



UNICAMP

# Caracterização do Aquífero Freático da Fazenda Santa Elisa (IAC) em Campinas, SP

Autor: Bruno Mendes da Rocha (bruno.mrocha.9@gmail.com)

Orientador: Profa. Dra. Sueli Yoshinaga Pereira (sueliyos@ige.unicamp.br)

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS; DEP. DE GEOLOGIA E RECURSOS NATURAIS - UNICAMP

Agência Financiadora: PIBIC/CNPQ

Palavras-Chave: Água subterrânea – Aquífero freático – Hidrodinâmica – Hidroquímica



## Introdução

A água subterrânea, porção de água que ocorre abaixo da superfície da terra, é a responsável pela formação dos aquíferos, os quais são formações ou grupos de formações geológicas capazes de armazenar água, possuindo permeabilidade suficiente para permitir que a água armazenada se movimente (Feitosa, 2000). Os aquíferos livres (ou freáticos) apresentam a porção inferior delimitada por rochas (ou sedimentos) permeáveis ou semipermeáveis e a porção superior livre, inclusive em alguns casos, o nível d'água ocorre acima do solo, originando charcos e pântanos. A recarga deste tipo de aquífero ocorre a partir da infiltração da água das chuvas. O tipo de solo e a inclinação do terreno podem variar o processo de infiltração da água.

A área foco deste projeto está inserida na Fazenda Santa Elisa (IAC), localizada em Campinas (SP). O aquífero livre estudado faz parte da Bacia do Ribeirão Quilombo (que possui 400 km<sup>2</sup>) o qual é afluente do Rio Piracicaba.

## Metodologia

Os trabalhos da primeira fase do projeto consistiram na caracterização hidrodinâmica do aquífero, envolvendo três etapas: 1) medição quinzenal dos níveis estáticos dos 12 poços de monitoramento; 2) teste de permeabilidade para a determinação da condutividade hidráulica (K) - método de Hvorslev (1951); e 3) estimativa de recarga do aquífero pelo método WTF (*Water Table Fluctuation*). A segunda etapa teve como enfoque a hidroquímica, com a determinação quantitativa de ânions e cátions maiores, utilizando-se a técnica de cromatografia de íons, bem como na medição de parâmetros físico-químicos característicos das águas.

## Resultados e Discussões

### 1. Níveis d'água do aquífero freático

A respeito da profundidade e flutuação do nível freático (Figura 1) é possível separar as parcelas monitoradas em três grupos de acordo com suas tendências semelhantes:

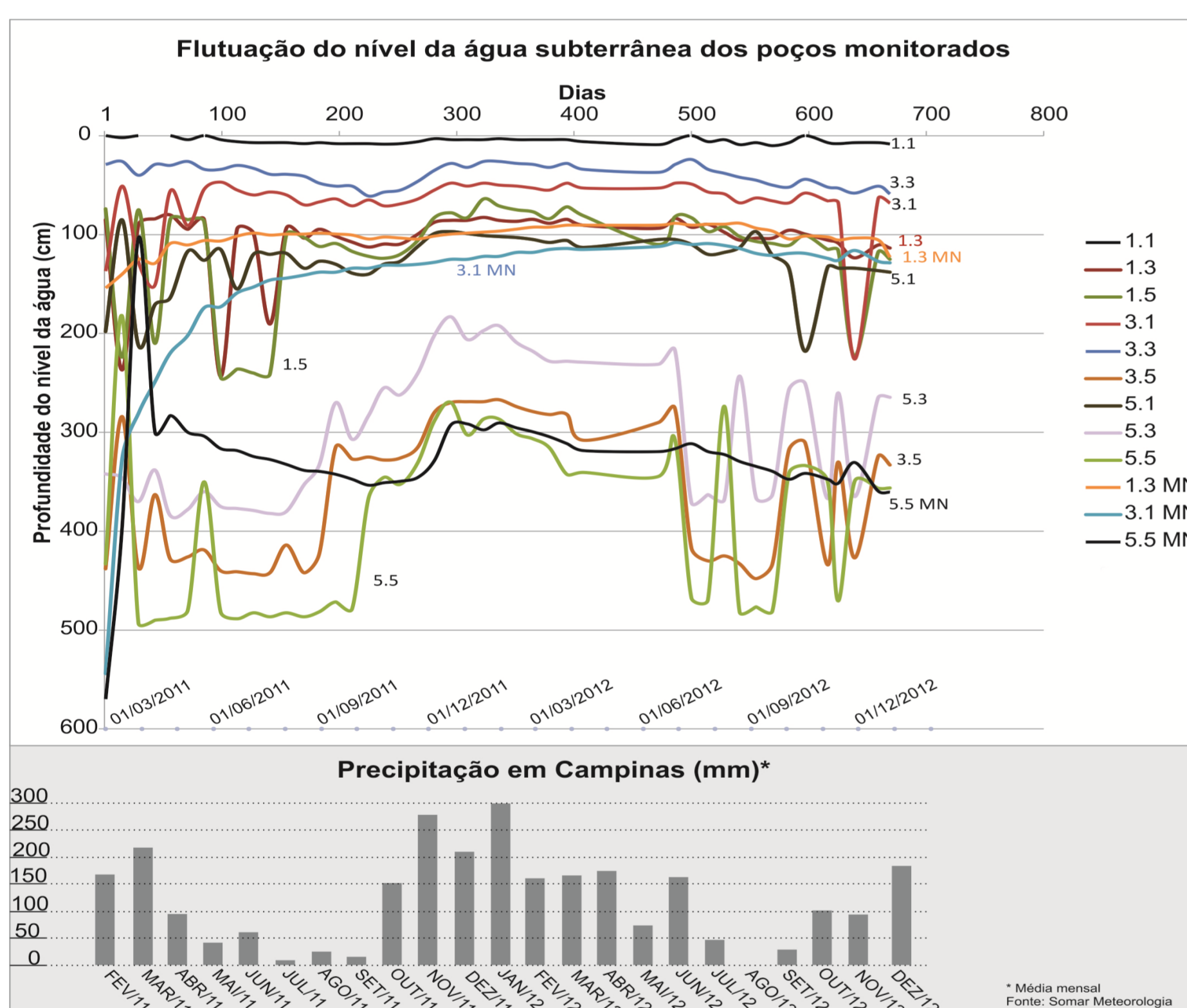


Figura 1. Flutuação do nível freático para os poços monitorados durante o período de março/2011 a dezembro/2012. Abaixo, a precipitação para o município de Campinas-SP.

I) no grupo dos poços mais rasos, os piezômetros 3.5, 5.3 e 5.5 apresentam as maiores profundidades, com o 5.5 chegando a quase 5m no período mais seco (inverno) e o nível se mantendo baixo por todo esse período. No período chuvoso o nível do freático eleva-se consideravelmente;

II) as parcelas 1.1 e 3.3 apresentam as menores profundidades, sendo que a primeira chega a atingir a superfície, e revelam um comportamento constante durante o período de estudo;

III) já as parcelas 1.3, 1.5, 3.1 e 5.1 encontram-se em nível intermediário, entre 50 e 250cm;

Os mapas potenciométricos revelam a tendência similar da dinâmica da água em sub-superfície no período seco e chuvoso. Ambos evidenciam que a descarga ocorre no córrego, contudo no mapa da Figura 3 (chuvoso), nota-se que as curvas apresentam-se mais próximas entre si na porção leste de área, com um fluxo de sentido SW, e no período seco com sentido W. Ainda nesta porção, a variação no gradiente hidráulico dos piezômetros 1.1, 1.3 e 1.5 na época chuvosa indica o maior deslocamento vertical do fluxo subterrâneo em decorrência da alta pluviosidade, ao passo que no período seco a carga hidráulica é de igual magnitude nestes mesmos poços.

### 3. Condutividade Hidráulica (K)

Através da Tabela 1 abaixo, pode-se estabelecer uma correlação entre as diferentes classes texturais classificadas por Carvalho (2012) e a condutividade média (K) calculada pelo método de Hvorslev (1951).

