



PLANO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARANÁ 3

MONITORAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS

(Produto 3.3)

CASCADEL / 2014

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
ITAIPU BINACIONAL
AGUASPARANÁ
COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARANÁ 3

PLANO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARANÁ 3

MONITORAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS

(Produto 3.3)

(Versão Final)

CASCADEL / 2014

COMITÊ DA BACIA DO PARANÁ 3

1 REPRESENTANTES DO SETOR PÚBLICO

MEMBROS TITULARES:

GILMAR JEFERSON PALUDO – SEMA /Toledo
MARIA GLÓRIA GENARI POZZOBON – IAP/Toledo
ROBERT GORDON HICKSON – AGUASPARANÁ/Toledo
ELOIR SEBASTIÃO PAPE – SEAB/Toledo
ADALBERTO TELESCA BARBOSA – EMATER/Toledo
FERDINANDO NESSO NETO – FUNAI/Guaíra
RICARDO ENDRIGO – Prefeitura Municipal de Medianeira
CARLOS ALBERTO MILLIOLI – Prefeitura Municipal de Foz do Iguaçu
SÉRGIO GROSSENHEIMER – Prefeitura Municipal de Pato Bragado
TÂNIA MARIA IAKOVACZ LAGEMAM – Prefeitura Municipal de Toledo
KEILA KOCHEM – Prefeitura Municipal de Cascavel
ORNÉLIO MENSCH – Prefeitura Municipal de Mercedes

MEMBROS SUPLENTE:

SILVIO BENDER - SEMA /Toledo
MÁRCIO DE AZEVEDO MOREIRA – IAP/Foz do Iguaçu
GUMERCINDO NOGUEIRA DE BRITO – AGUASPARANÁ/Toledo
VALDECIR FERRANDIN – SEAB/Toledo
ÉLCIO PAVAN – EMATER/Toledo
JOSÉ TADEU – FUNAI/Guaíra
ALCIR BERTA ALÉSSIO – Prefeitura Municipal de Medianeira
JOÃO MATKIEVICZ FILHO – Prefeitura Municipal de Foz do Iguaçu
CLAUDETE LUCIA SACARAVONATTO – Prefeitura Municipal de Pato Bragado
LEOCLIDES LUIZ ROSO BISOGNIN – Prefeitura Municipal de Toledo
ADENIR DE LOURDES MOLINA MORI – Prefeitura Municipal de Cascavel
KELLI E. K. WEBER – Prefeitura Municipal de Mercedes

2 REPRESENTANTES DOS SETORES DE USUÁRIOS DE RECURSOS HÍDRICOS

MEMBROS TITULARES:

FABIO LEAL OLIVEIRA - SANEPAR/Toledo
SIGMAR HERPICH - Horizonte Amidos/Marechal Cândido Rondon
ROSELÉIA MARTINI DE AGUIAR - SAAE/Marechal Cândido Rondon
NELSON NATALINO PALUDO - Sindicato Rural, FAEP/ Toledo
LUIZ YOSHIO SUZUKE - ITAIPU Binacional/Foz do Iguaçu
RENATO MAYER BUENO - SANEPAR/Foz do Iguaçu
VICENTE PAULO FERNANDES VALÉRIO - INAB/Toledo
NORBERTO JOSÉ MANZ - APS/AMS/ Toledo
JOSÉ UEBI MALUF - SINDICARNE/Toledo
CLAUDIANE MORETTI - Cooperativa Agroindustrial LAR/Medianeira
GISELE MARIA BROD CALDEREIRO - FRIMESA/Medianeira
VANDIR PAULO HOFFMANN - ACIMACAR/Marechal Cândido Rondon
KAREN DE LUCCA PAZ - OCEPAR/Curitiba

MEMBROS SUPLENTE:

ARTHUR CAMILLO FILHO - SANEPAR/Toledo
JORDANI LUIZ RODRIGUES- Horizonte Amidos/Marechal Cândido Rondon
GERSON LUIS DA SILVA - SAAE/Marechal Cândido Rondon
LAÉRCIO GALANTE - Sindicato Rural, FAEP/ Toledo
SIMONE FRIDERIGI BENASSI - ITAIPU Binacional/Foz do Iguaçu
NICOLAS LOPARDO - SANEPAR/Foz do Iguaçu
ROBERTO CARLOS PRIESNITZ - INAB/Toledo
ADILSON DILMAR KULPA - APS/AMS/ Toledo
ADRIANA BORGES - SINDICARNE/Toledo
FABIANA KANINOSKI PORTOLAN - Cooperativa Agroindustrial LAR/Medianeira
CÁTIA ELIZA DALPOSSO - FRIMESA/Medianeira
DENILSON SIEDEL - ACIMACAR/Marechal Cândido Rondon
MAYCON RICARDO ZIMERMANN - OCEPAR/Curitiba

3 REPRESENTANTES DA SOCIEDADE CIVIL ORGANIZADA

MEMBROS TITULARES:

DANIEL MARACA MIRI LOPES - Comunidade Indígena Tekoha Añetete/Diamante do Oeste
FABIANA COSTA DE ARAUJO SCHUTZ - UTFPR/Medianeira
ARMIN FEIDEN - UNIOESTE/Marechal Cândido Rondon
DIMER ISOTTON - CREA/Medianeira
PAULO SÉRGIO ROTTA - ABAS/Cascavel
GENUIR NODARI - Sindicato dos Trabalhadores Rurais/Toledo

MEMBROS SUPLENTE:

ANDERSON SANDRO DA ROCHA - UTFPR/Medianeira
ALISSON ALVES - PTI/Foz do Iguaçu
DANIEL GALAFASSI - CREA/Medianeira
JURANDIR BOZ FILHO - ABAS/Cascavel
DELVO BALDIN - Sindicato dos Trabalhadores Rurais/Toledo

AGUASPARANÁ

EQUIPE TÉCNICA

FABIO AUGUSTO GALLASSINI – Gerente de Bacias Hidrográficas e Chefe Regional – AGUASPARANÁ/Toledo

GUMERCINDO NOGUEIRA DE BRITO – Engenheiro Civil – AGUASPARANÁ/Toledo

ENÉAS SOUZA MACHADO – Diretor de Gestão de Bacias Hidrográficas – AGUASPARANÁ/Curitiba

IVO HEISLER JR – Engenheiro Civil – AGUASPARANÁ/Curitiba

OLGA POLATTI – Engenheira Civil – AGUASPARANÁ/Curitiba

ITAIPU BINACIONAL

DIRETORIA EXECUTIVA

JORGE MIGUEL SAMEK – Diretor-Geral Brasileiro
EFRAÍN ENRÍQUEZ GAMÓN – Diretor-Geral Paraguai
RAIMUNDO LÓPEZ FERREIRA – Diretor Técnico
EUSEBIO RAMÓN AYALA GIMENEZ – Diretor Jurídico Executivo
NILDO JOSÉ LUBKE – Diretor Jurídico
RÚBEN ESTEBAN BRASA – Diretor Administrativo Executivo
EDÉSIO FRANCO PASSOS – Diretor Administrativo
MARGARET MUSSOI LUCHETA GROFF – Diretora Financeira Executiva
MARÍA MERCEDES ELIZABETH RIVAS DUARTE – Diretora Financeira
DIANA BEATRIZ GARCÍA GALEANO – Diretora de Coordenação Executiva
NELTON MIGUEL FRIEDRICH – Diretor de Coordenação
JAIR KOTZ – Superintendente de Meio Ambiente

EQUIPE DE ELABORAÇÃO DO PLANO DA BACIA DO PARANÁ 3

1 PROFESSORES DA UNIOESTE

COORDENAÇÃO GERAL:

PROF. DR. ARMIN FEIDEN

EQUIPE DO CAMPUS DE CASCAVEL:

PROF. DR. BRENO LEITÃO WAICHEL

PROF. M.SC. JORGE ADEMIR MEDEIROS

PROF^a DR^a IRENE CARNIATTO

EQUIPE DO CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON

PROF^a DR^a ADRIANA MARIA DE GRANDI

PROF. M.SC. ANDREY LUIS BINDA

PROF. DR. ARMIN FEIDEN

PROF^a DR^a EDLEUSA PEREIRA SEIDEL

PROF^a DR^a MARCIA REGINA CALEGARI

PROF. DR. NARDEL LUIZ SOARES DA SILVA

PROF. DR. OSCAR V. QUINONEZ FERNANDEZ

PROF. DR. PEDRO CELSO SOARES DA SILVA

PROF. DR. WILSON JOÃO ZONIN

EQUIPE DO CAMPUS DE TOLEDO

PROF. DR. ALDI FEIDEN

PROF. DR. CAMILO FREDDY MENDOZA MOREJON

PROF. DR. CLEBER ANTONIO LINDINO

PROF^a M.SC. DIUSLENE RODRIGUES FABRIS

PROF. M.SC. LUCIR REINALDO ALVES

PROF^a DR^a MARLI R. V. B. ROESLER

PROF. DR. RICARDO RIPPEL

PROF. DR. NYAMIEN YAHAUT SEBASTIEN

2 APOIO TÉCNICO (GRADUADOS, MESTRANDOS E DOUTORANDOS) DA UNIOESTE

ALINE COSTA GONZALEZ

ANA BEATRYZ SUZUKI

DONIZETE JOSÉ VICENTE JR.

