

CPRM
Serviço Geológico do Brasil

MANUAL DE CARTOGRAFIA HIDROGEOLÓGICA



MANUAL DE CARTOGRAFIA HIDROGEOLÓGICA

Autores

João Alberto Oliveira Diniz

Adson Brito Monteiro

Robson de Carlo da Silva

Thiago Luiz Feijó de Paula

2014

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) 3216 1403
Tel: (81) 3316-1400
<http://www.cprm.gov.br>
bibliotecare@cprm.gov.br

Diniz, João Alberto Oliveira

Manual de cartografia hidrogeológica. / João Alberto Oliveira Diniz, Adson Brito Monteiro, Robson de Carlo da Silva, Thiago Luiz Feijó de Paula. - Recife: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2014.

119p. il. color

Programa de Cartografia Hidrogeológica.

1. Hidrogeologia 2. Cartografia Hidrogeológica. 3. 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.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	08
CAPÍTULO I – CONCEITOS GERAIS DE CARTOGRAFIA E GEOPROCESSAMENTO	11
1. Breve Retrospectiva Histórica	13
2. Cartografia e Geoprocessamento	17
2.1. EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE REFERENCIA NO BRASIL	19
2.2. PRECISÃO CARTOGRÁFICA	21
2.3. MERIDIANOS E PARALELOS	22
2.4. COORDENADAS GEOGRÁFICAS	22
2.5. LATITUDE E LONGITUDE	23
2.6. SISTEMAS DE PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA	23
2.6.1. PROJEÇÃO UTM - “UNIVERSAL TRANSVERSE MERCATOR”	24
2.7. CARTA INTERNACIONAL AO MILIONÉSIMO (CIM)	26
2.7.1. DESDOBRAMENTO DAS FOLHAS AO MILIONÉSIMO	26
2.7.2. MAPA ÍNDICE	28
2.7.3. DIVISÕES DA CARTOGRAFIA	30
CAPÍTULO II – CARTOGRAFIA HIDROGEOLÓGICA	31
1. História e Desenvolvimento	33
1.1. NO MUNDO	33
1.2. NO BRASIL	35
2. Tipos e Classificações dos Mapas Hidrogeológicos	40
3. Conceitos Hidrogeológicos Básicos	42
3.1. CONCEITO DE HIDROGEOLOGIA	42
3.2. FORMAÇÕES GEOLÓGICAS COMO AQUÍFEROS	42
3.3. CONCEITOS FUNDAMENTAIS	43
3.4. ORIGEM E COMPORTAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	44
3.5. TIPOS DE AQUÍFEROS	44
3.6. TAXONOMIA HIDROGEOLÓGICA – UNIDADES BÁSICAS DE REFERÊNCIA	45
3.7. LEVANTAMENTOS HIDROGEOLÓGICOS	50
3.8. BASES DE REFERÊNCIA	54
3.9. PRODUTIVIDADE AQUÍFERA	64
3.10. MAPAS DE ENCARTE	67
3.11. TEXTO EXPLICATIVO	67
3.12. RESUMO DO TRABALHO – FORMA DE APRESENTAÇÃO DO MAPA	69

3.13. NÍVEIS DE LEVANTAMENTOS HIDROGEOLÓGICOS	69
3.14. OS MAPAS ESQUEMÁTICOS	71
CAPÍTULO III - BANCO DE DADOS GEORREFERENCIADOS DO SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL	79
1. Introdução	82
2. Vantagens do Uso do Geodatabase	82
3. Conceitos Importantes	82
4. Principais Características de um Geodatabase	83
5. Estrutura do Banco de Dados da Cartografia Hidrogeológica	83
6. Atributos da Feição Hidrogeologia e Domínios	84
7. Preenchimento dos Campos de Atributos no ArcMap	86
CAPÍTULO IV - PREENCHIMENTO DOS ATRIBUTOS DOS POLÍGONOS DE HIDROGEOLOGIA	91
CAPÍTULO V - ENCARTE - PRINCIPAIS CARTOGRAMAS	101
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116
ANEXO 1 - ESTRUTURA DO BANCO DE DADOS	119

APRESENTAÇÃO

A Cartografia Hidrogeológica é uma área de estudo nova e fundamental para apresentar, através de produtos gráficos e de forma sintética, informações que permitem um maior conhecimento sobre a ocorrência, movimento, quantidade e qualidade das águas subterrâneas.

No Brasil a cartografia hidrogeológica ensaia os primeiros passos e um dos primeiros aspectos a considerar refere-se à normatização e padronização dos mapas, de modo a garantir a elaboração sistemática de produtos homogêneos.

No SGB, embora se produzam mapas hidrogeológicos de alta qualidade, a forma de sua elaboração, incluindo o modo de representação e o tipo do dado selecionado, geralmente refletem normalmente conceitos estabelecidos em cada unidade regional, sem uma adequada padronização.

Adicione-se a este fato a histórica vocação técnica em geologia, que faz com que essas cartas, na maioria dos casos, mostrem um predomínio de informações geológicas em detrimento daquelas de natureza hidrogeológicas.

Essa prática tem resultado na elaboração de mapas e legendas bastante complexas, dificultando sua leitura e interpretação, além de sujeita-los a críticas por parte de usuários internos e externos.

Na tentativa de estabelecer padrões que permitam a confecção de forma homogênea e sistemática desses mapas, foi elaborado este Manual, cujo texto se baseia em grande parte na compilação de várias publicações nacionais e internacionais existentes sobre o tema, além da experiência em trabalhos desta natureza realizados no Serviço Geológico do Brasil.

É preciso destacar a contribuição deste Manual à cartografia hidrogeológica digital que, apoiada na tecnologia de informações, proporciona a elaboração de mapas que reproduzem com maior fidelidade, flexibilidade e agilidade o conhecimento das disponibilidades dos sistemas aquíferos e da qualidade das águas, fator primordial para estabelecer políticas integradas de gerenciamento dos recursos hídricos.

MANOEL BARRETTO DA ROCHA NETO

*Diretor – Presidente
Serviço Geológico do Brasil*

THALES DE QUEIROZ SAMPAIO

*Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial-
Serviço Geológico do Brasil*

SUMÁRIO EXECUTIVO

A cartografia hidrogeológica, ainda ensaia os primeiros passos no Brasil.

Tome-se como exemplo o SGB onde, embora se produzam mapas hidrogeológicos de alta qualidade, a forma de sua elaboração, incluindo o modo de representação e o tipo do dado selecionado, geralmente refletem conceitos estabelecidos em cada unidade regional, sem qualquer padronização.

Somando-se a isto, a histórica vocação dos técnicos do órgão no campo da geologia, faz com que essas cartas, na maioria dos casos, não passem de mapas geológicos com inserção de (poucas) informações hidrogeológicas.

Essas práticas têm provocado a elaboração de mapas e legendas bastante complexas, dificultando sua leitura e interpretação, além de sujeita-los a críticas por parte de usuários internos e externos.

Na tentativa de estabelecer padrões que permitam a confecção de forma homogênea e sistemática desses mapas, foi elaborado o presente texto, que se baseia em grande parte na compilação de várias publicações existentes sobre o tema.

O capítulo I, de caráter geral, inicia com uma retrospectiva histórica sobre cartografia planimétrica, discutindo sua evolução desde épocas remotas até os dias de hoje. Foram incluídas considerações sobre sistemas de referências geodésicas, coordenadas geográficas e projeções cartográficas, feições normalmente pouco conhecidas pelos hidrogeólogos de mapeamento.

O capítulo II, voltado especificamente para cartografia hidrogeológica, trata de conceitos hidrogeológicos básicos, como tipos de aquíferos, transmissividades, etc., inserem os conceitos de hidrolitologias e hidroestratigrafias, discorre sobre os mapas de base utilizados nos levantamentos hidrogeológicos e estabelece uma tabela de classificação dos aquíferos em termos de produtividade hídrica.

Encerra tratando sobre os tipos possíveis de levantamentos hidrogeológicos de serem realizados e propondo um organograma para elaboração dos mapas hidrogeológicos.

Os capítulos III e IV tratam dos procedimentos metodológicos propostos para a padronização dos trabalhos no SGB, apresentando os princípios da estrutura de um banco de dados hidrogeológicos e o preenchimento da tabela de atributos dos polígonos de hidrogeologia.

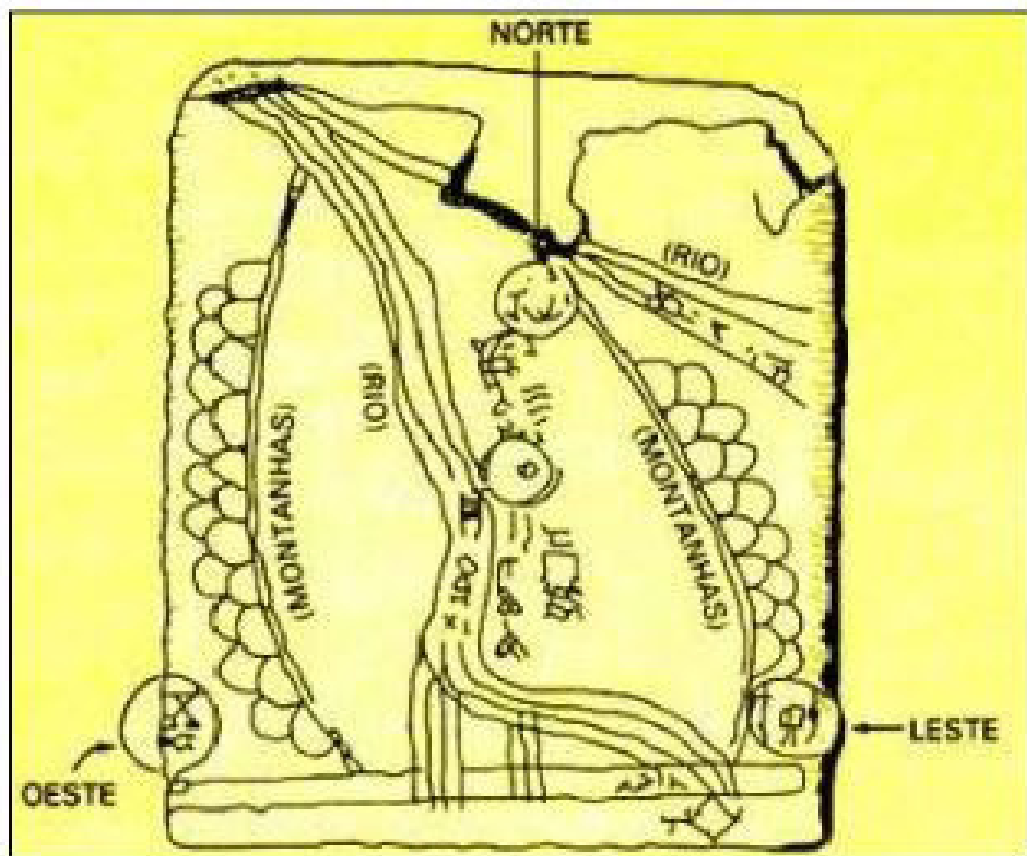
CAPÍTULO I
CONCEITOS GERAIS
DE CARTOGRAFIA E
GEOPROCESSAMENTO

1. BREVE RETROSPECTIVA HISTÓRICA

Desde os primórdios da humanidade o homem tem tentado estabelecer um meio para registrar seus passos nos caminhos por ele percorridos, surgindo daí os primeiros mapas que se tem notícia.

O mapa mais antigo já encontrado foi produzido provavelmente pelos babilônios no ano de 2.500 A.C., sendo confeccionado em uma placa de argila cozida de 7 X 8 cm, aparentemente representando o vale do rio Eufrates, na Mesopotâmia, atual Iraque (figura 01). Foi encontrado em escavações arqueológicas realizadas na cidade de Ga Sur.

