



PLANO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARANÁ 3

DIAGNÓSTICO DAS DISPONIBILIDADES HÍDRICAS SUBTERRÂNEAS

(Produto 3.2)

CASCAVEL / 2014

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

PLANO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARANÁ 3

**DIAGNÓSTICO DAS DISPONIBILIDADES HÍDRICAS
SUBTERRÂNEAS**

(Produto 3.2)

(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 DIAGNÓSTICO DAS DISPONIBILIDADES HÍDRICAS SUBTERRÂNEAS.....	4
1.2.1 CARACTERÍSTICA FÍSICAS DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA.....	4
1.2.1.1 Área de Drenagem.....	5
1.2.1.2 Forma da Bacia.....	5
1.2.1.2.1 Coeficiente de Compacidade.....	5
1.2.1.2.2 Fator de Forma.....	5
1.2.1.3 Sistema de Drenagem.....	6
1.2.1.3.1 Ordem dos Cursos de Água.....	6
1.2.1.3.2 Densidade de drenagem.....	6
1.2.1.3.3 Extensão Média do Escoamento Superficial.....	7
1.2.1.3.4 Sinuosidade do Curso d'Água.....	7
1.2.1.4 Características do Relevo de Uma Bacia.....	7
1.2.1.4.1 Declividade da Bacia.....	8
1.2.1.4.2 Curva Hipsométrica.....	8
1.2.1.4.3 Elevação Média da Bacia.....	9
1.2.1.4.4 Declividade de Álveo.....	10
1.2.1.4.5 Bacia Representativa e Experimental.....	10
1.2.2 CONJUNTURA HIDROGEOLÓGICA.....	10
1.2.2.1 Origem e Ocorrência da Água Subterrânea.....	11
1.2.2.1.1 Tipos de aquíferos.....	13
1.2.2.1.2 Tipos de Aquíferos Relacionados com as Rochas Armazenadoras.....	13
1.2.2.2 Desenvolvimento da Água Subterrânea no Estado do Paraná.....	14
1.2.3 DIAGNÓSTICO DAS DISPONIBILIDADES HÍDRICAS SUBTERRÂNEAS.....	15
1.2.3.1 Subterrâneas.....	15
1.2.3.2 Disponibilidade Hídrica dos Aquíferos Paranaenses.....	16
1.2.3.3 Unidades Aquíferas Serra Geral.....	17
1.2.4 ÁREAS DE RECARGA E DESCARGA.....	19
1.2.5 VOLUMES ATUALMENTE EXPLOTADOS.....	22
1.2.6 QUALIDADE DAS ÁGUAS DAS UNIDADES AQUÍFERAS PARANAENSES.....	22
1.2.6.1.1 Bicarbonato e Carbonato (HCO ₃ ⁻ ; CO ₃ ²⁻).....	23
1.2.6.1.2 Cálcio (Ca ²⁺).....	24
1.2.6.1.3 Cloreto (Cl ⁻).....	24
1.2.6.1.4 Dureza.....	24
1.2.6.1.5 Ferro (Fe ²⁺ ; Fe ³⁺).....	24
1.2.6.1.6 Fluoreto (F ⁻).....	24
1.2.6.1.7 Fosfato (PO ₄ ³⁻).....	24
1.2.6.1.8 Magnésio (Mg ²⁺).....	25
1.2.6.1.9 Nitrato e Nitrito (NO ₃ ⁻ ; NO ₂ ⁻).....	25
1.2.6.1.10 Potássio (K ⁺).....	25
1.2.6.1.11 Sílica (SiO ₂).....	25
1.2.6.1.12 Sódio (Na ⁺).....	25

1.2.6.1.13 Sulfato (SO ₂ -4).....	25
1.2.6.1.14 Sólidos Totais Dissolvidos (STD).....	26
1.2.6.2 Serra Geral Norte.....	26
1.2.6.3 Qualidade da Água para o Consumo Humano.....	26
1.2.6.4 Qualidade da Água para Irrigação.....	27
1.2.6.5 Qualidade da Água Subterrânea para Uso Industrial.....	27
1.2.6.6 Aptidão das Águas da Unidade Aquífera Serra Geral Norte e Sul.....	28
1.2.6.7 Poços Outorgados pela Suderhsa.....	28
1.2.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Conservação da Água Subterrânea.....	12
Figura 02: Áreas de recarga.....	20
Figura 03: Áreas de descarga.....	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Curva Hipsométrica.....	9
Tabela 02: Poços outorgados pela SUDHERSA.....	28

APRESENTAÇÃO

O presente relatório, denominado *Diagnóstico das Disponibilidades Hídricas Subterrâneas (Produto 3.2)*, 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) Características Físicas de Uma Bacia Hidrográfica;
- (2) Conjuntura Hidrogeológica;
- (3) Diagnóstico das Disponibilidades Hídricas Subterrâneas;
- (4) Áreas de Recarga e Descarga;
- (5) Volumes Atualmente Explotados;
- (6) Qualidade das Águas das Unidades Aquíferas Paranaenses.

DIAGNÓSTICO DAS DISPONIBILIDADES HÍDRICAS SUBTERRÂNEAS

(Produto 3.2)

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 subterrâneas são um importante recurso para atender as demandas dos diferentes usos da água. Neste relatório são analisadas as disponibilidades hídricas subterrâneas, particularmente no que se refere às características físicas de uma bacia hidrográfica, conjuntura hidrogeológica, diagnóstico das disponibilidades hídricas subterrâneas, áreas de recarga e descarga, volumes atualmente explorados e qualidade das águas das unidades aquíferas paranaenses.

1.2 DIAGNÓSTICO DAS DISPONIBILIDADES HÍDRICAS SUBTERRÂNEAS

Equipe:

Professores:

Jorge Ademir Medeiros (coord.)

Breno Leitão Waichel

Bolsistas:

Daniel Wagner Rogério

Fernando Jose Lima

Grégori Oldoni Pazinato

Luiz Eduardo Peruzzo de Lima

1.2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA

As características físicas de uma bacia são elementos de grande importância em seu comportamento hidrológico. De fato, existe uma estreita correspondência entre o regime hidrológico e estes elementos, sendo portanto de grande utilidade prática o conhecimento destes elementos, pois, ao estabelecerem-se relações e comparações entre eles e dados hidrológicos conhecidos, pode-se determinar indiretamente os valores hidrológicos em seções ou locais de interesse nos quais faltem dados ou em regiões onde, por causa de fatores de ordem física ou econômica, não seja possível a instalação de estações hidrométricas.

Pode-se dizer que estes elementos físicos constituem a mais conveniente possibilidade de se conhecer a variação no espaço dos elementos do regime hidrológico.

As principais características físicas de uma Bacia Hidrográfica são discutidas a seguir:

1.2.1.1 Área de Drenagem

A área de drenagem de uma bacia é a área plana (projeção horizontal) inclusa entre seus divisores topográficos. A área de uma bacia é o elemento básico para o cálculo das outras características físicas.

A área é normalmente determinada por planimetria em mapas com escalas razoavelmente grandes (1:50000) e expressa em km² ou hectares.

1.2.1.2 Forma da Bacia

A forma superficial de uma bacia hidrográfica é importante devido ao tempo de concentração, definido como o tempo, a partir do início da precipitação, necessário para que toda a bacia contribua na seção em estudo ou, em outras palavras, tempo que leva a água dos limites da bacia para chegar à saída da mesma.

Em geral as bacias hidrográficas dos grandes rios apresentam a forma de uma pera ou de um leque, mas as pequenas bacias variam muito no formato, dependendo da estrutura geológica do terreno.

Existem vários índices utilizados para determinar a forma das bacias, procurando relacioná-las com formas geométricas conhecidas; assim o coeficiente de compacidade a relaciona com um círculo e o fator de forma com um retângulo.

1.2.1.2.1 Coeficiente de Compacidade

Coeficiente de compacidade ou índice de Gravelius — K_c — é a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia.