JUCINEI FERNANDO FRANDALOSO

ROBERTO LUIS PORTZ

RONAN ROGER RORATO

3 ACADÊMICOS DA UNIOESTE

ALEXANDRE RODRIGO CERNY

ANDERSON MAIKON ZIMMERMANN

BRUNO BONEMBERGER DA SILVA

BRUNO RODRIGUES SAUNITTI

CAMILLA FERRADOZA BATALIOTO

DANIEL WAGNER ROGÉRIO

DEVANIR BATISTA DA CRUZ

FERNANDO JOSÉ LIMA

GABRIELE PIZZATTO

GRÉGORI OLDONI PAZINATO

HIGOR EINSTEIN FRANCISCONI LORIN

JANAINA FRANCISCA TOLFO

JHEISON THIAGO REIS

JULIANA TABORDA

JULIANI CRISTINA MEITH

LARISSA TEODORO RECKZIEGEL DA SILVA

LOUSIE DI FRANCISCO DE SOUZA RODRIGUES

LUIZ EDUARDO PERUZZO DE LIMA

MARGUITA MÁRCIA KAUFER

NAIRO EDUARDO HEPPE

RENAN DAS NEVES VANDERLINDE

SUELEN TERRE DE AZEVEDO

THIAGO KICH FOGAÇA

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	1
RESUMO EXECUTIVO.....	2
1.1 INTRODUÇÃO.....	3
1.2 MONITORAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS.....	4
1.2.1 REDE ESTRATÉGICA DE FLUVIOMETRIA, SEDIMENTOMETRIA E DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	4
1.2.2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	9
1.3 PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE UMA REDE PIEZOMÉTRICA.....	10
1.3.1 INVESTIGAÇÕES DA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	10
1.3.1.1 Generalidades.....	10
1.3.1.2 Observações do nível freático.....	11
1.3.1.3 Poços de abastecimento.....	11
1.3.1.3.1 Poços pouco profundos.....	11
1.3.1.3.2 Poços profundos perfurados mecanicamente.....	11
1.3.1.4 Poços de observação.....	12
1.3.1.5 Piezômetros.....	12
1.3.1.6 Águas superficiais.....	15
1.3.1.7 Registro e processamento dos dados.....	15
1.3.1.8 Balanço da água subterrânea.....	20
1.3.2 PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE UMA REDE PIEZOMÉTRICA.....	21
1.3.2.1 Piezômetros.....	21
1.3.2.2 Proposta de Implantação de uma Rede Piezométrica na BP3.....	22
1.3.3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	27

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Estações em operação e propostas na BP3-1.....	6
Figura 02: Estações em operação e propostas na BP3-2.....	7
Figura 03: Estações em operação e propostas na BP3-3.....	8
Figura 04: Esquema de um poço e observação.....	12
Figura 05: Cargas hidráulicas em piezômetros instalados a diferentes profundidades e em vários tipos de aquíferos.....	13
Figura 06: Comparação do funcionamento entre um poço de observação (a) e um piezômetro (b).....	15
Figura 07: Métodos de medida de profundidade do nível freático.....	17
Figura 08: Mapa do lençol freático indicando as linhas equipotenciais, linhas de fluxo e regiões de recarga (a) e descarga (b).....	18
Figura 09: Mapa do lençol indicando regiões de recarga (a) e descarga (b) e características de um curso-d'água afluente e efluente.....	19
Figura 10: Componentes do Fluxo Subterrâneo.....	20
Figura 11: Estações Piezométricas propostas para a Área Estratégica de Gestão BP3-01.....	23
Figura 12: Estações Piezométricas propostas para a Área Estratégica de Gestão BP3-02.....	24
Figura 13: Estações Piezométricas propostas para a Área Estratégica de Gestão BP3-03.....	25
Figura 14: Estação Piezométrica proposta para a Bacia do Piquiri, ao lado da Área Estratégica de Gestão BP3-01.....	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Estações ativas e a serem reativadas na Área Estratégica de Gestão BP3-01..	5
Tabela 02: Estações a serem reativadas ou instaladas na Área Estratégica de Gestão BP3-02.....	7
Tabela 03: Estações ativas e a serem reativadas na Área Estratégica de Gestão BP3-03..	8
Tabela 04: Estações Piezométricas propostas para a Área Estratégica de Gestão BP3-01.	22
Tabela 05: Estações Piezométricas propostas para a Área Estratégica de Gestão BP3-02.	24
Tabela 06: Estações Piezométricas propostas para a Área Estratégica de Gestão BP3-03.	25
Tabela 07: Estação Piezométrica proposta para a Bacia do Piquiri, ao lado da Área Estratégica de Gestão BP3-01.....	26

APRESENTAÇÃO

O presente relatório, denominado *Monitoramento dos Recursos Hídricos (Produto 3.3)*, é parte dos estudos para elaboração do *Plano da Bacia Hidrográfica do Paraná 3*, executado pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), por meio do *Termo de Compromisso N° JD/JE/014/09*, celebrado entre a UNIOESTE e ITAIPU BINACIONAL, para suporte do Termo de Cooperação firmado entre a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos e Saneamento (SUDERHSA), atual Instituto das Águas do Paraná (Aguasparaná) e o Comitê da Bacia Hidrográfica do Paraná 3.

RESUMO EXECUTIVO

O presente relatório abrange os estudos de diagnóstico das Demandas Hídricas Atuais - Usos Consuntivos da Bacia Hidrográfica do Paraná 3 e é constituído das seguintes partes:

- (1) Levantamento e Análise da Rede de Fluviometria, Sedimentometria e de Qualidade da Água Existente;
- (2) Proposta de Implantação de uma Rede Estratégica de Fluviometria, Sedimentometria e de Qualidade da Água;
- (3) Proposta de Implantação de uma Rede Piezométrica.

MONITORAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS

(Produto 3.3)

1.1 INTRODUÇÃO

A bacia do Paraná 3 está localizada na mesorregião Oeste do Paraná, entre as latitudes 24° 01' S e 25° 35' S e as longitudes 53° 26' O e 54° 37' O e se estende em áreas dos municípios de Cascavel, Céu Azul, Diamante do Oeste, Entre Rios do Oeste, Foz do Iguaçu, Guaíra, Itaipulândia, Marechal Cândido Rondon, Maripá, Matelândia, Medianeira, Mercedes, Missal, Nova Santa Rosa, Ouro Verde do Oeste, Pato Bragado, Quatro Pontes, Ramilândia, Santa Helena, Santa Teresa do Oeste, Santa Teresinha de Itaipu, São José das Palmeiras, São Miguel do Iguaçu, São Pedro do Iguaçu, Terra Roxa, Toledo, Tupãssi e Vera Cruz do Oeste, perfazendo 28 municípios.

Nesta bacia, as disponibilidades hídricas são um importante recurso para atender as demandas dos diferentes usos da água. Neste relatório são analisadas as formas de monitoramento, particularmente no que se refere ao levantamento e análise da rede de fluviometria, sedimentometria e de qualidade da água existente, à proposta de implantação de uma rede estratégica de fluviometria, sedimentometria e de qualidade da água e à proposta de implantação de uma rede piezométrica.

1.2 MONITORAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS

Equipe:

Professores:

Oscar Vicente Q. Fernandez (coord.)

Marcia Regina Calegari

Andrey Luis Binda

Bolsistas:

Juliani Cristina Meith

Suelen Terre de Azevedo

Thiago Kich Fogaça

1.2.1 REDE ESTRATÉGICA DE FLUVIOMETRIA, SEDIMENTOMETRIA E DE QUALIDADE DA ÁGUA

As áreas estratégicas da BP3 dispõem de poucas estações fluviométricas em operação. Dentre os rios principais, somente no São Francisco Verdadeiro se dispõe de uma estação em atividade nas proximidades da sua foz (estação São Francisco Verdadeiro - Código 64875500, operada pela Itaipu) e localizada na BP3-01.

Os outros rios desta área estratégica não dispõem de estações de monitoramento. Por essa razão, é sugerida a reativação das estações Novo Três Passos ou Santa Rosa no rio Guaçu e a instalação da estação Marreco no rio Marreco, nas imediações da ponte que une os distritos de Margarida e São Roque em Marechal Cândido Rondon.

Na Área Estratégica de Gestão BP3-02 não existe nenhuma estação em operação. Assim, é sugerida a reativação das estações Nova Concórdia (à montante da PCH São Francisco) e Ponte São Francisco (PR-585 que une Toledo-São Pedro do Iguaçu) e a

instalação da estação Santa Quitéria no rio homônimo, nas imediações da ponte que une as cidades de Ouro Verde do Oeste e São José das Palmeiras (PR-317).

A outra estação em operação na BP3 é a de São Francisco Falso (BP3-03) que cobre parcialmente a bacia do rio São Francisco Braço Sul (Código 64892500) operada pela Suderhsa. O rio São Francisco Falso Braço Norte ou Corvo Branco não possui nenhuma estação em operação, apesar desta bacia compor aproximadamente a metade da área da bacia do São Francisco Falso. Por essa razão, é recomendada a instalação de uma estação nas proximidades da foz do Corvo Branco no reservatório de Itaipu. Nos outros cursos de água da BP3-03 é sugerida a reativação da estação ETA Missal no rio São Vicente e a implantação da estação Ponte do Ocoi no rio Ocoi nas proximidades da ponte que une as cidades de Medianeira e Missal.

Nas tabelas 1 a 3 e nas figuras 1 a 3 são elencadas as estações em operação, desativadas e propostas nas três Áreas Estratégicas de Gestão.

Tabela 01: Estações ativas e a serem reativadas na Área Estratégica de Gestão BP3-01.