Figura 01.
O mapa de Ga Sur
(www.geomundo.com.br)



Na Grécia antiga, berço da civilização ocidental, as expedições militares e de navegação impulsionaram os trabalhos de cartografia, buscando métodos científicos capazes de representar a superfície da terra. Destacam-se os trabalhos de Eratóstenes (275 – 194 A.C.) e Ptolomeu (90 – 168 D.C.), o primeiro responsável pelo cálculo da circunferência da terra. Ptolomeu disseminou o uso de coordenadas e das projeções cônicas, sendo ainda responsável pelo primeiro Atlas Universal que se conhece. Seu trabalho somente foi substituído 14 (quatorze) séculos depois, pelo trabalho de Mercator.

Enquanto os gregos prezavam pelos avanços na área científica da cartografia, os romanos se encontravam em estágio bem anterior. Um dos mapas mais famosos feitos por eles, o mapa “Orbis Terrarum” (figura 02), mostrava com detalhes todas as rotas do Império Romano.

O mapa é o resultado do trabalho solicitado pelo imperador Octávio Augusto a seu genro Marcus Vipsanius Agrippa, aproximadamente no ano 27 A.C. Existem dúvidas da data de seu término, havendo historiadores que opinam que o mesmo foi terminado no ano 20 A.C. e alguns asseguram que foi o próprio Augusto quem o finalizou devido à morte de Agrippa no ano 12 A.C.

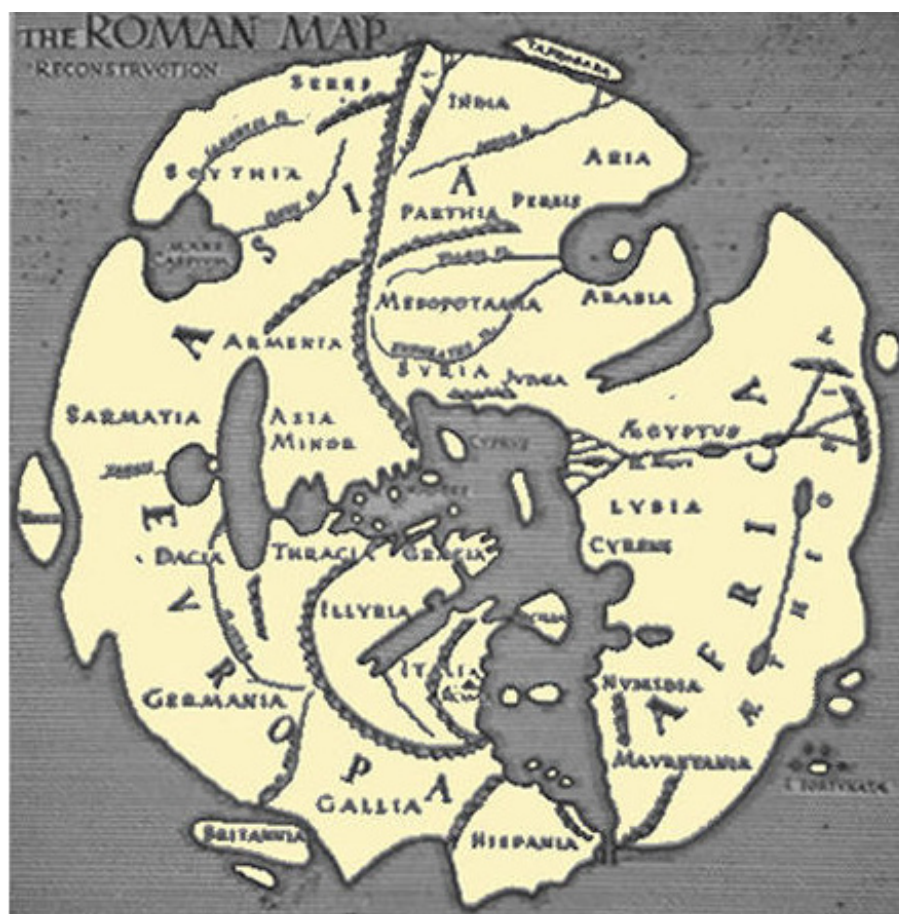


Figura 02. “Orbis Terrarum”, reprodução do mapa original de 20 A.C. (<http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/>)

Durante a idade média, a ciência da cartografia sofreu forte regressão. A religiosidade tomou conta de todos os meios de produção científica paralisando os expressivos avanços alcançados pela cultura greco-romana, ficando as técnicas de representação cartográfica restritas aos mosteiros e monastérios da Igreja Católica.

Nesta época era comum ver a Terra representada pelos três velhos continentes: África, Ásia e Europa, cercada por um círculo de oceanos e na borda superior a imagem de Deus com seus anjos e abaixo criaturas infernais como dragões e demônios.

Outra forma de representação bastante difundida era o mapa em “T-O” (figura 03), criado por Isodoro (570 – 636 D.C.), bispo de Sevilha. Neles, o “T” representa-

va os três cursos d'água que dividiam o mundo, o Mediterrâneo, dividia Europa e África; Don, divisor da Europa e Ásia e o Nilo separando África e Ásia. Este símbolo era uma alusão à cruz que na sua junção, onde as linhas se cruzavam, estaria a cidade de Jerusalém, centro do mundo.

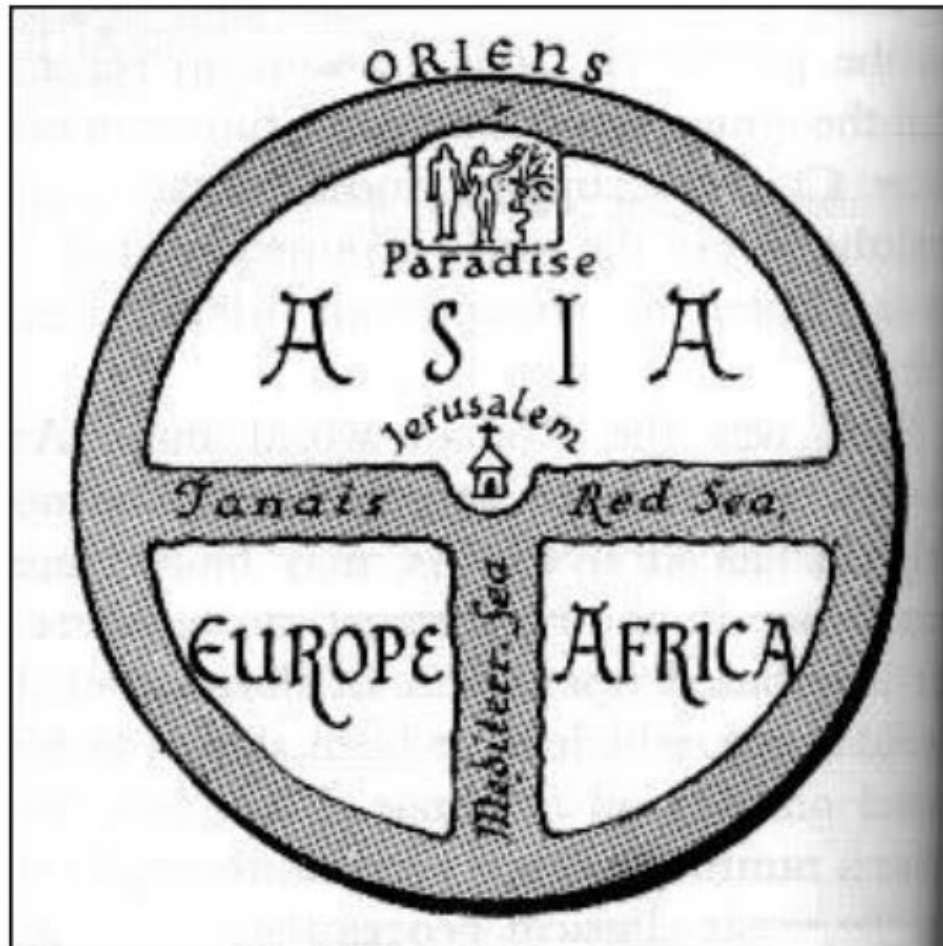


Figura 03. Mapa em "T" de São Isidoro, com Jerusalém ao centro (www.portaldoprofessor.mec.gov.br).

Posteriormente, com as excursões dos vikings no Atlântico Norte, gradualmente foi-se incorporando novas terras aos mapas medievais a partir do século XII.

Durante a Era dos Descobrimientos (séculos XV a XVIII), com o início das grandes navegações marítimas, já a partir de 1413, a cartografia ressurgiu com nova força, visto a necessidade de garantir a segurança dos navegantes e demarcar as novas terras descobertas, ressaltando-se, nesta época, a influência da "Escola de Sagres" em Portugal, onde eram treinados pilotos e cosmógrafos.

Em 1570 surgiu o primeiro grande Atlas Mundial, confeccionado por Abraham Ortelius (1527 – 1598), o "Theatrum Orbis Terrarum" (figura 04), conjunto de vários mapas confeccionados pelos mais importantes cartógrafos da época, incluindo Mercator, que em 1569 produziu o primeiro mapa-múndi com projeção cilíndrica.

Somente no século XV, na Europa, o uso de vários instrumentos de navegação, como o astrolábio, a bússola, a balestilha e o quadrante, melhoraram a orientação em alto mar, iniciando-se então a cartografia moderna. Foram desenhadas várias cartas náuticas, os portulanos, que descreviam precisamente as linhas de

costas percorridas pelos navegadores da época. A cada viagem, os mapas incorporavam novas descobertas. Os mais precisos faziam o sucesso de novas viagens. Os reis da época consideravam alguns tão importantes, que os tratavam como segredo de Estado. Em 1507 surgiu pela primeira vez na Europa um mapa com a América: era a carta do mundo elaborada pelo cartógrafo alemão Martin Waldseemüller, em doze folhas.

Apesar destes avanços, projetar uma superfície em um plano continuava sendo uma constante dor de cabeça, até a criação do sistema de projeção cilíndrica por Gerardus Mercator.

Nesse sistema de projeção, os meridianos e paralelos são representados por segmentos de reta perpendiculares entre si, e os meridianos são equidistantes. Isso faz com que a superfície da Terra seja cada vez mais deformada na direção Leste-Oeste, quanto maior for a latitude. Apesar das distorções, a projeção de Mercator revolucionou a cartografia da época e serviu de base para que, em 1950, nos Estados Unidos, fosse desenvolvida a projeção UTM (Universal Transversa de Mercator), uma projeção cilíndrica muito utilizada na cartografia contemporânea.

No século XVII, surgiu o primeiro telescópio parabólico, fabricado por Johan Hevelius; um cronômetro marinho que permitia aos marinheiros calcular exatamente a longitude, criado por John Harrison; o sextante, o teodolito e o barômetro, inventados por Jesse Ramsden. Esses instrumentos, assim como as teses de Isaac Newton sobre o achatamento dos polos e o progresso da trigonometria, contribuíram para aumentar a precisão dos mapas.



Figura 04. O "Theatrum Orbis Terrarum" (http://pt.wikipedia.org/wiki/Theatrum_Orbis_Terrarum)

No século XIX, os conflitos continentais impulsionaram o desenvolvimento da cartografia de grande escala. Melhoraram as técnicas de impressão e iniciou-se o desenvolvimento de um atlas universal e de cartas temáticas. Por volta de 1860, as operações fotogramétricas começaram a ser empregadas como instrumento de reconhecimento do terreno, quando câmaras fotográficas foram colocadas a bordo de um balão, mais tarde substituído por avião.

Os sucessivos progressos da astronomia, agrimensura e geometria ofereceram paulatinamente os conhecimentos básicos e as técnicas necessárias para a formação da moderna ciência cartográfica, baseada em cálculos complexos e rigorosos.

