



CPRM
Serviço Geológico do Brasil

MAPA HIDROGEOLÓGICO DO BRASIL AO MILIONÉSIMO

Nota técnica

João Alberto Oliveira Diniz
Adson Brito Monteiro
Robson de Carlo da Silva
Thiago Luiz Feijó de Paula



MAPA HIDROGEOLÓGICO DO BRASIL AO MILIONÉSIMO

Nota Técnica

Autores

João Alberto Oliveira Diniz

Adson Brito Monteiro

Robson de Carlo da Silva

Thiago Luiz Feijó de Paula

Ministério de Minas e Energia

Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Serviço Geológico do Brasil – CPRM

Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial

Departamento de Hidrologia

Divisão de Hidrogeologia e Exploração

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Edison Lobão

Ministro de Estado

SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

Carlos Nogueira da Costa Júnior

Secretário

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

Manoel Barretto da Rocha Neto

Diretor-Presidente

Thales de Queiroz Sampaio

Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial

Roberto Ventura Santos

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

Antônio Carlos Bacelar Nunes

Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento

Eduardo Santa Helena

Diretor de Administração e Finanças

Frederico Cláudio Peixinho

Chefe do Departamento de Hidrologia

José Carlos da Silva

Chefe da Divisão de Hidrogeologia e Exploração

Ernesto von Sperling

Chefe do Departamento de Relações Institucionais e Divulgação

José Márcio Henriques Soares

Chefe da Divisão de Marketing e Divulgação

CPRM - Superintendência Regional de Recife

Av. Sul, 2291 – Bairro Afogados

Recife – PE- 50.770-011

Fax: (81) 3316 1403

Tel: (81) 3316-1400

<http://www.cprm.gov.br>

bibliotecare@cprm.gov.br

Diniz, João Alberto Oliveira

Mapa hidrogeológico do Brasil ao milionésimo: Nota técnica. / João Alberto Oliveira Diniz, Adson Brito Monteiro, Robson de Carlo da Silva, Thiago Luiz Feijó de Paula. - Recife: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2014.

45p. il. 3 mapas, color., 1,78 cm x 91.00 cm. Escala 1:5.000.000

Programa de Cartografia Hidrogeológica.

1. Hidrogeologia 2. Mapa Hidrogeológico. 3. SIG. 4. Brasil. I. Monteiro, Adson Brito, Silva. II. Robson de Carlo da Silva. III. Paula, Thiago Luiz Feijó de. IV. Título

CDD 551.49

Ficha catalográfica elaborada na CPRM-RE por Bibl. Dalvanise da Rocha S. Bezerril

Direitos desta edição: CPRM – Serviço Geológico do Brasil

É permitida a reprodução desta publicação desde que mencionada a fonte.

1. O TERRITÓRIO BRASILEIRO

1.1. Características físicas

O Brasil, com uma área de 8.515.767,049 km² é o maior país da América Latina e o quinto maior do mundo em área territorial. Sua população total supera os 200 milhões de habitantes.

Apresenta grande variabilidade climática, embora na parte de seu território predomine o clima tropical. De acordo com a classificação de Köppen, possui seis subtipos climáticos principais: equatorial, tropical, semiárido, semiárido de altitude, temperado e subtropical, produzindo ambientes que variam desde as florestas equatoriais no norte e regiões semiáridas no nordeste até as florestas temperadas de coníferas no sul e savanas tropicais em sua região central.

Suas temperaturas variam desde as médias mínimas de alguns poucos graus nas regiões sul e sudeste às altas temperaturas, com médias superiores aos 26° C no restante do país. As médias pluviométricas, de maneira geral diminuem de norte para sul, destacando-se grande região de características semiáridas e médias pluviométricas muito baixas, da ordem de 500 mm/ano em sua região nordeste (figura 01).

Apresenta uma estrutura geológica antiga (pré-cambriana e paleozóica), exposta aos agentes de erosão durante longo tempo geológico. Como decorrência disto e também pelo fato de não apresentar diastrofismo orogênico recente de importância, mostra um relevo de altitudes predominantemente modestas, tendo ponto culminante o Pico da Neblina com apenas 2.994 m de altitude.

Genericamente o relevo do Brasil é dividido em três principais formas de relevo: planaltos, planícies e depressões.

Os planaltos ocupam aproximadamente 5.000.000 km² e distribuem-se basicamente em duas grandes áreas, separadas entre si por planícies e platôs: o Planalto das Guianas e o Planalto Brasileiro.

O Planalto das Guianas situa-se na parte norte do país, estendendo-se ainda pela Venezuela, Guiana, Suriname e Guiana Francesa. Parte integrante do escudo da Guianas, apresenta rochas cristalinas muito antigas e desgastadas.

O Planalto Brasileiro é um vasto planalto que se estende por toda a porção central do Brasil, prolongando-se até o nordeste, leste, sudeste e sul do território. É constituído principalmente por terrenos cristalinos, sendo dividido em Planaltos Central e Meridional, Planalto da Borborema, Serras e Planaltos do Leste e do Sudeste, Planalto do Meio Norte e Escudo Sul Riograndense.

As planícies cobrem mais de 3.000.000 de km² do território brasileiro. Dividem-se em três grandes áreas: a Planície Amazônica, a Planície Litorânea e o Pantanal Matogrossense.

As planícies e terras baixas costeiras formam uma longa e estreita faixa litorânea, que vai desde o Amapá até o Rio Grande do Sul, sendo em alguns pontos cortadas pelos planaltos, que avançam em direção ao mar e interrompe a faixa de planície.

O mapa hipsométrico mostrado na figura 02 ilustra as principais feições do relevo do Brasil.

Figura 01: Médias
Pluviométricas
Anuais

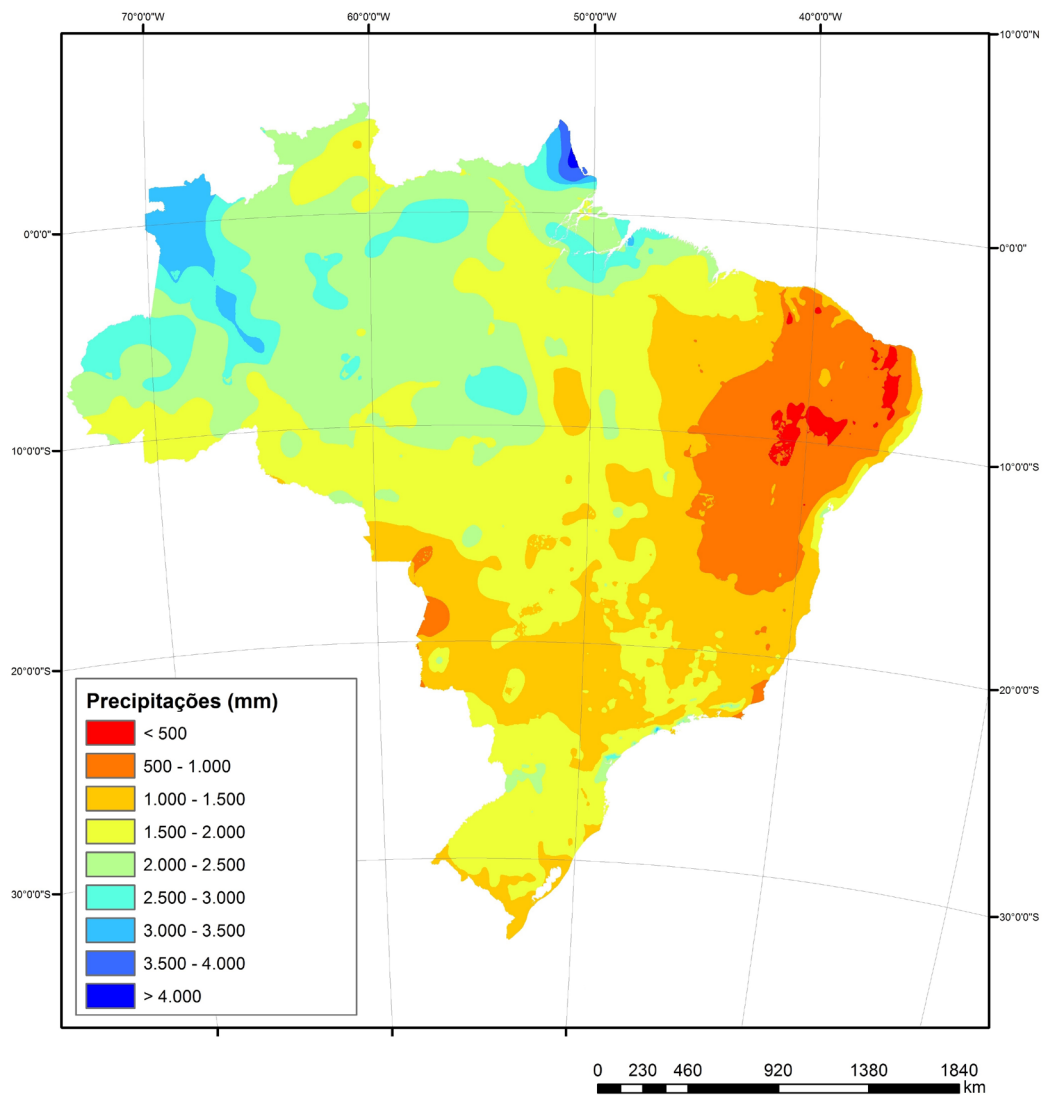
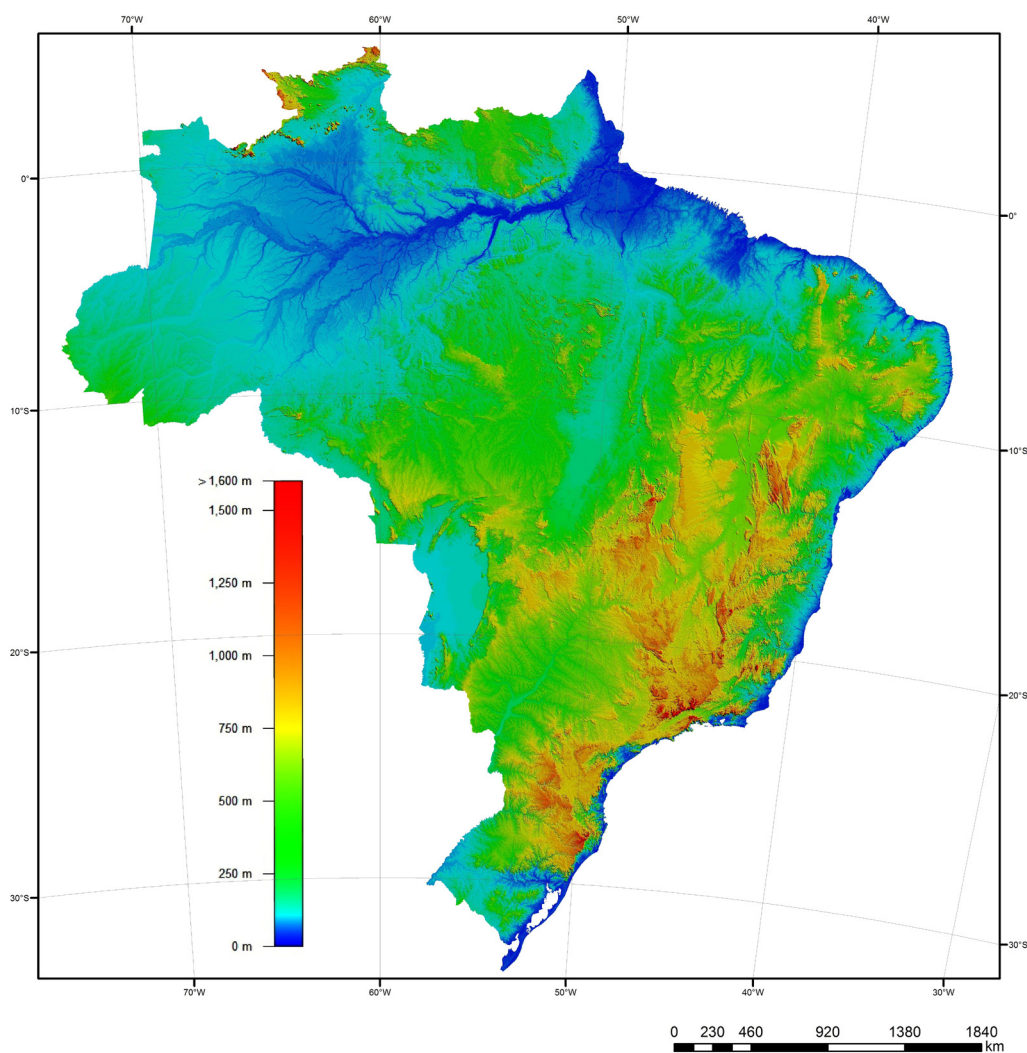


Figura 02:
Hipsometria do
Brasil



1.2. Arcabouço Tectônico e Síntese Geológica

A origem da rocha, o seu grau de consolidação e fraturamento têm um papel primário na presença e no tipo de aquífero presente.

O Brasil possui uma história geológica variada e complexa e para compreendê-la precisamos entender os processos que levaram a formação de nosso continente.

O continente sul-americano tem uma pequena porção na Venezuela que faz parte da Placa do Caribe, enquanto o restante abriga três grandes domínios tectônicos: os Andes, a Plataforma Patagônica e a Plataforma Sul-Americana. Esta última corresponde à fração continental da placa homônima que permaneceu estável e funcionou como antepaís durante a evolução das faixas móveis do Caribe e Andina, ao mesmo tempo em que se processavam a abertura e o desenvolvimento do Atlântico Sul, no Meso-Cenozóico.

Nesta porção se situa o Brasil (figura 03).

No início do Neoproterozoico, a partir de cerca de 900 Ma, com o início da separação do Supercontinente Rodínia, formaram-se riftes e intrusões magmáticas, houve separação de vários continentes e abertura de oceanos entre eles. Nos domínios submarinos, além dos fundos oceânicos, formaram-se arcos insulares e se acumularam depósitos sedimentares, em parte com rochas vulcânicas associadas. Também envolveram microcontinentes ou blocos continentais, que foram retrabalhados por processos termotectônicos no Ciclo Brasileiro.

Os continentes referidos constituíram os crátons Amazônico, São Francisco, São Luís e Paraná, este último oculto sob a Bacia Sedimentar homônima.

