

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**FLUTUAÇÃO DOS NÍVEIS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA EM
MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS DO RIO VACACAÍ-MIRIM**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Pedro Vanerci da Cunha Farias

Santa Maria, RS, Brasil

2011

**FLUTUAÇÃO DOS NÍVEIS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA EM
MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS DO RIO VACACAÍ-MIRIM**

Por:

Pedro Vanerci da Cunha Farias

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil.**

Orientador:

Professor Dr. José Luiz Silvério da Silva

Santa Maria, RS, Brasil

2011

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**FLUTUAÇÃO DOS NÍVEIS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA EM
MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS DO RIO VACACAÍ-MIRIM**

Elaborada por
Pedro Vanerci da Cunha Farias

Como requisito parcial para a obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil

COMISSÃO EXAMINADORA:

José Luiz Silvério da Silva, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Edson Cezar Wendland, Dr. (USP)

Rinaldo José Barbosa Pinheiro, Dr. (UFSM)

Santa Maria 09/09/2011

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho:

A quem dedicou sua vida a mim: Hebe Marisa Mozzaquatro Farias, minha mulher, principal fonte de energia para a obtenção deste título.

As minhas filhas, Ana Ester e Ana Cláudia, que me obrigam a seguir adiante.

Aos gêmeos Ana Beatriz e Augusto, meus netos, tão pequeninos e já tão grandes incentivadores do avô.

A quem geneticamente determinou-me valores morais, e a certeza de que o amanhã será melhor que o hoje, meus pais: Esther da Cunha Farias (In memoriam) e Felicíssimo Jadauniz Velleda Farias (In memoriam).

AGRADECIMENTOS

Ao grande Engenheiro, criador desta vida, e deste ser, DEUS.

A minha família.

Ao Professor Orientador Geólogo Dr. José Luiz Silvério da Silva.

Ao Professor Engenheiro Dr. João Batista Dias de Paiva.

Ao Engenheiro João Francisco Horn.

Ao Engenheiro Rafael Mathias Feltrin.

Ao Engenheiro Alessandro de Ávila Noal.

Ao Engenheiro Luiz Felipe Carvalho.

Ao Geógrafo Leônidas Volcato Filho.

A Geógrafa Cristiane Dambrós.

A Professora Silvia Helena Lovato do Nascimento.

A Universidade Federal de Santa Maria.

Ao Centro de Tecnologia.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

A CAPES.

Ao Rodrigo Burin.

Ao Alcides Sartori.

Ao José Astério Rosa do Carmo.

Ao Carlos Alberto Löbler.

***"O Covarde Nunca Tenta,
O Fracassado Nunca Termina,
O Vitorioso Nunca Desiste"***

(Norman Vincent Peale)

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Maria

FLUTUAÇÃO DOS NÍVEIS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA EM MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS DO RIO VACACAÍ-MIRIM

AUTOR: PEDRO VANERCÍ DA CUNHA FARIAS
ORIENTADOR: JOSÉ LUIZ SILVÉRIO DA SILVA
Data e Local de Defesa: Santa Maria/RS, 09th de setembro de 2011

A intenção neste trabalho foi de estudar, na situação local, o sistema de flutuação dos níveis de água subterrânea em duas microbacias hidrográficas. Foram selecionadas as microbacias “Rancho do Amaral” e “Rincão do Soturno”, por serem representativas de curso de água de primeira ordem, fazendo parte das cabeceiras da bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim. Ambas situadas na borda da Bacia Sedimentar do Paraná, compreendendo a região central do Estado do Rio Grande do Sul. Estas microbacias pertencem aos municípios de Itaara e Santa Maria, e são contribuintes da região hidrográfica brasileira Atlântico Sul. Consideram-se excepcionalmente importantes para o município de Santa Maria/RS, pois são as principais fornecedoras de água potável para a barragem do DNOS, no Rio Vacacaí-Mirim, pertencente ao sistema de acumulação e distribuição de água à população. A área em estudo faz parte de afloramentos de arenitos da Formação Botucatu pertencentes ao Sistema Aquífero Guarani. Para a execução do estudo foram perfurados 3 (três) poços de monitoramento e neles instalados equipamentos de medição de nível de água e de pressão atmosférica, que são automáticos e configurados para realizarem leituras de hora em hora. Com base nos dados obtidos pelos equipamentos montou-se um banco de informações, que, aplicadas a um programa de computador específico, permitiram a adoção do método WTF (*Water Table Fluctuation*). Este método somente se aplica a aquífero livre e determina a recarga direta dos mananciais de água subterrânea. Estimou-se a recarga em 833 mm no Poço 5; 746,2 mm no Poço 6 e 467,2 mm no Poço 7, durante o período avaliado. A hipótese de trabalho foi comprovada, indicando haver recarga de água subterrânea.

Palavras chave: água subterrânea; *water table fluctuation*; monitoramento; recarga de aquífero.

ABSTRACT

Master's Thesis
Civil Engineering Postgraduate Program
Universidade Federal de Santa Maria

GROUNDWATER LEVELS FLUCTUATION IN VACACAÍ-MIRIM RIVER SMALL WATERSHEDS

AUTHOR: PEDRO VANERCÍ DA CUNHA FARIAS

ADVISOR: JOSÉ LUIZ SILVÉRIO DA SILVA

Place and date of defense: Santa Maria, September 9th, 2011

The intention in this work is to study (locally) the fluctuation system of groundwater levels in two small watersheds. We selected “*Rancho do Amaral*” and “*Rincão do Soturno*” small watersheds for being representative of the first order streams which compose the *Vacacaí-Mirim* river watershed headwaters. Both are located at the border of *Paraná* Sedimentary Basin, in the central region of the state of *Rio Grande do Sul*. These small watersheds belong to the municipalities of *Itaara* and *Santa Maria*, and they are contributors of the Brazilian hydrographic region *South Atlantic*. They are considered exceptionally important for the municipality of Santa Maria because they are the main drinking water sources for the DNOS Dam at the *Vacacaí-Mirim* river. They belong to the system in which water is accumulated and provided to the population. The area under study is part of overlying sandstone in the *Botucatu* Formation, which belongs to the *Guarani Aquifer System*. In order to carry out the studies, three monitoring wells were made with equipment measuring the water levels and atmospheric pressure. The equipment was set to automatically take readings every hour. Based on the data collected from the equipment, we mounted a database and applied it to a specific computer program, which allowed us to adopt the Water Table Fluctuation (WTF) method. This method only applies to unconfined aquifers and measures direct groundwater recharges in drainage basins. The recharge was estimated to be 833.0 mm at well number 5; 746.2 mm at well number 6 and 467.2 mm at well number 7 during the period of evaluation. Therefore, the presence of groundwater recharge confirmed our work hypothesis.

Keywords: Groundwater; Water Table Fluctuation; Monitoring, Aquifer recharge.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1:	Distribuição da água na Terra.....	04
FIGURA 2:	Representação esquemática das camadas de solo.....	07
FIGURA 3:	Tipos de aquíferos quanto a porosidade (a, b, c).....	09
FIGURA 4:	Aquíferos com respectivos níveis de pressão.....	10
FIGURA 5:	Aquífero suspenso.....	10
FIGURA 6:	Mapa do Sistema Aquífero Guarani.....	13
FIGURA 7:	Condição de rio efluente.....	15
FIGURA 8:	Condição de rio influente.....	15
FIGURA 9:	O ciclo hidrológico.....	15
FIGURA 10:	Os vários mecanismos de recarga.....	20
FIGURA 11:	Determinação de Δh	22
FIGURA 12:	Imagem orbital da localização geográfica dos poços.....	25
FIGURAS 13 a e b:	Detalhes dos trabalhos de perfuração.....	26
FIGURAS 14 a e b:	Perfuração propriamente dita, motor e ferramental	27
FIGURA 15:	Demonstra a situação e localização do Poço 5.....	27
FIGURA 16:	Demonstra a situação e localização do Poço 6.....	28
FIGURA 17:	Demonstra a situação e localização do Poço 7.....	28
FIGURA 18:	Medidor de nível de água.....	30
FIGURA 19:	Medidor de pressão atmosférica.....	30
FIGURA 20:	Instalação do medidor de nível e seu posicionamento.....	30
FIGURA 21:	Instalação do medidor de pressão atmosférica e seu posicionamento.....	31
FIGURA 22:	Instalação do medidor de pressão atmosférica e seu posicionamento	31
FIGURA 23:	Regiões hidrográficas do Rio Grande do Sul.....	33
FIGURA 24:	Bacia Hidrográfica G-60 Vacacaí e Vacacaí-Mirim.....	34
FIGURA 25:	Localização da bacia do Rio Vacacaí-Mirim e das microbacias Rancho do Amaral e Rincão do Soturno.....	35
FIGURA 26:	Precipitação pluviométrica do ano de 2010 e parte de 2011.....	36
FIGURA 27:	Carta geotécnica dos solos das microbacias estudadas e adjacentes.....	39
FIGURA 28:	Perfil das formações nas microbacias.....	30
FIGURA 29:	Geomorfologia das microbacias estudadas e adjacentes.....	41
FIGURA 30:	Mapa de solos das microbacias Rancho do Amaral e Rincão do Soturno...	42

FIGURA 31: Mapa de uso e ocupação do solo nas microbacias Rancho do Amaral e Rincão do Soturno.....	44
FIGURA 32: Perfil construtivo e granulométrico do Poço 5.....	47
FIGURA 33: Perfil construtivo e granulométrico do Poço 6.....	48
FIGURA 34: Perfil construtivo e granulométrico do Poço 7.....	49
FIGURA 35: Corte transversal do Poço 5/Rio Vacacaí-Mirim.....	51
FIGURA 36: Rio Vacacaí-Mirim com bom fluxo de água (Junho a Novembro).....	52
FIGURA 37: Rio Vacacaí-Mirim com o leito completamente seco (Janeiro de 2011).....	52
FIGURA 38: Corte transversal do Poço 6/Rio Vacacaí-Mirim.....	53
FIGURA 39: Corte transversal do Poço 7/Rio Vacacaí-Mirim.....	53
FIGURA 40: Cartograma da superfície potenciométrica dos três poços de monitoramento e sua relação com o Rio Vacacaí-Mirim.....	55
FIGURA 41: Poços 5, 6 e 7 – Comparação entre a Flutuação e a Precipitação.....	56
FIGURA 42: Gráfico da flutuação do nível da água subterrânea no Poço 5, com os picos considerados para a recarga (431 dias).....	57
FIGURA 43: Gráfico utilizado para cálculo da recarga do Poço 5, 1ª recessão.....	58
FIGURA 44: Gráfico utilizado para cálculo da recarga do Poço 5, 2ª recessão.....	58
FIGURA 45: Gráfico utilizado para cálculo da recarga do Poço 5, 3ª recessão.....	58
FIGURA 46: Gráfico utilizado para cálculo da recarga do Poço 5, 4ª recessão.....	59
FIGURA 47: Gráfico utilizado para cálculo da recarga do Poço 5, 5ª recessão.....	59
FIGURA 48: Gráfico utilizado para cálculo da recarga do Poço 5, 6ª recessão.....	59
FIGURA 49: Gráfico da flutuação do nível da água subterrânea no Poço 6, com os picos considerados para a recarga (412 dias).....	60
FIGURA 50: Gráfico utilizado para cálculo da recarga do Poço 6, 1ª recessão.....	61
FIGURA 51: Gráfico utilizado para cálculo da recarga do Poço 6, 2ª recessão.....	61
FIGURA 52: Gráfico utilizado para cálculo da recarga do Poço 6, 3ª recessão.....	61
FIGURA 53: Gráfico utilizado para cálculo da recarga do Poço 6, 4ª recessão.....	62
FIGURA 54: Gráfico utilizado para cálculo da recarga do Poço 6, 5ª recessão.....	62
FIGURA 55: Gráfico utilizado para cálculo da recarga do Poço 6, 6ª recessão.....	62
FIGURA 56: Gráfico da flutuação do nível da água subterrânea no Poço 7, com os picos considerados para a recarga (376 dias).....	63
FIGURA 57: Gráfico utilizado para cálculo da recarga do Poço 7, 1ª recessão.....	64
FIGURA 58: Gráfico utilizado para cálculo da recarga do Poço 7, 2ª recessão.....	64

FIGURA 59:	Gráfico utilizado para cálculo da recarga do Poço 7, 3 ^a recessão.....	64
FIGURA 60:	Gráfico utilizado para cálculo da recarga do Poço 7, 4 ^a recessão.....	65
FIGURA 61:	Gráfico utilizado para cálculo da recarga do Poço 7, 5 ^a recessão.....	65
FIGURA 62:	Gráfico utilizado para cálculo da recarga do Poço 7, 6 ^a recessão.....	65

LISTA DE TABELAS

TABELA 1:	Áreas de abrangência do SAG na América do Sul.....	12
TABELA 2:	Áreas de abrangência do SAG no Brasil.....	12
TABELA 3:	Quantidade de águas e seus tempos de circulação.....	16
TABELA 4:	Valores de rendimentos específicos (Sy).....	17
TABELA 5:	Valores de porosidade, rendimento específico e retenção específica....	18
TABELA 6:	Diâmetro dos materiais.....	19
TABELA 7:	Características físicas das microbacias estudadas.....	35
TABELA 8:	Distribuição dos tipos de solos das microbacias estudadas.....	42
TABELA 9:	Distribuição do uso e ocupação do solo nas microbacias estudadas.....	43
TABELA 10:	Classificação granulométrica dos poços de monitoramento.....	46
TABELA 11:	Rendimento específico para cada poço.....	50
TABELA 12:	Variabilidade máxima comparada com a mínima (adotada) dos rendimentos específicos.....	51

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1:	Período de monitoramento do estudo realizado.....	31
QUADRO 2:	Varição dos níveis de água nos poços de monitoramento.....	56

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1:	Precipitação pluviométrica diária (mm) durante os anos de 2010 e parte do ano de 2011.....	79
ANEXO 2:	Poço 5: Níveis diários de flutuação de Março de 2010 a Maio de 2011.....	80
ANEXO 3:	Poço 6: Níveis diários de flutuação de Abril de 2010 a Maio de 2011.....	81
ANEXO 4:	Poço 7: Níveis diários de flutuação de Maio de 2010 a Maio de 2011.....	82
ANEXO 5:	Dados de pressão atmosférica.....	83

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

- ABAS – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- a. C. – antes de Cristo (época ou era).
- ANA – Agência Nacional das Águas.
- CAPES – Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.
- CCNE – Centro de Ciências Naturais e Exatas.
- CCR – Centro de Ciências Rurais.
- CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos.
- CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais.
- Δ - Diferença de...
- d h = Δ h – diferença de altura.
- DNER-ME – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem-Método de Ensaio.
- DNOS – Departamento Nacional de Obras de Saneamento.
- E – Este (Leste).
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
- et al. – e outros.
- FATEC – Fundação de Apoio à Tecnologia e Ciência.
- FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – RS.
- GHIDROS – Grupo de pesquisa em recursos hídricos e saneamento ambiental.
- GO – Goiás (Estado do Brasil).
- GPS – *Global Positioning System* (sistema de posicionamento global).
- °C – Graus centígrados.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- km – Quilômetro.
- km² – Quilômetros quadrados.
- km³ – Quilômetros cúbicos.
- MG – Minas Gerais (Estado do Brasil).
- m – metro.
- mca – metros de coluna de água.
- mm – milímetros.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente.

MT – Mato Grosso (Estado do Brasil).

MS – Mato Grosso do Sul (Estado do Brasil).

N – Norte.

NBR – Norma brasileira.

PEA – Programa Estratégico de Ação (do projeto de proteção ambiental e desenvolvimento sustentável do Sistema Aquífero Guarani).

% - Por cento.

PPGEC – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil.

PR – Paraná (Estado do Brasil).

PRÉ – SAG – Pré-Sistema Aquífero Guarani.

PSAG – Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani.

PVAa-RLE – Associação Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico e Neossolo Litólico Eutrófico .

RLD – Neossolo Litólico Distrófico.

RLE – Neossolo Litólico Eutrófico.

RLE-C-Co – Associação Neossolo Litólico Eutrófico-Cambissolo-Colúvios.

R – Recarga.

RS – Rio Grande do Sul (Estado do Brasil).

SAG – Sistema Aquífero Guarani.

SC – Santa Catarina (Estado do Brasil).

SEMA/RS – Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul.

SiBICS – Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.

SIRGAS – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas.

SMAR – Base Santa Maria para georreferenciamentos, do IBGE.

sp – diversas espécies.

Sy – Rendimento específico.

UFMS – Universidade Federal de Santa Maria.

UNESCO – United Nations Educational, Scientific And Cultural Organization.

UNISINOS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos

USA – United States of America.

USP – Universidade de São Paulo.

UTM – Universal Transversa de Mercator.

VNA – Variação do nível da água.

WTF – Water Table Fluctuation (o mesmo que VNA).

ZNS – Zona não saturada ou zona de aeração.

ZS – Zona saturada.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO

1.1 Objetivos.....	03
--------------------	----

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A Água.....	04
2.1.1 Distribuição da água.....	04
2.1.2 Importância da água.....	05
2.1.3 Zonas de umidade.....	05
2.2 As camadas confinantes e os aquíferos.....	07
2.2.1 Classificação dos aquíferos quanto aos tipos de porosidade.....	08
2.2.2 Classificação dos aquíferos segundo a pressão da água.....	09
2.2.3 O Aquífero Serra Geral e o Aquífero Guarani.....	11
2.3 Os aquíferos e as rochas.....	13
2.4 Os aquíferos e os rios.....	14
2.5 O ciclo hidrológico.....	15
2.6 Rendimento específico, retenção específica e porosidade.....	17
2.7 Classificação granulométrica.....	19
2.8 A recarga da água subterrânea.....	20
2.9 O método WTF.....	21

3 METODOLOGIA

3.1 Procedimentos adotados.....	24
3.2 Localização dos poços de monitoramento.....	24
3.3 Perfuração dos poços de monitoramento.....	25
3.4 Análises granulométricas.....	29
3.5 Equipamentos de monitoramento, suas instalações e monitoramento.....	29
3.6 Coleta de informações e tratamento dos dados.....	31

4 ÁREA DE ESTUDO

4.1 Localização e caracterização.....	33
4.2 Clima.....	36
4.3 Classificação geológica/geotécnica das microbacias.....	37
4.4 Comportamento hidrológico das unidades ocorrentes nas microbacias.....	39
4.5 Classificação geomorfológica das microbacias.....	40

4.6 Classificação dos solos das microbacias.....	41
4.7 Uso do solo nas microbacias.....	43
4.8 Características da vegetação.....	44
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	
5.1 Caracterização da área.....	46
5.1.1 Perfil geológico e classificação granulométrica dos poços de monitoramento.....	46
5.1.2 Determinação do rendimento específico em cada poço de monitoramento.....	50
5.1.3 Interação entre os poços de monitoramento e o Rio Vacacaí-Mirim.....	51
5.1.4 Caracterização da superfície potenciométrica e sua relação com o Rio Vacacaí-Mirim.....	54
5.2 Flutuação do nível da água nos poços de monitoramento.....	55
5.3 Comparação entre a flutuação e a precipitação.....	56
5.4 Cálculos das recargas de água subterrânea.....	57
5.5 Conclusões parciais.....	66
6 CONCLUSÃO FINAL.....	68
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
8 ANEXOS.....	79

1 INTRODUÇÃO

Este estudo foi estruturado em oito capítulos. No capítulo 1 será apresentado um preâmbulo do tema objeto desta pesquisa bem como uma breve descrição. No capítulo 2 será apresentada uma revisão bibliográfica dos trabalhos anteriores destacando-se pesquisas realizadas no Sistema Aquífero Guarani. No capítulo 3 será apresentada a metodologia adotada. No capítulo 4 será apresentada a descrição da área de estudo. No capítulo 5 serão apresentados e discutidos os resultados referentes a esta pesquisa. No capítulo 6 será abordada a conclusão, enquanto que no capítulo 7 as referências bibliográficas e finalizando no capítulo 8, serão apresentados os anexos com resultados registrados.

“Felix qui potuit rerum cognoscere causas”, (Feliz o que pode conhecer as causas das coisas). Elogio de Virgílio àqueles que pesquisam os fenômenos da natureza, e cuja inteligência se eleva acima das vulgares superstições, em *Geórgicas*, II, 489 (KOOGAN LAROUSSE, 1979). Essa citação do grande poeta romano nos retorna à Antiguidade, demonstrando que já naquela época os homens preocupavam-se com o estudo e com a obtenção do conhecimento.

Como remonta a uma época muito antiga, consegue-se então imaginar quão importante e até certo ponto difícil, foi a evolução da obtenção do conhecimento, o descobrimento e adequação das habilidades individuais do homem e do desenvolvimento das tecnologias para a sobrevivência.

Já na atualidade, constata-se um espetacular e desordenado crescimento populacional, que traz consigo toda uma problemática de convivência entre os próprios seres e é extremamente danoso ao planeta. O meio ambiente demonstra diariamente sua insatisfação com o tratamento que lhe é dado. É cada vez mais frequente a ocorrência de eventos catastróficos que abalam não só os seres humanos atingidos diretamente, mas também a própria Natureza, que fica por muito tempo ainda com essas cicatrizes. Até que sabiamente ela retorna e desenvolve-se de novo.

Bem se aplica aqui, o provérbio do pensador francês Philippe Destouches (1680-1754)– *“Chassez le naturel, il revient au galop”* (Expulsai a natureza e ela voltará a galope, traduzido de Horácio (Filósofo e poeta, Itália, 65-8 a. C.)), que significa nada adianta contrariar a natureza, pois ela não tardará a impor-se novamente (KOOGAN LAROUSSE, 1979).

Dentro desse contexto se sobrepõe, categoricamente, o elemento vital do nosso mundo. Ela, majestosa, magnífica, **a água**. Quimicamente H_2O , apresentando dois átomos de hidrogênio e um átomo de oxigênio. Naturalmente, o elemento mais importante para a sobrevivência dos seres vivos neste planeta.

Multiplicam-se desequilíbrios, quantitativos e qualitativos, entre a oferta e as necessidades de água, o que gera conflitos inter e intra-regionais. O desafio é crescente, a exigir grau de prioridade de nossas políticas públicas. Todas as esferas de governo, juntas e cooperativamente, devem prover capacidade técnica e institucional e aportar investimentos permanentes (ANA, 2009).

Em face do crescente consumo de água, especialmente das águas subterrâneas, devido ao crescimento populacional e industrial, várias medidas devem ser tomadas para se evitar conflitos entre os usuários. Se não forem feitos estudos e planejamentos para a exploração dos recursos hídricos subterrâneos, graves danos podem ocorrer, desde problemas de rebaixamentos excessivos, a problemas de contaminação, resultantes da ação antrópica. A estimativa da recarga das águas subterrâneas surge então como um pré-requisito para uma gestão eficiente e sustentável de tais recursos, uma vez que são indispensáveis à sobrevivência e ao bem estar dos seres.

A recarga da água subterrânea, por sua vez, é um fator dos mais importantes para sua gestão, pois tem relação direta com sua exploração, afetando inclusive o escoamento superficial (CARNIER NETO et al., 2008).

Segundo perspectivas que, podem até parecer pesadelo, águas adequadas ao consumo tornar-se-ão insuficientes, existindo a possibilidade de valorizarem-se tanto que se transformarão no “ouro do século XXI”. Para que previsões tão tristes não se transformem em realidade é absolutamente necessário tratar melhor este recurso natural. Para isso é necessário adquirir e divulgar, cada vez mais os conhecimentos fundamentais sobre a água (SUGUIO, 2008).

No caso presente, os estudos com água subterrânea em duas microbacias escolhidas para tal, simplesmente inexistiam, o que justifica, portanto, a iniciativa da Universidade Federal de Santa Maria, e especificamente do seu curso de pós-graduação em Engenharia Civil, em procurar informações detalhadas e precisas para conhecer o funcionamento do aquífero a nível local. Este estudo faz parte do Projeto INTEGRA – Rede cooperativa de pesquisa em disponibilidade hídrica para aplicação dos instrumentos de gestão de recursos hídricos, quantidade e qualidade de água em pequenas bacias hidrográficas, e é administrado

pelo grupo de pesquisa em recursos hídricos e saneamento ambiental (GHIDROS- PPGEC-UFSM).

O monitoramento da água subterrânea constitui importante ferramenta de diagnóstico e controle das condições do aquífero, pois fornece informações que permitem saber o seu estado atual e as tendências dos parâmetros monitorados, além de registrar respostas de ações antrópicas e fatores naturais. O monitoramento do nível da água, em particular, torna possível o acompanhamento contínuo e sistemático das variações no volume de água subterrânea, permitindo a outorga e uma gestão racional desse recurso natural renovável.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem por finalidade estudar a flutuação dos níveis de água subterrânea em duas microbacias do Rio Vacacaí-Mirim no Estado do Rio Grande do Sul. Estabelecer uma série histórica de níveis de água subterrânea, através de poços de monitoramento, cujos dados servirão como um aporte ao conhecimento. Investigar a existência de recarga de água subterrânea, como hipótese de trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão abordados os seguintes tópicos: A água, as camadas confinantes e os aquíferos, os aquíferos e as rochas, os aquíferos e os rios, o ciclo hidrológico, o rendimento específico, retenção específica e porosidade, a classificação granulométrica, a recarga da água subterrânea e o método WTF.

2.1 A Água

2.1.1 Distribuição da água

A maior parte da superfície da Terra está coberta por água (70%), por isso ela se chama “Planeta Azul”. Do volume total de água do planeta, 97,5% é salgada (água dos mares e oceanos), e apenas 2,5% é doce.

Porém, da água doce existente na Terra, 68,9% formam as calotas polares, geleiras e neves eternas (que cobrem os cumes das montanhas), 0,9% corresponde à umidade do solo e pântanos, 0,3% aos rios e lagos, e os 29,9% restantes são águas subterrâneas.

Desta maneira, do total de água doce disponível para consumo – descontando-se aquela água doce presente nas calotas polares, geleiras e neves eternas – as águas subterrâneas representam um total de 96% (MMA, 2007).

A Figura 1 demonstra a distribuição da água no Planeta Terra.

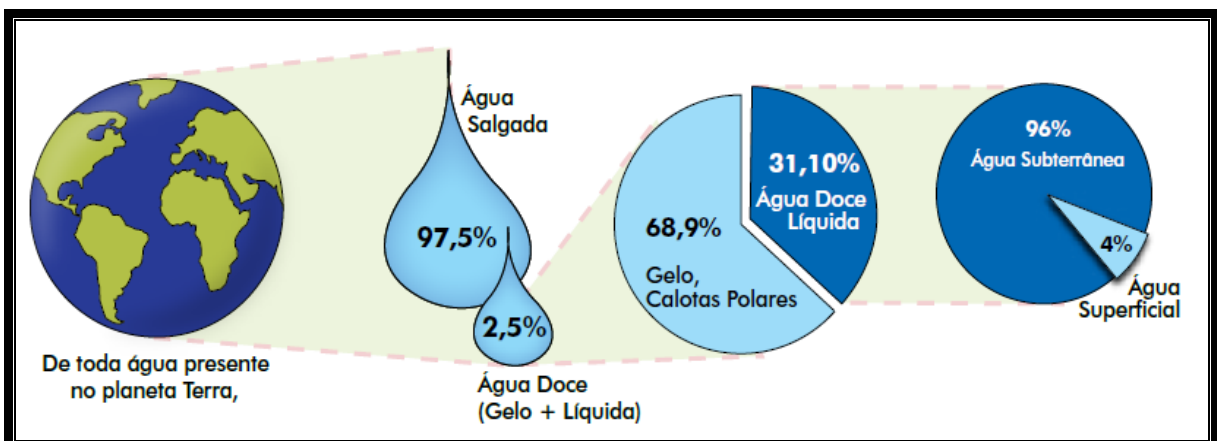


Figura 1: Distribuição da água na Terra, MMA (2007).

De acordo com as Nações Unidas, o volume médio anual de água renovável é de

43.000 quilômetros cúbicos. Este valor é cerca de metade de toda a água doce existente em todos os lagos naturais da Terra e cerca de dez vezes o volume de todos os reservatórios artificiais. A recarga de água subterrânea é da ordem dos 10.000 quilômetros cúbicos anuais, (cerca de 0,1% de todos os recursos de água subterrânea). Pelo que se vê apenas uma pequeníssima proporção do volume total das reservas de água subterrânea é recarregado em cada ano, quando comparado com toda a enorme quantidade em estoque (PLANET EARTH, 2007).

2.1.2 Importância da água

A água é para o mundo, o mesmo que o sangue é para o nosso corpo. Ela circula tanto no interior quanto no exterior da Terra, ela cai em chuva e neve, ela surge do solo, corre em rios, e depois retorna aos vastos reservatórios que são os oceanos e mares que nos cercam por todos os lados Leonardo da Vinci ([15..?] *apud* KOBİYAMA, 2008).

A água é uma das substâncias mais importantes do Planeta Terra, pois, dela depende a maioria dos processos físicos, químicos e biológicos nos ecossistemas. Para o homem, a água sempre foi determinante no ritmo de sua evolução. Ao longo da história da humanidade, as primeiras grandes civilizações se desenvolveram às margens de rios (Tigre e Eufrates na Mesopotâmia, Nilo no Egito, Indus na Índia, e Amarelo na China) de onde garantiam o abastecimento de água e, conseqüentemente, seu desenvolvimento social e econômico (KOBİYAMA et al., 2008).

Segundo Lima (2008) no planeta Terra, a água é destrutiva, útil, rara, vulgar e vital ao mesmo tempo. Suas características químicas e físicas conferem-lhe propriedades importantes como: solvente universal, agente de limpeza e de nutrição, meio de transporte, componente fundamental das células vivas, moderadora do clima, agente erosivo e destruidor.

