos conglomeráticos, siltitos, varvitos, diamictitos e tilitos, com alguma estratificação cruzada no topo. Indiviso no Estado de São Paulo. (Aqüífero Itararé)
	CARBONIFERO			
	Pré-Cambriano		EMBASAMENTO	Granitos, gnaisses, migmatitos, xistos e quartzitos.

Figura 4.3: Coluna estratigráfica da Bacia do Paraná na região de estudo. (modificada de Zaine et al, 2008).

Das unidades litoestratigráficas que compõem a bacia no estado de São Paulo, ressaltam-se aqui apenas aquelas que afloram na região estudada. São elas: o Grupo Passa Dois (Permiano), o Grupo São Bento (Triássico-Jurássico) e as coberturas Cenozóicas.

Na área modelada a Fm. Rio Claro encontra-se diretamente sobreposta à Fm. Corumbataí, ressalva quando em contato com soleiras ou diques da Fm. Serra Geral, como corroborado pelas seções colunares levantadas por Zaine (1994) e por Perinotto *et al* (2006), Figura 4.4; e ainda pelos perfis construtivos destacados de poços existentes na área de estudo, Figura 4.5.

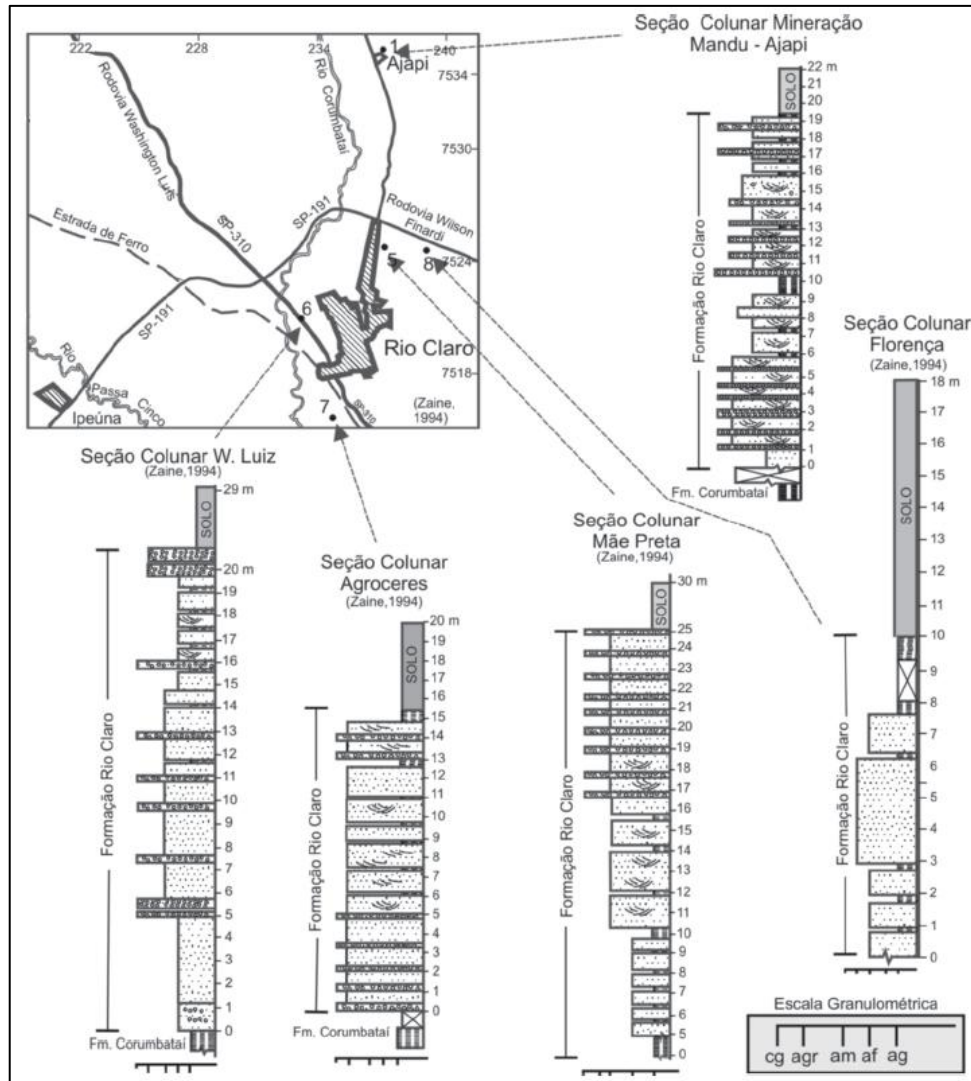


Figura 4.4: Seções colunares levantadas por Zaine (1994) e Perinotto *et al* (2006) próximas à área de estudo. É possível inferir a espessura média da Fm. Rio Claro na região e ainda o contato com a Fm. Corumbataí. (Retirado e modificado de Perinotto *et al*, 2006).

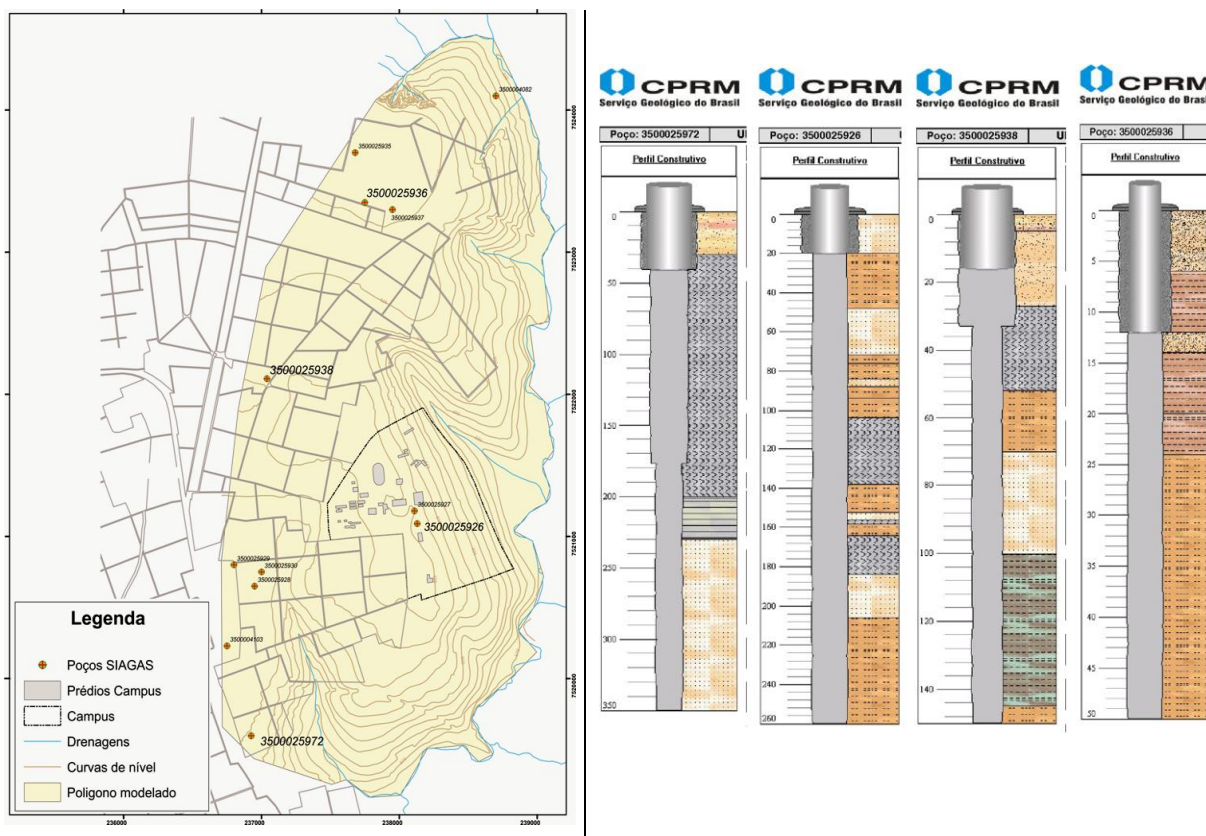


Figura 4.5: Localização e perfil descritivos de alguns dos poços localizados na área de estudo. Os demais poços encontram-se no ANEXO 1.

Deste modo, são descritas aqui somente as unidades pertinentes ao modelo. São elas: Fm. Irati, Fm. Corumbataí, Fm. Serra Geral e Fm. Rio Claro.

Formação Irati – Barbosa & Gomes (apud SCHOBENHAUS, 1984), propuseram a divisão da formação em dois Membros: Taquaral (inferior) e Assistência (superior). As características litológicas e paleontológicas da formação indicam, para a unidade Taquaral, deposição em ambiente marinho de águas calmas, abaixo do nível de ação das ondas e, para a unidade Assistência indicam um ambiente marinho raso, com deposição de folhelhos pretos e calcários. A idade da formação é de aproximadamente 260 milhões de anos, segundo relações paleopalinomórficas. No polígono modelado, esta unidade aparece de forma localizada, na porção sudoeste da área.

Formação Corumbataí – Idade Permiano superior. Possui espessura de 130 metros no Estado de São Paulo e consistem em argilitos, folhelhos e siltitos. Na parte superior apresenta arenitos carbonáticos dispostos em lentes e bolsões. A formação apresenta contato basal concordante com a Fm. Irati. Sua sedimentação está associada a um sistema marinho com

águas gradativamente mais rasas, tipo planícies de maré. Pode-se encontrar no pacote estratificações plano-paralela e cruzada. (SCHNEIDER et al., 1974).

Formação Serra Geral – Derrames de natureza toleítica com até 1500 metros de espessura. Segundo Rocha Campos *et al* (1988) citado por Teramoto (2004) as idades dos derrames variam entre 135 e 130 Ma, através de datação K-Ar. Na região, a unidade é representada principalmente por diabásio em forma de diques e soleiras, como a soleira localizada sob a Floresta Estadual do município de Rio Claro. O contato com as demais unidades é abrupto e frequentemente discordante, controlado de forma estrutural.

Formação Rio Claro – Segundo Zaine (1994) essa formação apresenta o registro mais significativo e, provavelmente, o mais antigo do Cenozoico dentro da Depressão Periférica Paulista. São ocorrências isoladas, como a que capeia grande parte do município homônimo (Zaine, 2000). A unidade apresenta fraca litificação e profunda alteração pedogenética, com domínio de areias esbranquiçadas, amareladas e avermelhadas, variando de fina a grossa, mal selecionadas, com intercalação de camadas conglomeráticas, fragmentos de lateritas e ainda lentes argilosas. Tais sedimentos foram depositados em ambiente fluvial-meandrante. O contato da Fm. Rio Claro com a Fm. Corumbataí é erosivo, marcado por um nível de cascalheiras de seixos centimétricos na base da Fm. Rio Claro, Figura 4.6.



Figura 4.6: Nível de cascalheiras e seixos existentes na base da Fm. Rio Claro demarcando o contato entre as formações. Afloramento dentro do campus da UNESP, em Rio Claro, próximo ao canteiro de obras do novo fórum.

4.3. Caracterização Geomorfológica

No contexto geomorfológico do estado de São Paulo, a área de estudo localiza-se na porção da Depressão Periférica, Figura 4.7.

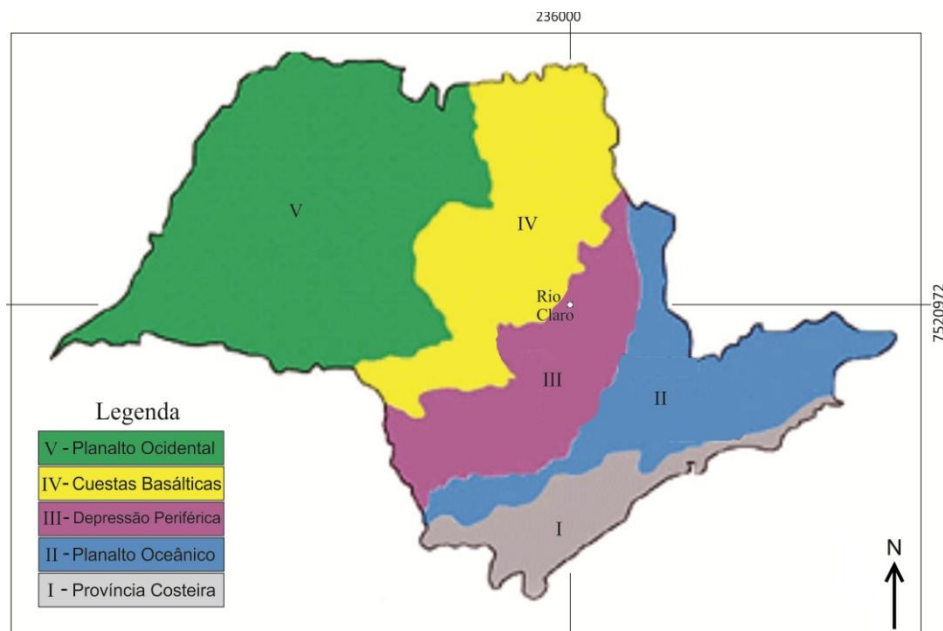


Figura 4.7: Províncias Geomorfológicas do estado de São Paulo, segundo divisão do IPT, e a localização do município de Rio Claro na província da Depressão Periférica. (Modificado de ALMEIDA, 1964).

A Fm. Rio Claro ocorre no nível planáltico denominado de Bd pelo IPT (1992a e 1992b) apud Oliva (2006), Figura 4.8. Na figura, “A” representa os planaltos nivelados, “I” planaltos subnivelados, “B” o primeiro nível de planaltos rebaixados e “Bd” o segundo nível de planaltos rebaixados. Estes planaltos são delimitados por rupturas de declives, segundo análise de imagens aéreas e de cartas topográficas por diversos autores (ALMEIDA, 1964; PENTEADO, 1976; MELO, 1995; ZAINÉ, 1994, 2000).

O sistema de relevo dominante na região de Rio Claro é o de colinas tabuliformes de vertentes suavemente convexas e patamares de fraca inclinação, dispostos entre 550 e 650 m (PENTEADO, 1976 apud OLIVA, 2006). Na cidade, a declividade apresenta sentido Norte-Sul, estando as maiores cotas no norte da área, entre 800 e 900 m, e as menores no sul, entre 400 e 500 m.

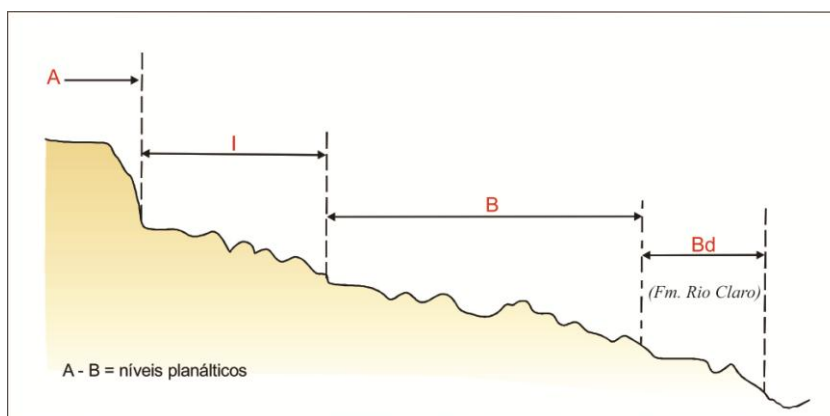


Figura 4.8: Esquema ilustrativo da distribuição dos níveis planálticos na depressão periférica do estado de São Paulo. A unidade Bd representa a Formação Rio Claro. (Modificado de MELO, 1995 apud OLIVA, 2006).

4.4. Caracterização Climática

Na classificação Köppen-Geiger, o clima da região é considerado subtropical úmido com duas estações bem definidas – Cwa, sendo w: inverno seco, a: verão quente. As chuvas se concentram nos meses mais quentes, entre outubro e março, correspondendo a mais de 80% das precipitações totais. As temperaturas médias anuais situam-se entre 18 e 20 °C (Posto Ceapla - UNESP), sendo a mínima já registrada de -1,8 °C e máxima de 37,8 °C.

A média pluviométrica para o município é da ordem de 1400 mm/ano, já sendo registrados em anos anteriores, extremos de 730 mm/ano a 2300 mm/ano (SigRH - SP), Figura 4.9. Santos (1986, 1987) apud Oliva (2006) já havia observado essa alternância em termos de anos secos e chuvosos no município.

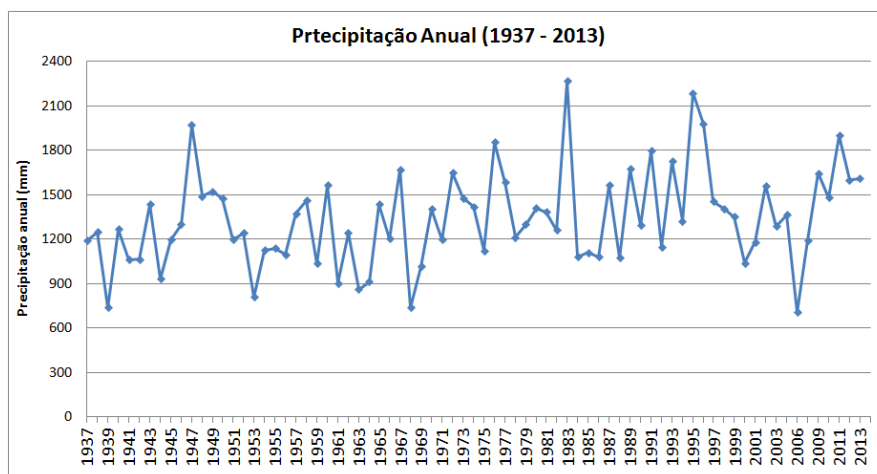


Figura 4.9: Variação registrada das taxas pluviométricas anuais de 1937 a 2013, segundo dados do SigRH-SP. Detalhe para a existência de uma alternância em termos de anos secos e chuvosos.

Segundo dados obtidos da estação meteorológica do CEAPLA, entre os meses de setembro de 2013 e setembro de 2014, a taxa pluviométrica total foi de 1064,03 mm, sendo que os maiores valores foram registrados nos meses de novembro (291,7 mm) e dezembro (155,4 mm), Figura 4.10.

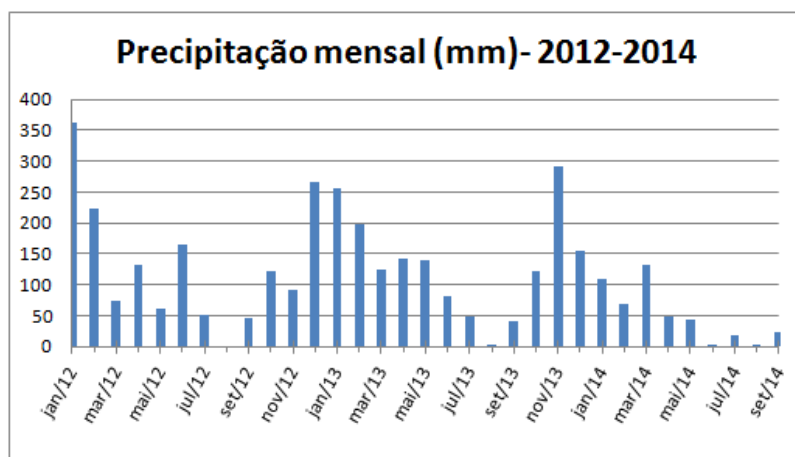


Figura 4.10: Taxas pluviométricas registradas entre os anos de 2012 e 2014. Nota-se as baixas taxas registradas no ano simulado.

4.5. Caracterização Hidrogeológica

O aquífero Rio Claro é classificado como um aquífero do tipo sedimentar livre, armazenando água em porosidade de interstícios e em fissuras, sendo pouco profundo e com vazões que podem atingir os 25m³/h. É constituído pelos arenitos da Fm. Rio Claro, contendo também lentes e finas camadas argilosas responsáveis por aquíferos suspensos localizados.

Segundo dados obtidos no Relatório de Situação dos Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí – UGRHI-5, a espessura média do aquífero é de 30 m; sua transmissividade varia entre 2 e 50 m²/dia; sua permeabilidade aparente é menor que 2 m/dia; e sua capacidade específica está entre 0,1 e 5 m³/h/m. A condutividade hidráulica, obtida através de testes *SLUG*, varia entre 10⁻⁷ e 10⁻⁴ m/s (OLIVA, 2006).

O tempo médio de infiltração de água no aquífero é de 87 dias e sua periodicidade de oscilação sazonal é de 341 dias (CARNIER NETO, 2006).

As águas deste aquífero apresentam boa qualidade para consumo, o que permite sua ampla utilização, desde o abastecimento público até os usos industriais, apesar de já ter sido notado sinais de contaminação por esgoto doméstico (altos teores de nitrato e cloreto) e industrial (presença de sulfato) de forma local (OLIVA, 2002).

Segundo Bonotto e Mancini (1992) as águas são classificadas quimicamente como bicarbonatadas cálcicas magnesianas.

Conforme Oliva *et al* (2010) o volume da reserva reguladora é da ordem de $24,6 \times 10^6 \text{ m}^3$ e a reserva total do aquífero se aproxima de $256,7 \times 10^6 \text{ m}^3$, valores obtidos pelo método Monte Carlo.

5. MÉTODOS E ETAPAS EXECUTADAS

As etapas da pesquisa são no total de seis e foram divididas e sequenciadas segundo fluxogramas padrões de modelagem hidrogeológica consultadas na literatura. Algumas etapas se estendem até o fim do projeto, sem interrupção, enquanto outras são dependentes das anteriores. O fluxograma das etapas da pesquisa é apresentado ao fim da seção, Figura 5.1.

1ª Etapa: Pesquisa Bibliográfica – A pesquisa bibliográfica tem o intuito de coletar informações relevantes sobre a área de estudo e também sobre o tema abordado na pesquisa. A área de estudo é bem conhecida em âmbito regional e local e já vem sendo estudada há décadas por diversos autores, porém, o tema modelagem matemática hidrogeológica é de caráter novo em território nacional, apresentando poucas fontes bibliográficas em português.

A pesquisa só se encerra ao término do projeto, sendo uma etapa que acompanha todo o trabalho, sendo revisitada sempre que necessário algum complemento ou informação adicional ao trabalho.

2ª Etapa: Etapas de Campo e Monitoramento do Nível d'água – Consiste na observação e monitoramento sistemático dos poços existentes na área estudada, no intuito de acompanhar as variações do nível d'água local. Ainda, tem-se a concomitante construção de mapas potenciométricos e início do desenvolvimento do modelo conceitual, e coleta e caracterização de amostras e ensaios laboratoriais, além de ensaios de campo, tipo SLUG ou SPT.

3ª Etapa: Construção do Modelo Conceitual – Nesta etapa, elaborase o modelo hidrogeológico conceitual da área de estudo. A estruturação é norteada e amparada pela pesquisa bibliográfica, bem como por ensaios realizados nas amostras coletadas e em campo. Este modelo pode ser modificado com a evolução da pesquisa, sendo que o primeiro não precisa ser necessariamente a versão final do mesmo.

O modelo conceitual idealiza as principais características relevantes do aquífero a ser representado. Aqui, procura-se identificar e definir parâmetros iniciais para a modelagem, como, por exemplo, o seu sistema físico, se o mesmo apresenta condições de livre ou confinado, se haverá transporte de massa ou somente de fluxo, os limites do aquífero, suas base e topo, áreas de recarga e também heterogeneidade do meio.