Tabela 1. Resultados de condutividade hidráulica através do slug/bail teste

Piezômetro	Multiníveis											
	5.5	5.3	5.1	3.5	3.3	3.1	1.5	1.3	1.1	5.5MN	3.1MN	1.3MN
Material do Aquífero (Carvalho, 2012)	Argila/Argila Arenosa	Argila	Argila	Argila Arenosa	Argila Arenosa	Argila/Argila Muito Argiloso	Argila Arenosa/Argila	Argila/Argila Muito Argiloso	Argila	Muito Argiloso	Muito Argiloso	Muito Argiloso
K médio (cm/s)	3,72E-3	7,91E-3	0,39E-3	12,55E-3	33,20E-3	11,74E-3	2,85E-3	15,39E-3	4,68E-3	2,82E-6	2,85E-6	5,78E-5

De forma geral, os poços menos profundos (1.1, 1.3, 1.5, 3.1, 3.3, 3.5, 5.1, 5.3 e 5.5) possuem um comportamento de condutividade semelhante. Os maiores valores encontrados estão associados a solos com quantidades significativas de areia (P3.3 e P3.5). Contudo, mesmo os poços 1.3 e 3.1 estando em solos essencialmente argilosos, os valores de condutividade hidráulica calculados são relativamente altos. Nestes casos, a declividade é mais acentuada no ponto onde está o poço 1.3; e o 3.1 está localizado junto ao córrego que corta a área sendo, portanto um possível ponto de descarga. A elevada declividade do terreno também pode explicar o maior valor de K obtido para o poço 3.3.

Já a condutividade hidráulica dos multiníveis (poços mais profundos) possuem os menores valores, devido ao material muito argiloso que as águas percorrem, ou seja, a permeabilidade desse tipo de solo é baixa.

### 4. Estimativa da Recarga Direta - Método WTF

A Tabela 2 auxilia na visualização dos valores obtidos na determinação da recarga subterrânea através do método WTF, para o período de monitoramento de 22 meses.

Tabela 2. Sistematização das informações referente à estimativa de recarga e porcentagem da precipitação na recarga da água subterrânea

Piezômetro	Multiníveis											
	5.5	5.3	5.1	3.5	3.3	3.1	1.5	1.3	1.1	5.5MN	3.1MN	1.3MN
WTF - Recarga (mm/período)	84	34	22	73	10	22	46	27	1,58	19	13	2,87
Recarga (%)	3,04	1,23	0,8	2,64	0,36	0,8	1,67	0,98	0,06	0,69	0,47	0,1

Precipitação total no período: 2763,2 mm (Somar Meteorologia)

Os resultados dos piezômetros 1.5, 3.5 e 5.5 indicam os maiores valores de recarga em porcentagem por ocorrência das chuvas. Os valores de recarga obtidos são diretamente proporcionais à quantidade de material arenoso constituinte dos solos, ou seja, quanto maior a porcentagem de recarga, maior é o conteúdo de areia associado ao respectivo poço. Ainda assim, a parcela 5.5 se destaca como a que apresenta o maior valor de recarga, sendo, conforme observado na Figura 1, bastante sensível aos períodos de precipitação, apresentando amplitude de nível d'água de quase dois metros em medições consecutivas. A cobertura vegetal relativamente densa da área influencia na atenuação da recarga.

### 5. Determinação quantitativa de cátions e ânions maiores e parâmetros físico-químicos

Na Tabela 3 a seguir estão apresentadas as concentrações de alguns íons maiores presentes nas águas coletadas, bem como os índices físico químicos mais relevantes.

Tabela 3. Concentração dos ânions e cátions maiores, pH e condutividade elétrica das amostras d'água coletadas. Destaque para os multiníveis, com águas mais mineralizadas