2.1.3 Zonas de Umidade

Heath (1983) diz que se imagina a ocorrência da água subterrânea somente em rios e veios, não se vê a grande quantidade de aberturas que existe entre grãos de areia e de silte, entre partículas de argila ou, mesmo, ao longo das fraturas de granito. Por ser o ambiente da água subterrânea escondido da visão tem-se a impressão de uma terra sólida.

Na subsuperfície do terreno a água existente circula entre os poros, que são os espaços vazios existentes entre os grãos que formam os solos e as rochas sedimentares. Porém em

alguns tipos de rocha, a água circula através das fraturas, que são locais onde as rochas se romperam devido a esforços na crosta terrestre (IRITANI e EZAKI, 2008).

A infiltração da água no solo determina duas zonas distintas de umidade: a primeira é chamada de zona não saturada (ZNS) (Figura 2). Neste local os poros são preenchidos parcialmente por água ou por ar. Uma parte desta água é absorvida pelas raízes das plantas e por outros seres vivos, outra parte evapora e volta para a atmosfera.

A zona não saturada pode ser dividida praticamente em três partes: zona do solo ou vadosa, zona intermediária e a parte superior da franja capilar.

A zona do solo é a zona que suporta o crescimento das raízes das plantas. A porosidade e a permeabilidade desta zona tendem a serem maiores do que aquela do material que está abaixo. A zona do solo está acima da zona intermediária, que está entre o limite da ascensão capilar da água e o limite de alcance das raízes das plantas (IRITANI e EZAKI, 2008).

A parte mais inferior da zona não saturada é ocupada pela franja capilar, e é o limite entre as zonas não saturada e saturada. A franja capilar resulta da atração entre águas e partículas. Como resultado desta atração, a água adere como um filme sobre a superfície das partículas e ascende aos poros de pequeno diâmetro contra a ação da força gravitacional (CLEARY, 2007).

A segunda zona de umidade do solo é a zona saturada (ZS) (Figura 2) e é, portanto, mais profunda, onde a água, por ação da gravidade, acumula-se preenchendo totalmente os poros.

Na parte superior da zona saturada existe uma faixa chamada de franja capilar, limitando-a com a zona não saturada, onde todos os poros estão preenchidos por água, presa aos grãos da rocha/solo pelo efeito da capilaridade (FEITOSA et al., 2000).

Nota-se que alguns autores descrevem a faixa de umidade denominada franja capilar como sendo a camada inferior da zona não saturada, e outros a descrevem como sendo a camada superior da zona saturada.

A força dominante no movimento da água subterrânea é a gravidade, assim, a da parte mais baixa da zona saturada move-se dos divisores de bacia para os rios ou a costa. Efetivamente, a superfície freática é usualmente uma réplica atenuada da superfície topográfica (HEATH, 1983).

A Figura 2 representa esquematicamente as camadas de distribuição da água no solo.

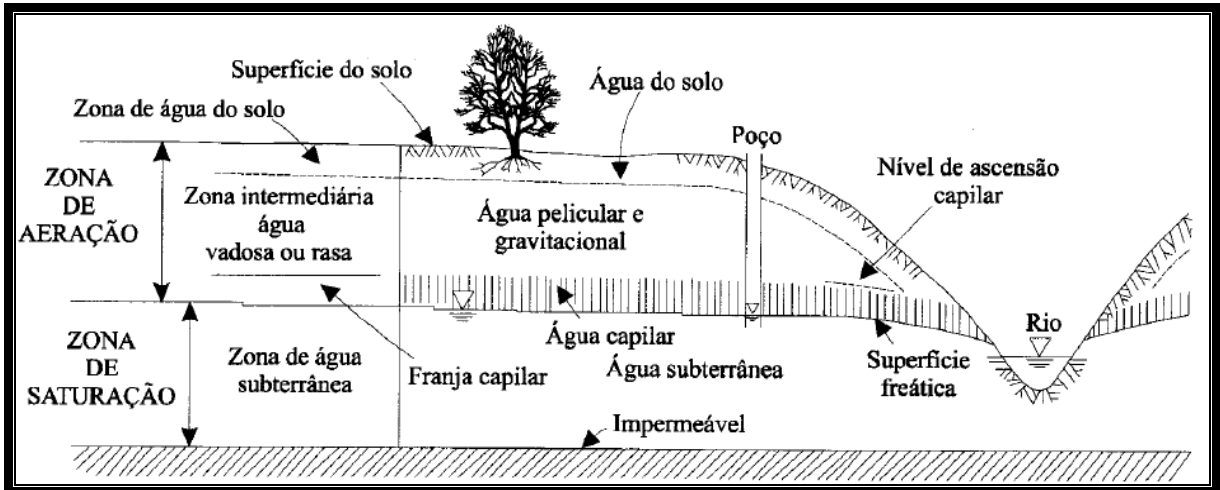


Figura 2: Representação esquemática da distribuição vertical da água no solo e subsolo, mostrando as diversas zonas de umidade, modificado de Bear e Verruijt (1987 *apud* FEITOSA et al. 2000).

A água na zona saturada que está disponível para suprir poços e fontes e é a única água a qual o nome “água subterrânea” aplica-se corretamente. A recarga da zona saturada ocorre por percolação da água de superfície através da zona insaturada.

A superfície freática é o nível na zona saturada no qual a pressão hidráulica é igual à pressão atmosférica e está representada pelo nível estático da água em poços. (HEATH, 1983).

O limite entre as zonas não saturada e saturada é comumente chamado de lençol freático. Quando se perfura um poço raso, o nível da água observado representa a profundidade do lençol freático naquele ponto, que é chamado de nível freático, nível d’água ou nível potenciométrico (IRITANI e EZAKI, 2008).

2.2 As camadas confinantes e os aquíferos

Em Hidrologia da água subterrânea depara-se com as camadas confinantes da crosta terrestre. Essas camadas são unidades geológicas que restringem o movimento da água subterrânea e/ou que proporcionam a ocorrência da água subterrânea.

A seguir descrevem-se as camadas e o seu comportamento hidrológico:

Aquíferos - (do Latim *aqua* + *ferre*) que significa “suportar a água”:

São unidades rochosas ou de sedimentos, porosas e permeáveis, que armazenam e transmitem volumes significativos de água subterrânea passíveis de, se economicamente viável, serem explorados pela sociedade (CLEARY, 2007).

A conceituação fornecida pela Resolução nº15/2001 do CNRH diz que aquífero é o corpo hidrogeológico com capacidade de acumular (reservatório) e transmitir água através de seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos.

Aquicludes - (do Latim *aqua* + *cludere*) que significa “água fechada”:

São unidades geológicas que, apesar de saturadas, e com grandes quantidades de água absorvida lentamente, são incapazes de transmitir um volume significativo de água com velocidade suficiente para abastecer poços ou nascentes, por serem rochas relativamente impermeáveis. Formam limites superiores e/ou inferiores de um sistema de fluxo de água subterrânea.

Aquitardos - (do Latim *aqua* + *tardus*) que significa “lentidão das águas”:

São unidades geológicas que podem armazenar água e transmitir lentamente de um para outro aquífero, mas não são capazes de transmitir quantidades economicamente viáveis para fontes e poços de exploração (CLEARY, 2007).

Aquifugos - (do Latim *aqua* + *fugere*) que significa “fugir da água”:

São unidades geológicas que não apresentam poros interconectados e não absorvem e nem transmitem água.

A utilização do termo aquífero e aquitarde para expressar a comparação da capacidade de produção de água de unidades rochosas, diz que a unidade com mais produção de água corresponde ao aquífero, e a menos produtiva ao aquitarde. Exemplificando, numa seqüência de estratos intercalados de arenitos e siltitos, os arenitos são mais permeáveis do que os siltitos e correspondem ao aquífero, e os siltitos que são menos permeáveis, correspondem ao aquitarde. Em outra seqüência, formada de siltitos e argilitos, os siltitos podem representar o aquífero e os argilitos, o aquitarde.

Portanto, o aquitarde corresponde à camada ou unidade geológica relativamente menos permeável numa determinada seqüência estratigráfica. Bons aquíferos são os materiais com média a alta condutividade hidráulica, como sedimentos inconsolidados (por exemplo, cascalhos e areias), rochas sedimentares (por exemplo, arenitos, conglomerados e alguns calcários), além de rochas vulcânicas, plutônicas e metamórficas com alto grau de fraturamento (TEIXEIRA et al., 2000).

2.2.1 Classificação dos aquíferos quanto aos tipos de porosidade (geologia do material saturado)

Os aquíferos, conforme sua porosidade são classificados em:

- Porosos, granulares ou intergranulares (Figura 3 a);

- Fissurais ou de fraturas (Figura 3 b);
- Cársticos ou de condutos (Figura 3 c).

Aquíferos Porosos ocorrem no regolito e em rochas sedimentares clásticas com porosidade primária. Os arenitos, de modo geral, são excelentes aquíferos deste tipo. A produtividade em água dos arenitos diminui com o seu grau de cimentação.

Aquíferos de fraturas formam-se em consequência de deformação tectônica, na qual processos de dobramento e falhamento geram sistemas de fraturas, normalmente seladas, devido à profundidade. Sofrem depois aberturas milimétricas, que permitem a entrada e fluxo de água. O fluxo de água somente se instala quando as fraturas que compõem o sistema estão conectadas. Fraturas não tectônicas, do tipo disjunção colunar em rochas vulcânicas, como nos derrames de basaltos, podem ser geradas durante as etapas de resfriamento e contração, possibilitando que estas rochas tornem-se posteriormente importantes aquíferos e/ou condutos de recarga.

Aquíferos de condutos caracterizam-se pela porosidade cárstica, geradas pela dissolução de rochas carbonáticas. Constituem aquíferos com grandes volumes de água, mas extremamente vulneráveis à contaminação, devido à baixa capacidade de filtração deste tipo de porosidade (TEIXEIRA et al., 2000).

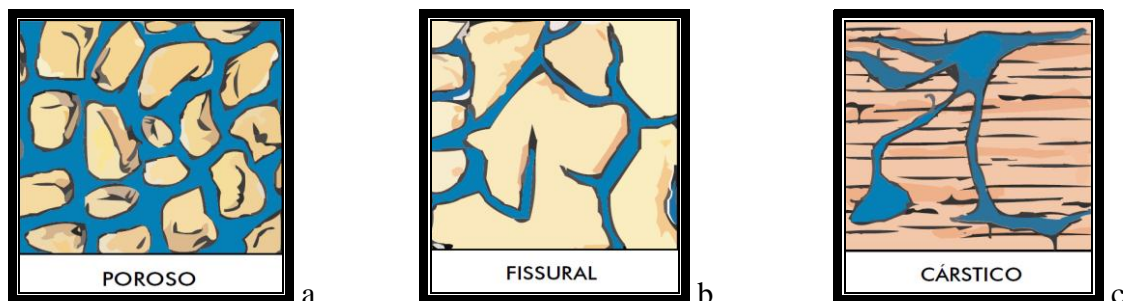


Figura 3: Tipos de aquíferos quanto a porosidade, MMA (2007).

2.2.2 Classificação dos aquíferos segundo a pressão da água

Os aquíferos, conforme a pressão da água são classificados em:

- Livres – aquíferos que se localizam mais próximos à superfície. Como no caso do aquífero Pantanal (MMA, 2007). Aquíferos livres são aqueles cujo topo é demarcado pelo nível freático, estando em contato com a atmosfera (Fig. 4). Normalmente ocorrem a profundidades de alguns metros a poucas dezenas de metros da superfície, associados ao regolito, sedimentos de cobertura ou rochas (TEIXEIRA et al., 2000).

- Confinados – presença de uma camada de menor permeabilidade (confinante) que submete as águas a uma pressão superior à atmosférica, caso da porção central do Sistema

Aquífero Guarani (MMA, 2007). Nos aquíferos confinados os poços tubulares profundos podem apresentar artesianismo, isto é, a água jorra do poço sem necessidade de equipamento de bombeamento (Fig. 4).

Aquíferos confinados ocorrem quando um estrato permeável (aquífero) está confinado entre duas unidades pouco permeáveis (aquitardes) ou impermeáveis. Representam situações mais profundas, a dezenas, várias centenas ou até milhares de metros de profundidade, onde a água está sob ação da pressão não somente atmosférica, mas também de toda a coluna de água localizada no estrato permeável (TEIXEIRA et al., 2000).

- Suspensos – É um tipo especial de aquífero, como representado na Figura 5. Ocorrem quando a água infiltrada encontra uma barreira, com dimensão restrita na zona não saturada, acumulando-se e ficando ali armazenada temporariamente. Em épocas sem chuva, quando não há recarga, estes aquíferos suspensos podem se esgotar (IRITANI e EZAKI, 2008).

A Figura 4 apresenta os aquíferos com seus respectivos níveis de pressão.

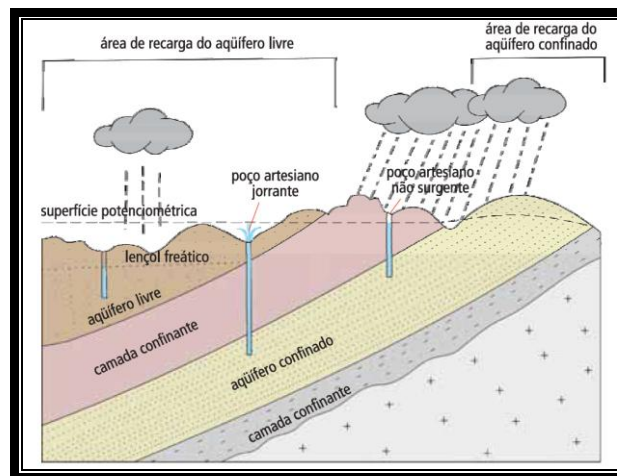


Figura 4: Aquíferos com respectivos níveis de pressão, (IRITANI e EZAKI, 2008).

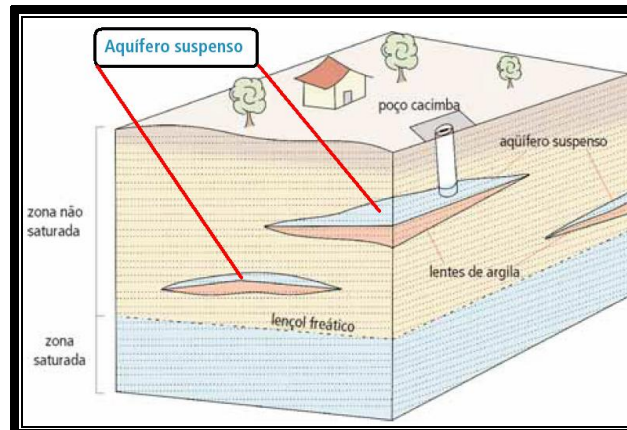


Figura 5: Aquífero suspenso, (IRITANI e EZAKI, 2008).

2.2.3 O Aquífero Serra Geral e o Aquífero Guarani

O Sistema Aquífero Serra Geral é a principal fonte de águas subterrâneas das regiões Oeste de Santa Catarina e Norte/Noroeste do Rio Grande do Sul, a Formação Serra Geral recobre o Aquífero Guarani (ANA, 2009).

O Sistema Aquífero Serra Geral é do tipo fraturado e apresenta uma área de recarga de 411.855 km² (ANA, 2007).

Já o Sistema Aquífero Guarani (SAG) é bastante compartimentado, apresentando grande diversidade na sua potencialidade e qualidade das águas. É muito heterogêneo e não tem continuidade espacial. É necessário, portanto, que pesquisas sejam consolidadas, pois as características do Aquífero Guarani são estratégicas para que a viabilidade de sua exploração possa ser planejada como alternativa de abastecimento.

A localização destes aquíferos coincide com as áreas constantemente afetadas por estiagens, o que prejudica o abastecimento de água por mananciais superficiais. Sabe-se que o topo do Aquífero Guarani ocorre em profundidades que variam de 170 metros em Itaqui /RS a 1.267 metros em São João d'Oeste /SC (ANA, 2009).

O SAG (Sistema Aquífero Guarani) é um sistema complexo e heterogêneo, em que os fluxos regionais e locais de águas subterrâneas são controlados por estruturas geotectônicas (arcos, falhas e diques), por condicionantes sedimentares (geometria, granulometria, grau de diagênese, estratos que o constituem e sua relação com os estratos inferiores e superiores) e por condicionantes geomorfológicas (altimetria, declividade e formas do relevo) (PSAG 2009). Ele é explotado sob condições confinadas e livres. Seu confinamento é dado pelas rochas da Formação Serra Geral (ANA, 2005) na porção superior e por unidades Pré-SAG em sua base (Formação Sanga do Cabral/Formação Corumbataí/Formação Rio do Rasto).

O SAG é um dos maiores mananciais de água doce subterrânea do mundo (Fig. 6), estendendo-se desde a Bacia Sedimentar do Paraná (Brasil, Paraguai e Uruguai) até a Bacia do Chaco-Paraná (Argentina) (WENDLAND, 2006). Está localizado no Centro leste da América do Sul, entre os paralelos 16° e 32° de latitude Sul e 47° e 60° de longitude Oeste, e possui área total englobada de 1.087.879,15 km², conforme observa-se na Tabela 1.

Tabela1 – Áreas de abrangência do SAG na América do Sul (PSAG, 2009).

PAÍS	ÁREA (km²)	ÁREA (%)
Brasil	735.917,75	67,64
Argentina	228.255,26	20,98
Paraguai	87.535,63	8,05
Uruguai	36.170,51	3,33
Total	1.087.879,15	100,00

No Brasil, o SAG faz parte do território de oito estados, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Áreas de abrangência do SAG no Brasil (PSAG, 2009).

ESTADO	ÁREA (km²)	ÁREA (%)
Mato Grosso do Sul	189.451,38	25,74
Rio Grande do Sul	154.680,82	21,01
São Paulo	142.958,48	19,42
Paraná	119.524,46	16,24
Santa Catarina	44.132,12	6,00
Goiás	39.367,72	5,35
Minas Gerais	38.585,20	5,24
Mato Grosso	7.217,57	1,00
Total	735.917,75	100,00

Na Argentina há a presença do Sistema Aquífero Guaraní nos estados de: Misiones, Entre Rios, Corrientes, Chaco, Formosa e Santiago Del Estero (ABAS, 2011).

No Brasil a sua área de recarga é de 89.936 km² (ANA, 2005).

A espessura total do aquífero varia de valores superiores a 800 metros até a ausência completa de espessura em áreas internas da bacia. As variações na espessura são atribuídas ao controle estrutural durante a deposição e ao controle erosional do ambiente desértico (WENDLAND, 2006).

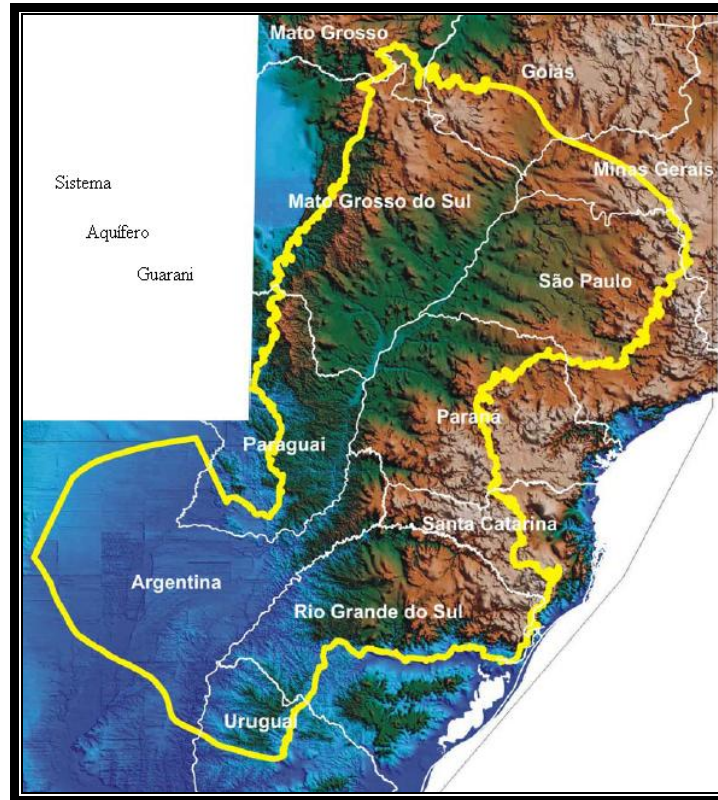


Figura 6: Mapa do Sistema Aquífero Guarani, PSAG (2008).

2.3 Os aquíferos e as rochas

Como vimos na seção 2.2, os aquíferos são unidades geológicas saturadas que permitem a circulação, armazenamento e extração de água. Geralmente os aquíferos possuem a capacidade de armazenar grande quantidade de água. Neste contexto, é importante observar que as rochas podem ser excelentes aquíferos e são classificadas em ígneas ou magmáticas, sedimentares e metamórficas:

A) Ígneas ou Magma (granitos, basaltos, diabásio e piroclásticas) são as rochas resultantes do processo de solidificação de uma fusão de silicatos chamada magma, material lançado pelos vulcões. São também chamadas rochas cristalinas ou embasamento cristalino. Aqui a água subterrânea ocorre nas fraturas e fissuras. São as mais antigas (3 bilhões de anos). Constituem aproximadamente 80% da crosta da terrestre (UNISINOS, 2003).

Quanto às Atividades Magma, as Rochas Ígneas classificam-se em:

→Rochas Vulcânicas (ou Extrusivas): onde a consolidação ocorre na superfície da terra;

→Rochas Plutônicas (ou Intrusivas): onde a consolidação ocorre no interior da crosta terrestre.

O magma pode ser:

→Basáltico: formador de 98% das rochas vulcânicas.

→Granítico: formador de 95% das rochas plutônicas;

B) Sedimentares (conglomerados, arenitos, siltitos, argilitos, pelitos, folhelhos, sedimentos calcários, lentes, entre outras) são formadas por fragmentos de rochas pré-existentes, desagregados pela erosão, transportados e acumulados em locais propícios à deposição (vales e/ou depressões do relevo). São as rochas que compõem as bacias sedimentares, formando os aquíferos mais produtivos. São mais jovens do que as rochas ígneas e metamórficas. Elas constituem aproximadamente 5% da crosta terrestre e tem muita importância econômica, pois grande parte da riqueza mineral do planeta (petróleo, gás natural, alumínio, ferro, chumbo), está contida nelas (TEIXEIRA et al., 2000).

C) Metamórficas (metassedimentos, metacalcários, mármore, gnaisses, xistos, milonitos) são as rochas resultantes do metamorfismo, processo pelo qual as rochas ígneas, sedimentares ou metamórficas sofrem mudança na composição mineralógica sob ação da pressão ou temperatura. (MMA, 2007 adaptado de ABAS, 1999). Durante esta mudança, a rocha não entra em fusão. Constituem aproximadamente 15% da crosta terrestre. Os principais agentes metamórficos são a pressão e a temperatura (100 e 600°C) (SUASSUNA, 2010).

Deve-se salientar que as rochas apresentam diferentes estruturas, as quais podem representar diferentes fluxos relacionados aos tipos de porosidade e/ou permeabilidade, e que podem permitir ou não, uma infiltração e circulação de água subterrânea.

2.4 Os aquíferos e os rios

Os aquíferos estão intimamente ligados com os rios. Os rios cuja vazão aumenta para jusante são chamados de rios efluentes, sendo alimentados pela água subterrânea (Fig. 7).

Os rios influentes têm a vazão diminuída a jusante, como consequência de recarga da água subterrânea. Neste caso a água do rio infiltra-se para o nível freático (Fig. 8) e o rio poderá secar.

As Figuras 7 e 8 ilustram as condições dos cursos de água considerando que as águas superficiais, subterrâneas e meteóricas são partes integrantes e indissociáveis no Ciclo Hidrológico de acordo com sugerido pela Resolução nº15/2001 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos.

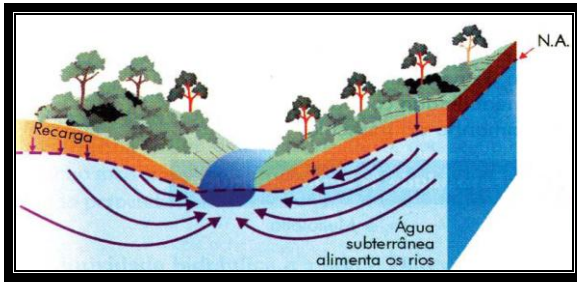


Figura 7: Rio efluente, Teixeira et al. (2000).

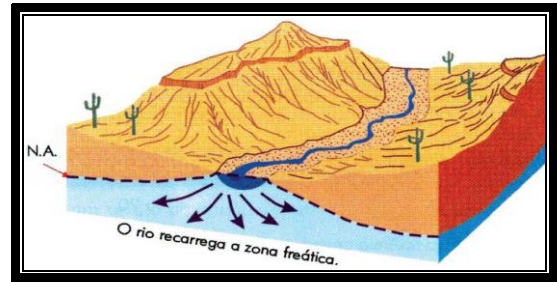


Figura 8: Rio influente, Teixeira et al. (2000).

2.5 O ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico é o constante movimento da água na Terra. Não estão definidos nem o seu começo e nem o seu fim. Suas principais ações são a evaporação das superfícies líquidas expostas no continente e no oceano, que juntamente com a transpiração dos vegetais e por ação da radiação solar, formam as nuvens. Essas nuvens ao precipitarem-se em formas de gotículas de chuva retornam a água à superfície terrestre e ao oceano (HEATH, 1983).

Na Figura 9 visualiza-se perfeitamente o funcionamento dos componentes do ciclo hidrológico, sendo possível notar, inclusive, aquele que mais influencia na água subterrânea (infiltração/recarga), objetivo deste estudo.

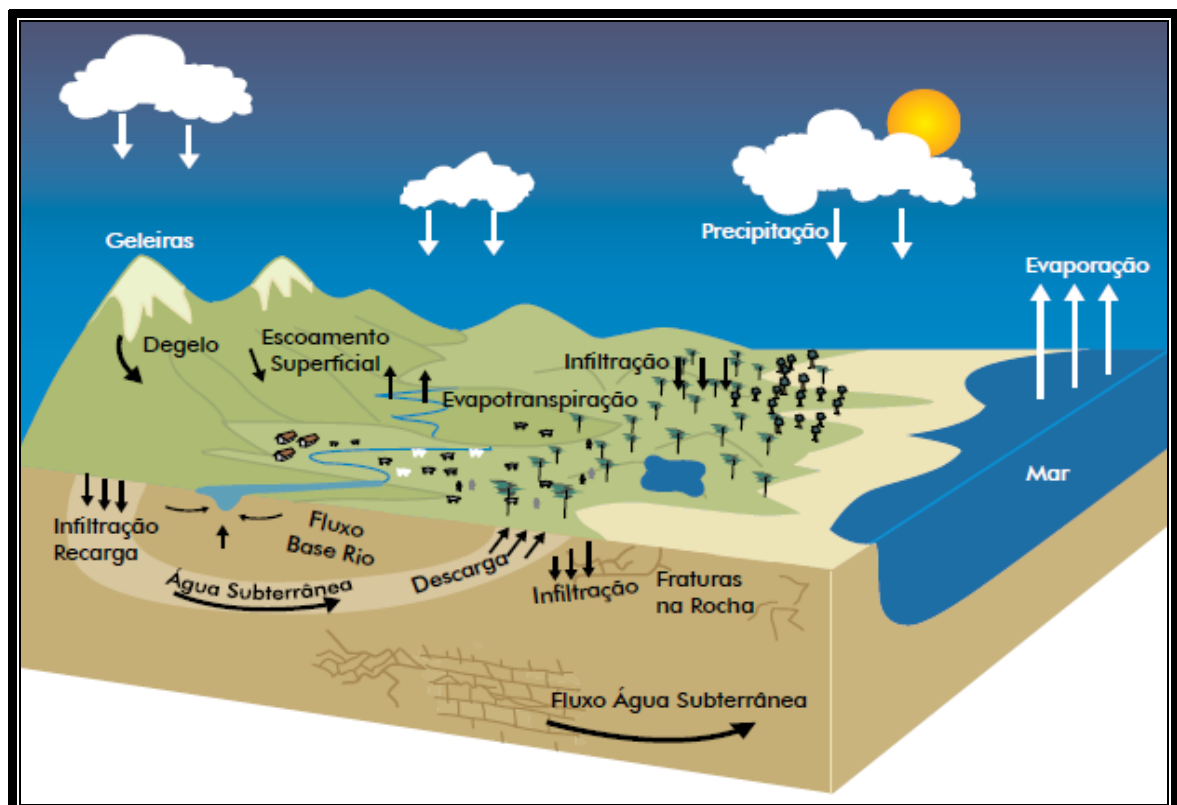


Figura 9: Ciclo hidrológico, Fonte MMA (2007).

A evapotranspiração é a evaporação direta da precipitação pluviométrica durante seu percurso somada a evaporação das superfícies líquidas e da transpiração liberada pela atividade biológica das plantas, sendo um dos modos da água retornar a atmosfera.

A água ao atingir o solo, percorre dois caminhos: o primeiro é a infiltração, quando a água guiada pela força gravitacional, tende a preencher os vazios no subsolo, seguindo em profundidade, onde abastece o corpo de água subterrânea. O segundo caminho é quando ocorre o escoamento superficial, pois a capacidade de absorção de água pela superfície do terreno encontrando-se superada impulsiona esse excesso de água por gravidade, para zonas mais baixas (TEIXEIRA et al., 2000).

Existem diversos estudos sobre a quantidade de vários tipos de água no mundo. Há, contudo uma pequena divergência entre esses estudos, como se mostra na Tabela 3. Sendo possível notar-se que o tempo de circulação alcança valores muito elevados, principalmente para águas glaciares, oceânicas e subterrâneas.