Ao mesmo tempo, as nações iniciaram os mapeamentos sistemáticos de seus territórios, notando-se um amplo predomínio dos mapas regionais sobre o mapa-múndi. Neste período, vários fatores contribuíram para o progresso da cartografia:

- » 1855 – Primeiras fotografias aéreas, obtidas a partir de um satélite espião, utilizado na França, durante a 1ª Guerra Mundial;
- » Confeção do primeiro mapa internacional, na escala de 1:1.000.000 entre 1891 – 1913;
- » A produção de mapas de grande escala e a ampla utilização de fotografias aéreas durante a 2ª Guerra Mundial;

Durante o século XX três momentos foram fundamentais:

- » A automação do processo cartográfico para a base sistemática (geodésia), durante a década de 40;
- » Primeiros satélites artificiais utilizados para mensuração, o uso do computador para o tratamento de grande quantidade de informações, durante a década de 1950;
- » Lançamento do LANDSAT para análise da superfície terrestre, em 1970;

Hoje em dia a metodologia cartográfica incorpora sofisticadas tecnologias, incluindo mapas interativos e novas formas de representação espacial, destacando-se o uso do sensoriamento remoto, os sistemas computacionais (CAD), o uso irrestrito do GPS e a aplicação de técnicas de sistemas de informações geográficas (SIG).

2. CARTOGRAFIA E GEOPROCESSAMENTO

A cartografia preocupa-se em apresentar um modelo de representação de dados para os processos que ocorrem no espaço geográfico, enquanto que geoprocessamento é a área do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais fornecidas pelos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para tratar os processos que ocorrem no mesmo ambiente. É correto supor a existência de uma estreita correlação entre as áreas de automação da produção cartográfica e

os esforços de concepção e construção das ferramentas SIG, as áreas de Sensoriamento Remoto, CAD (Computer Aided Design) e o Gerenciamento de Bancos de Dados, conforme mostrado na figura 05.

Dados espaciais caracterizam-se especificamente pelo atributo da localização geográfica. Um objeto qualquer (como uma cidade, a foz de um rio ou o pico de uma montanha) somente tem sua localização geográfica estabelecida quando se pode descrevê-lo em relação a outro objeto cuja posição seja previamente conhecida ou quando se determina sua localização em relação a um dado sistema de coordenadas, o que nos remete ao conceito da Geodésia. Através desta ciência é possível a localização matemática de posições sobre a superfície terrestre.

Figura 05:
Relações entre
SIG e outras
áreas (adaptado
de Maguire et al.,
1991).



A melhor aproximação dessa Terra matematicamente tratável é o geóide, que pode ser definido como a superfície equipotencial do campo da gravidade terrestre que mais se aproxima do nível médio dos mares. A adoção do geóide como superfície matemática de referência, contudo, esbarra no conhecimento limitado do campo da gravidade terrestre, razão pela qual se trabalha como o conceito do elipsóide de revolução e de datum planimétrico.

A partir do estabelecimento de um elipsóide de referência, escolhido a partir de critérios geodésicos de adequação ou conformidade à região da superfície terrestre a ser mapeada impõe-se inicialmente a restrição de preservação do paralelismo entre o eixo de rotação da Terra real e o do elipsóide. Na sequência, escolhe-se um ponto central (ou origem) no país ou região e se impõe desta vez, a anulação do desvio da vertical, que é o ângulo formado entre a vertical do lugar no ponto origem e a normal à superfície do elipsóide, ficando definida então a estrutura básica para o sistema geodésico do país ou região: o datum planimétrico. Trata-se, portanto, de uma superfície de referência elipsoidal posicionada com respeito a uma determinada região. Sobre esta superfície realizam-se as medições.

Surge então o conceito de datum, que se refere ao modelo matemático teórico da representação da superfície da Terra ao nível do mar utilizado pelos cartógrafos numa dada carta ou mapa. Visto existirem vários datum em utilização simultânea, na legenda das cartas deverá sempre ser indicado qual o datum utilizado, tanto horizontal quanto vertical. De uma forma muito simplificada, o datum providencia o ponto de referência a partir do qual a representação gráfica dos paralelos e meridianos, e consequentemente do todo o resto que for desenhado na carta, está relacionado.

Um dos problemas típicos na criação da base de dados de um SIG no Brasil tem sido a coexistência de dois sistemas geodésicos de referência: Córrego Alegre e SAD- 69. Algumas cartas topográficas referem-se à Córrego Alegre, que é o antigo datum planimétrico brasileiro, enquanto outras utilizam como referência o SAD-69, que é o atual datum planimétrico. Os usuários de SIG já estão relativamente acostumados a conviver com escolhas de projeção e seleções de datum sempre que precisam realizar entrada ou importação de dados, mas costumam ignorar que as coordenadas geográficas - na verdade, geodésicas - são definidas sobre a superfície de referência do datum selecionado e que, portanto, variam de datum para datum.

2.1. EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE REFERÊNCIA NO BRASIL

Historicamente, no Brasil já foram oficialmente adotados quatro sistemas de referenciais geodésicos:

A) Córrego Alegre

Na década de 50 foi adotado o Sistema Geodésico Córrego Alegre, que tinha como vértice o ponto Córrego Alegre e o elipsóide Internacional de Hayford de 1924 como superfície de referência, sendo seu posicionamento e orientação determinados astronomicamente.

Coordenadas:

- Latitude = $19^{\circ} 50' 14,91''$ S
- Longitude = $48^{\circ} 57' 41,98''$ W
- h = 683,81 metros

B) Astro Datum Chuá

A partir de estudos gravimétricos na região do ponto Córrego Alegre, foi escolhido um novo ponto, no vértice de Chuá. Este sistema foi estabelecido pelo IBGE em caráter provisório, como um ensaio para a implantação do Datum SAD69. Foram ignoradas as componentes do desvio da vertical para ajustamento das coordenadas do Datum.

C) SAD69

O sistema geodésico SAD69 foi oficialmente adotado no Brasil em 1979. A imagem geométrica da Terra é definida pelo Elipsóide de Referência Internacional de 1967, aceito pela Assembleia Geral da Associação Geodésica Internacional que teve lugar em Lucerne, no ano de 1967.

O referencial altimétrico coincide com a superfície equipotencial que contém o nível médio do mar, definido pelas observações maregráficas tomadas na baía de Imbituba, no litoral do Estado de Santa Catarina.

Foram determinados os parâmetros topocêntricos das componentes do desvio da vertical e ondulação geoidal no vértice Chuá.

Coordenadas:

- Latitude: 19° 45' 41,6527" S
- Longitude: 48° 06' 04,0639" W
- Altitude ortométrica: 763,28 m
- Azimute (Chuá - Uberaba): 271° 30' 04,05"

D) SAD69 - Realização 1996

Em 1996 foi concluído pelo IBGE o reajustamento da rede geodésica brasileira, utilizando-se das novas técnicas de posicionamento por satélites GPS. Juntamente com as observações GPS também participaram do reajustamento os pontos da rede clássica. A ligação entre as duas redes foi feita através de 49 estações da rede clássica, as quais foram observadas por GPS. Esse ajustamento forneceu também o desvio padrão das coordenadas das estações.

E) WGS84

O WGS84 é a quarta versão do sistema de referência geodésico global estabelecido pelo Departamento de Defesa Americano (DoD) desde 1960 com o objetivo de fornecer posicionamento e navegação em qualquer parte do mundo. Ele é o sistema de referência das efemérides operacionais do sistema GPS. Daí a importância do WGS84 frente aos demais sistemas de referência.

No Brasil, os parâmetros de conversão entre SAD69 e WGS84 foram apresentados oficialmente pelo IBGE em 1989. Uma das principais características do WGS84 diante do SAD69 é este ser um sistema geocêntrico, ao contrário do sistema topocêntrico do SAD69.

F) SIRGAS

O SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul) foi criado em outubro de 1993, contando com a participação dos países da América do Sul, representados por suas agências nacionais, tendo como principal objetivo estabelecer um sistema de referência geocêntrico para a América do Sul. A adoção do SIRGAS segue uma tendência atual. Tendo em vista as potencialidades do GPS e as facilidades para os usuários, pois, com esse sistema geocêntrico, as coordenadas obtidas com GPS, relativamente a esta rede, podem ser aplicadas diretamente aos levantamentos cartográficos, evitando a necessidade de transformações e integração entre os dois referenciais (Dalazoana; Freitas, 2000).

Utilizando a concepção de um Sistema de Referência Moderno, onde a componente "tempo" é acrescentada, as coordenadas e vetor velocidades dos vértices são referidos a uma determinada época. O elipsóide utilizado é o GRS-80 (Geodetic Reference System 1980), sendo considerado idêntico ao WGS84 em questões de ordem prática, como é o caso do mapeamento. As constantes dos dois

elipsóides são idênticas, com exceção de uma pequena variação no achatamento terrestre.

O pós-processamento de um rastreamento GPS realizado com efemérides precisas, proporcionam coordenadas em ITRFyy e ou SIRGAS, dependendo da estação de referência (ou inunção) no posicionamento relativo for ITRF e ou SIRGAS, respectivamente. Nos demais casos, como por exemplo, no posicionamento diferencial pós processado com efemérides operacionais e o posicionamento em tempo real, as coordenadas resultantes estarão referidas ao WGS84.

No Brasil, fazem parte das estações SIRGAS, 9 estações da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo). Oficialmente adotado como Referencial Geodésico Brasileiro em 2005, através da Resolução N°1/2005 (IBGE), onde é alterada a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro, estando em um período de transição de 10 anos, no qual o SAD69 ainda poderá ser utilizado pela comunidade, com a recomendação de que novos trabalhos sejam feitos já no novo sistema.

Embora se deva ter ciência da variabilidade das coordenadas geodésicas, deve-se atentar para a magnitude das variações envolvidas. As diferenças entre Córrego Alegre para SAD-69 ou WGS-84, por exemplo, traduzem-se em discrepâncias de algumas dezenas de metros sobre a superfície do território brasileiro.

Além deste datum horizontal ou planimétrico existe também a rede geodésica de nivelamento de precisão, constituído por pontos de altitude ortométrica de alta precisão que formam o referencial altimétrico para trabalhos de natureza cartográfica/geodésica, tendo datum de referência o nível médio do mar definido pelo marégrafo da Baía de Imbituba em Santa Catarina.

2.2. PRECISÃO CARTOGRÁFICA

As medidas cartográficas extraídas de uma carta impressa em papel estão sujeitas a dois tipos de erro de imprecisões bem caracterizadas.

O erro gráfico geralmente é aceito como sendo 0,2 mm, correspondente ao limite da acuidade visual humana e o Padrão de exatidão cartográfica (PEC), o indicador da dispersão relativa a 90% de probabilidade, que define a exatidão de trabalhos cartográficos.

O Decreto 89.917, de 20/07/1984 dá a seguinte classificação para cartas impressas segundo o PEC (tabela 01).

	CLASSE	A	B	C
PEC	PEC PLANIMÉTRICO	0,5 mm	0,8 mm	1 mm
	ERRO PADRÃO	0,3 mm	0,5 mm	0,6 mm
	PEC ALTIMÉTRICO	1/2 equidistância	3/5 equidistância	3/4 equidistância
	ERRO PADRÃO	1/3 equidistância	2/5 equidistância	1/2 equidistância

Tabela 01. Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) – Adaptado de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm

Em cartografia digital desaparece o erro gráfico, porém continua a existir o PEC, que costuma ser chamado de resolução. Os trabalhos digitalizados a partir de cartas topográficas impressas poderão manter o PEC da carta original, desde que seja feito controle adequado do processo de digitalização.

Todas as cartas topográficas do mapeamento sistemático brasileiro são classificadas no padrão "A". Assim, qualquer coordenada obtida estará sujeita a uma composição de incertezas de 0,5 mm na sua posição geográfica, donde se pode concluir que em qualquer mapa de escala inferior a 1:250.000 (PEC de 125 metros), as discrepâncias verificadas entre os principais datum utilizados no Brasil (Córrego Alegre, SAD 69 e WGS 1984) são negligenciáveis, visto que o erro máximo cometido na projeção destes pontos é inferior à PEC sendo, contudo, absolutamente preponderantes para escalas maiores que esta.