Amostra	Íons (mg/L)											Parâmetros					
	F	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Br <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Li <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	pH	CE (µS/cm)	Eh (V)
P1.1	0,03	2,86	nd	0,03	nd	0,01	nd	11,18	nd	2,51	0,02	0,3	1,1	1,42	6,04	24,1	0,2578
P1.3	0,04	0,68	nd	0,03	nd	0,02	nd	7,88	nd	1,28	nd	0,13	0,53	0,86	5,93	12,8	0,3146
P1.3MN	0,08	1,66	nd	0,12	0,04	0,02	0,03	16,66	nd	2,32	nd	0,36	0,94	2,74	6,35	24,3	0,3163
P1.5	0,1	0,9	nd	0,37	nd	0,04	nd	6,64	nd	1,49	0,01	0,37	0,42	0,74	5,9	11	0,2886
P3.1	0,04	0,62	nd	0,25	nd	0,03	nd	7,02	nd	1,31	0,19	0,14	0,34	0,69	5,99	22,5	0,0882
P3.1MN	0,08	1,46	nd	0,4	nd	0,09	0,01	7,78	nd	91,3	nd	3,12	8,45	25,7	6,88	250,2	0,1465
P3.3	0,07	0,39	nd	0,12	0,01	0,004	nd	6,29	nd	1,86	0,01	0,16	0,42	0,84	5,77	9,4	0,3261
P3.5	0,05	0,8	nd	0,07	nd	0,02	0,01	5,54	nd	1,66	0,01	0,2	0,29	0,49	5,82	11,1	0,3184
P3.5 duplicata leitura	0,05	0,83	nd	0,07	nd	0,02	0,01	nd	nd	1,68	0,01	0,2	0,3	0,51	nd	nd	nd
P3.5 média	0,05	0,82	nd	0,07	nd	0,02	0,01	nd	nd	1,67	0,01	0,2	0,3	0,5	nd	nd	nd
P5.1	0,06	1,71	nd	0,07	nd	0,02	nd	7,08	nd	1,5	0,02	0,18	0,51	0,92	5,69	11,5	0,2366
P5.3	0,08	0,63	nd	0,03	nd	0,02	nd	3,35	nd	1,02	0,01	0,17	0,16	0,34	5,54	8,4	0,3008
P5.5	0,05	0,39	nd	0,02	nd	0,01	nd	3,5	nd	0,78	0,01	0,12	0,13	0,31	5,93	10,7	0,2796
P5.5MN	0,1	1,84	nd	0,36	0,02	0,07	0,01	77,22	nd	129	nd	1,36	6,15	24,7	7,35	218,4	0,1698
LD	0,001	0,015	0,005	0,01	0,005	0,003	0,015	nd	0,004	0,02	0,02	0,05	0,03	0,05	nd	nd	nd

Os resultados de condutividade elétrica (CE) mostraram uma variação entre 8,4 µS.cm<sup>-1</sup> até 250,2 µS.cm<sup>-1</sup>. Interpreta-se que quanto mais próximo da região de descarga da água subterrânea, maior é a condutividade elétrica, enquanto que, quanto mais se distancia, menor é a CE da água (observar os piezômetros 1.1, 3.1 e 5.1, os quais se localizam mais próximos do córrego). As águas dos piezômetros mais profundos (em destaque) são as mais mineralizadas (sódicas e cloretadas/bicarbonatadas), possuindo maiores teores de cátions e ânions, e valores de condutividade elétrica que se destacam das demais. Os potenciais de oxidação-redução (Eh) medidos das águas as classificam como de ambiente superficial, em contato com a atmosfera (Radojević & Bashkin, 2005).

## 2. Mapas Potenciométricos

A partir das cotas dos níveis d'água obtidas nas fases de campo foram gerados dois mapas com as curvas potenciométricas para os períodos seco (Figura 2) e chuvoso (Figura 3).