Tabela 3 – Quantidade de águas e seus tempos de circulação. Fonte: Kobiyama et al. (2008).

	Volume (10 ³ km ³)	Taxa (%)	Quantidade transportada (10 ³ km ³ /ano)	Tempo de circulação (ano)
Oceano	1.349.929,0	97,50	418	3229
Glaciar	24.230,0	1,75	2,5	9692
Água subterrânea	10.100,0	0,73	12	841
Água do solo	25,0	0,0018	76	0,3
Lagos	219,0	0,016	38	5,7
Rios	1,2	0,00009	35	0,034 (= 13 dias)
Fauna e flora	1,2	0,00009	-	-
Vapor na atmosfera	12,6	0,0009	483	0,026 (= 10 dias)
Total	1.384.518,0	100		

Segundo Kobiyama et al. (2008), o tempo de circulação é aquele no qual o sistema consegue naturalmente substituir toda a porção de água. Na Tabela 3 constata-se que o tempo de circulação da água para os rios no mundo é de, aproximadamente, 13 dias. Este valor é médio, e depende do tamanho de cada rio. Ainda assim esse tempo de circulação para os rios é bastante curto, determinando uma limpeza natural rapidamente. Já o tempo de circulação para a água subterrânea é muito longo, cerca de 841 anos. Em função dessa situação, a limpeza natural é extremamente longa e são necessários vários séculos, portanto, para despoluí-la. Nesse sentido, faz-se obrigatório o comportamento preservacionista, evitando a poluição da água subterrânea, o que afetaria várias gerações da comunidade humana e/ou da biosfera.

2.6 Rendimento específico, retenção específica e porosidade

Heath (1983) diz que rendimento específico é a água sob armazenamento em subsuperfície e que irá drenar sob influência da gravidade. É a quantidade de água que se torna disponível para uso humano.

Segundo Gomes (2008), existem dois métodos experimentais para a determinação do rendimento específico: o método de saturação e drenagem e, o método de tensão da água no solo (Funil de *Haines*).

A retenção específica é a parte da água retida como uma fina película sobre as superfícies e/ou em diminutas aberturas. As forças físicas que controlam a retenção específica são aquelas que também atuam na espessura e no conteúdo da umidade da franja capilar. É a quantidade de água que fica retida no material após a drenagem pela gravidade.

Na Tabela 4 Healy e Cook (2002), descrevem os rendimentos específicos médios das principais texturas experimentadas por Johnson (1967).

Tabela 4 – Valores sobre rendimentos específicos (S_y), adaptado de Johnson (1967 *apud* HEALY e COOK, 2002).

MATERIAL	Sy MÉDIO (%)	Sy MÍNIMO (%)	Sy MÁXIMO (%)	NÚMERO DE DETERMINAÇÕES
Argila	0,02	0,00	0,05	15
Argila arenosa	0,07	0,03	0,12	12
Silte	0,08	0,03	0,19	16
Areia fina	0,21	0,10	0,28	17
Areia média	0,26	0,15	0,32	17
Areia grossa	0,27	0,20	0,35	17
Areia com pedregulho	0,25	0,20	0,35	15
Pedregulho fino	0,25	0,21	0,35	17
Pedregulho médio	0,23	0,13	0,26	14
Pedregulho grosso	0,22	0,12	0,26	13

Na Tabela 4, como pode ser visto, há a existência de uma grande variação dentro de cada classe textural. Essa variabilidade é atribuída à heterogeneidade natural dos materiais geológicos, os diferentes métodos utilizados para determinar o rendimento específico, e em grande parte a quantidade de tempo destinado à determinação Prill et al. (1965 *apud* HEALY e COOK, 2002).

Na Tabela 5, Heath (1983) cita valores de porosidade, rendimento específico e retenção específica para diferentes materiais.

Tabela 5 – Valores de porosidade, rendimento específico e retenção específica, Heath (1983).

MATERIAL	POROSIDADE	RENDIMENTO	RETENÇÃO
	(%)	ESPECÍFICO	ESPECÍFICA
		(%)	(%)
Solo	55	40	15
Argila	50	2	48
Areia	25	22	3
Cascalho	20	19	1
Carbonato	20	18	2
Arenito (semico.)	11	6	5
Granito	0,1	0,09	0,01
Basalto	11	8	3

A porosidade é uma propriedade física definida pela relação entre o volume de vazios e o volume total de um de certo material (solo ou rocha). Ela é referida como:

$$n = \frac{V_t - V_s}{V_t} = \frac{V_v}{V_t} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

n = é a porosidade como uma fração decimal,

V_t = é o volume total de amostra de solo ou rocha,

V_s = é o volume de sólidos na amostra,

V_v = é o volume de abertura (vazios).

Ao multiplicar-se a porosidade determinada com a Equação (1) por 100, o resultado será a porosidade expressa em porcentagem (HEATH, 1983).

Existem dois tipos fundamentais de porosidade nos materiais terrestres: primária e secundária.

A porosidade primária é gerada juntamente com o sedimento ou rocha, sendo caracterizada nas rochas sedimentares pelos espaços entre os grãos (porosidade intergranular Figura 3 a), ou planos de estratificação. Nos materiais sedimentares o tamanho e a forma das partículas, o seu grau de seleção e a presença de cimentação, influenciam a porosidade.

A porosidade secundária, por sua vez, se desenvolve após a formação das rochas, por fraturamento ou falhamentos durante sua deformação (porosidade de fraturas - Figura 3 b). Um tipo especial de porosidade secundária se desenvolve em rochas solúveis, como calcários e mármore, através da criação de vazios por dissolução, caracterizando a porosidade cárstica (TEIXEIRA et al., 2000) (Figura 3 c).

Faria da Silva (2007) diz que os poros do solo são divididos em duas classes: macroporos e microporos. A macroporosidade é também chamada de porosidade de aeração. Na fração areia há a ocorrência de macroporos. Já a fração argila é responsável por promover a estruturação do solo, fazendo com que ocorra o aparecimento de um alto volume de poros, principalmente de microporos (ZIMBACK, 2003).

2.7 Classificação granulométrica

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) em sua norma técnica NBR 6502 de setembro de 1995 – Rochas e Solos – Terminologia – define o diâmetro dos materiais conforme constam na Tabela 6.

Tabela 6 – Diâmetro dos materiais.

MATERIAL- ROCHAS E SOLOS	DIÂMETRO (mm)	
	Mínimo	Máximo
Bloco de rocha	1.000,00	
Matacão	200,00	1.000,00
Pedra de mão	60,00	200,00
Pedregulho grosso	20,00	60,00
Pedregulho médio	6,00	20,00
Pedregulho fino	2,00	6,00
Areia grossa	0,60	2,00
Areia média	0,20	0,60
Areia fina	0,06	0,20
Silte	0,002	0,06
Argila		0,002

Considerando-se os dados obtidos e a norma brasileira, pode-se dizer que a área onde se localizam os poços de monitoramento, objetos deste estudo, é predominantemente de constituição arenosa.

Sendo assim, apresenta um perfil geológico reservatório excelente para aquíferos livres, o que a caracteriza como uma região de importância vital para recarga direta de águas subterrâneas. Entretanto, essa característica a torna extremamente vulnerável e susceptível à contaminação.

2.8 A recarga da água subterrânea

A recarga é a parcela da infiltração/percolação que realmente atinge o aquífero por alguma direção. Infiltração é o movimento da água superficial para o subsolo. Percolação é o movimento da água já dentro do solo.

Paiva (2006) diz que a principal fonte de recarga é a chuva, que pode penetrar o solo diretamente e percolar para a zona de águas subterrânea (FAZAL et al., 2005). A recarga de aquíferos também pode ocorrer pela infiltração de rios, canais e lagos e por fenômenos induzidos por atividades humanas, como irrigação e a urbanização.

A Figura 10 demonstra mecanismos de recarga direta, notando-se os caminhos da precipitação, que são a infiltração, a evaporação e o escoamento superficial. Também demonstra a recarga indireta e a recarga localizada.

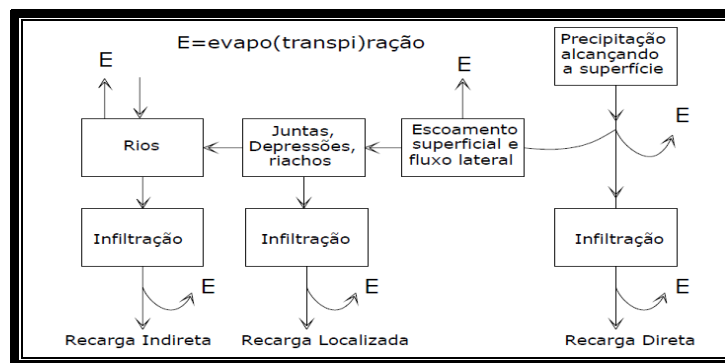


Figura 10: Ilustra os vários mecanismos de recarga, adaptado de Lerner (1997 *apud* PAIVA, 2006).

A recarga também pode ocorrer pelo aporte de água vindo de outra unidade hidrogeológica, seja granular ou fraturada, em contato com o aquífero em questão. Por exemplo, um aquífero confinado subjacente, apesar da baixa permeabilidade, pode permitir a transmissão de água para um aquífero confinado subjacente (IRITANI e EZAKI, 2008).

Alguns eventos de chuva de pouca intensidade e duração, não provocam contribuições diretas à recarga de águas subterrâneas. A água efetivamente infiltrada não é,

necessariamente, o resultado de um único evento de chuva, mas pode representar uma série de precedentes eventos de chuva (PAIVA, 2006).

2.9 O método WTF

O Método da flutuação da superfície livre (WTF – *Water Table Fluctuation*) para estimativa de recarga de águas subterrâneas tem sido aplicado desde 1920 (MEINZER, 1923; MEINZER e STEARNS, 1929) e desde então vem sendo utilizado em numerosos estudos (por exemplo, RASMUSSEN e ANDREASEN, 1959; GERHART, 1986; HALL e RISSER, 1993), de acordo com Healy e Cook (2002). Alguns em séries de curta e/ou longa duração.

O Método WTF (*Water Table Fluctuation*) é a técnica mais amplamente usada para a estimativa da recarga (MAZIERO, 2005). E só é aplicável aos aquíferos livres e requer o conhecimento do rendimento específico da formação penetrada e das variações nos níveis d'água ao longo do tempo.

A atratividade do método WTF reside na sua simplicidade e facilidade de uso. Não são feitas suposições sobre os mecanismos pelos quais a água passa pela zona não saturada, daí a presença de fluxo preferencial na zona não saturada em nada restringe sua aplicação. (HEALY e COOK, 2002).

O método WTF é baseado na premissa de que os aumentos dos níveis das águas subterrâneas em aquíferos livres, são devidos a água de recarga do lençol freático.

A recarga é calculada de acordo com (HEALY e COOK, 2002):

$$R = S_y \frac{dh}{dt} = S_y \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

S_y é o rendimento específico,

Δh é a variação do nível freático,

Δt é o tempo de avaliação.

O rendimento específico de uma rocha ou solo, com relação a água, é a razão do volume de água que, depois de saturá-los, vai render por gravidade o seu próprio volume (MEINZER, 1923) citado por Healy e Cook (2002), e que é igual ao coeficiente de armazenamento, sendo da ordem da porosidade útil do meio (BARRETO et al., 2007).

A água que atinge o nível freático entra imediatamente em armazenamento e todos os outros componentes do balanço hídrico subterrâneo (evapotranspiração subterrânea, fluxo de base, entrada e saída de fluxo subsuperficial) são nulos durante o período de recarga.

Healy e Cook (2002) definiram que a aplicação para todas as elevações individuais do nível d'água determina uma estimativa da recarga total, sendo que Δh é igual à diferença entre o pico de subida e o ponto mais baixo da curva de recessão antecedente extrapolada até o instante do pico. A curva de recessão antecedente é o traço que a hidrógrafa do poço de monitoramento teria seguido na ausência de elevação do nível d'água (Figura 11). Essa extrapolação é subjetiva e tenta acomodar a defasagem entre o início da precipitação e o consequente início da variação de nível, resultante do processo natural de escoamento através da zona não saturada. Para uma estimativa da recarga direta, Δh é a diferença em altura entre dois instantes distintos.

A Figura 11 ilustra a extrapolação da curva de recessão do nível d'água para estimativas da recarga total de acordo Healy e Cook (2002).

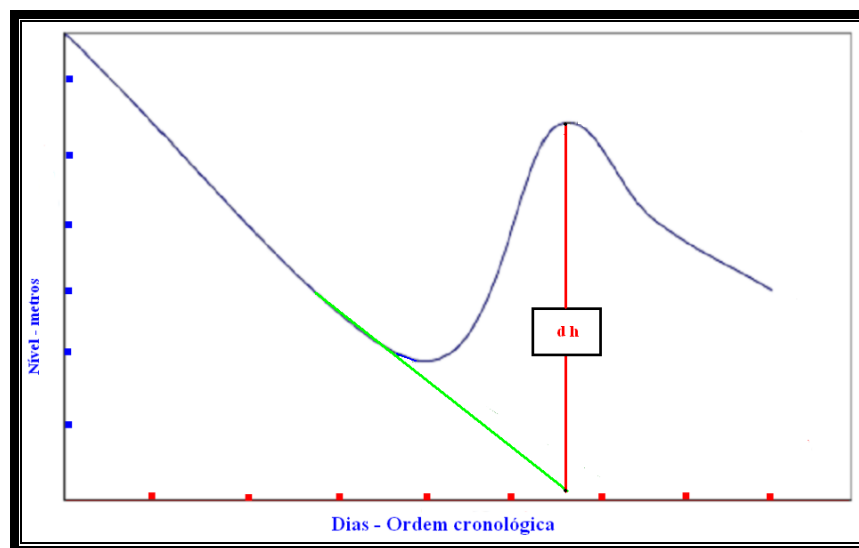


Figura 11: Determinação de Δh (dh), adaptado de Healy e Cook (2002).

Carnier Neto e Kiang (2008) dizem que a própria extrapolação é também um fator que merece a devida atenção: para o caso em que existe apenas uma recessão de grande duração, o ajuste da curva por meio de uma equação exponencial é muito mais indicado, devido ao comportamento inerente ao fenômeno, de natureza difusiva, do que um ajuste linear. Novamente, em aquíferos rasos que apresentam numerosos pulsos de chuva seguidos de recessões de curta duração, durante a época de recarga, a extrapolação linear pode ser uma alternativa de aplicação mais simples, dado que o trecho extrapolado está mais próximo do início da queda do nível d'água, longe do trecho assintótico da curva exponencial.

De acordo com Maldaner (2010) a recarga poderá ser estimada pelo método WTF desde que o volume de água adicionado ao aquífero seja maior do que o volume que sai do

sistema ocasionando a elevação do nível de água. Nos casos em que o volume de água que chega ao aquífero é constante, igual ou inferior ao volume que sai, ou seja, quando não há variação ou rebaixamento do nível de água, a recarga não poderá ser estimada por esse método.

Healy et al. (2007) dizem que na abordagem gráfica utilizada no método WTF as curvas de recessão antecedentes foram extrapoladas manualmente para se obter Δh (Figura 11) com base na inspeção visual de todos os dados definidos.

O método WTF pode ser visto como uma aproximação integrada e não como uma medida pontual quando comparado com os métodos aplicados na zona não saturada Healy e Cook (2002 *apud* BARRETO et al. 2007).

No Brasil o método WTF foi utilizado por Barreto (2006) em zona de afloramento do Sistema Aquífero Guarani e localizado na bacia hidrográfica do Ribeirão da Onça no Estado de São Paulo. Neste caso consideraram-se os rendimentos específicos entre 10 e 13 %. Outros trabalhos realizados por Wendland et al. (2007) utilizando-se o método WTF, também em zona do Sistema Aquífero Guarani, demonstram a aplicação de rendimentos específicos de 10 e 13 %, que são semelhantes aos encontrados no presente estudo. Estudos com a utilização do método WTF continuaram com Barreto et al. (2009), confirmando sua confiabilidade.

Outros métodos para estimativas de recarga de águas subterrâneas são também utilizados. Entre eles está o Método do Balanço Hídrico, o qual possui a característica de que durante o período de tempo analisado, a diferença entre o total de entradas e saídas deve ser igual à mudança da quantidade de água armazenada. Para sua aplicação é necessário conhecer-se vários componentes do ciclo hidrológico (HIRATA e WAHNFRIED, 2005).

O Método da aproximação de Darcy pode também ser utilizado para estimar a recarga de água subterrânea. Nesse caso é necessário conhecer-se a condutividade hidráulica, o gradiente hidráulico e o intervalo de tempo entre o monitoramento. Também utiliza-se o Método dos Traçadores para estimar a recarga ou a idade da água de um aquífero, a partir das concentrações de substâncias na água, ou as proporções entre concentrações dessas substâncias (BARRETO, 2006).

3 METODOLOGIA

3.1 Procedimentos adotados

Para a implantação deste estudo selecionou-se o local onde seriam perfurados os poços de monitoramento, e fizeram-se as tratativas de perfuração com o sondador. Essa localização dos poços de monitoramento foi escolhida por ser uma área onde já estão instalados vários experimentos da Universidade Federal de Santa Maria, do grupo GHIDROS.

Por ocasião da perfuração, propriamente dita, o sondador fez a coleta das amostras de solo/rocha, que foram enviadas ao laboratório para a devida classificação granulométrica.

Logo após a finalização da perfuração e acabamento do poço de monitoramento, procedeu-se a instalação dos equipamentos e a consequente obtenção dos dados por eles informados. Estes dados, totalmente informatizados, foram utilizados para a determinação da flutuação do nível de água subterrânea e que permitiram a utilização do Método WTF (*Water Table Fluctuation*) para o cálculo da recarga da água subterrânea.

3.2 Localização dos poços de monitoramento

A Figura 12 ilustra uma imagem orbital da localização geográfica dos poços estudados e ainda fornece uma visão do relevo e da cobertura vegetal predominantemente de Mata Nativa.

Nota-se o relevo bastante ondulado e grande ocorrência de mata nativa, remanescente da Mata Atlântica. Também é possível notar-se o avanço da ação antrópica, pela abertura de clareiras na mata, construção de estradas e exploração com cultivos agrícolas e criações de animais domésticos.



Figura 12: Imagem orbital da localização geográfica dos poços. Fonte Google Earth (2010).

3.3 Perfuração dos poços de monitoramento

Para este estudo, foram perfurados três (3) poços de monitoramento, obedecendo a norma brasileira ABNT-NBR 15495 (2007), através de máquina perfuratriz rotativa, sem o uso de fluido de perfuração (lama) e a retirada do material perfurado através de lavagem (circulação de água) (Figura 13 a e b).

O diâmetro estabelecido foi o de 60 mm, em tubos tipo PVC rígido, lisos nos primeiros 6 m de profundidade e ranhurados manualmente no restante da profundidade. Esses poços receberam a denominação de Poço 5 (cinco), Poço 6 (seis) e Poço 7 (sete) (Fig. 12).

Em todos os poços de monitoramento foram colocados selos de proteção sanitária em concreto junto a superfície do terreno. Não foram colocados filtros e nem tubo guia, em virtude de sua perfuração ser exclusivamente para monitoramento do nível da água subterrânea.

O Poço 5 foi perfurado no dia 17/03/2010, ficando com profundidade final de 31 m, levando-se em consideração para chegar-se a esse piso, o desconhecimento da flutuação do nível e a utilização de uma margem de segurança para o monitoramento. Está situado na cota

altimétrica de 231,131 m e localização geográfica UTM de 227848,330m E, e 6718947,935m N, pertencente à microbacia hidrográfica Rancho do Amaral no município de Itaara.

O poço 6 foi perfurado no dia 19/03/2010, ficando com profundidade final de 20 m, também neste caso usou-se uma margem de segurança pois desconheciam-se a flutuação do nível da água subterrânea. Está situado na cota altimétrica de 214,984 m e localização geográfica UTM de 227863,883m E, e 6718372,918m N, pertencente à microbacia Rincão do Soturno no município de Santa Maria.

O Poço 7 foi perfurado no dia 19/03/2010, ficando com profundidade final de 15 m, idêntica situação aos anteriores, profundidade estabelecida através de margem de segurança, por desconhecer-se a real flutuação do nível da água subterrânea. Está situado na cota altimétrica de 192,810 m e localização geográfica UTM de 228117,936m E, e 6717783,804m N, pertencente à microbacia Rincão do Soturno no município de Santa Maria.

As Figuras 13 a e b, e 14 a e b, mostram diferentes etapas dos trabalhos de perfuração dos poços de monitoramento observados neste estudo. O primeiro poço perfurado, denominado de Poço 5, está localizado na zona de transição entre a Depressão Periférica e o Rebordo do Planalto. Nesta posição o uso do solo é predominantemente pecuário.



Figuras 13 a e b: Instalação da máq. perfuratriz e operação de perfuração, notar pluviógrafo ao fundo, em (b).



Figura 14 a e b: Perfuração propriamente dita, motor e ferramental.

A Figura 15, demonstra a situação e localização do Poço 5 em solo do tipo Neossolo Litólico Eutrófico, em pastagem nativa e situado na cota 231,131 m.



Figura 15: Poço 5, situado na cota 231,131 m, em arenitos da Formação Botucatu.

A Figura 16, demonstra a situação e localização do Poço 6 em solo do tipo Associação Neossolo Litólico Eutrófico-Cambissolo-Colúvios, em pastagem nativa e situado na cota 214,984 m.



Figura 16: Poço 6, paisagem encosta, na cota 214,984 m, em arenitos da Formação Botucatu.

A Figura 17, demonstra a situação e localização do Poço 7 em solo do tipo Associação Neossolo Litólico Eutrófico-Cambissolo-Colúvios, em pastagem nativa e situado na cota 192,810 m.



Figura 17: Poço 7, planície aluvial, na cota 192,810 m, em arenitos da Formação Botucatu.

3.4 Análises Granulométricas

As amostras de calha coletadas durante a perfuração dos três poços foram ensacadas, etiquetadas e transportadas para o laboratório.

Após secagem das amostras procedeu-se uma avaliação visual com uso de lupa binocular de 80 ampliações no Departamento de Geociências, identificando-se os constituintes da matriz, comparando-se os tamanhos.

Essas amostras foram encaminhadas para análise granulométrica ao Laboratório de Petrografia e Sedimentologia do Departamento de Geociências/UFSM, através de rotina padrão de análise do próprio laboratório. Esse procedimento foi estabelecido pela “Caracterização geotécnica de solos rio-grandenses das regiões centro e oeste”, descrita pelo Professor Carlos Leite Maciel Filho (1989).

A fração areia foi avaliada por peneiramento e a fração silte + argila pelo método da pipetagem.

Essas frações foram utilizadas para estimar o rendimento específico, de acordo com a proposta de Johnson (1967 *apud* HEALY e COOK (2002)).

3.5 Equipamentos de monitoramento, instalações dos equipamentos e monitoramento

Foram adquiridos 3 (três) medidores de nível da água, tipo transdutores de pressão (neste estudo com o nome comercial de *LEVELLOGGER*), e um medidor de pressão atmosférica (neste estudo com o nome comercial de *BAROLOGGER*). Na mesma operação também se adquiriram os cabos de transmissão e o programa específico de computador para a leitura, compensação e processamento dos dados. Tais dados eram originados automaticamente e totalmente informatizados. Estes equipamentos são fabricados pela empresa canadense *SOLINST*, e foram importados pela Fundação de Apoio à Tecnologia e Ciência (FATEC) junto à empresa brasileira Ag Solve.

Cada medidor de nível foi instalado em um poço, sendo colocado dentro do poço, submerso na água, com profundidade conhecida, e fixado à borda do poço através de um fino cabo de aço (Figuras 18 e 20). Para a realização da leitura retirava-se o medidor de nível do poço através desse cabo e conectava-se ao micro-computador, em leituras de campo. Os níveis de água obtidos neste procedimento eram comparados aos níveis obtidos com o uso do freatímetro manual.

O medidor de nível da água no Poço 5 foi colocado a 17 m de profundidade, no Poço 6 foi colocado a 13 m de profundidade e no Poço 7 a 10 m de profundidade.

O medidor do nível da água (Figura 18) é um pequeno instrumento de aço inoxidável composto por um armazenador de dados (datalogger), um transdutor de pressão e tem suas funções acionadas por uma bateria de longa duração. É a prova de água e livre de manutenção. Suas informações foram programadas para serem armazenadas de hora em hora. Este equipamento vem calibrado de fábrica.

O medidor de pressão atmosférica (Figuras 19, 21 e 22) é único, e foi colocado junto ao Poço 5, em parte externa do poço e em local específico, provido de chave de segurança. É acionado por uma bateria de longa duração, com características semelhantes ao medidor de nível. Era conectado ao micro-computador de campo, de forma que o programa fazia a leitura e a compensação de dados automaticamente. O equipamento utilizado neste estudo foi configurado para realizar a leitura de hora em hora. Este equipamento vem calibrado de fábrica. Sua função é auxiliar na determinação do nível de água (compensação barométrica), no momento da leitura.



Figura 18: Medidor de nível de água.

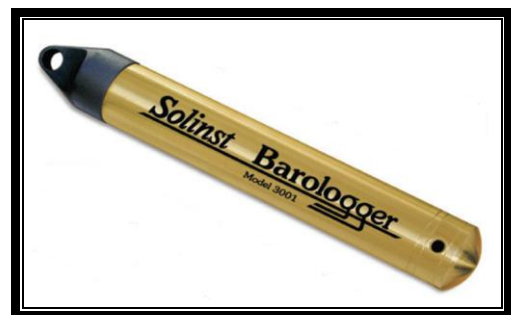


Figura 19: Medidor de pressão atmosférica.

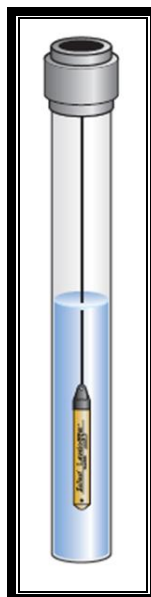


Figura 20: Instalação do medidor de nível.

As Figuras 21 (indicada na seta) e 22 apresentam a instalação do medidor de pressão e seu posicionamento fora do poço.



Figura 21: Instalação do medidor de pressão.



Figura 22: Instalação do medidor de pressão.

No Quadro 1 especifica-se o período de monitoramento do estudo realizado.

Poço	Início	Término	Dias
<u>5</u>	27/03/2010	31/05/2011	431
<u>6</u>	15/04/2010	31/05/2011	412
<u>7</u>	21/05/2010	31/05/2011	376

Quadro 1: Período de monitoramento do estudo realizado.

Todos os poços de monitoramento foram analisados por um período superior a um ano. As visitas a campo e a transferência de dados registrados para o micro-computador, ocorreram em média duas vezes por mês.

3.6 Coleta de informações e tratamento dos dados

As coordenadas de todos os pontos topográficos foram obtidas com o uso do aparelho de GPS geodésico marca *TOPCON* modelo *Hiper lite*, com o *datum* horizontal SIRGAS 2000 Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas. O SIRGAS é o sistema de referenciamento espacial padrão do Brasil, definido pelo IBGE, e o *datum* vertical o Porto de Imbituba/SC.

No levantamento para Georreferenciamento dos pontos, localizados nos Municípios de Santa Maria e de Itaara, foi empregado equipamento GPS de dupla frequência (L1 e L2).

Todas as coordenadas foram obtidas por rastreamento estático com tempo de ocupação mínima para a obtenção e fixação das ambiguidades. O programa para o processamento das coordenadas foi o *Topcon Tools* versão 7.5.1. A base de correção diferencial utilizada foi a base SMAR, localizada no prédio do CCR na UFSM.

Utilizou-se o sistema de coordenadas *Universal Transversa de Mercator* (UTM), por fornecer fácil avaliação das distâncias em metros.

Na espacialização das informações, utilizou-se o Programa Surfer 8, gerando-se o cartograma da superfície potenciométrica indicativa da direção dos fluxos subterrâneos. A superfície potenciométrica foi obtida pela relação entre a cota altimétrica da “boca” do poço e o nível de flutuação médio da água. O interpolador matemático adotado foi a “Krigagem” matemática após avaliação.

Utilizou-se o medidor de nível de água sonoro Jacirí dotado de cabo de 100 m, para confirmações de dados, com frequência quinzenal.

Na fase inicial da pesquisa procedeu-se uma ampla revisão bibliográfica com a finalidade de comparar o estudo com trabalhos semelhantes realizados em outros locais. Examinou-se também a escolha do método WTF.

Na aplicação do Método WTF utilizou-se a extrapolação das curvas de recessão através do programa de computador *EXCEL* 2007, já que esse era o programa que mais se aproximava dos demais programas empregados pelas pesquisas citadas na literatura.

As amostras de calha são constituídas de diferentes frações granulométricas e serviram para estimar o rendimento específico de toda a coluna perfurada. Os revestimentos (“camisas”) dos poços são de material tipo PVC, lisos até 6 metros de profundidade e ranhurados até ao fundo.

Para estimativa de cálculos de recarga utilizou-se a Eq. (2). Os valores de rendimento específico utilizados neste cálculo foram extraídos da literatura (JOHNSON (1967) *apud* HEALY e COOK, 2002). Considerou-se o valor das camadas granulométricas existentes na faixa de flutuação do nível de água subterrânea, para cada perfil perfurado, computando-se todas as frações granulométricas.

4 Área de estudo

4.1 Caracterização e localização dos poços de monitoramento

Os poços de monitoramento foram perfurados em duas microbacias hidrográficas, que denominam-se “Rancho do Amaral” e “Rincão do Soturno”, e são pertencentes à grande bacia hidrográfica (G-60) Vacacaí e Vacacaí-Mirim, importante caudal fornecedor da barragem do DNOS, que por sua vez contribui com cerca de 40 % da água potável que é consumida no município de Santa Maria/RS (FELTRIN, 2009).