2.3. MERIDIANOS E PARALELOS

Para que cada ponto da superfície terrestre possa ser localizado, existe um sistema de linhas imaginárias, que são representadas em uma carta: os meridianos e paralelos.

Os *meridianos* são as linhas que passam através dos polos e ao redor da Terra. O ponto de partida para numeração dos meridianos é o meridiano que passa pelo Observatório de Greenwich, na Inglaterra. Portanto, o meridiano de Greenwich é o Meridiano Principal. As localizações são feitas a partir dele que é o marco 0°, para oeste e para leste, 180°.

Partindo-se do Polo Norte em direção ao Polo Sul, ou vice-versa, exatamente na metade do caminho, encontra-se o Equador, uma linha imaginária que intersecta cada meridiano e que rodeia a Terra, contida em um plano perpendicular ao seu eixo de rotação, dividindo-a em duas metades exatas.

O Equador é um círculo máximo, cujo plano é perpendicular à linha dos polos. Seu valor é 0°, e partindo-se dele em direção aos polos Norte e Sul, pode-se construir uma infinidade de planos *paralelos*, cujas seções são círculos que progressivamente diminuem de tamanhos. São chamados de paralelos; quando se chega ao polo, o círculo fica reduzido a um ponto. Numeram-se os paralelos de 0 à 90°, para Norte e para Sul.

O conjunto dos meridianos e paralelos forma uma rede de linhas imaginárias ao redor do globo, constituindo as coordenadas geográficas. Em uma carta, este conjunto é chamado de rede, reticulado ou quadriculado e constitui a base da sua construção.

2.4. COORDENADAS GEOGRÁFICAS

Cada ponto da superfície terrestre está situado no ponto de intercessão entre um meridiano e um paralelo. A localização de cada ponto é dada em termos de sua latitude e de sua longitude. Este sistema está baseado em duas linhas: o

Equador e o Meridiano Principal. As medidas são feitas em linhas curvas, isto é, nos paralelos meridianos. O sistema de medida utilizado é o grau.

2.5. LATITUDE E LONGITUDE

Latitude é a distância em graus, minutos e segundos de arco Norte ou Sul do Equador, medidos ao longo do meridiano do ponto; vai de 0 a 90°, ou ainda, “latitude é o ângulo entre o fio de prumo e o plano do equador celeste, ou o ângulo entre o plano do horizonte e o eixo de rotação da Terra”. Assume valores positivos no hemisfério norte (latitude norte) e negativos, no hemisfério sul (latitude sul).

Longitude é a distância em graus, minutos e segundo de arco Leste ou Oeste do Meridiano de Greenwich, medidos ao longo do paralelo do ponto, vai de 0 a 180°, ou Longitude é o ângulo entre o plano do meridiano celeste e o plano do meridiano de origem, escolhido arbitrariamente. A Longitude pode ser medida no sentido Oeste, quando é chamada *longitude oeste de Greenwich* (w gr.) ou negativa, ou no sentido Este, quando é chamada *longitude este de Greenwich* (e gr.) ou positiva.

A Longitude varia de: 0° à 180° W Gr. ou 0° à - 180° e de 0° à 180° E Gr. ou 0° à + 180°

2.6. SISTEMAS DE PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA

A única forma de representar quase sem alterações a superfície terrestre, embora com todos os defeitos e alterações pertinentes à transformação não coerente de um geóide numa esfera, é sem dúvida a sua projeção numa esfera ou globo.

Uma projeção cartográfica é uma tentativa de reproduzir toda ou parte de uma superfície esférica numa folha plana. Somente esta representação permite uma armazenagem fácil e não depende da escala a utilizar. Esta operação é bastante difícil de conseguir, dado que a superfície terrestre não é planificável. Desta forma o cartógrafo deve escolher qual a característica que deve aparecer corretamente, em prejuízo das outras, ou contemporizar com todas, reduzindo o erro do conjunto final.

Os inúmeros sistemas existentes de representação cartográfica tem cada um as suas vantagens e inconvenientes, sendo o critério de escolha daquela mais adequada, função dos seguintes parâmetros:

- Extensão da região a representar;
- Configuração da região a representar;
- Latitude média da região;
- Objetivo da carta ou mapa, etc.

As projeções cartográficas mais comumente usadas, classificadas quanto à superfície de projeção são (figura 06):

a) Planas - este tipo de superfície pode assumir três posições básicas em relação a superfície de referência: polar, equatorial e oblíqua (ou horizontal).

b) Cônicas - embora esta não seja uma superfície plana, já que a superfície de projeção é o cone, ela pode ser desenvolvida em um plano sem que haja distorções e funciona como superfície auxiliar na obtenção de uma representação. A sua posição em relação à superfície de referência pode ser: normal, transversal e oblíqua (ou horizontal).

c) Cilíndricas - tal qual a superfície cônica, a superfície de projeção que utiliza o cilindro pode ser desenvolvida em um plano (Figura 06) e suas possíveis posições em relação a superfície de referência podem ser: equatorial, transversal e oblíqua (ou horizontal).

d) Poli Superficiais - se caracterizam pelo emprego de mais do que uma superfície de projeção (do mesmo tipo) para aumentar o contato com a superfície de referência e, portanto, diminuir as deformações (plano-poliédrica; cone-policônica; cilindro/poli cilíndrica).

2.6.1. PROJEÇÃO UTM - "UNIVERSAL TRANSVERSE MERCATOR"

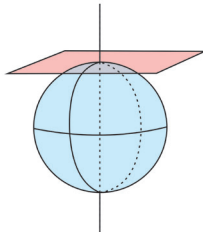
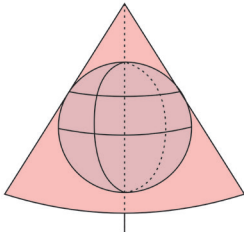
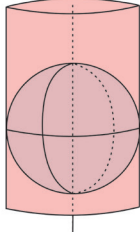
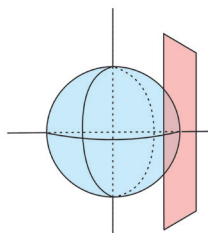
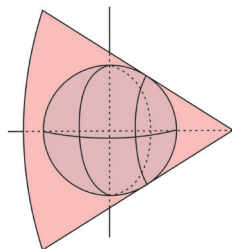
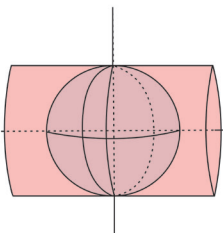
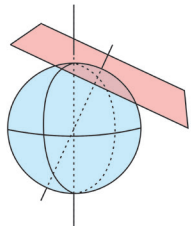
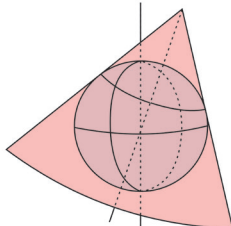
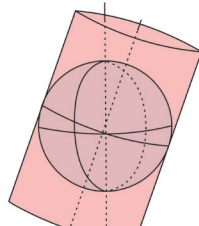
O mapeamento sistemático do Brasil, que compreende a elaboração de cartas topográficas, é feito na projeção UTM (1:250.000, 1:100.000, 1:50.000, 1:25.000).

Tem como principais características:

- a superfície de projeção é um cilindro transversal e a projeção é conforme;
- o meridiano central da região de interesse, o equador e os meridianos situados a 90° do meridiano central são representados por retas;
- os outros meridianos e os paralelos são curvas complexas;
- a escala aumenta com a distância em relação ao meridiano central, tornando-se infinita a 90° do meridiano central;
- como a Terra é dividida em 60 fusos de 6° de longitude, o cilindro transversal adotado como superfície de projeção assume 60 posições diferentes, já que seu eixo mantém-se sempre perpendicular ao meridiano central de cada fuso;
- aplica-se ao meridiano central de cada fuso um fator de redução de escala igual a 0,9996, para minimizar as variações de escala dentro do fuso;

O sistema de projeção UTM é um sistema Mercator Transverse elipsoidal, ao qual foram aplicados parâmetros específicos, com os meridianos centrais, funcionando como eixos de coordenadas retangulares de cada fuso. Para tal a terra é dividida, entre as latitudes de 84° N e 80° S, em 60 fusos, com uma largura genérica de 6° em longitude. Os fusos são numerados de 1 a 60 no sentido Leste, a partir do anti-meridiano de Greenwich (180° de Longitude). Existe ainda uma divisão em zonas quadrangulares completando a divisão já feita em longitude, com outra de 8° em latitude; estes quadrados são designados, em cada fuso, por letras do alfabeto de C a X (exceção ao I e O) e de Sul para Norte. Cada um destes quadrados é depois subdividido em quadrados de 100 km de lado definidos por duas letras.

Figura 06.
Superfícies de
Projeção (IBGE)
(disponível
em www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/manual.../indice.htm).

PLANAS	CÔNICAS	CILINDRICAS
 <p>POLAR - plano tangente no polo</p>	 <p>NORMAL - eixo do cone paralelo ao eixo da Terra</p>	 <p>EQUATORIAL - eixo do cilindro paralelo ao eixo da Terra</p>
 <p>EQUATORIAL - plano tangente no equador</p>	 <p>TRANSVERSA - eixo do cone perpendicular ao eixo da Terra</p>	 <p>TRANSVERSA - eixo do cilindro perpendicular ao eixo da Terra</p>
 <p>OBLÍQUA - plano tangente em qualquer</p>	 <p>HORIZONTAL - eixo do cone inclinado em relação ao eixo da Terra</p>	 <p>TRANSVERSA - eixo do cilindro inclinado em relação ao eixo da Terra</p>
		<p>HORIZONTAL - plano tangente em um ponto qualquer</p>

Desde as latitudes 84° N e 80° S, até aos respectivos polos usa-se o sistema de projeção conhecido por Estereográfico Polar Universal, ou UPS.

Cada ponto é localizado geograficamente no sistema UTM pelas suas coordenadas X e Y em metros, utilizando o meridiano médio como meridiano central do fuso, sendo a sua escala reduzida para 0,9996 da verdadeira escala.

No hemisfério Norte, o ponto do equador que cruza com o meridiano central é considerado a origem, tendo como X (E) o valor de 500 000 m e como Y (N) o valor de 0 (zero). Para o hemisfério Sul, o mesmo ponto origem mantém o X= 500 000 m, mas o Y passa a ter o valor de 1000 000 m.

2.7. CARTA INTERNACIONAL AO MILIONÉSIMO (CIM)

A convenção de Londres (1909) dividiu o mundo em cartas ao milionésimo (1:1.000.000) tendo cada Carta 4° de latitude por 6° de longitude. Os fusos são numerados, no sentido levogiro (direita para esquerda), a partir do anti-meridiano de Greenwich. A divisão em fusos aqui apresentada é a mesma adotada nas especificações do sistema UTM, cujas especificações são pautadas nas características da CIM.

A Carta Internacional ao Milionésimo (CIM) tem por principais finalidades:

- Fornecer uma carta de uso geral de forma a possibilitar estudos preliminares relacionados a investimentos e planejamentos;
- Atender às necessidades de especialistas de outras áreas;
- Possibilitar o desenvolvimento de outras séries a partir da CIM;
- Fornecer uma base para a elaboração de mapas temáticos (recursos naturais, população, solo, geologia, etc.).

A projeção utilizada é a projeção cônica conforme de Lambert, de acordo com a recomendação da Conferência das Nações Unidas sobre a CIM, em agosto de 1962. Este sistema de projeção é utilizado somente até as latitudes de 84 graus norte e 80 graus sul. As folhas das regiões polares utilizam a projeção Estereográfica Polar.