Código	Estação	Coordenadas Geográficas	Rio	Área (km²)	Altitude (m)	Situação
64849000	Novo Três Passos	24° 25' 59" S 54° 04' 00" W	Guaçu	853	254	Desativada
64850000	Santa Rosa	24° 28' 54" S 54° 00' 00" W	Guaçu	500	313	Desativada
-	Marreco	24° 39' 56" S 54° 07' 21" W	Marreco	-	240	Proposta
64875500	S. F. Verdadeiro	24° 44' 34" S 54° 05' 46" W	São F. Verdadeiro	1406	240	Em operação

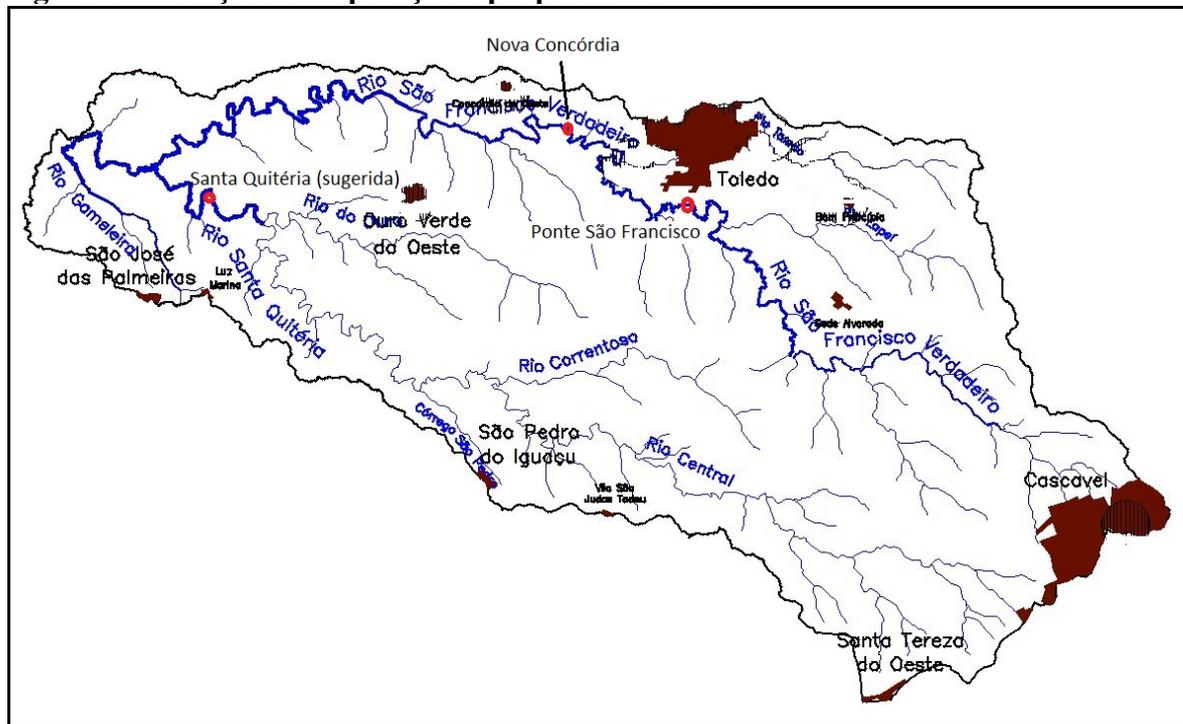
Fonte: ANA (2011).

Tabela 02: Estações a serem reativadas ou instaladas na Área Estratégica de Gestão BP3-02.

Código	Estação	Coordenadas Geográficas	Rio	Área (km ²)	Altitude (m)	Situação
64864000	Nova Concórdia	24° 44' 09" S 53° 50' 43" W	São Francisco Verdadeiro	571	425	Desativada
64863000	Ponte São Francisco	24° 40' 40" S 53° 45' 45" W	São Francisco Verdadeiro	383	454	Desativada
-	Santa Quitéria	24° 46' 32" S 54° 01' 35" W	Santa Quitéria	-	256	Proposta

Fonte: ANA (2011).

Figura 02: Estações em operação e propostas na BP3-2.



Fonte: Bases cartográficas da SUDERHSA (2009) e PARANÁCIDADE (2006).

1.2.2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Disponível em <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 16 out. 2011.
2. BAPTISTA, M.B.; COELHO, M.M.L.P. & CIRILO, J.A. Hidráulica Aplicada. Porto Alegre. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, 609 p. 2001.
3. FERNANDEZ, O. V. Q. (2009) Relações preliminares da geometria hidráulica regional para rios das regiões Oeste e Sudoeste do estado do Paraná. Revista Geographia, 11 (22): 89-103.
4. FERNANDEZ, O.V.Q.; REBELATTO, G.; SANDER, C. (2001) Análise quantitativa de seções transversais em canais fluviais. Revista Brasileira de Geomorfologia, 2: 85- 92.
5. LEOPOLD, L.B. (1994) A view of the river. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts.
6. WILLIAMS, G.P. (1978) Bank-full discharge of rivers. Water Resources Research, 14 (6): 1141-1153.

1.3 PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE UMA REDE PIEZOMÉTRICA

Equipe:

Professores:

Jorge Ademir Medeiros (coord.)

Breno Leitão Waichel

Bolsistas:

Daniel Wagner Rogério

Fernando Jose Lima

Grégori Oldoni Pazinato

Luiz Eduardo Peruzzo de Lima

1.3.1 INVESTIGAÇÕES DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

1.3.1.1 Generalidades

Entre as investigações básicas constitui parte essencial o levantamento das condições em que se encontra a água subterrânea, não só quanto à identificação da posição do nível freático e suas variações, embora indispensável, mas também estudos que possam conduzir à identificação da causa do problema. Para isso é necessário estudar os fatores que promovem a recarga e a descarga do sistema subterrâneo e seu efeito no nível freático, através de um balanço da água subterrânea.

O primeiro passo ao iniciar as investigações é a obtenção de dados preliminares fundamentais que incluem estudos da topografia local mediante mapas topográficos com levantamento planialtimétrico; fotografias aéreas que, além de revelarem detalhes topográficos, garantem a continuidade do estudo quando não há disponibilidade de mapas topográficos; dados hidrológicos quanto às fontes de águas superficiais que possam contribuir à recarga da água subterrânea; informações geológicas da área, quando

disponíveis, permitem através de mapas e cortes transversais identificar camadas permeáveis e impermeáveis, regiões de recarga e descarga e tipos de aquíferos existentes.

1.3.1.2 Observações do nível freático

A primeira caracterização do problema de drenagem é feita mediante observações do nível freático (ou lençol freático) efetuadas através de poços de abastecimento existentes na região, poços de observação especialmente perfurados para esse fim, instalação de piezômetros e observação de canais, cursos d'água, lagos, etc.

1.3.1.3 Poços de abastecimento

Antes de proceder a observações em poços de abastecimento, é preciso identificar suas características de construção.

Basicamente podemos encontrar dois tipos:

1.3.1.3.1 Poços pouco profundos

Poços pouco profundos, escavados a mão, de grande diâmetro e, portanto grande volume de água armazenada. Esses poços raramente penetram muito além do nível freático mais baixo. Suas paredes podem ou não ser revestidas, porém não são impermeabilizadas. Esses poços caseiros são o melhor e mais barato instrumento de observação do lençol porque as observações refletem perfeitamente a posição e oscilações reais do nível freático. O único cuidado a tomar é o tempo de resposta das variações de nível que deve ser suficientemente longo devido à geometria do poço, até atingir o equilíbrio, o que também pode ser afetado pela reduzida condutibilidade hidráulica do solo.

1.3.1.3.2 Poços profundos perfurados mecanicamente

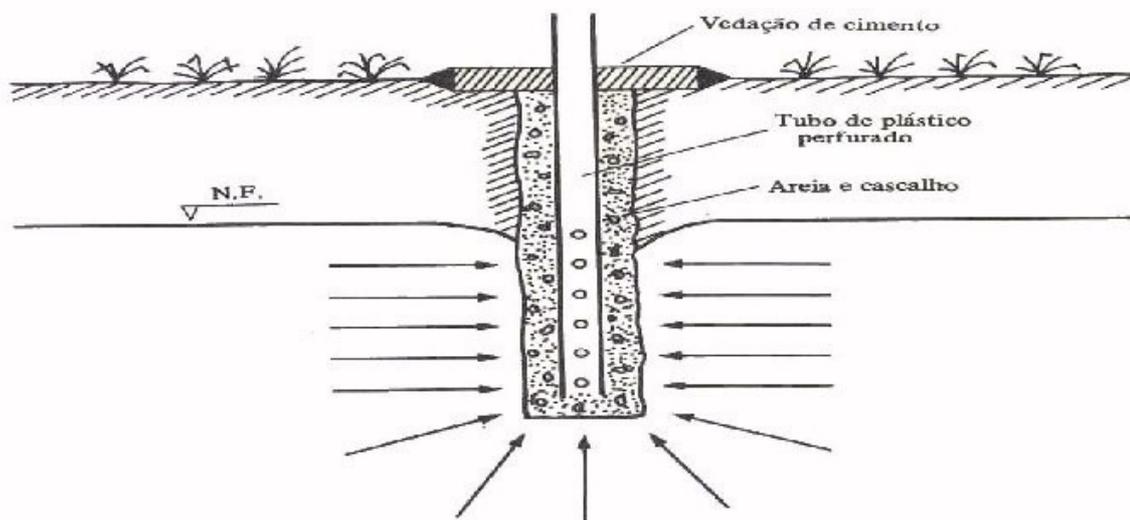
Poços profundos perfurados mecanicamente. Esses poços são sempre mais profundos que os anteriores e com isso é comum a penetração de vários aquíferos separados por camadas impermeáveis. Eles são revestidos com tubos metálicos e possuem um filtro em cada camada permeável que atravessam. O nível de água nesses poços certamente não representa o nível freático de nosso interesse mas apenas uma média em relação aos vários níveis encontrados e será fortemente influenciado pela pressão hidráulica se for atingido um aquífero confinado. Portanto, esses poços não se prestam a esse tipo de investigação a menos que se conheçam perfeitamente suas características de construção e o aquífero atingido seja do tipo não confinado.