4ª Etapa: Modelagem em Regime Estacionário – Simulação inicial do modelo e ponto de partida para a simulação em regime transiente (SPITZ & MORENO, 1996). Aqui se tem a concomitante análise de sensibilidade dos parâmetros de entrada do modelo, uma vez que devemos encontrar os resultados mais coerentes com os observados em campo. A análise é efetuada por meio de mudanças nos parâmetros de entrada do modelo e observação dos resultados obtidos.

5ª Etapa: Modelagem em Regime Transiente – Nesta etapa é efetuada a simulação dependente do tempo. A simulação tem como resultado um grupo de valores de nível d'água que variam em função do tempo, indicando além da variação deste nível, a possibilidade de armazenamento de água pelo meio, o balanço final de volume de água que entra e que sai do aquífero e ainda a influência de poços ativos na área, quando existentes.

Quanto menor o intervalo de tempo discretizado, mais fiel se torna a simulação e menor é o erro remanescente, embora não existam grandes diferenças nos resultados (ANDERSON & WOESSNER, 1992). Os valores de nível d'água obtidos pela simulação são comparados aos valores observados ao longo do ano hidrológico em questão, buscando a menor disparidade entre eles através de calibrações e revisões do modelo.

6ª Etapa: Análise dos Resultados e Relatório Final – Os resultados são apresentados e discutidos no relatório entregue no fim da pesquisa, contendo as informações pertinentes ao projeto. Serão listados aspectos obtidos das simulações, bem como sobre o modelo conceitual da área e ainda análise dos resultados e sobre o método empregado.

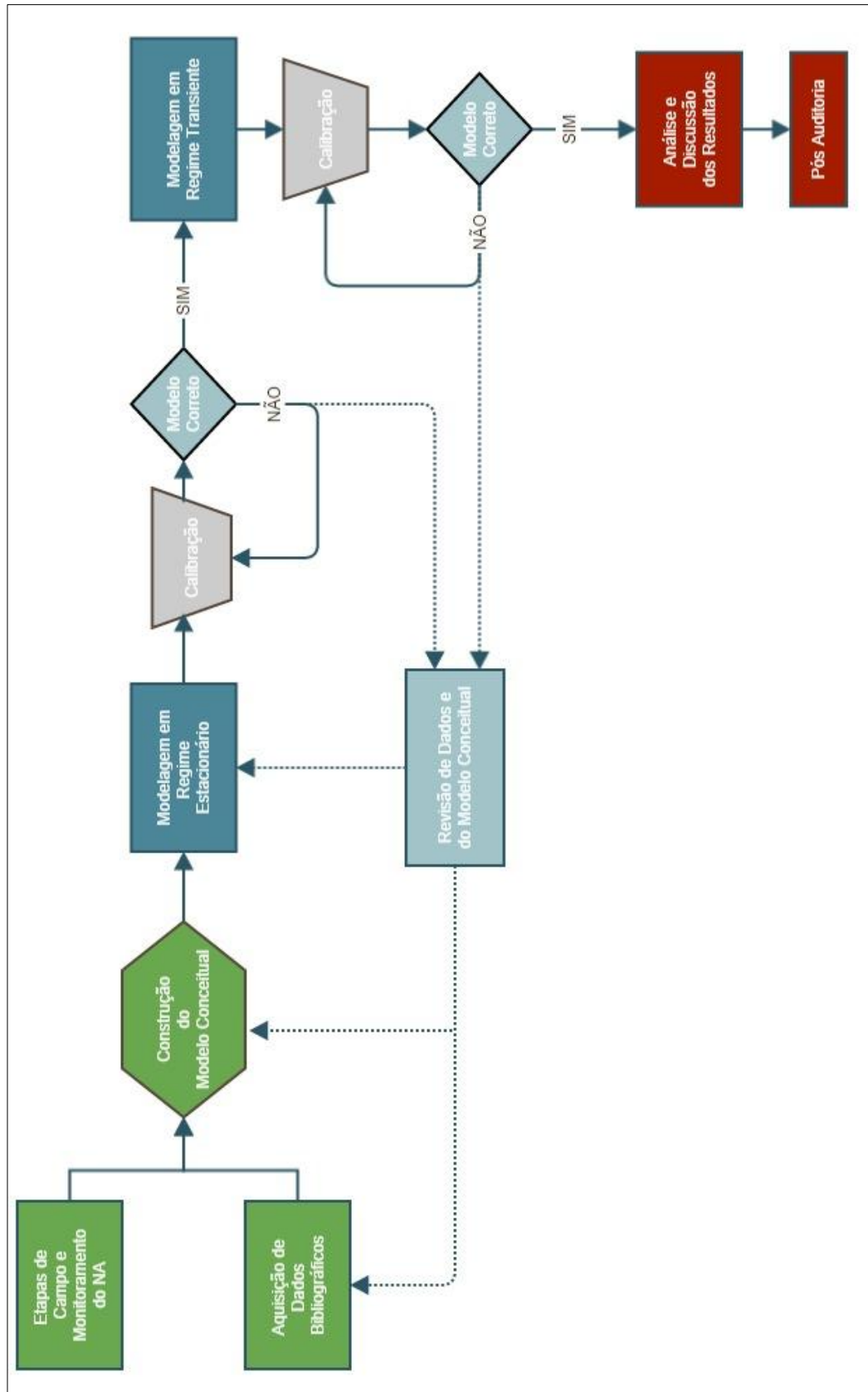


Figura 5.1: Fluxograma metodológico da pesquisa.

6. ETAPAS DE CAMPO E MONITORAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA

Os níveis d'água (NA) dos poços de monitoramento da área foram checados manualmente em intervalos de quinze dias, através de um medidor elétrico analógico da marca Hidrosuprimentos modelo HS200, com alcance para 200 m. Os intervalos de observação podem ser menores na finalidade de obter maiores informações em um menor intervalo de tempo. Esta etapa teve seu início no período de 2013, para que fosse possível a observação de um ciclo hidrológico completo de um ano.

Os poços monitorados são no total de sete (7) e localizam-se dentro do campus da universidade, apresentados na Figura 6.1 e na Tabela 6.1. Os dados deste monitoramento estão sumarizados na Tabela 6.2.

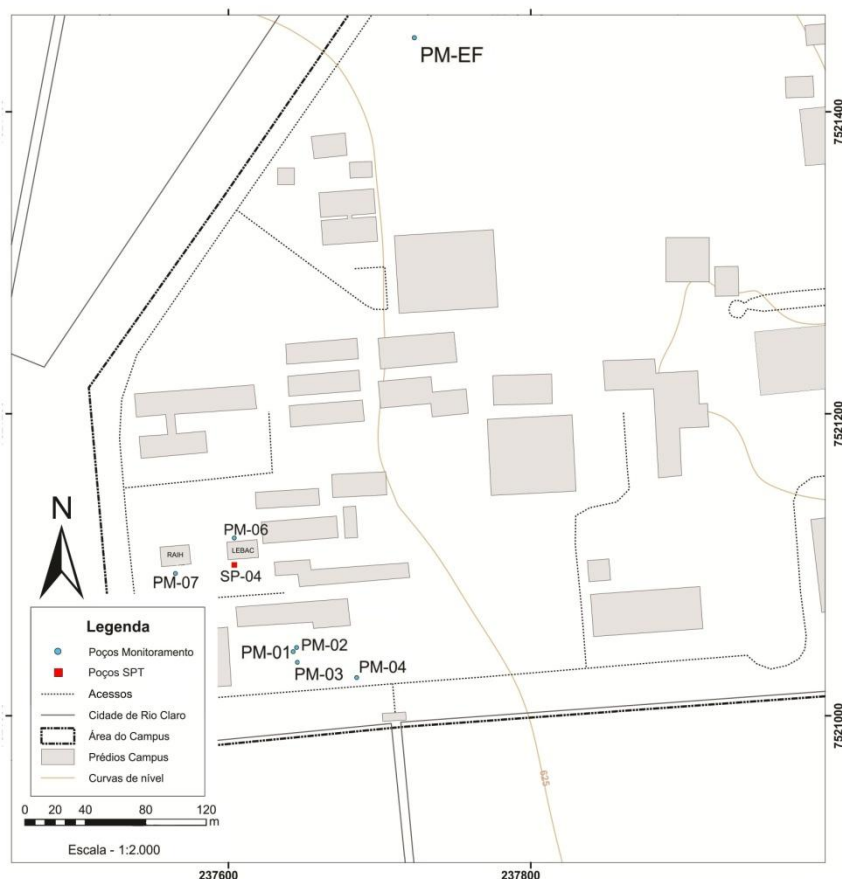


Figura 6.1: Localização dos poços de monitoramento no campus da UNESP, além do furo de ensaio SPT, do qual foram retiradas amostras para análise e classificação granulométrica.

Tabela 6.1: Coordenadas dos poços de monitoramento e do furo de sondagem do ensaio SPT.

Poço	X	Y	Z
PM-01	237632.019	7521010.170	623.448
PM-02	237634.261	7521012.890	623.562
PM-03	237634.821	7521003.081	623.591
PM-04	237674.054	7520992.993	623.907
PM-06	237593.066	7521084.069	623.573
PM-07	237554.114	7521061.930	623.703
PM-EF	237705.550	7521452.140	625.693
SP-04	237576.710	7521077.488	623.500

Tabela 6.2: Cota do nível d'água medido nos poços de monitoramento do campus.

	PM-01	PM-02	PM-03	PM-04	PM-06	PM-07	PM-EF
09/set	614.584	614.69	614.707	614.65	614.955	615.043	614.537
23/set	614.388	614.564	614.531	614.517	614.826	614.929	614.415
30/set	614.324	---	614.464	---	---	614.858	614.374
08/out	614.267	614.439	614.408	614.39	614.682	614.807	614.337
14/out	614.24	614.415	614.379	614.359	614.688	614.793	614.323
28/out	614.164	614.342	614.303	614.278	614.625	614.72	614.25
04/nov	614.103	614.276	614.244	614.184	614.6	614.658	---
11/nov	614.098	614.273	614.241	614.213	614.593	614.72	614.207
19/nov	614.091	614.262	614.231	614.182	614.608	614.733	614.24
29/nov	614.283	614.454	614.407	614.422	614.778	614.875	614.305
12/dez	614.373	614.552	614.513	614.502	614.848	614.968	614.305
16/dez	614.39	614.579	614.536	614.531	614.848	614.988	614.384
13/jan	614.493	614.668	614.634	614.647	614.913	615.038	614.58
17/jan	614.495	614.677	614.637	614.637	614.934	615.043	614.6
20/jan	614.511	614.688	614.647	614.654	614.918	615.076	614.587
05/fev	614.413	614.607	614.548	614.569	614.846	614.973	---
18/fev	614.298	614.475	614.438	614.447	614.743	614.875	614.45
13/mar	614.133	614.312	614.292	614.282	614.568	614.69	614.355
27/mar	614.089	614.26	614.234	614.26	614.528	614.628	614.267
10/abr	614.113	614.289	614.259	614.277	614.554	614.678	614.288
17/abr	614.042	614.217	614.189	614.191	614.478	614.56	---
08/mai	613.942	614.117	614.091	614.127	614.383	614.509	614.08
22/mai	613.871	614.064	614.019	614.057	614.323	614.423	614.037
12/jun	---	614.045	---	614.029	614.274	614.416	---
16/jun	613.849	614.029	613.999	614.02	614.283	614.423	614.022
25/jun	613.788	613.966	613.934	613.947	614.203	614.338	613.975
07/jul	613.637	613.807	613.784	613.742	614.068	614.208	613.825
14/jul	613.648	613.823	613.789	613.769	614.092	614.226	613.897
21/jul	613.526	613.696	613.671	613.632	614.023	614.168	613.769
06/ago	613.486	613.675	613.65	613.617	613.951	614.099	613.793
11/ago	613.453	613.638	613.595	613.567	613.925	614.064	613.769
18/ago	613.439	613.609	613.581	613.526	613.911	614.048	---
25/ago	613.404	613.572	613.54	613.498	613.868	614.027	613.713
02/set	613.355	613.517	613.496	613.45	613.812	613.951	613.655
09/set	613.316	613.461	613.451	613.375	613.753	613.872	613.580

A Figura 6.2 apresenta o comportamento do NA dos poços monitorados, associado aos dados de precipitação diária obtidos na “Estação Meteorológica de Rio Claro - CEAPLA-IGCE-UNESP”.

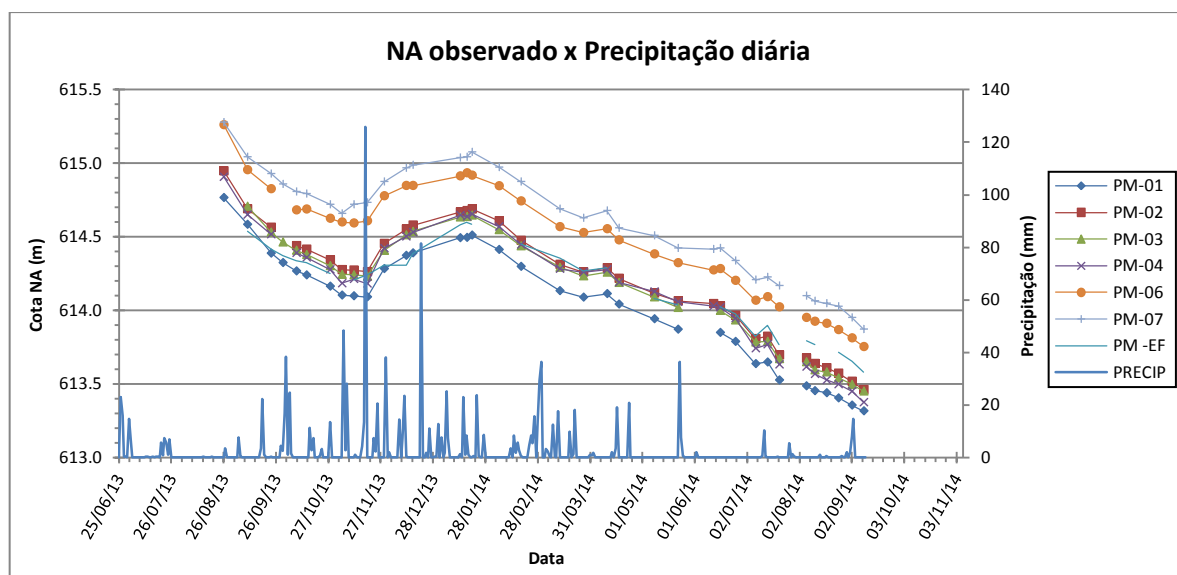


Figura 6.2: Gráficos de NA dos poços monitorados, medidas manuais efetuadas entre setembro de 2013 e setembro de 2014, associados aos dados de precipitação diária para o mesmo período.

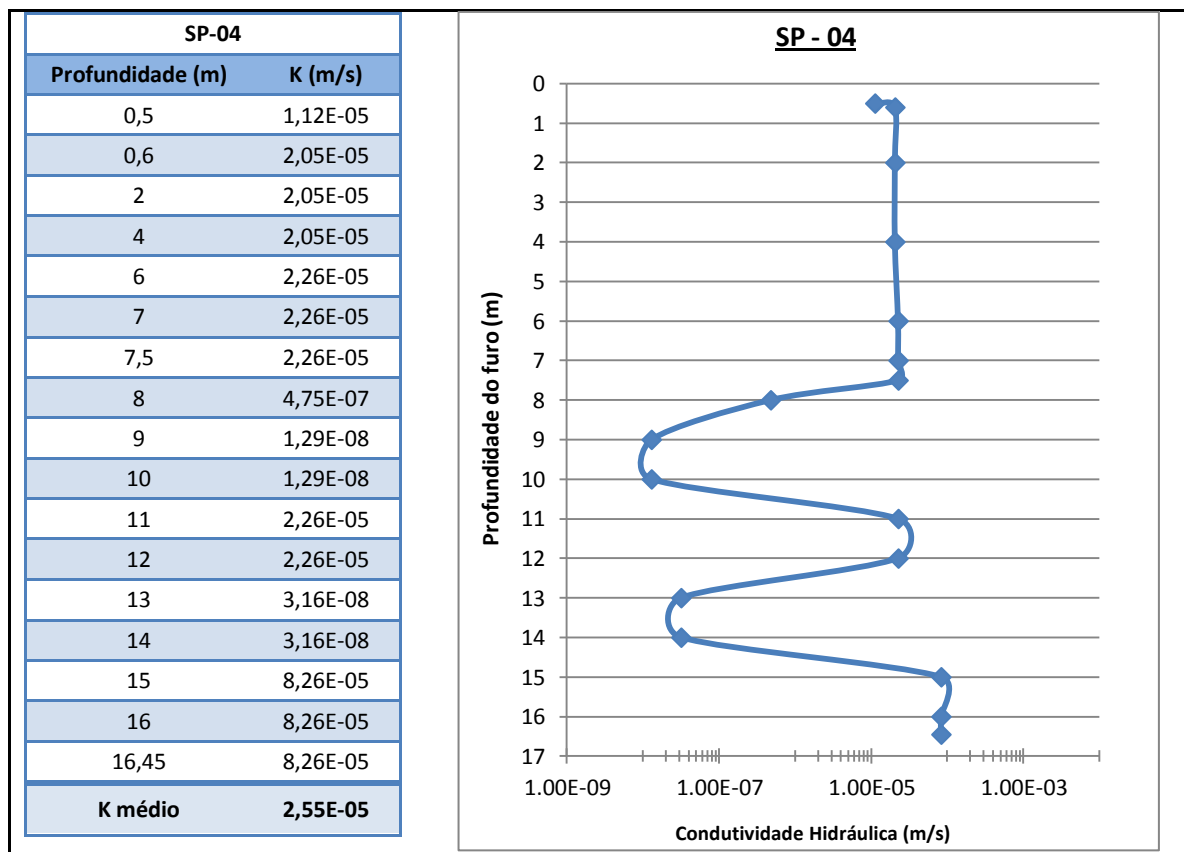
Através dos gráficos observamos um rebaixamento médio de 1,23 m do NA local. O poço que apresentou o maior rebaixamento foi o poço PM-04, com queda de 1,27 m no NA, e o menor rebaixamento observado foi no poço PM-07, com queda de 1,17 m do NA. O período de recarga do aquífero é representado pela ascensão da curva entre os meses de Novembro e Janeiro, quando o NA eleva-se 0,5 m, aproximadamente. Além disso, ficam evidentes as baixas taxas de precipitação registradas para o período, quando comparadas às médias do município.

As amostras coletadas do ensaio de *Sondagem à Percussão, SP-04*, nos arredores do LEBAC, Figura 6.1, passaram por ensaios de classificação granulométrica. O resultado da análise possibilitou a inferência de valores de condutividade hidráulica através do método de *Shepherd*, apresentados na Tabela 6.3.

É importante ressaltar que os valores da análise funcionam apenas como de referência, uma vez que são métodos indiretos e possuem erros embutidos nos próprios procedimentos.

Porções mais argilosas são observadas próximas aos 9,0 e 13,5 m de profundidade e, pela presença dessas porções, a média aritmética do valor de K para a seção foi de $2.55E-05$ m/s.

Tabela 6.3: Valores de condutividade hidráulica das amostras coletadas no furo SP-04, método de *Shepherd*, e suas variações segundo a profundidade do furo.



Para obtenção direta de parâmetros de condutividade hidráulica da formação, também foram realizados testes *SLUG* nos poços de monitoramento do campus. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 6.4.

Tabela 6.4: Valores de condutividade hidráulica obtidos após teste *SLUG* para os respectivos poços de monitoramento.

Poço	Profundidade do Teste (m)	Condutividade Hidráulica - m/s
PM-01	9,5	2,93 E-05
PM-02	9,4	1,40 E-04
PM-06	10,0	1,73 E-06

A disparidade entre os valores é interpretada como diferenças nos horizontes da própria formação, reforçando para a heterogeneidade existente na unidade. Entre os poços PM-01 e PM-02, que estão a menos de dois metros de distância, a diferença da condutividade hidráulica chega a uma ordem de grandeza. Entre o poço PM-02 e o poço PM-06 a diferença atinge duas ordens de grandeza.

7. CONSTRUÇÃO DO MODELO CONCEITUAL

O aquífero é definido como livre, de caráter sedimentar e com ligação direta entre o mesmo e a rede de drenagens presente na área.

As áreas de recarga do modelo foram selecionadas a partir da cobertura superficial presente. Áreas recobertas ou construídas têm valores de recarga comprometidos ou iguais à zero. Os rios apresentam recarga nula, sendo regiões de descarga do aquífero. As regiões com mata densa apresentam altas taxas de evapotranspiração devido ao tipo de cultura existente e por isso apresentam seus valores de recarga afetados.

Oliva, 2006, realizou ensaios de *Sondagem Elétrica Vertical* com investigação teórica de 50 m de profundidade. Com estes dados foi permitida a estimativa do contato entre as Fm. Rio Claro e Corumbataí.

Com a análise do perfil construtivo de poços cadastrados na região foi possível o refinamento do arcabouço geológico local. Tais descrições foram correlacionadas com os dados obtidos da literatura para uma melhor representação da geologia local. As fichas dos poços e seus perfis construtivos encontram-se no Anexo 1.

Na área do campus, a espessura da Fm. Rio Claro encontra-se entre 20 e 30 m, sendo que o contato entre as formações, não abrupto, encontra-se entre as cotas de 590 e 605 m, apresentando ainda um leve mergulho para sul, Figura 7.1.

Ainda segundo a mesma autora op. Cit., a direção principal do fluxo das águas subterrâneas no local é Sudeste, sentido Ribeirão Claro.

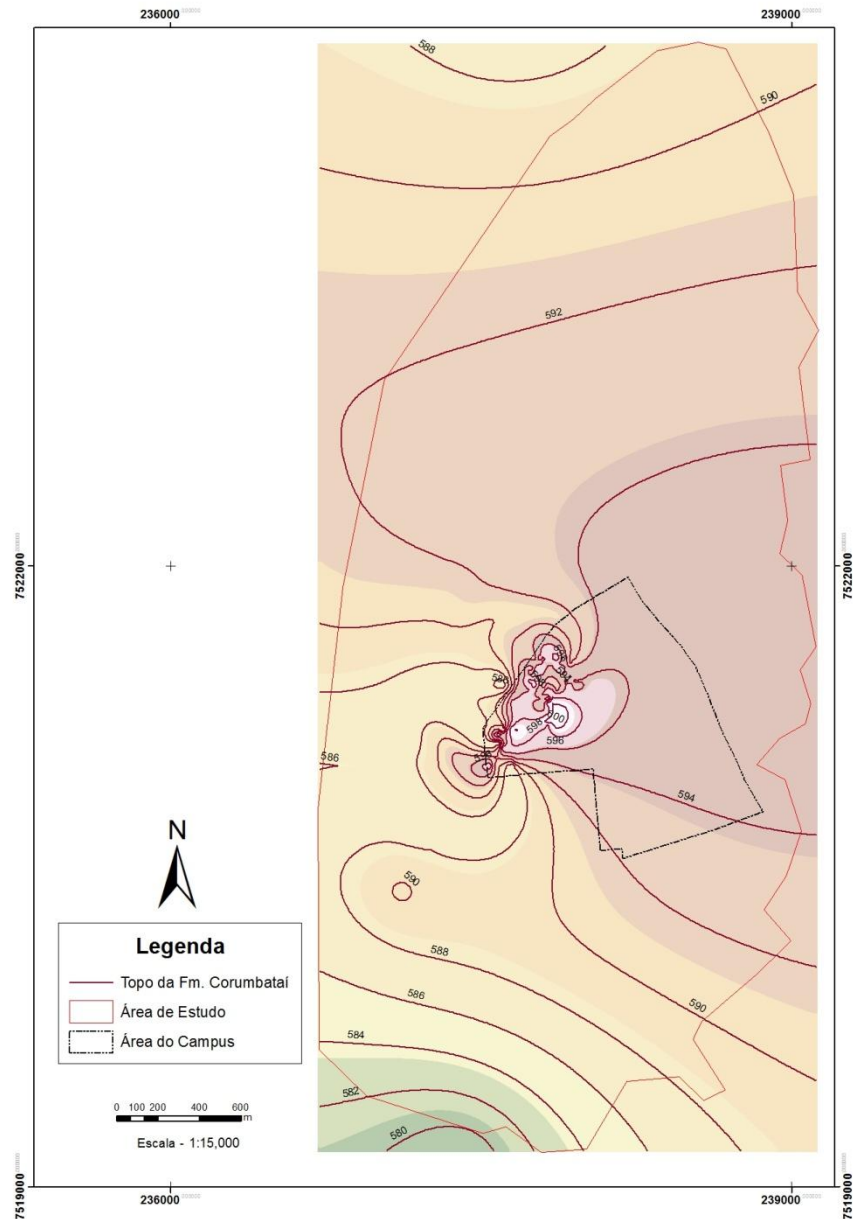


Figura 7.1: Mapa do topo da Fm. Corumbataí, intervalo das curvas de 2 m. O maior detalhamento na área do campus é resultado da maior quantidade de dados ali disponíveis.