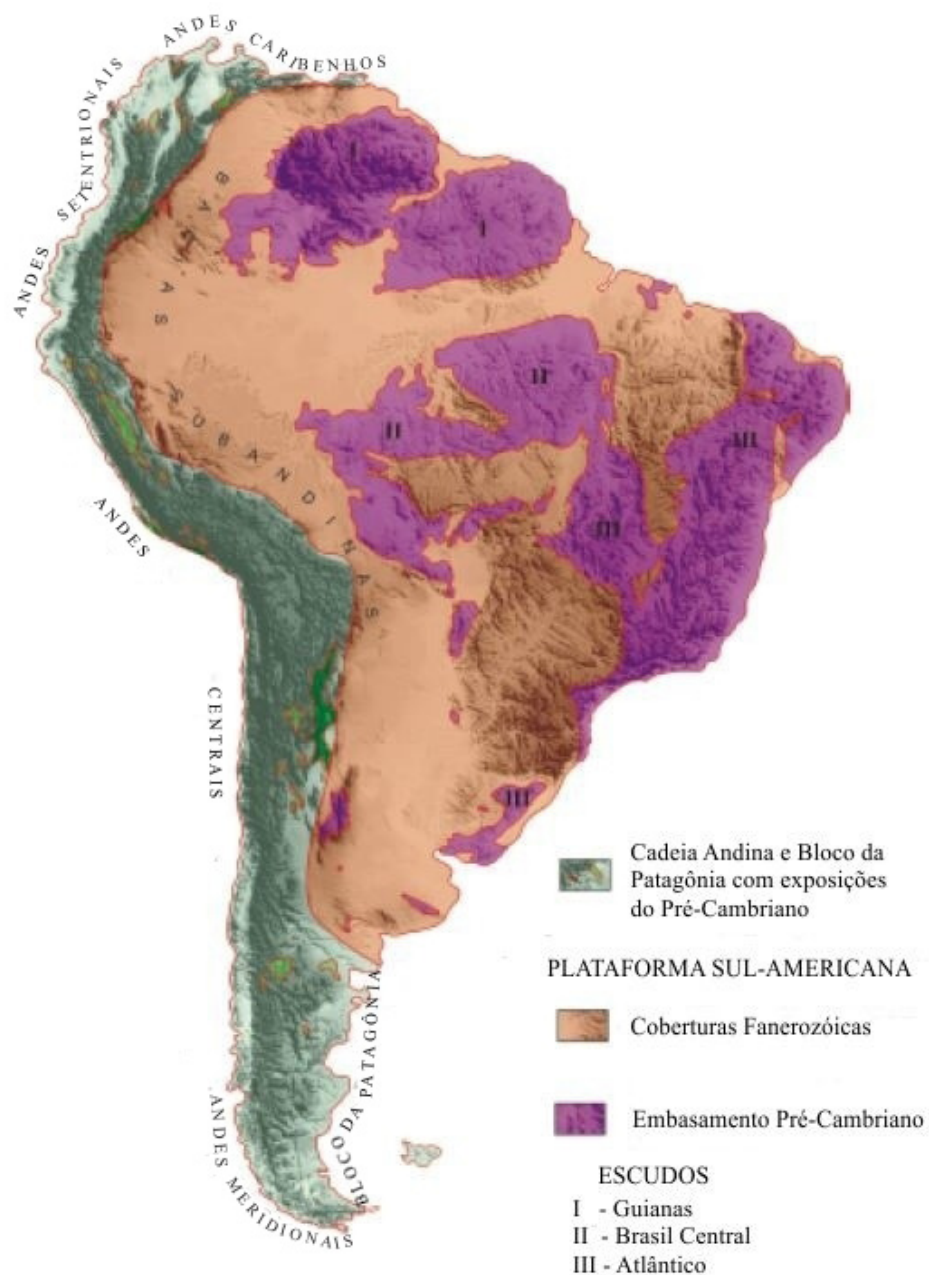
Entre os crátons existiram oceanos, que hoje são designados (1) Borborema, entre os crátons de São Luís de um lado, e do São Francisco do outro; (2) Goiano ou Climene, entre os crátons Amazônico de um lado, e do São Francisco e do Paraná do outro; e (3) Adamastor, entre os crátons São Francisco e Paraná de um lado, e Congo e Kalahari do outro.

Nos sistemas aparecem rochas sedimentares, vulcânicas, porções de arcos insulares e continentais precoces, que foram agregadas e sofreram metamorfismo, deformação, orogênese e injeção de corpos granitoides em dois ou três eventos orogênicos. Extensas porções do embasamento e microcontinentes foram envolvidas, sofrendo retrabalhamento e sendo genericamente designadas como Maciços. O final das atividades do Ciclo Brasileiro deu-se no Ordoviciano Superior, que formou assim a compartimentação geotectônica do território brasileiro.

Visando facilitar a compreensão da geologia de um país de dimensões continentais como o Brasil, e levando em conta motivos de ordem expositiva, Almeida *et al.* (1977, 1981) aplicaram para o Brasil o conceito de províncias estruturais, identificando 10 maiores províncias, agrupando conjuntamente largas regiões geológicas naturais que mostram/apresentam feições estratigráficas, tectônicas, magmáticas e metamórficas próprias e diferentes das apresentadas pelas províncias adjacentes.

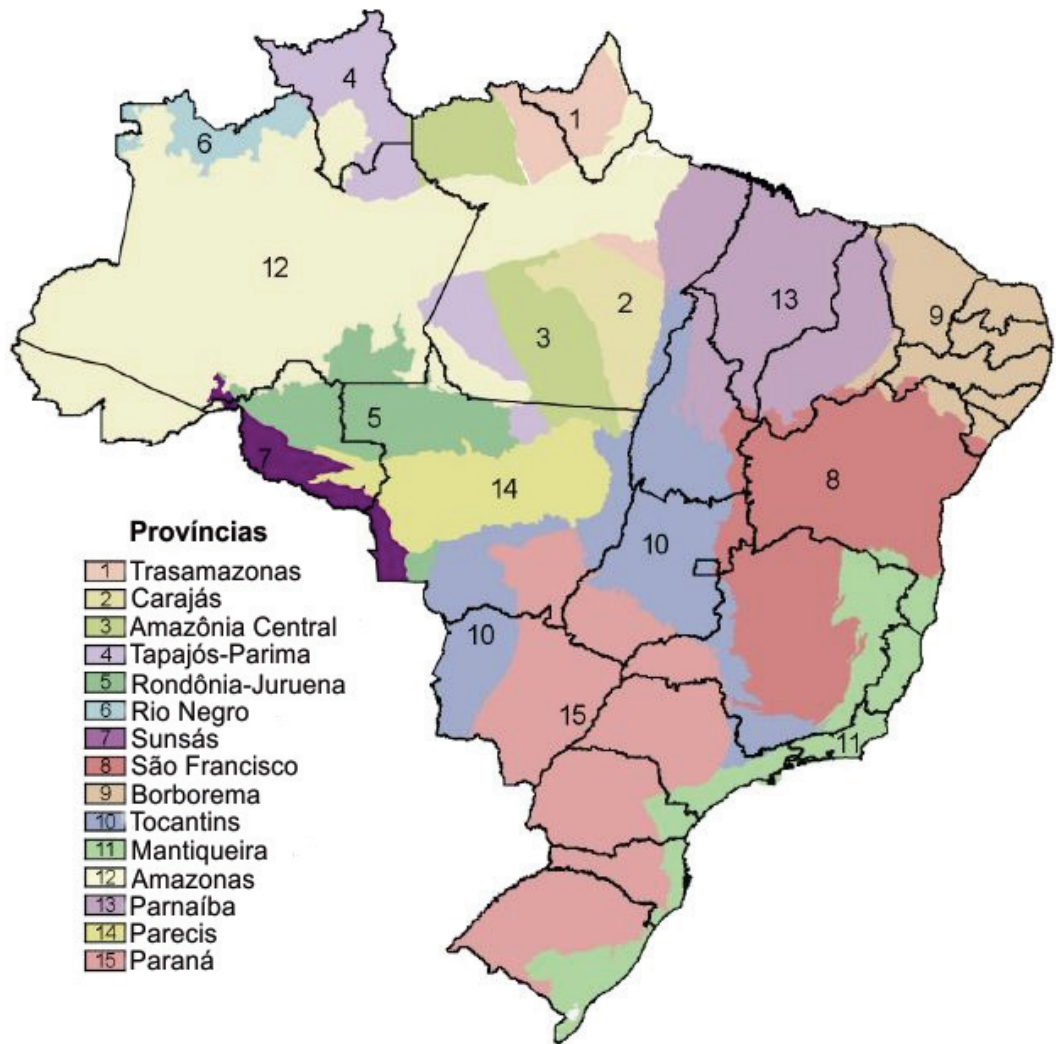
Essa proposta de sistematização foi modificada em função de novos conhecimentos adquiridos sobre a geologia do Brasil sendo, neste trabalho, adotada a proposta apresentada pelo Serviço Geológico do Brasil (Santos 2003, Schobbenhaus e Neves 2003). De acordo com essa proposta, o Brasil é dividido em quinze províncias. O acréscimo ocorre devido ao desmembramento da Província Rio Branco em três e da Província Tapajós em quatro, e ao acréscimo da Província Parecis, correspondente à bacia homônima (figura 04).

Figura 03. A
Plataforma
Sul Americana
(CPRM, 2003).



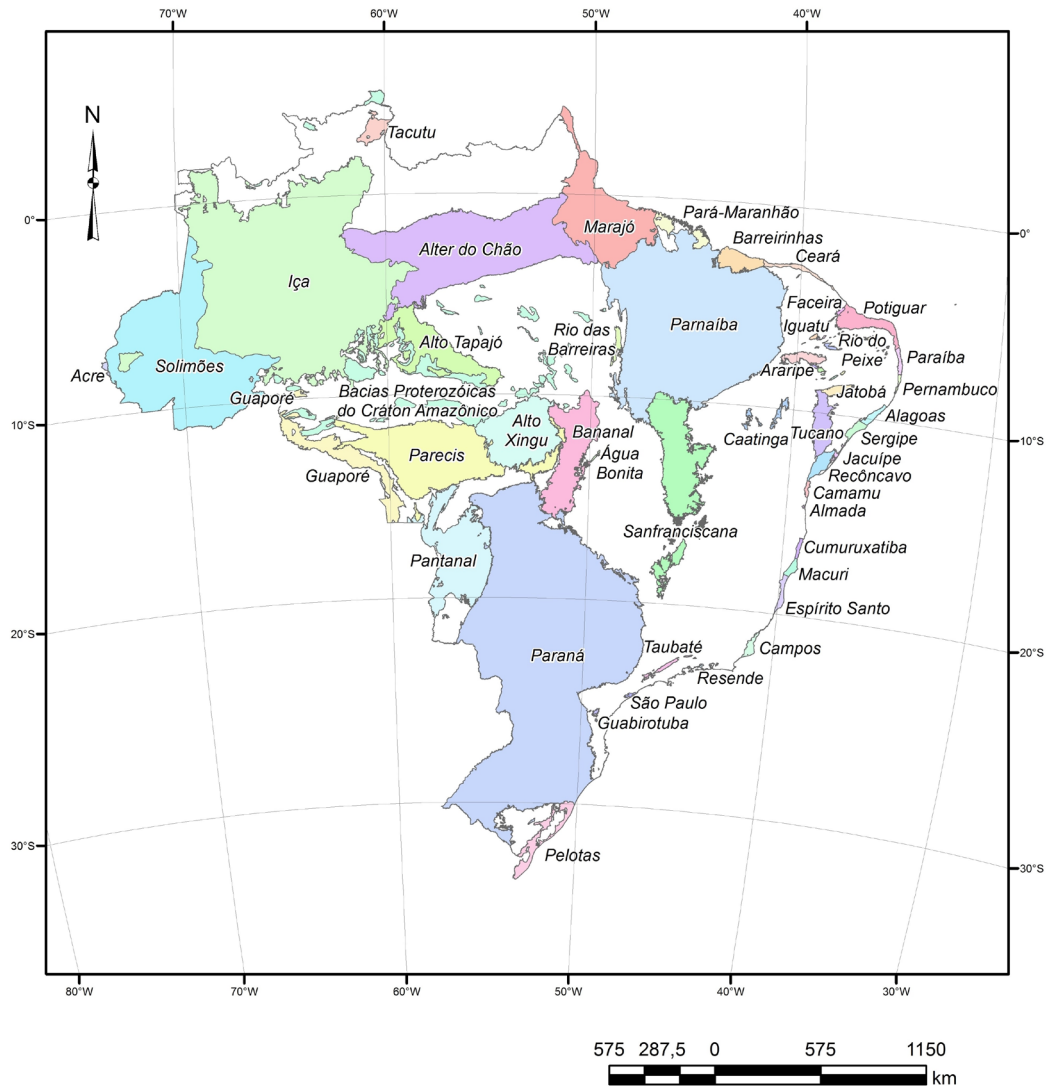
Quatro destas Províncias correspondem às áreas das grandes bacias paleozóicas, do Parnaíba, do Paraná, dos Parecis e do Amazonas (incluindo as bacias do Solimões e do Acre). No total, a área continental ocupada por todas as Bacias Sedimentares do Brasil totalizam 4.898.050 km², dos quais 4.513.450 km² (70%) são interiores e 384 600 km² são costeiras.

Figura 04: As
Províncias
Estruturais
Brasileiras
(CPRM, 2007)



As principais Bacias Interiores do Brasil (figura 05) são a Bacia do Acre, do Solimões, do Amazonas, dos Parecis, do Alto Tapajós, do Tacutu, do Parnaíba, do Paraná, de Bauru, do Araripe, do Rio do Peixe e a Bacia Sanfranciscana.

Figura 05:
Principais Bacias
e Coberturas
Sedimentares do
Brasil



Já as Bacias da Margem Continental são: Bacia de Pelotas, Santos, Campos, Espírito Santo, Jacuípe, Sergipe/Alagoas, Recôncavo-Tucano-Jatobá, Pernambuco/Paraíba, Potiguar, Ceará, Barreirinhas, Pará/Maranhão, Foz do Amazonas, Tacutu, Cassiporé, Marajó, Bragança/São Luís, Jacaúnas e Taubaté.

Ocorrem ainda, de forma extensiva, os depósitos Cenozóicos, depositados tanto em bacias sedimentares como na forma de coberturas diversas, isoladas, sem configurar verdadeiramente uma bacia, sob os pontos de vista de extensão superficial e espessura.

Destacam-se a sub-bacia do Alto Xingu, as formações Solimões e Içá, Boa Vista, Pantanal, Araguaia, e Barreiras.

As rochas fraturadas ocorrem amplamente nas zonas cratônicas do Amazonas (Províncias Transamazonas, Carajás, Amazônia Central, Tapajós-Parima, Rio Negro e Sunsás), do São Francisco, dos Parecis e do Paraná e nas Províncias orogênicas da Borborema, Tocantins e Mantiqueira.

Nas zonas cratônicas ocorrem rochas plutônicas, gnaisses e migmatitos TTG e sequências *greenstone belts*, enquanto nas regiões orogênicas predominam as rochas metassedimentares de médio a alto grau e corpos intrusivos (xistos, gnaisses, migmatitos e granitos).

Além destas, algumas Bacias Neoproterozóicas e Cambro-Ordovicianas (p.ex., grupos Alto Paraguai, Bambuí, Chapada Diamantina, Paranoá, Santo Onofre, Estância, Rio Pardo, Jaibaras, etc.), apesar de frequentemente exibirem estruturas sedimentares primárias e baixo grau metamórfico, apresentam características hidráulicas e hidrogeológicas que as enquadram como predominantemente fraturadas.

2. O PROJETO

2.1. Histórico

Os trabalhos relativos à confecção do Mapa Hidrogeológico do Brasil em ambiente SIG e na escala ao milionésimo, tiveram origem no Mapa de Domínios e Subdomínios Hidrogeológicos do Brasil, elaborado no ano de 2007, também em ambiente SIG e na escala de 1:2.500.000.

Os dois mapas fazem parte de um amplo projeto, denominado de SIG de Disponibilidade Hídrica do Brasil, que tem como objetivo o desenvolvimento de um Sistema de Informações Geográficas no país, na temática de recursos hídricos.

A sua primeira etapa de elaboração (Mapa de Domínios e Subdomínios Hidrogeológicos) foi concluída no ano de 2007, sendo em seguida, a partir do final do ano de 2008, iniciados os trabalhos de elaboração do Mapa Hidrogeológico do Brasil.