Substituindo (1) em (2), tem-se:

$$K_c = 0,28$$

onde P e A são respectivamente perímetro em km e área de bacia em km². Este coeficiente é um número adimensional que varia com a forma da bacia, independentemente de seu tamanho; quanto mais irregular for a bacia, tanto maior será o coeficiente de compacidade. Um coeficiente mínimo igual à unidade corresponderia a uma bacia circular. Se os outros fatores forem iguais, a tendência para maiores enchentes é tanto mais acentuada quanto mais próximo da unidade for o valor desse coeficiente.

1.2.1.2.2 Fator de Forma

Fator de forma — K_f — é a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia. Mede-se o comprimento da bacia (L) quando se segue o curso d'água mais longo

desde a desembocadura até a cabeceira mais distante na bacia. A largura média (L) é obtida quando se divide a área pelo comprimento da bacia.

O fator de forma constitui outro índice indicativo da maior ou menor tendência para enchentes de uma bacia. Uma bacia com um fator de forma baixo é menos sujeita a enchentes que outra de mesmo tamanho porém com maior fator de forma. Isso se deve ao fato de que numa bacia estreita e longa, com fator de forma baixo, há menos possibilidade de ocorrência de chuvas intensas cobrindo simultaneamente toda sua extensão; e também, numa tal bacia, a contribuição dos tributários atinge o curso d'água principal em vários pontos ao longo do mesmo, afastando-se, portanto, da condição ideal da bacia circular discutida no item anterior, na qual a concentração de todo o deflúvio da bacia se dá num só ponto.

1.2.1.3 Sistema de Drenagem

O sistema de drenagem de uma bacia é constituído pelo rio principal e seus tributários; o estudo das ramificações e do desenvolvimento do sistema é importante, pois ele indica a maior ou a menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica.

1.2.1.3.1 Ordem dos Cursos de Água

A ordem dos rios é uma classificação que reflete o grau de ramificação ou bifurcação dentro de uma bacia. Utilizando um mapa da bacia bem detalhado no qual fossem incluídos todos os canais — quer sejam perenes, intermitentes ou efêmeros, os rios são classificados da forma como é apresentada na figura abaixo.

São consideradas de primeira ordem as correntes formadoras, ou seja, os pequenos canais que não tenham tributários; quando dois canais de primeira ordem se unem é formado um segmento de segunda ordem; a junção de dois rios de segunda ordem dá lugar à formação de um rio de terceira ordem e, assim, sucessivamente: dois rios de ordem n dão lugar a um rio de ordem $n + 1$.

1.2.1.3.2 Densidade de drenagem

Uma boa indicação do grau de desenvolvimento de um sistema de drenagem é dada pelo índice chamado densidade de drenagem ***Dd***. Este índice é expresso pela relação entre o comprimento total dos cursos d'água (sejam eles efêmeros, intermitentes ou perenes) de uma bacia e a sua área total. Representando o comprimento total dos cursos d'água na bacia por ***L*** e a área de drenagem por ***A***, a densidade de drenagem será dada pela expressão:

A densidade de drenagem varia inversamente com a extensão do escoamento superficial e, portanto, fornece uma indicação da eficiência da drenagem da bacia. Embora existam poucas informações sobre a densidade de drenagem de bacias hidrográficas, pode-se afirmar que este índice varia de 0,5 km/km², para bacias com drenagem pobre, a 3,5 ou mais, para bacias excepcionalmente bem drenadas.

1.2.1.3.3 Extensão Média do Escoamento Superficial

Este índice é definido como sendo a distância média em que a água da chuva teria que escoar sobre os terrenos de uma bacia, caso o escoamento se desse em linha reta desde onde a chuva caiu até o ponto mais próximo no leito de um curso d'água qualquer da bacia. Considerando que uma bacia de área A possa ser representada por uma área de drenagem retangular, tendo um curso d'água de extensão L passando pelo seu centro, como mostra a Figura abaixo, a extensão do escoamento superficial, l , será dada pela expressão:

Essa equação indica que a extensão do escoamento superficial é igual a um quarto do recíproco da densidade de drenagem. Verifica-se também que é igual à quarta parte da distância média entre os cursos d'água e igual à metade da distância média horizontal entre os cursos e suas linhas divisórias, ambas medidas perpendicularmente aos cursos d'água.

Embora a extensão do escoamento superficial que efetivamente ocorre sobre os terrenos possa ser bastante diferente dos valores determinados pela equação, devido a diversos fatores de influência este índice constitui uma indicação da distância média do escoamento superficial.

1.2.1.3.4 Sinuosidade do Curso d'Água

A relação entre o comprimento do rio principal L e o comprimento de um talvegue — L_t — é denominada sinuosidade do curso d'água — Sin — que é um fator controlador da velocidade do escoamento.

1.2.1.4 Características do Relevo de Uma Bacia

O relevo de uma bacia hidrográfica tem grande influência sobre os fatores meteorológicos e hidrológicos, pois a velocidade do escoamento superficial é determinada pela declividade do terreno, enquanto que a temperatura, a precipitação, a evaporação etc. são funções da altitude da bacia. É de grande importância, portanto, a determinação de curvas características do relevo de uma bacia hidrográfica.

1.2.1.4.1 Declividade da Bacia

A declividade dos terrenos de uma bacia controla em boa parte a velocidade com que se dá o escoamento superficial, afetando portanto o tempo que leva a água da chuva para concentrar-se nos leitos fluviais que constituem a rede de drenagem das bacias.

A magnitude dos picos de enchente e a maior ou a menor oportunidade de infiltração e susceptibilidade para erosão dos solos dependem da rapidez com que ocorre o escoamento sobre os terrenos da bacia.

Dentre os métodos que podem ser usados na obtenção dos valores representativos da declividade dos terrenos de uma bacia, o mais completo é o das quadrículas associadas a um vetor. Esse método consiste em determinar a distribuição porcentual das declividades dos terrenos por meio de uma amostragem estatística de declividades normais às curvas de nível em um grande número de pontos na bacia. Esses pontos devem ser locados num mapa topográfico da bacia por meio de um quadriculado que se traça sobre o mesmo.

Com os dados analisados obtiveram-se uma declividade média de 0,005 75 metros por metro, ou 0,575%, e uma declividade mediana de 0,56%, mostrando que a bacia possui, em média, baixa declividade, o que resulta numa redução dos picos de enchente devido à baixa velocidade do escoamento.

1.2.1.4.2 Curva Hipsométrica

É a representação gráfica do relevo médio de uma bacia. Representa o estudo da variação da elevação dos vários terrenos da bacia com referência ao nível médio do mar. Essa variação pode ser indicada por meio de um gráfico que mostra a porcentagem da área de drenagem que existe acima ou abaixo das várias elevações.

A curva hipsométrica pode ser determinada pelo método das quadrículas ou planimetrando-se as áreas entre as curvas de nível. A tabela 1 apresenta os passos utilizados para o cálculo da curva hipsométrica.

Tabela 01: *Curva Hipsométrica.*

940	—	920	930	1,92	1,92	1,08	1,08	1	785,6
920	—	900	910	2,90	4,82	1,64	2,72	2	639,0
900	—	880	890	3,68	8,50	2,08	4,80	3	275,2
880	—	860	870	4,07	12,57	2,29	7,09	3	540,9
860	—	840	850	4,60	17,17	2,59	9,68	3	910,0
840	—	820	830	2,92	20,09	1,65	11,33	2	423,6
820	—	800	810	19,85	39,94	11,2	22,53	16	078,5
800	—	780	790	23,75	63,69	13,40	35,93	18	762,5
780	—	760	770	30,27	93,96	17,08	53,01	23	307,9
760	—	740	750	32,09	126,05	18,10	71,11	24	067,5
740	—	720	730	27,86	153,91	15,72	86,83	20	337,8
720	—	700	710	15,45	169,36	8,72	95,55	10	969,5
700	—	680	690	7,89	177,25	4,45	100	5	444,1
Total				177,25				136	542,1

1.2.1.4.3 Elevação Média da Bacia

A variação da altitude e a elevação média de uma bacia são, também, importantes pela influência que exercem sobre a precipitação, sobre as perdas de água por evaporação e transpiração e, conseqüentemente, sobre o deflúvio médio. Grandes variações da altitude numa bacia acarretam diferenças significativas na temperatura média, a qual, por sua vez, causa variações na evapotranspiração. Mais significativas, porém, são as possíveis variações de precipitação anual com a elevação.