1.3.1.4 Poços de observação

São perfurações de pequeno diâmetro, da ordem de 2 a 4 polegadas, feitas especialmente para esse tipo de estudo. Suas paredes em geral não são revestidas ou impermeabilizadas. São facilmente perfuradas a mão com um trado especial e se aprofundam um pouco além do nível freático (da ordem de um metro ou menos).

Entretanto, devido à sua simplicidade podem sofrer obstruções e outros efeitos destrutivos que os inutilizam especialmente se o solo for instável. Assim convém tomar certos cuidados a fim de preservar a sua funcionalidade por um tempo prolongado. A figura 4 mostra o esquema de um poço de observação com certos cuidados recomendáveis.

Figura 04: Esquema de um poço e observação.



Convém notar ainda que vários poços serão necessários em toda a área em estudo e portanto recomenda-se que sejam instalados em locais de fácil acesso em qualquer tempo e sua posição deve ser imediatamente identificada a fim de não prejudicar a coleta sistemática de dados.

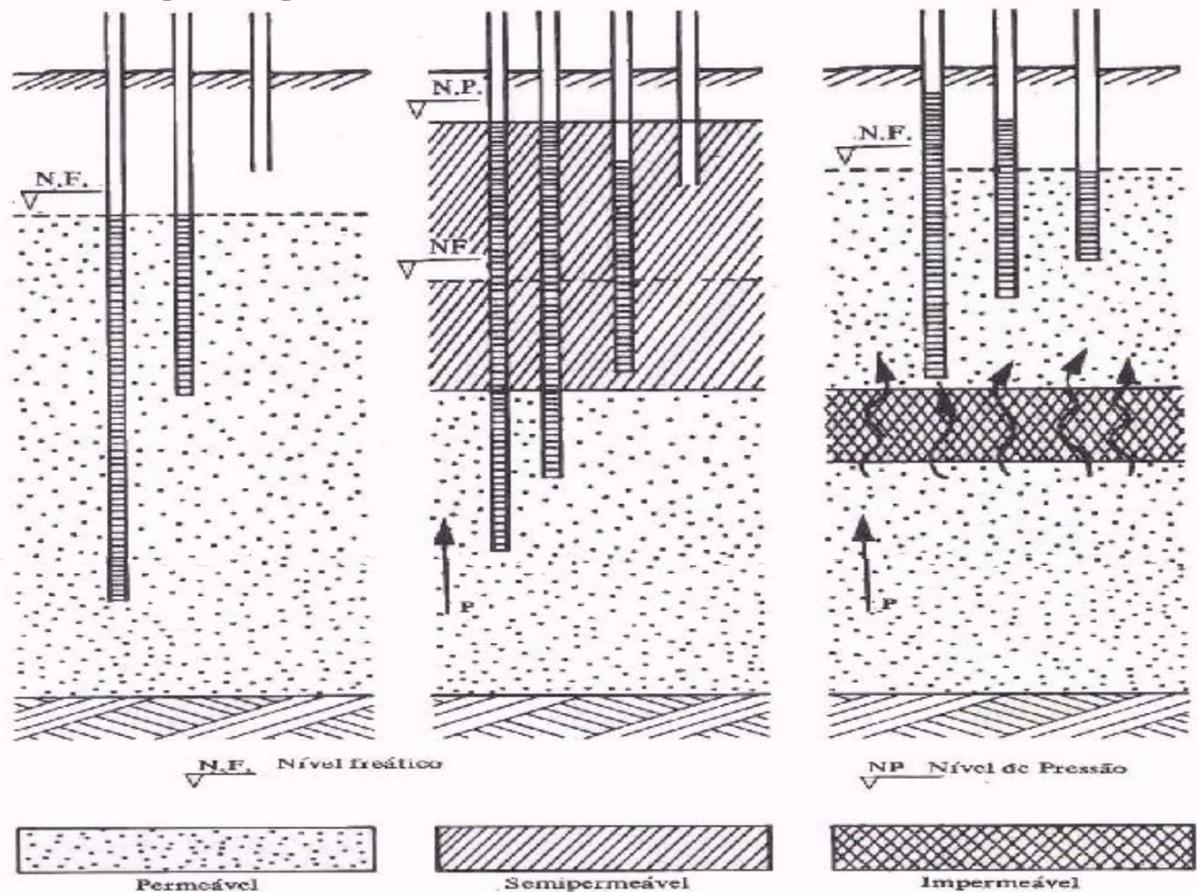
1.3.1.5 Piezômetros

São tubos, usualmente de 1 a 2 polegadas, abertos apenas nas extremidades, introduzidos no solo até a profundidade na qual se deseja medir a carga ou pressão hidráulica.

O nível de água se eleva no tubo até corresponder à carga hidráulica existente na sua extremidade inferior.

Quando o aquífero explorado é não confinado (freático) e homogêneo, as componentes verticais do fluxo de água subterrânea são geralmente inexistentes ou de grandeza muito pequena de modo que podem ser desprezadas. Assim a qualquer profundidade desse aquífero a carga ou pressão hidráulica corresponde à altura freática ou altura do lençol e portanto, para medir a sua posição, é indiferente quanto o piezômetro penetra no aquífero como mostra a figura 5.

Figura 05: Cargas hidráulicas em piezômetros instalados a diferentes profundidades e em vários tipos de aquíferos.



Quando o perfil não é homogêneo mas contém camadas permeáveis e semipermeáveis, é preciso tomar cuidado na interpretação da leitura do piezômetro. Na verdade, não se dá preferência ao uso de piezômetros para medida pura e simples do nível freático, sendo preferível o uso de poços de observação. Os piezômetros são úteis e insubstituíveis justamente para detectar a presença de componentes verticais do fluxo subterrâneo, especialmente fluxos ascendentes originados por pressão artésiana, que promovem a elevação e sustentação do lençol freático. Esse tipo de problema é dos mais sérios e de mais difícil solução devido à dificuldade em controlar a pressão artésiana. Na

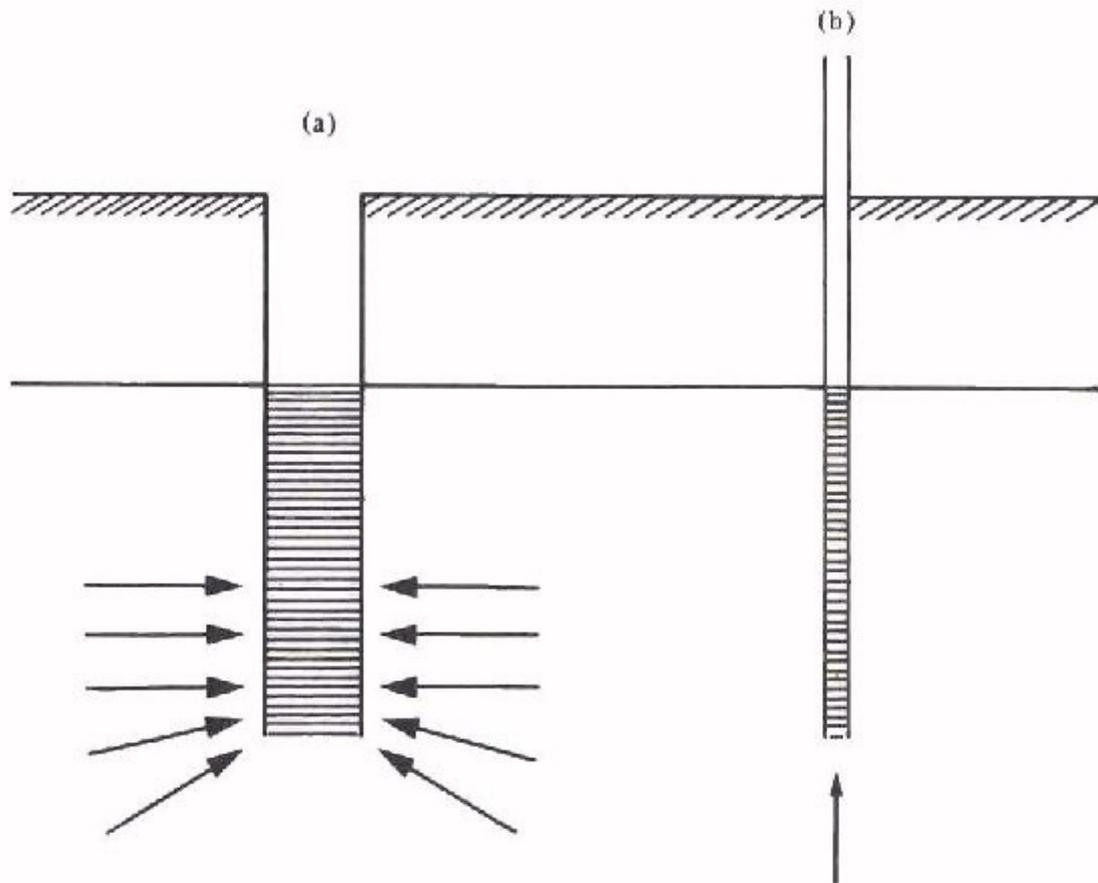
verdade só é possível mediante a perfuração de poços de alívio que penetrem o aquífero artesiano, o que torna quase sempre a solução antieconômica.