A Secretaria de Meio Ambiente do Estado (SEMA) do RS propôs no ano de 1994 uma divisão das Bacias Hidrográficas em três regiões hidrográficas distintas:

G= Guaíba, U= Uruguai e L= Litoral (Figura 23).

Portanto, a Bacia Hidrográfica objeto desta pesquisa pertence à Região Hidrográfica do Guaíba que é formada pelas bacias da porção norte e central do estado que drenam para o Lago Guaíba. Esta recebeu a denominação de Bacia Hidrográfica Vacacaí e Vacacaí-Mirim G-60 (Figura 24).

O exutório desta bacia é a Laguna dos Patos.



Figura 23: Regiões hidrográficas do Rio Grande do Sul, Fonte: SEMA/FEPAM (1994).

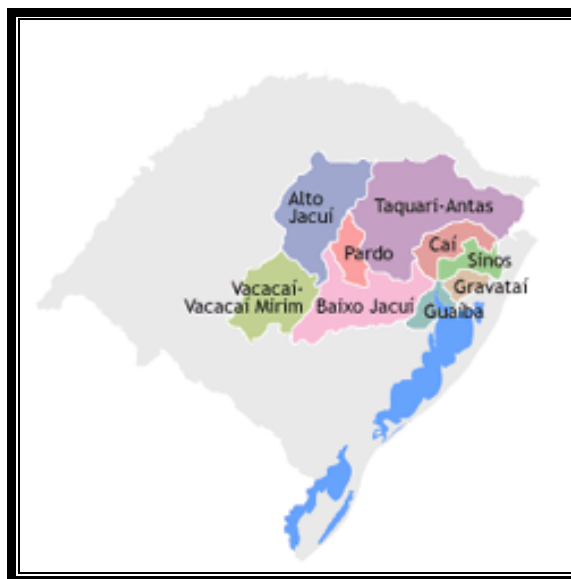


Figura 24: Bacia Hidrográfica Vacacaí e Vacacaí-Mirim G-60, Fonte: SEMA/FEPAM (1994).

Tanto a microbacia Rancho do Amaral quanto a Rincão do Soturno, estão localizadas geograficamente entre as coordenadas UTM 226764 m E; 230486 m E e 6721831 m N; 6716281 m N (Figura 25).

A microbacia Rancho do Amaral localiza-se na porção superior desta bacia hidrográfica, e pertence ao município de Itaara. Na Figura 16 ilustra-se sua localização na região central do Estado do Rio Grande do Sul, e município limítrofe ao Norte de Santa Maria. Possui área de 4,45 km², seu relevo é acidentado com fortes ondulações e vales profundos. Possui ainda mata nativa remanescente onde correm os cursos de água constituintes do sistema de drenagem da microbacia (FELTRIN, 2009).

A microbacia Rincão do Soturno localiza-se no município de Santa Maria e é limítrofe à microbacia Rancho do Amaral. Na Figura 16 ilustra-se sua localização. Sua área é de 11,98 km². Apresenta-se em condições semelhantes a microbacia Rancho do Amaral e neste estudo, ambas as bacias são consideradas como um corpo único (Figura 16).

Informa-se que as nascentes do curso de água principal das duas microbacias estudadas provêm de captações em porção superior, pertencente ao município de Itaara onde ocorrem as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, na borda da Bacia do Paraná.

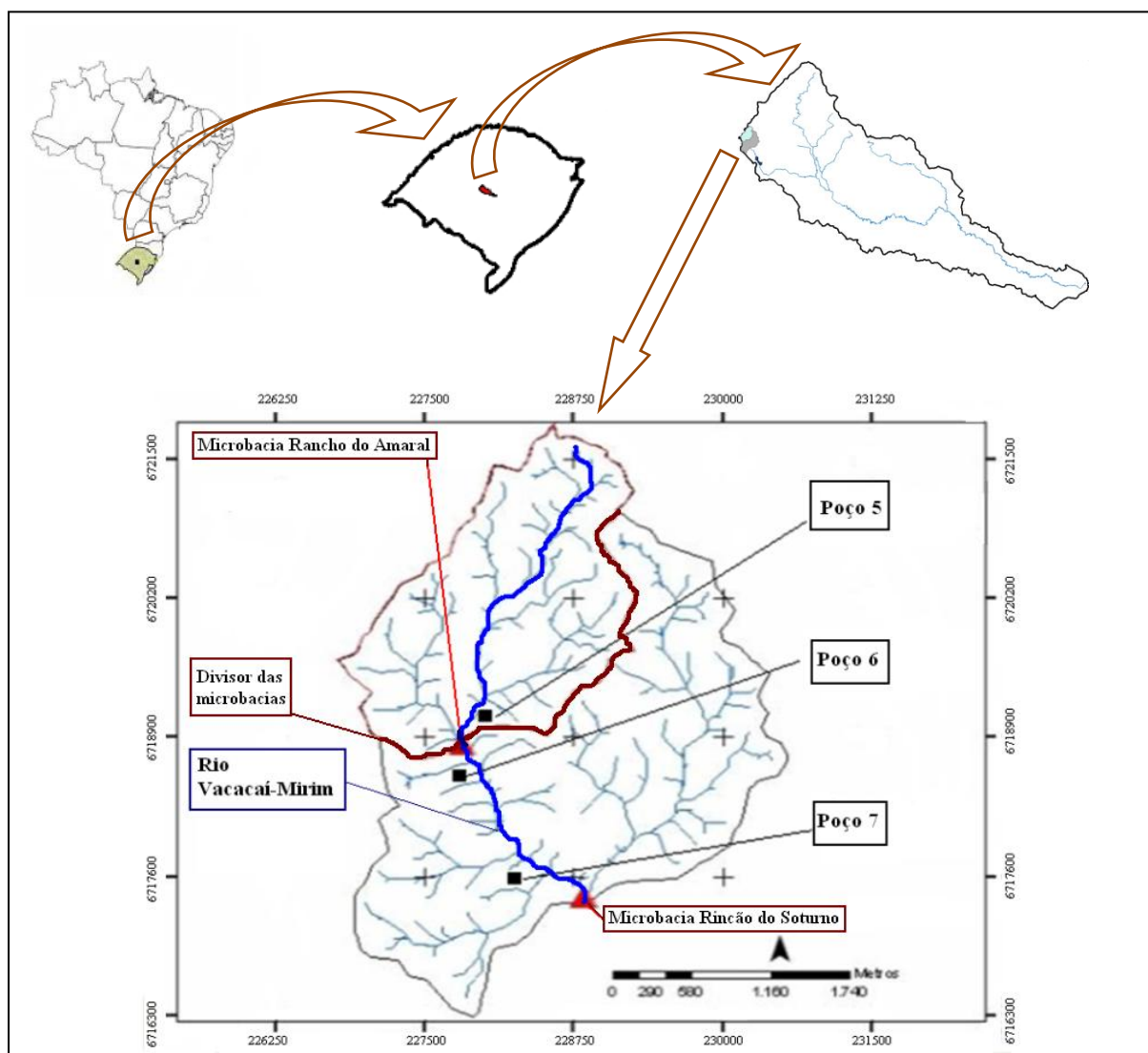


Figura 25: Localização da Bacia do Rio Vacacaí-Mirim e das microbacias Rancho do Amaral e Rincão do Soturno. Adaptado de FIGUEIREDO PEREIRA (2010).

A Tabela 7 apresenta as características físicas das microbacias estudadas nesta pesquisa.

Tabela 7 – Características físicas das microbacias estudadas, adaptado de FIGUEIREDO PEREIRA (2010).

CARACTERÍSTICAS	<u>RANCHO DO AMARAL</u>	<u>RINCÃO DO SOTURNO</u>
Área (km²)	4,45	11,98
Perímetro (km)	9,72	16,08
Declividade média (%)	29	21
Altitude média (m)	341,21	316,21
Comprimento do rio principal (km)	2,1	4,18
Rede de drenagem	Dendrítica	Dendrítica

4.2 Clima

O clima da região, de acordo com CPRM (1994), é do tipo Cfa pela classificação de Köppen, que se caracteriza por ser subtropical úmido, com chuvas durante todos os meses. Sendo sua precipitação pluviométrica anual de 1769 mm, com maior pluviosidade nos meses de maio, junho, e setembro. Enquanto que nos meses de novembro e dezembro é onde ocorre o período de maior seca. A alimentação dos aquíferos ocorre no período de abril a setembro, e a depleção ocorre de outubro a março, por um longo período, portanto, e é aí que os aquíferos abastecem os rios.

O ano de 2010, contudo, contraria a citação acima. Ao se verificarem os valores das precipitações mensais para as microbacias (Rancho do Amaral e Rincão do Soturno) no local onde estão perfurados os poços de monitoramento, observou-se que, excepcionalmente no ano de 2010, as bacias comportaram-se de forma desiguais, especialmente no mês de janeiro quando choveu 613,0 mm. Por outro lado, no mês de agosto, houve uma precipitação mínima de 58,5 mm. Durante o ano de 2010 totalizou-se uma precipitação pluviométrica de 2.236,8 mm (Figura 26), muito acima do valor médio da precipitação anual citado pela CPRM (1994).

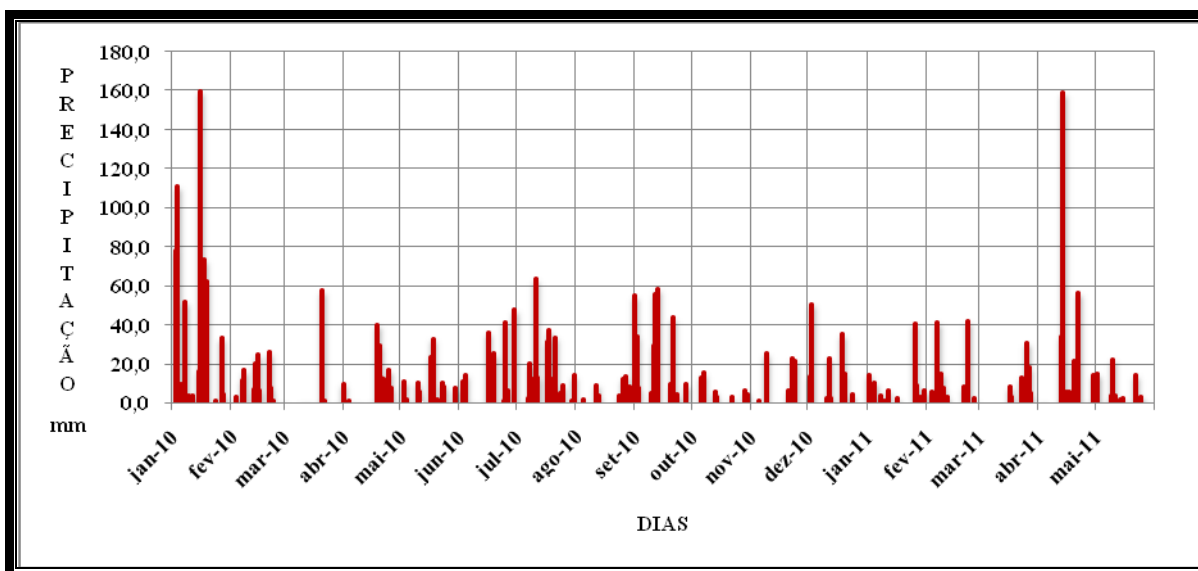


Figura 26: Precipitação pluviométrica diária do ano de 2010 e parte de 2011. Fonte: FELTRIN, dados fornecidos em 2010/11.

Na Figura 26 ilustra-se também, o resultado parcial da pluviosidade do ano de 2011, no período de 1º de janeiro a 31 de maio. Visa apresentar dados obtidos em pesquisas na

microbacia Rancho do Amaral, onde estão situados dois pluviógrafos a 17 m de um dos poços de monitoramento. Dados obtidos de FELTRIN, em 2010/2011.

4.3 Classificação geológico/geotécnica das microbacias

A coluna estratigráfica regional proposta pela CPRM (2008) engloba as seguintes unidades geológicas:

Grupo São Bento da Era Mesozóica: Formação Botucatu e Formação Serra Geral, Período Jurocretáceo.

Grupo Rosário do Sul da Era Mesozóica: Formação Sanga do Cabral, Formação Santa Maria e Formação Caturrita, pertencentes ao Período Triássico.

Grupo Passa Dois da Era Paleozóica: Formação Pirambóia pertencente ao Período Permiano.

De acordo com a carta das unidades geotécnicas Maciel Filho (1990) o substrato rochoso na área em estudo é constituído pelos afloramentos de rochas sedimentares pertencentes à Formação Botucatu, sotopostas pelas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral. A Formação Botucatu é formada por depósitos sedimentares eólicos.

A Formação Botucatu, segundo o citado autor, está constituída por camadas de arenito eólico prébasalto e o intertrapeano com espessura expressiva. Esta formação é composta por arenitos essencialmente quartzosos contendo feldspatos alterados cimentados por sílica predominantemente ou óxido de ferro, com estratificação cruzada de grande porte. São antigas dunas, portanto de origem eólica.

De acordo com a CPRM (2008) a Formação Botucatu é constituída de arenitos quartzosos finos a grossos, com algumas ocorrências de feldspato alterado cimentados por sílica ou óxido de ferro com estratificação cruzada de grande porte, e apresentando-se com a cor rosa claro. Grãos bem arredondados e com alta esfericidade, dispostos em Sets e/ou Cosets. Ambiente continental, desértico, depósitos de dunas eólicas. Portanto são terrenos basicamente areníticos pré-basálticos.

Conforme a carta geotécnica de Santa Maria, de Maciel Filho (1990), os três poços de monitoramento perfurados e abordados neste estudo, estão localizados em áreas da formação geológica denominada Formação Botucatu. Sendo considerada ainda, a ocorrência dos seguintes solos: solo podzólico vermelho e o podzólico bruno acinzentado (os solos podzólicos passaram a ser chamados de argissolos, conforme o novo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos SiBICS – EMBRAPA 2006).

A Formação Botucatu tem um comportamento geotécnico que varia desde rocha dura e muito abrasiva, quando muito silicificada, como em locais próximo ao topo e junto a escarpas, até arenito brando e mesmo areia com pouca coesão, quando alterada.

Encontram-se também nessas duas microbacias as unidades geológicas Formação Caturrita, os Basaltos, Diabásio, Riólitos da Formação Serra Geral, e Solos Coluvionares. (MACIEL FILHO, 1990).

A Formação Caturrita, segundo o citado autor, está constituída por camadas de arenitos finos a médios, de cor rosa a cinza claro, de composição essencialmente quartzosa e matriz argilosa, contendo em algumas partes considerável teor de feldspato, intercaladas frequentemente por camadas e lentes de siltitos de espessura menor e cor avermelhada. O arenito basal geralmente é mais grosseiro e menos argiloso. Esta unidade deve ser dividida em duas faces: Uma psamítica (arenosa) e outra pelítica (argilosa e síltica).

Já a CPRM (2008) considera que a Formação Caturrita é constituída por arenito, conglomerado silito arenoso-argiloso e folhelho, contendo tetrápodes fósseis e troncos de coníferas, ambiente continental, depósitos fluviais e deltas lacustres.

A Formação Serra Geral, por sua vez, é constituída por duas sequências vulcânicas, uma básica e outra ácida (MACIEL FILHO, 1990). A sequência superior é formada por rochas vulcânicas ácidas, enquanto que a inferior caracteriza-se por apresentar rochas vulcânicas básicas (FERREIRA et al., 2009). A sequência inferior tem uma constituição que varia, de fato, de basalto a andesito.

A unidade geológica Formação Serra Geral encontra-se no mapa hidrogeológico da CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - (1994) subdividida entre os derrames ácidos compostos por riólitos e riodacitos com disjunção tabular e os derrames básicos, compostos por basaltos e andesitos toleíticos, que formam aquíferos locais restritos às zonas fraturadas e contatos interderrames.

Na área de estudo, ao sul do município de Itaara, na porção mais elevada da microbacia Rancho do Amaral, ocorrem derrames da Formação Serra Geral, e ainda pode-se encontrar corpos arenosos inter-derrames os quais facilitam a formação de quedas de água abruptas. Na zona com menor cota altimétrica (onde se encontra o poço de monitoramento 5), o substrato rochoso é composto por rochas sedimentares, principalmente arenitos da Formação Botucatu, que integram afloramentos do Sistema Aquífero Guarani (SAG).

Na Figura 27, extraída de Ferreira et al. (2009) apresenta-se o caráter geotécnico das microbacias, descritas originalmente por Maciel Filho (1990). A área está dividida em quatro classes: Serra Geral superior, Serra Geral inferior, Formação Botucatu, Formação Caturrita.

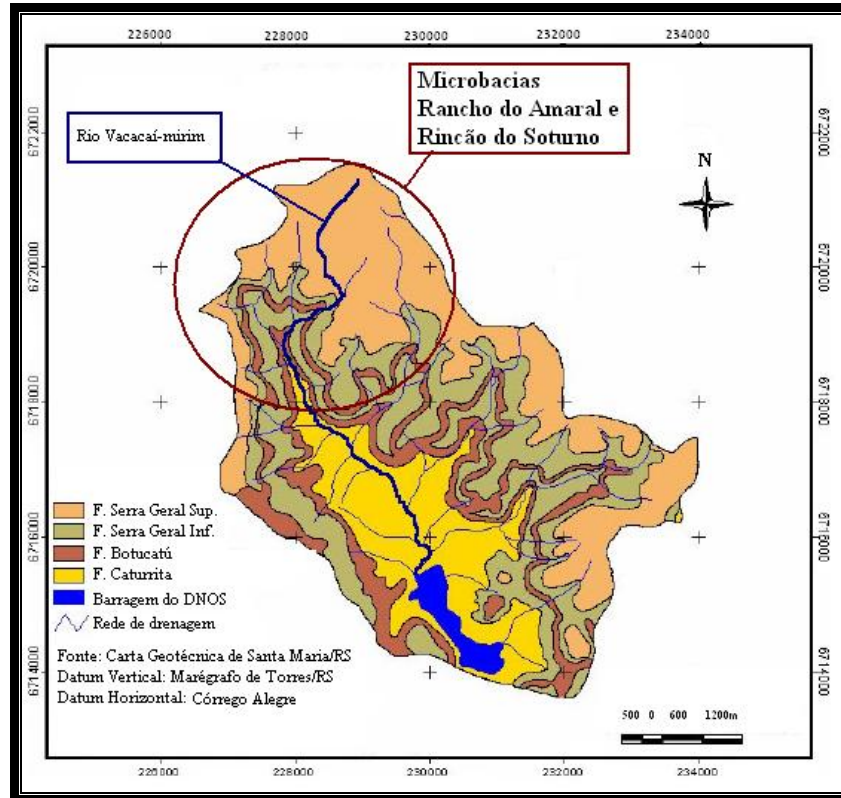


Figura 27: Carta geotécnica dos solos das microbasias estudadas e adjacentes. Adaptado de Maciel Filho (1990 *apud* FERREIRA et al. (2009)).

Dalmolin e Pedron (2009) descrevem as formações onde se situam as microbasias objetos deste estudo, confirmando o que dizem os autores anteriores, como explicitado no perfil transversal apresentado na Figura 28.

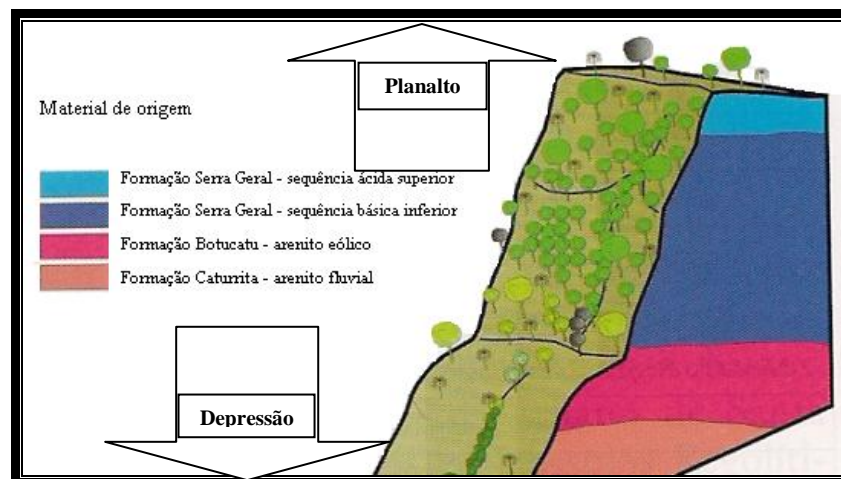


Figura 28: Perfil das formações nas microbasias, adaptado de Dalmolin e Pedron (2009).

4.4 Comportamento hidrológico das unidades ocorrentes nas microbasias

Segundo Maciel Filho (1990) a Formação Serra Geral tem permeabilidade fissural, onde a água pode translocar-se com relativa facilidade. Porém possui pouca capacidade de

armazenamento, que fica limitada ao espaço fraturado entre os blocos de rocha. Esta em si não armazena água.

A Formação Serra Geral tem sua condição hidrológica de aquífero apenas nas zonas fraturadas e de contato interderrames. Nas zonas de diaclasamento subhorizontal formam-se fontes naturais de água a partir das encostas (SARTORI, 2009).

O comportamento hidrológico do Arenito Botucatu, de acordo com Maciel Filho (1990) foi descrito como tendo uma alta permeabilidade, bem como seus solos residuais. A alimentação se processa por infiltração através do solo na área de exposição desta unidade. Há ainda uma recarga indireta por drenância descendente a partir dos basaltos da Formação Serra Geral.

A CPRM (1994) estabelece que a Formação Botucatu possui muito alta a média favorabilidade hidrogeológica.

A Formação Botucatu apresenta-se com condição hidrológica bastante permeável, contudo tem sua alimentação e armazenamento de água subterrânea dificultados pelo posicionamento topoestrutural (SARTORI, 2009).

A Formação Caturrita, por sua vez, e de acordo com Maciel Filho (1990), é complexa, ora formando aquíferos, ora formando camadas semipermeáveis e/ou impermeáveis. Grande parte dessa formação possui muito silte e argila expansiva que lhe diminui a permeabilidade.

4.5 Classificação geomorfológica das microbacias

Em relação à paisagem, considerou-se a classificação do relevo brasileiro proposta por Ross (1990) que estabelece a área em estudo como situada em zona de transição entre os Planaltos e Chapadas da Bacia do Paraná e a Depressão Periférica Sulriograndense.

Neste trabalho utilizou-se a compartimentação geomorfológica proposta por Ferreira et al. (2009) para a área do estudo, ilustrada na Figura 29.

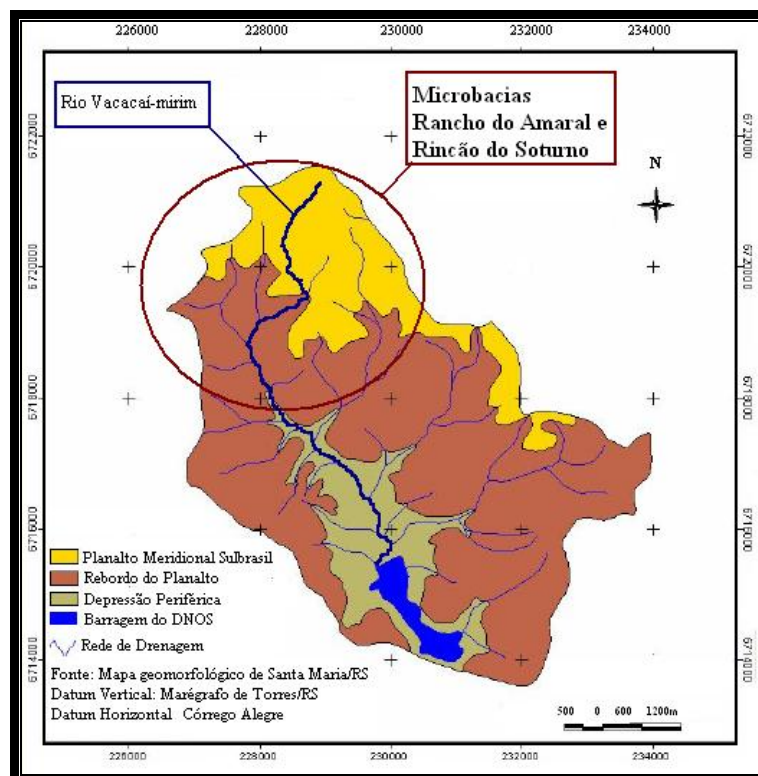


Figura 29: Geomorfologia das microbacias estudadas, e adjacentes. Adaptado de Maciel Filho (1990 *apud* FERREIRA et al. 2009).

A área de estudo engloba três compartimentos, a Depressão Periférica, Planalto Meridional Sulbrasil e o Rebordo do Planalto (Figura 24). As cotas altimétricas variam em cerca de 100 m na Depressão Periférica, em torno de 200 m no Rebordo do Planalto e em torno de 300 m no Planalto.

4.6 Classificação dos solos das microbacias, segundo o SiBCS

De acordo com Figueiredo Pereira (2010) a classificação dos solos foi obtida a partir do mapa para a bacia do Rio Vacacaí-Mirim apresentado por Azolin e Mutti (1988), na escala de 1:100.000. E também com base nos trabalhos de Dias (2003), Casagrande (2004) e Feltrin (2009). Essa classificação foi atualizada conforme o novo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBICS), sugerido pela Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias-EMBRAPA (2006) e passa a ser:

RLD- Neossolo Litólico Distrófico; RLE- Neossolo Litólico Eutrófico; RLE-C-Co- Associação Neossolo Litólico Eutrófico-Cambissolo-Colúvius; PVAa-RLE- Associação Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico e Neossolo Litólico Eutrófico.

A Tabela 8 apresenta a distribuição dos principais tipos de solos nas duas microbacias estudadas. Observa-se um amplo predomínio dos Neossolos Litólicos Eutróficos. Neossolos

são solos novos como o próprio nome diz, pouco desenvolvidos e ainda em contato com a rocha (STRECK, 2008).

Tabela 8 – Distribuição dos tipos de solos das microbacias estudadas. Adaptado de Figueiredo Pereira (2010).

TIPO DE SOLO	Rancho do Amaral		Rincão do Soturno	
	Área (Km ²)	(%)	Área (km ²)	(%)
RLE	3,60	80,81	6,49	54,18
RLD	0,78	17,60	1,04	8,68
RLE-C-Co	0,07	1,58	2,83	23,62
PVAa-RLE	0,01	0,11	1,62	13,52
Total	4,45	100	11,98	100

Segundo Miguel (2010) a classe de solos que predomina na área, em levantamentos de solos de reconhecimento de alta intensidade e do tipo semi detalhado a detalhado, é o Neossolo Litólico em mais de 34% da área. Outras classes em menor porção são o Argissolo Vermelho, Neossolo Regolítico, e associações Neossolo – Cambissolo – Argissolo, Cambissolo – Argissolo, Cambissolo – Argissolo – Neossolo.

A Figura 30 apresenta o mapa de solos das microbacias Rancho do Amaral e Rincão do Soturno elaborado por Figueiredo Pereira (2010).

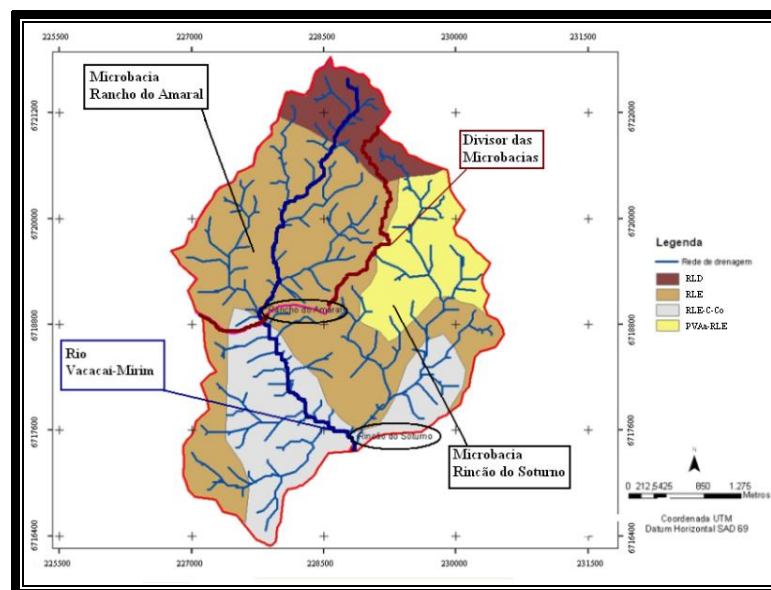


Figura 30: Mapa de solos das microbacias Rancho do Amaral e Rincão do Soturno. Adaptado de Figueiredo Pereira (2010).

4.7 Uso do solo nas microbacias

Verifica-se que a mata nativa tem predominância nas duas microbacias, seguido por campo nativo, eucaliptos, culturas anuais e pequenos reservatórios de água superficial (Figura 31 e Tabela 9).

Nas duas microbacias somando-se as áreas de mata nativa e campo nativo ter-se-á mais de 87% de predominância desses dois usos, o que caracteriza essas microbacias como áreas pouco perturbadas antropicamente. A predominância da mata nativa poderá influenciar numa maior infiltração de água para o aquífero.

O campo nativo é explorado principalmente por bovinocultura de corte e de leite. Também se constata a criação de ovelhas e de cavalos.

A introdução ao cultivo de espécies arbóreas exóticas já ocorre e tende a ocupar maiores áreas, com o passar do tempo.

Tabela 9 – Distribuição do uso e ocupação do solo nas microbacias. Adaptado de Figueiredo Pereira (2010).