A elevação média é determinada por meio de um retângulo de área equivalente à limitada pela curva hipsométrica e os eixos coordenados; a altura do retângulo é a elevação média. Outro método é o de utilizar a equação:

onde:

E = elevação média;

e = elevação média entre duas curvas de nível consecutivas;

a = área entre as curvas de nível;

A = área total.

Outro fator importante no estudo das elevações da bacia é a Altura Média da Seção de Controle (Desembocadura), a qual representa uma carga potencial hipotética a que estio sujeitos os volumes de excesso de chuva e constitui um fator que afeta o tempo que levariam as águas para atingir a seção de controle. Essa altura é determinada pela diferença entre a elevação mediana e a elevação do leito na desembocadura.

1.2.1.4.4 Declividade de Álveo

A água da precipitação concentra-se nos leitos fluviais depois de se escoar superficial e subterraneamente pelos terrenos da bacia e é conduzida em direção à desembocadura.

A velocidade de escoamento de um rio depende da declividade dos canais fluviais. Assim, quanto maior a declividade, maior será a velocidade de escoamento e bem mais pronunciados e estreitos serão os hidrogramas das enchentes.

Obtém-se a declividade de um curso d'água, entre dois pontos, dividindo-se a diferença total de elevação do leito pela extensão horizontal do curso d'água entre esses dois pontos.

1.2.1.4.5 Bacia Representativa e Experimental

Define-se Bacia Representativa, segundo determinação do Decênio Hidrológico Internacional, como sendo “bacias com certo tipo ecológico bem determinado e localizadas em regiões onde o ciclo hidrológico não esteja muito perturbado pelo homem, mas que não sejam tomadas precauções especiais para proibir qualquer intervenção humana que possa determinar repercussões de caráter hidrológico”.

Nessas bacias deve ser instalado um número razoável de estações hidrometeorológicas, hidrométricas e de observações das águas subterrâneas, necessárias para o estudo das diversas fases do ciclo hidrológico.

Bacia Experimental é definida como “aquela na qual se podem modificar à vontade as condições naturais, como por exemplo a cobertura vegetal ou o solo, mediante procedimentos de combate à erosão e onde sejam estudados os efeitos dessas modificações sobre o ciclo hidrológico”.

1.2.2 CONJUNTURA HIDROGEOLÓGICA

A água subterrânea pode ocorrer tanto em rochas duras como em depósitos sedimentares não consolidados, bem como em sedimentos de maior ou menor consistência.

Na realidade, qualquer tipo de rocha, ígnea, sedimentar ou metamórfica, desde que seja suficientemente porosa e permeável, pode se constituir um aquífero.

Os aquíferos desempenham duas importantes funções, a de armazenamento (reservatório) e a de transmissão (condutores). Os interstícios e poros de um aquífero servem tanto para a acumulação de água como para o seu movimento, funcionando como uma rede de condutos.

Na BP3, contamos com duas unidades aquíferas: Aquíferos Serra Geral e Guarani.

O Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) – Basalto Serra Geral – rocha ígnea extrusiva – constitui um bom aquífero, tendo em vista a quantidade de fraturas ou fendas que apresenta, além disso, pode apresentar grande porcentagem de poros ou aberturas de dimensões consideráveis, pelo escapamento dos gases, constituindo as lavas vesiculares ou amigdalóides. Desse modo, os aquíferos basálticos contêm água nas fraturas ou fendas (quer verticais ou horizontais) e também nas vesículas interconectadas (ATHAYDE, 2008).

O Sistema Aquífero Guarani (SAG) – Arenito Botucatu – rocha sedimentar de origem continental, situado, estratigraficamente, abaixo do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG). Não existem afloramentos desse aquífero na região da Bacia Hidrográfica do Paraná 3, pois o mesmo se encontra sob espessas camadas de basalto que variam de 600 a 1.100 metros (BORGHETTI, 2004).

1.2.2.1 Origem e Ocorrência da Água Subterrânea

A água é encontrada em todos os corpos do sistema solar nas formas de vapor ou gelo. A Terra porem, é o único que possui água no estado líquido e em abundância. Ela representa um recurso natural de valor econômico, estratégico e social, além de ser um dos elementos fundamentais para existência e bem estar do homem e componente importantíssimo na manutenção dos ecossistemas do planeta.

Apesar de aparentemente a Terra dispor de uma enorme quantidade de água, quase 97% estão represadas nos mares e oceanos e cerca de 2% congeladas nas regiões polares. Apenas 1% da água doce está efetivamente disponível para o consumo humano, uso agrícola e industrial. Ela se encontra em córregos, rios e lagos constituindo os recursos hídricos superficiais, assim como nos interstícios do solo e subsolo, formando os recursos hídricos subterrâneos. Estes últimos representam cerca de 97% do total de água doce existente no planeta Terra.

O ciclo da água se inicia quando o sol aquece e evapora a água dos oceanos, rios, lagos e solos. O vapor d'água sobe e junta-se formando as nuvens. Estas, por determinadas condições atmosféricas, condensam-se e precipitam-se em forma de chuva, granizo ou neve. Quando chove sobre os continentes, parte da água é retida pela vegetação e acaba

evaporando novamente para a atmosfera. Outra parte escoar diretamente para os rios e lagos, retornando assim aos oceanos ou infiltra-se no solo.

A parte da água infiltrada é retida pelas raízes das plantas e acaba evaporando através da capilaridade do solo ou através da transpiração desses vegetais; outra parte da água move-se para as camadas mais profundas, por efeito da gravidade, até chegar a chamada zona de saturação. Nessa região do subsolo todos os poros da formação sedimentar, as fissuras das rochas, enfim os espaços vazios são preenchidos com água, constituindo aquilo que se denomina de Água Subterrânea.

O ciclo hidrológico acaba fechando-se porque a água subterrânea obedecendo a morfologia do terreno, percola muito vagarosamente em direção aos rios, lagos e oceanos (Figura 01).

Figura 01: Conservação da Água Subterrânea.



Fonte: BORGHETTI, 2004.

A quantidade de água subterrânea que pode ser bombeada com segurança ano após ano, depende da capacidade do reservatório natural e das condições climáticas e geológicas que possibilitem a recuperação do aquífero. A água existente num reservatório natural foi acumulada por anos, ou mesmo séculos. Se a quantidade de água retirada através do poço for menor que a quantidade recuperada através da infiltração, o bombeamento pode continuar indefinidamente, sem causar qualquer efeito desastroso. Porém se o bombeamento for maior que a recarga, poderá haver em longo prazo o esgotamento do aquífero.

Como todos os demais recursos, a água subterrânea deve ser conservada e utilizada adequadamente, para assegurar uma disponibilidade no futuro. Por isso o planejamento, feito por técnicos especializados é sempre imprescindível.

1.2.2.1.1 Tipos de aquíferos

1.2.2.1.1.1 Aquífero livre ou freático

Aquífero livre ou freático – é um extrato permeável, parcialmente saturado de água, cuja base é uma camada impermeável ou semipermeável. O topo é limitado pela própria superfície livre da água também chamado de superfície freática, sobre pressão atmosférica. Ele tende a ter um perfil mais ou menos semelhante ao perfil da superfície do terreno. O lençol freático está geralmente perto da superfície, em vales de rios e a maiores profundidades em altos topográficos.