Se o aquífero é semiconfinado, isto é, a camada permeável é superposta por uma camada semipermeável, o nível de água em piezômetros situados nessas camadas será diferente como mostra a figura 5. O fluxo nesse aquífero também é predominantemente horizontal. Os dois piezômetros que atingem a camada permeável, novamente indicam o mesmo nível embora estejam a profundidades diferentes, porém não convém que suas extremidades se aproximem muito das camadas confinantes (superior e inferior) onde pode haver vazamentos sob pressão. Por sua vez, os piezômetros que se situam dentro da camada superior semipermeável apresentam um nível que depende da sua penetração na camada porque nela o fluxo é predominantemente vertical. Em função da profundidade do piezômetro, o nível de água é afetado pela perda de carga. Convém notar que, se a carga hidráulica no aquífero semiconfinado é maior ou menor que a carga hidráulica do lençol freático na camada semipermeável, isso indica um fluxo ascendente ou descendente através daquela camada entrando no aquífero ou saindo do mesmo.

Se o aquífero é confinado entre duas camadas impermeáveis (aquífero artesiano), a água está sob pressão hidráulica elevada. Qualquer fissura existente na camada superior promoverá um vazamento originando um fluxo vertical ascendente de efeito significativo, dependendo das condições. Esse fluxo poderá provocar a elevação e sustentação do nível freático de um aquífero não confinado existente nas camadas mais elevadas. Um sistema de drenagem convencional pode ser ineficiente no controle desse lençol a menos que se perfurem poços de alívio, o que pode ser difícil e antieconômico. Essa pressão artesianas só pode ser detectada mediante uma bateria de piezômetros dispostos próximos entre si e a diferentes profundidades como mostra a figura 5. Nesse caso o piezômetro mais profundo que atinge o aquífero ou a camada confinante superior indicará uma carga hidráulica maior que as demais.

Em vista dessas considerações, a menos que sejam tomados cuidados especiais na interpretação das respostas, o uso de piezômetros para indicar a posição do nível freático é desaconselhável. No caso de pressão artesianas, entretanto, só eles podem dar uma informação segura de sua existência.

Figura 06: Comparação do funcionamento entre um poço de observação (a) e um piezômetro (b).



1.3.1.6 Águas superficiais

Os níveis de água de superfície em contato com a água subterrânea não podem ser esquecidos nesse tipo de levantamento. A água de um curso natural é alimentada basicamente pelo lençol freático. Quando isso ocorre continuamente, o curso é perene ou efluente. Quando o nível freático é rebaixado durante certo tempo, o curso passa a ser intermitente ou afluyente. A verificação do nível de um curso d'água ou lago que estejam em contato com o lençol freático é de grande utilidade.

1.3.1.7 Registro e processamento dos dados

O registro sistemático dos dados é programado para definir a posição do nível freático, suas oscilações e a posição do nível de pressão. Este é também designado como nível potenciométrico, segundo De RIDDER (1974), em substituição aos termos "*carga piezométrica*" ou "*nível piezométrico*" que não são recomendados nesses estudos. Na

verdade, como já vimos, é preciso tomar cuidado na interpretação do nível indicado num piezômetro instalado no solo. Mediante esses dados, é possível ainda traçar a configuração do lençol freático, seu gradiente hidráulico ou declividade, sua direção de escoamento e, portanto, as regiões de recarga e descarga da água subterrânea. A densidade de pontos de observação deve ser tal que permita um levantamento adequado com um máximo de informações sem trabalho ou custos excessivos. Percebe-se que muitas vezes é difícil harmonizar esses requisitos. Não há para isso uma regra determinada, prevalecendo apenas o bom senso. Não deve ser esquecido por isso que esses pontos devem ter um fácil acesso em qualquer tempo e sua posição bem identificável.

De RIDDER (1974) recomenda a seguinte densidade de pontos de observação em função da área, lembrando que a precisão obtida é inversamente proporcional à área.

Para uma completa avaliação das condições do lençol frequentemente é aconselhável estender as observações além dos limites da área em questão, a fim de identificar melhor as regiões de entrada e saída do fluxo subterrâneo.

As leituras dos níveis de água nos poços de observação devem ser frequentes, se possível, quinzenalmente e prolongadas por um período mínimo de um ano, esperando que este período não seja atípico. Os níveis são marcados em relação a um ponto de referência prefixado, usualmente na superfície do solo e que garanta a repetibilidade das leituras. Esses valores são depois relacionados com o levantamento planialtimétrico da área.

O procedimento de leitura pode ser feito mediante um dos métodos mais recomendados, esquematizados na figura 7. O mais simples é através da observação do umedecimento de uma fita métrica.

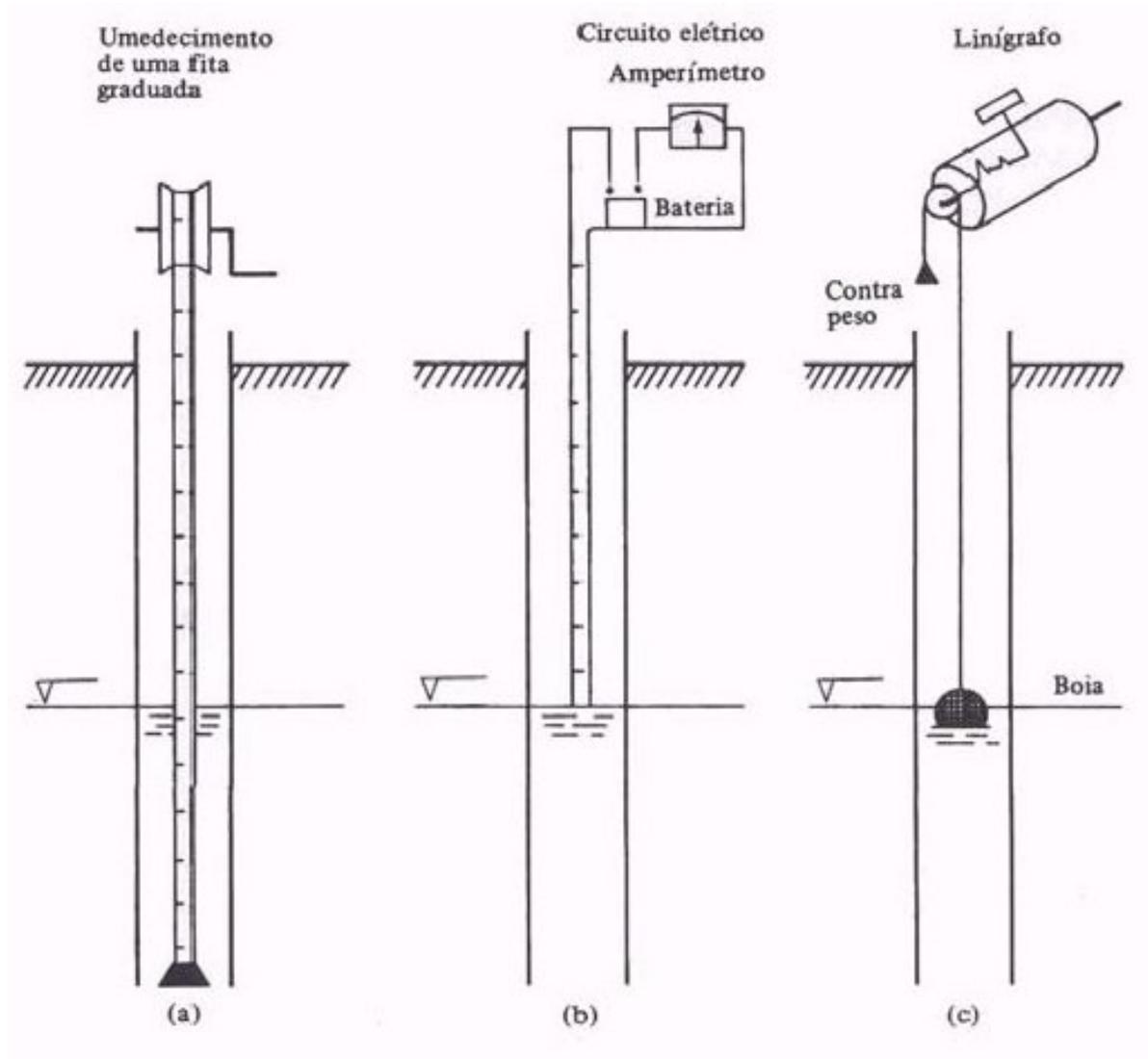
O segundo processo indicado é dos mais exatos e consiste na observação do fechamento de um circuito elétrico provido de urna bateria, quando a extremidade do fio condutor duplo toca o nível de água.

Finalmente, o mais vantajoso pelo registro contínuo do nível e suas oscilações é o uso de um **linógrafo**.

O passo seguinte é o processamento dos dados observados, registrando-se num mapa topográfico onde, para um determinado período, é traçada a configuração da superfície freática. Esse mapa do contorno do lençol pode representar urna data específica ou a média de urna série de observações de um período. Esse mapa tem muita analogia com um mapa topográfico onde pelos pontos levantados são traçadas as curvas de nível do terreno. No mapa do lençol são traçadas as isóbatas ou linhas de mesma profundidade do lençol.

Aqui também, como em topografia, se deve usar um critério cuidadoso ao traçar as linhas mediante uma interpolação gráfica inevitável, levando em consideração os acidentes topográficos da superfície do solo como lagos, cursos de água e depressões ou falhas geológicas que alteram o traçado das linhas.