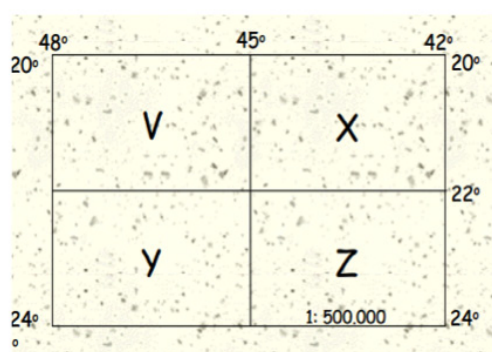
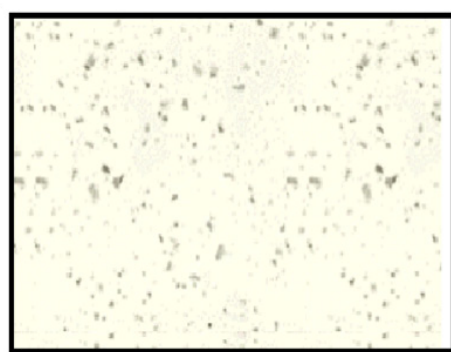
Cada uma das folhas ao Milionésimo pode ser acessada por um conjunto de três elementos:

- i. Letra N ou S - indica se a folha está localizada ao Norte ou a Sul do Equador;
- ii. Letras A até U - cada uma destas letras se associa a um intervalo de 4° de latitude se desenvolvendo a Norte e a Sul do Equador e se prestam a indicação da latitude limite da folha;
- iii. Números de 1 a 60 - indicam o número de cada fuso que contém a folha

2.7.1. DESDOBRAMENTO DAS FOLHAS AO MILIONÉSIMO

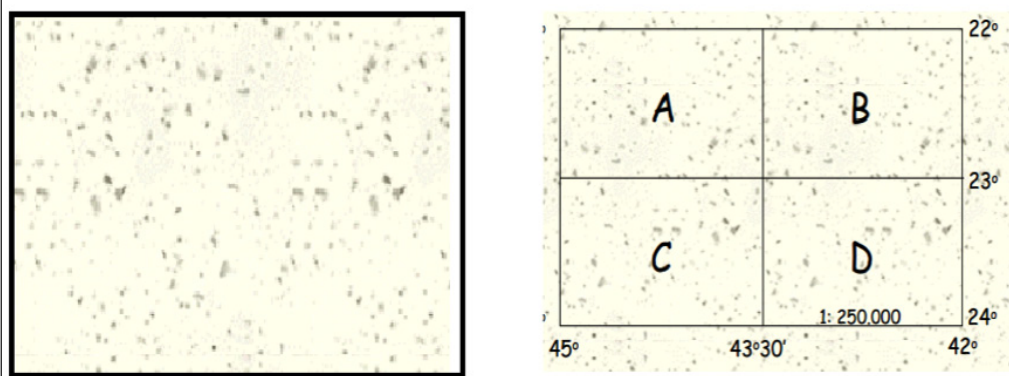
A carta ao milionésimo é dividida em outras quatro folhas que agora ficam com 2° de latitude e 3° de longitude e recebem as letras maiúsculas V, X, Y e Z para sua identificação. Estas cartas apresentam uma escala de 1:500.000 (figura 07).

Figura 07.
Subdivisão
das folhas ao
milionésimo



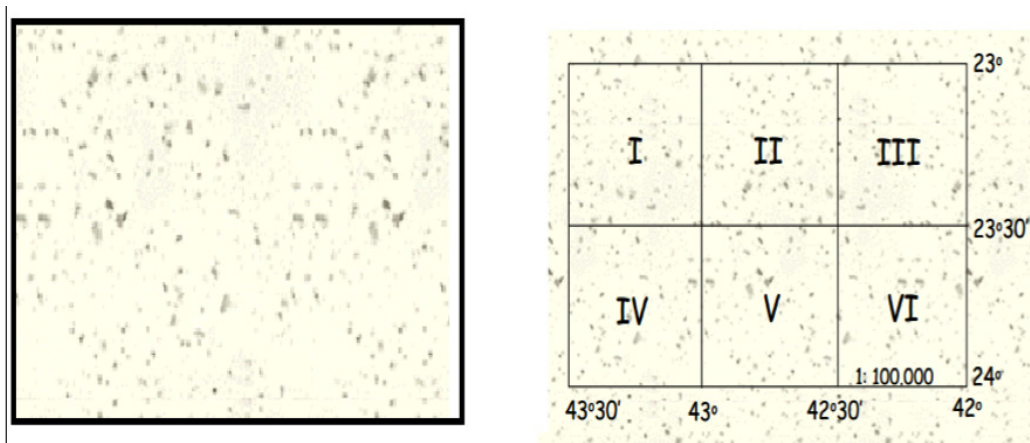
Cada uma dessas quatro folhas resultantes, pode ser dividida em outras quatro de 1° de latitude e 1° e $30'$ de longitude obtendo-se uma escala de 1:250.000 com a identificação sendo feita pelas letras maiúsculas A, B, C e D (figura 08).

Figura 08. As folhas na escala de 1:250.000



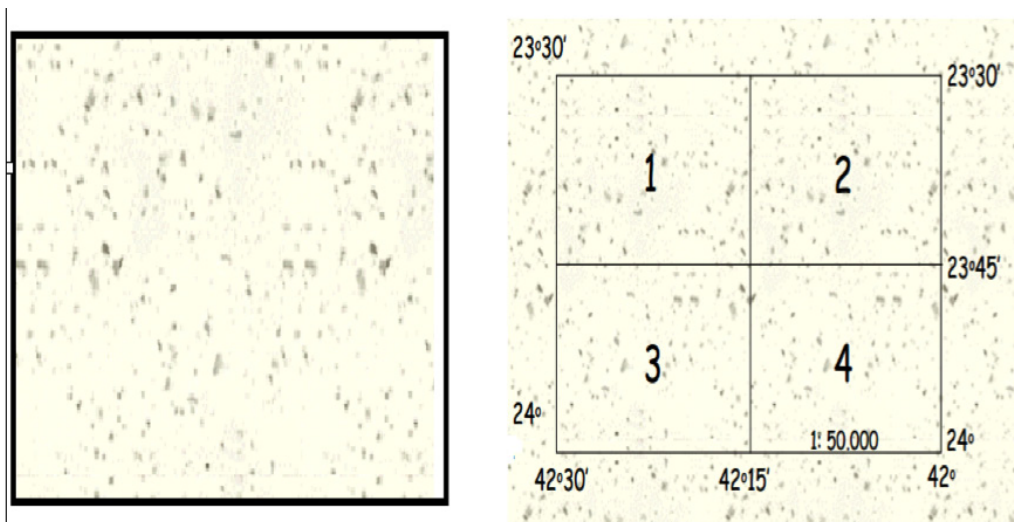
A próxima escala do mapeamento sistemático é 1:100.000 que é obtida pela divisão da carta na escala 1:250.000 em seis folhas sendo denominadas I, II, III, IV, V e VI em algarismo romanos (figura 09).

Figura 09. Folhas 1:100.000



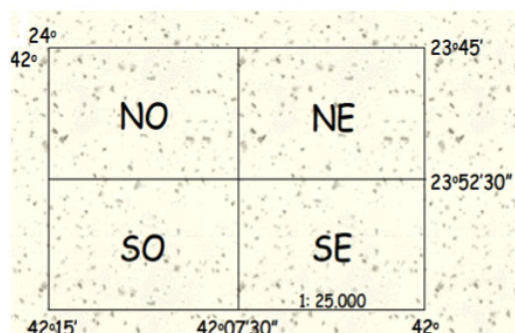
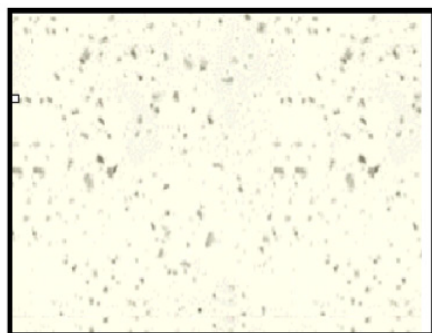
As folhas 1:100.000 podem ser divididas em quatro partes, resultando em cartas na escala 1:50.000 (denominadas 1, 2, 3 e 4), com intervalos de $15'$ de latitude e de longitude (figura 10).

Figura 10. Escalas 1:50.000



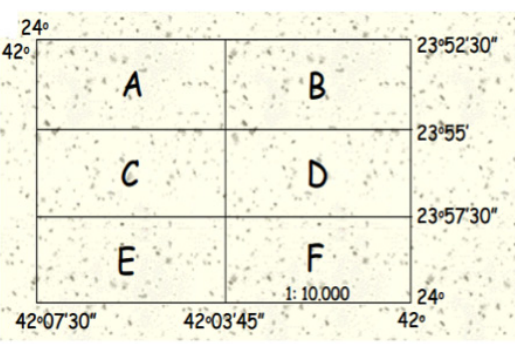
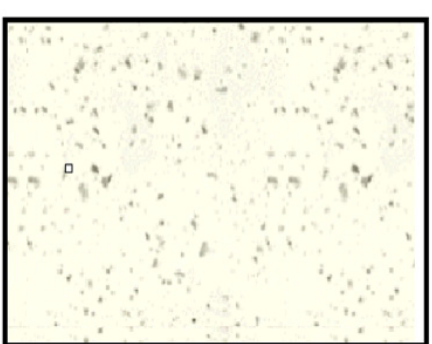
Estas, dividem-se em 4 partes com intervalos de 7' e 30" de latitude e longitude, obtendo-se as folhas 1:25.000 (denominadas NO, NE, SO e SE, figura 11).

Figura 11. Escala 1:25.000



Finalmente, as folhas NO, NE, SO e SE: seis folhas, escala 1:10.000, chamadas A, B, C, D, E e F, 2' 30" de latitude por 45" de longitude (figura 12).

Figura 12. As folhas 1:10.000



O Território Brasileiro é coberto por 08 (oito) fusos, conforme visto na figura 13.