O trabalho foi desenvolvido em várias fases, sob a responsabilidade da Divisão de Hidrogeologia e Exploração – DHIEXP/ Departamento de Hidrologia - DEHID, da Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial – DHT.

2.1.1. Primeira Fase (2008 – 2011)

Coordenação Geral - Luiz Fernando Costa Bomfim

Equipe de Execução:

- » Adson Brito Monteiro – Residência de Teresina – PI/MA
- » Amilton de Castro Cardoso – Superintendência Regional de Salvador – BA/SE
- » Andréa Segura Franzini - Superintendência Regional de São Paulo – SP/MS/PR
- » Guilherme Santos/Carlos Aguiar - Superintendência Regional de Manaus – AM/RR
- » Hélder Tibério - Superintendência Regional de Belém – PA/AP
- » João Alberto Oliveira Diniz - Superintendência Regional de Recife – PE/AL/PB/RN
- » Lúcio Martins - Superintendência Regional de Belo Horizonte – MG/ES/RJ
- » Luiz Antônio da Costa Pereira/Homero Reis – RO/AC
- » Matheus Marcilli - Superintendência Regional de Porto Alegre – RS/SC
- » Thiago Luiz Feijó de Paula - Superintendência Regional de Goiania – GO/DF/MT/TO
- » Rafael Rolim de Sousa– Residência de Fortaleza – CE

Nesta fase, o projeto contou ainda com consultores internos e uma consultoria externa, exercida pelo hidrogeólogo Albert Mente.

As coordenadorias de geoprocessamento foram exercidas por Patrícia Durringer Jacques e Elizete Domingues Salvador.

Das 46 (quarenta e seis) folhas que compõem o mosaico do Brasil ao milionésimo, foram confeccionadas 13 (treze), chamadas de folhas protótipos: SA 20 - Manaus, SA 22 – Belém, SB 23 – Rio São Francisco, SB 24 – Jaguaribe, SC 24 – Aracaju, SD 20 – Guaporé, SD 24 – Salvador, SE 22 – Goiania, SE 23 – Belo Horizonte, SF 22 – Paranapanema, SH – Porto Alegre.

2.1.2. Segunda Fase (2011 – 2012)

Coordenação Geral - Marcos Alexandre de Freitas

Coordenadores Adjuntos: João Alberto Oliveira Diniz e José Luiz Flores Machado

Equipe de Execução:

- » Adson Brito Monteiro – Superintendência Regional do Recife
- » Carlos José Bezerra de Aguiar - Superintendência Regional de Manaus
- » Diogo Rodrigues Andrade da Silva - Superintendência Regional de Porto Alegre
- » Luiz Antônio Pereira – Residência de Porto Velho
- » Manoel Júlio da Trindade Gomes Galvão - Superintendência Regional do Recife
- » Paulo Pontes Araújo - Superintendência Regional de Belém
- » Rafael Rolim de Souza – Residência de Fortaleza
- » Thiago Luiz Feijó de Paula - Superintendência Regional de Goiânia

A consultoria externa, ainda sob a responsabilidade de Albert Mente, perdurou até o final do ano de 2011, sendo o contrato então rescindido. A coordenaria de geoprocessamento foi ocupada por Elizete Domingues Salvador e Thiago Luiz Feijó de Paula.

Foi concluída a cartografia das 33 (trinta e três) folhas restantes, sendo então o projeto paralisado, em virtude de discussões internas sobre a sistemática adotada na sua elaboração, que provocaram uma importante mudança metodológica.

Considerou-se que os produtos gerados tinham uma conotação geológica muito forte, gerando produtos que mais se assemelhavam a mapas geológicos tradicionais, com a inserção de algumas poucas informações hidrogeológicas.

Após várias pesquisas sobre metodologias de confecção de mapas hidrogeológicos, tomando como base principalmente os trabalhos da IAH - International Association of Hydrogeologists (1995), da UNESCO (1983) e da SUDENE (1969), começou a ser desenvolvida uma metodologia própria a ser adotada dentro do SGB.

Os passos iniciais na nova metodologia foram esboçados na elaboração do Mapa Hidrogeológico da Amazônia Legal brasileira, na escala 1:2500.000.

A coordenação de geoprocessamento passou a ser exercida por Gabriela Simão e Robson Carlo da Silva, contando com o apoio do Laboratório de Geoprocessamento da Superintendência Regional do Recife, com os técnicos Ana Paula Rangel Jacques e Janaína Marise França de Araújo.

2.1.3. Terceira Fase (2012 – 2014)

Coordenação Geral - João Alberto Oliveira Diniz

Equipe de Execução:

- » Adson Brito Monteiro - Superintendência Regional do Recife
- » Amilton de Castro Cardoso - Superintendência Regional de Salvador
- » Andréa Segura Franzini - Superintendência Regional de São Paulo
- » José Luiz Flores Machado - Superintendência Regional de Porto Alegre
- » Maria Antonieta Alcântara Mourão – DEHID – Departamento de Hidrologia
- » Oderson Antônio de Souza Filho - Superintendência Regional de São Paulo
- » Robério Boto de Aguiar – Residência de Fortaleza
- » Roberto Kirchheim - Superintendência Regional de Porto Alegre
- » Thiago Luiz Feijó de Paula – DEHID – Departamento de Hidrologia

Com a consolidação da nova metodologia e dispondo de base hidrogeológica de boa qualidade oriunda das fases anteriores, que forneceu o arcabouço para a continuidade das ações, o trabalho ganhou novo impulso.

Partiu-se para a estruturação e normatização desta metodologia, sendo elaborado um manual de cartografia hidrogeológica, contendo aspectos teóricos e práticos a serem adotados. Exemplos de outros países, como os Mapas Hidrogeológico da Austrália (1987) e da SADC – Comunidade para o Desenvolvimento da África Austral (2009) foram amplamente debatidos, visando a consolidação de um conhecimento prático sobre o assunto. Tratou-se ainda no Manual da estruturação de um Banco de Dados Hidrogeológicos e sobre o preenchimento dos campos de atributos hidrogeológicos utilizados na elaboração do mapa.

Foi criado um banco de dados espaciais para o Projeto de Cartografia Hidrogeológica do Brasil, planejado e elaborado com o objetivo de facilitar, padronizar e acelerar o preenchimento dos atributos relativos ao tema hidrogeologia. Sua estrutura permite uma fácil e rápida manipulação dos dados nele contidos, bem como boa agilidade no armazenamento e transferências dos mesmos. O tipo de banco de dados espaciais utilizado no referido projeto foi o File Geodatabase, desenvolvido pela empresa ESRI e disponível nos pacotes de aplicativos do Arcgis 10.2, programa utilizado na realização do projeto.

Esse geodatabase é composto por várias Feature Dataset, grupo de classe de feições armazenadas em conjunto, que compartilham a mesma referência espacial. Essas, por sua vez, agregam as Feature Class, que contém as feições geográficas com o mesmo tipo de geometria (ponto, linha ou polígono), os mesmos atributos e a mesma referência espacial; no caso do MHB foi utilizado o datum WGS 84 e coordenadas geográficas.

3. O MAPA HIDROGEOLÓGICO DO BRASIL

3.1. Conceitos Básicos

Mapas hidrogeológicos ou mapas de águas subterrâneas são representações gráficas e refletem o estado da arte no conhecimento hidrogeológico evidenciando as exigências específicas do seu uso com vistas ao atendimento ao seu público alvo. Tratam da ocorrência e distribuição destes recursos dentro de uma determinada área ou região, sendo basicamente direcionados a:

- Fornecer informações sobre a ocorrência e distribuição das águas subterrâneas;
- Fornecer a base de compreensão entre as águas subterrâneas e o ambiente geológico

De uma maneira geral, dois grupos distintos de mapas hidrogeológicos podem ser produzidos, correspondendo aos papéis e usos a que se destinam:

- » **Mapas Hidrogeológicos Gerais e Mapas de Sistemas de Águas Subterrâneas** - Destinados ao reconhecimento ou desenvolvimento da compreensão científica e são instrumentos adequados para a introdução da importância dos recursos hídricos subterrâneos dentro da esfera do desenvolvimento social e político;
- » **Mapas de Parâmetros e Mapas de Objetivos Específicos** - Formam a base do desenvolvimento, planejamento, engenharia e gestão econômica. Podem diferir muito em conteúdo e na forma de representação, de acordo com seus objetivos.

O Mapa Hidrogeológico do Brasil ao milionésimo, ora apresentado é um mapa hidrogeológico geral, uma vez que se pretende incrementar o conhecimento e a compreensão da hidrogeologia nacional.

Mostra uma representação visual das condições de ocorrência das águas subterrâneas no Brasil e, devido a sua escala, presta-se como ponto de partida para investigações mais detalhadas em cada região do país, mostrando dados e lacunas de conhecimento.

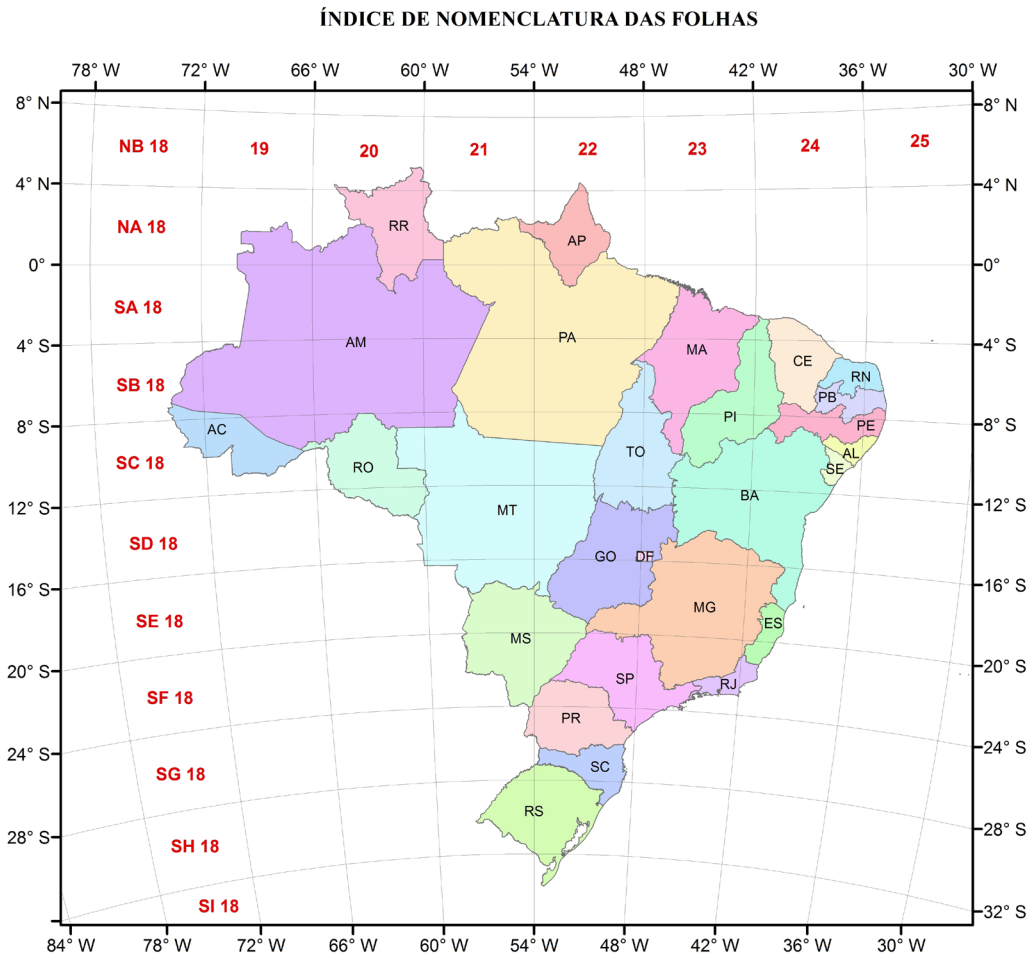
Ressalta-se a importância de reforçar que este mapa não tem o objetivo de substituir técnicas, se prestar como instrumento de locação de poços ou como fonte de investigação de locais ou situações específicas.

Tenciona servir de base para hidrogeólogos, responsáveis por recursos hídricos, tomadores de decisões, políticos e o público em geral, pela representação simultânea das principais características gerais dos grandes aquíferos do país, servindo como instrumento de planejamento e gestão.

O Brasil ocupa uma área de 8.515.767 km² e encontra-se completamente mapeado na escala de 1:1.000.000 pelo SGB (2003). O grande volume de informações reunidas, dispersas nas diversas folhas do Mapa do Mundo ao milionésimo que cobrem a nação (figura 06), estão disponibilizadas em um conjunto de CD-ROMs, cada qual constituindo um sistema de informações geográficas (SIG) próprio.

O Mapa Hidrogeológico do Brasil foi elaborado tomando como base as informações contidas em cada uma destas folhas, agrupadas em um único layout de exibição.

Figura 06:
Distribuição
das cartas ao
milionésimo no
Brasil. Disponível
em www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap6-cartografia.pdf



Representa, portanto, uma síntese das informações hidrogeológicas atualmente disponíveis, com a finalidade de oferecer um panorama da localização, distribuição e potencialidades dos aquíferos no território nacional. Essas potencialidades aqui referidas dizem respeito às vazões instantâneas obtidas nos teste de bombeamento e não refletem reservas de águas subterrâneas.

O mapa obedece estritamente a Legenda Internacional para Mapas Hidrogeológicos, da UNESCO (1970) e a classificação proposta por STRUCKMEIER & MARGAT (1995), contudo com algumas simplificações e adaptações adequadas à escala adotada e a metodologia utilizada.

3.2. Composição

A metodologia foi concebida para servir como documento básico para a planificação da utilização dos recursos hídricos subterrâneos em todo o Brasil. Por essa razão, e considerando as dimensões continentais envolvidas, fez-se necessário que o trabalho fosse caracterizado pela uniformidade e elaborado de acordo com os padrões internacionais de cartografia hidrogeológica, contudo, adaptados às nossas condições e finalidades e escala de trabalho.

O mapa é constituído por cinco bases temáticas principais (Diniz, et. all, 2014):

- » Base planimétrica;
- » Base geológica;
- » Base de poços representativos;
- » Base piezométrica;
- » Base hidrológica.

3.2.1. Base Planimétrica

Obtida a partir da utilização da base vetorial contínua - 1: 1.000.000 – BCIM do IBGE (2010), gerada a partir de integração da vetorização das folhas da Carta Internacional do Mundo ao milionésimo – (CIM) e estruturada em categorias de informação: Hidrografia, Relevo, Localidades, Limites, Sistema de Transportes, Estrutura Econômica, Energia e Comunicações, Pontos de Referência e Vegetação. Na representação do relevo procurou-se não utilizar curvas de nível, haja vista o erro normalmente constatado, principalmente se utilizadas para elaboração de superfícies potenciométricas, utilizando-se preferencialmente o Modelo Digital do Terreno (MDT) para sua obtenção.