1.2.2.1.1.2 Aquífero confinado ou artesiano

Aquífero confinado ou artesiano – é um aquífero completamente saturado de águas, cujo limite superior (teto) e inferior (piso) são extratos impermeáveis. A água desse aquífero chama –se artesianas ou confinadas e sua pressão é, geralmente, mais alta que a pressão atmosférica. Por isso quando se perfura o aquífero, a água sobe para um nível bem superior, podendo até jorrar. Nesse aquífero a contaminação quando ocorre, é muito mais lenta e os custos para recuperação podem ser proibitivos.

1.2.2.1.2 Tipos de Aquíferos Relacionados com as Rochas Armazenadoras

1.2.2.1.2.1 Aquíferos Porosos

Os Aquíferos Porosos ocorrem em rochas sedimentares consolidadas, sedimentos inconsolidados e solos arenosos decompostos *in situ*. Constituem os mais importantes aquíferos, pelo grande volume de água que armazenam, e por sua ocorrência em grandes áreas. Estes aquíferos ocorrem nas bacias sedimentares e em todas as várzeas onde se acumularam sedimentos arenosos. Uma particularidade deste tipo de aquífero é a sua porosidade quase sempre homogeneamente distribuída (isotropia), permitindo que a água escoe para qualquer direção, em função tão somente dos diferenciais de pressão hidrostática ali existentes.

1.2.2.1.2.2 Aquíferos Fraturados ou Fissurados

Aquíferos Fraturados ou Fissurados: ocorrem em rochas ígneas e metamórficas. A capacidade destas rochas em acumularem água está relacionada à quantidade de fraturas,

suas aberturas e intercomunicação. No Brasil a importância desses aquíferos está muito mais em sua localização geográfica, do que na quantidade de água armazenada. Poços perfurados nestas rochas fornecem poucos metros cúbicos de água por hora. A possibilidade de ter um poço produtivo dependerá, tão somente, de o mesmo interceptar fraturas capazes de conduzir água. Nestes aquíferos a água só pode fluir onde houver fraturas, que, quase sempre, tendem a ter orientações preferenciais, e por isto, são meios denominados como anisotrópicos.

1.2.2.1.2.3 Aquíferos Cársticos

Aquíferos Cársticos: são aquíferos formados em rochas carbonáticas. Constituem um tipo peculiar de aquífero fraturado, onde as fraturas, devido à dissolução do carbonato pela água, podem atingir aberturas muito grandes, criando, neste caso, verdadeiros rios subterrâneos.

1.2.2.2 Desenvolvimento da Água Subterrânea no Estado do Paraná

O estudo sistemático da água subterrânea no Estado do Paraná teve início em 1973, com a formação de técnicos pela Administração de Recursos Hídricos (ARH) do Programa Nacional de Saneamento (PLANASA), visando prestar assistência técnica à SANEPAR, principalmente na viabilização do manancial subterrâneo para o Programa de Comunidades de Pequeno Porte (CPP).

Neste período foram estudados aproximadamente 500 sítios hidrogeológicos para melhor localização dos poços tubulares. Paralelamente desenvolveu-se atividade de assessorias técnica a dezenas de prefeituras de sistemas autônomos, bem como outras instituições envolvidas, no uso de água subterrâneas.

Decorridos 12 anos acumulou-se informações de mais de 1000 pontos de águas subterrâneas. Este universo de dados permitiu o detalhamento da ocorrência da água subterrânea nas diversas formações geológicas do Estado, demonstrando que a maior parte do território paranaense, tem nesse tipo de manancial a melhor forma de equacionar o problema de abastecimento.

Após uma avaliação das disponibilidades regionais de águas subterrâneas no Estado do Paraná, constatou-se que, paradoxalmente, apenas núcleos urbanos de maior densidade populacional se beneficiavam deste recurso. Tendo em vista que milhares de comunidades menores que 2000 habitantes, não tinham acesso à água tratada, principalmente nas áreas rurais, ficando sujeitos a incidência de uma série de doenças, a SUREHMA a partir de

1983, desenvolveu uma tecnologia de construção de poços tubulares, adequada ao desafio técnico e econômico para atender tamanha demanda. Tais dispositivos de captação subterrânea foram denominados de micropoços, em virtude de suas dimensões, baixo custo e rapidez. A partir de 1991, o Programa de Micropoços, constitui-se na base do Programa Estadual de Saneamento Rural – PESR. A partir de 1996 a SUDERHSA deu continuidade aos programas de utilização da água subterrânea no meio rural (áreas de assentamento, vilas rurais, abastecedouros comunitários, agroindústrias e outros) através da perfurações de poços tubulares em parcerias com Prefeituras Municipais e Comunidades.

Sistematicamente também, a partir da década de 80, foram desenvolvidas pesquisas nos sistemas aquíferos do Estado para viabilizar o aproveitamento e uso, com ênfase ao aquífero Guarani. Na década de 90, também iniciaram-se as atividades de exploração e pesquisa do aquífero Karst, situado ao norte da Região Metropolitana de Curitiba.

Atualmente as características de armazenamento das águas subterrâneas no Estado, provenientes dos poços outorgados pela SUDERHSA, estão sendo cadastradas em um banco de dados hidrogeológico, com objetivo de detalhamento dos principais aquíferos, o que possibilitará o estabelecimento de uma estratégia na política dos diversos usos.

Até os meados do ano 80, a utilização de água subterrânea por meio de poços tubulares se restringia em sua maior parte para fins de abastecimento público, principalmente pela SANEPAR e sistemas autônomos em uma escala de apenas 15%. A partir dos anos 90, observa-se um aumento gradativo em seu usos múltiplos, nos mais diversos segmentos como: indústrias, condomínios, hotéis, hospitais, irrigação, agroindústria e outros.

1.2.3 DIAGNÓSTICO DAS DISPONIBILIDADES HÍDRICAS SUBTERRÂNEAS

1.2.3.1 Subterrâneas

O ciclo da água subterrânea na terra, ou ciclo hidrológico, é a continua circulação da umidade e da água em nosso planeta. Não tem início nem fim, mas o conceito desse ciclo comumente começa com as águas do oceano, uma vez que cobrem cerca de três quartos da superfície terrestre.

A precipitação sobre a superfície do solo é a origem de todos os nossos suprimentos de água potável. Dela depende a reposição da quantidade que é retirada dos lagos, cursos superficiais e poços para os numerosos usos do homem.

Uma parte da precipitação, depois de molhar a folhagem e o solo, escorre sobre a superfície em direção aos cursos de água. Outra parte se impregna no solo. Grande parte da água que penetra no solo é retida na zona das raízes das plantas, retornando eventualmente à superfície, pelos vegetais ou pela capilaridade do solo. Parte, porém, se infiltra abaixo da zona das raízes continuando a mover-se para baixo, até alcançar o reservatório da água subterrânea.

Ao juntar-se à massa da água subterrânea, a água infiltrada move-se através dos poros da matéria do subsolo, podendo reaparecer na superfície em locais de nível inferior ao que penetrou no lençol aquífero. A água subterrânea descarrega naturalmente em tais lugares em forma de vertentes que mantêm o fluxo dos cursos em período de estiagem. Os cursos, carreando as águas de escoamento superficial e a descarga natural da água subterrânea, eventualmente as fazem retornar ao oceano.

O conhecimento da ocorrência da água subterrânea requer um estudo da distribuição vertical da água nos materiais ou formações geológicas da subsuperfície.

A parte mais externa da crosta terrestre é normalmente porosa até uma maior ou menor profundidade. É a chamada zona detrítica. Os poros, podem estar parcial ou totalmente cheios de água.

A camada superior onde os poros estão parcialmente cheios de água é designada zona de aeração. Imediatamente abaixo, onde os interstícios estão repletos de água, está a zona de saturação.

A água da zona de saturação é a única dentre as águas da subsuperfície que propriamente constitui a água subterrânea.