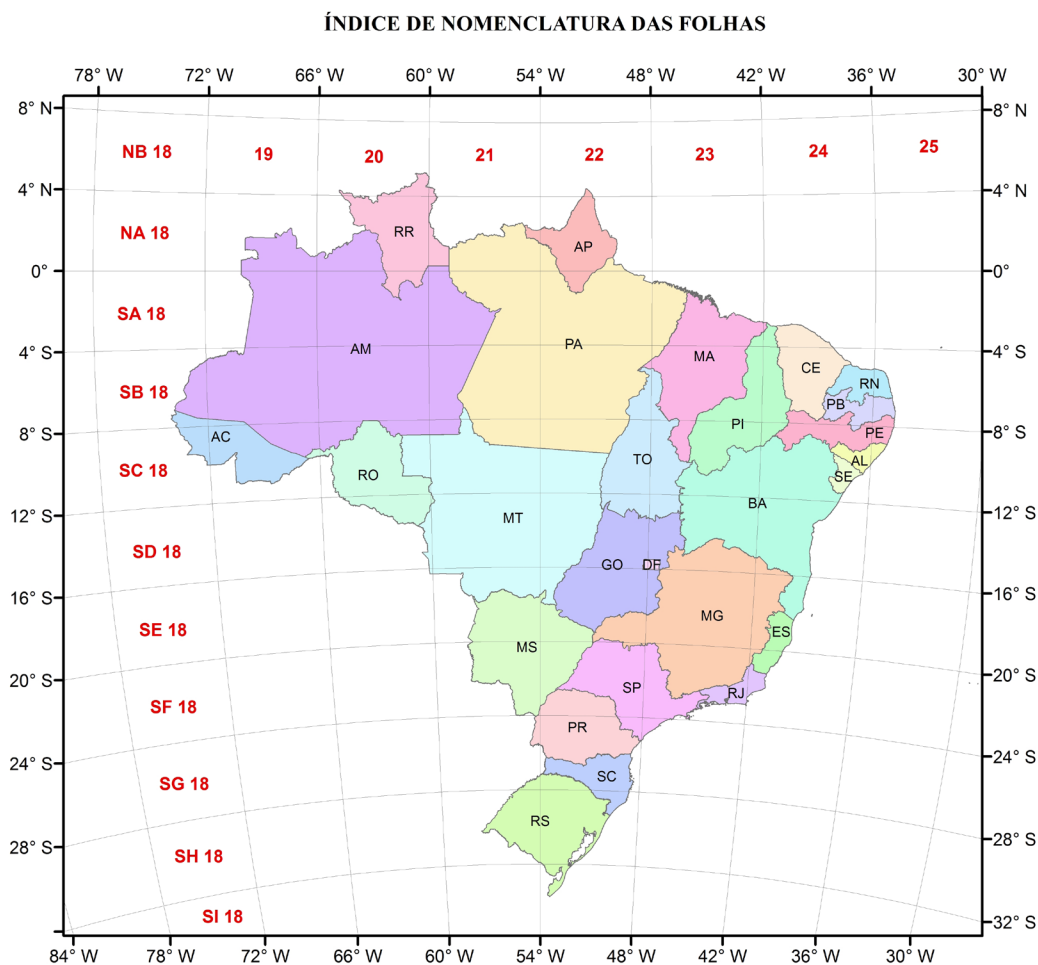
2.7.2. MAPA ÍNDICE

Além do índice de nomenclatura, existe também outro sistema de localização de folhas. Neste sistema as folhas são numeradas de modo a referenciá-las através de um simples número, de acordo com as escalas. Assim:

- » Para as folhas de 1:1.000.000 usa-se uma numeração de 1 a 46;
- » Para as folhas de 1:250.000 usamos uma numeração de 1 a 550;
- » Para as folhas de 1:100.000, temos 1 a 3036;

Estes números são conhecidos como "MI" que quer dizer número correspondente no MAPA-ÍNDICE.

Figura 13. Folhas ao milionésimo no Brasil (IBGE)



O número MI substitui a configuração do índice de nomenclatura. Por exemplo, para escalas de 1:100.000, a folha SD-23-Y-C-IV corresponderá o número MI 2215.

- » Para as folhas na escala 1:50.000, o número MI vem acompanhado do número (1,2,3 ou 4) conforme a situação da folha em relação a folha 1:100.000 que a contém. Por exemplo, à folha SD-23-Y-C-IV-3 corresponderá o número MI 2215-3;
- » Para as folhas de 1:25.000 acrescenta-se o indicador (NO,NE,SO e SE) conforme a situação da folha em relação a folha 1:50.000 que a contém, por exemplo, à folha SD- 23-Y-C-IV-3-NO corresponderá o número MI 2215-3-NO.

A aparição do número MI no canto superior direito das folhas topográficas sistemáticas nas escalas 1:100.000, 1:50.000 e 1:25.000 é norma cartográfica hoje em vigor, conforme recomendam as folhas-modelo publicadas pela Diretoria de Serviço Geográfico do Exército, órgão responsável pelo estabelecimento de Normas Técnicas para as séries de cartas gerais, das escalas 1:250.000 e maiores.

2.7.3. DIVISÕES DA CARTOGRAFIA

De uma forma geral, a cartografia pode ser dividida em dois grandes grupos de atividades:

- i. de propósito geral ou de referência;
- ii. de propósito especial ou temática.

O primeiro grupo trata da cartografia definida pela precisão das medições para confecção dos mapas. Ocupa-se com a chamada cartografia de base, representando com a máxima perfeição possível todas as feições de interesse sobre a superfície terrestre, ressaltando apenas a escala de representação. Baseia-se em um levantamento preciso e normalmente utiliza como apoio a fotogrametria, a geodésia e a topografia. Seus produtos são denominados mapas gerais, de base ou de referência.

O segundo grupo depende do grupo anteriormente citado, criando mapas de ensino, pesquisa, atlas, mapas temáticos diversos e mapas de emprego especial.

Os mapas temáticos distinguem-se essencialmente dos mapas de base por representarem fenômenos quaisquer, que sejam geograficamente distribuídos, discreta ou continuamente sobre a superfície terrestre. Esses fenômenos podem ser de natureza física, como por exemplo, a média anual de temperatura ou precipitação sobre uma área, ou de natureza abstrata, humana ou de outra característica qualquer, como as características hidrogeológicas de uma determinada área, região ou país, condições sociais, distribuição de doenças, entre outros. Dependem da reunião e agrupamento de dados obtidos de várias fontes, como informações, censitárias, dados governamentais, pesquisa local própria, etc..

A exigência principal para que um fenômeno qualquer possa ser representado em um mapa é a associação da distribuição espacial ou geográfica, ou seja, deve ser conhecida e perfeitamente definida sua ocorrência sobre a superfície da terra, sendo este o elo entre o fenômeno e o mapa. Desta forma, qualquer fenômeno ou feição que seja espacialmente distribuído pode ter representada sua ocorrência sobre a superfície terrestre através de um mapa. Qualquer fenômeno assim caracterizado é dito como georreferenciado.

CAPÍTULO II

CARTOGRAFIA HIDROGEOLÓGICA

1. HISTÓRIA E DESENVOLVIMENTO

1.1. NO MUNDO

Antes da metade do século passado, o aumento da demanda por água, particularmente nos países industrializados, originou a necessidade de se efetuar um planejamento racional dos recursos hídricos para usos em agricultura, indústrias e abastecimento público. Mapas hidrogeológicos foram considerados uma base útil para o desenvolvimento e, conseqüentemente, compilação de informações sobre águas subterrâneas em várias escalas e para vários fins, a partir de 1940.

Uma impressionante feição dos mapas hidrogeológicos preparados a partir de 1960 é a grande variedade de conteúdos e representações que eles contêm, conforme revelado em uma mostra realizada em Helsinki em 1961, durante a Assembleia Geral da Associação Internacional de Ciências Hidrogeológicas (IAHS), onde aproximadamente 200 mapas hidrológicos e hidrogeológicos foram apresentados. As diferenças entre as representações mostraram-se tão grande que ocasionaram dificuldades na comparação de áreas distintas, ainda que vizinhas.

Em 1960 e 1961, a Associação Internacional de Hidrogeólogos (IAH) realizou uma pesquisa sobre as técnicas utilizadas na preparação de tais mapas, através da circulação de um questionário para hidrogeólogos em muitos países. As respostas revelaram uma completa falta de uniformidade, onde um símbolo, um ornamento ou uma cor não teria o mesmo significado hidrogeológico de um mapa para outro. Havia alguns mapas de abrangência regional nos quais não houve consenso de opinião sobre quais características hidrogeológicas deveriam ser retratadas.

Dois requisitos básicos tornaram-se claros:

- i. A necessidade do estabelecimento de uma base internacional sobre os métodos de apresentação das informações hidrogeológicas em mapas e,
- ii. O estabelecimento de um acordo sobre quais características hidrogeológicas seria de importância suficiente para exigir sua representação em um mapa.

Dois organismos científicos internacionais, a IAH e IAHS, dedicaram-se a esses problemas. Depois de muitas discussões, a IAH criou, em 1959, a Comissão de Mapas Hidrogeológicos, com a missão de preparar uma primeira Legenda, com os símbolos recomendados, ornamentos e cores, e em segundo lugar para planejar a produção de uma série de mapas de pequena escala para cobrir toda a Europa como um modelo prático. Contatos foram estabelecidos com a UNESCO, a FAO, a Comissão para o Mapa Geológico do Mundo (CGMW), e partes interessadas de várias nacionalidades, tendo o acordo sido alcançado com um projeto de legenda para mapas hidrogeológicos, publicado pela UNESCO (Anon, 1963).

O Mapa Hidrogeológico Internacional Europeu de pequena escala foi projetado principalmente para harmonizar representações hidrogeológicas para fins de teste, mas também para permitir uma fácil comparação do mesmo com o Mapa Geológico da Europa, compilado na mesma escala (1:500.000), com a mesma grade de folhas de mapas, detalhes topográficos e de projeção.

Para elaborar o novo conceito e a nova legenda, uma área caracterizada por um alto grau de complexidade hidrogeológica foi selecionado, sendo tomada a decisão de elaborar modelos na Folha de C5 (Bern), a fim de testar a legenda e as diretrizes para a representação. Hidrogeólogos da Áustria, Checoslováquia, Alemanha, França, Itália, Suíça e Iugoslávia foram envolvidos na compilação deste mapa, entre 1962 e 1964.

Quatro versões do mapa foram elaboradas, impressas e discutidas, refletindo com sua legenda e formas de representação os conceitos geológicos e hidrogeológicos, sendo os corpos de rochas expressos por cores no mapa. No modelo 4 da folha, que foi aceito como o protótipo da série europeia, os aquíferos são mostrados por dois tons de azul (aquíferos intergranulares) e verde (aquíferos fissurados); a cor marrom foi usada para rochas com recursos de água subterrânea local (marrom claro) ou pouca ou nenhuma água subterrânea utilizável (marrom escuro).

O trabalho prático sobre as quatro versões da folha C5 resultou em numerosos acréscimos e modificações no projeto da legenda de 1963, de modo que uma nova legenda para mapas hidrogeológicos somente foi publicada em 1970, pelo Instituto de Ciências Geológicas (Londres), IAH, IAHS e UNESCO (Anon, 1970).

Apesar disto, vários trabalhos de mapeamentos hidrogeológicos desenvolvidos em outras partes do mundo e baseadas sobre a série de mapas europeus apresentaram uma série de inadequações com relação a esta legenda.

Na tentativa de estabelecer uma legenda internacional moderna para mapas hidrogeológicos, a Comissão da IAH em mapas hidrogeológicos (COHYM), em cooperação com a UNESCO e a IAHS elaboraram uma edição revista da legenda de 1970, publicada pela UNESCO como um livro técnico sobre Hidrologia (ANON, 1983).

Os trabalhos desenvolvidos assim como as legendas de 1970 e 1983 em muito contribuíram para um desenvolvimento mais preciso do mapeamento hidrogeológico. O conhecimento da Filosofia e tecnologia de mapeamento Hidrogeológico, contudo, sempre ficaram restritas a um pequeno grupo de cientistas que trabalharam no Programa da UNESCO, IAHS E IAH.

A necessidade de difundir este conhecimento tornou-se cada vez mais evidente, para hidrólogos, geólogos, engenheiros e Hidrogeólogos.

A Década Internacional da Hidrologia da UNESCO (DIC, 1965-1974,) acabou por se tornar o principal veículo de divulgação. Vários grupos de trabalho foram formados e painéis dos especialistas forneceram os guias metodológicos.

O primeiro passo importante foi a publicação da IHD intitulada "Hydrogeological Maps", organizada por um grupo de trabalho e publicado conjuntamente pela UNESCO e a Organização Meteorológica Mundial (WMO) em 1977 (Anon, 1977), contendo material descritivo e narrativo sobre todos os campos do mapeamento hidrogeológico, além de um capítulo especial dedicado a mapas de águas sub-

terrâneas. Foi introduzido o conceito filosófico do mapeamento hidrogeológico, para propósitos gerais e especiais e relacionadas todas as legendas internacionais existentes.

O mapa europeu, seu texto explicativo e as legendas utilizadas, ajudaram muito a atender à demanda por mapas em pequena escala em outros continentes. Atividades de mapeamento e relatórios foram desenvolvidas em um maior número de países e um número apreciável de mapas regionais ou continentais foram iniciados. Exemplos notáveis são os mapas hidrogeológicos da África, de uma série de países da América do Sul, Caribe, Países Árabes, Austrália, América do Norte, e sudeste da Ásia. Os mapas regionais, por sua vez, detiveram-se em atividades de mapeamento nacional (a maioria em escalas maiores) em países dentro dessas regiões. A maioria dos mapas é baseada nos princípios desenvolvidos no âmbito do IAH/UNESCO, no mapa europeu e na legenda desenvolvida dentro deste contexto.