USO DO SOLO	Rancho do Amaral		Rincão do Soturno	
	Área (Km ²)	(%)	Área (Km ²)	(%)
Mata Nativa	2,12	47,62	6,56	54,76
Campo Nativo	1,75	39,38	4,67	38,98
Eucaliptos	0,36	8,15	0,46	3,84
Culturas Anuais	0,16	3,64	0,21	1,74
Peq. reservatórios	0,05	1,21	0,088	0,73
Total	4,45	100	11,98	100

A Figura 31 apresenta o Mapa de uso e ocupação do solo nas microbacias do Rancho do Amaral e Rincão do Soturno.

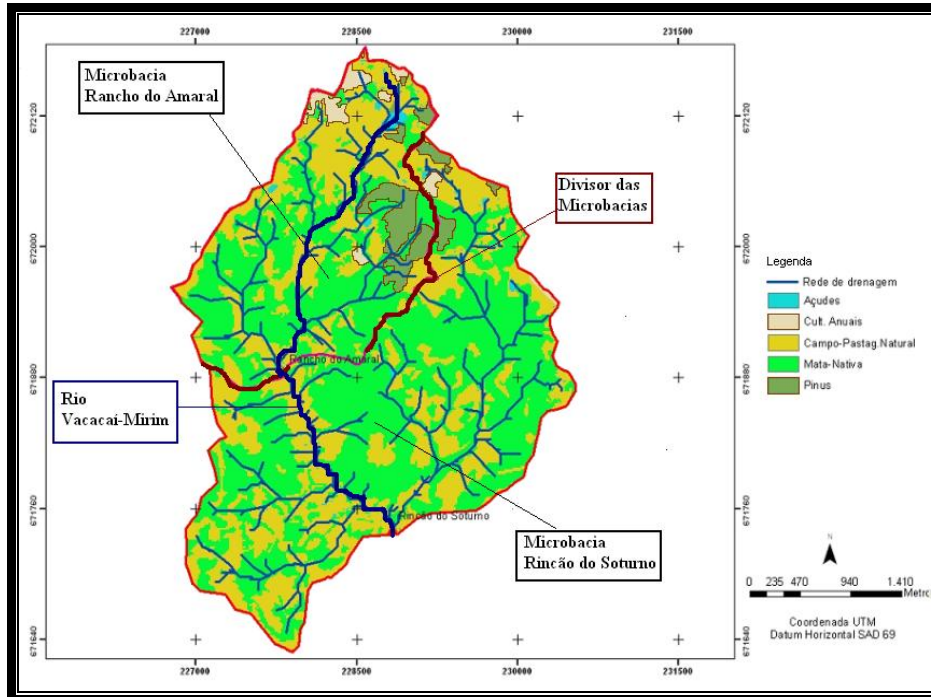


Figura 31: Mapa de uso e ocupação do solo nas microbacias do Rancho do Amaral e Rincão do Soturno. Adaptado de Figueiredo Pereira (2010).

O Topo e o Rebordo do Planalto determinam formas diferenciadas de usos e ocupação do solo, por serem topograficamente diferentes. No Topo do Planalto, onde localiza-se o município de Itaara, as propriedades rurais são maiores, predominando a produção de milho, soja, forragens e o pastoreio. Já no Rebordo do Planalto, no município de Santa Maria, são exploradas as culturas típicas de pequenas propriedades rurais e de subsistência, as quais se adaptam aos locais de relevos íngremes, como hortifrutigranjeiros, produção de leite, criação de aves, feijão e milho entre outros (MARION, 2007).

4.8 Características da vegetação das microbacias

Verifica-se a ocorrência de mata remanescente, nativa e característica do bioma Mata Atlântica. Ocorrem também pastagens implantadas, onde outrora foi a mata. Encontram-se áreas cultivadas principalmente com culturas anuais, milho, e de subsistência. Constata-se também o cultivo de plantas exóticas como o “Eucaliptus sp e Pinus sp”.

As microbacias Rancho do Amaral e Rincão do Soturno, em virtude de sua localização (transição entre o Planalto e a Depressão Periférica), vêm sendo ocupadas em sua maior parte pela floresta sub-caducifólia subtropical, a qual é constituída por dois estratos arbóreos distintos. O estrato emergente apresenta árvores leguminosas caducifólias, dentre as quais se destacam a Grápia (*Apuleia leiocarpae*), o Angico Vermelho (*Anadenanthera Colubrina*)

(FIGUEIREDO PEREIRA, 2010), a Timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum*), o Cedro (*Cedrela fissilis*) e o Açoita cavalo (*Luehea divaricata*) (MARCHIORI, 2009).

De acordo com Figueiredo Pereira (2010) o estrato dominado é formado por uma grande diversidade florística de espécies predominantemente perenifólias, destacando-se a Canela-Guaicá (*Ocotea puberula*), a Canela-amarela (*Nectandra lanceolata*) e Goiaba (*Psidium guajava*) (BORTOLUZZI, 1971).

As margens dos cursos de água são protegidas por plantas reófitas (de admirável efeito) visto que estão adaptadas para suportar a força da correnteza ou uma eventual submersão. São os arbustos e arvoretas comumente conhecidos como Sarandis: Sarandi-mole (*Cephalantus glabratus*), Sarandi-vermelho (*Phyllanthus sellowianus*) e Sarandi mata-olho (*pouteria salicifolia*), e os Amarilhos (*Terminalia australis*) e Branquilhos (*Sebastiania schottiana*) (MARCHIORI, 2009).

Os campos estão em transição entre os campos grossos do Planalto e os campos finos da fronteira Uruguai/Argentina. Em locais úmidos predomina o capim-caninha (*Andropogon lateralis*), e nos locais secos a Barba de Bode (*Aristida jubata*), ocorrendo também a grama-forquilha (*Paspalum notatum*) (MARCHIORI, 2009).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização da área

5.1.1 Perfil geológico e classificação granulométrica dos poços de monitoramento

A análise granulométrica do material resultante da perfuração dos poços foi realizada pelo Laboratório de Petrografia e Sedimentologia do Departamento de Geociências/UFSM, através de metodologia própria, já descrita anteriormente.

Os resultados obtidos das análises granulométricas estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Classificação granulométrica dos poços de monitoramento (amostras de calha).

POÇO	PROFUNDIDADE (m)	FRAÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)					Total
		Areia			Silte	Argila	
		Grossa	Média	Fina			
5	0 – 5	0,81	3,81	85,08	4,50	5,80	100,00
	5 – 20	0,03	11,60	84,12	1,53	2,72	100,00
	20 – 31	0,06	17,83	75,17	2,40	4,54	100,00
6	0 – 5	18,90	29,40	42,60	2,97	6,13	100,00
	5 – 16	16,28	50,55	26,91	1,82	4,44	100,00
	16 – 20	0,43	19,77	74,41	1,40	3,99	100,00
7	0 – 10	53,23	32,80	3,50	3,48	6,99	100,00
	10 – 15	2,96	51,25	30,80	7,27	7,72	100,00

A Tabela 10 apresentou uma ampla predominância da fração areia fina em toda a coluna penetrada pela perfuração no Poço 5. O Poço 6 também apresentou predominância da fração areia fina mas já com presença de areia média. No Poço 7 a coluna perfurada apresentou uma mescla da fração areia grossa, média, e fina; Sendo notadas também, significativas presenças de silte e argila, variando de 11 a 15 %.

A Figura 32 apresenta a classificação granulométrica e o perfil construtivo do Poço 5.

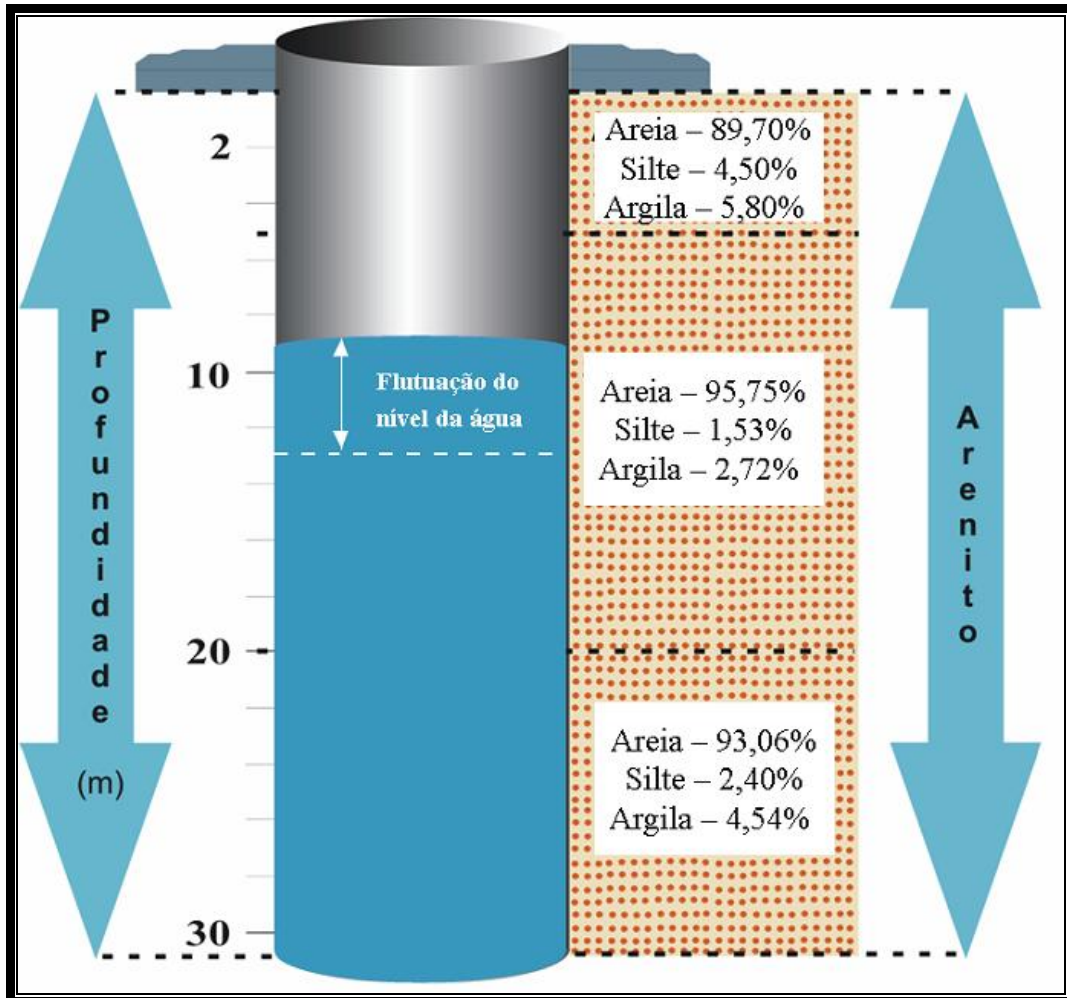


Figura 32: Perfil construtivo e granulométrico do Poço 5.

Nota-se que a perfuração foi realizada em formação geológica totalmente arenítica, chegando à profundidade final de 31 m. Sua porosidade é do tipo intergranular formando um aquífero livre pertencente a Formação Botucatu.

A Figura 33 apresenta a classificação granulométrica e o perfil construtivo do Poço 6.

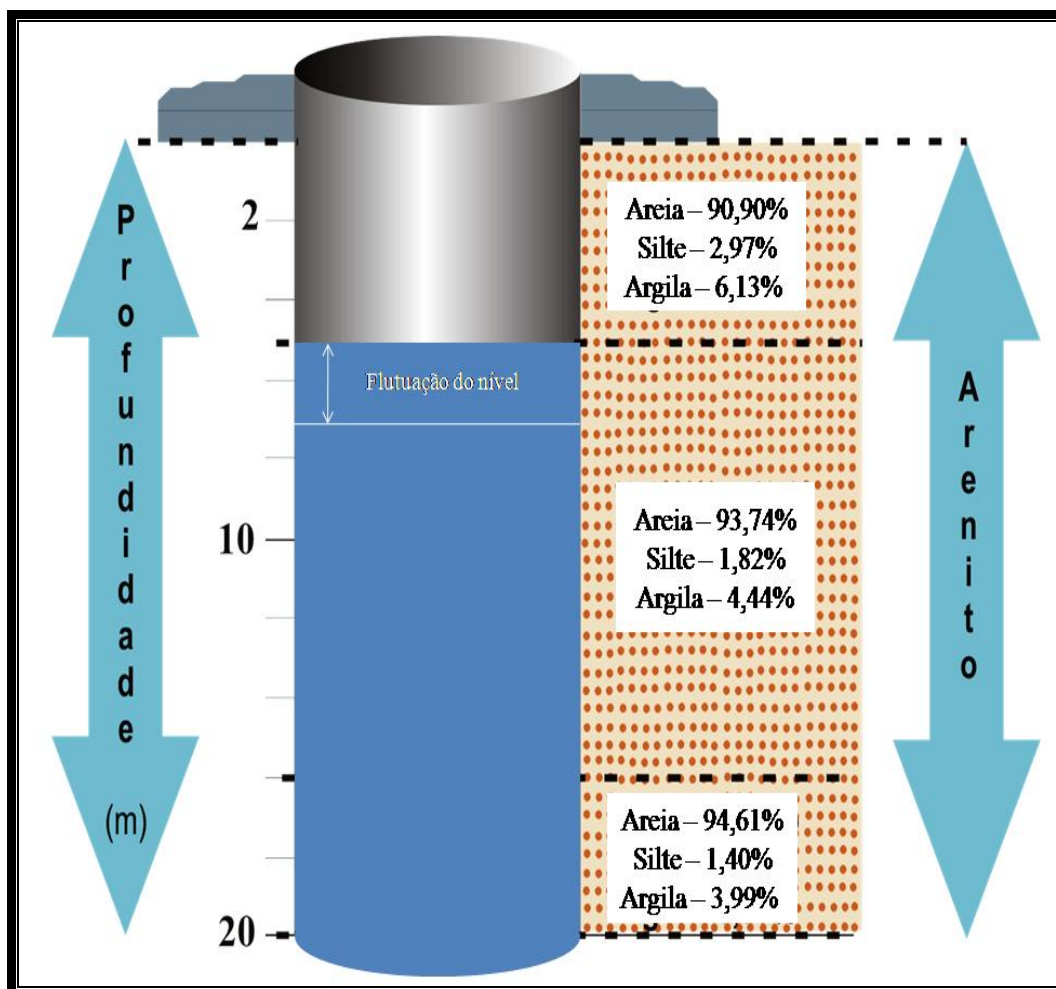


Figura 33: Perfil construtivo e granulométrico do Poço 6.

Também este poço de monitoramento foi perfurado em formação geológica totalmente arenítica, chegando à profundidade de 20 m. Sua porosidade é do tipo intergranular, e forma um aquífero livre pertencente à Formação Botucatu. Nota-se que as frações silte e argila decrescem com o aumento da profundidade, enquanto que ao contrário cresce a fração areia.

A Figura 34 apresenta a classificação granulométrica e o perfil construtivo do Poço 7, demonstrando idêntica situação geológica dos poços de monitoramento anteriores. Também aqui a ocorrência das frações em relação ao Poço 6 é semelhante: as frações silte e argila decrescem conforme aprofunda-se o poço, enquanto que a fração areia tende a aumentar sua quantidade relativa.

O Poço 7 ficou com profundidade final 15 m e também apresenta porosidade do tipo intergranular formando um aquífero livre.

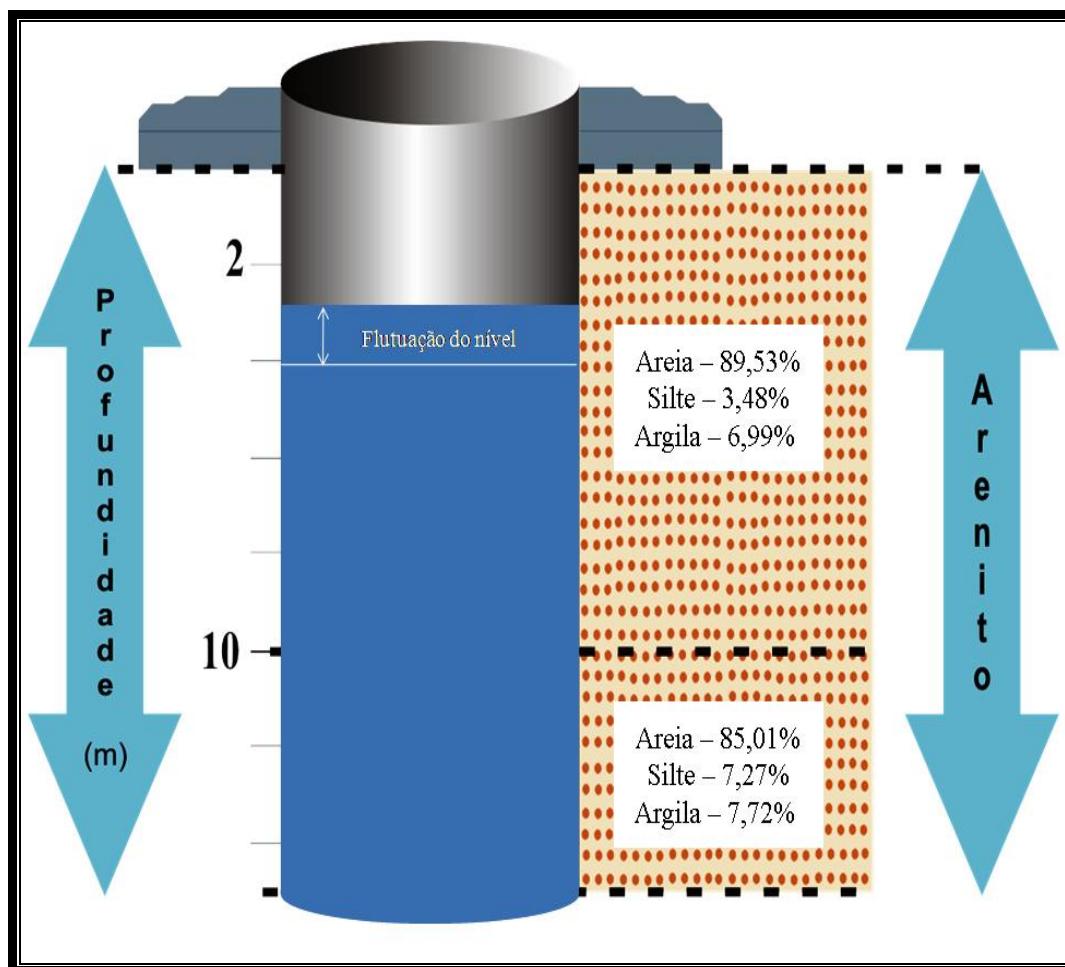


Figura 34: Perfil construtivo e granulométrico do Poço 7.

Desta forma, os três poços perfurados indicaram que em toda a coluna ocorre a Formação Botucatu, constituída principalmente pela fração areia. Outras frações granulométricas como silte e argila apresentam baixos percentuais de ocorrência (inferiores a 15 %), característicos do processo de deposição sedimentar da Formação Botucatu, de paleoambiente eólico (MACIEL FILHO 1990, CPRM 1994). Esta unidade em zonas de afloramento forma um aquífero livre ou não confinado do tipo poroso intergranular (Fig. 3 a), que possibilita plenamente a aplicação do Método WTF.

Estes resultados foram comparados com aqueles apresentados na literatura conforme descrito no Quadro 1, adaptado de Healy e Cook (2002).

Feltrin (2009) observou que, em todas as profundidades amostradas, em seu trabalho de pesquisa próximo ao poço de monitoramento 5, há uma textura do solo arenosa até a profundidade de 0,70 m. Este autor caracterizou a zona aerada, encontrando porcentagens de areia, maiores que 80% do total, e classificou o solo local como arenoso (Neossolo Quartzarênico, Streck et al., 2008).

5.1.2 Determinação do rendimento específico em cada poço de monitoramento

Para este estudo consideraram-se as avaliações de Johnson (1967 *apud* HEALY e COOK 2002), que descreveu os rendimentos específicos médios das principais texturas (material não consolidado) experimentadas em 17 estudos, conforme Tabela 4.

Ao se verificar que no Poço 5 toda a flutuação do nível de água subterrânea ocorreu na faixa entre 9,41 m a 12,86 m, situada na camada geológica com 95,75 % de areia (grossa 0,03 %, média 11,60 % e fina 84,12 %), silte com 1,53 % e argila com 2,72 %, optou-se pelo rendimento específico 0,10 conforme Tabela 11.

No Poço 6 a flutuação do nível da água subterrânea ocorreu na faixa de 4,87 m a 7,60 m, situada numa camada geológica constituída por areia grossa com 16,28 %, areia média com 50,55 %, areia fina com 26,91 %, silte com 1,82 % e argila com 4,44 %. Neste caso optou-se pelo rendimento específico 0,14 conforme Tabela 11.

Já no Poço 7 a flutuação do nível da água subterrânea ocorreu numa faixa de 2,98 m a 4,01 m, situada numa camada geológica com 53,23 % de areia grossa, 32,80 % de areia média, 3,50 % de areia fina, 3,48 % de silte e 6,99 % de argila. Optou-se, então, pelo rendimento específico 0,16 conforme Tabela 11.

A obtenção do rendimento específico foi realizada com a utilização da granulometria do perfil de cada poço considerando-se a faixa de flutuação do nível da água subterrânea, e com base nos índices de rendimento específico mínimo obtidos por Johnson (1967 *apud* HEALY e COOK 2002), e está detalhada no Tabela 11. Para isso considerou-se o princípio da precaução ao se utilizar o *valor mínimo* do índice Johnson.

Os rendimentos específicos adotados estão em total concordância com trabalhos consultados e citados na literatura, como Maziero (2005), Carnier Neto e Kiang (2008), Gomes (2008).

Tabela 11 – Rendimento específico para cada poço, baseado em Johnson (1967).

POÇO	AREIA (%)			SILTE (%)	ARGILA (%)	TOTAL (%)	Rendimento Específico adotado (Sy) (%)
	Grossa	Média	Fina				
5	0,03	11,60	84,12	1,53	2,72	100,00	0,10
6	16,28	50,55	26,91	1,82	4,44	100,00	0,14
7	59,23	32,80	3,50	3,48	6,99	100,00	0,16
Índice JOHNSON considerado	0,20	0,15	0,10	0,03	0,02		

Estudos futuros deverão ser realizados com a finalidade da obtenção e aprimoramento de resultados de rendimento específico localizados. Na Tabela 12 simulou-se a utilização dos rendimentos específicos com base nos índices máximos de Johnson (1967). Fica demonstrada a variabilidade oriunda da grande sensibilidade na aplicação dos índices.

Tabela 12 – Variabilidade máxima comparada com a mínima (adotada) dos rendimentos específicos.

	Máx	Min	Variabilidade
	(%)	(%)	(%)
Poço 5	0,26	0,10	160,00
Poço 6	0,29	0,14	107,14
Poço 7	0,31	0,16	48,38

5.1.3 Interação entre os poços de monitoramento e o Rio Vacacaí-Mirim

As proposições do CNRH para o gerenciamento de bacias hidrográficas com a realização de uma interação rio/aquífero, conforme a Resolução nº 22/2002 em seu artigo 2º, estabelece que: Os Planos de Recursos Hídricos devem promover a caracterização dos aquíferos e definir as inter-relações de cada aquífero com os demais corpos hídricos superficiais e subterrâneos e com o meio ambiente, visando à gestão sistêmica, integrada e participativa das águas.

É importante destacar que esta interação foi observada nos três poços de monitoramento distribuídos nas microbacias estudadas.

Com respeito ao Poço 5, na Figura 35 (perfil transversal do Poço 5 com o Rio Vacacaí-Mirim) ficam demonstradas as diferentes cotas da interação rio/aquífero.

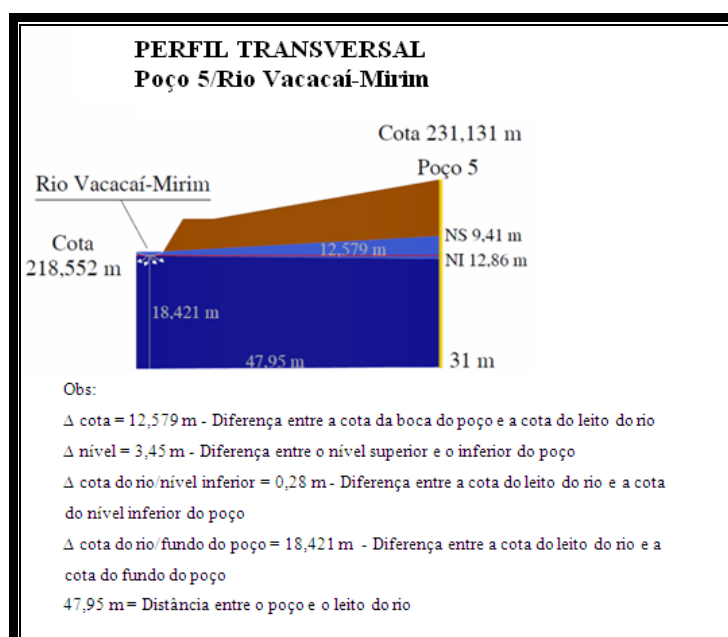


Figura 35: Corte transversal do Poço 5/Rio Vacacaí-Mirim.

A Figura 36 demonstra o período em que ocorreram as flutuações de nível mais altas e que foram entre os meses de Junho a Novembro, indicando uma condição de *rio efluente* (Figura 7 e Figura 36).



Figura 36: Rio Vacacaí-Mirim com bom fluxo de água (Junho a Novembro/2010).

Já no período entre Dezembro a Abril o curso de água permaneceu seco (Figura 37), devido a sazonalidade. Nota-se que o leito do Rio Vacacaí-Mirim é constituído neste trecho por matacões, blocos, seixos e outros constituintes oriundos de rochas vulcânicas (Formação Serra Geral) situadas à montante e transportadas pela ação das correntes.



Figura 37: Rio Vacacaí-Mirim com o leito completamente seco (Janeiro de 2011).

Com respeito ao Poço 6, fica demonstrado na Figura 38 a interação rio/aquífero com suas diferentes cotas.

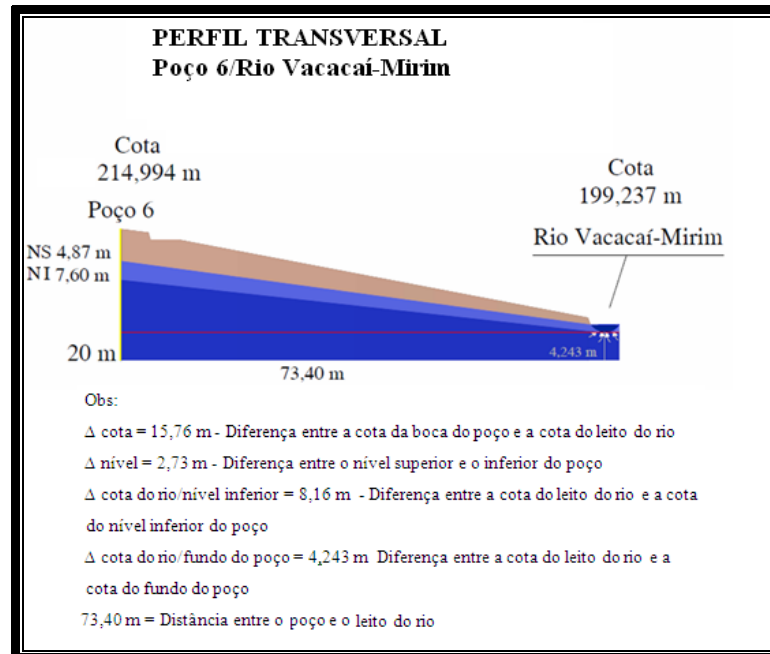


Figura 38: Corte transversal do Poço 6/Rio Vacacaí-Mirim.

Com relação ao Poço 7, a Figura 39 demonstra a interação rio/aquífero.

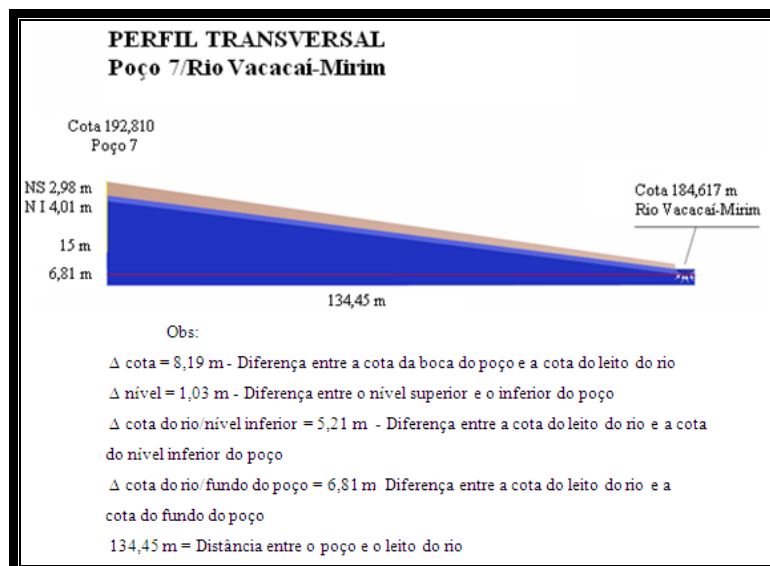


Figura 39: Corte transversal do Poço 7/Rio Vacacaí-Mirim.

O condicionamento de rio seco em relação ao Poço 5, somente ocorreu temporariamente e devido a época do ano (verão). Nos Poços 6 e 7 localizados em cotas altimétricas mais baixas, a relação com o curso das águas permaneceu na condição de *rio efluente* durante todo o ano, pois o rio manteve no mínimo um tênue filete de água, demonstrando que o aquífero cedia a água para o rio.