A zona saturada pode ser considerada como sendo um único e enorme reservatório ou um sistema de reservatórios naturais cuja capacidade e volume total dos poros ou interstícios estão repletos de água.

A espessura da zona de saturação vai de vários decímetros a dezenas ou centenas de metros. Os fatores que influem nessa espessura variável são: a geologia local, a porosidade e permeabilidade das formações, a recarga ou continuidade da impregnação da água dentro da zona entre os locais de recarga e os pontos ou áreas de descarga.

1.2.3.2 Disponibilidade Hídrica dos Aquíferos Paranaenses

Os aquíferos são formações geológicas com capacidade de acumular e transmitir água através de seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de

materiais rochosos. Os volumes de água acumulados nos aquíferos podem ser utilizados para atender as necessidades de abastecimento público e demais usos.

Entretanto, parte desse volume, deve ser mantido em confinamento, para que o mesmo seja utilizado na alimentação dos cursos d' água.

De acordo com o Manual Técnico de Outorgas, elaborado pela SUDERHSA (2006), os recursos hídricos subterrâneos são compostos de porções circulantes e de porções armazenadas. Por sua vez, as suas porções circulantes são compostas de duas partes: a recarga transitória e a recarga profunda.

A recarga transitória dos recursos de água subterrânea pode ser estimada através da análise da vazão básica, porque a vazão básica de um rio é proveniente da descarga da água subterrânea. A avaliação da disponibilidade das águas subterrâneas no Estado do Paraná foi estimada através de uma metodologia que levou em consideração, principalmente, as vazões transitórias dos aquíferos paranaenses, obtidas no Manual Técnico de Outorgas da SUDERHSA (2006).

De acordo com ANA (2005), as reservas exploráveis de um aquífero são constituídas por uma parte das reservas reguladoras e uma pequena fração das reservas permanentes. No caso, fixou-se que as reservas exploráveis correspondem a 20% das reservas reguladoras, ou seja, uma estimativa conservadora e que permite certa margem de confiança ao não considerar o uso das reservas permanentes, ou seja, ao não considerar a depleção do volume de água permanente do aquífero. Este valor também é considerado satisfatório, segundo ANA (2005), sob o aspecto de manutenção da vazão dos rios, porque considera que apenas 20% do escoamento de base poderia ser afetado pela captação de água subterrânea. As reservas exploráveis adotadas neste estudo representam, portanto, 20% do escoamento de base dos rios. Portanto, em relação ao cálculo da disponibilidade hídrica subterrânea dos aquíferos paranaenses, para a determinação da vazão outorgável foi adotado o valor conservador de 20% da vazão total disponível para todas as unidades aquíferas paranaenses, exceto para a do Guarani. Em função do número reduzido das suas informações, além das grandes variações de qualidade das suas águas, por vezes inadequadas para o consumo, adotou-se apenas 10%. Outro valor adotado no desenvolvimento do cálculo foi o tempo referente ao bombeamento da água dos poços, correspondente a 18 horas por dia.

1.2.3.3 Unidades Aquíferas Serra Geral

O modo de ocorrência da água subterrânea nas rochas basálticas (aquífero Serra Geral) está intimamente relacionado com o condicionamento estrutural dos derrames de

basalto, representado por falhas e fraturas, e por estruturas originadas pelo desprendimento de gases dos derrames de lava, denominados de zonas vesículo-amigdaloidais interderrames, proporcionando vazios ou poros interconectados nas suas porções superiores. Vale ressaltar que a rocha basáltica, por si só, não se constitui em aquífero, sendo que a porosidade e permeabilidade associadas principalmente aos vazios provocados pelas falhas e fraturas resulte em maior ou menor significância. Estas rochas, apesar de ígneas, são capazes de fornecer volumes de água dez vezes maiores do que a maioria das rochas ígneas e metamórficas.

Assim sendo, os derrames basálticos da Formação Serra Geral possuem porosidade e permeabilidade primárias desprezíveis e constituem aquíferos heterogêneos e anisotrópicos. Os fatores estruturais têm importância fundamental para as propriedades aquíferas dessa formação, estando o armazenamento de água condicionado às zonas afetadas por fraturamento distensional, por fraturamentos tectônicos e, aos contatos interderrames, onde ocorrem, nos derrames subjacentes zonas vesiculares e no sobrejacente, zonas de intenso diaclasamento horizontal.. A área de afloramento dessas rochas, em território paranaense, corresponde a 101.959,63 km² e as espessuras máximas atingem até 1.500 m (Araújo *et al.*, 1995). Nesta região, o índice pluviométrico varia entre 1.200 a 1.300 mm/ano. Existem cerca de 2.500 poços cadastrados no Banco de Dados Hidrogeológicos da SUDERHSA na Unidade Serra Geral Norte

A unidade aquífera Serra Geral Norte possui uma área de 61.095,33 km² e ocorre nas bacias dos rios Ivaí, Piquiri, Paraná 1, 2 e 3, Pirapó, Tibagi, Cinzas e Paranapanema 2, 3 e 4.

Na bacia do Paraná 3, onde inexistente cobertura dos arenitos do Grupo Caiuá, encontra-se a vazão média mais elevada, da ordem de 35 m³/h/poço. As entradas de água, nesta bacia, também decrescem em frequência com o aumento da profundidade. Ainda que essas contribuições ocorram até os 170 m de profundidade, aproximadamente 90% delas, concentram-se até a faixa dos 90 aos 110 m. Em profundidades maiores do que a mencionada e também representando o percentual menos significativo das ocorrências, são produzidas vazões de até 15 m³/h/poço.

As direções preferenciais dos alinhamentos estruturais através das quais águas subterrâneas circulam são, na maioria das vezes, para NW-SE e NE-SW, e os mergulhos são praticamente verticais. Tais feições, usadas como critérios principais na escolha dos locais à perfurações, coincidem, quase sempre, com as drenagens de 2^a e 3^a ordem, de extensão

superior a 300 m. No que concerne ao significado da capacidade específica (vazão dividida pelo rebaixamento da água no interior do poço), os valores são bastante similares quando se trata das bacias hidrográficas situadas sobre a unidade aquífera Serra Geral Norte (variação média de 2 a 5 m³/h/m).

1.2.4 ÁREAS DE RECARGA E DESCARGA

Com relação às regiões do território paranaense, sabe-se que a precipitação, ao cair no solo, não é inferior a 1.200 mm/ano. Portanto, considerando o ciclo hidrológico, têm-se as seguintes características. (i) escoam na superfície do terreno; (ii) retornam à atmosfera por meio dos processos de evapotranspiração; e, (iii) infiltram-se recarregando os aquíferos, e, na sequência, os próprios rios, constituindo a "vazão de base".

No sistema hídrico, a condição de perenização dos rios se dá quando, na falta de precipitação, o rio é alimentado pela "vazão de base", ou seja, a vazão cedida pelo aquífero ao rio. Esta costuma representar, em geral, 60 a 70% da água que escoar no rio. Se o rio não é perene, caso de vários rios do nordeste do Brasil, é porque não há cessão da água do aquífero, o que causa a seca total do rio nos períodos de estiagens. Por conta do equilíbrio deste sistema, é importante que sejam conhecidas as condições de recarga dos aquíferos, pois o desequilíbrio na sua exploração afeta a vazão dos corpos hídricos superficiais.

Embora os aquíferos, obviamente, não respeitem a divisão das bacias hidrográficas, por conta da formação deste sistema hídrico a bacia hidrográfica acaba constituindo a unidade territorial de avaliação. No entanto, é importante lembrar que, em grande parte dos casos, a recarga dos aquíferos que alimentam os rios de uma bacia pode estar sendo feita em outra bacia, especialmente nos casos de recarga direta.