Em meados dos anos oitenta ocorreu uma nova dinâmica. Um simpósio internacional “Mapas hidrogeológicos como ferramentas para o Desenvolvimento Económico e Social” foi realizado em Hanover (Alemanha) em maio de 1989 e os procedimentos revelaram um amplo espectro para compilação e aplicação de mapas hidrogeológicos.

A quarta fase dos trabalhos da IHP (1990 – 1995) foi direcionada para contribuir com a gestão racional dos recursos hídricos e à sua proteção. Nesta ocasião foi publicado o trabalho “Guia do Mapeamento da Vulnerabilidade dos Aquíferos”, elaborado por grupo de trabalho conjunto da IHP/IAH, encarregado de elaborar o texto, enquanto outro grupo trabalhou na criação da legenda para mapas de vulnerabilidade. O guia foi publicado como uma versão especial sobre vulnerabilidade, sob a responsabilidade da IAH e com o apoio da UNESCO, em 1994.

A figura 14 resume a evolução dos trabalhos de mapeamento hidrogeológico no mundo.

1.2. NO BRASIL

O mapeamento hidrogeológico sistemático no Brasil tem estreita relação com a CPRM/Serviço Geológico do Brasil, embora tenha tido origem na região nordeste, a partir da elaboração e posterior publicação pela SUDENE – Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste do “Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste”, cobrindo uma área de 1.235.000 km², representando 90% da área total desta região. As cinco últimas folhas (Belo Horizonte SE e NE, Rio Doce NO e SO e Rio São Francisco NE) foram elaboradas pela CPRM, em virtude do declínio daquela autarquia.

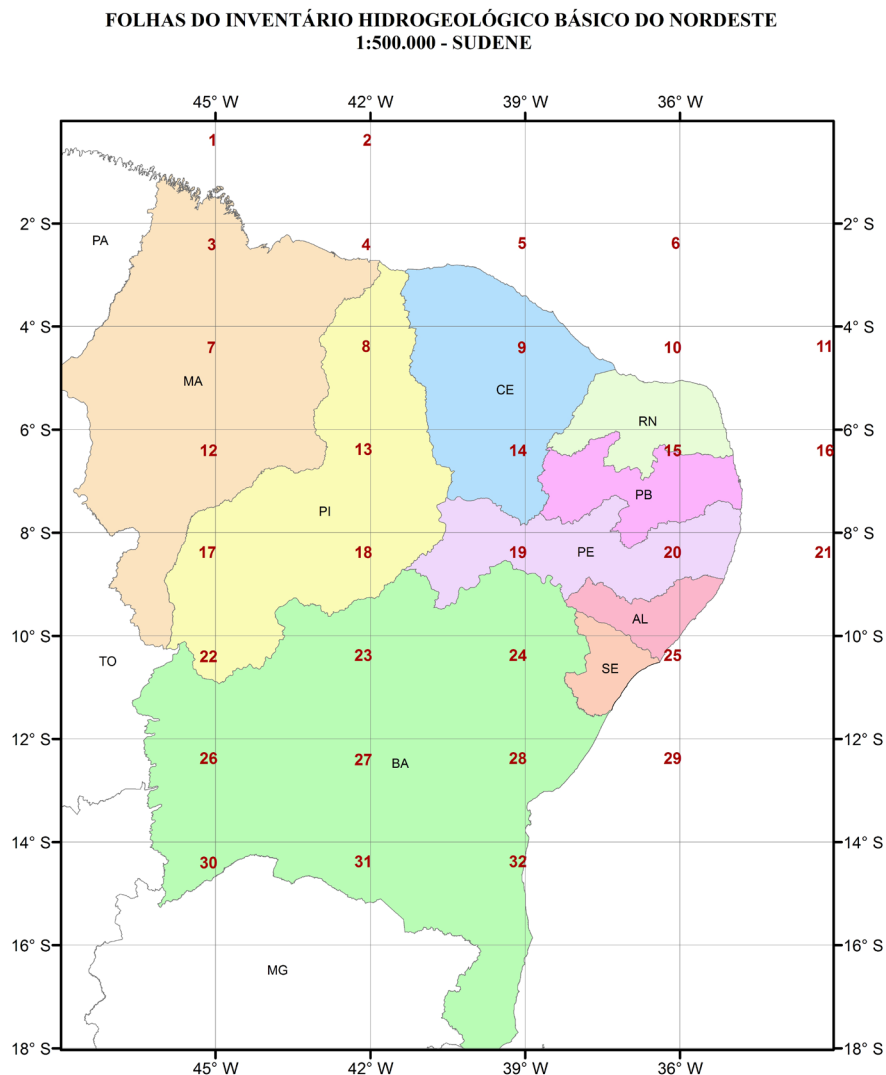
Realizado na escala de 1:500.000, foi composto por uma série de 25 folhas situadas a Leste do Meridiano 45° W, elaboradas entre 1960 – 1980 (figura 15).

Figura 14.
Evolução do
mapeamento
hidrogeológico
no mundo



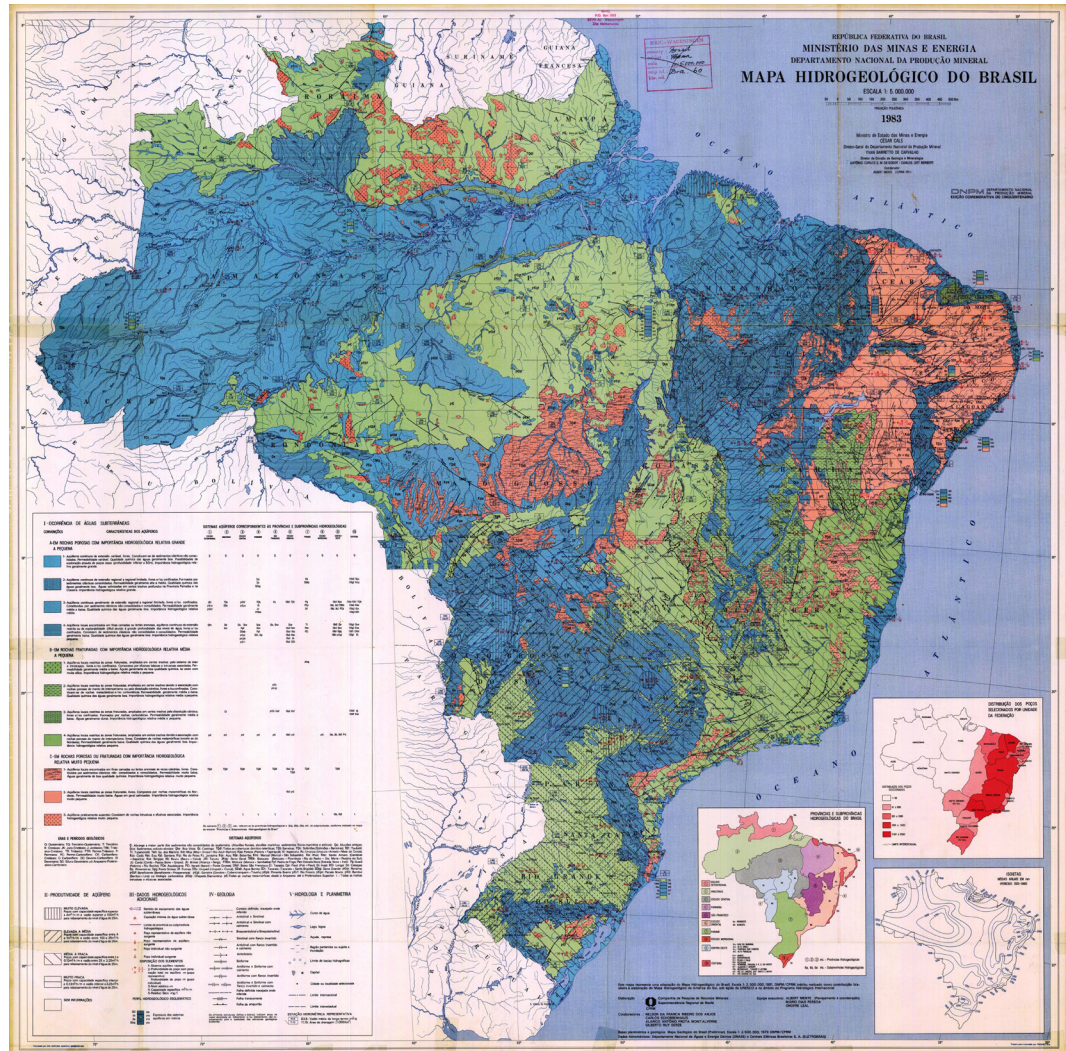
Cada Folha mapeada, de tamanho 30 X 20 continha um texto explicativo além de anexos de observações pluviométricas, catálogo de pontos de água, dados de análises químicas e fichas de sondagem.

Figura 15.
SUDENE. Folhas
do Inventário
Hidrogeológico
Básico do
Nordeste



No ano de 1983, o Departamento Nacional da Produção Mineral/DNPM e a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/CPRM publicaram o Mapa Hidrogeológico do Brasil, na escala de 1:5.000.000 (figura 16).

Figura 16.
O Mapa
Hidrogeológico
do Brasil (DNPM/
CPRM, 1983)



Este foi o primeiro mapa elaborado no Brasil de acordo com a Metodologia Internacional (UNESCO, 1970, 1997), sendo adotada a cor azul para os aquíferos porosos, verde para os fraturados e marrom para aquelas unidades de ocorrências apenas locais ou muito baixas de águas subterrâneas.

Os aquíferos porosos foram divididos em quatro classes, das quais duas de importância hidrogeológica relativa grande, uma de importância hidrogeológica relativa média e uma de importância hidrogeológica relativa pequena.