Observando-se as rochas vulcânicas e seus produtos de alteração situados à montante dos poços monitorados, no leito do Rio Vacacaí-Mirim, notou-se apenas pequenas acumulações pontuais de água superficial, sem fluxo. Não ficando clara uma contribuição direta entre as fraturas e/ou rochas vulcânicas decompostas para os arenitos no Poço 5, em relação a recarga de água subterrânea.

Estudos de balanço hídrico apresentados pela CPRM (1994) para a Folha Santa Maria referentes ao mapa hidrogeológico incluindo a área de estudo, indicaram que os aquíferos são alimentados no intervalo de Abril a Setembro. A situação registrada nas microbacias do Rancho do Amaral e Rincão do Soturno, onde se situam os poços de monitoramento, é a de rio efluente no período de Abril a Setembro (Fig 7 e 36), concordante com as colocações da CPRM (1994).

Também a CPRM (1994) afirma que há depleção num longo período (Outubro a Março). Neste estudo foi constatada a depleção no período de meados de Setembro a meados de Abril, quando os aquíferos complementam a vazão do Rio Vacacaí-Mirim.

5.1.4 Caracterização da superfície potenciométrica e sua relação com o Rio Vacacaí-Mirim

A carga hidráulica que se encontra na área de perfuração dos três poços de monitoramento, é a cota altimétrica do poços subtraída de seu nível médio de flutuação. Essa carga hidráulica é também chamada de superfície potenciométrica, e está demonstrada na Figura 40.

Também na mesma Figura 40 fica demonstrada a localização do Rio Vacacaí-Mirim e sua relação com a superfície potenciométrica dos poços de monitoramento. Nota-se o ponto mais elevado do rio próximo do Poço 5, com cota altimétrica de 222m enquanto que o último ponto estabelecido no rio, apresentou um valor de 169m. Este último trecho do curso de água já se situa em uma região inicial de Planície Aluvial.

A partir da observação da Figura 40 pode-se sugerir que no trecho avaliado, a paisagem representada pelos relevos e sua topografia têm contribuição no movimento subterrâneo da água.

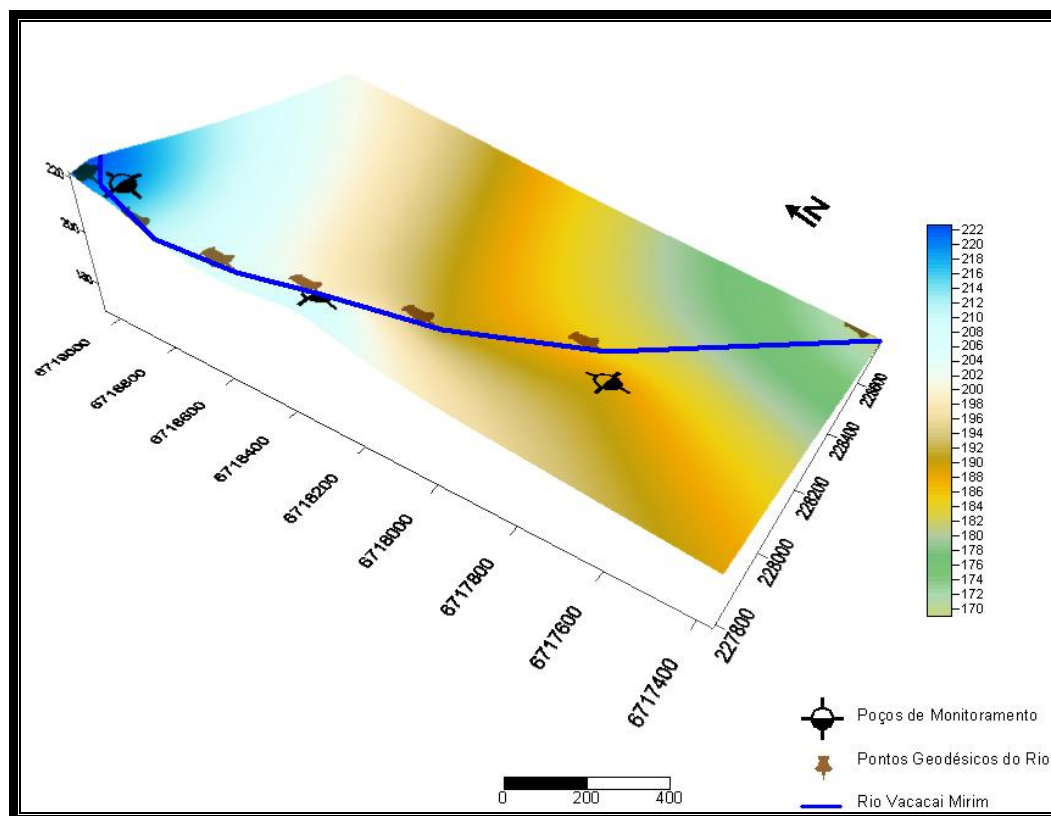


Figura 40: Cartograma da superfície potenciométrica dos três poços de monitoramento e sua relação com o Rio Vacacaí-Mirim.

Assim, este estudo, concorda com as proposições de Heath (1983): é desejável, quando possível, determinar a posição da superfície freática e o sentido de fluxo da água subterrânea. Para tal, é necessário determinar a altitude, ou a altura acima do datum, do nível da água nos poços. Entretanto, em muitas áreas, conclusões gerais, mas muito valiosas sobre o sentido de movimento da água subterrânea, podem ser derivadas de observações da superfície topográfica. No estudo a superfície potenciométrica acompanha a superfície topográfica.

5.2 Flutuação do nível da água nos poços de monitoramento

Conforme o Quadro 2, verifica-se que, durante todo o período de monitoramento, o nível do Poço 5 permaneceu fluando entre os limites de 12,86 m e 9,41 m, com variação de 3,45 m. Também durante todo o período de monitoramento, o nível do Poço 6 permaneceu fluando entre os limites de 7,60 m e 4,87 m, com variação de 2,73 m. Já o nível do Poço 7 permaneceu fluando entre 4,01 m e 2,98 m, com variação de 1,03 m.

A flutuação maior no Poço 5 e Poço 6 em relação ao Poço 7 deve-se ao fator localização topográfica, pois estão em cotas altimétricas mais altas. Também é influenciada

pela característica geológica do substrato, que é mais arenosa e menos argilosa, na faixa de flutuação. Estudos futuros deverão complementar esse comportamento.

Poços	Nível da água (m)		Variação (m)
	Mínimo	Máximo	
Poço 5	12,86	9,41	3,45
Poço 6	7,60	4,87	2,73
Poço 7	4,01	2,98	1,03

Quadro 2: Variação dos níveis de água nos poços de monitoramento.

5.3 Comparação entre a flutuação do nível da água e a precipitação

A Figura 41 ilustra uma relação entre a flutuação do nível da água subterrânea e a precipitação pluviométrica ocorrida no período avaliado. Este período foi considerado porque tão somente em 21/05/2010 conseguiu-se instalar os equipamentos no poço 7, o último. A partir daí, então, iniciou-se a coleta de dados dos três poços ao mesmo tempo.

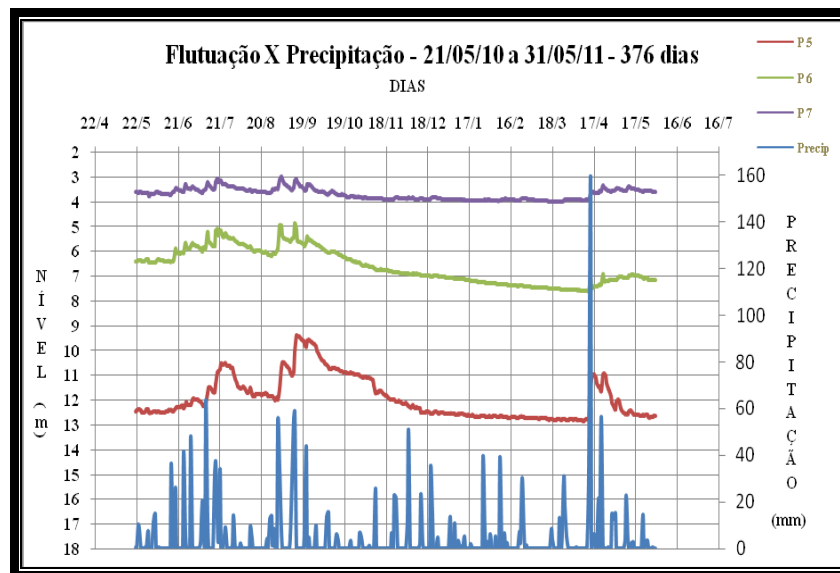


Figura 41: Poços 5, 6 e 7 – Comparação entre a Flutuação e a Precipitação.

Analisando-se a Figura 41 verifica-se o comportamento da flutuação dos níveis de água subterrânea em resposta a eventos de precipitação pluviométrica. No período de meados de junho a meados de setembro, o aquífero responde bem a evento chuvoso, ou seja, há uma flutuação positiva, crescente, de recarga.

Já a partir de setembro ocorre uma longa depleção, ou seja, uma longa descarga, que se estende até meados de abril. É possível notar-se perfeitamente nesse período, que embora ocorram eventos de precipitação pluviométrica, o aquífero não corresponde na flutuação, pelo motivo de ser a estação quente, de primavera/verão, com muita evaporação. Caracterizando um período onde seguramente não há recarga do aquífero.

Pode-se notar também que o Poço 5 demonstra uma maior sensibilidade em resposta a eventos de precipitação pluviométrica.

5.4 Cálculos das recargas de água subterrânea

A Figura 42 ilustra a flutuação do nível de água subterrânea no Poço 5, no período entre 27/03/2010 a 31/05/2011, totalizando 431 dias.

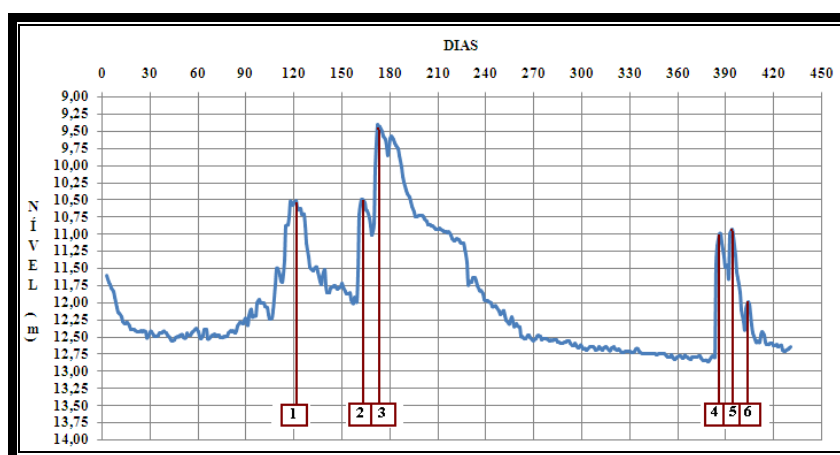


Figura 42: Gráfico da flutuação do Poço 5 com os picos considerados para a recarga.

A curva n° 1 demonstra o conjunto de recessão e recarga considerado para a obtenção do 1° Δh , que será utilizado para o cálculo da 1ª recarga. E assim sucessivamente, a n° 2 para o 2° Δh , a n° 3 para o 3° Δh , a n° 4 para o 4° Δh , a n° 5 para o 5° Δh e a n° 6 para o 6° Δh . A soma de todos os valores de Δh será utilizada para o cálculo da recarga total. Essa sistemática aplicou-se igualmente a todos os poços de monitoramento.

As Figuras 43 a 48, ilustram os procedimentos realizados na avaliação da recarga do Poço 5, com a determinação do Δh , em um período de 431 dias.

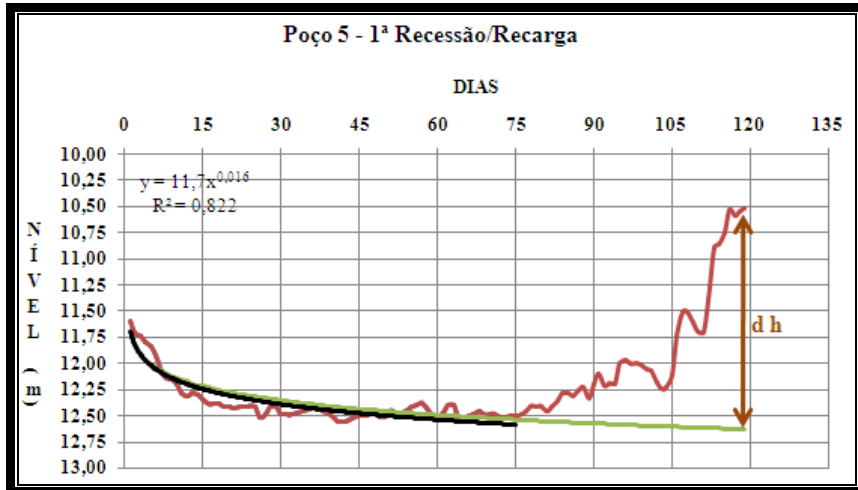


Figura 43: Gráfico utilizado para cálculo da recarga do Poço 5, $dh = \Delta h = 2,11$ m.

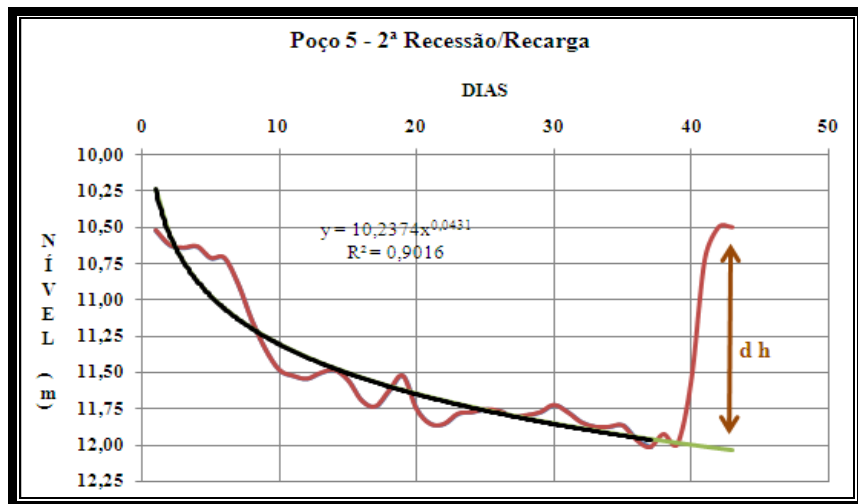


Figura 44: Gráfico utilizado para cálculo da recarga do Poço 5, $dh = \Delta h = 1,54$ m.

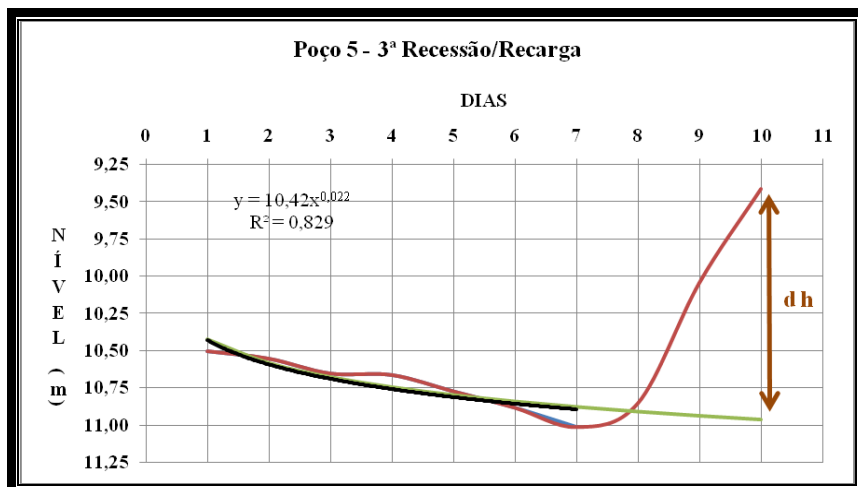


Figura 45: Gráfico utilizado para cálculo da recarga do Poço 5, $dh = \Delta h = 1,55$ m.

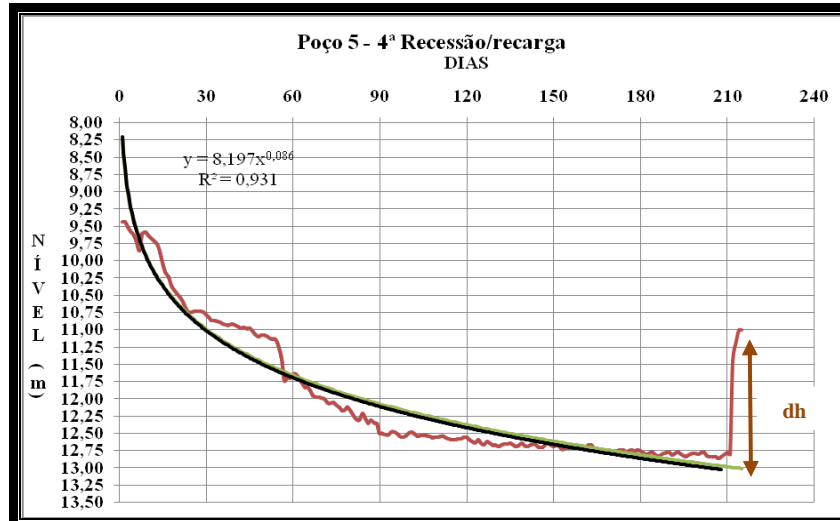


Figura 46: Gráfico utilizado para cálculo da recarga do Poço 5, $dh = \Delta h = 2,01$ m.

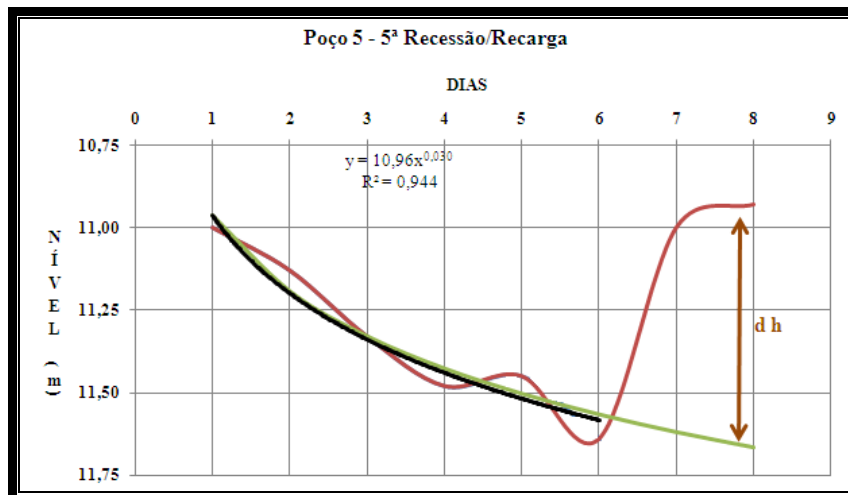


Figura 47: Gráfico utilizado para cálculo da recarga do Poço 5, $dh = \Delta h = 0,74$ m.

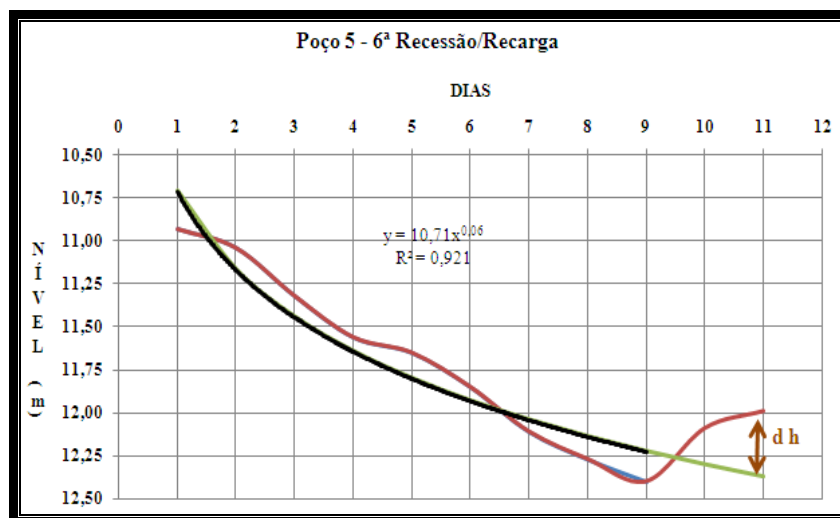


Figura 48: Gráfico utilizado para cálculo da recarga do Poço 5, $dh = \Delta h = 0,38$ m.

Para o cálculo da recarga do Poço 5, utiliza-se o rendimento específico (S_y) 0,10, na Equação (2):

$$R = S_y \frac{dh}{dt} = S_y \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

Δh é o somatório de todas **dh** no período estudado.

$$\Delta h = 1^a dh + 2^a dh + 3^a dh + 4^a dh + 5^a dh + 6^a dh \text{ (Equação 3)}$$

$$\Delta h = 2,11 \text{ m} + 1,54 \text{ m} + 1,55 \text{ m} + 2,01 \text{ m} + 0,74 \text{ m} + 0,38 \text{ m} = 8,33 \text{ m}$$

$$R = 0,10 \cdot 8,33 \text{ m} \text{ ou } R = 0,833 \text{ m}$$

$$R = 833 \text{ mm}/431 \text{ dias}$$

A Figura 49 demonstra a flutuação do nível de água do Poço 6 num período de 412 dias.

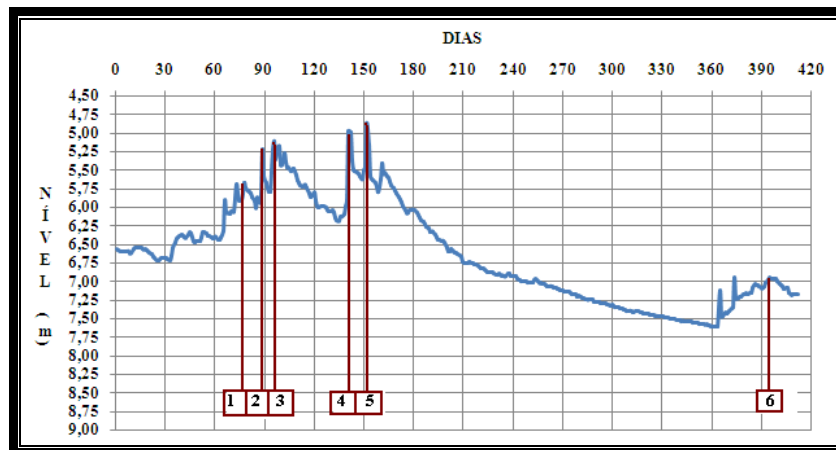


Figura 49: Gráfico da flutuação do nível da água subterrânea no Poço 6, com os picos considerados para a recarga (412 dias).

A curva nº 1 demonstra o conjunto de recessão e recarga considerado para a obtenção do 1º Δh , que será utilizado para o cálculo da 1ª recarga. E assim sucessivamente, como já descrito para a Figura 42.

As Figuras 50 a 55 ilustram os procedimentos utilizados na avaliação da recarga do Poço 6, com a determinação do Δh , em um período de 412 dias.

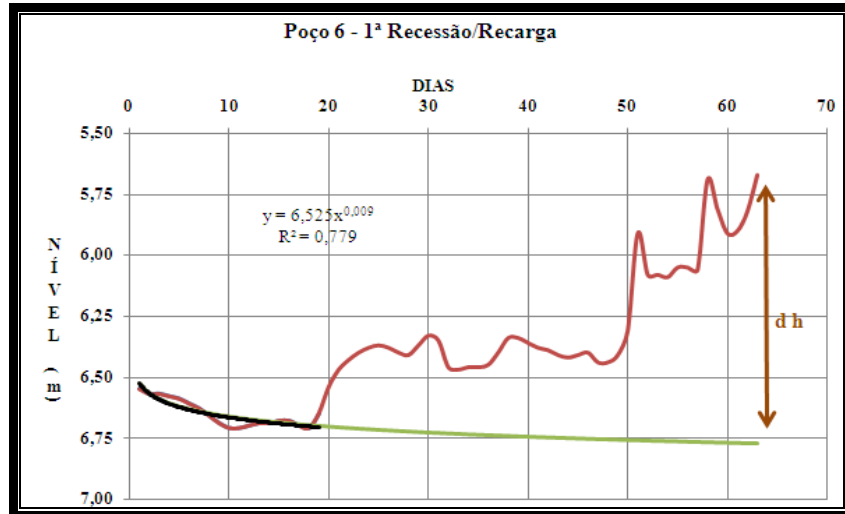


Figura 50: Gráfico utilizado para cálculo da recarga do Poço 6, $dh=\Delta h= 1,10$ m.

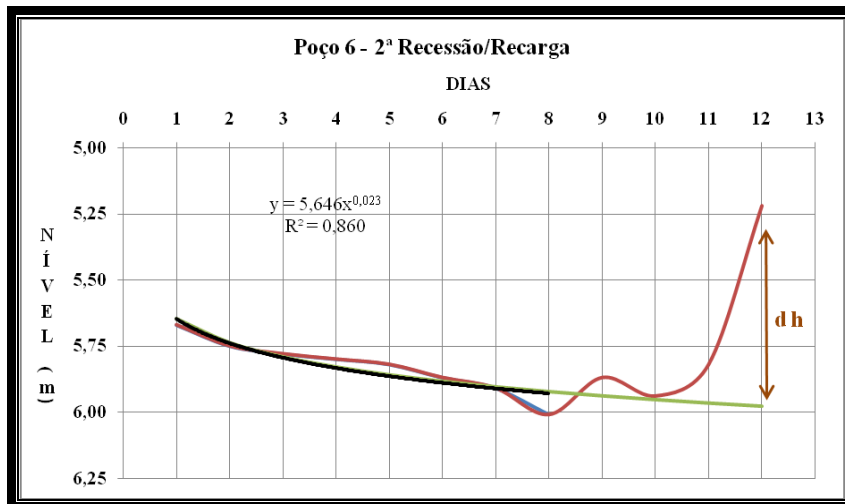


Figura 51: Gráfico utilizado para cálculo da recarga do Poço 6, $dh=\Delta h= 0,76$ m.

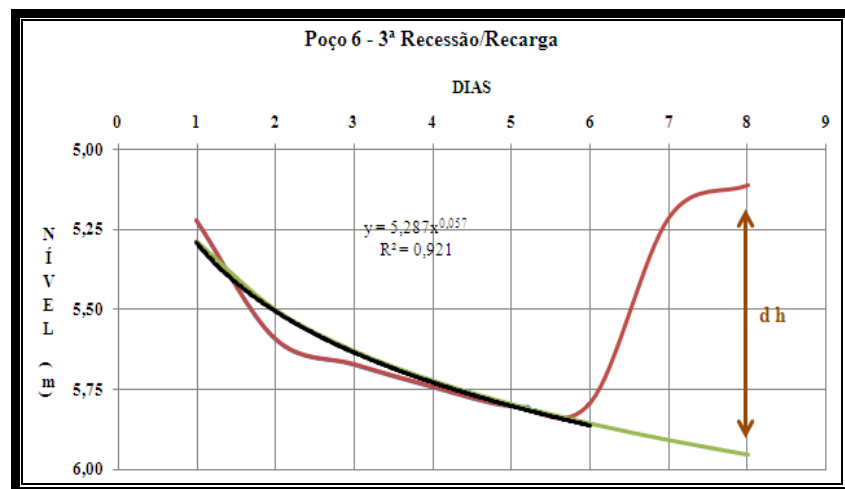


Figura 52: Gráfico utilizado para cálculo da recarga do Poço 6, $dh=\Delta h= 0,84$ m.

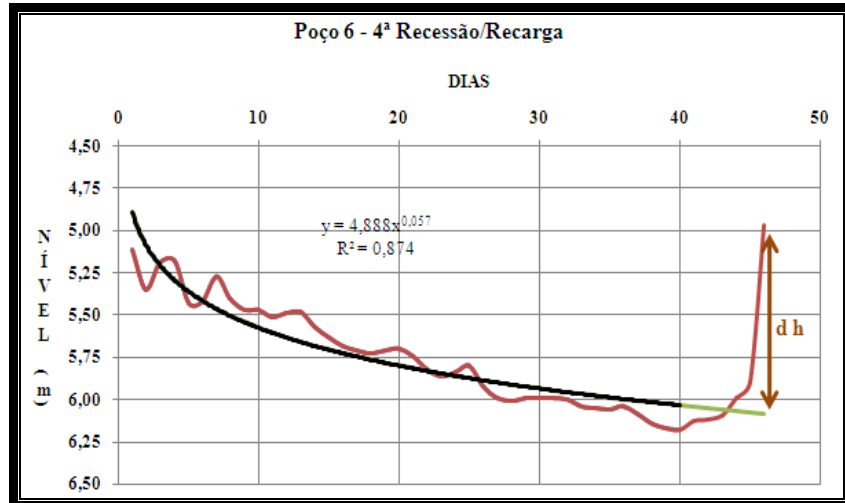


Figura 53: Gráfico utilizado para cálculo da recarga do Poço 6, $dh = \Delta h = 1,11$ m.