3.2.2. Base Geológica

Embora, conforme já referido, dispuséssemos de uma base geológica definida e em escala adequada, proveniente do GIS BRASIL da CPRM (2003, op. cit.), a mesma precisou ser simplificada, pela conversão das unidades geológicas em outros entes que ressaltassem suas características de transmissão e armazenamento de águas subterrâneas, procedendo da seguinte forma (Struckmeir & Margat, op.cit):

- » Individualizando corpos contínuos ou descontínuos, conforme suas características geométricas e formas de ocorrência das águas subterrâneas;
- » Classificando os diferentes tipos litológicos de acordo com as características de fluxo dominantes;

Assim, foram definidas três classes taxonômicas para classificação de aquíferos, classificadas hierarquicamente da mais ampla (a mais abrangente) a menor (a fundamental):

- » **Unidades Hidrolíticas**, definida pelo agrupamento de unidades geológicas que armazenam e transmitem águas subterrâneas de forma semelhante. Dentro desta classificação teríamos as unidades porosas ou granulares, cársticas e fraturadas. As unidades não aquíferas ocorrem englobando qualquer uma das

unidades anteriores, quando as mesmas não se prestam à condução ou armazenamento de águas subterrâneas;

- » **Sistemas Aquíferos**, originados a partir da união de dois ou mais aquíferos, criando um domínio espacial limitado em superfície e em profundidade, relacionados ou não entre si, mas que constituem uma unidade prática para a investigação ou exploração;
- » **Aquíferos**, definidos a partir de uma unidade estratigráfica estabelecida, acrescida do conhecimento de sua geometria, forma de ocorrência e características hidrodinâmicas gerais, além da descrição e registro de suas características morfológicas. Sofre grandes mudanças de classificação hidrogeológica, em função de frequentes variações em suas produtividades;
- » **Unidades Hidroestratigráficas**, agregando formações geológicas ou partes delas, que armazenam e transmitem águas subterrâneas de forma semelhante e com produtividades da mesma ordem de grandeza, ou seja, considerando os aquíferos nos locais onde os mesmos não sofrem variações em suas produtividades.

O Mapa Hidrogeológico do Brasil é representado por um conjunto de Unidades Hidroestratigráficas, obtidas a partir da investigação sistemática de cada aquífero existente, anotando suas variações espaciais de produtividades e gerando novos polígonos hidrogeológicos, representantes de cada feição local das unidades mapeadas.

Como resultado do trabalho de simplificação da geologia, as 2.338 unidades litológicas representadas e definidas no GIS BRASIL (op. cit.), foram reduzidas a apenas 164 unidades aflorantes representadas no mapa. Outras 38 unidades, não aflorantes e portanto não cartografadas na face do mapa, também se encontram representadas, perfazendo um total de 202 unidades hidroestratigráficas.

A utilização destas unidades, juntamente com a eliminação de formações geológicas insignificantes do ponto de vista hidrogeológico e que apenas “sujam” a face do mapa, melhoram sobremaneira a face temática do mesmo (figura 07).

Na figura 07(a), nota-se o afloramento de duas unidades estratigráficas (NQdl –

Coberturas Detrito-Lateríticas e P12f - Formação Pedra de Fogo), sendo a primeira sem qualquer expressão hidrogeológica. Esta unidade foi então suprimida da face do mapa, resultando na figura 07(b), facilitando a leitura e compreensão da feição hidrogeológica que se quer ressaltar.

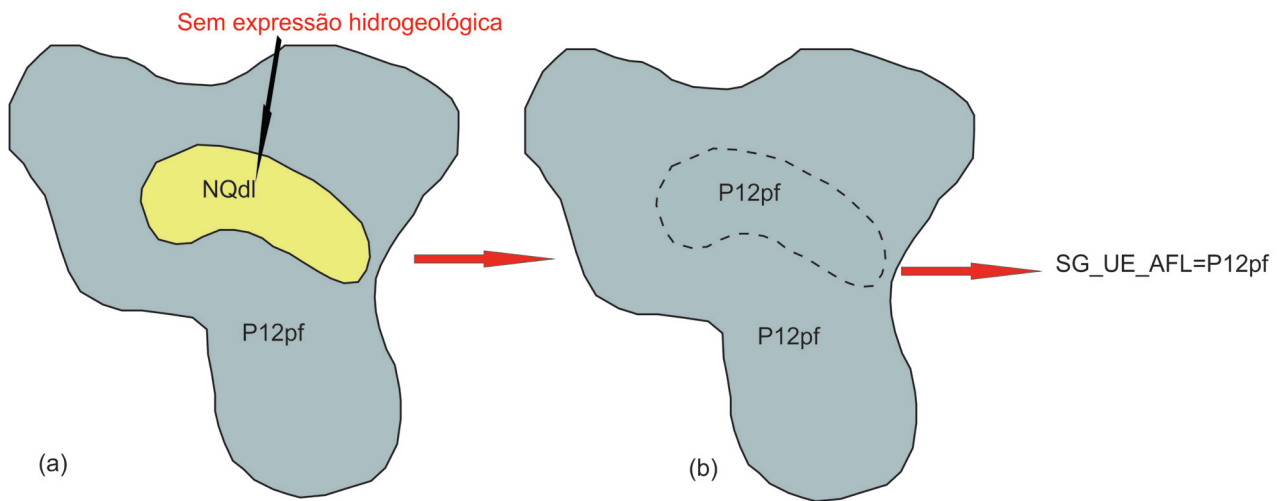
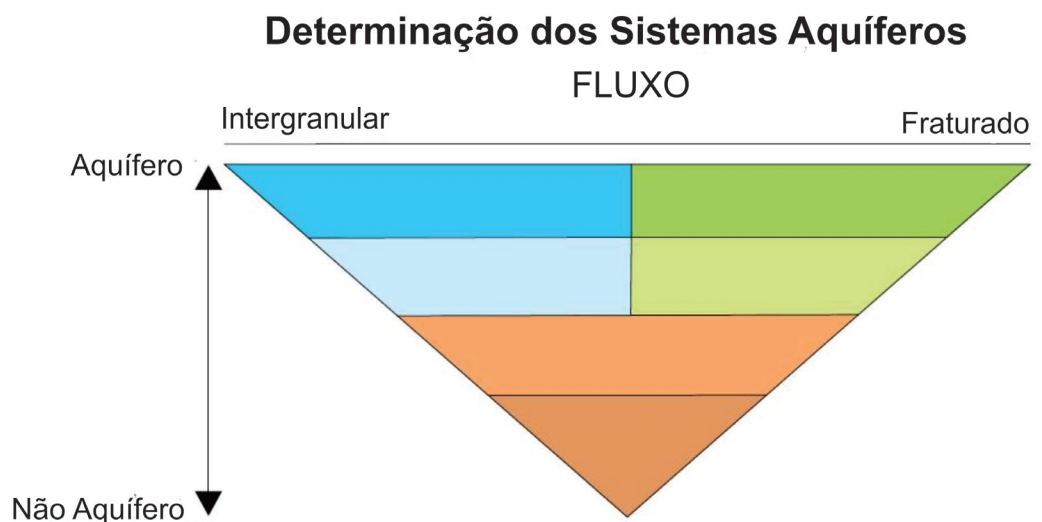


Figura 07: Simplificação da Geologia (Manual de Cartografia Hidrogeológica. CPRM, inédito)

As camadas aflorantes que aparecem no mapa, relacionadas a aquíferos ou a não aquíferos, foram representadas por determinada cor, de acordo com a legenda internacional (op. cit.). Os aquíferos foram diferenciados em granulares e fraturados. Os *aquíferos granulares* são indicados com a cor azul e os *aquíferos cársticos e fraturados* com a cor verde. Em ambos os casos, a cor (azul ou verde) escura é reservada para os aquíferos de grande extensão e altamente produtivos. A cor (azul ou verde) mais clara pode ser utilizada para outros aquíferos menos produtivos. Não aquíferos (englobando qualquer uma da unidade acima) são indicados com a cor marrom (figura 08).

Figura 08:
Legenda
Internacional de
Cores para Mapas
Hidrogeológicos
(UNESCO, op.
cit.).



Visando simplificar mais ainda a face do mapa são dispensados símbolos ou ornamentos para diferenciações litológicas, exceção feita no caso dos cársticos que, por exibirem a mesma coloração dos aquíferos fraturados, recebem a ornamentação consagrada mundialmente (forma de “tijolos”).

Como exemplo do uso desta metodologia, se mostra na figura 09 a face da folha SC 24 – Aracaju, conforme mapa geológico disponível no GIS BRASIL e a mesma folha, mostrando apenas as unidades hidroestratigráficas, de acordo com essa metodologia.

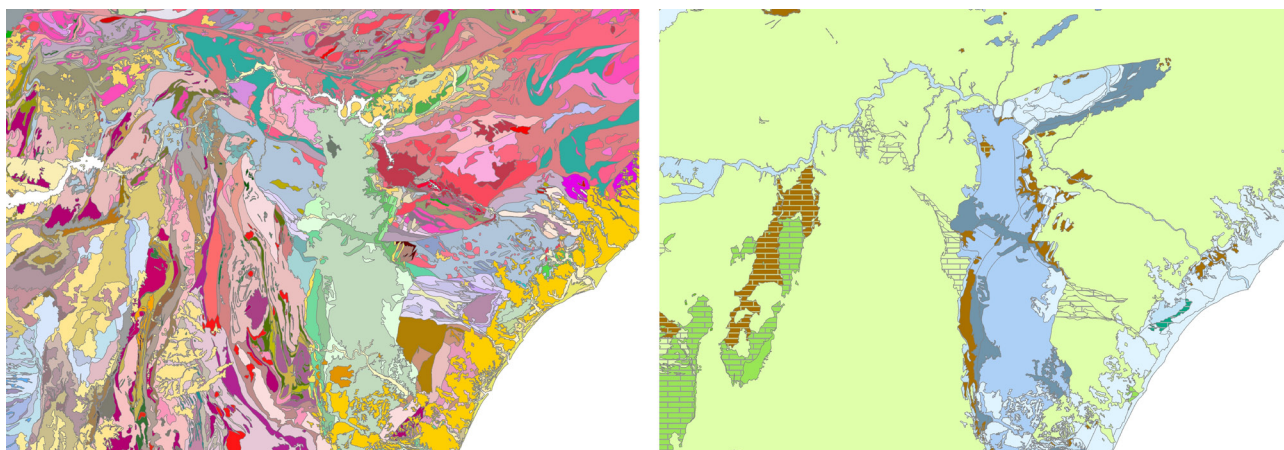


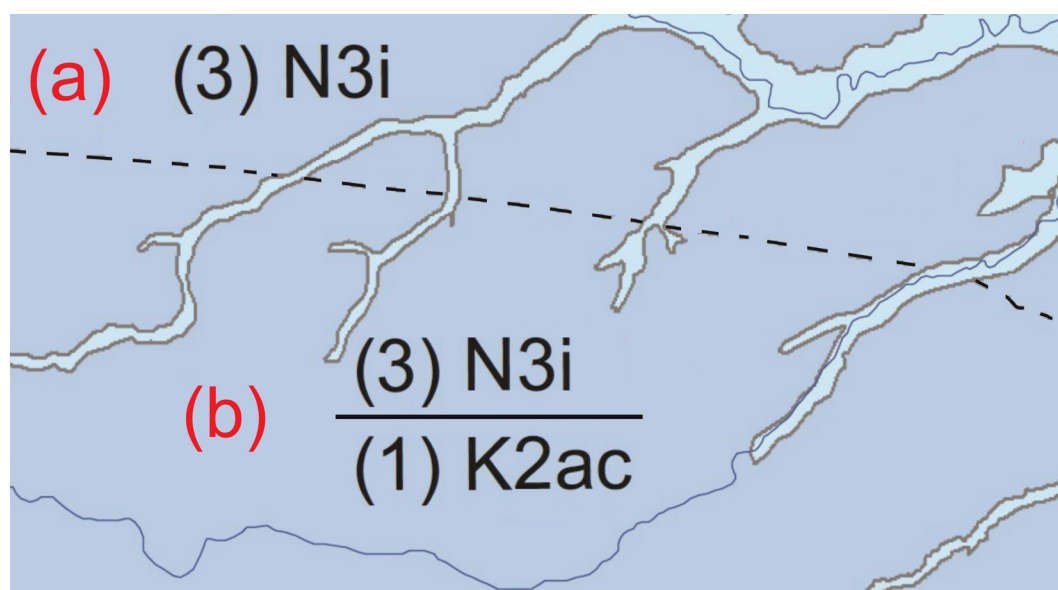
Figura 09: Folha Aracaju, mostrando no lado esquerdo mapa geológico, conforme o GIS BRASIL e no lado direito, mapa hidrogeológico, de acordo com a metodologia aplicada neste trabalho.

Cada polígono representante de uma unidade aquífera, além da cor recebeu também a inclusão da sigla da unidade geológica, visando diferencia-la das demais. Por exemplo, no polígono correspondente à Formação Iça no Mapa Hidrogeológico da Amazônia Legal foi inserida a cor azul e a sigla N3i, indicando tratar-se da Formação Iça, Pleistoceno da Bacia Amazônica. Além disso, caso haja superposição de aquíferos, será inserida a sigla do aquífero subjacente mais produtivo.

No exemplo da figura 10 se mostram os dois casos:

- a. A Formação Iça ocorrendo isoladamente, e;
- b. A Formação Iça ocorrendo sobre a Formação Alter do Chão, de idade Cretácica, aquífero bem mais produtivo. Neste caso se representa na forma N3i/K2ac.

Figura 10: Formas de representação das unidades aquíferas em mapas, ocorrendo isoladamente (caso a) ou como uma sequência de aquíferos superpostos (caso b).



Observa-se, no caso (a), apenas a sigla da unidade aflorante por não haver subjacente de importância. No caso (b), além da sigla da unidade aflorante, encontra-se representada também a sigla da unidade subjacente. Por “aquífero subjacente”, compreende-se aquele que *fornece a maior vazão de água da melhor qualidade e em menor profundidade*. A linha tracejada representa o limite inferior da unidade subjacente.

3.2.3. Base de Poços

É de fundamental importância ressaltar que um conjunto de dados de poços de boa qualidade é essencial para a elaboração de mapas hidrogeológicos, uma vez que para se atribuir níveis de produtividade para áreas litológicas discretas, i.e., os polígonos litológicos, os dados devem ser fornecidos pelas captações existentes.

Ainda que as informações devam ser as mais completas possíveis, o simples conhecimento da existência de captações em determinadas áreas já fornecem as informações para a criação de camadas temáticas, como densidade de poços, além de permitir o planejamento e gerenciamento destes recursos no local. Além disso, informações isoladas ou conjuntas de profundidade, aquífero captado, condutividade elétrica (CE)/sólidos totais dissolvidos (STD), níveis de água, vazão de exploração, etc., fornecem informações cruciais para os trabalhos.

A base de dados utilizada para a elaboração do Mapa Hidrogeológico do Brasil ao milionésimo foi o SIAGAS – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas, banco de dados desenvolvido no SGB – Serviço Geológico do Brasil, composto por uma base permanentemente atualizada, além de módulos capazes de realizar consultas, pesquisas, extração e geração de relatórios. Facilita a gestão adequada da informação hidrogeológica e a sua integração com outros sistemas.

Através da Moção N.º. 038, de 7 de dezembro de 2006, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH, recomendou a adoção do SIAGAS, pelos órgãos gestores estaduais, Secretarias dos Governos Estaduais, Agência Nacional de Águas

- ANA e Usuários dos Recursos Hídricos Subterrâneos, como base nacional compartilhada para armazenagem, manuseio, intercâmbio e difusão de informações sobre águas subterrâneas.