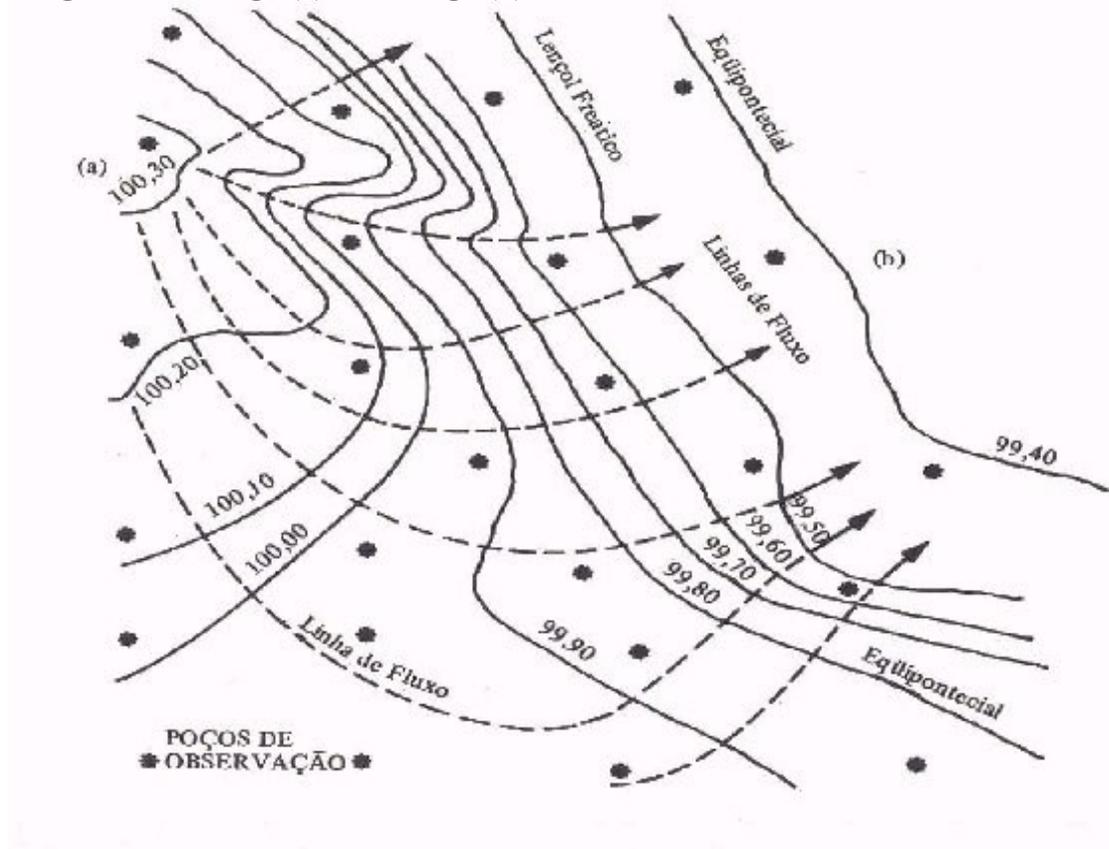
Figura 07: Métodos de medida de profundidade do nível freático.



Finalmente, concluídos os mapas do lençol freático para diversos períodos, é possível fazer uma avaliação da situação através de sua interpretação, permitindo extrapolar algumas informações de grande interesse. As mais importantes, deduzidas de um mapa do lençol, se referem à direção do fluxo subterrâneo, ao gradiente hidráulico, as identificações de regiões de recarga ou elevações do lençol, depressões do lençol, caracterização de um curso d'água efluente ou afluyente. Assim, no mapa é possível identificar as linhas equipotenciais que são as próprias linhas de contorno do lençol. Desta forma a direção do

fluxo subterrâneo pode ser identificada como sendo perpendicular às equipotenciais, pelo menos aproximadamente como mostra a figura 8. O gradiente hidráulico $i = dh/ds$ é indispensável através da fórmula de Darcy para quantificar o fluxo através de uma certa secção do solo. Pelas hipóteses de Dupuit -Forchheimer, o gradiente (i) equivale à declividade do lençol. O gradiente (i) é facilmente deduzido conhecendo-se a distância e o desnível entre as linhas de contorno, numa certa direção.

Figura 08: Mapa do lençol freático indicando as linhas eqüipotenciais, linhas de fluxo e regiões de recarga (a) e descarga (b).

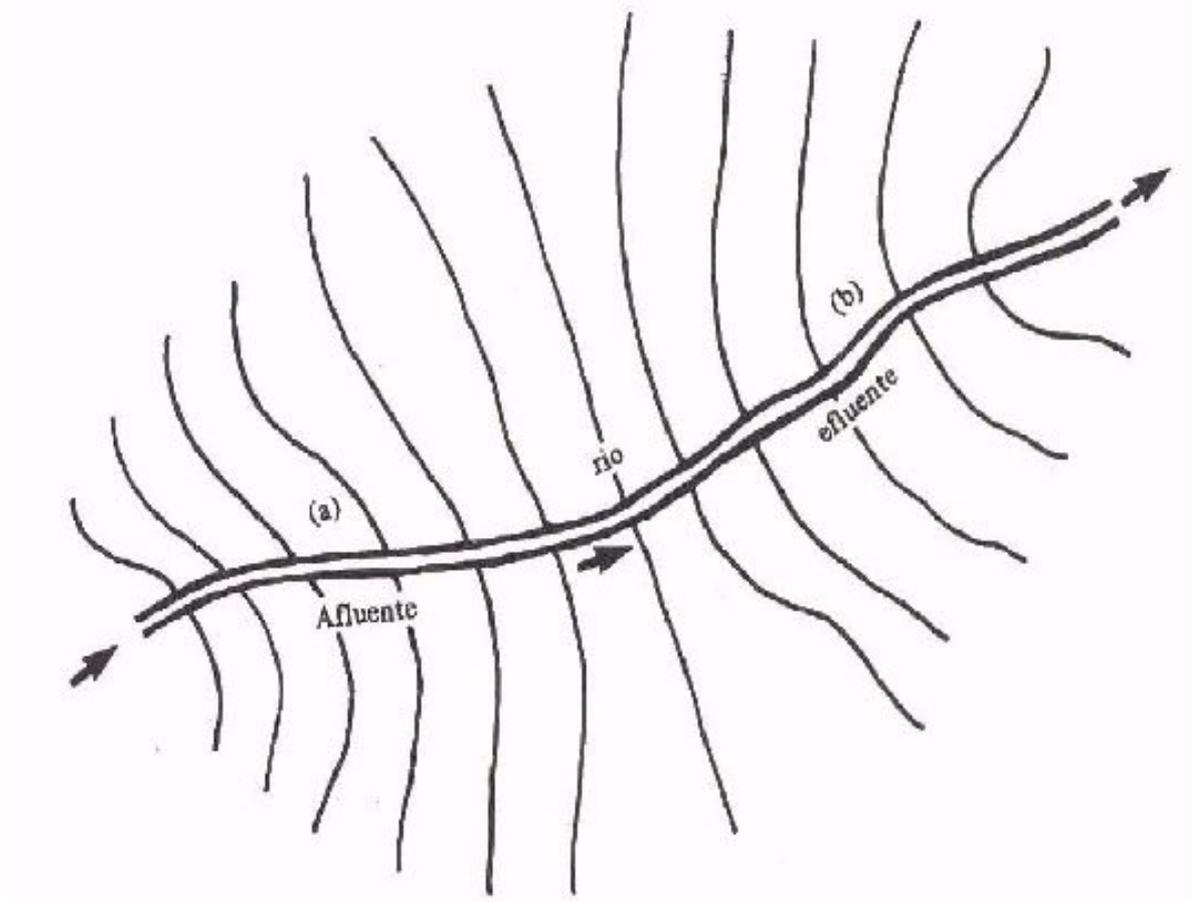


As regiões de recarga podem ser identificadas pelas proveniências das linhas de fluxo a partir de uma determinada região nos limites da área em estudo. Podem também ser identificadas como regiões localizadas dentro da própria área analogamente ao que ocorre em topografia quando se identifica uma elevação do terreno pelas curvas de nível concêntricas. Para o lençol isso é identificado pelas linhas de profundidade ou pelos níveis de pressão, como mostra a figura 9. As linhas de fluxo divergem a partir dessas regiões de recarga ou de elevação do nível de pressão.

Nesses casos há indicação de uma recarga vertical ascendente a partir de camadas de solo mais profundas. É o caso evidente da existência de pressão artesianas. Essa elevação do

lençol pode ser ainda causada pela recarga local devida à precipitação ou irrigação. Por essas informações deduz-se qual a fonte, por exclusão. Regiões de depressão do lençol freático, por sua vez, indicam uma fonte de recarga da água subterrânea em direção às camadas mais profundas do solo ou uma região de descarga para nosso estudo. As linhas de fluxo convergem para as linhas de contorno concêntricas ou níveis de pressão se for o caso. Esse fenômeno pode ser devido a falhas geológicas.

Figura 09: Mapa do lençol indicando regiões de recarga (a) e descarga (b) e característi de um curso-d'água afluente e efluente.