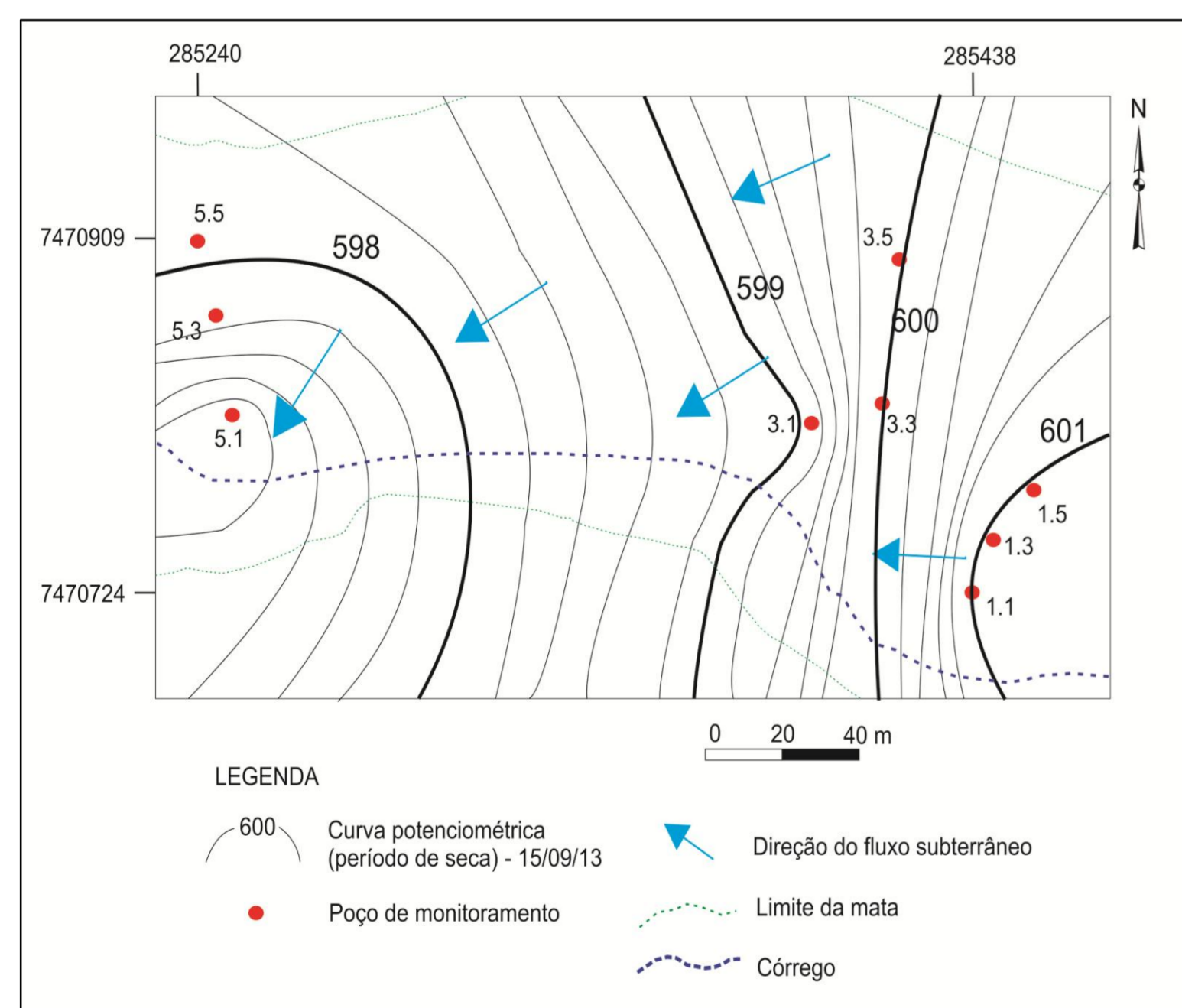


Figura 2. Mapa potenciométrico da área estudada para o período seco.