A Moção Nº. 039 de 07 dezembro de 2006 do CNRH recomenda a integração entre os sistemas SIAGAS – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas, SNI-RH – Sistema Nacional de Informações Sobre Recursos Hídricos, SINIMA – Sistema Nacional de Informações Sobre o Meio Ambiente, SIGHIDRO – Banco de Dados das Fontes Hidrominerais do Brasil, SNIS – Sistema de Informações Sobre Saneamento e SIPNRH – Sistema de Informações do Plano Nacional de Recursos Hídricos.

A tabela 01 abaixo resume as informações disponíveis atualmente no SIAGAS, enquanto a tabela 02 mostra os quantitativos de informações existentes por Região e por Estado, bem como dados estatísticos de sua utilização.

INFORMAÇÕES BÁSICAS DISPONIBILIZADAS NO SIAGAS WEB						
Vazão (m ³ /h)	Vazão Específica (m ³ /h/m)	Profundidade (m)	Aquífero captado	Condutividade Elétrica (µS/cm)	Transmissividade (m ² /s)	Tabelas de teste de bombeamento
125.961	98.427	201.494	107.317	107.748	912	21.606

Tabela 01: Parâmetros disponíveis do SIAGAS

REGIÃO	UF	ÁREA (km ²)	NO POÇOS	POÇOS /100 km ²	% BRASIL	VOL. ANUAL EXPLOTADO (m ³)	% BRASIL
NORTE	AC	164.123,04	647	0,39	0,27	15.742.165	0,17
	AM	1.559.159,15	7134	0,46	2,96	617.083.709	6,59
	AP	142.828,52	105	0,07	0,04	11.400.410	0,12
	PA	1.247.954,67	6809	0,55	2,82	456.689.795	4,88
	RO	237.590,55	1794	0,76	0,74	96.057.123	1,03
	RR	224.300,51	906	0,40	0,38	55.572.734	0,59
	TO	277.720,52	1211	0,44	0,50	68.539.787	0,73
TOTAL N		3.853.676,95	18606	0,48	7,72	1.321.085.722	14,11
NORDESTE	AL	27.778,51	1211	4,36	0,50	33.149.230	0,35
	BA	564.733,18	21943	3,89	9,10	833.999.175	8,91
	CE	148.920,47	21098	14,17	8,75	345.643.058	3,69
	MA	331.937,45	11332	3,41	4,70	658.216.578	7,03
	PB	56.469,78	17781	31,49	7,37	207.294.650	2,21
	PE	98.148,32	25416	25,90	10,54	536.515.417	5,73
	PI	251.577,74	27721	11,02	11,50	776.444.593	8,30
	RN	52.811,05	9557	18,10	3,96	385.816.506	4,12
	SE	21.915,12	4956	22,61	2,06	67.658.849	0,72
	TOTAL NE		1.554.291,61	141015	9,07	58,48	3.844.738.056
CENTRO OESTE	DF	5.780,00	198	3,43	0,08	8.219.712	0,09
	GO	340.111,78	3181	0,94	1,32	100.760.244	1,08
	MT	903.366,19	3535	0,39	1,47	183.807.837	1,96
	MS	357.145,53	1377	0,39	0,57	185.152.320	1,98
TOTAL CO		1.606.403,51	8291	0,52	3,44	477.940.113	5,11
SUDESTE	ES	46.095,58	1010	2,19	0,42	23.703.519	0,25
	MG	586.522,12	19316	3,29	8,01	712.075.045	7,61
	RJ	43.780,17	488	1,11	0,20	13.054.442	0,14
	SP	248.222,80	18607	7,50	7,72	1.498.161.956	16,01
TOTAL SE		924.620,68	39421	4,26	16,35	2.246.994.963	24,01
SUL	PR	199.307,92	12429	6,24	5,15	683.350.782	7,30
	RS	95.736,17	14670	15,32	6,08	581.358.666	6,21
	SC	95.736,17	7260	7,58	3,01	204.217.799	2,18
TOTAL S		390.780,25	34359	8,79	14,25	1.468.927.248	15,69
BRASIL		8.329.772,99	241692	2,90	100,00	9.359.686.101	100,00

Tabela 02: Número de poços cadastrados no SIAGAS e Volume Anual Explotado

Dentro do grande Geodatabase do projeto, foram criadas tabelas de atributos contendo as classes de feições (Feature Class) para os poços utilizados e para os polígonos de hidrogeologia, projetadas para apoiar o processo de elaboração do mapa.

A tabela de atributos dos poços contém informações sobre 241.692 captações, muitas das quais mostradas de forma incompleta, mas que analisadas conjuntamente sempre mostram alguma informação.

Apresentam os seguintes registros:

- » Número de ordem;
- » Número SIAGAS
- » UF – Estado da Federação
- » Município – Nome do Município
- » Latitude (WGS 84)
- » Longitude (WGS 84)
- » Aquífero Captado – Nome do Aquífero Captado
- » Espessura (m) – Espessura do Aquífero Captado
- » Profundidade (m) – Profundidade do Poço
- » Q - Vazão (m^3/h)
- » q/s - Vazão Específica ($m^3/h/m$)
- » NE - Nível Estático(m)
- » ND – Nível Dinâmico (m)
- » T - Transmissividade (m^2/s)
- » K – Condutividade hidráulica (m/s)
- » CE – Condutividade Elétrica ($\mu S/cm$)
- » Estratigrafia – Sucessão Estratigráfica Local

A tabela de atributos dos polígonos de hidrogeologia trazem informações referentes a cada unidade cartografada, aflorante ou não, conforme mostrado na tabela 03.

SIGLA	DESCRIÇÃO
SGL_UE_AFL	SIGLA DA UNIDADE ESTRATIGRÁFICA AFLORANTE
SGL_UE_SUB	SIGLA DA UNIDADE ESTRATIGRÁFICA SUBJACENTE
NOM_UE_AFL	NOME DA UNIDADE ESTRATIGRÁFICA AFLORANTE
NOM_UE_SUB	NOME DA UNIDADE ESTRATIGRÁFICA SUBJACENTE
L_UE_AFL	LITOLOGIA DA UNIDADE ESTRATIGRÁFICA AFLORANTE
L_UE_SUB	LITOLOGIA DA UNIDADE ESTRATIGRÁFICA SUBJACENTE
E_UE_AFL	ESPESSURA DA UNIDADE ESTRATIGRÁFICA AFLORANTE
E_UE_SUB	ESPESSURA DA UNIDADE ESTRATIGRÁFICA SUBJACENTE
U_HL_AFL	UNIDADE HIDROLITOLÓGICA AFLORANTE
U_HL_SUB	UNIDADE HIDROLITOLÓGICA SUBJACENTE
E_INT	ESPESSURA DO MANTO DE INTEMPERISMO (m)
GRAU_FRAT	GRAU DE FRATURAMENTO
Q_HE_AFL	VAZÃO DA UNIDADE HIDROESTRATIGRÁFICA AFLORANTE (m ³ /h)
Q_HE_SUB	VAZÃO DA UNIDADE HIDROESTRATIGRÁFICA SUBJACENTE (m ³ /h)
Qs_HE_AFL	VAZÃO ESPECÍFICA DA UNIDADE HIDROESTRATIGRÁFICA AFLORANTE (m ³ /h/m)
Qs_HE_SUB	VAZÃO ESPECÍFICA DA UNIDADE HIDROESTRATIGRÁFICA SUBJACENTE (m ³ /h/m)
T_HE_AFL	TRASSMISSIVIDADE DA UNIDADE HIDROESTRATIGRÁFICA AFLORANTE (m ² /s)
T_HE_SUB	TRASSMISSIVIDADE DA UNIDADE HIDROESTRATIGRÁFICA SUBJACENTE (m ² /s)
K_HE_AFL	CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DA UNIDADE HIDROESTRATIGRÁFICA AFLORANTE (m/s)
K_HE_SUB	CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DA UNIDADE HIDROESTRATIGRÁFICA SUBJACENTE (m/s)
PE_HE_AFL	POROSIDADE EFETIVA DA UNIDADE HIDROESTRATIGRÁFICA AFLORANTE EM PORCENTAGEM
S_HE_SUB	COEFICIENTE DE ARMAZENAMENTO DA UNIDADE HIDROESTRATIGRÁFICA SUBJACENTE (ADMENSIONAL)
PROD_HE_AFL	PRODUTIVIDADE DA UNIDADE HIDROESTRATIGRÁFICA AFLORANTE
PROD_HE_SUB	PRODUTIVIDADE DA UNIDADE HIDROESTRATIGRÁFICA SUBJACENTE
CL_HE_AFL	CLASSE DA UNIDADE HIDROESTRATIGRÁFICA AFLORANTE
CL_HE_SUB	CLASSE DA UNIDADE HIDROESTRATIGRÁFICA SUBJACENTE
U_HE_AFL	UNIDADE HIDROESTRATIGRÁFICA AFLORANTE
U_HE_SUB	UNIDADE HIDROESTRATIGRÁFICA SUBJACENTE
ESTRAT	SEQUÊNCIA HIDROESTRATIGRÁFICA
REPR_MAP	REPRESENTAÇÃO EM MAPA
COR_MAP	COR DA UNIDADE HIDROESTRATIGRÁFICA

Tabela 03: Classes de feição dos polígonos de hidrogeologia.

3.2.4. Base Piezométrica

Em hidrogeologia dos meios porosos, conhecendo-se o nível piezométrico em vários pontos podem-se traçar linhas de isopotencial hidráulico, denominadas de superfícies piezométricas.

A confecção destas linhas permite estabelecer padrões de fluxos subterrâneos expressando o comportamento geral do escoamento, evidenciado pelas redes de fluxo formadas, que possibilitam a determinação do sentido e direção do mesmo.

É possível a determinação de divisores de águas, gradientes hidráulicos, áreas de recarga e descargas de águas subterrâneas, além de permitir a realização de estudos ambientais (fluxos de contaminantes, etc.), auxiliar na locação de poços e averiguar possíveis interações águas superficiais/subterrâneas.

As curvas isopiezométricas foram obtidas a partir de dados de profundidade dos níveis de água subterrânea, para os aquíferos Boa Vista, Itapecuru, Parecis, Guarani, Cabeças e Urucuia, referidos a um mesmo período de tempo. Esses registros foram posteriormente transformados em superfícies potenciométricas, com o auxílio de cotas topográficas obtidas por meio de levantamentos com aparelhos de GPS geodésicos. Quando esses dados não estavam disponíveis, utilizaram-se valores obtidos a partir do MDT.

As representações das superfícies piezométricas mostradas no mapa foram, sempre que possível em função da disponibilidade das informações, obtidas a partir dos pontos da Rede Nacional Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas – RIMAS, planejada, mantida e operada pela CPRM.

3.2.5. Base Hidrológica

Adotou-se o conceito de “Regiões Hidrográficas do Brasil”, definidas pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH (2003), sendo o país dividido em 12 regiões hidrográficas principais: Amazônica, Tocantins-Araguaia, Atlântico Nordeste Ocidental, Parnaíba, Atlântico Nordeste Oriental, São Francisco, Atlântico Leste, Atlântico Sudeste, Paraná, Paraguai, Uruguai e Atlântico Sul.

Essas duas tabelas permitem fazer pesquisas, importar e exportar dados, fazer interpolações estatísticas, etc..

4. PRODUTIVIDADE AQUÍFERA

Várias maneiras podem ser utilizadas para avaliar a produtividade de um aquífero:

- » Estimando a permeabilidade dos corpos rochosos a partir de analogias entre a geologia (tipo litológico) e a hidrogeologia (valores da condutividade hidráulica), fornecendo boas medidas acerca da produtividade aquífera.
- » Utilizando valores da capacidade específica ou vazão específica, que é a vazão dividida pelo rebaixamento do nível da água, reflexo da transmissividades hidráulica do meio, visto que quanto mais alta for a transmissividade maior será a capacidade específica e mais produtivo será o aquífero.
- » A partir dos valores da recarga hídrica, considerando seu valor como uma aproximação do limite máximo da produtividade. Muitos mapas hidrogeológicos de pequena escala elaborados em todo o mundo mostram muitas vezes recargas aquíferas como produtividades aquíferas.
- » Na ausência de valores das propriedades hidráulicas dos aquíferos, derivadas dos testes de bombeamento, como transmissividade e condutividade hidráulica, valores da vazão específica, ou simplesmente da vazão podem ser utilizados para estimar a capacidade de um aquífero em programas de elaboração de mapas hidrogeológicos, *desde que avalizados por peritos em hidrogeologia*.

Os três tipos básicos de unidades hidrolitológicas definidas anteriormente (porosas, cársticas e fraturadas) foram analisadas sob esses aspectos, a partir do estabelecimento de uma Tabela de Produtividades (tabela 04).

Sob esta ótica, seis classes aquíferas foram definidas para cada uma dessas unidades, denominadas de Muito Alta; Alta; Moderada; Geralmente baixa, porém localmente moderada; Geralmente muito baixa, porém localmente baixa e Pouco Produtiva ou não aquífera.

Desta forma, formam-se dezoito subdivisões, correspondentes às unidades hidroestratigráficas anteriormente definidas (*formações geológicas ou partes delas, que armazenam e transmitem águas subterrâneas de forma semelhante e com produtividades da mesma ordem de grandeza*).

Os parâmetros hidrodinâmicas utilizados na classificação das unidades foram a condutividade hidráulica, e a transmissividade; foram também analisados dados de vazões de bombeamento e vazões específicas que, juntamente com o conhecimento e experiência dos hidrogeólogos do SGB em todo o Brasil, se prestaram como ferramenta auxiliar a esta classificação.

Os Dados de vazão, juntamente com o conhecimento local dos hidrogeólogos, foram os únicos parâmetros utilizados na classificação das unidades cársticas e fraturadas, visto não haver sentido em analisar essas unidades a partir de características dos meios porosos.

A transmissividade: é a capacidade de transmissão de água através de toda a espessura saturada do aquífero, estando neste trabalho expressa em m^2/s .

A condutividade hidráulica é a menor ou maior facilidade com que a água se move através dos interstícios da rocha. Está expressa em m/s .

Q/s ($m^3/h/m$)*	T (m^2/s)	K (m/s)	VAZÃO (m^3/h)	PRODUTIVIDADE (**)	CLASSE
$\geq 4,0$	$\geq 10^{-02}$	$> 10^{-04}$	≥ 100	Muito Alta: Fornecimentos de água de importância regional (abastecimento de cidades e grandes irrigações). Aquíferos que se destaquem em âmbito nacional.	(1)
$2,0 \leq Q/s < 4,0$	$10^{-03} \leq T < 10^{-02}$	$10^{-05} \leq K < 10^{-04}$	$50 \leq Q < 100$	Alta: Características semelhantes à classe anterior, contudo situando-se dentro da média nacional de bons aquíferos.	(2)
$1,0 < Q/s < 2,0$	$10^{-04} \leq T < 10^{-03}$	$10^{-06} \leq K < 10^{-05}$	$25 \leq Q < 50$	Moderada: Fornecimento de água para abastecimentos locais em pequenas comunidades, irrigação em áreas restritas.	(3)
$0,4 \leq Q/s < 1,0$	$10^{-05} \leq T < 10^{-04}$	$10^{-07} \leq K < 10^{-06}$	$10 \leq Q < 25$	Geralmente baixa, porém localmente moderada: Fornecimentos de água para suprir abastecimentos locais ou consumo privado.	(4)
$0,04 \leq Q/s < 0,4$	$10^{-06} \leq T < 10^{-05}$	$10^{-08} \leq K < 10^{-07}$	$1 \leq Q < 10$	Geralmente muito baixa, porém localmente baixa: Fornecimentos contínuos dificilmente são garantidos.	(5)
$< 0,04$	$< 10^{-06}$	$< 10^{-08}$	$< 1,0$	Pouco Produtiva ou Não Aquífera: Fornecimentos insignificantes de água. Abastecimentos restritos ao uso de bombas manuais	(6)

(*) Valores válidos para testes de bombeamento de 12:00 horas de duração e rebaixamentos de 25,00 metros.