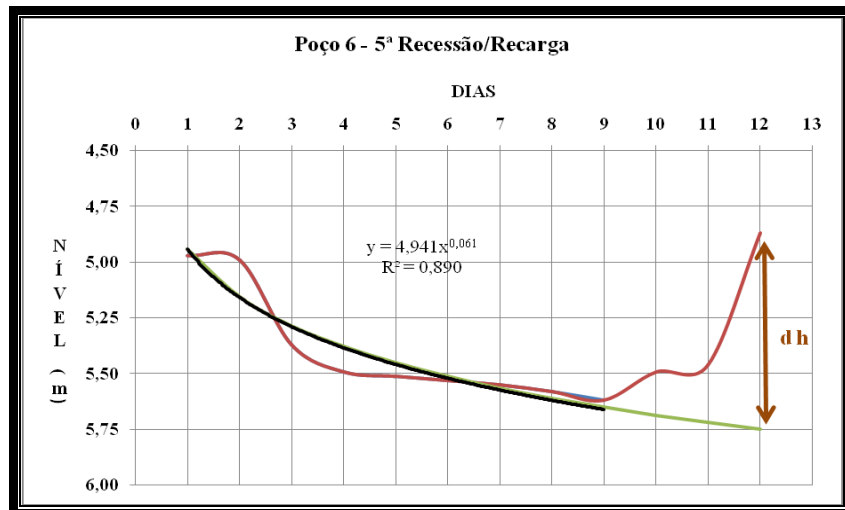


Figura 54: Gráfico utilizado para cálculo da recarga do Poço 6, $dh = \Delta h = 0,88$ m.

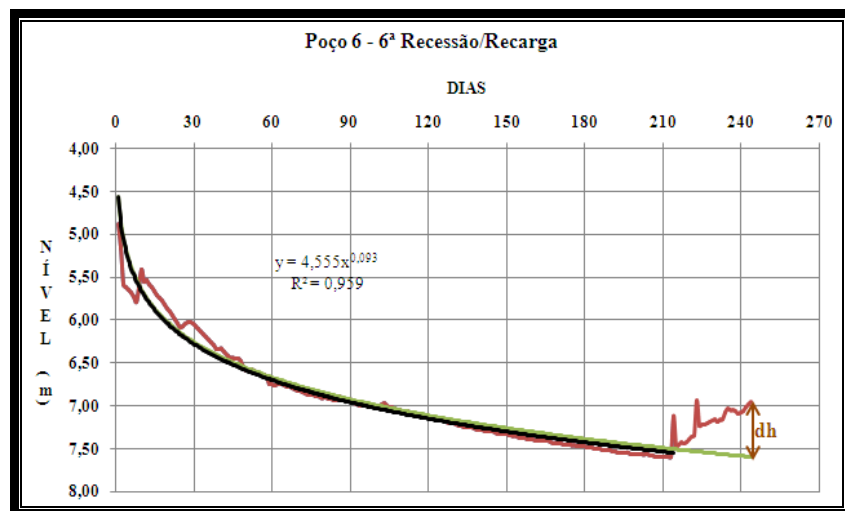


Figura 55: Gráfico utilizado para cálculo da recarga do Poço 6, $dh = \Delta h = 0,64$ m.

Para calcular a recarga do Poço 6, utiliza-se o rendimento específico (S_y) 0,14, na Equação (2):

$$R = S_y \frac{dh}{dt} = S_y \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

Δh é o somatório de todas **dh** no período estudado.

Aplicando-se a Equação (3)

$$\Delta h = 1,10 \text{ m} + 0,76 \text{ m} + 0,84 \text{ m} + 1,11 \text{ m} + 0,88 \text{ m} + 0,64 \text{ m} = 5,33 \text{ m}$$

$$R = 0,14 \cdot 5,33 \text{ m} \text{ ou } R = 0,7462 \text{ m ou}$$

$$R = 746,2 \text{ mm}/412 \text{ dias}$$

A Figura 56 demonstra a flutuação do nível de água do Poço 7.

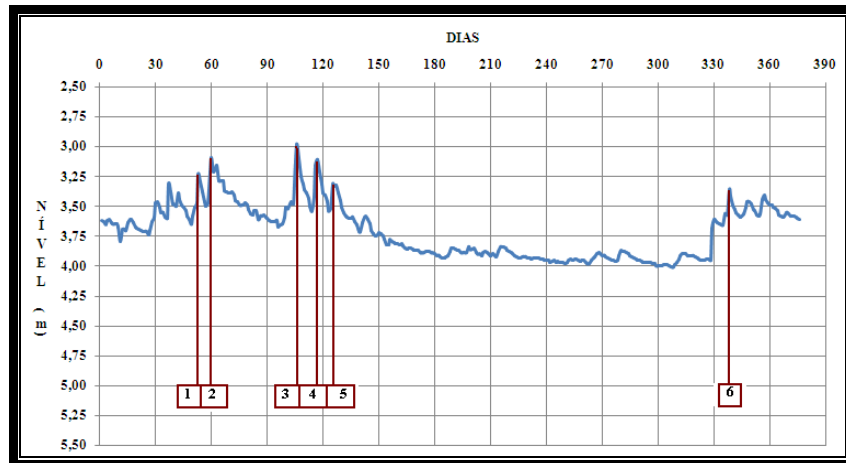


Figura 56: Gráfico da flutuação do nível da água subterrânea no Poço 7, com os picos considerados para a recarga (376 dias).

A curva nº 1 demonstra o conjunto de recessão e recarga considerado para a obtenção do 1º Δh , que será utilizado para o cálculo da 1ª recarga. E assim sucessivamente, já descrito para a Figura 42.

As Figuras 57 a 62 ilustram os procedimentos utilizados na avaliação das recargas do Poço 7, com a determinação do Δh , em um período de 376 dias.

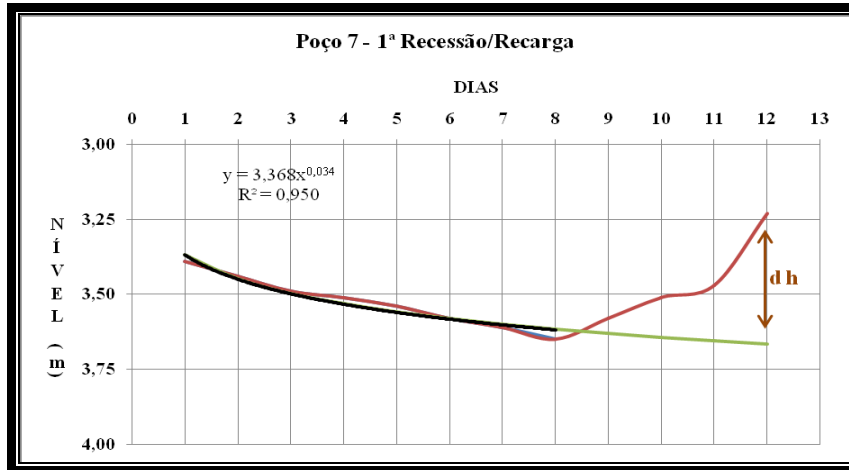


Figura 57: Gráfico utilizado para cálculo da recarga do Poço 7, $dh = \Delta h = 0,43$ m.

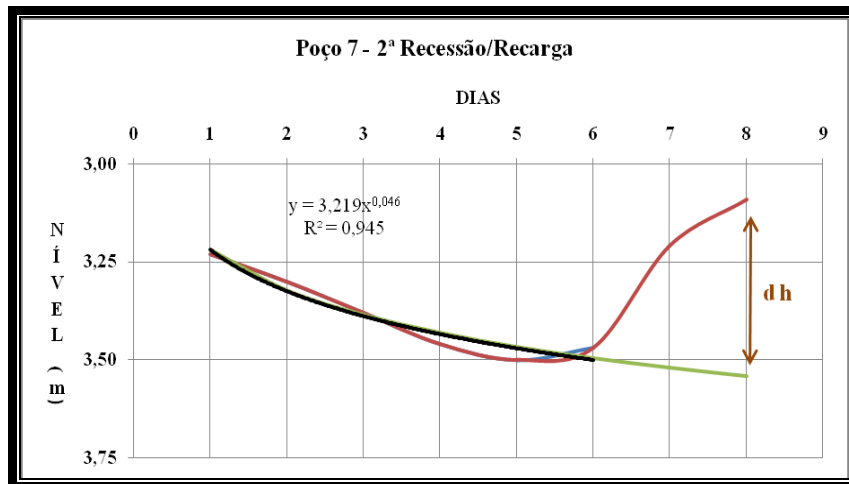


Figura 58: Gráfico utilizado para cálculo da recarga do Poço 7, $dh = \Delta h = 0,45$ m.

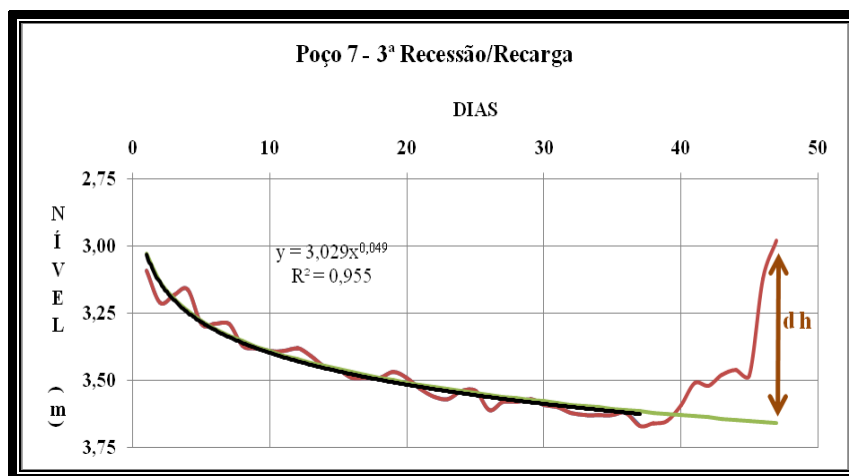


Figura 59: Gráfico utilizado para cálculo da recarga do Poço 7, $dh = \Delta h = 0,68$ m.

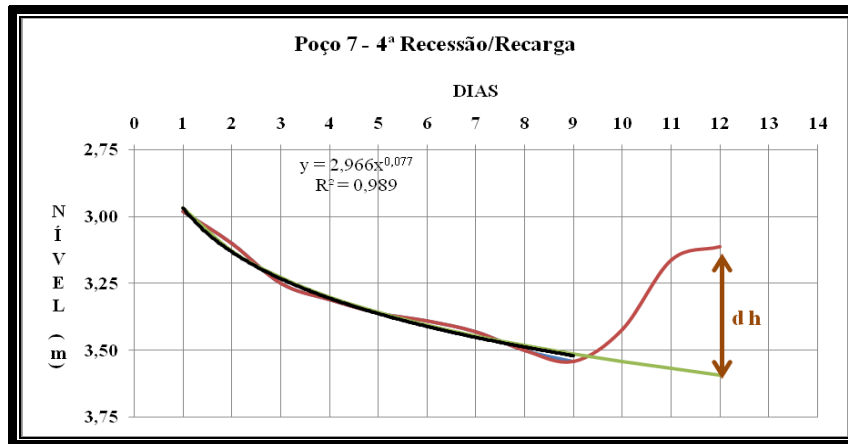


Figura 60: Gráfico utilizado para cálculo da recarga do Poço 7, $dh = \Delta h = 0,48$ m.

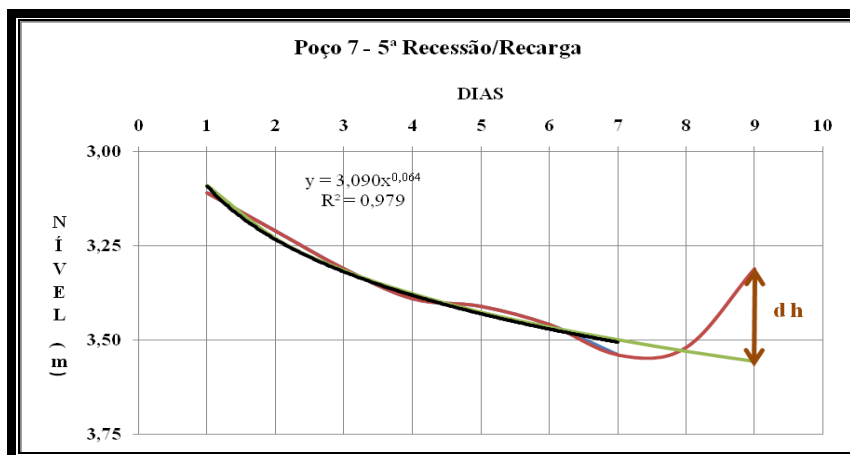


Figura 61: Gráfico utilizado para cálculo da recarga do Poço 7, $dh = \Delta h = 0,25$ m.

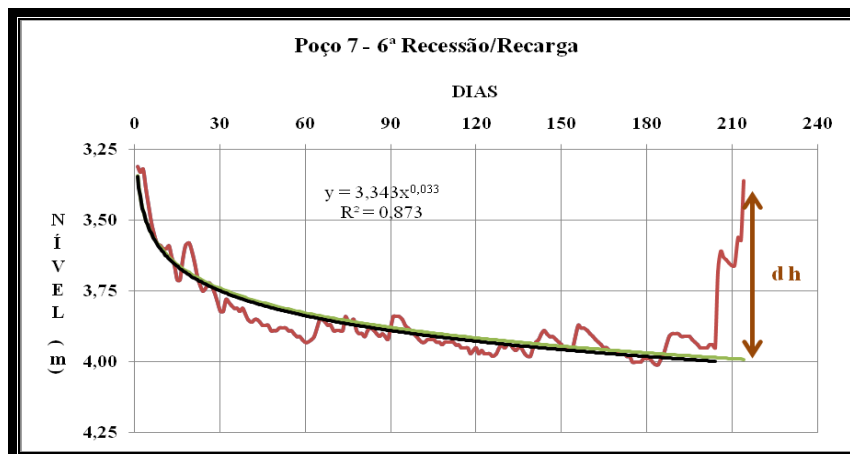


Figura 62: Gráfico utilizado para cálculo da recarga do Poço 7, $dh = \Delta h = 0,63$ m.

Para calcular a recarga do Poço 7, utiliza-se o rendimento específico (S_y) 0,14, na Equação (2):

$$R = S_y \frac{dh}{dt} = S_y \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

Δh é o somatório de todas **dh** no período estudado.

Aplicando-se a Equação (3)

$$\Delta h = 0,43 \text{ m} + 0,45 \text{ m} + 0,68 \text{ m} + 0,48 \text{ m} + 0,25 \text{ m} + 0,63 \text{ m} = 2,92 \text{ m}$$

$$R = 0,16 \cdot 2,92 \text{ m} \text{ ou } R = 0,4672 \text{ m} \text{ ou}$$

$$R = 467,2 \text{ mm}/376 \text{ dias}$$

Os cálculos da recarga dos três poços de monitoramento, através do uso do Método WTF, indicaram a flutuação do nível de água subterrânea, com a existência de valores de recarga de água subterrânea: no Poço 5 de 833 mm no período avaliado; no Poço 6 de 746,2 mm no período avaliado e no Poço 7 de 467,2 mm no período avaliado. Na área existe um aquífero freático ou livre ao qual se pode aplicar o referido método de avaliação da recarga subterrânea Healy e Cook (2002).

5.5 Conclusões parciais

Neste estudo realizou-se a coleta de dados referentes à flutuação do nível da água em poços de monitoramento localizados em duas microbacias (Rancho do Amaral e Rincão do Soturno), parte da Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí- Vacacaí-Mirim SEMA (G 60).

A utilização do equipamento de monitoramento eletrônico automático, constando de medidor de nível de água, medidor de pressão atmosférica e programa específico de computador, foi de excelente resultado. Tal equipamento é de fácil manuseio e de excepcional precisão. Essas leituras eletrônicas foram confirmadas pelo aparelho medidor de nível de água sonoro Jacirí.

Constatou-se a efetiva formação geológica na perfuração dos poços de monitoramento, confirmada pelas análises granulométricas, demonstrando a clara ocorrência de subsolo extremamente arenoso até 31m no Poço 5, até 20 m no Poço 6 e até 15 m no Poço 7.

Neste estudo a utilização do método WTF (Water Table Fluctuation) foi feita com exclusividade, pois se entende que nas condições apresentadas, em função das coletas de campo e instalações laboratoriais, este seria o melhor método. Os resultados obtidos são satisfatórios e mostram as reais informações da flutuação dos níveis das águas subterrâneas

ocorrentes nos locais de pesquisa e perfeitamente concordantes com os resultados de outros estudos citados na literatura.

O principal problema encontrado foi a inexistência de dados, o que a partir deste trabalho já começa a ser solucionado ao iniciar-se a formação de um banco de informações e uma série histórica de registros de nível de água subterrânea nas microbacias.

Este estudo deverá ter continuidade ampliando-se o número de poços de monitoramento de nível de água, pois quanto mais informações forem adquiridas espacialmente bem distribuídas na Bacia Hidrográfica, maiores conhecimentos terão os gestores. Dessa forma, eles poderão aplicar esses conhecimentos tanto para o bem estar ambiental, quanto para o bem estar da população. A sequência de informações é imperiosa.

Recomenda-se ao poder público, tanto a nível Legislativo, Executivo e Judiciário e ao Comitê de gerenciamento da Bacia Hidrográfica que tomem providências para controlar a urbanização do local, buscando-se preservar ambientalmente essa riquíssima região hidrológica de Santa Maria.

6 CONCLUSÃO FINAL

Obteve-se para a área de estudos, a partir dos registros dos três poços de monitoramento, uma série histórica de flutuação de níveis de água de duração superior a um ano hidrológico.

Registrou-se a existência de recarga de água subterrânea em área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani utilizando-se o “*Método Water Table Fluctuation*”, em aquífero poroso inter-granular, livre, constituído pela Formação Botucatu.

A partir das amostras coletadas durante as perfurações estudadas através das análises granulométricas, pôde-se confirmar a ampla predominância da fração arenosa.

Observou-se uma relação entre a cota altimétrica da posição dos poços com relação ao movimento da água subterrânea através da inferência da direção de fluxo subterrâneo. Estas indicaram nas microbacias estudadas uma direção preferencial de noroeste para sudeste, indicando uma perenização do curso do Rio Vacacaí-Mirim na porção mais inferior, onde forma uma planície aluvial e onde ainda recebe várias contribuições de outros cursos de água.

Constatou-se que o Rio Vacacaí-Mirim mostra condição efluente em determinados períodos do ano (junho a novembro), e em determinados trechos.

Desta forma espera-se ter contribuído para a ampliação do conhecimento relativo aos recursos hídricos subterrâneos importantes na preservação do curso de água do Rio Vacacaí-Mirim. Estes subsídios servirão para o gerenciamento efetivo do trecho da bacia hidrográfica estudada.

Sugere-se que futuras pesquisas realizem um poço de monitoramento penetrando as mesmas camadas sedimentares, utilizando-se uma perfuração que possibilite a amostragem de testemunho. Também se sugere a execução de ensaios de bombeamento, de duração de 24 hs, e ainda a realização de coleta de amostras indeformadas, as quais poderão fornecer resultados mais precisos em relação ao rendimento específico dos materiais penetrados e que fazem parte da zona saturada.

Estudos futuros de séries de longa duração ampliarão o entendimento deste trecho do Rio Vacacaí-Mirim.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS - ANA, SUPERINTENDÊNCIA DE INFORMAÇÕES HIDROLÓGICAS – SIH. **Águas subterrâneas**. Brasília. DF. 2002. 1 diapositivo. Color.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA, SUPERINTENDÊNCIA DE PLANEJAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS, SUPERINTENDÊNCIA DE CONSERVAÇÃO DE ÁGUA E SOLO. **Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. Brasília/DF. 2005. 178 p.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA, SUPERINTENDÊNCIA DE PLANEJAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS. **Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil**. Brasília. 2007. 126 p.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA, SUPERINTENDÊNCIA DE PLANEJAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS. **ATLAS Sul - abastecimento urbano de água**. Brasília/DF. 2009. 84 p.

ANDRADE PINTO, E. J., et al. **Estimativa da recarga natural do aquífero livre de uma sub-bacia da bacia representativa de Juatuba (MG) aplicando o método da variação dos níveis d'água (VNA)**. XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. São Luís. MA 2010. 19 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS – ABAS. **Água e meio ambiente subterrâneo** – revista nº 19. [S.l.]. 2011. 32 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7181 – Solo – Análise granulométrica**. Rio de Janeiro. RJ. 1988. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6502 – Rochas e solos – Terminologia**. Rio de Janeiro. RJ. 1995. 18 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 12244 – Poço tubular – Construção de poço tubular para captação de água subterrânea**. Rio de Janeiro. RJ. 2006. 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR – 12212 - Poço tubular – Projeto de poço tubular para captação de água subterrânea.** Rio de Janeiro. 2006. 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15495-1-Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares – Parte 1: Projeto e construção.** Rio de Janeiro. RJ. 2007. 25 p.

AZEVEDO, A. C., et al. **Solos e ambiente: uma introdução.** Santa Maria. RS. 2004. 100 p.

BARCELLOS BELLINASSO, T., DIAS DE PAIVA, J. B. **Avaliação da produção de sedimentos em eventos chuvosos em uma pequena bacia hidrográfica semi-urbana de encosta.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Volume 12, n.4, Out/Dez 2007, p. 169-181. Santa Maria. RS. 2007.

BARRETO, C. E. A. G. **Balço hídrico em zona de afloramento do sistema aquífero Guarani a partir de monitoramento hidrogeológico em bacia representativa.** Dissertação Mestrado em Engenharia (Hidráulica e saneamento), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2006. SP. 149 p.

BARRETO, C. E. A. G., WENDLAND, E., GOMES, L. H. **Definição de um modelo de balanço hídrico para uma bacia representativa localizada em zona de afloramento do Sistema Aquífero Guarani.** XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo/SP. 2007. 20 p.

BARRETO, C. E. A. G., WENDLAND, E., MARCUZZO, F. F. N. **Estimativa da evapotranspiração a partir de variação do nível estático do aquífero.** Revista Engenharia Agrícola vol. 29, nº 1, jan/mar, Jaboticabal/SP. 2009. 9 p.

CARNIER NETO, D., HUNG KIANG, C. **Aplicação do método de flutuação de nível da água para a estimativa de recarga - exemplo do Aquífero Rio Claro.** Revista Águas Subterrâneas, v.22, n.01, p.39-48, Rio Claro. SP. 2008.

CHAVES, A. de. **Monitoramento de águas subterrâneas em um empreendimento potencialmente poluidor no município de Santa Maria/ RS.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Santa Maria. RS. 2009. 187 p.

CHOW, V. T., MAIDMENT, D. R., MAYS, L. W. **Hidrología aplicada.** Santa Fé de Bogotá. Colômbia. 1994. 585 p.

CLEARY, R. W. **Águas Subterrâneas**. Flórida. USA. 2007. 117 p.

COLLINS SONS & Co. Ltd. (Ed.). **Dicionário português/inglês, inglês/português**. Glasgow. Grã Bretanha. 1993. 287 p.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. **Mapa hidrogeológico**. Folha Santa Maria. 1:100.000. Brasília. DF (1994).

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. **Noções básicas sobre poços tubulares**. Brasília. DF. 1998. 22 p.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. **Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Escala 1:750.000. (2008). Disponível em: <http://geobank.sa.cprm.gov.br>. acesso em 27/07/2010.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **IV seminário de política de gestão da qualidade do solo e das águas subterrâneas**. 20 e 21 de setembro de 2006 Local: Centro Brasileiro Britânico - São Paulo - SP. 2006. Diapositivo color.

DAKER, A. **Captação, Elevação e melhoramento da Água**. 2º Vol. 6ª Ed. Rio de Janeiro. RJ. 1983. 400 p.

DALMOLIN, R. S. D., PEDRON, F. A. **Solos do município de Santa Maria, Revista Ciência e Ambiente nº 38, UFSM**. Santa Maria. RS. 2009. p 59-77.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Norma DNER-ME 051/94**. [S.l.]. 1994. 12 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBICS**. Rio de Janeiro. RJ 2006. 388 p.

FARIA DA SILVA, E. T. **Atributos físico-hídricos e matéria orgânica do solo em função de sistemas de uso e manejo da vegetação secundária**. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Belém. PA. 2007. 69 p.

FELTRIN, R. F. **Comportamento das variáveis hidrológicas do balanço hídrico do solo em lisímetros de drenagem**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS 2009. 94 p.

FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – RS. **Regiões hidrográficas do Estado do RS**. Mapa. Porto Alegre. RS. 1994.

FERREIRA, A.B., et al. **Análise do meio físico da sub-bacia do Rio Vacacaí-Mirim**. Revista geográfica acadêmica Santa Maria. RS. 2009. 7 p.

FIGUEIREDO PEREIRA, M. A. **Processos hidrossedimentológicos em diferentes escalas espaço temporais no bioma Mata Atlântica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria/RS. 2010. 118 p.

FLORES MACHADO, J. L. **Águas subterrâneas e poços – Uma jornada através dos tempos**. Porto Alegre. 2008. 126 p.

FLORES MACHADO, J. L. **Compartimentação espacial e arcabouço hidroestratigráfico do Sistema Aquífero no Rio Grande do Sul**. Tese (Doutorado em Geologia). São Leopoldo. RS. 2005. 130 p.

FOSTER, S., et al. **Groundwater quality protection: A guide for water service companies, municipal authorities and environment agencies**. Washington, D.C. USA. 2006. 104 p.

FREITAS, M. A. de., et al. **Mapa hidrogeológico do Rio Grande do Sul: um avanço no conhecimento das águas subterrâneas no estado**. Porto Alegre. RS. 2005.

FREEZE, R. A., CHERRY, J. A. **Groundwater**. New Jersey. USA. 1979. 626 p.

GOOGLE EARTH. **Image 2010, GeoEye, Map Link/Tele Atlas**. Disponível em <http://eart.google.com>. Acesso em 10 de julho de 2010.

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

HAUSMAN, A. **Províncias hidrogeológicas do Rio Grande do Sul**. Acta geológica leopoldensia. UNISINOS. São Leopoldo. RS. 1995. 125 p.

HEALY, R. W., COOK, P. G. **Using groundwater levels to estimate recharge**. Hydrogeology Journal. 91-101 p. [S.l.]. 2002.

HEALY, R. W., et al. **Comparison of local to regional-scale estimates of ground-water recharge in Minnesota, USA.** Journal of Hydrology. University of Nebraska – Lincoln. USA. 2007. 20 p.

HEALY, R. W., NIMMO, J., STONESTROM, D. A. **Aquifers: Recharge.** Encyclopedia of Water Science. 55-58 p.[S.l.] 2008.

HEATH, R. C., **Hidrologia básica de água subterrânea.** United States Geological Survey Water Supply 2220. Dept. of Natural resources and community development. North Carolina. USA. Tradução para o português por Mario Wrege e Paul Potter, Instituto de pesquisas Hidráulicas – Universidade Federal d Rio Grande do Sul – IPH / UFRGS. 1983. 173 p.

HIRATA, R., WAHNFRIED, I. **Comparação de métodos de estimativa de recarga de aquíferos em uma planície aluvionar na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (São Paulo).** Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 10 n.2 Abr/Jun 2005, 15-25. São Paulo. SP. 2005. 11 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual técnico de uso da terra.** 2ª edição. Rio de Janeiro. 2006. 91 p.

IRITANI, M. A., EZAKI, S. **As águas subterrâneas do Estado de São Paulo.** Instituto geológico. São Paulo. 2008. 104 p.

KOBIYAMA, M., MOTA, A. A., CORSEUIL, C. W. **Recursos hídricos e saneamento.** 1ª Edição. Curitiba. PR. 2008. 180 p.

KOOGAN LAROUSSE SELEÇÕES (Ed.). **Dicionário enciclopédico.** 2 vol. Rio de Janeiro. RJ. 1979. 2612 p.

LEINZ, V., AMARAL, S. E. do. **Geologia Geral.** São Paulo. SP. 1980. 397 p.

LERNER, K. L., LERNER, B. W. **Encyclopedia of water science** (Ed.). 3 vol. USA. 2005. 612 p.

MACIEL FILHO, C. L., BORDIGNON, A. R., NEVES, L. **Caracterização geotécnica de solos sul-riograndenses das regiões centro e oeste.** UFSM. Santa Maria. RS. 1989. 52 p.

MACIEL FILHO, C. L. **Carta geotécnica de Santa Maria.** CCNE. UFSM. Santa Maria/RS. 1990.

MACIEL FILHO, C. L. **Introdução à geologia da engenharia**. Santa Maria. RS. 2007. 307 p.

MANOEL FILHO, J., et al. **Hidrogeologia – Conceitos e aplicações**. CPRM. Fortaleza. CE 2000. 404 p.

MALDANER, C. H. **Recarga de aquífero em área urbana, estudo de caso de Urânia (SP)**. Dissertação (Mestrado) Programa de pós graduação em recursos minerais e hidrogeologia. Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo. São Paulo. SP. 2010. 101 p.

MARCHIORI, J. N. C. **A vegetação em Santa Maria**. *Revista Ciência e Ambiente* n° 38, UFSM. Santa Maria. RS. 2009. p 93-112.

MARION, F. A. **Levantamento da situação atual dos recursos hídricos subterrâneos em Itaara - RS e sua vulnerabilidade natural**. (monografia) Graduação em Geografia UFSM) Santa Maria. RS. 2007. 48 p.

MAZIERO, T. A. **Monitoramento de água subterrânea em área urbana: aspectos quantitativos**. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento). São Carlos. SP. 2005. 145 p.

MEDEIROS, E. R. **Estratigrafia do Grupo São Bento na região de Santa Maria e paleocorrentes da Formação Botucatu**. Dissertação (Mestrado em Geociências). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. RS. 1980. 135 p.

MEINZER, O. E. **The occurrence of ground water in the United States, with a discussion of principles**. Dissertation (Degree of doctor of philosophy). Chicago. USA. 1923. 321 p.

MIGUEL, P. **Caracterização pedológica, uso da terra e modelagem da perda de solo em áreas de encosta do rebordo do planalto do RS**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Processos Físicos e Morfogenéticos do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM,RS). Santa Maria. RS. 2010. 112 p.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. **Infra-estrutura de ferrovias**. Vitória. ES. 2007. 54 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS. **Plano Nacional de Recursos Hídricos – PNRH**, Brasília. DF. 2003. Disponível em www.mma.gov.br.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Águas Subterrâneas, um recurso a ser conhecido e protegido.** Brasília/DF. 2007. 40 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTE URBANO. **Conjunto de normas legais: recursos hídricos.** 6ª Ed. Brasília. DF. 2008. 469 p.