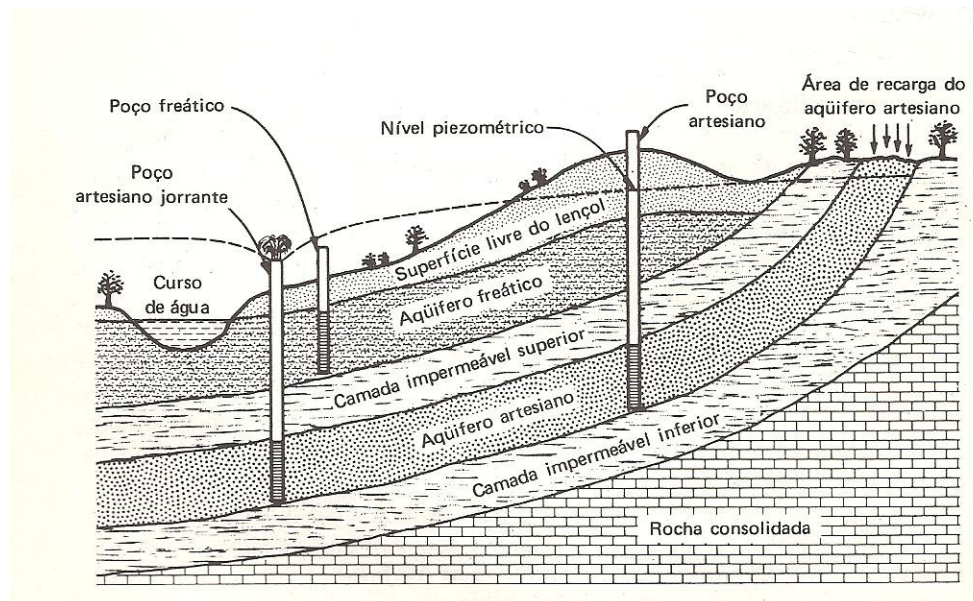
A ocorrência da recarga da água subterrânea resulta principalmente da infiltração do solo dos cursos superficiais e dos lagos, que recolhem a água das precipitações: chuva, granizo, orvalho e geadas (figura 2).

Em alguns lugares, os aquíferos são reabastecidos rapidamente pela chuva que cai diretamente sobre a superfície do solo. Em outros, a água superficial dos cursos e lagos alimenta os reservatórios subterrâneos quando o nível desses mananciais de superfície for mais elevado que o da superfície do aquífero e quando o leito do rio ou o fundo do lago forem permeáveis.

O regime de reabastecimento do aquífero depende da espécie ou vicissitude das precipitações, do escoamento superficial e do fluxo dos cursos. Varia ainda com a permeabilidade das camadas do solo que a água tem que atravessar para atingir a zona de saturação. A declividade do terreno é outro fator importante, quando pronunciadas

favorecem o escoamento rápido, ao passo que as insignificantes retêm a água por mais tempo, favorecendo a infiltração.

Figura 02: Áreas de recarga.



Fonte: CPRM, 2002.

Quando a recarga ocorre de forma direta, como é o caso de aquíferos confinados por camadas impermeáveis, a recarga ocorre onde a rocha aflora na superfície do terreno (caso do aquífero Guarani, nas bordas da bacia hidrogeológica sedimentar do Paraná). Nessas situações, as águas escoam para o interior do aquífero numa velocidade extremamente lenta, por mais elevada que seja a condutividade hidráulica. Neste tipo de aquífero, por conta da baixa velocidade de entrada de água, é mais importante conhecer o balanço hídrico, de forma a extrair a água do subsolo num regime que não ultrapasse a taxa de recarga.

Em qualquer situação, o movimento da água, seja ascendente ou descendente, depende das características hidráulicas entre o aquífero superior e inferior. O movimento sempre é na direção da maior para a menor carga potenciométrica, independente da inclinação da camada aquífera.

No entanto, a grande parte da água que recarrega os aquíferos o fazem através de processos difusos. Este tipo de processo, o da recarga difusa, é característico para todos os aquíferos paranaenses, sejam do tipo fissural, granular ou por dissolução química.

Os processos de descarga de alguns aquíferos possuem características peculiares. É o caso, por exemplo, do aquífero Guarani que descarrega suas águas no aquífero Serra Geral ou na superfície do terreno, sob a forma de fonte natural (águas quentes) e na própria

drenagem do terceiro Planalto do Paraná. Este processo é causado pela elevada pressão a que está submetido o aquífero Guarani, o qual se encontra soto-posto a um pacote rochoso de origem vulcânica cuja espessura ultrapassa, em algumas regiões, os 1.000 m.

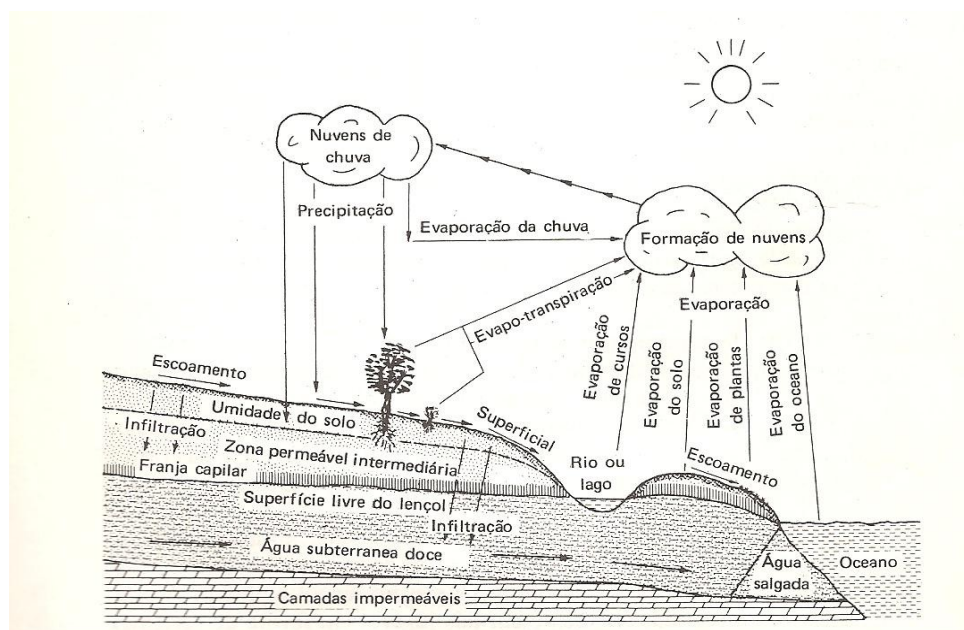
Todos os demais aquíferos descarregam suas águas sob a forma de fontes freáticas. Não fosse isto, não teríamos a condição de perenização dos rios paranaenses. As vazões dos rios, mesmo das grandes drenagens durante os períodos de estiagens, são provenientes dos aquíferos. É assim que ocorre no rio Ivaí, seja no trecho dos aquíferos Serra Geral e Caiuá, bem como em todos os demais rios do território paranaense. As vazões mínimas desses rios, sem as parcelas das chuvas, são, portanto, provenientes principalmente dos aquíferos freáticos cujas águas encontram-se armazenadas no manto de alteração das rochas. Este manto de alteração funciona, via de regra, como regulador das águas que preenchem as zonas aquíferas de maior profundidade.

Esta avaliação das áreas de recarga, bem como o próprio cálculo do balanço hídrico, não pode ser feito de forma expedita, necessita de um aprofundamento localizado, muitas vezes estudando áreas menores e mais confinadas. Na maior parte dos casos, só se passa a uma análise mais detalhada quando um determinado aquífero passa a dar sinais de superexploração. Por conta das limitações do Plano Estadual de Recursos Hídricos, efeito de seu objetivo geral, ou seja, de permitir uma visão global dos recursos hídricos estaduais, não cabe avançar neste terreno, uma vez que estudos desta monta exigem orçamentos específicos e um volume de trabalho aplicado em escala micro-local. Fica, desta forma, a recomendação para que, nos Planos de Bacia Hidrográfica, sejam previstos recursos, técnicos e orçamentários, para efetuar estudos específicos em aquíferos onde a situação esteja apresentando sinais de comprometimento do balanço hídrico. Destaca-se, no Estado do Paraná, que hoje a unidade aquífera Karst, em termos da relação exploração *versus* sustentabilidade, é o mais vulnerável.