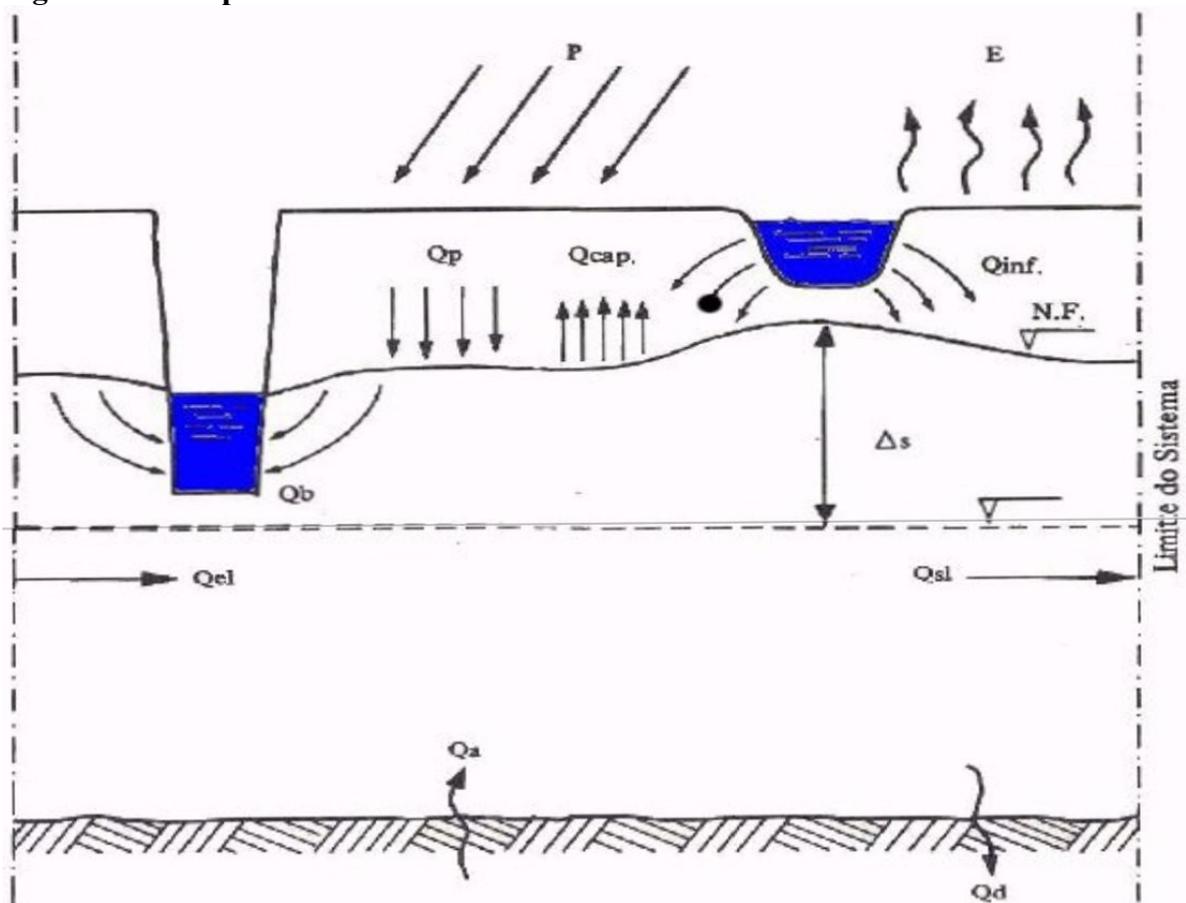


Finalmente se pode verificar por esses mapas se um curso d'água é do tipo afluente, isto é, contribui para recarga do lençol ou se é efluente, isto é, alimentado pelo lençol freático. Se as linhas de contorno do lençol, ao atingir em o curso d'água, se curvam em direção ao escoamento (para jusante) indicam que o rio é afluente ou perde água para o lençol. Se as linhas se curvam em direção contra a corrente (para montante), o rio é efluente ou é alimentado pela descarga subterrânea, como mostra a figura 9.

1.3.1.8 Balanço da água subterrânea

As investigações da água subterrânea se destinam a descobrir um meio de alterar o fluxo subterrâneo a fim de impedir ou dificultar a elevação excessiva do nível freático até a zona radicular. A decisão sobre o método a utilizar e sua aplicação dependem do conhecimento do fenômeno da recarga e descarga, o que se consegue de modo completo através de um balanço hídrico local. De maneira sucinta o balanço da água subterrânea apresenta os aspectos que se seguem. O fluxo subterrâneo compreende vários componentes que podem ser agrupados como fluxos de entrada ou de recarga e fluxos de saída ou descarga.

Figura 10: Componentes do Fluxo Subterrâneo.



A recarga do lençol compreende:

- percolação (Q_p) proveniente da precipitação e irrigação através da zona insaturada do solo (zona de transmissão);
- infiltração (Q_{inf}) proveniente de canais e cursos d'água naturais, cujo nível é superior ao nível freático;
- fluxo ascendente (Q_a) proveniente das camadas inferiores do aquífero devido a uma pressão artesiânica;

- d) fluxo de entrada lateral (Q_{el}) proveniente de uma área adjacente onde o nível freático é mais elevado do que na área em questão.

1.3.2 PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE UMA REDE PIEZOMÉTRICA

1.3.2.1 Piezômetros

Um piezômetro é um furo de observação em aquíferos. Trata-se de furos que servem para monitoração de níveis da água nos aquíferos.

No caso de ensaios de caudal, permitem identificar a forma, extensão e anisotropia do cone de rebaixamento que se forma em redor da captação ou furo em extração, sendo essenciais para uma correta avaliação do coeficiente de armazenamento.

O termo coeficiente de armazenamento corresponde a um dos parâmetros hidrodinâmicos mais importantes que caracterizam um aquífero. Trata-se de um valor adimensional que representa a percentagem de água gravítica que existe num determinado volume do conjunto água + rocha. Por exemplo, quando se afirma que um aquífero tem um coeficiente de armazenamento de 20%, significa que, em cada metro cúbico do aquífero (conjunto água + rocha), existem 200 litros de água gravítica, ou seja, água que, por gravidade, poderá ser retirada desse volume de aquífero. A água capilar, a pelicular ou a água de constituição, que não são retiradas por gravidade, ficando retidas na malha da rocha, não entram na contabilidade deste coeficiente. O cálculo do coeficiente de armazenamento é geralmente efetuado através da interpretação dos resultados da execução de ensaios de caudal, onde obrigatoriamente terão de existir piezômetros de observação para que se obtenham resultados credíveis.

O termo ensaios de caudal identifica os ensaios realizados em aquíferos que têm em vista o cálculo dos parâmetros hidrodinâmicos dos mesmos. Um ensaio de caudal pode ser efetuado de diversas formas, mas o mais comum é realizado através da introdução de uma bomba submersível num furo ou captação, a qual, em funcionamento, vai retirar água da mesma. Mede-se então o rebaixamento da água dentro da captação em função do tempo decorrido desde o início do ensaio. Aquíferos com características diferentes irão responder de modo diverso e a interpretação do comportamento da curva rebaixamento-tempo permite então calcular os parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos, o coeficiente de permeabilidade, a transmissividade e o coeficiente de armazenamento. Os ensaios de caudal, para serem completamente eficazes, deveriam ser efetuados com recurso a

piezômetros de observação, o único modo efetivo de calcular com algum rigor o coeficiente de armazenamento por este processo.

1.3.2.2 Proposta de Implantação de uma Rede Piezométrica na BP3

Considerando os aquíferos presentes na bacia, propõem-se a implantação de uma rede de 9 piezômetros, oito dentro da bacia do Paraná 3 e um logo ao lado da cidade de Terra Roxa. Este último já está localizado na bacia do Piquiri, mas sendo os limites dos aquíferos subterrâneos diferentes dos limites das bacias superficiais, a localização escolhida é a mais adequada para complementar o monitoramento dos aquíferos da BP3-01.

Na área estratégica de gestão BP3-1, propõem-se a instalação de 3 piezômetros, nas coordenadas contantes da tabela 4 e na localização mostrada na figura 11.

Tabela 04: Estações Piezométricas propostas para a Área Estratégica de Gestão BP3-01.

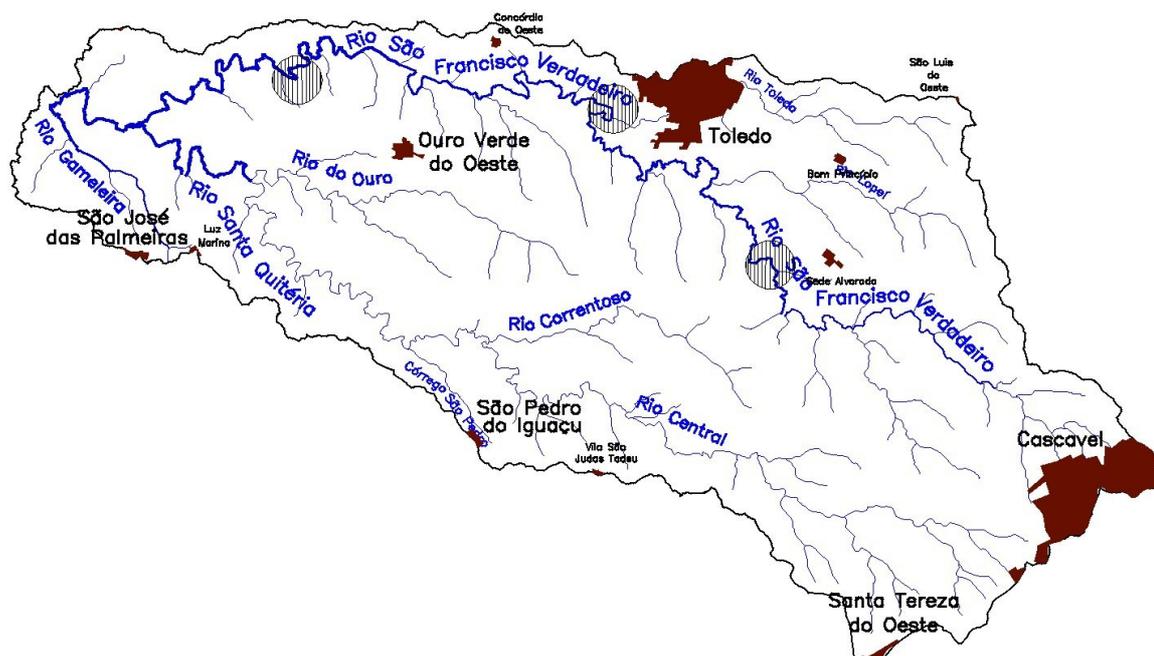
Bacia	Área Estratégica de Gestão	Ponto	Latitude	Longitude
Paraná 3	BP3-1	1	24° 07' 06,62" S	54° 08' 52,92" W
Paraná 3	BP3-1	2	24° 26' 15,36" S	53° 55' 48,42" W
Paraná 3	BP3-1	3	24° 34' 01,41" S	53° 54' 51,33" W
	Total	3		

Na área estratégica de gestão BP3-2, também propõem-se a instalação de 3 piezômetros, nas coordenadas contantes da tabela 5 e na localização mostrada na figura 12.