Pela figura também fica claro que a Fm. Corumbataí apresenta-se em cotas superiores no campus da UNESP.

8. SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE FLUXO

8.1. Domínio Simulado

O ambiente simulado possui uma área de $9,73 \text{ km}^2$ e um volume de $0,26 \text{ km}^3$. O domínio foi discretizado num total de 318040 elementos triangulares, interligados por 203742 nós. Por se tratar de um modelo 3D, foram projetadas 6 camadas (*layers*) e 7 *slices* em subsuperfície. Suas dimensões aproximadas são de 5364 m x 2420 m x 79 m de espessura.

A conformidade topográfica da área, *slice 1*, foi obtida do mapeamento realizado por Zaine, 2000. O topo da Fm. Corumbataí é representado pelo *slice 4*. As demais camadas em subsuperfície foram geradas para reforçar o efeito barreira que a Fm. Corumbataí apresenta no modelo. A Figura 8.1 apresenta o domínio simulado em planta.

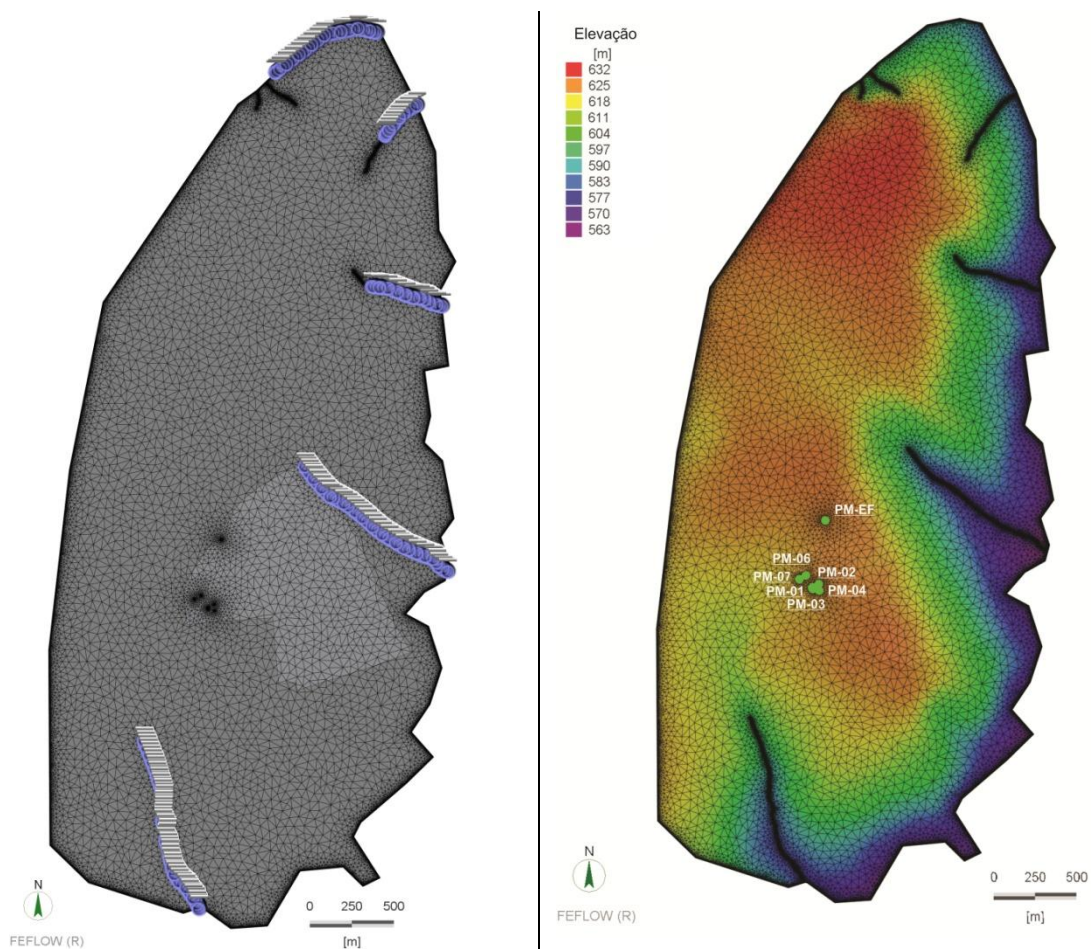


Figura 8.1: À esquerda, malha de elementos finitos gerada, com as condições de contorno impostas nas drenagens. Em cinza claro destaca-se a área do campus da UNESP; À direita, a topografia do domínio simulado. Os pontos verdes indicam os pontos de observação do modelo.

A qualidade da malha obtida é tida como excelente, visto que apenas 15.2% dos elementos possui ângulo interno maior que 90° e nenhum acima de 120° . Nenhum dos elementos viola o critério de Delaunay da existência de triângulos.

As condições de contorno inseridas no modelo foram do Tipo I nas drenagens com conexão direta com o aquífero, Figura 8.1. Elas apresentam a restrição *seepage face* que indica recarga nula naquele ponto. Seus valores coincidem com a superfície topográfica do local, *slice 1*. Condições de não fluxo são impostas nos limites laterais do polígono modelado.

A distância mínima entre as camadas foi fixada em 1,5 m a fim de evitar problemas numéricos durante a simulação. Somente a primeira camada do modelo possui espessura variável, representando a variação de espessura da Fm. Rio Claro. A Figura 8.2 apresenta o domínio simulado em 3D.

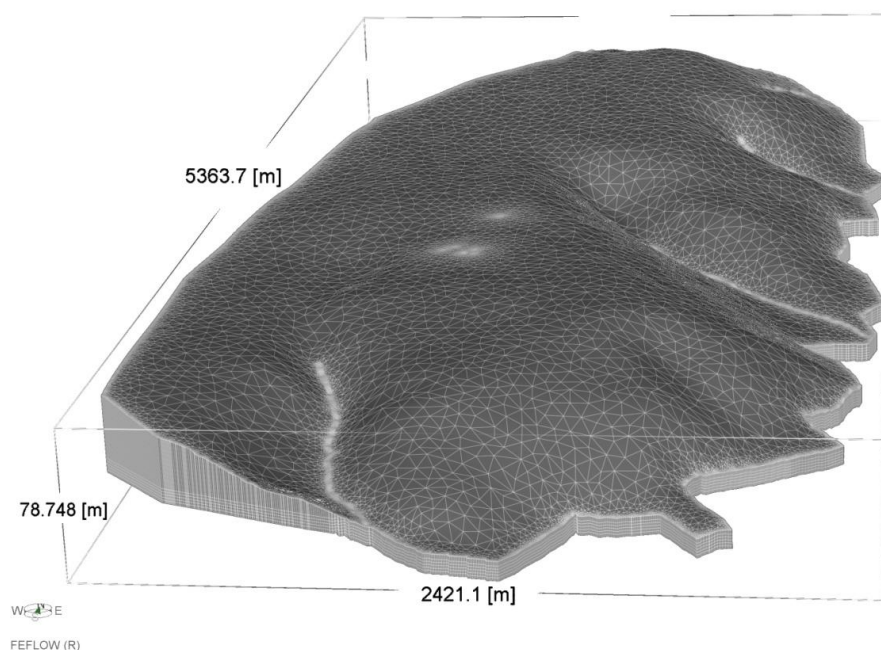


Figura 8.2: Visão em 3D do domínio simulado (exagero vertical de 7x).

Os valores iniciais de K utilizados para as calibrações foram obtidos segundo Oliva, op. cit., segundo os testes *SLUG* realizados nos poços de monitoramento e ainda conforme os ensaios granulométricos efetuados nas amostras coletadas, lembrando que esses últimos valores servem apenas como valores base, por serem obtidos de forma indireta.

8.2. Modelagem em regime Estacionário

8.2.1. Carga Hidráulica

O principal fator de correlação utilizado no modelo foi a carga hidráulica observada e a calculada pelo software nos poços, através do RMS (*Root Mean Square*). Sua fórmula pode ser expressa pela equação (8.1):

$$x_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2} \quad (8.1)$$

O RMS obtido nesta simulação foi de 0,084. Seu valor normalizado é de 8,47%.

A Tabela 8.1 traz a comparação dos valores da carga hidráulica observada e a computada após a simulação. A Figura 8.3 apresenta o gráfico de dispersão entre os valores. Nota-se que a maior disparidade encontrada foi no poço PM-01, no qual a diferença entre os valores foi de 13,9 cm. A diferença média entre os valores calculados e observados foi de aproximadamente 7,0 cm.

Tabela 8.1: Valores de Carga hidráulica observada e calculada para cada poço de monitoramento e suas respectivas diferenças.

Poço	Carga Hidráulica Observada (m)	Carga Hidráulica Calculada (m)	Diferença entre Carga Hidráulica Calculada e Observada (m).
PM-01	614,584	614,723	0,139
PM-02	614,690	614,731	0,041
PM-03	614,707	614,705	-0,001
PM-04	614,650	614,692	0,042
PM-06	614,955	615,012	0,057
PM-07	615,043	614,945	-0,098
PM-EF	614,537	614,467	-0,069
MÉDIA	614,738	614,747	0,0699

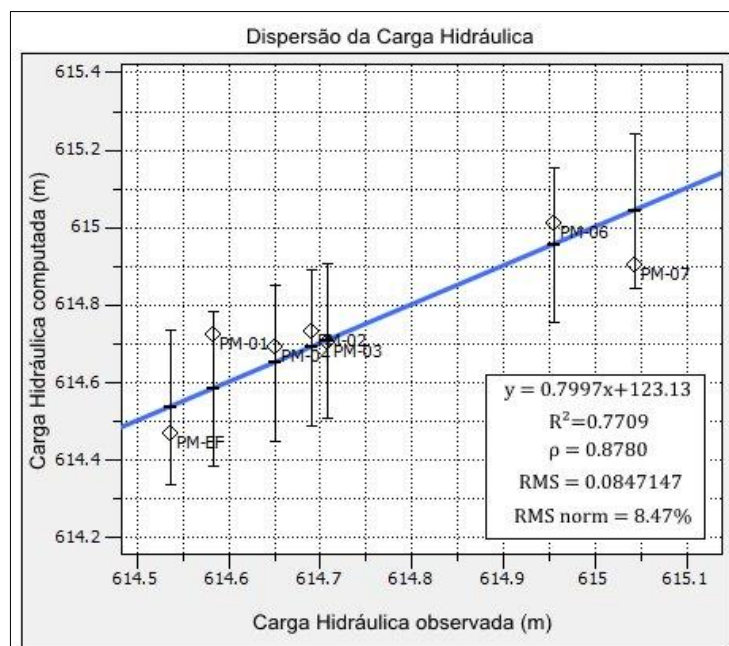


Figura 8.3: Gráfico de dispersão entre os valores de carga hidráulica observados e calculados; a equação da reta, os respectivos índices de determinação e correlação R^2 e ρ , valor de RMS e RMS normalizado. A barra preta vertical nos pontos serve como referência entre os valores e possui 20 cm no total.

8.2.2. Condutividade Hidráulica

Com a calibragem do modelo estacionário, diferentes valores de condutividade hidráulica foram determinados para o domínio, segundo a Tabela 8.2. Os valores foram calibrados pelo método de tentativa e erro. Na direção Z, foi adotado um valor de K com uma ordem de grandeza menor para todos os *layers*. A Figura 8.4 apresenta a distribuição destes valores pelo domínio simulado em planta e a Figura 8.5 traz a distribuição em 3D.

Tabela 8.2: Valores de condutividade hidráulica para as camadas do domínio simulado.

Layer	Elemento	Principal Característica	K-xy (m/s)
1-2-3	Fm. Rio Claro	Porção mais argilosa da formação	9,0.E-6,0
	Fm. Rio Claro	Arenito com lentes argilosas dispersas	5,5.E-5,0
	Fm. Corumbataí	Siltito com topo alterado e arenoso	3,0.E-6,0
	Aluvião	Areia fina bem selecionada	5,0.E-4,0
4	Fm. Corumbataí	Siltito argiloso	1,0.E-8,0
	Intrusão Diabásio	Baixos parâmetros hidrogeológicos	1,0.E-8,0
5-6	Fm. Corumbataí	Siltito argiloso	1,0.E-10,0
	Intrusão Diabásio	Baixos parâmetros hidrogeológicos	1,0.E-10,0

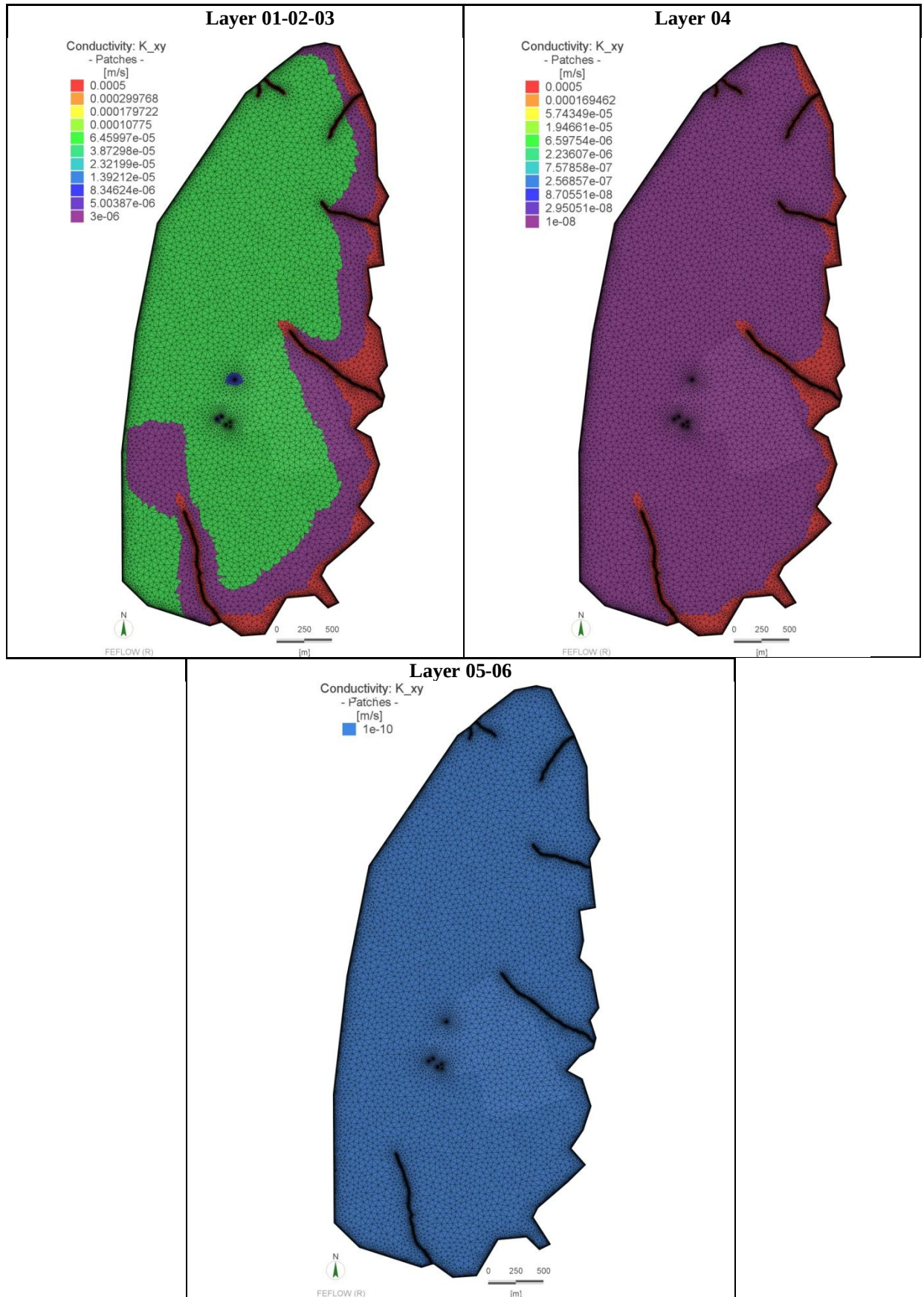


Figura 8.4: Distribuição da condutividade hidráulica pelo domínio simulado em cada *layer*, valores em m/s.

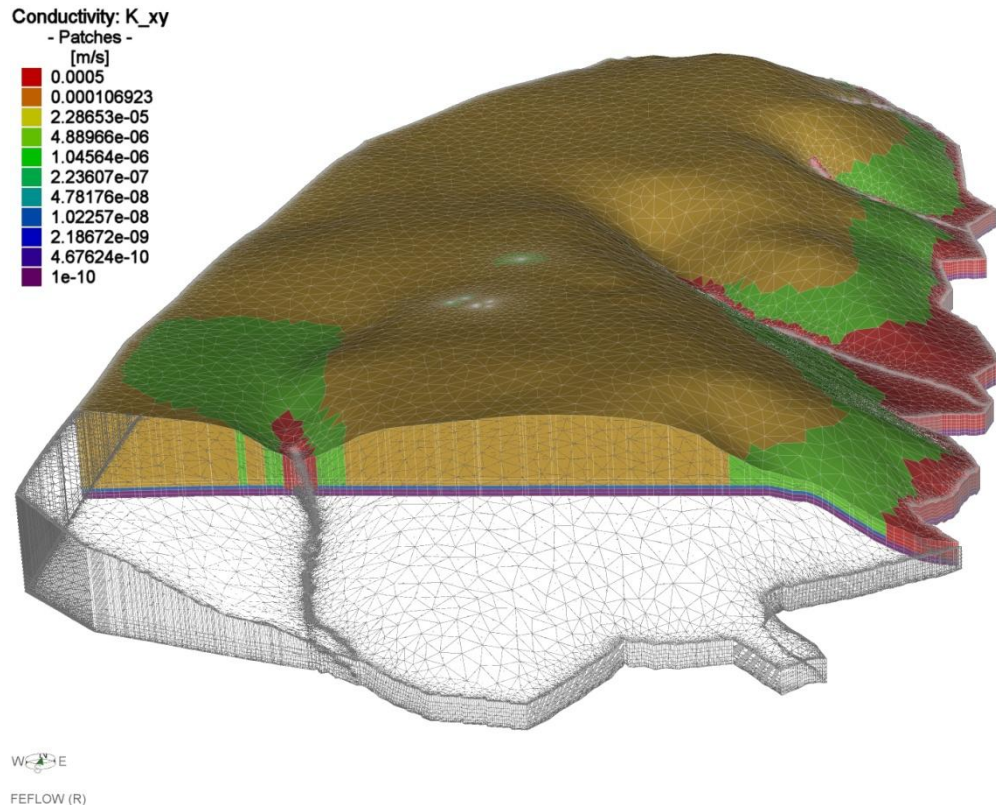


Figura 8.5: Vista em 3D da distribuição dos valores de condutividade hidráulica pelo domínio simulado (exagero vertical de 7x).

O baixo valor de K da Fm. Rio Claro, na ordem de 10^{-5} e 10^{-6} m/s, tem sua justificativa pautada na estruturação sedimentar da própria unidade. As dispersas lentes de argila, difíceis de serem particularizadas, resultam num K médio abaixo de valores esperados para formações arenosas (em torno de 10^{-4} m/s). Esta característica é apoiada pelos ensaios granulométricos efetuados nas amostras coletadas.

A variação da condutividade hidráulica da Fm. Corumbataí pode ser explicada pela diferença entre os horizontes da formação, como as lentes de arenito em seu topo e sua maior compactação em níveis mais profundos e menos expostos. Seu topo alterado e a presença de fraturas aumentam o valor do K médio desta porção, enquanto a maior compactação diminui o valor do mesmo.

8.2.3. Potenciometria e Direção do Fluxo

Acerca do fluxo da água subterrânea, a principal direção é para as drenagens a leste e sentido Ribeirão Claro, dos maiores para os menores valores de carga hidráulica.

Na porção sudoeste da área observa-se um divisor de águas, direcionando o fluxo para sul, Figura 8.6a. Nota-se ainda a maior velocidade próxima às regiões de descarga do aquífero.

Na Figura 8.6b é apresentado o mapa de distribuição de carga hidráulica simulada, em metros. Por ser um aquífero livre, sua conformidade está em concordância com a topografia local.

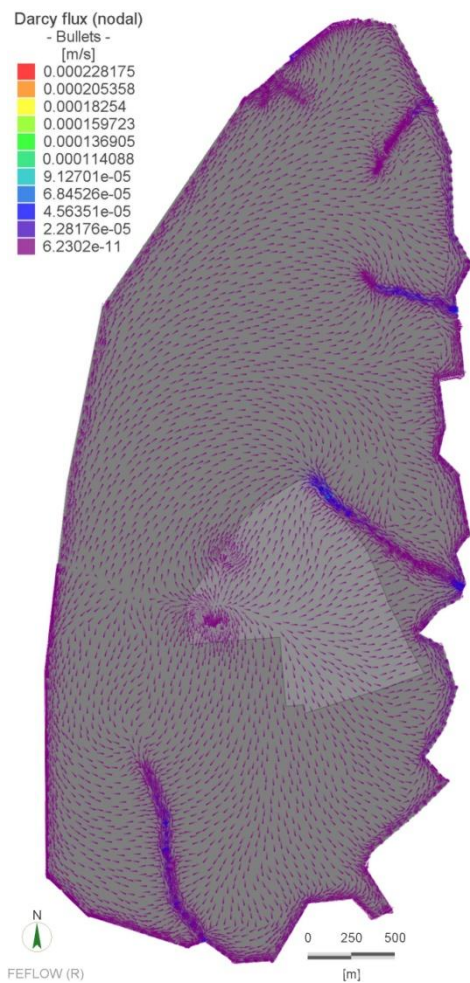


Figura 8.6a: Mapa da direção de fluxo das águas subterrâneas em cada nó da malha, velocidade em m/s (a maior densidade de flechas próximo aos poços é devido ao refinamento da malha no local).