Não existem, atualmente, estudos específicos voltados à determinação das áreas efetivas de recarga dos aquíferos paranaenses, até por conta das suas próprias características peculiares, ou seja, pelo fato de serem aquíferos de recarga difusa. Esta avaliação das áreas de recarga, bem como o próprio cálculo do balanço hídrico, não pode ser feito de forma expedita, necessita de um aprofundamento localizado, muitas vezes estudando áreas menores e mais confinadas. Na maior parte dos casos, só se passa a uma análise mais detalhada quando um determinado aquífero passa a dar sinais de superexploração.

As zonas de descargas dos aquíferos Serra Geral e Guarani são aquelas nas quais as águas emergem, através de poços tubulares profundos ou artesianos (Figura 03).

Figura 03: Áreas de descarga.



Fonte: CPRM, 2002.

1.2.5 VOLUMES ATUALMENTE EXPLOTADOS

Estabelecer o volume exato da água que é extraída dos aquíferos paranaenses é, indubitavelmente, uma tarefa impraticável. A realidade de fiscalização da instituição de gerenciamento dos recursos hídricos do Estado associada com as informações dos usuários privados (condomínios, indústrias), no que tange à vazão outorgada em relação à vazão real extraída ou bombeada diariamente, não possibilita este tipo de cálculo.

Alguma exceção pode ser feita com os poços operados pela SANEPAR; nestes casos, existem registros das vazões extraídas e do tempo diário de bombeamento.

1.2.6 QUALIDADE DAS ÁGUAS DAS UNIDADES AQUÍFERAS PARANAENSES

Com base em estimativas oriundas da análise dos dados da SANEPAR e da SUDERHSA, observa-se que cerca de 16% do abastecimento de água do Estado é feito por meio de captação de águas subterrâneas. Em algumas cidades do interior do território, esse tipo de manancial é responsável pela totalidade da água fornecida à população. O uso para fins industriais, agrícolas e postos de serviços é igualmente significativo.

A qualidade da água subterrânea é controlada por fatores naturais principalmente, geológicos e climáticos - e antrópicos. Em aquíferos não afetados pela atividade antrópica,

a qualidade da água subterrânea resulta da interação geoquímica entre a água e as rochas que compõem o aquífero, ao longo do fluxo da água entre a zona de recarga e a zona de descarga.

De modo geral, quanto mais tempo a água permanecer em contato com materiais solúveis que constituem o aquífero, maior será o seu conteúdo em sólidos totais dissolvidos. A qualidade da água também pode ser afetada por misturas de águas de diferentes aquíferos.

A atividade antrópica pode modificar de forma negativa a qualidade natural da água subterrânea, seja pela infiltração de substâncias poluentes sobrepostas nas zonas de recarga, seja pela alteração das linhas de fluxo subterrâneo, a exemplo dos aquíferos costeiros, onde o bombeamento da água de forma não controlada pode causar a salinização de aquíferos pelo avanço da cunha salina.

Os padrões de qualidade de água para consumo humano estão indicados na Portaria do Ministério da Saúde nº 518, de 25 de março de 2004, que estabelece os procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Os valores máximos permitidos (VMP) dos parâmetros físico-químicos analisados serão usados para verificar a adequação da água dos aquíferos para fins de abastecimento público.

A qualidade da água para uso na irrigação é verificada através da relação de adsorção de sódio (RAS), que expressa a atividade relativa dos íons de sódio nas reações de troca catiônica no solo. Essa razão é uma medida da relação entre as concentrações de sódio e de cálcio e magnésio.

A qualidade da água é determinada pelos seguintes parâmetros físicos e químicos: Alcalinidade Total, Bicarbonato, Cálcio, Carbonato, Cloreto, Dureza Total, Ferro, Fluoreto, Fosfato, Magnésio, Nitrato, Nitrito, Potássio, Sílica Dissolvida, Sódio, Sulfato e Sólidos Totais Dissolvidos (STD).

1.2.6.1.1 Bicarbonato e Carbonato (HCO_3^- ; CO_3)

Esses íons são responsáveis pela alcalinidade carbonatada da água, que pode ser entendida como a capacidade da água neutralizar ácidos. Podem precipitar na forma de carbonatos, principalmente de cálcio (CaCO_3).

A predominância dos íons bicarbonato ou carbonato depende do pH. O íon carbonato ocorre, predominantemente, em águas com pH maior que 8,3. Abaixo desse pH, predomina o íon bicarbonato. Sua presença não apresenta problemas de toxicidade, porém

águas bicarbonatadas sódicas não são apropriadas para irrigação, por proporcionarem a fixação de sódio no solo e favorecerem a alcalinização do meio.

1.2.6.1.2 Cálcio (Ca^{2+})

Forma compostos moderadamente a muito solúveis. Precipita-se facilmente, formando CaCO_3 . O maior inconveniente causado por esse íon é o aumento da dureza da água e da produção de incrustações de carbonato de cálcio.

1.2.6.1.3 Cloreto (Cl^-)

Íon muito solúvel, estável e dificilmente precipita. Não causa redução ou oxidação do meio. Em concentrações acima de 250 mg/L comunica sabor salgado à água, porém não é prejudicial à saúde, mesmo em concentrações da ordem de 1000 mg/L. Teores elevados são prejudiciais para muitas plantas e tornam a água corrosiva.

1.2.6.1.4 Dureza

É devida à combinação dos íons de cálcio e de magnésio com íons bicarbonato e carbonato na presença de aquecimento. Tem o inconveniente de impedir o sabão de fazer espuma.

1.2.6.1.5 Ferro (Fe^{2+} ; Fe^{3+})

Forma compostos solúveis na forma de ferro ferroso (Fe^{2+}), principalmente como hidróxidos. Em ambientes oxidantes o Fe^{2+} passa a Fe^{3+} dando origem ao hidróxido férrico, que é insolúvel e se precipita, dando à água uma coloração de ferrugem.

Não é uma substância prejudicial à saúde, porém dá a água uma aparência desagradável. A presença de ferro na água, acima de 0,3 mg/L, causa manchas em roupas e louças brancas.

1.2.6.1.6 Fluoreto (F^-)

Tem solubilidade baixa e contribui, ligeiramente, para o aumento da alcalinidade ao se hidrolisar. Não é prejudicial à saúde em baixas concentrações. Carência de fluoreto ou concentrações acima de 1,5 mg/L podem causar fluorose dentária.

1.2.6.1.7 Fosfato (PO_3^{4-})

Apresenta, predominantemente, compostos pouco solúveis. Hidrolisa-se com facilidade e contribui para o aumento da alcalinidade da água. Não apresenta toxicidade.

1.2.6.1.8 Magnésio (Mg^{2+})

Propriedades similares às do Ca^{2+} , porém mais solúvel e mais difícil de precipitar. Em concentrações da ordem de centenas de mg/L proporciona propriedades laxantes e sabor amargo à água. Também contribui para elevar a dureza da água.

1.2.6.1.9 Nitrato e Nitrito (NO_3^- ; NO_2^-)

Íon muito solúvel, não forma precipitados, migrando facilmente através de meios porosos. Em concentrações elevadas pode produzir cianose em bebês. Pode tornar a água corrosiva (oxidante) e interfere na fermentação.

1.2.6.1.10 Potássio (K^+)

Apresenta solubilidade elevada, sendo difícil formar precipitados. Não apresenta problemas de toxicidade nas concentrações costumeiramente encontradas nas águas subterrâneas (<10 mg/L), sendo um elemento fundamental para as plantas.