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO. **Manual técnico de pedologia.** IBGE. Rio de Janeiro. RJ. 2007. 316 p.

MONTAÑO, J., et al., **Sistema Aquífero Guarani.** Santa Fé. Argentina. 1998. 216 p.

PAIVA, G. P. **Estimativa da recarga em uma unidade detrítica de uma microbacia do rio Piranga (MG).** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais. 2006. 138 p.

PLANET EARTH. Edição portuguesa. **Água subterrânea – Reservatório para um planeta com sede?** Revista, nº 2, edição portuguesa. Universidade do Minho. Portugal. 2007. 16 p.

PSAG – PROJETO DE PROTEÇÃO AMBIENTAL E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI. **Acuífero Guarani: avances em el conocimiento para su gestión sustentable.** Montevideo. 2007. 396 p.

PSAG – PROJETO DE PROTEÇÃO AMBIENTAL E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI. **Manual de perfuração de poços tubulares para investigação e captação de água subterrânea no “Sistema Aquífero Guarani”.** Montevideo. 2007. 107 p.

PSAG – PROJETO DE PROTEÇÃO AMBIENTAL E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI. **Informe Final de Hidrogeologia.** Rio Claro. SP. 2008. 290 p.

PSAG – PROJETO DE PROTEÇÃO AMBIENTAL E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI. **Aquífero Guarani – Programa Estratégico de Ação (PEA).** Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani. [S.l.] 2009. 426 p.

PSAG – PROJETO DE PROTEÇÃO AMBIENTAL E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI. **Síntese hidrogeológica do**

Sistema Aquífero Guarani. Série manuais e documentos técnicos do projeto de proteção ambiental e desenvolvimento sustentável do Sistema Aquífero Guarani. [S.l.]. 2009. 102 p.

QUEIROZ, O. A. P. DE. **Dicionário latim-português.** (Ed). São Paulo. S P. 1960. 354 p.

RISSER, D. W., GBUREK W. J., FOLMAR G. J., U.S. **Comparison of Methods for Estimating Ground-Water Recharge and Base Flow at a Small Watershed Underlain by Fractured Bedrock in the Eastern United States.** U.S. Geological Survey, Reston, Virginia. USA. 2005. 37 p.

ROSA, A. S., et al. **Levantamento semi-detalhado de solos em ambientes urbanos: caso do município de Santa Maria.** Parte da dissertação de mestrado de Pedron F. de A., UFSM. Santa Maria. RS. [200-]. 4 p.

ROSS, J. L. S. **Relevo brasileiro: uma nova proposta de classificação.** *Revista do Departamento de Geografia nº 4, USP.* Faculdade de Filosofia, letras e Ciências Humanas. SP. 1990. p. 25-39.

SARTORI, P. L. P. **Geologia e geomorfologia de Santa Maria.** *Revista Ciência e Ambiente nº 38, UFSM.* Santa Maria. RS. 2009. p 19-42.

SCANLON, B. R., HEALY, R. W., COOK, P. G. **Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge.** *Hydrogeology Journal*, 18–39 p. [S.l.]. 2002.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Sistema de informação para o gerenciamento ambiental dos recursos hídricos subterrâneos na área de afloramento do Aquífero Guarani no Estado de São Paulo.** São Paulo. SP. 2004. 81 p.

SECRETARIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO SUL – SEMA RS. **Regiões hidrográficas do Rio grande do Sul.** Mapa. Porto Alegre. RS. 1994.

SILVÉRIO DA SILVA, J. L., CHAVES, A. de, DESCOVI FILHO, L. **Monitoramento de águas subterrâneas – mini curso.** Santa Maria. RS. 2007.

SILVÉRIO DA SILVA, J. L. et al. **Avaliação preliminar da flutuação do nível freático em microbacias representativas.** XVIII Simpósio brasileiro de recursos hídricos. Campo Grande. MT. 2009.

SOARES, A. P., SOARES, P. C., HOLZ M. **Correlações Estratigráficas Conflitantes no Limite Permo-Triássico no Sul da Bacia do Paraná: O Contato Entre Duas Sequências e Implicações na Configuração Espacial do Aquífero Guarani.** Revista Pesquisas em Geociências, 35. Instituto de Geociências, UFRGS. Porto Alegre, RS. Brasil. 2008. p. 115-133.

SOPHOCLEOUS, M. A. **The role of specific yield in ground-water recharge estimations: A numerical study.** *Groundwater*, Vol. 23, nº 1, January, February. Kansas. Lawrence USA. 1985. 7 p.

SOPHOCLEOUS, M. A. **Combining the soilwater balance and water-level fluctuation methods to estimate natural ground-water recharge: Practical aspects.** *Journal of hydrology*. 229 – 241 p. Amsterdam. 1991.

SOPHOCLEOUS, M. A. **Groundwater recharge.** Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), Kansas, Lawrence, USA. 2004. 41 p.

STRECK, E. V., et al. **Solos do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre. RS. 2008. 222 p.

SUASSUNA, E. **Geologia aplicada a obras civis - petrologia.** Roteiro de aulas. Palmas. TO. 2010. 34 p.

SUGUIO, K. **Mudanças ambientais da Terra.** Instituto Geológico. Secretaria do Meio Ambiente. São Paulo, 2008. 339 p.

TEIXEIRA, W., et al. **Decifrando a Terra,** São Paulo. SP, 2000. 549 p.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION UNESCO. **Programa Hidrológico Internacional - División de Ciencias del Agua. Notícias.** Montevideo. Uruguay. 1998.

UNIVERSIDADE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS. ACTA GEOLÓGICA LEOPOLDENSIA. **As rochas e os sedimentos.** Cap. 2. São Leopoldo. RS. 2003. 33 p.
VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia.** Recife. PE. 2005. 522 p.

VIEIRA, L. S. **Manual de ciência do solo.** São Paulo. SP. 1975. 464 p.

WENDLAND, E. **Monitoramento hidrológico em zona de afloramento do Aquífero Guarani.** Edital MCT/CNPq 02/2006 – Universal. São Carlos. SP. 2006. 19 p.

WENDLAND, E., et al. **Balanço hídrico em zona de afloramento do Sistema Aquífero Guarani a partir de monitoramento hidrogeológico em bacia representativa.** Acuífero Guarani: Avances em el conocimiento para su gestión sustentable. Primera edición. 139 -155 p. Montevideo. 2007.

WICANDER, R., MONROE, J, S. **Fundamentos de geologia.** São Paulo. SP. 2009. 508 p.

8 ANEXOS

Anexo 1 – Precipitação pluviométrica diária (mm) durante o ano de 2010 e parte do ano de 2011.

Dia	Jan 10	Fev 10	Mar 10	Abr 10	Mai 10	Jun 10	Jul 10	Ago 10	Set 10	Out 10	Nov 10	Dez 10	Jan 11	Fev 11	Mar 11	Abr 11	Mai 11
1	0,0	0,4	0,2	10,0	0,0	0,4	0,2	0,2	55,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0	12,4
2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	0,0	34,5	0,0	0,0	13,8	14,8	0	0	0,2	15
3	78,4	0,0	0,0	0,0	11,2	11,4	0,2	0,0	8,1	0,0	0,0	51,0	0	0,2	0	0	0,2
4	111,2	3,4	0,0	1,2	2,2	14,8	0,0	0,5	0,0	0,0	0,7	0,2	0	6	0	0,6	0,2
5	0,2	0,0	0,0	0,2	0,2	0,6	0,0	2,1	0,0	0,0	1,2	0,0	10,8	0	0	0	0
6	9,6	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	13,5	0,0	0,0	0	0	0	0	0,2
7	0,0	12,0	0,0	0,2	0,4	0,4	2,4	0,0	0,0	15,6	0,0	0,0	0	41,4	0	0	0
8	52,2	16,8	0,0	0,2	0,0	0,2	20,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,2	3,6	0	0	0,2
9	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,8	0,0	0,0	0,0	25,6	0,0	0	15,2	0	0	4
10	4,2	0,2	0,4	0,2	10,8	0,0	0,0	0,0	5,5	0,0	0,0	0,0	1,2	7,8	0	0	22,6
11	0,0	0,0	0,0	0,0	6,2	0,2	63,6	0,0	29,8	0,0	0,0	2,4	0,2	1	0	0	3,8
12	3,8	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	13,2	9,5	55,9	0,0	0,0	23,1	6,6	3,4	0	0,8	0,2
13	0,2	7,2	0,6	0,0	0,4	0,0	0,0	4,0	58,7	6,1	0,0	2,6	0	0	0	34,2	0
14	0,0	20,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,3	0,0	0,0	0	0	0	159,2	2,2
15	16,6	25,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,4	2,6
16	160,2	6,6	0,0	0,0	0,6	36,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	5,6	0,2
17	0,0	0,0	0,0	0,0	24,0	0,0	31,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	0	8,4	6	0,2
18	73,4	0,0	0,0	0,0	33,2	19,0	37,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	3,6	0	0
19	62,4	0,0	0,6	40,2	0,6	25,4	12,5	0,0	0,0	0,0	0,0	35,2	0	0	0	0	0,2
20	0,0	0,0	0,0	29,8	1,8	0,2	3,5	0,0	9,8	0,0	0,0	15,1	0	0	0	21,6	0,2
21	0,2	26,0	57,6	13,0	0,4	0,0	33,9	0,0	43,8	0,0	6,6	0,0	0	8,4	0	0	0
22	0,0	8,2	1,0	12,4	0,2	0,2	0,6	0,0	1,2	3,1	0,0	0,0	0	3,2	0	56,6	14,4
23	0,0	1,6	0,2	0,0	10,2	0,0	0,0	0,0	4,6	0,0	22,8	0,0	0	42	13,2	0,2	0,4
24	1,6	0,0	0,0	0,0	8,4	1,0	5,5	4,0	0,1	0,2	21,5	4,5	0	0,2	0	0	2,8
25	0,0	0,2	0,0	17,0	0,0	41,6	9,0	0,7	0,2	0,0	0,0	0,0	0	0	7,2	0,2	3,4
26	0,2	0,0	0,0	8,0	0,2	6,8	0,0	12,7	0,0	0,0	0,0	0,0	41	2,4	31	0,2	0,4
27	33,4	0,2	0,0	0,2	0,2	0,2	0,0	13,9	0,0	0,0	0,0	0,0	9,2	0	18,2	0,4	0,2
28	4,6	0,0	0,0	0,4	0,6	0,2	0,0	1,3	9,7	0,0	0,0	0,0	0	0	5	0	0,2
29	0,2		0,2	0,4	0,6	0,2	0,0	8,4	0,0	6,6	0,0	0,0	3,4		0	0,2	0,4
30	0,0		0,2	0,2	7,6	47,8	1,4	1,2	0,0	4,7	0,0	0,0	0		0	14,8	0
31	0,0		0,2		0,2		14,2	0,0		0,0		0,0	6,8		0		0
Total	613,0	128,2	61,4	134,4	121,2	207,2	262,2	58,5	316,8	53,1	78,4	148,0	100,8	134,8	86,6	301,2	86,6

Anexo 2 – Poço 5: Níveis diários de flutuação de Março de 2010 a Maio de 2011.

POÇO 5	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai
Dia	Nível (m)	Nível (m)	Nível (m)	Nível (m)	Nível (m)	Nível (m)	Nível (m)	Nível (m)	Nível (m)	Nível (m)	Nível (m)	Nível (m)	Nível (m)	Nível (m)	Nível (m)
1	-	11,79	12,45	12,53	12,00	11,14	11,99	10,24	11,10	12,16	12,55	12,68	12,74	12,79	12,27
2	-	11,84	12,44	12,50	11,96	11,34	11,56	10,36	11,08	12,12	12,55	12,69	12,74	12,80	12,40
3	-	11,93	12,43	12,48	12,00	11,48	10,72	10,42	11,07	12,19	12,54	12,66	12,75	12,78	12,09
4	-	12,08	12,42	12,46	12,00	11,52	10,50	10,47	11,09	12,25	12,54	12,65	12,75	12,78	11,99
5	-	12,14	12,45	12,49	12,01	11,54	10,50	10,53	11,12	12,30	12,57	12,66	12,75	12,82	12,03
6	-	12,16	12,47	12,48	12,05	11,50	10,55	10,59	11,13	12,31	12,58	12,70	12,74	12,84	12,33
7	-	12,20	12,51	12,48	12,07	11,48	10,65	10,68	11,14	12,21	12,59	12,70	12,74	12,84	12,44
8	-	12,28	12,55	12,51	12,18	11,55	10,66	10,74	11,22	12,28	12,59	12,66	12,76	12,84	12,50
9	-	12,31	12,56	12,51	12,24	11,69	10,77	10,74	11,42	12,35	12,58	12,64	12,75	12,86	12,58
10	-	12,29	12,54	12,50	12,23	11,73	10,88	10,73	11,74	12,31	12,58	12,67	12,74	12,84	12,56
11	-	12,30	12,51	12,50	12,11	11,62	11,01	10,73	11,69	12,35	12,56	12,69	12,75	12,80	12,58
12	-	12,34	12,50	12,49	11,73	11,52	10,85	10,73	11,70	12,36	12,56	12,67	12,74	12,78	12,47
13	-	12,39	12,50	12,45	11,50	11,75	10,04	10,74	11,64	12,50	12,59	12,69	12,75	12,80	12,43
14	-	12,39	12,48	12,41	11,50	11,85	9,41	10,78	11,64	12,50	12,62	12,73	12,78	11,44	12,47
15	-	12,39	12,47	12,42	11,61	11,85	9,44	10,82	11,69	12,52	12,63	12,72	12,80	11,16	12,57
16	-	12,41	12,51	12,41	11,69	11,78	9,44	10,86	11,75	12,52	12,59	12,71	12,79	11,00	12,61
17	-	12,42	12,51	12,45	11,70	11,77	9,51	10,87	11,83	12,48	12,64	12,71	12,76	11,00	12,61
18	-	12,43	12,45	12,41	11,39	11,75	9,57	10,88	11,83	12,48	12,66	12,71	12,80	11,13	12,60
19	-	12,41	12,47	12,35	10,89	11,76	9,63	10,89	11,88	12,51	12,62	12,71	12,83	11,33	12,60
20	-	12,42	12,47	12,29	10,86	11,80	9,73	10,91	11,95	12,54	12,64	12,72	12,81	11,48	12,63
21	-	12,41	12,45	12,29	10,74	11,79	9,85	10,93	11,97	12,55	12,67	12,73	12,79	11,45	12,63
22	-	12,42	12,42	12,31	10,53	11,77	9,61	10,93	11,98	12,53	12,67	12,71	12,78	11,64	12,61
23	-	12,51	12,40	12,25	10,58	11,72	9,58	10,91	11,99	12,49	12,69	12,67	12,78	11,00	12,64
24	-	12,49	12,38	12,23	10,54	11,77	9,63	10,93	12,00	12,48	12,67	12,67	12,81	10,93	12,62
25	-	12,42	12,43	12,33	10,52	11,84	9,67	10,95	12,06	12,50	12,65	12,71	12,79	11,04	12,62
26	-	12,42	12,50	12,19	10,62	11,87	9,70	10,97	12,06	12,54	12,65	12,72	12,77	11,32	12,70
27	11,50	12,48	12,52	12,10	10,64	11,87	9,76	10,96	12,05	12,53	12,64	12,74	12,80	11,56	12,71
28	11,53	12,49	12,47	12,21	10,63	11,86	9,86	10,98	12,08	12,53	12,66	12,74	12,82	11,65	12,69
29	11,60	12,49	12,40	12,19	10,71	11,96	10,03	10,97	12,12	12,53	12,69		12,83	11,85	12,68
30	11,71	12,47	12,40	12,19	10,71	12,01	10,16	11,01	12,17	12,54	12,68		12,80	12,11	12,66
31	11,75	-	12,53	-	10,89	11,92	-	11,06	-	12,56	12,64		12,79		12,65

Anexo 3 – Poço 6: Níveis diários de flutuação de Abril de 2010 a Maio de 2011.

POÇO 6	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai
Dia	Nível (m)	Nível (m)	Nível (m)	Nível (m)	Nível (m)	Nível (m)	Nível (m)	Nível (m)	Nível (m)	Nível (m)	Nível (m)	Nível (m)	Nível (m)	Nível (m)
1	–	6,57	6,47	5,67	5,57	5,90	5,82	6,59	6,91	7,06	7,29	7,44	7,56	7,18
2	–	6,57	6,46	5,75	5,63	4,97	5,86	6,59	6,90	7,06	7,30	7,44	7,57	7,16
3	–	6,58	6,46	5,78	5,68	4,99	5,90	6,57	6,92	7,07	7,30	7,45	7,57	7,15
4	–	6,59	6,45	5,80	5,71	5,37	5,94	6,59	6,92	7,08	7,30	7,45	7,57	7,08
5	–	6,61	6,40	5,82	5,73	5,49	5,99	6,61	6,93	7,09	7,31	7,45	7,58	7,03
6	–	6,63	6,34	5,87	5,71	5,51	6,04	6,62	6,93	7,10	7,32	7,46	7,58	7,05
7	–	6,66	6,34	5,91	5,70	5,53	6,08	6,63	6,89	7,11	7,33	7,46	7,59	7,05
8	–	6,69	6,36	6,01	5,74	5,55	6,07	6,64	6,90	7,12	7,32	7,47	7,59	7,06
9	–	6,71	6,38	5,87	5,82	5,58	6,04	6,67	6,93	7,12	7,33	7,47	7,60	7,09
10	–	6,71	6,39	5,94	5,86	5,62	6,03	6,74	6,92	7,13	7,34	7,47	7,60	7,08
11	–	6,70	6,41	5,82	5,84	5,49	6,03	6,75	6,93	7,13	7,35	7,47	7,60	7,06
12	–	6,69	6,42	5,22	5,80	5,46	6,04	6,76	6,93	7,13	7,35	7,48	7,60	7,01
13	–	6,69	6,41	5,59	5,92	4,87	6,07	6,75	6,97	7,14	7,36	7,48	7,60	6,98
14	–	6,68	6,40	5,67	5,99	5,16	6,10	6,74	6,98	7,16	7,37	7,49	7,12	6,95
15	6,57	6,68	6,44	5,74	6,01	5,58	6,14	6,75	6,99	7,17	7,38	7,50	7,47	6,96
16	6,58	6,70	6,44	5,80	5,99	5,62	6,17	6,76	7,00	7,17	7,38	7,50	7,46	6,97
17	6,59	6,71	6,41	5,79	5,99	5,64	6,20	6,77	6,99	7,18	7,39	7,50	7,42	6,97
18	6,60	6,65	6,31	5,21	5,99	5,67	6,23	6,77	7,00	7,20	7,39	7,51	7,43	6,97
19	6,59	6,54	5,91	5,11	6,00	5,72	6,26	6,79	7,01	7,19	7,39	7,52	7,42	6,99
20	6,59	6,47	6,08	5,35	6,04	5,79	6,29	6,81	7,02	7,20	7,40	7,52	7,39	7,03
21	6,59	6,43	6,08	5,19	6,05	5,62	6,33	6,82	7,02	7,22	7,41	7,52	7,36	7,05
22	6,59	6,40	6,09	5,18	6,06	5,41	6,34	6,83	7,01	7,23	7,40	7,53	7,34	7,06
23	6,62	6,38	6,05	5,43	6,04	5,55	6,33	6,84	6,98	7,24	7,40	7,53	6,94	7,10
24	6,61	6,37	6,05	5,42	6,08	5,53	6,37	6,85	6,97	7,25	7,40	7,54	7,23	7,09
25	6,57	6,38	6,06	5,27	6,14	5,58	6,41	6,87	6,99	7,25	7,41	7,54	7,22	7,09
26	6,55	6,40	5,69	5,40	6,17	5,61	6,44	6,87	7,02	7,25	7,42	7,54	7,21	7,16
27	6,55	6,41	5,81	5,47	6,18	5,66	6,44	6,87	7,02	7,25	7,43	7,54	7,20	7,18
28	6,55	6,37	5,91	5,47	6,13	5,71	6,45	6,88	7,03	7,27	7,43	7,54	7,18	7,17
29	6,55	6,33	5,90	5,51	6,12	5,74	6,45	6,89	7,04	7,28		7,56	7,17	7,17
30	6,55	6,35	5,82	5,49	6,09	5,77	6,48	6,91	7,05	7,28		7,56	7,16	7,17
31	–	6,46	–	5,48	5,99	–	6,55	–	7,06	7,28		7,56		7,17

Anexo 4 – Poço 7: Níveis diários de flutuação de Maio de 2010 a Maio de 2011.

POÇO 7	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai
Dia	Nível (m)	Nível (m)	Nível (m)	Nível (m)	Nível (m)	Nível (m)	Nível (m)	Nível (m)	Nível (m)	Nível (m)	Nível (m)	Nível (m)	Nível (m)
1	–	3,69	3,39	3,45	3,48	3,60	3,86	3,89	3,93	3,95	3,91	3,91	3,56
2	–	3,69	3,44	3,46	3,12	3,60	3,85	3,89	3,92	3,96	3,92	3,91	3,51
3	–	3,70	3,49	3,49	2,98	3,59	3,85	3,89	3,92	3,95	3,93	3,91	3,46
4	–	3,64	3,51	3,49	3,10	3,63	3,86	3,84	3,92	3,95	3,94	3,91	3,46
5	–	3,61	3,54	3,49	3,25	3,66	3,87	3,86	3,93	3,97	3,95	3,92	3,48
6	–	3,61	3,58	3,47	3,31	3,71	3,87	3,86	3,93	3,98	3,95	3,93	3,53
7	–	3,64	3,61	3,49	3,36	3,71	3,87	3,85	3,94	3,98	3,96	3,94	3,54
8	–	3,67	3,65	3,53	3,39	3,64	3,89	3,89	3,93	3,95	3,97	3,95	3,57
9	–	3,68	3,58	3,56	3,43	3,59	3,89	3,90	3,93	3,93	3,97	3,95	3,58
10	–	3,69	3,51	3,57	3,50	3,58	3,89	3,90	3,93	3,92	3,97	3,95	3,56
11	–	3,70	3,47	3,54	3,54	3,61	3,88	3,91	3,93	3,90	3,97	3,94	3,44
12	–	3,71	3,23	3,54	3,42	3,65	3,88	3,89	3,94	3,89	3,97	3,94	3,41
13	–	3,71	3,30	3,61	3,16	3,70	3,88	3,88	3,94	3,90	3,98	3,95	3,44
14	–	3,71	3,38	3,58	3,11	3,73	3,89	3,89	3,95	3,91	3,98	3,68	3,47
15	–	3,74	3,46	3,58	3,21	3,75	3,89	3,90	3,95	3,91	4,00	3,61	3,49
16	–	3,70	3,50	3,57	3,31	3,74	3,90	3,91	3,95	3,92	4,00	3,63	3,49
17	–	3,63	3,47	3,59	3,39	3,72	3,91	3,90	3,97	3,93	4,00	3,64	3,51
18	–	3,59	3,21	3,60	3,41	3,73	3,91	3,91	3,96	3,94	4,00	3,65	3,52
19	–	3,47	3,09	3,62	3,46	3,75	3,92	3,92	3,95	3,95	3,99	3,66	3,54
20	–	3,46	3,21	3,63	3,54	3,78	3,93	3,88	3,97	3,95	3,99	3,66	3,57
21	3,62	3,51	3,18	3,63	3,52	3,82	3,93	3,84	3,96	3,96	3,99	3,56	3,58
22	3,63	3,55	3,16	3,63	3,31	3,82	3,92	3,84	3,97	3,95	4,00	3,57	3,59
23	3,65	3,55	3,29	3,62	3,33	3,78	3,91	3,84	3,97	3,91	4,01	3,36	3,58
24	3,62	3,59	3,29	3,67	3,32	3,79	3,88	3,85	3,97	3,87	4,01	3,42	3,55
25	3,61	3,60	3,29	3,66	3,39	3,80	3,85	3,87	3,98	3,88	3,99	3,49	3,56
26	3,64	3,31	3,37	3,65	3,45	3,81	3,85	3,88	3,97	3,88	3,97	3,53	3,58
27	3,65	3,38	3,38	3,59	3,51	3,81	3,86	3,89	3,95	3,89	3,94	3,55	3,58
28	3,65	3,48	3,39	3,51	3,55	3,82	3,87	3,90	3,94	3,90	3,91	3,57	3,58
29	3,65	3,48	3,39	3,52	3,58	3,81	3,87	3,91	3,95		3,90	3,59	3,59
30	3,67	3,50	3,38	3,48	3,59	3,83	3,89	3,92	3,94		3,90	3,58	3,60
31	3,79	–	3,41	3,46		3,85		3,93	3,94		3,90		3,61

Anexo 5 – Dados de pressão atmosférica (PA).

Dia	Mar 10	Abr 10	Mai 10	Jun 10	Jul 10	Ago 10	Set 10	Out 10	Nov 10	Dez 10	Jan 11	Fev 11	Mar 11	Abr 11	Mai 11
	PA (m)	PA (m)	PA (m)	PA (m)	PA (m)	PA (m)	PA (m)	PA (m)	PA (m)	PA (m)	PA (m)	PA (m)	PA (m)	PA (m)	PA (m)
1		0,825	0,858	0,945	0,869	0,903	0,827	0,880	0,873	0,795	0,788	0,819	0,842	0,820	0,814
2		0,819	0,839	0,919	0,869	0,958	0,969	0,885	0,847	0,749	0,770	0,838	0,843	0,829	0,884
3		0,839	0,817	0,903	0,873	0,996	0,837	0,886	0,798	0,771	0,761	0,802	0,850	0,804	0,931
4		0,902	0,798	0,878	0,856	0,997	0,851	0,882	0,786	0,797	0,758	0,772	0,852	0,786	0,882
5		0,932	0,822	0,822	0,830	0,978	0,920	0,880	0,802	0,815	0,774	0,775	0,851	0,826	0,836
6		0,934	0,830	0,894	0,820	0,921	0,934	0,876	0,792	0,814	0,790	0,809	0,830	0,849	0,864
7		0,926	0,877	0,903	0,806	0,874	0,926	0,875	0,776	0,748	0,800	0,814	0,825	0,857	0,854
8		0,934	0,917	0,937	0,869	0,876	0,902	0,882	0,763	0,750	0,793	0,772	0,833	0,862	0,845
9		0,937	0,943	0,949	0,880	0,926	0,880	0,887	0,786	0,777	0,784	0,752	0,818	0,890	0,863
10		0,917	0,931	0,940	0,900	0,940	0,867	0,888	0,902	0,744	0,774	0,779	0,805	0,864	0,827
11		0,890	0,901	0,941	0,800	0,870	0,878	0,886	0,905	0,741	0,745	0,805	0,799	0,817	0,842
12		0,870	0,880	0,922	0,790	0,785	0,878	0,884	0,901	0,729	0,729	0,792	0,789	0,779	0,874
13		0,881	0,883	0,883	0,877	0,887	0,873	0,879	0,860	0,794	0,742	0,810	0,790	0,776	0,874
14		0,867	0,851	0,827	0,916	0,954	0,878	0,876	0,827	0,801	0,775	0,854	0,822	0,800	0,870
15		0,845	0,833	0,821	0,978	0,966	0,883	0,877	0,816	0,824	0,789	0,852	0,846	0,844	0,893
16		0,842	0,863	0,794	1,027	0,924	0,879	0,880	0,809	0,826	0,741	0,842	0,844	0,862	0,904
17		0,836	0,857	0,823	0,992	0,902	0,884	0,882	0,807	0,780	0,782	0,841	0,802	0,833	0,895
18		0,835	0,799	0,784	0,902	0,878	0,888	0,882	0,783	0,767	0,805	0,832	0,830	0,884	0,875
19		0,802	0,830	0,761	0,856	0,866	0,883	0,882	0,779	0,781	0,765	0,824	0,875	0,884	0,865
20		0,797	0,871	0,837	0,874	0,885	0,877	0,879	0,792	0,812	0,782	0,837	0,862	0,810	0,881
21		0,786	0,886	0,864	0,815	0,864	0,875	0,877	0,792	0,827	0,808	0,843	0,837	0,796	0,878
22		0,798	0,862	0,894	0,875	0,834	0,873	0,850	0,785	0,814	0,817	0,819	0,819	0,785	0,848
23		0,886	0,835	0,837	0,936	0,777	0,856	0,811	0,783	0,777	0,839	0,763	0,811	0,828	0,864
24		0,880	0,800	0,804	0,882	0,788	0,856	0,822	0,773	0,757	0,824	0,758	0,831	0,874	0,846
25		0,817	0,842	0,842	0,841	0,819	0,879	0,837	0,807	0,771	0,806	0,795	0,807	0,884	0,831
26		0,803	0,912	0,863	0,933	0,829	0,878	0,852	0,807	0,800	0,792	0,820	0,779	0,905	0,914
27	0,862	0,865	0,942	0,844	0,921	0,820	0,875	0,817	0,786	0,796	0,783	0,841	0,814	0,900	0,937
28	0,830	0,885	0,901	0,920	0,877	0,793	0,873	0,802	0,779	0,785	0,805	0,841	0,845	0,872	0,925
29	0,830	0,895	0,829	0,897	0,877	0,836	0,875	0,764	0,784	0,782	0,835		0,869	0,840	0,914
30	0,851	0,875	0,810	0,886	0,800	0,866	0,879	0,775	0,806	0,789	0,834		0,849	0,799	0,889
31	0,842		0,936		0,786	0,803		0,839		0,795	0,789		0,829		0,872