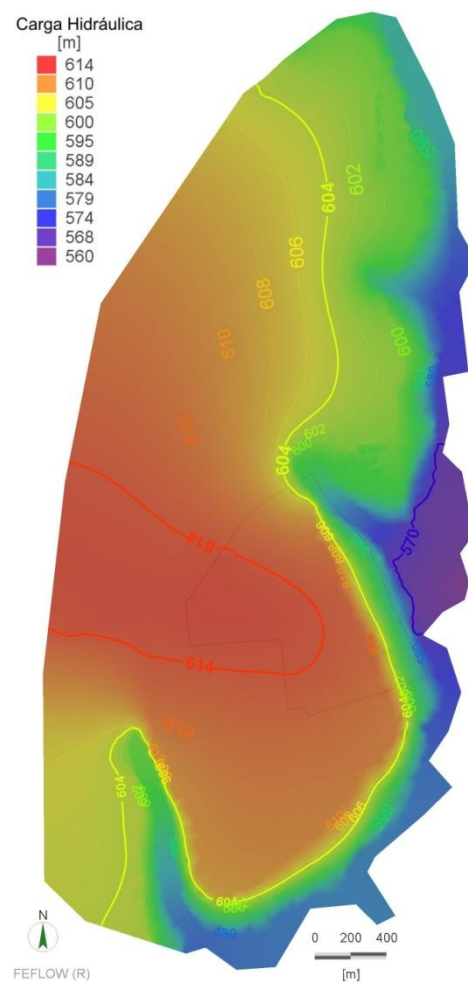


Figura 8.6b: Distribuição da carga hidráulica simulada pelo domínio. Cores quentes são valores maiores e cores frias os menores.

A Figura 8.7 traz o comportamento da superfície potenciométrica e sua relação com a topografia na área estudada num perfil AB de direção NNE.

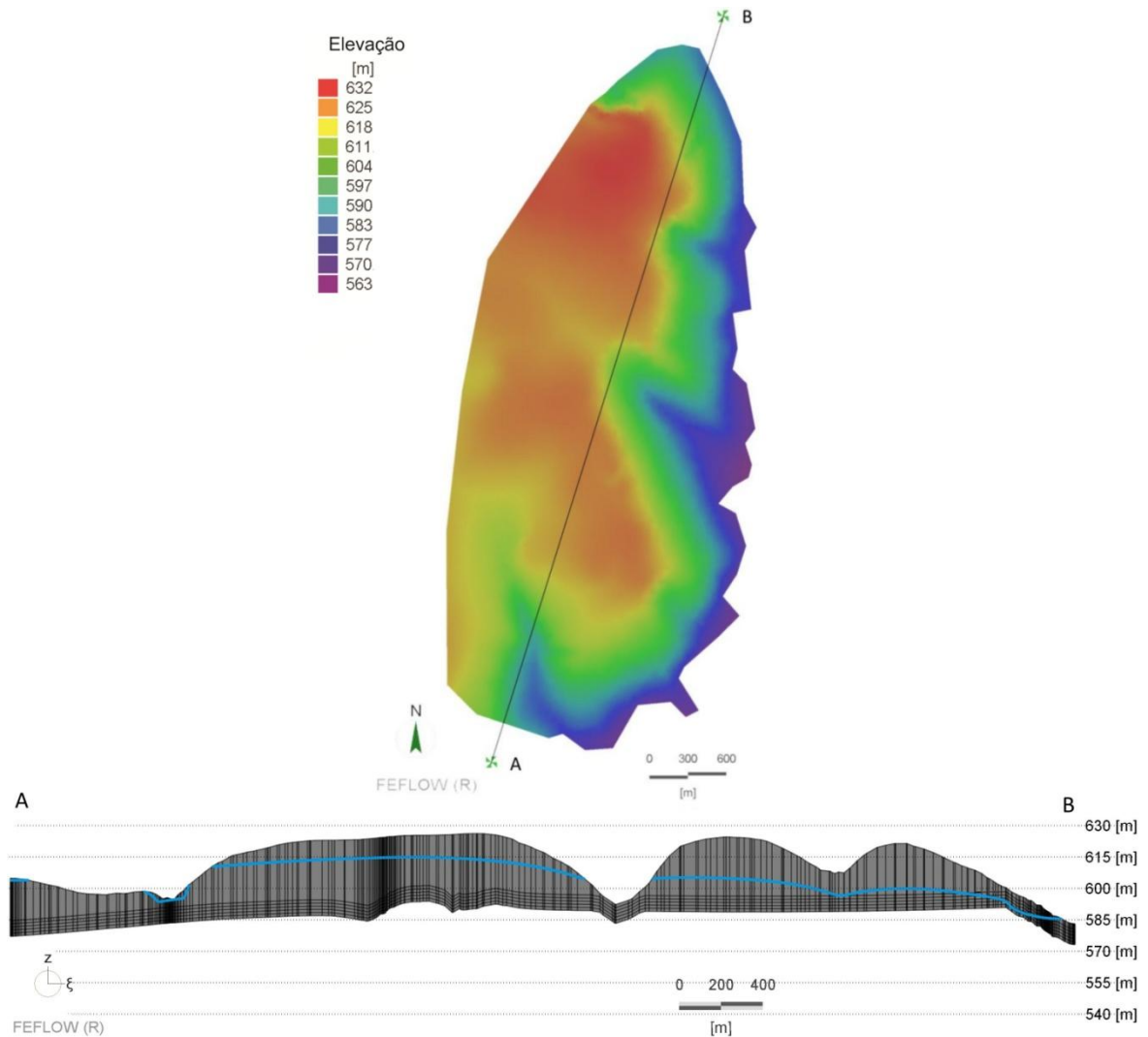


Figura 8.7: Perfil NNE da área estudada. A linha azul representa a superfície potenciométrica simulada (exagero vertical 10x). A vista em planta apresenta a topografia da área.

A projeção de traçadores (*streamlines*) no modelo, permite a visualização do curso e do tempo que uma partícula leva de um ponto a outro dentro do domínio simulado. Esta ferramenta é de grande auxílio na interpretação do período de residência da água dentro do aquífero. Com a projeção de traçadores, partindo da principal área de recarga, obtivemos a resposta que pode ser observada na Figura 8.8, de um tempo aproximado de 5000 dias do ponto inicial até as drenagens.

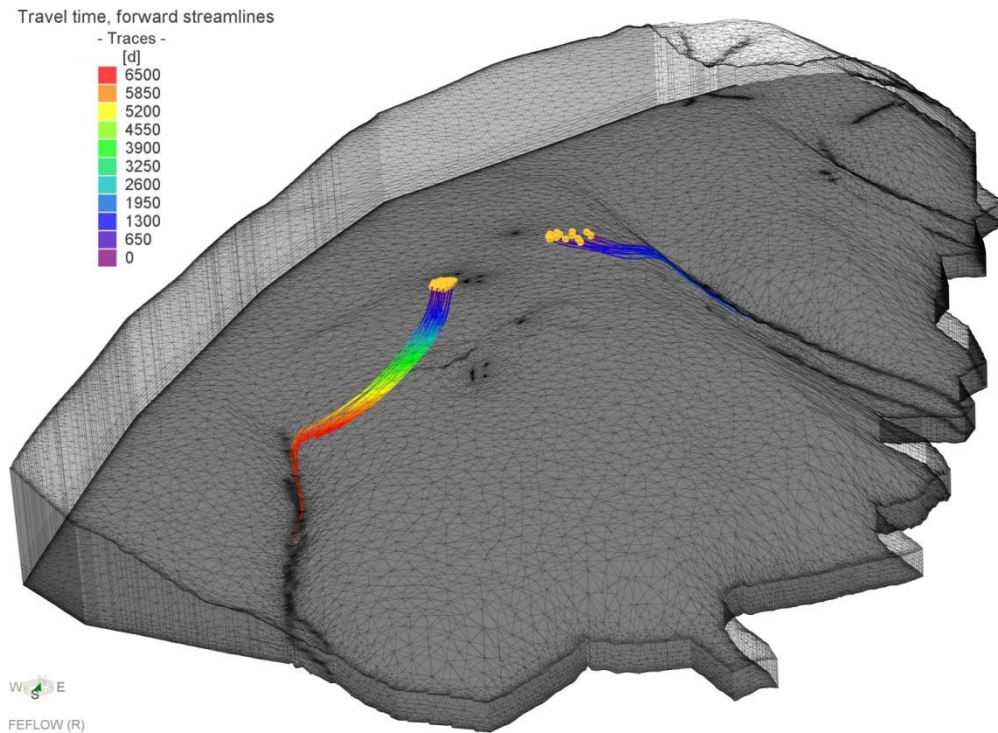


Figura 8.8: Projeção do traçado de partículas e o tempo, em dias, do percurso até as zonas de descarga mais próxima segundo direção do fluxo da água subterrânea. As cores mais frias representam menos dias enquanto as mais quentes mais dias (exagero vertical 8x).

8.2.4. Recarga

As zonas de recarga do modelo foram definidas a partir do uso e/ou ocupação do solo da área de estudo, como explícito na Tabela 8.3.

Tabela 8.3: Valores de recarga adotados para o domínio simulado após calibração.

Uso e/ou ocupação do solo	Característica	Valores adotados
Área urbana	Terreno impermeabilizado com poucas áreas descampadas e/ou solo exposto.	Redução de 70% no valor de recarga de áreas descobertas.
Plantação de Eucalipto	Altas taxas de evapotranspiração no local.	Valores nulos de recarga.
Áreas com altos declives	Predominância de escoamento superficial e quase nenhuma infiltração.	Valores nulos adotados para declives maiores que 8%.
Fm. Corumbataí	Litotipos argilo siltosos. Infiltração baixa ou nula.	Valores nulos adotados para áreas com este litotipo aflorante.

Através da Figura 8.9 nota-se que a principal área de recarga do aquífero são áreas aplainadas e descobertas situadas dentro do campus. Nas áreas urbanas não foram impostos

valores nulos pela existência de locais não pavimentados, enquanto que em áreas com eucaliptos foram adotados valores nulos pela alta taxa de evapotranspiração. Estimativas de evapotranspiração de cultura de eucalipto apontam para valores de até 340 mm/a na região de Piracicaba (LIMA & FREIRE, 1976 apud PAULA LIMA, 2008).

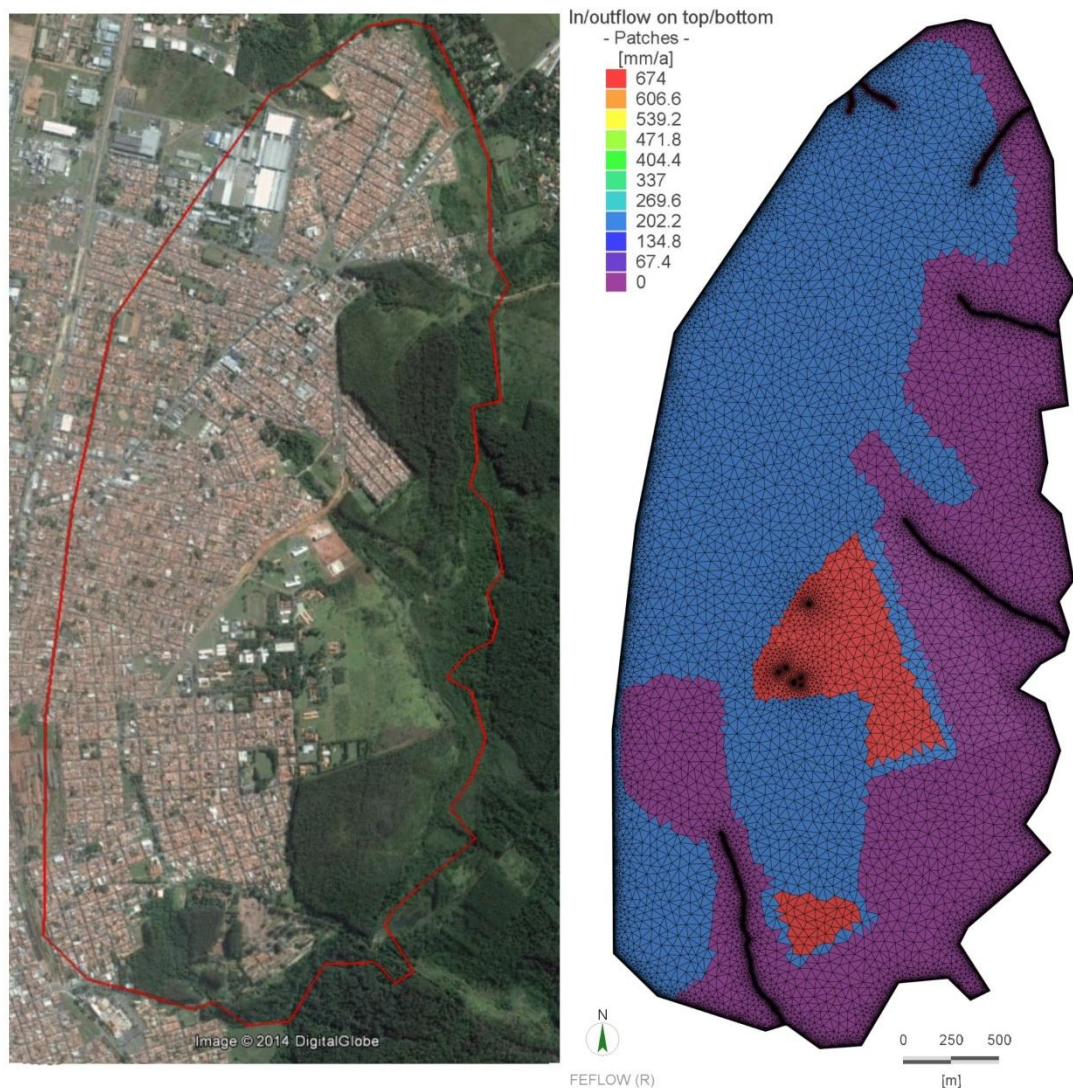


Figura 8.9: Distribuição das diferentes zonas de recarga, segundo características de uso e cobertura do solo, geologia e geomorfologia do local. À direita, a distribuição das zonas pelo domínio.

8.2.5. Balanço de fluxo

O balanço final de fluxo segue a premissa de que num modelo em regime estacionário, a quantidade de água que entra deve ser igual ao que sai, seguindo a lei de conservação de massas. Assim, um modelo estacionário ideal apresenta balanço de fluxo nulo quando

calibrado. Após a simulação, foram obtidos os seguintes valores de balanço hídrico, Figura 8.10.

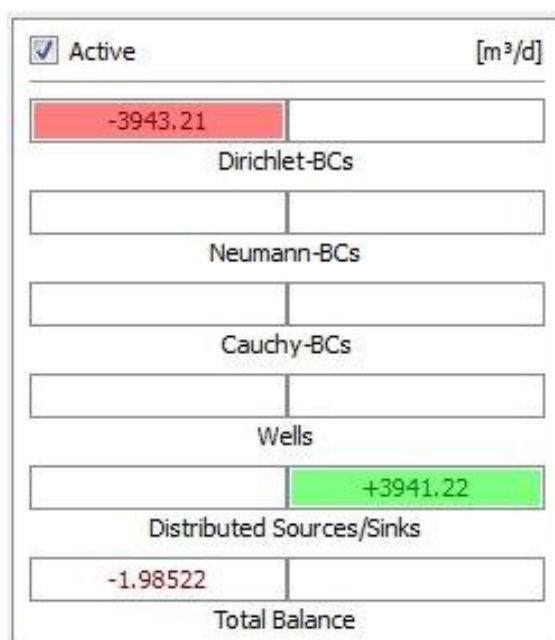


Figura 8.10: Balanço hídrico após a simulação em regime estacionário, valores em m³/dia.

O volume de água que sai pelas drenagens é de 3943,21 m³/d. O volume de água que infiltrou no modelo foi de 3941,22 m³/d, provindo unicamente de águas pluviais. O balanço total do modelo foi de -1,98522 m³/d, representando menos de 0,06% de todo o volume de água do modelo, podendo ser desconsiderado.

Com base nas médias pluviométricas para a região, por volta de 1400 mm/a, a razão Recarga/Precipitação calculada para a área modelada foi de 10,5%. Isso indica a porcentagem de água de chuvas que atinge a zona saturada do aquífero.

8.2.7. Conclusões

Mesmo com as incertezas que persistem sobre a área, com os resultados obtidos, afirma-se que o modelo é representativo da porção do aquífero local e passível de uso para a modelagem em regime transiente.

As variações existentes entre o modelo e o sistema real podem ser explicadas por:

1. Heterogeneidade litológica local, o que dificulta a representação fiel do arcabouço geológico, mascarando alguns parâmetros e processos do aquífero, como por exemplo, a dimensão e a real colocação dos corpos de diabásio existentes na área e a própria litologia da Fm. Rio Claro;
2. Falta de dados diretos, uma vez que poucos dados diretos estão disponíveis, sendo os de grande maioria usados na pesquisa dados indiretos, como dados de ensaios geofísicos;
3. Acerca das diferenças existentes entre os valores de carga hidráulica observados e computados nos poços de monitoramento, tal diferença pode ser explicada pela geologia local de cada poço, uma vez que a estruturação da formação originou lentes dispersas de argilas, as quais alçam a franja capilar existente no aquífero a níveis mais rasos, elevando também as medidas de NA local. Tal disparidade ainda pode ser explicada pela proximidade entre os poços de monitoramento e poços de bombeamento do campus, que podem interferir na medida do NA, além da existência de um baixo gradiente hidráulico na área, fatores que dificultam na calibração da carga hidráulica nessa região;

Em relação à modelagem é possível fazer afirmativas acerca de que:

1. Após a calibração, os valores obtidos de condutividade hidráulica para ambas as formações estão em conformidade com os valores observados em estudos anteriores;
2. Na região dos poços, foi possível um valor de condutividade hidráulica baseado nos testes *SLUGS* realizados e nas amostras coletadas. Tais valores demonstraram-se corente após a calibragem. Os poços PM-06, PM-07 e PM-EF apresentaram valores mais baixos de *K* se comparados com o restante da formação. Tal fato pode ser explicado pela maior expressividade de lentes de argilas presentes em suas seções.
3. O fluxo da água subterrânea tem sentido geral SE, localmente direcionada às drenagens existentes na área e delimitada pelas porções do topo da Fm. Corumbataí abaixo. É possível que as heterogeneidades litológicas influenciem no fluxo de forma local;
4. A surgência de água abaixo da linha do contato entre as formações é explicada pela alteração do horizonte superior da formação sotoposta, o que permite o fluxo

de água por fraturas e bolsões de areia até a parte impermeável da mesma, onde se dá o aparecimento de nascentes na área;

5. O tempo de residência da água nesta porção do aquífero varia com sua proximidade das áreas de descarga, sendo que das áreas de recarga às zonas de descarga, o tempo médio de percurso foi estimado em 5000 dias, aproximadamente 13,5 anos, fato ainda não apurado.
- 6.

8.3. Modelagem em Regime Transiente

A simulação em regime transiente faz uso dos mesmos parâmetros usados para a modelagem em regime permanente, além das condições finais obtidas desta como condições iniciais. Há, porém, uma gama de outros parâmetros que devem ser considerados em adição para tal simulação, como:

1. Localização precisa de poços de bombeamento;
2. Cavidades, sumidouros ou estruturas similares devem ser representados;
3. Parâmetros de armazenamento específico e porosidade efetiva dos pacotes rochosos.

A simulação dependente do tempo teve como ponto de partida o grupo de valores de carga hidráulica obtidos pela simulação em regime estacionário, representativo do dia nove (9) de Setembro de 2013. A partir desta data, fez-se a simulação pelo período de um ano.

A simulação em regime transiente é efetuada em intervalos de tempo (*time-steps*) que podem ser constantes ou não. O intervalo de tempo para a presente modelagem foi estipulada de tal forma que concordasse com o mesmo intervalo de observação do NA dos poços de monitoramento, para que assim pudesse ser feita a correlação entre os valores observados e calculados pela simulação.

Os parâmetros hidrogeológicos, tais como condutividade hidráulica, porosidade e armazenamento específico, e as condições de contorno do modelo foram mantidos constantes durante toda a simulação. O único parâmetro modificado ao longo do tempo foi a recarga.

O suprimento de água do campus provém de poços que exploram água do aquífero Rio Claro dentro da própria instituição. Três poços se encontram em atividade para o abastecimento e, a fim de checar a influência de tais bombeamentos no balanço hídrico final do modelo e no fluxo das águas subterrâneas, eles foram inseridos na simulação em regime

transiente. Suas taxas de exploração média mensuradas em campo e suas localizações estão sumarizadas na Tabela 8.4.

Tabela 8.4: Poços em funcionamento dentro do campus da UNESP inseridos no modelo.

Poço	X	Y	Z	Vazão (m³/dia)
PM-05	237682.559	7521063.568	624.5	3
PM-08	237562.485	7520979.284	622.3	25
PM-09	237575.850	7521211.140	623.3	100

8.3.1. Carga Hidráulica

A comparação da variação carga hidráulica observada nos poços e computada pelo software foi o meio de correlação da simulação em regime transiente. O comportamento da carga hidráulica simulada é apresentado na Figura 8.11.

Através da comparação gráfica fica claro que o modelo foi apto a representar a dinâmica e as flutuações do NA no período simulado.

Devido às simplificações impostas ao modelo, pequenas nuances como discretas flutuações do NA não são passíveis de serem representadas. Essas pequenas flutuações não tem grande influência para o resultado final e podem ser explicadas, por exemplo, pela curta distância de poços de bombeamento, influências atmosféricas ou mesmo particularidades geológicas.

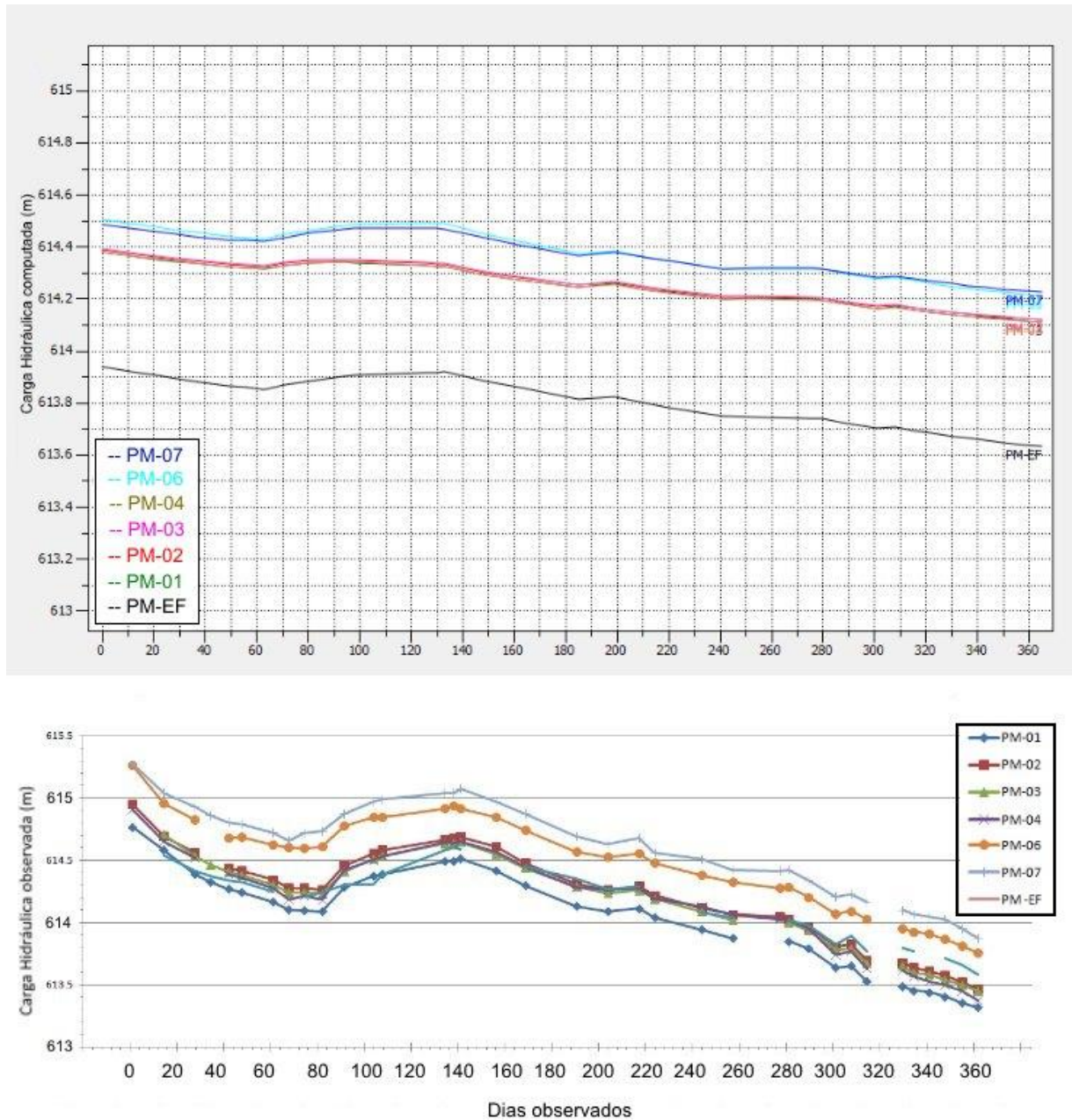


Figura 8.11: Comparação entre os gráficos da carga hidráulica simulada pelo modelo (acima) e a observada nos poços de monitoramento (abaixo) ao longo do ano.