(**) Na definição de classes de produtividade para aquíferos cárstico e fissural utilizaram-se apenas dados de vazão.

Tabela 04: Caracterização hidráulica dos aquíferos (adaptada de Struckmeir & Margat, 1995)

Quando um poço penetra e bombeia um aquífero extenso, a influência deste bombeamento se estende lateralmente a partir dele. Desta forma, a carga hidráulica continuará a decrescer enquanto perdurar o bombeamento, não existindo fluxo uniforme. A velocidade da redução desta carga, contudo, decresce continuamente com a expansão da área de influência deste bombeamento.

Jacob (1950) desenvolveu um método aproximativo que permite calcular o valor da transmissividade (T) válido para pequenas distancias do poço bombeado, sendo esta transmissividade calculada por:

$$s = \frac{183Q}{T}$$

Considerando que não foram realizados testes de bombeamento neste trabalho, apenas utilizando resultados de testes feitos por terceiros, sempre com os rebaixamentos medidos no próprio poço bombeado, foi aplicado esse método para o cálculo das características hidrodinâmicas dos aquíferos.

Para efeito de homogeneização dos resultados obtidos, foram tomados tempos iguais de bombeamento, fixados em 12 horas, por ser um período bastante comum a todos os testes analisados. Para testes de mais longa duração, tomaram-se os valores de rebaixamentos e vazões para esse mesmo período de tempo. Foram calculadas então as vazões específicas para esse período pré-determinado.

Posteriormente, de posse dos valores de vazões específicas para um mesmo tempo, estipulou-se o rebaixamento máximo em 25m, obtendo-se assim a vazão do poço, parâmetro final comparativo das capacidades de produção.

Desta forma, as unidades hidrolíticas foram hierarquizadas sob o ponto de vista de produtividade, originando as unidades hidroestratigráficas já citadas.

Aplicando esse princípio a todos os polígonos geológicos existentes, foi possível reduzir as 2.338 unidades geológicas a apenas 202 unidades hidroestratigráficas, 38 das quais não aflorantes.

Essas unidades, para representação em mapa foram grafadas com a sigla da unidade estratigráfica que lhe empresta o nome (p.ex., D2c – Formação Cabeças), precedida pelo número da classe de produtividade na qual a mesma se enquadra (de 1 a 6, de acordo com a tabela 04).

Desta forma, o mesmo aquífero pode ocorrer em diferentes classes de produtividades. O aquífero Botucatu, por exemplo, pode ocorrer na classe 6 (não aquífero), em áreas topograficamente elevadas, 2,3 ou 4, em suas áreas de afloramento, ou 1, quando ocorre confinado por outras unidades e com grande espessura.

Nos casos em que ocorre uma sucessão estratigráfica com vários aquíferos superpostos, representa-se aquele aflorante e o subjacente mais produtivo, entendendo-se como mais produtivo aquele que dá mais água, de melhor qualidade e em menor profundidade. Esta representação é feita na forma de fração, com o numerador representando o aquífero aflorante e o denominador o principal aquífero subjacente, como mostrado abaixo:

$$\frac{(2)}{(1)} \quad \frac{C1po}{D2c}$$

5. MAPAS LATERAIS (MAPAS DE ENCARTE)

5.1. Aquíferos Transfronteiriços

De acordo com Vilar (2012), a eminência de uma crise hídrica redirecionou os holofotes para os aquíferos transfronteiriços compartilhados por vários países, demonstrando sua vulnerabilidade aos riscos, sua importância estratégica e a necessidade de inseri-los nas políticas hídricas nacionais e internacionais.

Gradualmente, o sistema internacional busca formas de incluir esses recursos e promover a sua governança e gestão. Esse foi o caso do Aquífero Guarani, alvo de diversos projetos de cooperação que convergiram no único acordo para a gestão conjunta de um aquífero transfronteiriço na América.

Neste sentido foi criado o programa "*International Shared Aquifer Resource Management Américas*" – ISARM AMÉRICAS, tendo como objetivos identificar e caracterizar os aquíferos transfronteiriços, divulgar a sua importância estratégica para a sociedade e tomadores de decisão, bem como delinear escopos de projetos a serem apresentados aos organismos internacionais de financiamento. Neste sentido, o programa procura ampliar o conhecimento sobre os pontos de vista científico, ambiental, legal, institucional e social, obter e validar informação para a elaboração de inventários dos aquíferos transfronteiriços das Américas, além de selecionar estudos de casos prioritários para a implementação de projetos piloto.

Os aquíferos preliminarmente identificados no Brasil e apresentados em uma avaliação preliminar no ano de 2007 (figura 10) foram o Grupo Roraima (entre Brasil, Guiana e Venezuela), Boa Vista-Serra do Tucano/North Savanna (formações de mesmo nome, entre Brasil e Guiana), Costeiro (entre Brasil e Guiana Francesa), Grande Amazonas (formações Solimões, Içá e Alter do Chão, compartilhado entre Brasil, Bolívia, Colômbia, Equador, Peru e Venezuela), Pantanal (entre Brasil, Paraguai e Bolívia), Caiuá-Bauru/Acaray (entre Brasil, Uruguai, Paraguai e Argentina), Aquidauana/Aquidabán (formação de mesmo nome, entre Brasil e Paraguai), Serra Geral (entre Brasil, Uruguai, Paraguai e Argentina) e), Guarani (entre Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai), Permo-Carbonífero (reúne as formações permianas brasileiras e permo-carboníferas uruguaias) e Litorâneo/Chuy (entre Brasil e Uruguai)

5.1.1. Grupo Roraima

No Brasil, o Grupo Roraima localiza-se na fronteira entre o Estado de Roraima e a Guiana e a Venezuela, na bacia hidrográfica do Alto Rio Branco (Brasil) e o rio Caroni, entre a Venezuela e a Guiana, com uma extensão de aproximadamente 70.000 km². O clima local é tropical chuvoso, com uma estação seca bem definida, com temperatura média mínima de 18° C.

Geomorfologicamente a bacia se caracteriza por um relevo tabular, amplas me-
setas de topos planos e altitudes que variam entre 1.000 e 3.000 m.

Constitui um aquífero local, constituído por arenitos arcoseanos, turfas, siltitos e conglomerados de idade paleoproterozóicos e alto grau de fraturamento.

O fluxo de água subterrânea ocorre principalmente nas fraturas existentes, que atingem indistintamente arenitos, conglomerados e rochas clásticas bem cimentadas, pouco ou não metamorizadas, de baixa ou nula permeabilidade primária.

5.1.2. Boa Vista/Serra do Tucano/North Savanna

O Sistema Aquífero Boa Vista/Serra do Tucano localiza-se no Estado de Roraima, na fronteira com a Guiana, bacia do alto Rio Branco, ocupando uma área total de 24.000 km², 14.000 km² no Brasil.

O clima regional é semiúmido, com 4 a 5 meses secos e temperaturas médias anuais superiores aos 18° C. Sua principal utilização é no abastecimento público e na agricultura, servindo como principal fonte de abastecimento para as populações de Boa Vista, Bonfim, Cantá, Alto Alegre e Normandia, além de várias comunidades indígenas dispersas

É constituído por depósitos sedimentares inconsolidados do Terciário e Quaternário da depressão de Boa Vista, caracterizados por um relevo plano a levemente ondulado, localmente dividido por colinas isoladas.

O aquífero Boa Vista compreende essencialmente arenitos com intercalações de siltitos, além de níveis de argilitos provavelmente depositados em sistemas flúvio-lacustres. O aquífero Serra do Tucano é constituído por arenitos conglomeráticos, arenitos arcoseanos, siltitos e argilitos de idade Mesozoica.

Juntas, essas duas unidades constituem um Sistema aquífero livre, com vazões médias da ordem de 30 m³/h e boas capacidades específicas. É bastante vulnerável, principalmente pela presença da grande quantidade de material contaminante oriundo da expansão da fronteira agrícola.

5.1.3. Aquífero Costeiro Brasil-Guiana Francesa

Esta unidade aquífera localiza-se no extremo norte do Brasil, Estado do Amapá, na fronteira com a Guiana Francesa. Abrange uma área total da ordem de 27.000 km² e presta-se ao abastecimento de alguns municípios da região, inclusive a capital Macapá.

Na sua área de ocorrência predomina o clima equatorial superúmido, temperaturas médias anuais variando entre 25 e 27° C e pluviometria batendo a casa dos 2.500 mm/ano. O relevo está inserido no contexto da planície litorânea, exibindo baixas cotas topográficas.

O aquífero é livre em toda sua extensão, localmente apresentando altas vazões, entre 10 e 200 m³/h, sendo constituído por sedimentos aluvionares inconsolidados a semi-consolidados.

5.1.4. Sistema Aquífero Grande Amazonas (Bolívia-Brasil-Colômbia-Ecuador-Peru-Venezuela)

O Sistema Aquífero Transfronteiriço Grande Amazonas é constituído pelas formações Solimões, Iça e Alter do Chão, esta última ocorrendo na zona de fronteira apenas na forma confinada, não aflorando em superfície. Considerando-se toda a área de ocorrência de todos esses aquíferos nos cinco países onde ocorrem é possível se admitir que exiba uma extensão total de 3.960.000 km², dos quais 2.000.000 km² são representados pela Formação Alter do Chão e 1.200.000 km² da Formação Iça.

Compreende as Províncias do Amazonas e do Orinoco, onde se localizam diversos tipos de aquíferos, constituídos por rochas consolidadas e não consolidadas. No Brasil, apresenta grande extensão e espessuras superiores aos 2.000 m, como aquífero livre, ocorrendo também na forma confinada, com grandes espessuras.

Apesar de apresentar grande importância no abastecimento regional ainda é pouco conhecido, desconhecendo-se seus limites, geometria, potencial e características hidráulicas.

Apresenta limitações do ponto de vista microbiológico em áreas urbanas, devido a sua elevada vulnerabilidade natural e elevada carga contaminante.

5.1.5. Sistema Aquífero Pantanal

O Sistema Aquífero Transfronteiriço Pantanal está localizado na bacia do Rio Paraguai, ocupando áreas do Brasil, da Bolívia e do Paraguai, em uma extensão estimada em aproximadamente 134.000 km² (102.000 km² no Brasil, 14.000 km² na Bolívia e 18.000 km² no Paraguai).

Do ponto de vista fisiográfico ocorre em região com alto índice pluviométrico, com médias entre 1000 - 1500 mm e clima mesotérmico e cotas topográficas variando entre 100 m e 200 m, representando uma extensão ao norte do Chaco paraguaio.

A importância deste sistema aquífero é ressaltada pela manutenção do ecossistema Pantanal, a maior área úmida do mundo, declarada Patrimônio da Humanidade e integrante da Convenção Mundial das Áreas Úmidas, na regulação natural do regime das chuvas e no abastecimento hídrico das comunidades locais e das populações indígenas.

O sistema aquífero é do tipo multicamadas, constituído de sedimentos Terciários e Quaternários não consolidados a pouco consolidados, predominantemente arenosos.

A direção do fluxo é geralmente em direção ao rio Paraguai com rumo SO do lado brasileiro e SE na Bolívia e Paraguai.

O ecossistema do Pantanal está ameaçado de várias formas, algumas com reflexos diretos nas águas subterrâneas, como por exemplo, o elevado assoreamento dos rios originado pela grande erosão advinda do desmatamento em áreas de planalto que diminui a infiltração e recarga do aquífero.

Suas vazões máximas atingem os 10 m³/h, embora as médias sejam sempre bastante inferiores. Em geral, as águas subterrâneas são de boa qualidade, embora localmente ocorram expressivos índices de carbonatos, ferro, matéria orgânica e águas salobras. Por se tratar de um aquífero livre são muito vulneráveis à poluição, principalmente relacionados com atividades agrícolas (agrotóxicos), e criação de gado.

Os países, reconhecendo o papel desempenhado pelo aquífero no funcionamento do ecossistema e no controle do tipo e distribuição da biodiversidade, identificaram a necessidade sua gestão sustentável conjunta, com base na compreensão das interações hidráulicas entre as zonas úmidas e o sistema aquífero, e no reconhecimento de sua interdependência.

Além disso, devido à natureza freática do aquífero e sua descarga, que se dá principalmente através da evaporação, o sistema aquífero transfronteiriço Pantanal se constitui em um modelo ideal para avaliar os impactos das mudanças climáticas no meio ambiente.

5.1.6. Sistema Aquífero Bauru/Caiuá/Acaray

O Sistema Aquífero Transfronteiriço Caiuá / Bauru- Acaray está localizado na bacia do Paraná, ocupando uma área de aproximadamente 300.000 km², na região noroeste do Paraguai, principalmente ao norte do Departamento de Canindeyú na fronteira brasileira, próximo aos Estados de São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais.

O aquífero é do tipo livre com espessura média de 200 metros, composto por arenitos finos e grossos, com alta permeabilidade. Aplicam-se as denominações de Formação Caiuá e Formação Bauru no Brasil e Formação Acaray no Paraguai.

A direção do fluxo predominante é em direção ao Rio Paraná.

O aquífero na Unidade Caiuá tem um alto potencial de exploração com vazões entre 40 e 60 m³/h. Na Unidade Bauru as vazões são moderadas, variando de 10 a 20 m³/h. A água é de boa qualidade, com ocorrência de águas minerais, apresentando direção de fluxo predominante para o Rio Paraná.

É muito explotado nos Estados de São Paulo e Paraná, enquanto que no Estado de Mato Grosso do Sul e Paraguai sua utilização é menor.

As águas são usadas principalmente para o consumo humano e na pecuária, advindo daí problemas de contaminação, através de fertilizantes e agrotóxicos.

O aquífero é de importância hidrogeológica regional devido à boa qualidade da água e poços de alta produtividade com utilização na irrigação, uso de água mineral e agro pastoral (no Paraguai).

5.1.7. Sistema Aquífero Aquidauana - Aquidabán

O Sistema Aquífero Transfronteiriço Aquidauana - Aquidabán está localizado na bacia do rio Paraná, com uma área de aproximadamente 27.000 km², dos quais 14.600 km² estão no Brasil e 12.300 km² no Paraguai estendendo-se na direção NE – SW, sendo utilizado no abastecimento humano e animal tanto no Brasil quanto no Paraguai.

O Regionalmente o clima é quente no verão, com temperatura média de 32 °C e frio e seco no inverno, com média em torno de 21 °C.

A precipitação é cerca de 1000 - 1500 mm concentradas no verão e o relevo é plano a suave ondulado, com altitudes entre 400 - 800 m.

O aquífero é do tipo semiconfinado, constituído por sedimentos glácio-marinhos com intensas variações de fácies, apresentando vazões também bastante dispersas, com valores médios oscilando entre 10-20 m³/h/poço.

Do ponto de vista químico, também apresenta águas com características bastante variáveis.