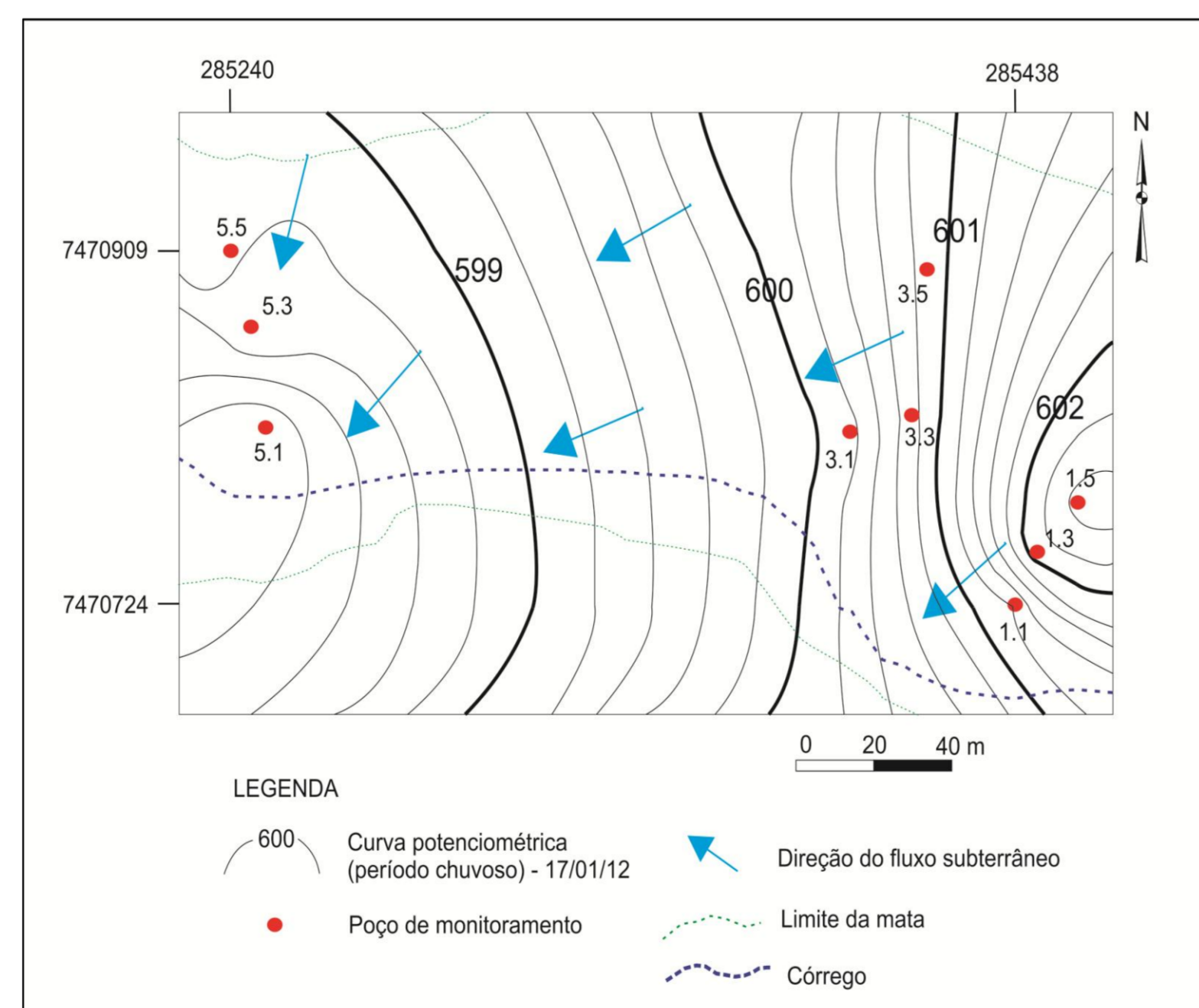


Figura 3. Mapa potenciométrico da área estudada para o período chuvoso.

## Conclusões

- O volume de chuva está intimamente relacionado com a direção do fluxo da água subterrânea na região dos piezômetros 1.1, 1.3 e 1.5, assim como com o gradiente hidráulico, mais elevado no período chuvoso, conforme pode ser constatado nos mapas potenciométricos apresentados.
- O principal fator responsável pela determinação na velocidade do fluxo aquoso subterrâneo é a textura dos sedimentos pelo o qual percola. Parâmetros como a declividade do terreno (para os casos dos poços 1.3, 3.1 e 3.3) e a influência da flora (para o poço 1.5) são variáveis significantes que influenciam na condutividade hidráulica.
- Os dados da estimativa de recarga indicam que esta é maior para nos locais de solo arenoso (P1.5, P3.5 e P5.5).
- A concentração dos íons aumenta com a proximidade da área de descarga da água subterrânea. Destaca-se ainda que os piezômetros mais profundos são caracterizados como os mais mineralizados de cátions e ânions maiores (principalmente em Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> e HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

## Referências Bibliográficas

- Carvalho, M. B. Regime freático e atributos do solo associados a gradiente fisionômico de floresta ripária em área de cerrado em Campinas, SP. Pós-graduação em agricultura tropical e subtropical. 2012.
- Feitosa, F. A. C. & Manoel Filho, J. Hidrologia: conceitos e aplicações. 2. ed. Fortaleza: CPRM: REFO, LABHID-UFPE, 2000.
- Healy, R.W., Cook, P.G. Using groundwater levels to estimate recharge. Hydrogeology Journal. 10, 2002. 91-109 p.
- Oliva, A., Kiang, C. H., Chang, M. R. C. Determinação da condutividade hidráulica da formação Rio Claro: Análise comparativa através de análise granulométrica e ensaios com permeômetro guelph e testes de slug. Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente - UNESP/Rio Claro. 2005.
- Radojević M. & Bashkin V. N. 2005. Practical Environmental Analysis. The Royal Society of Chemistry Publishing, Cambridge.