A Tabela 8.5 apresenta os valores de carga hidráulica obtidos no último *time-step* da simulação, em comparação com os valores reais mensurados nos poços, além das diferenças entre eles.

Tabela 8.5: Valores de carga hidráulica para o último estágio simulado em comparação com os valores reais mensurados nos poços para o mesmo período e as diferenças entre eles.

Poço	Carga Hidráulica observada (m)	Carga Hidráulica computada (m)	Diferença (m)
PM-01	613,316	614,1324	0,8020
PM-02	613,461	614,1351	0,6590
PM-03	613,451	614,1256	0,6600
PM-04	613,375	614,1232	0,7330
PM-06	613,753	614,2316	0,4570
PM-07	613,872	614,2418	0,3520
PM-EF	613,769	613,6572	-0,1390

As cargas hidráulicas simuladas apresentam valores maiores que os reais, denotando uma menor queda do NA simulado no período. A maior diferença se encontra no poço PM-01, de 80,0 cm, enquanto o poço PM-EF apresentou a menor disparidade nos valores, de apenas 13,9 cm.

Ao longo de um ano, nota-se que o valor do RMS normalizado apresentou um aumento, enquanto o índice de determinação R^2 diminuiu. Isso aponta para a existência de incertezas ou baixo controle em alguns dos parâmetros de entrada no modelo, que pode mostrar-se instável. A Figura 8.12 apresenta a comparação dos valores para o último *time-step* simulado. O RMS obtido para o último estágio simulado foi de 0,58, enquanto seu valor normalizado para a modelagem foi de 58%.

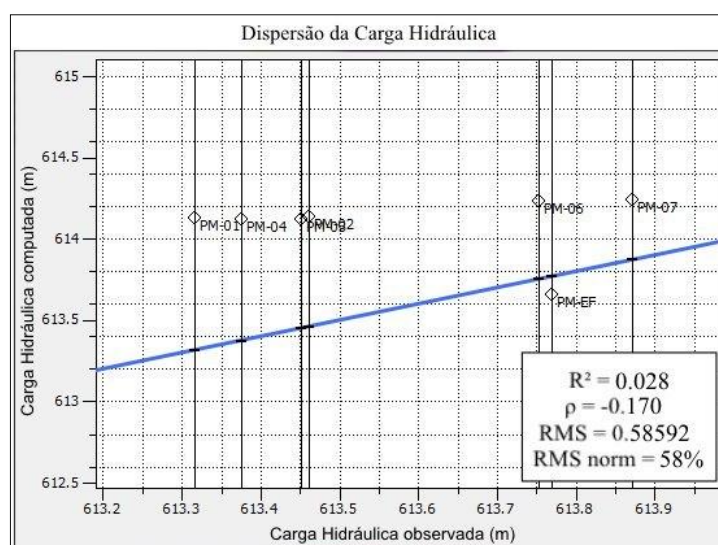


Figura 8.12: Gráfico da dispersão da carga hidráulica calculada e observada para o último estágio (*time-step*) simulado; os respectivos índices de determinação e correlação R^2 e ρ , valor de RMS e RMS normalizado. A reta azul representa a reta de referência, na qual não haveria diferenças entre os valores.

Apesar destas disparidades, entende-se que o resultado é considerado admissível devido às características ímpares do aquífero em questão como, por exemplo, a vasta distribuição de porções de baixa condutividade hidráulica pelo domínio, como lentes argilosas e intrusões de diabásio, e ainda sua distribuição espacial geométrica, com espessuras variáveis e contatos difusos entre ela e outras unidades da área.

Além deste fato, a proximidade dos poços de monitoramento e os poços que se encontram em atividade é um fator de grande dificuldade para a calibração do modelo, uma vez que suas áreas de influência podem envolver os poços monitorados.

8.3.2. Armazenamento Específico e Porosidade Efetiva

Assim como o parâmetro de condutividade hidráulica, os valores de armazenamento específico e de porosidade efetiva foram obtidos pelo método de tentativa e erro,

Após calibração, a Fm. Rio Claro apresentou um valor de S_y abaixo do normal quando comparada aos de litologias semelhantes, Tabela 8.6.

Tabela 8.6: Valores de armazenamento específico e porosidade efetiva, obtidos após calibragem do modelo em regime transiente.

Unidade	Armazenamento Específico	Porosidade efetiva
Fm. Rio Claro	0,1	0,2
Fm. Corumbataí	0,05	0,05

Tal fato é explicado pela presença de multicamadas de argilas na formação que, por serem consideravelmente espessas, diminuem o valor médio ponderado do parâmetro, reduzindo conseqüentemente o volume do aquífero. Esse fato pode ser explicado pela seção do furo de sondagem SP-04 analisado, Figura 8.13:

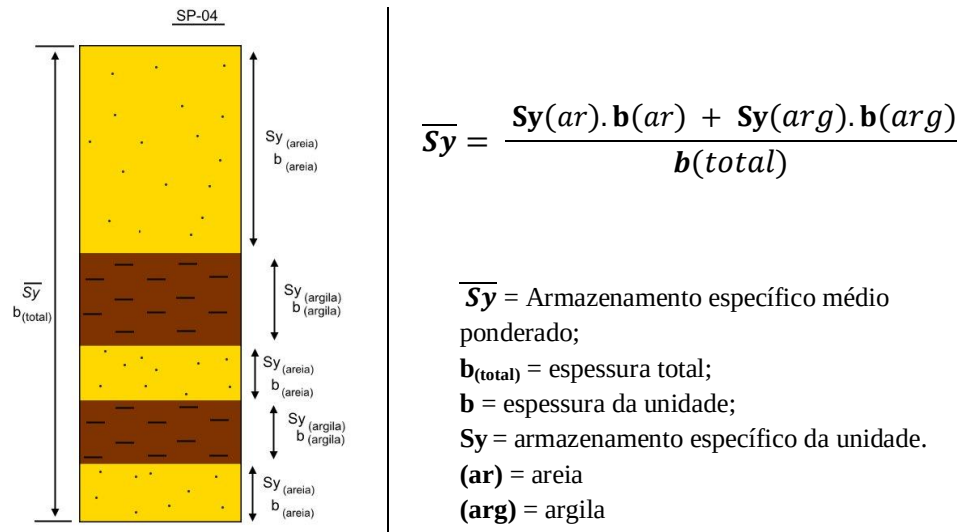


Figura 8.13: Análise do armazenamento específico médio ponderado para o furo de sondagem SP-04.

É observado que no furo, as camadas argilosas representam aproximadamente 36% de toda a seção. Essa proporção de argila diminui o parâmetro de Sy em quase 65%, acarretando num aquífero com um menor volume efetivo de água.

Assim, é estimado que o volume efetivo do aquífero seja menor que o estipulado no início da modelagem. A Figura 8.14 traz uma ilustração de como poderia ser entendido essa característica numa escala regional.

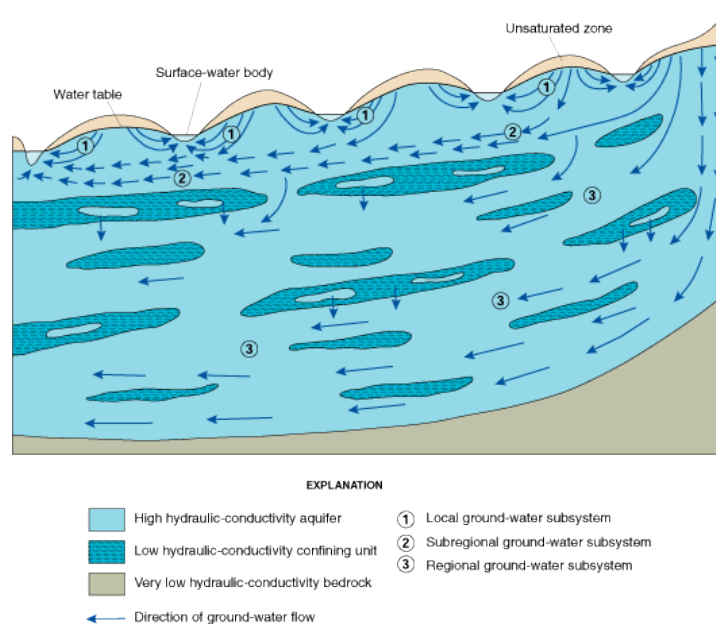


Figura 8.14: Esquema ilustrativo da distribuição de porções de baixa condutividade hidráulica (em azul escuro) num aquífero livre sedimentar. (Modificado de SUN, 1986).

8.3.3. Recarga

A recarga foi o principal parâmetro modificado durante a calibragem do modelo em regime transiente. O período de recarga do aquífero, entre os meses de novembro e janeiro é representado pela ascensão do NA. Neste período, o volume de água que alimentou o aquífero foi de 229515 m³.

Este valor é representante de aproximadamente 58% de todo o volume de água de chuvas que entrou no aquífero durante o ano simulado (393664 m³) como explícito na seção seguinte, balanço de fluxo. Outras pequenas ascensões do NA podem ser observadas nos gráficos. Em tais períodos a recarga também ocorreu, porém, de forma mais discreta. A Figura 8.15 apresenta a distribuição da recarga aplicada no modelo em relação com a precipitação diária medida para o mesmo período.

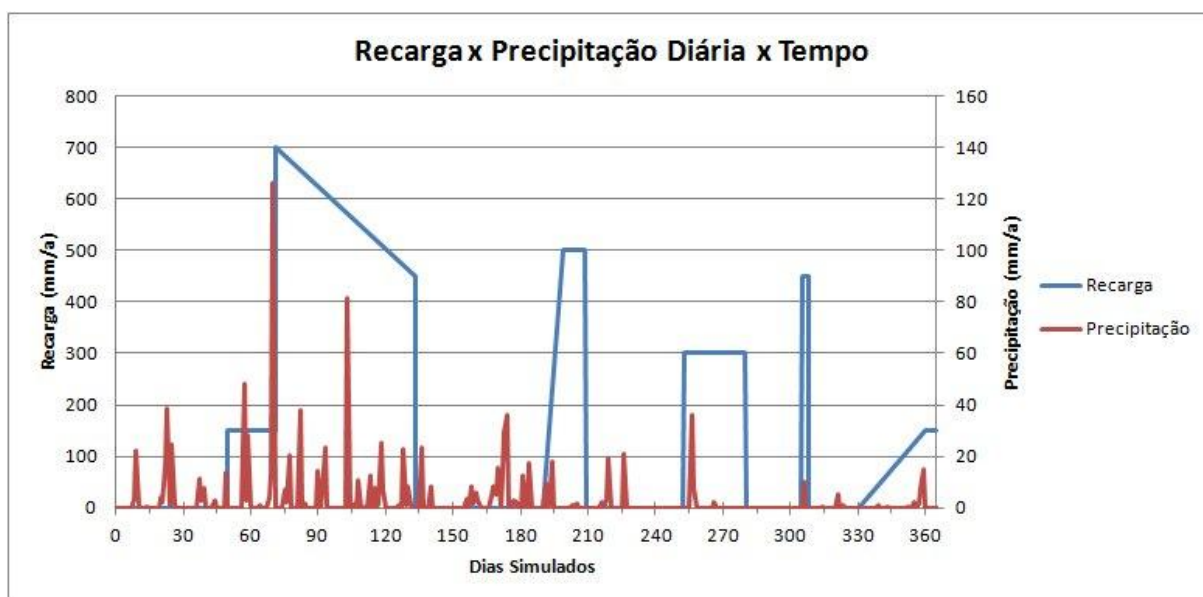


Figura 8.15: Gráfico da relação da recarga aplicada ao modelo, associada às taxas pluviométricas diárias registradas no período.

A relação Recarga/Precipitação para a simulação em regime transiente foi de aproximadamente 13 %. Isso significa que os 87% restantes da água de chuva saem por evapotranspiração, por escoamento superficial ou ficam retidas na zona não saturada do solo e não atingem o topo da zona saturada.

8.3.4. Balanço de Fluxo

O balanço total de fluxo após a simulação em regime transiente aponta a entrada ou saída de água do sistema ao fim do período simulado. O balanço total obtido foi de -3774770 m^3 e o sinal negativo indica que houve a saída de água do sistema ao fim do período de um ano de simulação, Figura 8.16.

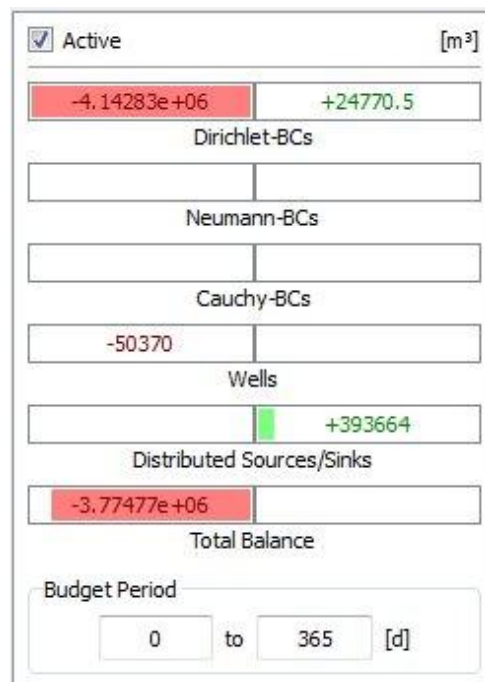


Figura 8.16: Balanço de fluxo final do modelo em regime transiente, após 365 dias de simulação. Os valores são expressos em m^3 .

O total de água que entrou nesta porção modelada do aquífero foi de 418434.5 m^3 . Aproximadamente 95% do volume que entrou são de águas pluviais (393664 m^3). A contribuição dos rios para o aquífero é de menos de 5% do total (24770.5 m^3).

A quantidade total de água que saiu desta porção do aquífero foi de 4193200 m^3 , sendo que 98,8% (4142830 m^3) consistem na saída de água pelas drenagens. O restante é retirado pelos poços de bombeamento, 50370 m^3 .

8.3.5. Simulações e Análise de Sensibilidade

Foram gerados cenários hipotéticos para comparação da resposta do modelo às mudanças aplicadas nos parâmetros selecionados. As mudanças foram aplicadas na recarga, de forma a representar uma diminuição nas taxas pluviométricas e nos parâmetros de porosidade, armazenamento específico, taxa de exploração dos poços em atividade no campus, de forma separada para cada parâmetro.

Foi aplicada uma variação de 100% nos poços e de 20% nos demais parâmetros. O meio de comparação para a análise de sensibilidade do modelo foi a observação entre o RMS obtido no último *time-step* do modelo calibrado e o novo RMS obtido com o parâmetro modificado, através do Coeficiente de Sensibilidade, expresso pela equação (8.1):

$$S = \frac{|\Delta h|}{\left| \frac{\Delta p}{P} \right|} \quad \begin{array}{l} S = \text{Coeficiente de Sensibilidade} \\ \Delta h = \text{Variação observada do RMS} \\ \Delta p = \text{Variação do parâmetro de entrada} \\ P = \text{Parâmetro inicial de entrada} \end{array} \quad (8.1)$$

O coeficiente de sensibilidade é um número adimensional que aponta quão sensível o modelo é à mudança no parâmetro de entrada. Quanto maior o valor calculado, mais o modelo é dito sensível àquela mudança. Os resultados adquiridos após a análise estão explícitos na Tabela 8.7.

Tabela 8.7: Coeficiente de Sensibilidade obtido após mudanças nos parâmetros de entrada do modelo.

Parâmetro	RMS original	RMS alterado	Coeficiente de Sensibilidade, S
Porosidade efetiva	0,58592	0,60672	0,1040
Recarga	0,58592	0,61304	0,1356
Armazenamento específico	0,58592	0,63560	0,2484
Poços em atividade (100% de aumento)	0,58592	0,65176	0,2957

Uma alteração de 20% na taxa de exploração dos poços não resultou em significativas mudanças pelo modelo, logo, o parâmetro foi modificado em 100% para obtermos um melhor panorama da mudança. Pela tabela, fica claro que o parâmetro “armazenamento específico” é o que mais altera o resultado da simulação se aplicada uma variação de 20%, sendo este o parâmetro mais sensível do modelo, agregando um maior número de incertezas. Isso é coerente com a simulação, uma vez que foi esta a maior simplificação imposta ao modelo, fato já explicado na seção 8.3.2.

8.3.6. Conclusões da Modelagem em Regime Transiente

Com a simulação em regime transiente concluída, são feitas as análises sobre o balanço de fluxo final e também sobre a análise de sensibilidade do modelo aos parâmetros de entrada.

A representação da queda geral do NA após um ano foi possível no modelo, mesmo com as simplificações impostas.

Tas simplificações comprovaram que um menor valor no armazenamento específico corresponde a uma melhor representação do comportamento do NA pelo modelo, indicando um menor volume de água para o mesmo. Além disso, é possível afirmar que o armazenamento específico é o parâmetro mais sensível do modelo. Alterações no valor deste parâmetro acarretam amplas modificações no modelo.

Os poços em atividade não oferecem grande influência no fluxo das águas subterrâneas na área, mas somente de forma local. Vale ressaltar que suas taxas de exploração foram constantes no modelo, logo, esta simplificação pode implicar em diferenças não representadas na simulação. Com o valor de suas taxas de exploração dobradas, o modelo apresenta um aumento de 7% na perda de água total e o RMS da simulação muda consideravelmente.

As velocidades de fluxo também não sofreram alterações durante a simulação, sendo ligeiramente maiores próximas aos poços que se encontram em atividade e também nas drenagens.

9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A modelagem é entendida como uma ferramenta para a melhor compreensão de um sistema. Podemos inferir que a presente modelagem foi de grande auxílio para a identificação de incertezas acerca do aquífero em questão, além de aprimorar seu entendimento e auxiliar no estabelecimento de critérios para um melhor gerenciamento.

Após as modelagens em regime estacionário e em regime transiente desta porção do aquífero Rio Claro, foram obtidas informações acerca da direção do fluxo das águas subterrâneas na região, bem como valores de condutividade hidráulica e armazenamento específico, taxas de velocidades e balanço hídrico.

O sistema natural modelado ainda carece de dados adicionais para seu perfeito entendimento, contudo, após as simulações realizadas, é possível firmar a compreensão sobre alguns pontos e sobre suas características e dinâmica, elencadas a seguir:

1. O aquífero é sedimentar de caráter livre e está somente sob pressão atmosférica. O fluxo das águas subterrâneas é regido pela diferença de carga hidráulica, que coincide com topografia local, com sentido SSE. De forma local, o fluxo tem direção às drenagens mais próximas ou mesmo poços de bombeamento. Entende-se também que, limitadamente, há a existência de fluxos com direções diversas devido às heterogeneidades presentes;
2. A litologia da Fm. Rio Claro, de sistema deposicional fluvio-meandrante apresenta o maior desafio à modelagem, havendo escalas de heterogeneidades complexas de serem fielmente representadas, necessitando de simplificações para sua melhor reprodução. Entretanto, com o modelo calibrado da área, foi possível responder aos objetivos propostos;
3. A recarga do aquífero é provinda de águas pluviais (95%) com uma ínfima contribuição dos rios (5%). A área do campus representa a área de recarga desta porção do aquífero, com áreas planas de baixíssimo gradiente hidráulico e não pavimentadas. Nas áreas urbanas também ocorre a recarga do aquífero, porém de forma mínima por apresentarem vastas áreas impermeabilizadas;
4. O balanço final de fluxo foi apropriadamente calculado. Com o fim de um ano de simulação, o balanço apontou para a perda de água do aquífero pelas drenagens (aprox. 98%) e pelos poços de bombeamento (aprox. 1%);

5. Com o modelo, é possível afirmar que, se os regimes pluviométricos e hidrológicos se mantiverem como o simulado, o contínuo rebaixamento do NA e até mesmo a possível depleção do aquífero podem ocorrer;
6. A calibragem do modelo foi atingida pelo método de “tentativa e erro” de forma que, ao final do processo, foram checados os valores dos parâmetros obtidos com valores da bibliografia e de estudos anteriores, estando ambos em conformidade;
7. Na região dos poços, foi possível um valor de condutividade hidráulica baseado nos testes *SLUGS* realizados e nas amostras coletadas. Tais valores demonstraram-se corente após a calibragem. Os poços PM-06, PM-07 e PM-EF apresentam valores mais baixos de *K* se comparados com o restante da formação. Tal fato pode ser explicado pelas expressivas lentes de argilas presentes em suas seções;
8. A porcentagem e ampla distribuição das porções argilosas dentro da Fm. Rio Claro são responsáveis por uma diminuição no volume efetivo do aquífero, uma vez que o armazenamento específico e a porosidade efetiva caem de forma notável com o aumento das mesmas;
9. O modelo é mais sensível às mudanças aplicadas no parâmetro de armazenamento específico, acarretando significativas diferenças nas simulações e nos resultados com tais mudanças.
10. A simulação de um aumento na taxa de exploração dos poços em atividade afetou o modelo de forma significativa. Isso demonstra que uma duplicação na demanda de água no campus seria um fator de significativo impacto ao aquífero.

Mesmo após a calibração, algumas discrepâncias permaneceram entre os valores observados e computados pelo software. Tais diferenças podem ser sanadas com a alimentação e pesquisas adicionais referentes ao aquífero, como:

1. Instalação de poços adicionais de monitoramento e piezômetros para checagem de nível de água, além de infiltrômetros para melhor compreensão do tempo de infiltração da água até o aquífero e do parâmetro recarga como um todo;
2. Novas campanhas de campo com finalidade de uma melhor descrição e aquisição de parâmetros hidrogeológicos de ambas as formações Rio Claro e Corumbataí, com foco para o detalhamento litológico existente na primeira;
3. Investigações, em toda a área, para uma melhor representatividade do arcabouço geológico, complementada por coleta de dados de forma indireta

para uma investigação mais profunda, como ensaios geofísicos para caracterização das intrusões da área.