Sua utilização em curto prazo tem se tornado essencial para o abastecimento humano e para permitir o desenvolvimento econômico da região, de características agrícola e pecuária. Parte de sua área de ocorrência situa-se na área de proteção do Pantanal.

5.1.8. Sistema Aquífero Serra Geral (SASG)

O Sistema Aquífero Transfronteiriço Serra Geral abrange todo o planalto paranaense e a região fronteira do Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai, ocupando uma área de cerca de 540.000 km².

Apesar de pouco se conhecer sobre suas condições de recarga é amplamente explorado nesses quatro países, para o abastecimento humano, uso industrial e irrigação.

Constitui um sistema aquífero do tipo livre a semiconfinado, fraturado e constituído por derrames de lavas basálticas das formações Alto Paraná (PY), Serra Geral (BR) e Arapey (AR e UY).

Devido às suas características de aquífero fraturado, apresenta vazões muito variáveis, valores entre 10 e 100 m³/h.

Suas águas são bicarbonato de cálcio e de sódio, apresentando eventualmente altos teores de sal.

O clima da região é úmido a semiúmido, com precipitação média anual entre 1.200 e 1.500 mm.

A exploração deste aquífero para abastecimento público e industrial é alta e tem grande potencial turístico, além de ser importante para a conservação do ecossistema dependente e também para garantir o fluxo de base dos rios da região, sendo inferida conexão hidráulica entre ele e o Aquífero Guarani.

5.1.9. Sistema Aquífero Guarani (SAG)

O Sistema Aquífero Guarani está localizado em grande parte da Bacia do Rio da Prata, se estendendo da Bacia Sedimentar do Paraná para a área do Chaco Paranaense.

Ocupa uma área de aproximadamente 1.088.000 km² ocorrendo em quatro países: Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai.

O clima regional em sua área de ocorrência é caracterizado como úmido a subúmido, com chuvas que vão de 1200 a 1.500 milímetros / ano.

Suas águas tem ampla utilização no abastecimento humano, industrial e no turismo, haja vista suas propriedades térmicas nos locais onde este aquífero é confinado pelos basaltos Serra Geral.

O sistema aquífero é formado por arenitos eólicos do período Jurássico das formações Botucatu (Brasil), Tacuarembó (Argentina e Uruguai), Misiones (Paraguai) e pelos arenitos flúvio – lacustres do Triássico, das formações Pirambóia/Rosário do Sul (Brasil), Buena Vista (Argentina e Uruguai) e Misiones no Paraguai.

Zonas de afloramento ocorrem em duas faixas situadas a oeste e leste da área de ocorrência e correspondem a aproximadamente 10% da área total do aquífero, sendo confinado nos 90% restantes.

A espessura média é de 250 m, enquanto que as vazões variam entre 60 a 200 m³ / h em áreas próximas as zonas de afloramentos e de 200 a 400 m³ /h nas áreas confinadas.

As águas são bicarbonatadas de cálcio e magnésio próximo das áreas de afloramento e sódicas nas zonas mais profundas. O pH é alcalino, e os valores de resíduo seco variam de 200 a 600 mg / l. A temperatura varia de 18 a 63 ° C, dependendo da profundidade de ocorrência do aquífero.

Este sistema aquífero é de grande importância a nível regional e transnacional, representando um recurso fundamental para o desenvolvimento socioeconômico e no funcionamento e manutenção dos ecossistemas associados, tendo sido objeto de um projeto específico, financiado pelo Banco Mundial e desenvolvido pela Organização dos Estados Americanos - OEA e os quatro países no período 2003 – 2008.

5.1.10. Sistema Aquífero Permo-Carbonífero

O Sistema Aquífero Transfronteiriço Permo - Carbonífero está localizado na bacia hidrográfica do rio Uruguai, com uma área de 41.000. Km², sendo 20.000 km² no Uruguai e 21.000 km² no Brasil. Aflora na porção sul do Brasil e nordeste do Uruguai, entre as latitudes 52 ° e 56 ° W e 30 ° a 34 ° S, continuando em superfície na parte oriental dessas áreas.

A região é conhecida como Depressão Central Gaúcha, constituindo uma área sem grandes variações altimétricas, os picos mais altos localizados a cerca de 200 m, com relevo conhecido como coxilhas.

O clima é temperado úmido, com chuvas ao longo de todo o ano, precipitações médias de 1.500 mm / ano e temperatura variando entre 22°C e 3°C.

O aquífero é poroso, não consolidado a consolidado e de baixa produtividade. Estão incluídas as unidades Tres Islas no Uruguai, constituindo-se de arenitos finos a médios com níveis de areia grossa e cascalho, exibindo forte cimentação argilosa no Brasil.

Apesar dos dados de poços existentes e as características litológicas das unidades indiquem baixas potencialidades hidrogeológicas, esta unidade pode representar importante papel no abastecimento doméstico das pequenas populações dispersas na zona fronteiriça.

5.1.11. Sistema Aquífero Litorâneo/Chuy

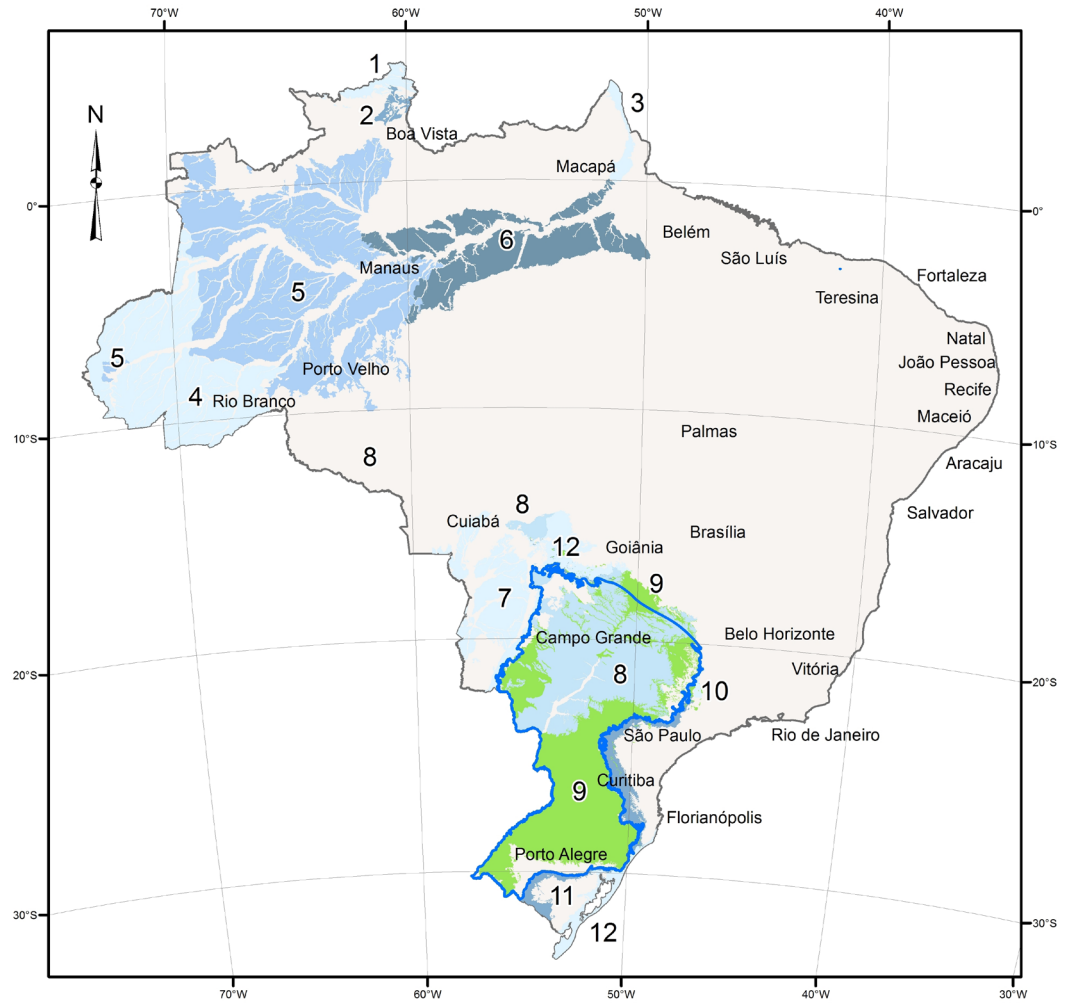
Localiza-se na região litorânea do extremo sul do Brasil e nordeste do Uruguai, ocupando uma área de 41.000 km², sendo 8.000 km² no Uruguai e 33.000 km² no Brasil.

A sua região de ocorrência apresenta topografia plana a levemente ondulada, clima temperado úmido, índices pluviométricos em torno dos 1.250 mm e grande amplitude térmica.

Sua principal utilização é no abastecimento público, residencial e turístico, seguido de uso agrícola generalizado no cultivo de arroz.

É um aquífero livre, intergranular e não consolidado, constituído por areias finas a grossas com frequentes níveis argilosos. Suas vazões específicas variam entre 1,2 m³/h/m a 5 m³/h/m, com valores de resíduo seco em torno de 450 mg/L.

Figura 11:
Os Aquíferos Transfronteiriços do Brasil (UNESCO, 2007)



Aquíferos_transfronteiricos

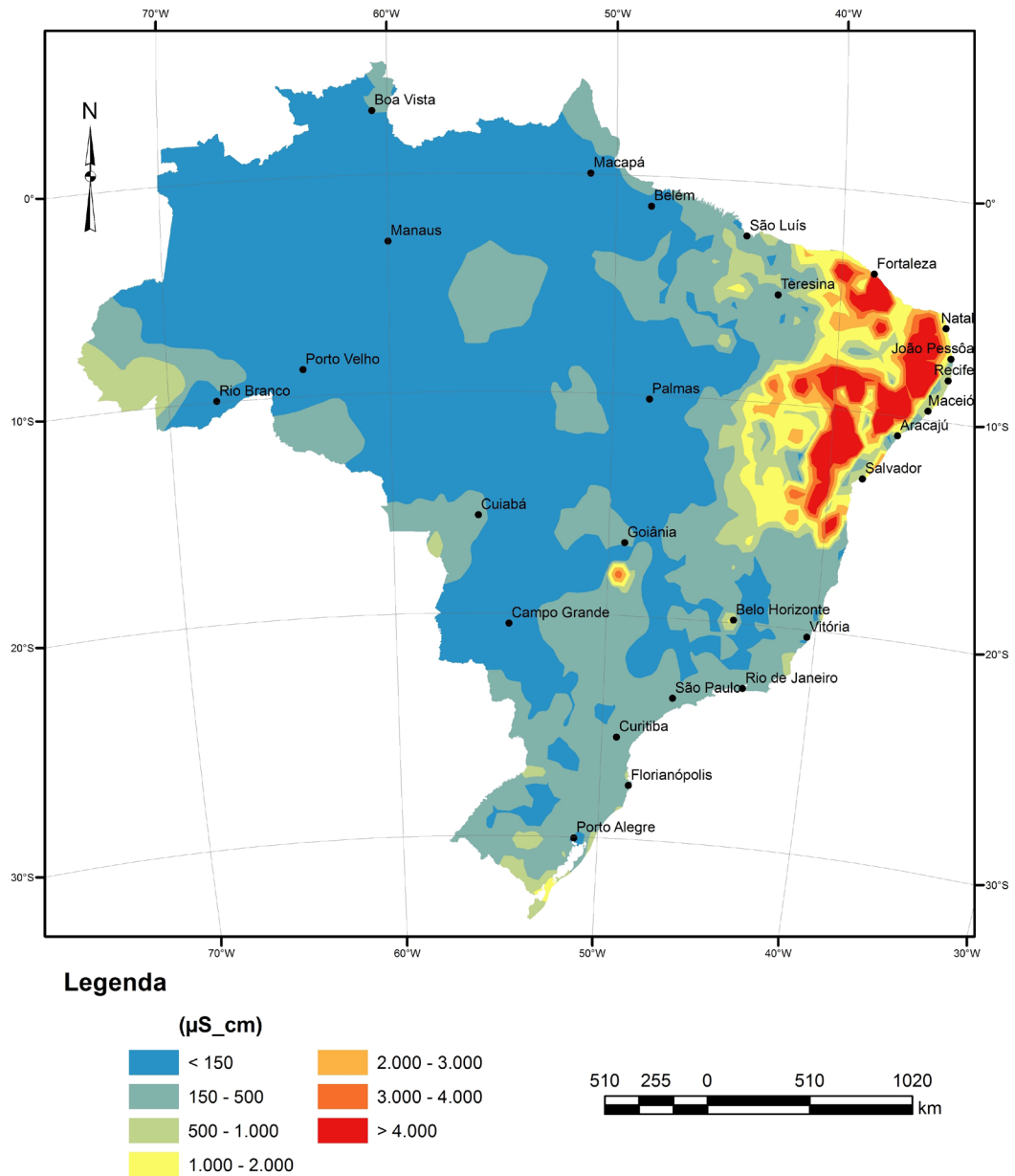
- Guarani
- 1 - Roraima
- 2 - Boa Vista
- 3 - Litorâneo (Guyana Francesa)
- 4 - Solimões
- 5 - Iça
- 6 - Alter do Chão
- 7 - Pantanal
- 8 - Bauru-Caiuá
- 9 - Serra Geral
- 10 - Aquidauana
- 11 - Permiano (Bacia do Paraná)
- 12 - Litorâneo (Chuy)



5.2. Mapa de Distribuição de Condutividades Elétricas

Foi esboçado um mapa da distribuição das condutividades elétricas das águas subterrâneas em utilização no país (figura 12).

Figura 12:
Distribuição das
Condutividades
Elétricas ($\mu\text{S}/\text{cm}$)



Através da mesma se tenciona mostrar a qualidade química geral das águas oriundas de bombeamento dos poços, não se referindo a qualquer aquífero em particular.

De sua análise, percebe-se de imediato uma grande parte do território brasileiro apresentando águas de excelentes qualidades, em suas regiões norte e centro-oeste.

Outra faixa de valores mostrando boa adequação físico-química das águas aos múltiplos usos possíveis, com teores de condutividades elétricas variando entre 150 a 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ocorre numa zona abrangendo praticamente todo o sul/sudeste e os Estados nordestinos do Piauí e Maranhão.

Essas zonas de baixos teores de sais coincidem com as grandes bacias paleozóicas do Amazonas, dos Parecis, do Paraná e do Parnaíba. Afora essas, notam-se baixos valores de condutividades elétricas na área de ocorrência do aquífero Urucuia, nos limites entre Bahia, Goiás, Tocantins e o sul dos Estados do Maranhão e Piauí.

Áreas apresentando altos teores de sais são verificadas basicamente na área de ocorrência do embasamento cristalino da região nordeste do país, que chegam a mascarar a existência dos menores teores de sais, verificados na Bacia do Recôncavo-Tucano-Jatobá, entre os Estados da Bahia e Pernambuco, na Bacia Potiguar e na Bacia do Araripe, entre Pernambuco e o Ceará, além de outras bacias sedimentares costeiras.

5.3. Densidade de poços por Região Hidrográfica

A distribuição de poços no Brasil reflete fatores demográficos, necessidades hídras e características hidrogeológicas de cada região hidrográfica (tabela 05 e figura 13).

Regiões de grande área e pequena população, como p.ex., as regiões hidrográficas da Amazônia e do Paraguai, com pequenas densidades populacionais apresentam as menores densidades de poços, apesar da ocorrência de excelentes aquíferos.