Tabela 05: Estações Piezométricas propostas para a Área Estratégica de Gestão BP3-02.

Bacia	Área Estratégica de Gestão	Ponto	Latitude	Longitude
Paraná 3	BP3-2	1	24° 44' 03,57" S	53° 57' 58,10" W
Paraná 3	BP3-2	2	24° 45' 02,94" S	53° 46' 29,34" W
Paraná 3	BP3-2	3	24° 50' 14,76" S	53° 40' 32,82" W
	Total	3		

Figura 12: Estações Piezométricas propostas para a Área Estratégica de Gestão BP3-02.



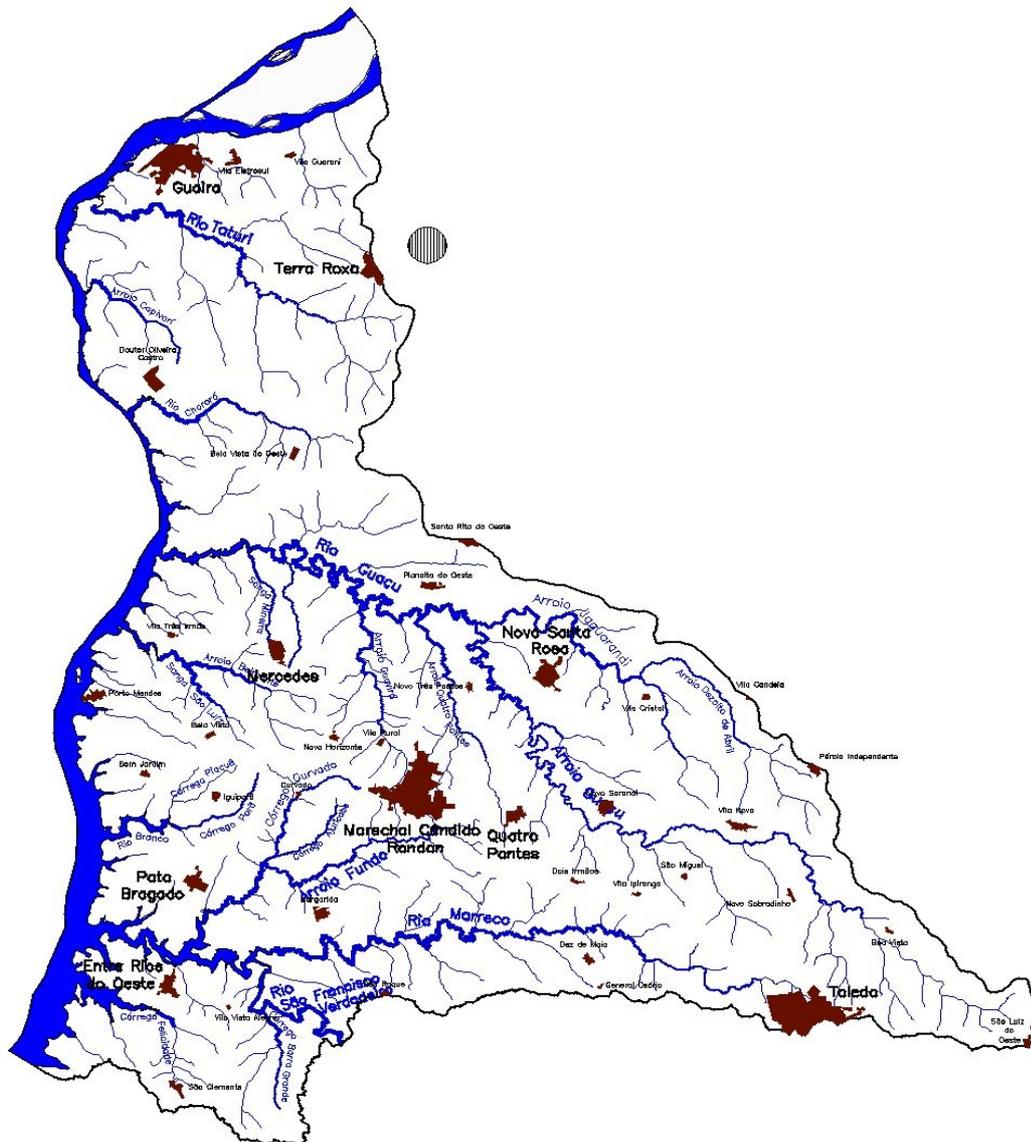
Fonte: Bases cartográficas da SUDERHSA (2009) e PARANÁCIDADE (2006).

E para complementar a rede, propõem-se a instalação de 1 piezômetro na bacia do Piquiri, ao lado da área estratégica de gestão BP3-1, e bem próximo a cidade de Terra Roxa, nas coordenadas contantes da tabela 7 e na localização mostrada na figura 14.

Tabela 07: Estação Piezométrica proposta para a Bacia do Piquiri, ao lado da Área Estratégica de Gestão BP3-01.

Bacia	Área Estratégica de Gestão	Ponto	Latitude	Longitude
Piquiri	Ao lado da BP3-1	1	24° 08' 21,80" S	-54° 02' 55,53" W
Total		1		

Figura 14: Estação Piezométrica proposta para a Bacia do Piquiri, ao lado da Área Estratégica de Gestão BP3-01.



Fonte: Bases cartográficas da SUDERHSA (2009) e PARANÁCIDADE (2006).

1.3.3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ATHAYDE, G. B. Análise Estrutural e Hidroquímica do Aquífero Serra Geral na Bacia Hidrográfica do Paraná 3. Curitiba, 2008. Tese de Mestrado. Universidade federal do Paraná. 128 p.
2. ATHAYDE, G. B.; MÜLLER, C. de V.; ROSA FILHO, E.F.da; HINDI, E. C.. Estudo sobre o tipo das águas do aquífero Serra Geral no município de Marechal Cândido Rondon-PR. *Águas Subterrâneas (São Paulo)*, v. 21, p. 111-122, 2007.
3. BOSCARDIN BORGHETTI, N.R.; BORGHETTI, J.R.; ROSA FILHO, E.F. da. Aquífero Guarani, A verdadeira Integração dos Países do Mercosul. Curitiba, 2004.
4. CPRM (Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil). *Perspectivas do meio ambiente para o Brasil: uso do subsolo*, 2002. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br>. Acesso em: 21 jul. 2003.
5. HEINEN, R.; BRINCKMANN, W. E.; BRINCKMANN, C.A. Aquífero Guarani. *Boletim Informativo*, v4, n.2, fev. 2001. Santa Cruz do Sul: Núcleo de Pesquisa e Extensão em Gerenciamento de Recursos Hídricos da Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC. Disponível em: http://www.unisc.br/centros_nucleos/nrh/nrh.htm. Acesso em: 21. jul.2003.
6. MMA (Ministério do Meio Ambiente). *Plano Nacional de Recursos Hídricos. Documentos base de referência – minuta. Revisão. Secretaria Nacional dos Recursos Hídricos e Agência Nacional das Águas. Brasília, DF, 2003.* Disponível em http://www.ana.gov.br/pnrh/DOCUMENTOS/5Textos/20Plano%20Nacional4_04_03.pdf.
7. PIMENTEL, R. Reserva de água no planeta. *Bahia Análise & Dados*, v. 9 n. 3, p. 118-122. Salvador: Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia,1999. Disponível em: http://www.sei.ba.gov.br/publicacoes/bahia_analise_dados/pdf/retros_1999/pag_133.pdf. Acesso em: 31 ago. 2003.
8. SILVA, A. L. M. S. águas Subterrâneas: critérios em seu uso. Fórum Internacional das Águas, 2003. Disponível em: http://www.foruminternacionaldasaguas.com.br/artigos.asp?cod_pub=9.
9. SMA (Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Estado de São Paulo). *Qualidade das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Guarani monitoradas pela CETESB no*

Estado de São Paulo, 2003. Disponível em:
<http://www.ambiente.sp.gov.br/aquifero/caract_hidrogeoq.doc.

10. SOARES, A. P. ; SOARES, P. C. ; BETTU, D. F. ; HOLZ, M. . Variabilidade Espacial no Sistema Aquífero Guarani: controles estruturais e estratigráficos. águas subterrâneas (São Paulo) , v. 21, p. 51-64, 2007.
11. WHITE, I.C. (1906) Relatório Final da Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil. Rio de Janeiro: DNPM, 1988. Parte I; Parte II, p. 301-617.