O aplicativo FEFLOW® mostrou um desempenho elevado e eficiente, atendendo as expectativas tanto durante a modelagem, com a entrada de dados e interface, como também nos resultados após as simulações. Destaca-se que, durante a modelagem, grande parte do tempo é despendida na preparação da malha, afim de que sejam evitadas instabilidades numéricas, dando maior detalhe para áreas importantes, e também na etapa de calibragem, na qual os parâmetros de entrada são modificados de forma a obter a maior proximidade e coerência com os valores reais observados e também com o contexto geológico do modelo.

O modelo calibrado apresenta maior confiabilidade nas regiões onde se encontram os poços de monitoramento, dentro do campus da UNESP. Nesta região, a aplicabilidade do modelo para auxílio na gestão das águas subterrâneas pode ser realizada, com alta acurácia nos resultados. Nas demais áreas, como próximas as bordas do domínio simulado, contradições nos resultados ou mesmo restrições nos parâmetros de entrada podem advir, o que pode resultar numa menor acurácia do modelo.

Na escala em que o modelo foi elaborado, as simplificações impostas foram pertinentes, porém, mesmo com o resultado integrado desta pesquisa e outras de mesmo cunho para a região, incertezas permanecem ainda em questão e carecem de maiores estudos e fomentos.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAM, J. A. AND BELLOMO N. A Survey of Models for Tumor-Immune System Dynamics, Birkhauser Boston, 1997.
- ALBERTO, M.C. Fluxo da água subterrânea em sistema de encosta-rio, município de Paulínia: caracterização e simulação numérica. Dissertação de Mestrado, UNESP/IGCE/Rio Claro (SP), 117p., 2005.
- ALMEIDA, F. F. M. Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista. Bol. Instituto Geográfico e Geológico, n. 41, p. 169-263, 1964.

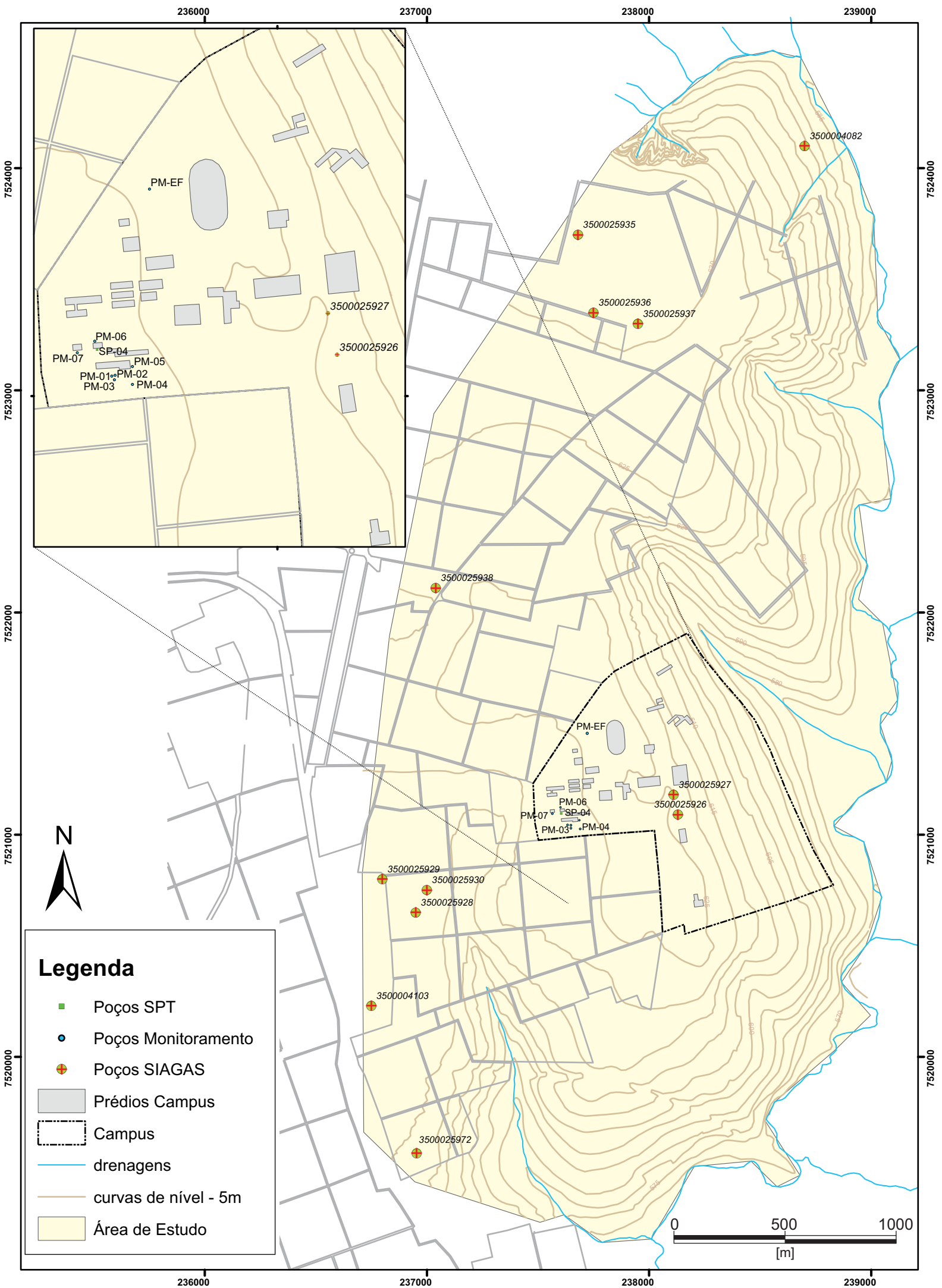
- ANDERSON, M. P. & WOESSNER, W. W. Applied Groundwater Modeling: Simulation of Flow and Advective Transport. Academic Press, Inc., 381p., London. 1992.
- BEAR, J.; M. S. BELJIN; R. R. ROSS. Fundamentals of Groundwater Modeling, in EPA Groundwater Issue, EPA/540/S-92/005, 11pp., 1992.
- BONOTTO, D. M.; MANCINI, L. H. Estudo hidroquímico e isotópico dos aquíferos de Rio Claro (SP). Geochim. Brasil, v. 2, n. 6, p. 153-167, 1992.
- CARNIER NETO, D. Análise das Séries Temporais de Monitoramento de Nível d'Água em Poços no Aquífero Rio Claro, (Dissertação de Mestrado). Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro (SP). 88 p., 2006.
- COLORADO GEOLOGICAL SURVEY – acesso online (janeiro, 2014) <http://geosurvey.state.co.us/apps/wateratlas/chapter2page2.asp>
- DURRAN, D. R. Numerical Methods for Fluid Dynamics – with applications to Geophysics. 2nd edition, New York, 511p. 2010.
- EL-KADI, A.L. Groundwater Models for Resources Analysis and Management. Florida: CRC/Lewis Pub., 1995.
- FETTER, C.W. Applied Hydrogeology. 4th edition, New Jersey, Prentice Hall, 691p. 2001.
- FOWLER, A.C. Mathematical Models in the Applied Sciences. Cambridge: CUP, 1997.
- FRANKE, O. R.; REILLY, T.E. E BENNET, G.D. Definition of Boundary and Initial Conditions in the Analysis of Saturated Ground-Water Flow Systems – An Introduction. Techniques of Water-Resources Investigations of the U.S. Geological Survey. Applications of Hydraulics, Books 3: Chapter B5, Reston, Virginia, USA, 1987.
- FREEZE, A.; J. A. CHERRY. Groundwater. Prentice Hall, Inc., Eaglewood Cliffs, New Jersey, 604 p., 1979.
- Geol 611 – acesso online (janeiro, 2014): <http://hercules.gcsu.edu/~sdata/home/teaching/hydro/lectures/darcy.html>
- KRESIC, N. 1997. Quantitative solutions in hydrogeology and ground water modelling. CRC – Lewis Publishers, Boca Ranton – New York, 461 p.
- MILANI, E. J. Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu Relacionamento com a Geodinâmica Fanerozóica do Gondwana sul-ocidental. 1997. 2

- v. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.
- OLIVA, A. Estudo hidrogeológico da formação Rio Claro no município de Rio Claro – SP. (Dissertação de Mestrado), Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro (SP). 71p, 2002.
 - OLIVA, A. Estudo Hidrofaciológico do Aquífero Rio Claro no Município de Rio Claro – SP. (Tese de Doutorado), Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro (SP). 196 p, 2006.
 - OLIVA, A. *et al*, Cálculo de Reservas Hídricas Subterrâneas do Aquífero Rio Claro Utilizando Simulação Monte Carlo, Águas Subterrâneas, v.24, n.01, p.13-30, 2010.
 - PAULA LIMA, W. de; HIDROLOGIA FLORESTAL APLICADA AO MANEJO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Departamento de Ciências Florestais, USP, Piracicaba – São Paulo, 2 ed. 253 p. 2008.
 - PEGDEN, C.D. *et al*. Introduction to simulation using SIMAN. NY: McGraw-Hill, 2nd ed, 1990.
 - PERINOTTO, J. A J. *et al*. Nova Contribuição ao Conhecimento da Formação Rio Claro (T) na Folha Rio Claro (SP), Geociências, v.25, n.3, p.297-306, 2006.
 - SELIM, A. Aquifers Properties: Specific Yield and Specific Retention, August, 2011, Egypt. (acesso online – janeiro, 2014).
 - SCHNEIDER, R. L.; MUHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R. A.; DAEMON, R. F.; NOGUEIRA, A. A. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. Anais do XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia, 1974.
 - SCHOBENHAUS, Carlos *et al* ii . Geologia do Brasil. São Paulo : Editora Olímpica, 1984.
 - Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo – acesso online (abril, 2014): <http://www.sigrh.sp.gov.br>.
 - SPITZ, K.; MORENO, J. A Practical Guide to Groundwater and Solute Transport Modeling. John Wiley & Sons, New York, 461 p., 1996.
 - STOLLBERG, R. Groundwater Contaminant Source Zone Identification at an Industrial and Abandoned Mining Site – A Forensic Backward-In-Time Modelling Approach. (Tese de Doutorado), Martin Luther University Halle-Wittenberg, Germany, 203 p. 2013.

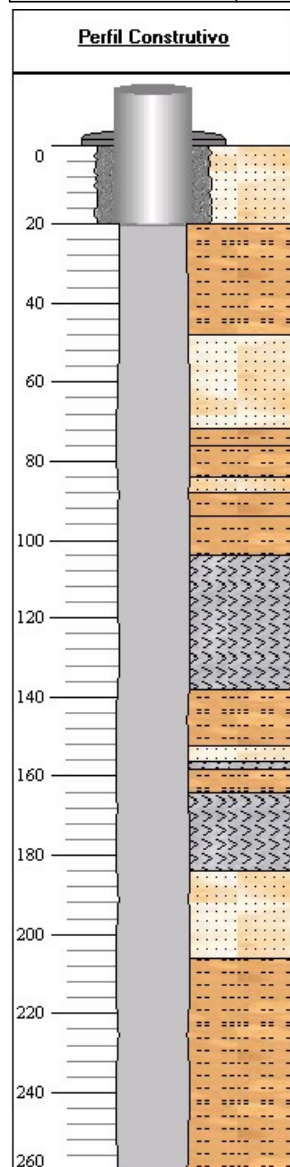
- SUN, R.J., ed., 1986, Regional Aquifer-System Analysis Program of the U.S. Geological Survey--summary of projects, 1978-84: U.S. Geological Survey Circular 1002, 282 p. (out of print).
- SÜß, M. Analysis of the influence of structures and boundaries on flow and transport processes in fractured porous media. Tese de doutorado. Universidade de Stuttgart, Alemanha. 2004.
- TERAMOTO, E. H. Simulação Numérica De Fluxo Como Subsídio ao Entendimento da Dinâmica Hidrogeológica em Área Localizada No Município de Paulínia (SP). (Trabalho de Formatura). Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro (SP). 46 p., 2004.
- TERAMOTO, E. H. Caracterização hidrogeológica e simulação numérica de fluxo em uma região situada no Distrito Industrial de Paulínia (SP). (Tese de Mestrado), Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro (SP). 95 p., 2007.
- The Academy by DHI - acesso on line (agosto, 2014): <http://www.theacademybydhi.com>.
- WANG, H. F. e ANDERSON, M. P. Introduction to Groundwater Modeling: Finite Difference and Finite Element Methods. Sand Diego, California, USA: Academic Press. 237 p., 1982.
- ZAINE, J. E. Geologia da Formação Rio Claro na folha Rio Claro (SP). (Dissertação de Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro (SP), 90p., 1994.
- ZAINE, J. E. Mapeamento Geológico-Geotécnico Por Meio Do Método Do Detalhamento Progressivo: Ensaio De Aplicação Na Área Urbana Do Município De Rio Claro (SP). (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro (SP), 149 p., 2000.
- ZAINE, J. E. ; PERINOTTO, J. A. J. ; ETCHEBEHERE, M. L. ; ROVERI, C. ; MENEGAZZO, M. ; MORALES, N. . Mapa Geológico da Folha São Carlos do Pinhal (SF-23-Y-A), na Escala 1:100.000. 2008.
- ZHENG, C., & G.D. BENNETT, 1995, Applied Contaminant Transport Modeling: Theory and Practice, Van Nostrand Reinhold (now John Wiley & Sons), New York, 440 pp.

Anexo 1

Localização dos Poços



Poço: 3500025926	UF : SP	Município : Rio claro	Localidade : AV. 24 A, 1515 - BELA VISTA
------------------	---------	-----------------------	--



Gerais

Dados Gerais:	
Nome :	SIDAS 4199 - FL.218 - POCO DAEE 13
Data da Instalação :	11/10/1989
Proprietário :	UNIV. EST. PAULISTA JULIO MESQ. F
Natureza do Ponto :	Poço tubular
Uso da água :	Outros (lazer, etc.)
Cota do Terreno :	616.00

Localização:	
Localidade :	AV. 24 A, 1515 - BELA VISTA
UTM (Norte/Sul) :	7521090
UTM (Leste/Oeste) :	238130
Latitude (GMMSS) :	222346
Longitude (GMMSS) :	473237
Bacia Hidrográfica:	
Subbacia Hidrográfica:	

Situação:	
Data :	11/10/1989
Situação :	Equipado

Construtivos

Perfuração:				
Data:	Profundidade Inicial(m)	Profundidade Final(m)	Perfurador	Método
11/10/1989	0.00	260.00		Rotativo

Diâmetro:			
De (m):	Até (m):	Polegadas	Milímetros
0.00	20.00	20	508.0000
20.00	260.00	12 7/32	311.0000

Revestimento:				
De (m):	Até (m):	Material	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)

Filtro:					
De (m):	Até (m):	Material	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	Ranhura

Espaço Anular:		
De (m):	Até (m):	Material
0.00	20.00	Cimentação

Boca do Tubo:			
Data:	Altura(m):	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)
		14	356.0000

Entrada d'água:	
Profundidade:	

Profundidade Útil:	
Data:	Profundidade:
	260.00

Geológicos
Feição Geomorfológica:

Descrição:

Formação Geológica:

Profundidade Inicial (m):

0.00

Profundidade Final (m):

260.00

Tipo de Formação:

Formacao Corumbatai

Dados Litológicos:

De (m):	Até (m):	Litologia:	Descrição Litológica:
0	20	Arenito fino	ARENITO MARROM;
20	48	Siltito	SILTITO ARROXEADO A ESVERDEADO;;
48	72	Arenito fino	ARENITO ESBRANQUICADO;
72	76	Siltito	SILTITO ESVERDEADO;
76	84	Siltito	SILTITO MARROM A MARROM ESCURO;
84	88	Arenito fino	ARENITO FINO ESBRANQUICADO;
88	94	Siltito	SILTITO ESBRANQUICADO;
94	104	Siltito	SILTITO CINZA A CINZA ESVERDEADO;
104	138	Diabásio	Diabásio
138	152	Siltito	SILTITO CINZA CARBONATICO;
152	156	Arenito fino	ARENITO CINZA ESVERDEADO;
156	158	Diabásio	Diabásio
158	164	Siltito	SILTITO CINZA ESCURO;
164	184	Diabásio	Diabásio
184	206	Arenito fino	ARENITO ESBRANQUICADO A MARROM ARGILOSO;
206	260	Siltito	SILTITO A SILTITO COM NIVEIS ARENOSOS.

Hidrogeológicos
Aquífero no Ponto:
Nível da Água:

Data:

Nível da Água (m):

Nível Medido Bombeando (S/N)?

Vazão (m3/h):

Teste de Bombeamento
Teste de Bombeamento:

Data:	Surgência:	Nível Estático (m):	Duração do Teste (h):
11/10/1989	N	32.50	
Nível Dinâmico:	Vazão Específica (m3/h/m):	Coefficiente de Armazenamento:	Vazão Livre (m3/h):
128.00	0.031		
Permeabilidade (m/s):	Transmissividade (m2/s):	Vazão Após Estabilização (m3/h):	Tipo do Teste:
		3	Rebaixamento
Método:	Unidade:		

Análises Químicas
Análises Químicas:

Data da Coleta:

Condutividade Elétrica (µS/cm):

Qualidade da Água (PT/CO):

Sabor da Água:

Qualidade da Água (Odor):

Temperatura (C°):

Turbidez (NTU):

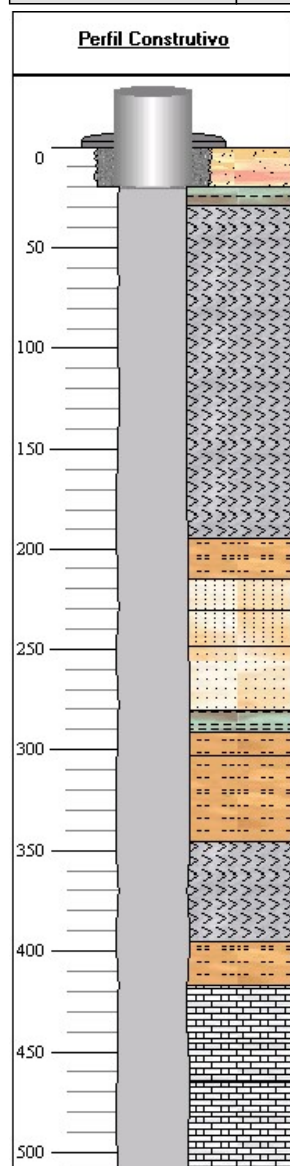
Sólidos Suspensos (mg/l):

Sólidos Sedimentáveis (mg/l):

Aspecto Natural:

Ph:

Poço: 3500025927	UF : SP	Município : Rio claro	Localidade : AV.24 A, N. 1515 - BELA VISTA
------------------	---------	-----------------------	--



Gerais

Dados Gerais:	
Nome :	SIDAS 4200 - FL.218 - POCO DAEE 14
Data da Instalação :	03/04/1998
Proprietário :	UNIV. EST. PAULISTA JULIO MESQ. F.
Natureza do Ponto :	Poço tubular
Uso da água :	Outros (lazer, etc.)
Cota do Terreno :	622.00

Localização:	
Localidade :	AV.24 A, N. 1515 - BELA VISTA
UTM (Norte/Sul) :	7521180
UTM (Leste/Oeste) :	238110
Latitude (GMMSS) :	222343
Longitude (GMMSS) :	473237
Bacia Hidrográfica:	
Subbacia Hidrográfica:	

Situação:	
Data :	03/04/1998
Situação :	Equipado

Construtivos

Perfuração:				
Data:	Profundidade Inicial(m)	Profundidade Final(m)	Perfurador	Método
03/04/1998	0.00	510.50	HV	Rotativo

Diâmetro:			
De (m):	Até (m):	Polegadas	Milímetros
0.00	20.00	20	508.0000
20.00	510.50	12 7/32	311.0000

Revestimento:				
De (m):	Até (m):	Material	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)

Filtro:					
De (m):	Até (m):	Material	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	Ranhura

Espaço Anular:		
De (m):	Até (m):	Material
0.00	20.00	Cimentação

Boca do Tubo:			
Data:	Altura(m):	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)
		14	356.0000

Entrada d'água:	
Profundidade:	

Profundidade Útil:	
Data:	Profundidade:
	510.50

Geológicos
Feição Geomorfológica:

Descrição:

Formação Geológica:

Profundidade Inicial (m):	Profundidade Final (m):	Tipo de Formação:
0.00	12.00	Terciario-quaternario
12.00	214.00	Formacao Corumbatai
214.00	291.00	Formacao Tatui
291.00	510.50	Formacao Itarare

Dados Litológicos:

De (m):	Até (m):	Litologia:	Descrição Litológica:
0	20	Solo	SOLO DE ALTERACAO SILTICO-ARGILOSO, MARROM A MARROM AVERMELHADO;
20	29	Argilito	ARGILITO E SILTITO CINZA AMARRONZADO A CINZA ESBRANQUICADO;
29	195	Diabásio	DIABASIO CINZA A CINZA AMARRONZADO, GRANULACAO FINA A MEDIA;
195	215	Siltito	SILTITO CINZA CLARO A CINZA ESCURO, COM INTERCALACOES DE CALCARIO CINZA CLARO;
215	230	Arenito muito fino	ARENITO MUITO FINO E SILTIO CINZA CLARO ESBRANQUICADO, AMARRONZADO E ESVERDEADO, COM NODOS DE CALCARIO;
230	248	Arenito muito fino	ARENITOS MUITO FINOS, SILTITOS E CALCARIOS CINZA ESVERDEADO A CINZA;
248	280	Arenito fino	ARENITO FINO A MEDIO, CINZA CLARO A PARDO, FRIAVEL, SUBANGULAR A SUBARREDONDADO, COM PEQUENOS NODOS DE CALCARIO;
280	291	Argilito	ARGILITO MARROM (CHOCOLATE) E SILTITO CINZA ESVERDEADO;
291	303	Siltito	SILTITOS E CALCARIOS CINZA CLARO A CINZA AMARRONZADO;
303	345	Siltito	SILTITOS MARROM CLARO A ACINZENTADO E CINZA CLARO, COM ALGUM CIMENTO CARBONATICO;
345	395	Diabásio	DIABASIO CINZA, GRANULACAO FINA A MEDIA;
395	417	Siltito	SILTITO CINZA E SILEXITO CINZA ESBRANQUICADO, COM INTERCALACOES DE ARENITOS;
417	465	Calcário	CALCARIOS E SILTITOS MARROM A MARROM CLARO E CINZA ESBRANQUICADO, COM INTERCALACOES DE ARENITOS;
465	510.5	Calcário	CALCARIOS E SILTITOS CINZA, COM INTERCALACOES DE ARENITOS.