Por outro lado, a região hidrográfica do nordeste oriental, abrangendo as grandes capitais regionais, como Recife, Fortaleza, Natal, João Pessoa e Maceió, algumas das quais abastecidas em grande parte por águas subterrâneas e com uma das menores abrangências geográficas, apresenta a maior densidade de poços registrada.

Em seguida destaca-se a região hidrográfica do Parnaíba, localizada quase que totalmente na bacia sedimentar homônima, onde a exploração de águas subterrâneas é intensa.

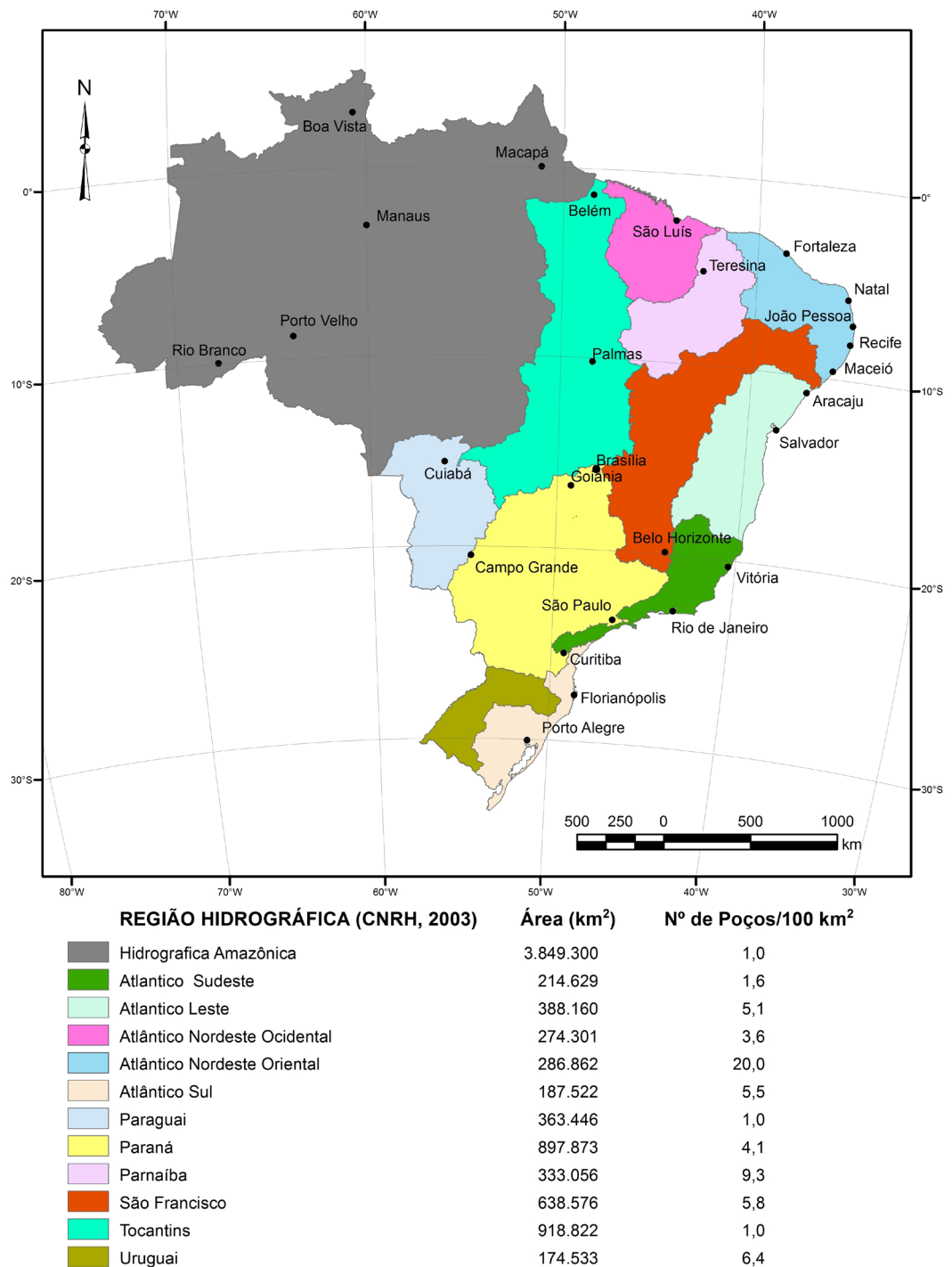
A região hidrográfica do Uruguai, a menor do país, em extensão territorial e localizada em área de grande exploração de águas subterrâneas, principalmente para fins agrícolas, também mostra grande densidade de poços.

A região hidrográfica do Paraná, apesar de apresentar a maior concentração de poços no Brasil, mostra baixa densidade de perfurações, em função da grande área de ocorrência e de englobar também áreas de baixo índice populacional.

BACIA HIDROGRÁFICA	OCORRÊNCIA	ÁREA (km ²)
Amazônica	AC, AM, RR, RO, MT, PA, AP	3.800.000
Tocantins-Araguaia	GO, MT, TO, MA, PA, DF	967.059
Atlântico NE Ocidental	MA, PA	254.100
Parnaíba	PI, MA, CE	344.112
Atlântico NE Oriental	CE, RN, PB, PE, AL	287.348
São Francisco	SE, AL, PE, BA, GO, MG	640.000
Atlântico Leste	SE, BA, MG, ES	374.677
Atlântico Sudeste	ES, BA, RJ, SP, PR	229.972
Paraná	MG, GO, MS, SP, PR, SC	879.860
Paraguai	MT, MS	1.100.000
Uruguai	RS, SC	174.612
Atlântico Sul	SP, PR, SC, RS	185.856

Tabela 05: Regiões hidrográficas: Áreas e Estados de ocorrência

Figura 13:
Distribuição de
poços por Região
Hidrográfica do
Brasil



5.4. Volumes Explotados

A representação dos volumes de águas subterrâneas extraídas no país foi realizada através da elaboração de uma malha de discretização, gerada a partir do software ArcGIS 10.2.

Para isso, os poços utilizados no cálculo das vazões explotadas foram organizados em planilhas, com identificação do número do cadastro no SIAGAS, coordenadas UTM, vazão e tipo de uso.

Para cada poço foi calculado o volume produzido em um ano, conforme o tipo de uso (abastecimento público, particular, rural e industrial), da seguinte forma:

$$V = Q \text{ (m}^3\text{/h)} \times 365 \text{ (dias)} \times T_{uso} \text{ (h/dia)}$$

Sendo:

- V - Volume total anual, representa o somatório de $V_{p\acute{u}blico} + V_{Privado} + V_{Industrial} + V_{Rural}$
- T_{uso} - Tempo de bombeamento conforme o uso em horas por dia, e
- Q a vazão de bombeamento.

O tempo de bombeamento conforme o uso foi ajustado de acordo as características de sua utilização. Adotaram-se os seguintes limites para o cálculo:

1. Abastecimento urbano público (empresas de saneamento): 20 h/dia
2. Abastecimento doméstico privado (condomínios, etc.): 08 h/dia
3. Abastecimento industrial: 10 h/dia
4. Abastecimento rural: 08 h/dia.

Os dados dos poços utilizados foram importados para uma classe de feição (ou *shapefile*) e confrontados (*intersect*) com uma malha regular de tamanho pré-definido distribuída na área, de 25 x 25 km, sendo o volume extraído de todos os poços de cada quadrícula somado (*summarize*) e atribuído à ela (*join*) para representar o volume total extraído por ano.

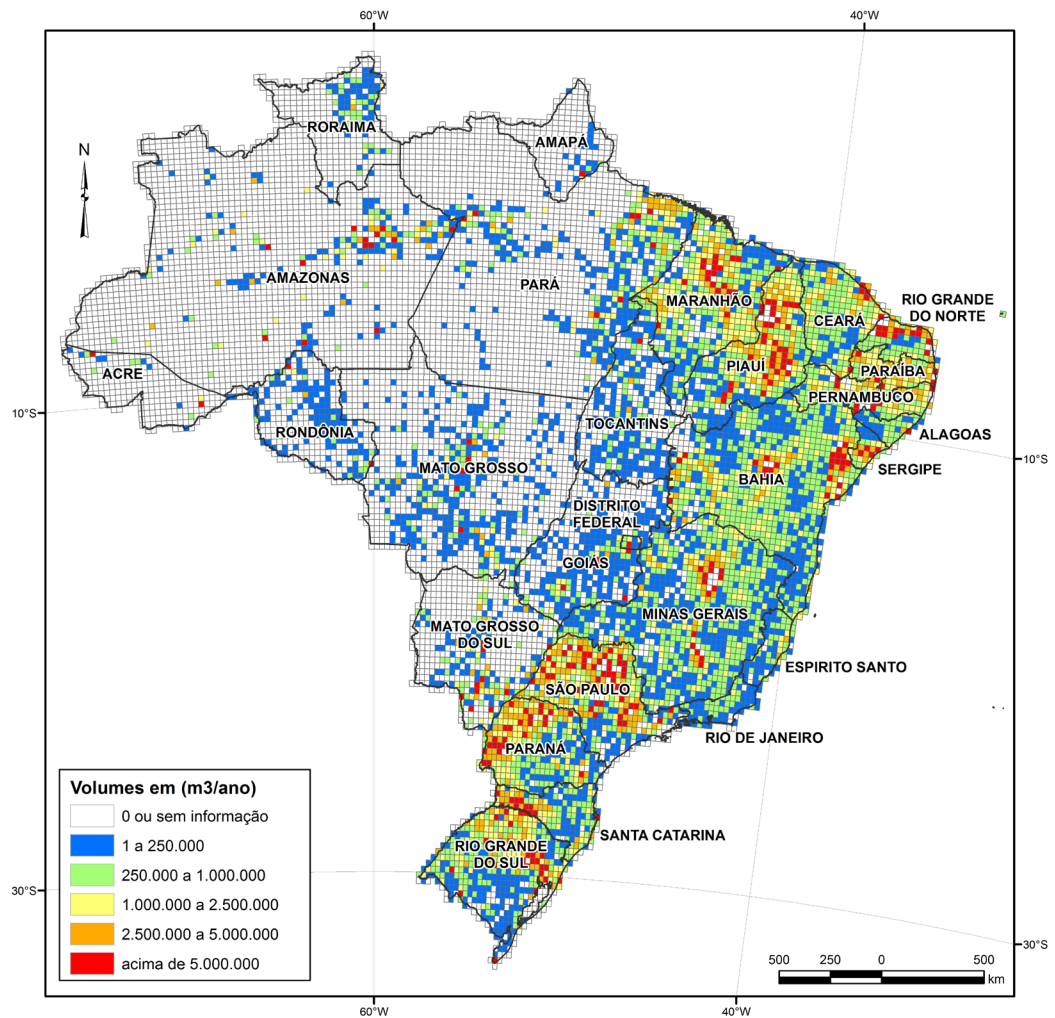
Na figura 14 podemos observar os resultados desta simulação. Os maiores volumes explotados (superiores a 5.000.000 m³/ano) são encontrados principalmente na região sudeste, com forte concentração no Estado de São Paulo, estendendo-se daí para a região oeste dos Estados do Paraná e Santa Catarina.

Outras zonas de grande utilização ocorrem no Rio Grande do Sul, na Bahia e em Pernambuco, no alaucógeno do Recôncavo/Tucano/Jatobá, na faixa sedimentar costeira a partir do Recife em direção ao Rio Grande do Norte, na Bacia Potiguar e na Bacia do Parnaíba, entre o Piauí e Maranhão.

Baixos níveis de consumo, inferiores a 250.000 m³/ano são registrados em toda a região norte e centro oeste, enquanto que no restante do país os valores situam-se entre 250.000 e 5.000.000 m³/ano.

De uma maneira geral, pode-se considerar que os bombeamentos se intensificam da linha de costa, ou em faixa muito próxima a ela, e vai arrefecendo à medida que se penetra no interior do continente, refletindo também a diminuição demográfica nesta direção.

Figura 14 :
Volumes anuais
explotados de
água subterrânea
no Brasil



5.5. Outros encartes

Foram confeccionados ainda cartogramas de domínios hidrolitológicos, capacidade de infiltração dos solos, pluviometria, bacias e coberturas sedimentares, regiões hidrográficas, hipsometria e geomorfologia, não comentados no presente texto, mas que servem como ferramentas de apoio à completa compreensão do mapa.

6. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução No 32, de 15 de outubro de 2003 (Publicado no DOU em 17/12/2003)

CPRM/SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas & SIG. Rio de Janeiro, 2003.

DINIZ, JOÃO A. O., MONTEIRO, ADSON B., SILVA, ROBSON de C., PAULA, THIAGO L.F. de. Noções de Cartografia Hidrogeológica. Recife: CPRM, 2014. (Inédito).

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. Divisão de Processamento de Imagens. Introdução à Ciência da Geoinformação. Disponível em www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap6-cartografia.pdf , acessado em 21/05/2014

JACOB, C.E., Flow of ground water, in Engineering hydraulics (H. Rouse, ed.), John Wiley and Sons, New York, pp. 321-386, 1950.

STRUCKMEIER, W. F.; MARGAT, J. Hydrogeological maps: a guide and a standard legend. Hannover: International Association of Hydrogeologists, 1995. 177 p. (International Contributions to Hydrogeology, 17).

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E CULTURA - UNESCO. International Legend for Hydrogeological Maps. Versão Revisada, 1983.

_____. Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe (PHI-LAC). Oficina Regional de Ciencia para América Latina y el Caribe. Sistemas Acuíferos Transfronterizos en la Américas – Evaluación Preliminar, Serie ISARM Américas N°1 .Montevidéo – Uy, 2007

VILLAR, PILAR CAROLINA. A busca pela governança dos aquíferos transfronteiriças e o caso do aquífero Guarani. Universidade de São Paulo – USP. Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental. Tese de Doutorado, 259 p.:il. São Paulo, 2012

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

Sede

SGAN-Quadra 603 - Conjunto J
Parte A - 1º andar
Brasília - DF - CEP: 70830-030
Tel: 61 3326-9500 - 61 3322-4305
Fax: 61 3225-3985

Escritório Rio de Janeiro

Av. Pasteur, 404 - Urca
Rio de Janeiro - RJ - CEP: 22290-240
Tel: 21 2295-5337 - 21 2295-0032
Fax: 21 2542-3647

Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial

Fone: 21 2295.8248 - 61 3223-1059
Fax: 21 2295-5804 - 61 3323-6600

Departamento de Hidrologia

Fone: 21 2295-4546 - 61 3223-1059
Fax: 21 2295-8391 - 61 3323-6600

Divisão de Hidrogeologia e Exploração

Fone: 21 2295-4546 - Fax: 21 2295-8391

Diretoria de Relações Institucionais e Desenvolvimento

Fone: 21 2295.5837 - 61 3223.1059
Fax: 21 2295.5947 - 61 3323.6600

Divisão de Marketing e Divulgação

Tel: 31 3878-0372 - Fax: 31 3878-0382
E-mail: marketing@cprm.gov.br

Serviço de Atendimento ao Usuário - SEUS

Tel: 21 2295-5997 - Fax: 21 2295-5897
E-mail: seus@cprm.gov.br

Ouvidoria

Tel: 21 2295-4697 - Fax: 21 2295-0495
E-mail: ouvidoria@cprm.gov.br

www.cprm.gov.br