1.2.6.1.11 Sílica (SiO_2)

Acredita-se que a maior parte da sílica apresenta-se como H_4SiO_4 , parte dissolvida, parte coloidal, e só uma pequena parte está ionizada ($H_3SiO_4^-$) em pH normal. O maior inconveniente está relacionado com a formação de incrustações em caldeiras e aquecedores.

1.2.6.1.12 Sódio (Na^+)

Tem solubilidade elevada e não forma precipitados nas condições ambientais. Águas com concentrações elevadas de sódio são prejudiciais às plantas ao reduzir a permeabilidade do solo. Esse processo é extremamente nocivo caso as concentrações de Ca e Mg sejam baixas.

1.2.6.1.13 Sulfato (SO_4^{2-})

Forma compostos iônicos moderadamente a muito solúveis (exceto com Sr e Ba). Dificilmente precipita, separando-se da solução apenas por evaporação. As águas com elevado teor de sulfato não matam a sede, tendo sabor pouco agradável e amargo. Em solução iônica ou associado ao Mg ou Na, tem propriedades laxantes. Em quantidades elevadas pode ser prejudicial às plantas. Em concentrações da ordem de centenas de mg/L prejudicam a resistência do concreto e do cimento.

1.2.6.1.14 Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

É uma medida da salinidade da água, correspondendo à soma dos teores de todas as substâncias minerais dissolvidas na água. Normalmente, apresenta uma relação linear com a condutividade elétrica da água. Em concentrações elevadas confere sabor desagradável à água.

1.2.6.2 Serra Geral Norte

As águas da unidade aquífera Serra Geral Norte são classificadas como bicarbonatadas cálcicas e contém teores de sólidos totais dissolvidos entre 100 e 150 mg/L. O pH varia entre 6,6 a 7,2 e a dureza gira em torno de 40 mg de CaCO₃/L (águas moles). O teor médio de cálcio é de 9,0 mg/L, com concentrações de magnésio variando de 3,5 a 6,5 mg/L; e, as de potássio, entre 1,5 a 3,0 mg/L. Os teores médios dos ânions principais são 38 mg/L de bicarbonato, 1,5 mg/L de cloreto e 2,5 mg/L de sulfato.

A grande problemática sobre a qualidade das águas desse aquífero está associada a proximidade de poços sem revestimento que seccionaram o aquífero Guarani. Nesses casos, é comum se observar uma tipologia de água misturada, inclusive com teores de sódio e potássio ultrapassando teores de cálcio e magnésio.

1.2.6.3 Qualidade da Água para o Consumo Humano

De um modo geral, sete parâmetros foram analisados (cloreto, ferro total, fluoreto, nitrato, sódio, sólidos totais dissolvidos e sulfato) sendo que o ferro total aparece em todos os aquíferos.

Deve-se deixar claro, entretanto, que isso não inviabiliza o aproveitamento da maioria dessas águas para consumo humano. É apenas um indicativo da qualidade e que muitas vezes um tratamento simplificado da água pode deixá-la apta para o abastecimento público.

Unidade Aquífera Serra Geral Norte e Sul: Registram-se alguns casos de ocorrência de íon fluoreto em concentrações anômalas, a exemplo de Itambaracá, no norte do estado, que impedem o aproveitamento do aquífero para abastecimento público. Concentrações de ferro total acima do VMP são frequentes. Uma das amostras apresentou valor anômalo de nitratos, podendo ser resultado de contaminação por efluentes sendo considerado um caso acidental e isolado.

1.2.6.4 Qualidade da Água para Irrigação

O uso da água subterrânea para irrigação é limitado pelos efeitos adversos ao solo e plantas, relacionados à presença de substâncias dissolvidas na água, associados à salinidade total da água e ao conteúdo de sódio em solução.

A água com conteúdo elevado de sólidos totais dissolvidos causam “risco de salinidade” sendo tóxicas para as plantas. Concentrações elevadas de sólidos dissolvidos no solo podem causar uma condição de seca fisiológica, na qual, apesar do solo estar úmido, a planta irá murchar, pois as raízes não conseguirão absorver água. A concentração de sólidos totais dissolvidos, às vezes denominada salinidade total, pode ser medida, indiretamente, pelo valor da condutividade elétrica da água, já que estas duas grandezas são, linearmente, dependentes.

A irrigação com água contendo quantidades significativas de Na^+ causa o “risco de sódio”, devido aos efeitos do sódio no solo. O sódio é adsorvido pelas partículas do solo, que se torna duro e compacto quando seco e impermeável à penetração da água. Os solos de textura fina, com alto conteúdo de argila são os mais susceptíveis aos efeitos do sódio. A presença de cálcio e magnésio em altas concentrações no solo ajudam a controlar os efeitos do sódio e a manter as propriedades texturais e estruturais do solo.

Unidade Aquífera Serra Geral Norte e Sul: Apresenta águas com risco de sódio variando de baixo a muito forte (apenas uma amostra) e risco de salinidade de baixo a médio. Exceto em uma das amostras, as demais se mostram adequadas para irrigação.

1.2.6.5 Qualidade da Água Subterrânea para Uso Industrial

O baixo custo de implantação da obra de captação subterrânea e a conservação do espaço físico, já que não se perde área com barragens e estações de tratamento, tornam os recursos hídricos subterrâneos bastante atrativos para abastecimento de indústrias.

A qualidade da água para a indústria é condicionada pela tipologia de indústria. O tipo da água não pode ser um impedimento para sua utilização, pois, mesmo não sendo totalmente apropriado ao processo industrial, pode ser adequado, mediante um tratamento simples. O que se leva em conta é a elevação do custo de produção causada pelo tratamento necessário para a referida adequação.

Desta forma, da combinação das características dos aquíferos paranaenses com o tipo de processo industrial, é possível determinar quais regiões são, mais ou menos, favoráveis às diferentes atividades industriais. No entanto, esta informação é apenas

complementar, uma vez que, como citado, as indústrias têm total condição de submeter a água aos necessários processos de tratamento.

1.2.6.6 Aptidão das Águas da Unidade Aquífera Serra Geral Norte e Sul

As águas do aquífero Serra Geral não possuem misturas com águas de reservatórios subjacentes, além de serem de excelente qualidade para o consumo humano. Outra vantagem é em relação ao custo da captação, as principais entradas de água encontram-se em profundidades inferiores a 200 m e as vazões médias variam de 5 a 30 m³/h. Vale ressaltar que este manancial também é adequado para os procedimentos de irrigação.

1.2.6.7 Poços Outorgados pela Suderhsa

No aquífero Serra Geral Norte estão cadastrados no Banco de Dados de Outorgas da SUDERHSA 4.762 poços.

Tabela 02: Poços outorgados pela SUDHERSA.

Bacias Hidrográficas	Vazão Máxima (m ³ /h)	Vazão média. (m ³ /h)	Vazão mínima (m ³ /h)	Número de Poços
Cinzas	200,0	17,2	0,6	76
Iguaçu (Serra Geral Sul)	250,0	7,3	0,0	1144
Ivai	185,0	9,8	0,0	1288
Paraná 1	61,0	33,0	6,0	3
Paraná 2	27,5	16,3	5,0	2
Paraná 3	190,0	11,0	0,0	1167
Paranapanema 1	150,0	16,7	0,5	29
Paranapanema 2	50,0	14,2	0,7	12
Paranapanema 3	132,0	18,8	1,5	98
Paranapanema 4	80,0	19,8	1,2	20
Piquiri	130,0	10,1	0,0	931
Pirapó	100,0	8,0	0,0	620
Tibagi	172,0	13,9	0,0	516
MÉD. TOTAL (m³/h)	-	10,1	0,0	5906

Fonte: SUDERHSA, 2010.

1.2.7 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. BORGHETTI, N.R.B.; 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/aquífero/caract_hidrogeoq.doc>.

10. SUDERHSA. Cadastro de Recursos Hídricos. Curitiba: SUDERHSA, 2010.
11. 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.
12. 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.