Hidrogeológicos

Aquífero no Ponto:

Nível da Água:

Data:	
Nível da Água (m):	
Nível Medido Bombeando (S/N)?	
Vazão (m3/h):	

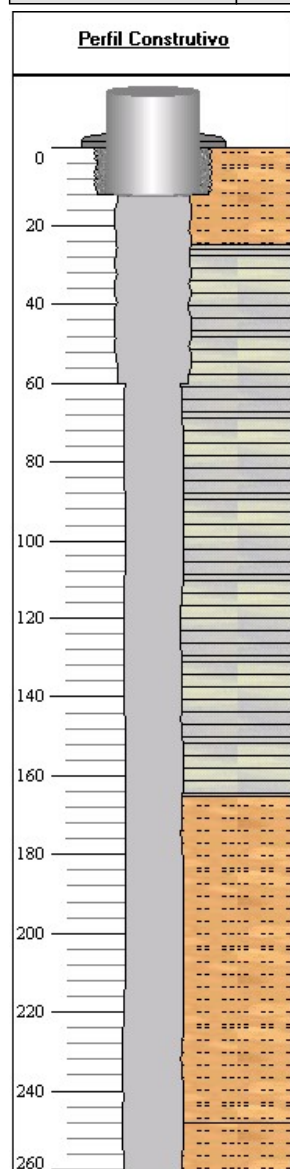
Teste de Bombeamento
Teste de Bombeamento:

Data:	Surgência:	Nível Estático (m):	Duração do Teste (h):
03/04/1998	N	142.74	
Nível Dinâmico:	Vazão Específica (m3/h/m):	Coefficiente de Armazenamento:	Vazão Livre (m3/h):
237.00	0.127		
Permeabilidade (m/s):	Transmissividade (m2/s):	Vazão Após Estabilização (m3/h):	Tipo do Teste:
		12	Rebaixamento
Método:	Unidade:		

Análises Químicas
Análises Químicas:

Data da Coleta:	
Condutividade Elétrica (µS/cm):	
Qualidade da Água (PT/CO):	
Sabor da Água:	
Qualidade da Água (Odor):	
Temperatura (C°):	
Turbidez (NTU):	
Sólidos Suspensos (mg/l):	
Sólidos Sedimentáveis (mg/l):	
Aspecto Natural:	
Ph:	

Poço: 3500025928	UF : SP	Município : Rio claro	Localidade : RUA 8-B, 1331 - VILA INDAIA
------------------	---------	-----------------------	--



Gerais

Dados Gerais:	
Nome :	SIDAS 4201 - FL.218 - POCO DAEE 15
Data da Instalação :	01/09/1982
Proprietário :	FRICOCK-FRIG.AVIC.IND.COM.LTDA
Natureza do Ponto :	Poço tubular
Uso da água :	Outros (lazer,etc.)
Cota do Terreno :	625.00

Localização:	
Localidade :	RUA 8-B, 1331 - VILA INDAIA
UTM (Norte/Sul) :	7520650
UTM (Leste/Oeste) :	236950
Latitude (GMMSS) :	222400
Longitude (GMMSS) :	473318
Bacia Hidrográfica:	
Subbacia Hidrográfica:	

Situação:	
Data :	01/09/1982
Situação :	Equipado

Construtivos

Perfuração:				
Data:	Profundidade Inicial(m)	Profundidade Final(m)	Perfurador	Método
01/09/1982	0.00	261.00	OC	Percussao

Diâmetro:			
De (m):	Até (m):	Polegadas	Milímetros
0.00	12.00	11 15/16	304.8000
12.00	60.00	8	203.2000
60.00	261.00	6	152.4000

Revestimento:				
De (m):	Até (m):	Material	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)

Filtro:					
De (m):	Até (m):	Material	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	Ranhura

Espaço Anular:		
De (m):	Até (m):	Material
0.00	12.00	Cimentação

Boca do Tubo:			
Data:	Altura(m):	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)
		10	254.0000

Entrada d'água:	
Profundidade:	

Profundidade Útil:	
Data:	Profundidade:
	261.00

Geológicos
Feição Geomorfológica:

Descrição:

Formação Geológica:

Profundidade Inicial (m):	Profundidade Final (m):	Tipo de Formação:
0.00	25.00	Formacao Corumbatai
25.00	45.00	Formacao Irati
45.00	248.00	Formacao Tatui
248.00	261.00	Formacao Itarare

Dados Litológicos:

De (m):	Até (m):	Litologia:	Descrição Litológica:
0	25	Siltito	SILTITO E ARGILITO, MARROM;
25	165	Folhelho	FOLHELHO ESCURO, MISTURADO COM FRAGMENTOS DE SILL E SILL DE DIABASIO NA BASE;
165	248	Siltito	SILTITO, ARGILITO E ARENITO;
248	261	Siltito	SILTITO ARENOSO, ARENITO GROSSEIRO.

Hidrogeológicos
Aquífero no Ponto:
Nível da Água:

Data:	
Nível da Água (m):	
Nível Medido Bombeando (S/N)?	
Vazão (m3/h):	

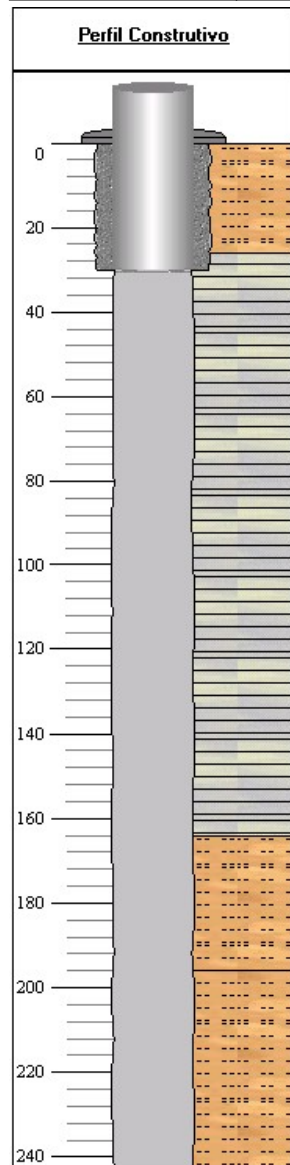
Teste de Bombeamento
Teste de Bombeamento:

Data:	Surgência:	Nível Estático (m):	Duração do Teste (h):
Nível Dinâmico:	Vazão Específica (m3/h/m):	Coefficiente de Armazenamento:	Vazão Livre (m3/h):
Permeabilidade (m/s):	Transmissividade (m2/s):	Vazão Após Estabilização (m3/h):	Tipo do Teste:
Método:	Unidade:		

Análises Químicas
Análises Químicas:

Data da Coleta:	
Condutividade Elétrica (µS/cm):	
Qualidade da Água (PT/CO):	
Sabor da Água:	
Qualidade da Água (Odor):	
Temperatura (C°):	
Turbidez (NTU):	
Sólidos Suspensos (mg/l):	
Sólidos Sedimentáveis (mg/l):	
Aspecto Natural:	
Ph:	

Poço: 3500025929	UF : SP	Município : Rio claro	Localidade : RUA 8-B, 1331 - VILA INDAIA
------------------	---------	-----------------------	--



Gerais

Dados Gerais:	
Nome :	SIDAS 4202 - FL.218 - POCO DAEE 16
Data da Instalação :	18/07/1986
Proprietário :	FRICOCK-FRIG.AVIC.IND.COM.LTDA
Natureza do Ponto :	Poço tubular
Uso da água :	Outros (lazer,etc.)
Cota do Terreno :	625.00

Localização:	
Localidade :	RUA 8-B, 1331 - VILA INDAIA
UTM (Norte/Sul) :	7520800
UTM (Leste/Oeste) :	236800
Latitude (GMMSS) :	222355
Longitude (GMMSS) :	473323
Bacia Hidrográfica:	
Subbacia Hidrográfica:	

Situação:	
Data :	18/07/1986
Situação :	Não utilizável

Construtivos

Perfuração:				
Data:	Profundidade Inicial(m)	Profundidade Final(m)	Perfurador	Método
18/07/1986	0.00	243.00	SD	Percussao

Diâmetro:			
De (m):	Até (m):	Polegadas	Milímetros
0.00	30.00	8 7/16	215.9000
30.00	243.00	6	152.4000

Revestimento:				
De (m):	Até (m):	Material	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)

Filtro:					
De (m):	Até (m):	Material	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	Ranhura

Espaço Anular:		
De (m):	Até (m):	Material
0.00	30.00	Cimentação

Boca do Tubo:			
Data:	Altura(m):	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)
		6	152.4000

Entrada d'água:	
Profundidade:	

Profundidade Útil:	
Data:	Profundidade:
	243.00

Geológicos**Feição Geomorfológica:**

Descrição:

Formação Geológica:

Profundidade Inicial (m):	Profundidade Final (m):	Tipo de Formação:
0.00	26.00	Formacao Corumbatai
26.00	164.00	Formacao Irati
164.00	243.00	Formacao Tatui

Dados Litológicos:

De (m):	Até (m):	Litologia:	Descrição Litológica:
0	26	Siltito	SILTITO E ARGILITO, MARROM
26	164	Folhelho	FOLHELHO ESCURO E ARGILITOS; SILL DE DIABASIO NA BASE;
164	196	Siltito	SILTITO, ARGILITO, ARENITO E CALCARIO;
196	243	Siltito	SILTITO, ARGILITO E ARENITO; SILL DE DIABASIO NA BASE;

Hidrogeológicos**Aquífero no Ponto:****Nível da Água:**

Data:	
Nível da Água (m):	
Nível Medido Bombeando (S/N)?	
Vazão (m3/h):	

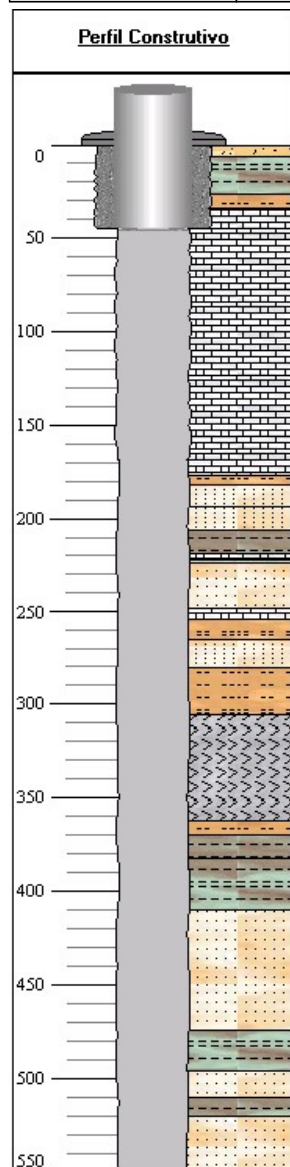
Teste de Bombeamento**Teste de Bombeamento:**

Data:	Surgência:	Nível Estático (m):	Duração do Teste (h):
18/07/1986	N	82.00	
Nível Dinâmico:	Vazão Específica (m3/h/m):	Coefficiente de Armazenamento:	Vazão Livre (m3/h):
142.00	0.139		
Permeabilidade (m/s):	Transmissividade (m2/s):	Vazão Após Estabilização (m3/h):	Tipo do Teste:
		8.33	Rebaixamento
Método:	Unidade:		

Análises Químicas**Análises Químicas:**

Data da Coleta:	
Condutividade Elétrica (µS/cm):	
Qualidade da Água (PT/CO):	
Sabor da Água:	
Qualidade da Água (Olor):	
Temperatura (C°):	
Turbidez (NTU):	
Sólidos Suspensos (mg/l):	
Sólidos Sedimentáveis (mg/l):	
Aspecto Natural:	
Ph:	

Poço: 3500025930	UF : SP	Município : Rio claro	Localidade : RUA 8-B, 1331 - VILA INDAIA
------------------	---------	-----------------------	--



Gerais

Dados Gerais:	
Nome :	SIDAS 4203 - FL.218 - POCO DAEE 17
Data da Instalação :	13/07/1996
Proprietário :	FRICOCK-FRIG.AVIC.IND.COM.LTDA
Natureza do Ponto :	Poço tubular
Uso da água :	Outros (lazer,etc.)
Cota do Terreno :	625.00

Localização:	
Localidade :	RUA 8-B, 1331 - VILA INDAIA
UTM (Norte/Sul) :	7520750
UTM (Leste/Oeste) :	237000
Latitude (GMMSS) :	222357
Longitude (GMMSS) :	473316
Bacia Hidrográfica:	
Subbacia Hidrográfica:	

Situação:	
Data :	13/07/1996
Situação :	Equipado

Construtivos

Perfuração:				
Data:	Profundidade Inicial(m)	Profundidade Final(m)	Perfurador	Método
13/07/1996	0.00	550.00	CT	Rotativo

Diâmetro:			
De (m):	Até (m):	Polegadas	Milímetros
0.00	45.00	20	508.0000
45.00	169.00	13	330.2000
169.00	550.00	12 7/32	311.1500

Revestimento:				
De (m):	Até (m):	Material	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)

Filtro:					
De (m):	Até (m):	Material	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	Ranhura

Espaço Anular:		
De (m):	Até (m):	Material
0.00	45.00	Cimentação

Boca do Tubo:			
Data:	Altura(m):	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)
		14	355.6000

Entrada d'água:	
Profundidade:	

Profundidade Útil:	
Data:	Profundidade:
	550.00

Geológicos
Feição Geomorfológica:

Descrição:

Formação Geológica:

Profundidade Inicial (m):	Profundidade Final (m):	Tipo de Formação:
0.00	26.00	Formacao Corumbatai
26.00	165.00	Formacao Irati
165.00	248.00	Formacao Tatui
248.00	550.00	Formacao Itarare

Dados Litológicos:

De (m):	Até (m):	Litologia:	Descrição Litológica:
0	6	Solo	SOLO ARGILOSO;
6	26	Argilito	ARGILITO COMPACTO, COLORACAO ARROXEADO;
26	34	Siltito	SILTITO ARENOSO, COLORACAO CINZA A PRETO, CARBONATICO;
34	165	Calcário	CALCARIO DOLOMITICO, COLORACAO CINZA ESCURO; 43-165 : SILL DE DIABASIO CINZA A PRETO;
165	177	Calcário	CALCARIO CINZA ESBRANQUICADO, COMPACTO;
177	182	Siltito	SILTITO ARENOSO, COLORACAO CINZA CHUMBO, CARBONATICO;
182	194	Arenito muito fino	ARENITO MUITO FINO,ESBRANQUICADO, COMPACTO, CARBONATICO;
194	206	Arenito muito fino	ARENITO MUITO FINO, MARROM, CARBONATICO;
206	219	Argilito	ARGILITO, COLORACAO AVERMELHADO;
219	222	Calcário	CALCARIO CINZA ESBRANQUICADO, FRIAVEL;
222	224	Argilito	ARGILITO DE COLORACAO AVERMELHADO;
224	248	Arenito fino	ARENITO FINO A MUITO FINO, ESBRANQUICADO,FRIAVEL;
248	254	Calcário	CALCARIO CINZA CHUMBO;
254	265	Siltito	SILTITO ARENOSO, CINZA CHUMBO;
265	280	Arenito muito fino	ARENITO MUITO FINO, MARROM, CIMENTADO;
280	305	Siltito	SILTITO ARENOSO, CINZA CLARO;
305	362	Diabásio	DIABASIO CINZA A PRETO;
362	370	Siltito	SILTITO ARENOSO, ESBRANQUICADO, FRIAVEL;
370	382	Argilito	ARGILITO COMPACTO, ALARANJADO;
382	410	Argilito	SILTITO ARENOSO, COMPACTO, AVERMELHADO A COMPACTO, MARROM;
410	474	Arenito fino	ARENITO FINO, MARROM ESBRANQUICADO, FRIAVEL;
474	496	Argilito	ARGILITO COMPACTO, MARROM CARBONATICO;
496	510	Arenito fino	ARENITO FINO A MEDIO, MARROM, FRIAVEL, MAL SELECIONADO;
510	520	Argilito	ARGILITO COMPACTO, MARROM, COM CONGRECOES CARBONATICAS;
520	550	Arenito fino	ARENITO FINO A MEDIO, MARROM, FRIAVEL, MAL SELECIONADO;

Hidrogeológicos
Aquífero no Ponto:
Nível da Água:

Data:	
Nível da Água (m):	
Nível Medido Bombeando (S/N)?	
Vazão (m3/h):	

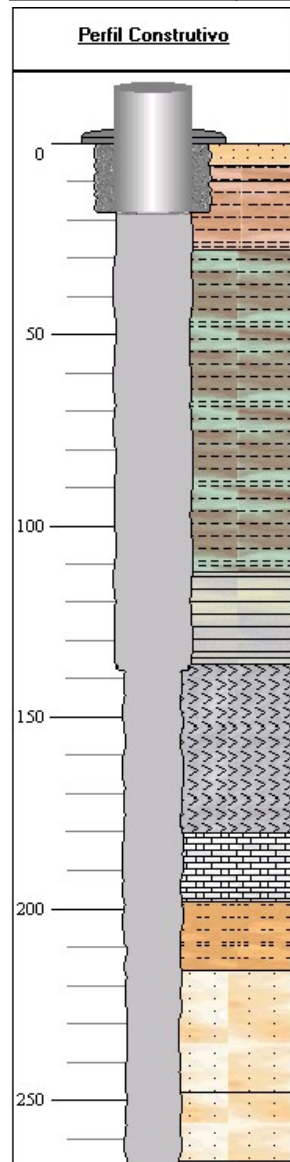
Teste de Bombeamento

Teste de Bombeamento:			
Data:	Surgência:	Nível Estático (m):	Duração do Teste (h):
13/07/1996	N	114.00	
Nível Dinâmico:	Vazão Específica (m3/h/m):	Coefficiente de Armazenamento:	Vazão Livre (m3/h):
188.05	0.535		
Permeabilidade (m/s):	Transmissividade (m2/s):	Vazão Após Estabilização (m3/h):	Tipo do Teste:
		39.6	Rebaixamento
Método:	Unidade:		

Análises Químicas
Análises Químicas:

Data da Coleta:

Poço: 3500025935	UF : SP	Município : Rio claro	Localidade : AV. 80-A, 777 - DISTRITO INDUSTRIAL
------------------	---------	-----------------------	--



Gerais

Dados Gerais:	
Nome :	SIDAS 4208 - FL.218 - POÇO DAEE 22
Data da Instalação :	28/07/1996
Proprietário :	MULTIBRAS ELETRODOMESTICO S/A
Natureza do Ponto :	Poço tubular
Uso da água :	Outros (lazer,etc.)
Cota do Terreno :	636.00

Localização:	
Localidade :	AV. 80-A, 777 - DISTRITO INDUSTRIAL
UTM (Norte/Sul) :	7523700
UTM (Leste/Oeste) :	237680
Latitude (GMMSS) :	222221
Longitude (GMMSS) :	473251
Bacia Hidrográfica:	
Subbacia Hidrográfica:	

Situação:	
Data :	28/07/1996
Situação :	Equipado

Construtivos

Perfuração:				
Data:	Profundidade Inicial(m)	Profundidade Final(m)	Perfurador	Método
28/07/1996	0.00	268.00	HR	Rotativo

Diâmetro:			
De (m):	Até (m):	Polegadas	Milímetros
0.00	18.00	20	508.0000
18.00	137.00	13 7/16	342.9000
137.00	138.00	12 15/32	317.5000
138.00	210.00	10	254.0000
210.00	268.00	9 23/32	247.6500

Revestimento:				
De (m):	Até (m):	Material	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)

Filtro:					
De (m):	Até (m):	Material	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	Ranhura

Espaço Anular:		
De (m):	Até (m):	Material
0.00	18.00	Cimentação

Boca do Tubo:			
Data:	Altura(m):	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)
		14	355.6000

Entrada d'água:	
Profundidade:	

Profundidade Útil:	
Data:	Profundidade:
	268.00

Geológicos
Feição Geomorfológica:

Descrição:

Formação Geológica:

Profundidade Inicial (m):	Profundidade Final (m):	Tipo de Formação:
0.00	28.00	Terciario-quaternario
28.00	112.00	Formacao Corumbatai
112.00	198.00	Formacao Irati
198.00	268.00	Formacao Itarare

Dados Litológicos:

De (m):	Até (m):	Litologia:	Descrição Litológica:
0	6	Solo areno-argiloso	SOLO CASTANHO, ARENO ARGILOSO
6	10	Argila	ARGILA CASTANHA AVERMELHADA, ARENOSA 20%
10	28	Argila	ARGILA AMARELA,POUCO ARENOSA 15% A ARGILA AMARELA, POUCO SILTOSA
28	112	Argilito	ARGILITO VERMELHO A ARGILITO ROXO,APRESENTANDO ESTRUTURA PLANO PARALELA
112	136	Folhelho	FOLHELHO NEGRO
136	180	Diabásio	DIABASIO MACICO
180	198	Calcário	CALCARIO CINZA ESBANQUICADO, C/PEQUENO NIVEIS ESVERDEADOS
198	216	Siltito	SILTITO,ARGILOSO, VERMELHO, DURO
216	248	Arenito médio	ARENITO BRANCO, MEDIO A GROSSO, REGULAR A BEM SELECIONADO,SUBARREDONDADO MATRIZ POUCO ARGILOSA
248	266	Arenito médio	ARENITO BRANCO, MEDIO, REGULAR A BEM SELECIONADO, SUBARREDONDADO MATRIZ POUCO ARGILOSA
266	268	Argilito	ARGILITO VERMELHO, PLASTICO

Hidrogeológicos
Aquífero no Ponto:
Nível da Água:

Data:	
Nível da Água (m):	
Nível Medido Bombeando (S/N)?	
Vazão (m3/h):	

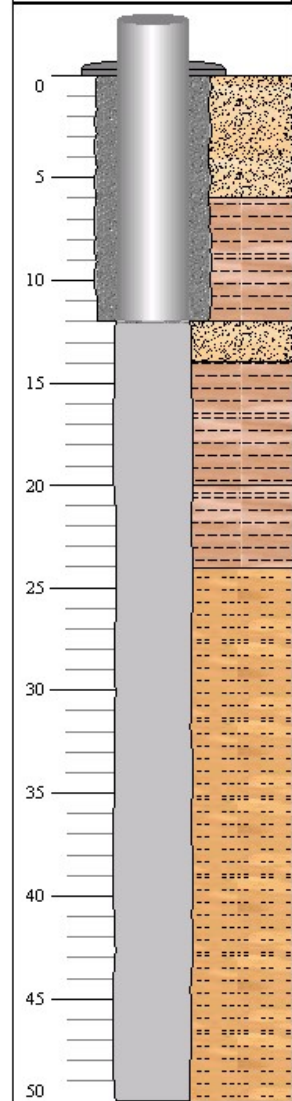
Teste de Bombeamento
Teste de Bombeamento:

Data:	Surgência:	Nível Estático (m):	Duração do Teste (h):
28/07/1996	N	155.36	
Nível Dinâmico:	Vazão Específica (m3/h/m):	Coefficiente de Armazenamento:	Vazão Livre (m3/h):
179.30	0.209		
Permeabilidade (m/s):	Transmissividade (m2/s):	Vazão Após Estabilização (m3/h):	Tipo do Teste:
		5	Rebaixamento
Método:	Unidade:		

Análises Químicas
Análises Químicas:

Data da Coleta:	
Condutividade Elétrica (µS/cm):	
Qualidade da Água (PT/CO):	
Sabor da Água:	
Qualidade da Água (Odor):	
Temperatura (C°):	
Turbidez (NTU):	
Sólidos Suspensos (mg/l):	
Sólidos Sedimentáveis (mg/l):	
Aspecto Natural:	
Ph:	

Poço: 3500025936	UF : SP	Município : Rio claro	Localidade : AV. 80-A, 777
------------------	---------	-----------------------	----------------------------

Perfil Construtivo		Gerais				
		Dados Gerais:				
		Nome :		SIDAS 4209 - FL.218 - POCO DAEE 23		
		Data da Instalação :		26/06/1997		
		Proprietário :		MULTIBRAS ELETRODOMESTICO S/A		
		Natureza do Ponto :		Poço tubular		
		Uso da água :		Outros (lazer,etc.)		
		Cota do Terreno :		636.00		
		Localização:				
		Localidade :		AV. 80-A, 777		
		UTM (Norte/Sul) :		7523350		
UTM (Leste/Oeste) :		237750				
Latitude (GMMSS) :		222233				
Longitude (GMMSS) :		473249				
Bacia Hidrográfica:						
Subbacia Hidrográfica:						
		Situação:				
		Data :		26/06/1997		
		Situação :		Equipado		
Construtivos						
Perfuração:						
Data:	Profundidade Inicial(m)	Profundidade Final(m)	Perfurador	Método		
26/06/1997	0.00	50.00	HR	Rotativo		
Diâmetro:						
De (m):	Até (m):	Polegadas	Milímetros			
0.00	12.00	21 15/16	558.8000			
12.00	50.00	14 23/32	374.6500			
Revestimento:						
De (m):	Até (m):	Material	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)		
Filtro:						
De (m):	Até (m):	Material	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	Ranhura	
Espaço Anular:						
De (m):	Até (m):	Material				
0.00	12.00	Cimentação				
Boca do Tubo:						
Data:	Altura(m):	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)			
		14	355.6000			
Entrada d'água:						
Profundidade:						
Profundidade Útil:						
Data:	Profundidade:					
	50.00					

Geológicos
Feição Geomorfológica:

Descrição:

Formação Geológica:

Profundidade Inicial (m):

0.00

Profundidade Final (m):

50.00

Tipo de Formação:

Terciário-quaternário

Dados Litológicos:

De (m):

0

Até (m):

6

Litologia:

Areia muito fina

Descrição Litológica:

AREIA MARROM ACASTANHADA, MUITO FINA, MODERAMENTE SELECIONADA, SUBANGULOSA INCONSOLIDADA

6

12

Argila

ARGILA CINZA AMARELA, ALGO SILTOSA, PLÁSTICA, MOLE

12

14

Areia muito fina

AREIA MARROM ACASTANHADA, MUITO FINA, REGULARMENTE SELECIONADA

14

20

Argila

ARGILA AVERMELHADA, PLÁSTICA, MOLE

20

24

Argila

ARGILA ARROXEADA, PLÁSTICA, MOLE

24

50

Siltito

SILTITO ARROXEADO, COM PEQUENOS NÍVEIS ARENOSOS, LAMINAÇÃO INCIPIENTE DURO A LAMINAÇÃO INCONSOLIDADA

Hidrogeológicos
Aquífero no Ponto:
Nível da Água:

Data:

Nível da Água (m):

Nível Medido Bombeando (S/N)?

Vazão (m³/h):

Teste de Bombeamento
Teste de Bombeamento:

Data:

26/06/1997

Surgência:

N

Nível Estático (m):

13.37

Duração do Teste (h):

Nível Dinâmico:

27.04

Vazão Específica (m³/h/m):

0.878

Coeficiente de Armazenamento:

12

Vazão Livre (m³/h):

Permeabilidade (m/s):

Transmissividade (m²/s):

Vazão Após Estabilização (m³/h):

12

Tipo do Teste:

Rebaixamento

Método:

Unidade:

Análises Químicas
Análises Químicas:

Data da Coleta:

Condutividade Elétrica (µS/cm):

Qualidade da Água (PT/CO):

Sabor da Água:

Qualidade da Água (Odor):

Temperatura (C°):

Turbidez (NTU):

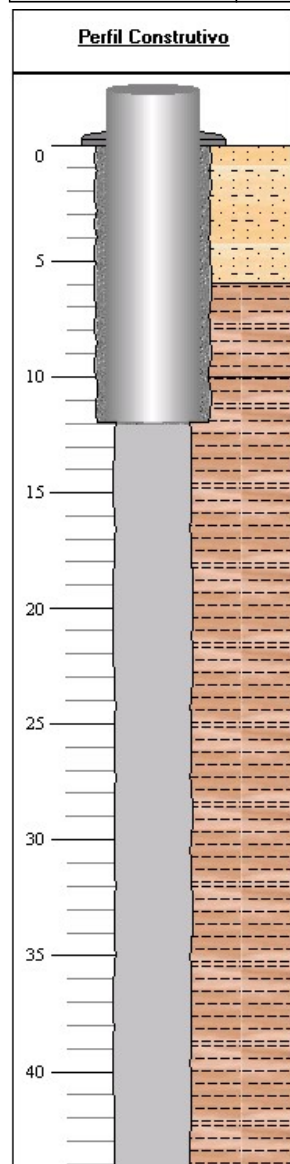
Sólidos Suspensos (mg/l):

Sólidos Sedimentáveis (mg/l):

Aspecto Natural:

Ph:

Poço: 3500025937	UF : SP	Município : Rio claro	Localidade : AV. 80-A, 777
------------------	---------	-----------------------	----------------------------



Gerais

Dados Gerais:	
Nome :	SIDAS 4210 - FL.218 - POCO DAEE 24
Data da Instalação :	20/02/1999
Proprietário :	MULTIBRAS ELETRODOMESTICO S/A
Natureza do Ponto :	Poço tubular
Uso da água :	Outros (lazer,etc.)
Cota do Terreno :	636.00

Localização:	
Localidade :	AV. 80-A, 777
UTM (Norte/Sul) :	7523300
UTM (Leste/Oeste) :	237950
Latitude (GMMSS) :	222234
Longitude (GMMSS) :	473242
Bacia Hidrográfica:	
Subbacia Hidrográfica:	

Situação:	
Data :	20/02/1999
Situação :	Equipado

Construtivos

Perfuração:				
Data:	Profundidade Inicial(m)	Profundidade Final(m)	Perfurador	Método
20/02/1999	0.00	44.30	HR	Rotativo

Diâmetro:			
De (m):	Até (m):	Polegadas	Milímetros
0.00	12.00	21 15/16	558.8000
12.00	44.30	14 23/32	374.6500

Revestimento:				
De (m):	Até (m):	Material	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)

Filtro:					
De (m):	Até (m):	Material	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	Ranhura

Espaço Anular:		
De (m):	Até (m):	Material
0.00	12.00	Cimentação

Boca do Tubo:			
Data:	Altura(m):	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)
		18	457.2000

Entrada d'água:	
Profundidade:	

Profundidade Útil:	
Data:	Profundidade:
	44.30

Geológicos
Feição Geomorfológica:

Descrição:

Formação Geológica:

Profundidade Inicial (m):

0.00

Profundidade Final (m):

44.30

Tipo de Formação:

Terciário-quaternário

Dados Litológicos:

De (m):	Até (m):	Litologia:	Descrição Litológica:
0	6	Solo areno-argiloso	SOLO CASTANHO, ARENO ARGILOSO
6	10	Argila	ARGILA CASTANHA AVERMELHADA, ARENOSA 20%
10	44.3	Argila	ARGILA AMARELA, POUCA ARENOSA 15%

Hidrogeológicos
Aquífero no Ponto:
Nível da Água:

Data:

Nível da Água (m):

Nível Medido Bombeando (S/N)?

 Vazão (m³/h):

Teste de Bombeamento
Teste de Bombeamento:

Data:	Surgência:	Nível Estático (m):	Duração do Teste (h):
20/02/1999	N	15.47	
Nível Dinâmico:	Vazão Específica (m ³ /h/m):	Coefficiente de Armazenamento:	Vazão Livre (m ³ /h):
18.00	7.905		
Permeabilidade (m/s):	Transmissividade (m ² /s):	Vazão Após Estabilização (m ³ /h):	Tipo do Teste:
		20	Rebaixamento
Método:	Unidade:		

Análises Químicas
Análises Químicas:

Data da Coleta:

Condutividade Elétrica (μS/cm):

Qualidade da Água (PT/CO):

Sabor da Água:

Qualidade da Água (Odor):

Temperatura (C°):

Turbidez (NTU):

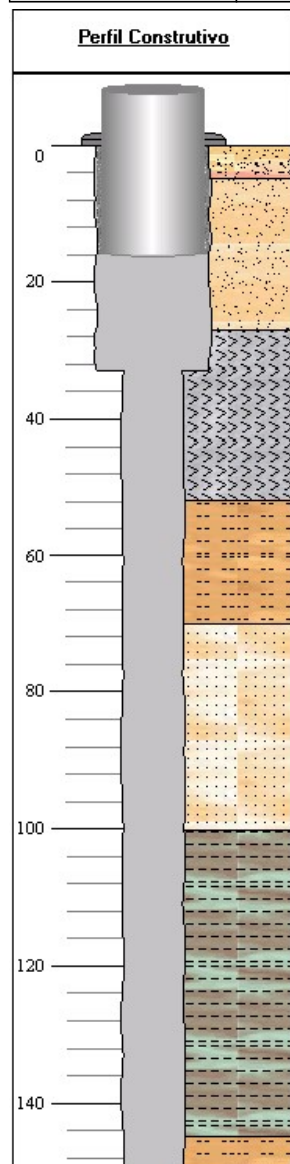
Sólidos Suspensos (mg/l):

Sólidos Sedimentáveis (mg/l):

Aspecto Natural:

Ph:

Poço: 3500025938 UF : SP Município : Rio claro Localidade : AV.JOSE FELICIO CASTELANO,1601 - JARDIM AMERICA



Gerais

Dados Gerais:	
Nome :	SIDAS 4211 - FL.218 - POÇO DAEE 25
Data da Instalação :	01/01/2000
Proprietário :	TRANSDIQUE T.R.R.LTDA
Natureza do Ponto :	Poço tubular
Uso da água :	Outros (lazer,etc.)
Cota do Terreno :	625.00

Localização:	
Localidade :	AV.JOSE FELICIO CASTELANO,1601 - JARDIM AMERICA
UTM (Norte/Sul) :	7522110
UTM (Leste/Oeste) :	237040
Latitude (GMMSS) :	222313
Longitude (GMMSS) :	473314
Bacia Hidrográfica:	
Subbacia Hidrográfica:	

Situação:	
Data :	01/01/2000
Situação :	Equipado

Construtivos

Perfuração:				
Data:	Profundidade Inicial(m)	Profundidade Final(m)	Perfurador	Método
01/01/2000	0.00	150.00	OT	Percussao

Diâmetro:			
De (m):	Até (m):	Polegadas	Milímetros
0.00	33.00	11	279.4000
33.00	150.00	6	152.4000

Revestimento:				
De (m):	Até (m):	Material	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)

Filtro:					
De (m):	Até (m):	Material	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	Ranhura

Espaço Anular:		
De (m):	Até (m):	Material
0.00	16.00	Cimentação

Boca do Tubo:			
Data:	Altura(m):	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)
		10	254.0000

Entrada d'água:	
Profundidade:	

Profundidade Útil:	
Data:	Profundidade:
	150.00

Geológicos
Feição Geomorfológica:

Descrição:

Formação Geológica:

Profundidade Inicial (m):	Profundidade Final (m):	Tipo de Formação:
0.00	52.00	Terciário-quaternário
52.00	150.00	Formação Corumbatai

Dados Litológicos:

De (m):	Até (m):	Litologia:	Descrição Litológica:
0	5	Solo arenoso	SOLO ARENOSO, DE COLORAÇÃO AVERMELHADO
5	27	Areia média	AREIA MÉDIA A GROSSEIRA DE COLORAÇÃO AVERMELHADA
27	52	Diabásio	DIABÁSIO CINZA ESCURO, COM GRANULAÇÃO FINA A MÉDIA
52	70	Siltito	SILTITO ARROXADO, COM LAMINAÇÃO MILIMÉTRICA
70	100	Arenito fino	ARENITO FINO COMPACTO DE COLORAÇÃO ALARANJADA
100	145	Argilito	ARGILITO SILTOSO BASTANTE COMPACTO DE COLORAÇÃO CINZA ESCURO
145	150	Siltito	SILTITO ARENOSO DE COLORAÇÃO ROSA, COM LAMINAÇÃO

Hidrogeológicos
Aquífero no Ponto:
Nível da Água:

Data:	
Nível da Água (m):	
Nível Medido Bombeando (S/N)?	
Vazão (m³/h):	

Teste de Bombeamento
Teste de Bombeamento:

Data:	Surgência:	Nível Estático (m):	Duração do Teste (h):
01/01/2000	N	28.00	
Nível Dinâmico:	Vazão Específica (m³/h/m):	Coefficiente de Armazenamento:	Vazão Livre (m³/h):
60.00	0.125		
Permeabilidade (m/s):	Transmissividade (m²/s):	Vazão Após Estabilização (m³/h):	Tipo do Teste:
		4	Rebaixamento
Método:	Unidade:		

Análises Químicas
Análises Químicas:

Data da Coleta:	
Condutividade Elétrica (µS/cm):	
Qualidade da Água (PT/CO):	
Sabor da Água:	
Qualidade da Água (Odor):	
Temperatura (C°):	
Turbidez (NTU):	
Sólidos Suspensos (mg/l):	
Sólidos Sedimentáveis (mg/l):	
Aspecto Natural:	
Ph:	

Poço: 3500025972 UF : SP Município : Rio claro Localidade : AV.CONDE FRANCISCO MATARAZZO JR.,205

Perfil Construtivo		Gerais				
		Dados Gerais:				
		Nome :		SIDAS 4248 - FL.218 - POCO DAEE 64		
		Data da Instalação :		07/05/1998		
		Proprietário :		COND.DO SHOP.CENTER RIO CLARO		
		Natureza do Ponto :		Poço tubular		
		Uso da água :		Outros (lazer,etc.)		
		Cota do Terreno :		610.00		
		Localização:				
		Localidade :		AV.CONDE FRANCISCO MATARAZZO JR.,205		
		UTM (Norte/Sul) :		7519390		
UTM (Leste/Oeste) :		236990				
Latitude (GMMSS) :		222441				
Longitude (GMMSS) :		473317				
Bacia Hidrográfica:						
Subbacia Hidrográfica:						
		Situação:				
		Data :		07/05/1998		
		Situação :		Equipado		
		Construtivos				
		Perfuração:				
		Data:	Profundidade Inicial(m)	Profundidade Final(m)	Perfurador	Método
		07/05/1998	0.00	350.00	SD	Roto-percussao
		Diâmetro:				
		De (m):	Até (m):	Polegadas	Milímetros	
		0.00	41.00	12 7/32	311.1500	
		41.00	177.00	8 7/16	215.9000	
		177.00	350.00	6	152.4000	
		Revestimento:				
		De (m):	Até (m):	Material	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)
		Filtro:				
		De (m):	Até (m):	Material	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)
		Espaço Anular:				
		De (m):	Até (m):	Material		
		0.00	41.00	Cimentação		
		Boca do Tubo:				
		Data:	Altura(m):	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	
				10	254.0000	
		Entrada d'água:				
		Profundidade:				
		Profundidade Útil:				
		Data:	Profundidade:			
			350.00			

Geológicos**Feição Geomorfológica:**

Descrição:

Formação Geológica:

Profundidade Inicial (m):	Profundidade Final (m):	Tipo de Formação:
0.00	200.00	Terciario-quaternario
200.00	230.00	Formacao Irati
230.00	350.00	Formacao itarare

Dados Litológicos:

De (m):	Até (m):	Litologia:	Descrição Litológica:
0	30	Solo	SEDIMENTOS ALUVIONARES.
30	200	DiabÁsio	Diabásio
200	230	Folhelho	Folhelho
230	350	Arenito fino	Arenito

Hidrogeológicos**Aquífero no Ponto:****Nível da Água:**

Data:	
Nível da Água (m):	
Nível Medido Bombeando (S/N)?	
Vazão (m3/h):	

Teste de Bombeamento**Teste de Bombeamento:**

Data:	Surgência:	Nível Estático (m):	Duração do Teste (h):
07/05/1998	N	37.00	
Nível Dinâmico:	Vazão Específica (m3/h/m):	Coefficiente de Armazenamento:	Vazão Livre (m3/h):
162.00	0.04		
Permeabilidade (m/s):	Transmissividade (m2/s):	Vazão Após Estabilização (m3/h):	Tipo do Teste:
		5	Rebaixamento
Método:	Unidade:		

Análises Químicas**Análises Químicas:**

Data da Coleta:	
Condutividade Elétrica (µS/cm):	
Qualidade da Água (PT/CO):	
Sabor da Água:	
Qualidade da Água (Odor):	
Temperatura (C°):	
Turbidez (NTU):	
Sólidos Suspensos (mg/l):	
Sólidos Sedimentáveis (mg/l):	
Aspecto Natural:	
Ph:	

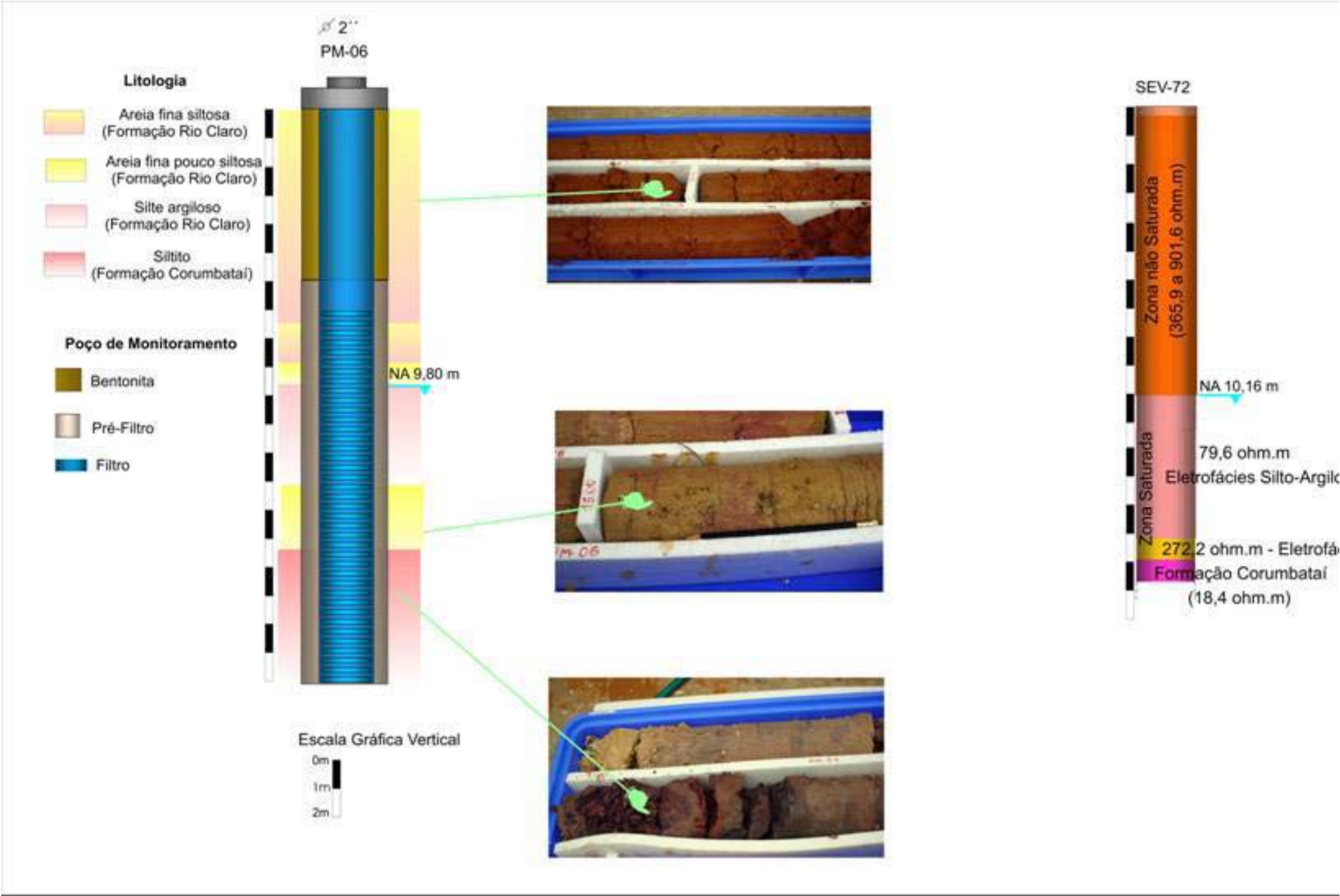


Figura 24 – Perfis descritivos do poço de monitoramento PM – 06 e da SEV – 72, do Campus da UNESP.

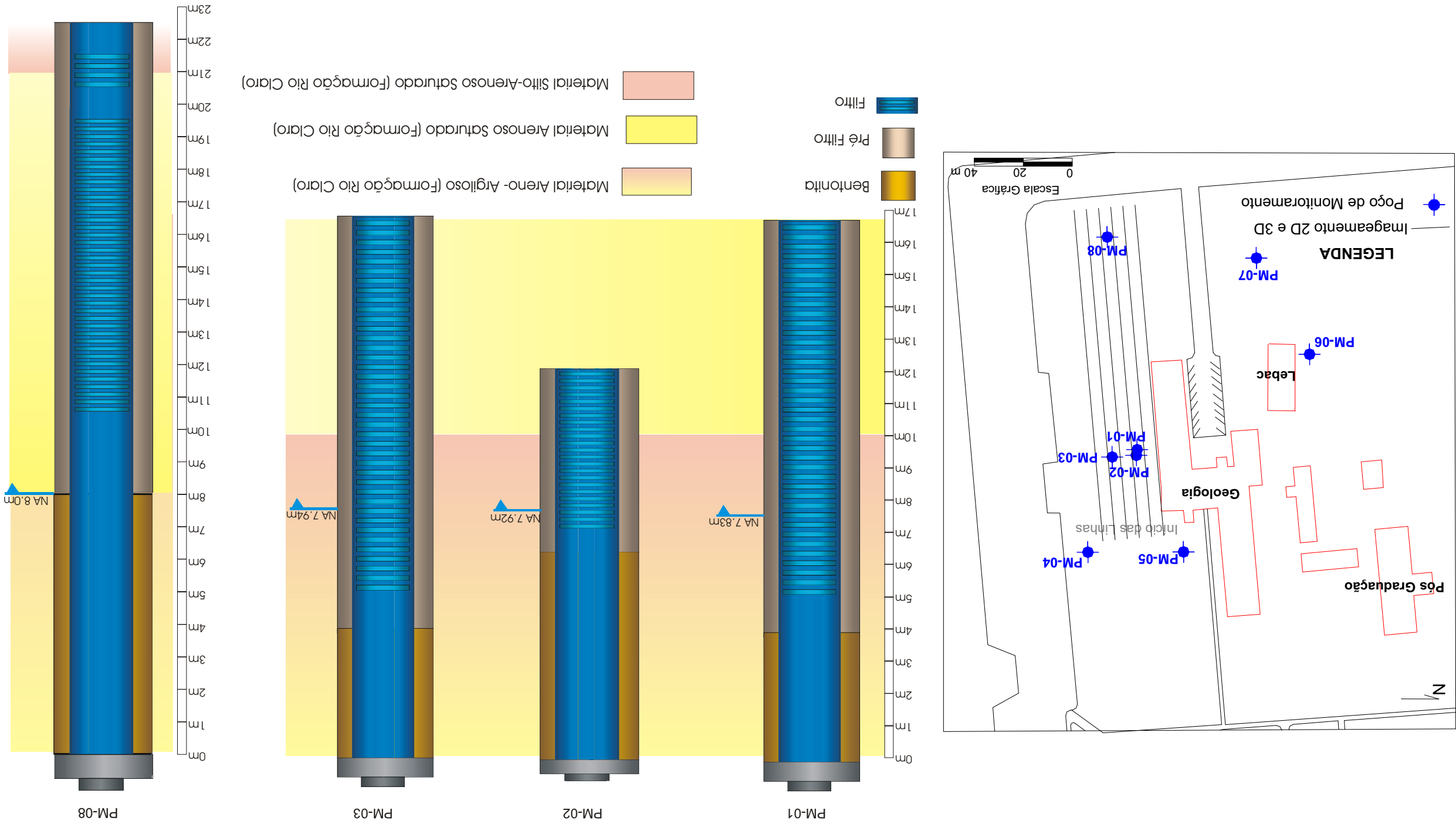


Figura 79 – Mapa de localização dos poços de monitoramento e seus respectivos perfis.