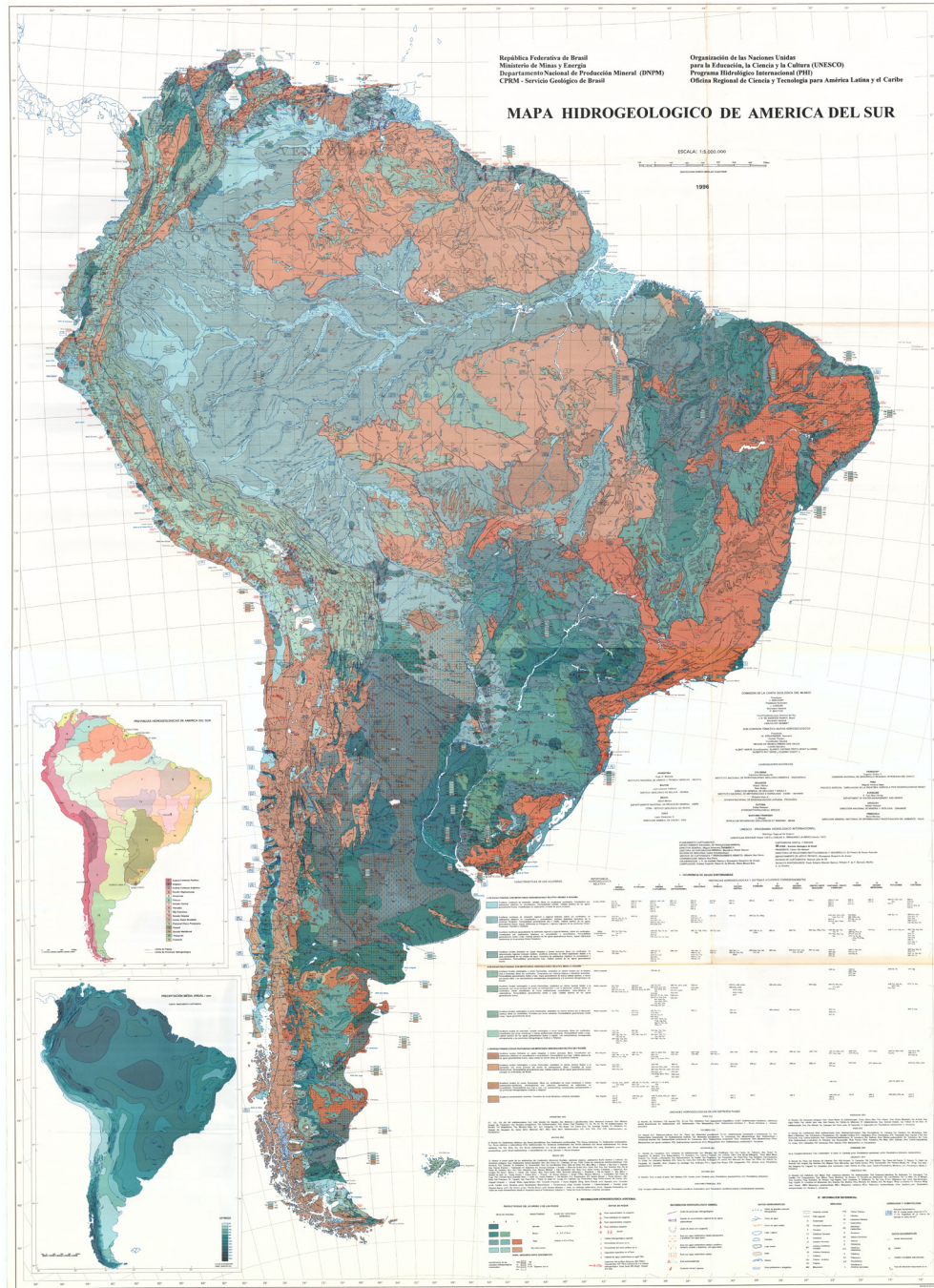
Os aquíferos fraturados se subdividiram também em quatro classes, das quais três de importância hidrogeológica relativa média a pequena, e uma de importância hidrogeológica relativa pequena.

As ocorrências de águas subterrâneas locais ou escassas foram representadas por meio de três classes de importância hidrogeológica relativa muito pequena.

Foi criado o conceito de Províncias e Subprovíncias Hidrogeológicas e definidos os 61 sistemas aquíferos principais no Brasil.

No ano de 1996, estas duas instituições publicaram, sob os auspícios da UNESCO, o Mapa Hidrogeológico da América do Sul, na escala de 1:5.000.000 (figura 17).

Figura 17. Mapa Hidrogeológico da América do Sul (UNESCO/DNPM/CPRM, 1996).



Foram mostradas na forma de encarte as Províncias Hidrogeológicas da América do Sul, as principais regiões climáticas e distribuição das grandes ocorrências de águas subterrâneas na área.

Posteriormente, no ano de 2005, o SGB juntamente como o Governo do Estado do Rio Grande do Sul publicaram o Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul, na

escala de 1:750.000. Este produto representa o primeiro mapa moderno, elaborado em sistema georreferenciado, com o auxílio do aplicativo ArcGis.

A legenda foi concebida conforme à Convenção Internacional para Mapas Hidrogeológicos, sendo utilizadas a cor azul com variações na tonalidade para os aquíferos porosos, verde com tonalidades (aquíferos fraturados) e marrom com tonalidades (aquíferos intergranulares ou fraturados de baixa produtividade).

A classificação das produtividades aquíferas variou de alta a média, média a baixa, baixa e praticamente improdutivo, de acordo com os valores da capacidade específica:

- » **Alta** ($q/s > 4 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$);
- » **Média** ($2 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m} < q/s < 4 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$);
- » **Baixa** ($0,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m} < q/s < 2 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$);
- » **Muito Baixa** ($q/s < 0,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$).

Os símbolos e demais convenções cartográficas, hidrogeológicas, dados de poços, etc., utilizados no mapa também seguem as indicações da Legenda Internacional.

No mesmo ano, em parceria entre o Governo do Estado de São Paulo (DAEE/IG/IPT) e o Serviço Geológico do Brasil é publicado o Mapa de Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo.

Foram distinguidos oito aquíferos principais: Bauru, Guarani, Tubarão, Furnas, São Paulo, Taubaté, Litorâneo, Fraturados, cuja potencialidade está representada no Mapa por faixas de vazão explorável em m^3/h , sendo esta vazão explorável, ou recomendada, aquela que pode ser extraída de forma sustentável por longos períodos (exceção é feita para vazão explorável de aquíferos fraturados que apenas é indicada como vazão provável).

A confecção do Mapa segue a Legenda Internacional da UNESCO (1970) e a legenda proposta por Struckmeier & Margat (1995).

No ano de 2007 o SGB provoca grande inovação na cartografia hidrogeológica, com a publicação de seu Mapa de Domínios e Subdomínios Hidrogeológicos, elaborado a partir do Mapa Geológico do Brasil em Ambiente SIG (GIS BRASIL, 2004).

Neste trabalho, os polígonos da geologia (2338) foram reclassificação em sete unidades agrupadas e reunidas nos denominados Domínios Hidrogeológicos (2 Porosos, 1 Misto e 4 Fissurais), tendo como critério suas *afinidades hidrogeológicas*, embasadas essencialmente nas características litológicas destas unidades.

Posteriormente, esses Domínios foram divididos em Subdomínios e classificados de acordo com suas potencialidades hidrogeológicas.

Atualmente o SGB concluiu os projeto do Mapa Hidrogeológico do Brasil, na escala de 1:1.000.000 e da Amazônia Legal, estando em fase de conclusão o mapa Hidrogeológico da Bacia do Rio da Prata, de abrangência internacional juntamente

te com o Uruguai, Argentina, Paraguai e Bolívia. Além desses, trabalha-se na elaboração de mapas hidrogeológicos estaduais, estando concluídos os mapas do Rio Grande do Sul, do Paraná e de Santa Catarina. Pretende-se agora elaborar o “Atlas Hidrogeológico do Brasil”, através do lançamento de todas as folhas na escala de 1:1.000.000 que cobrem nosso país, além do mapeamento sistemático de bacias sedimentares, principalmente na região nordeste

2. TIPOS E CLASSIFICAÇÕES DOS MAPAS HIDROGEOLÓGICOS

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, visando o atendimento a 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 meio ambiente, destinando-se, sobretudo ao gerenciamento dos recursos hídricos de uma determinada região, particularmente os de água subterrânea;

De uma maneira geral, dois grupos distintos de mapas hidrogeológicos podem ser produzidos, correspondendo aos papéis e usos a que se destinam (tabela 02).

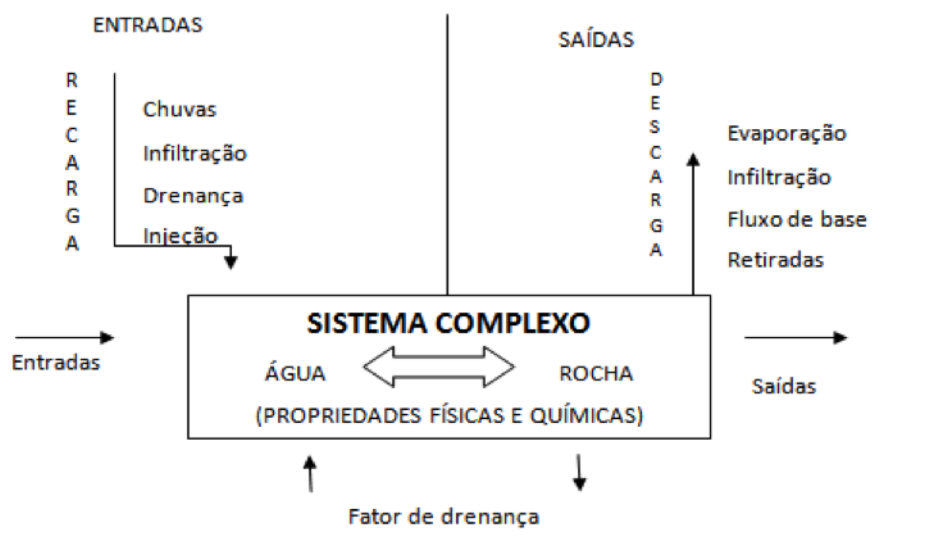
- » Mapas Hidrogeológicos Gerais e Mapas de Sistemas de Águas Subterrâneas - Destinados ao reconhecimento ou desenvolvimento da compreensão científica, constituindo-se em instrumentos adequados para a introdução da importância dos recursos hídricos subterrâneos dentro da esfera do desenvolvimento social 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.

NÍVEL DE INFORMAÇÕES USO POSSÍVEL	BAIXO (INFORMAÇÕES ESCASSAS E HETEROGÊNEAS, ADVINDAS DE VÁRIAS FONTES).	AVANÇADO (PROGRAMAS DE INVESTIGAÇÕES SISTEMÁTICAS, MAIS DADOS CONFIÁVEIS).	ALTO (ESTUDO DE SISTEMAS HIDROGEOLÓGICOS E MODELOS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS).															
Reconhecimento e Exploração	Mapa hidrogeológico geral (mapa de aquíferos)	Mapas Hidrogeológicos de parâmetros (mapas, conjuntos de atlas)	Mapas de sistemas regionais de águas subterrâneas (representações de modelos conceituais)															
Planejamento e Desenvolvimento	Mapa de recursos potenciais de águas subterrâneas	Mapas hidrogeológicos especializados (mapas de planejamento)	Representações gráficas derivadas de sistemas de informações geográficas (mapas, seções, diagramas de perspectivas, cenários)															
Gerenciamento e Proteção	Mapa de vulnerabilidade de águas subterrâneas																	
Uso possível Parâmetros de representação	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 33%; text-align: center;">Estático</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">dependência do tempo</td> <td style="width: 33%; text-align: right;">→ Dinâmico</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Baixa</td> <td style="text-align: center;">confiança</td> <td style="text-align: right;">→ Alta</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Baixa</td> <td style="text-align: center;">custo por unidade de áreas</td> <td style="text-align: right;">→ Alto</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Grande</td> <td style="text-align: center;">área representada</td> <td style="text-align: right;">→ Pequena</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Pequena</td> <td style="text-align: center;">escala</td> <td style="text-align: right;">→ Grande</td> </tr> </table>			Estático	dependência do tempo	→ Dinâmico	Baixa	confiança	→ Alta	Baixa	custo por unidade de áreas	→ Alto	Grande	área representada	→ Pequena	Pequena	escala	→ Grande
Estático	dependência do tempo	→ Dinâmico																
Baixa	confiança	→ Alta																
Baixa	custo por unidade de áreas	→ Alto																
Grande	área representada	→ Pequena																
Pequena	escala	→ Grande																

Tabela 02. Classificação dos sistemas de mapas hidrogeológicos (Struckemeir & Margat, 1995).

Mapas hidrogeológicos “*lato sensu*”, dizem respeito ao complexo sistema “água-rocha”, suas propriedades e inter-relações. O sistema é tridimensional, uma vez que abrange parte da crosta terrestre, e, além disso, dependente do tempo (particularmente a componente da água). Os mapas hidrogeológicos, portanto, têm de incluir a dimensão vertical e eles devem ter referência a uma data. Podem mostrar apenas os parâmetros de um componente do sistema, uma combinação de parâmetros ou interpretações abrangentes de dados hidrogeológicos (figura 18).

Figura 18. O sistema água-rocha, suas entradas e saídas.



Mapas hidrogeológicos servem a vários propósitos e são utilizadas por profissionais e leigos interessados em hidrogeologia. Os propósitos do público-alvo de um mapa determinam o conteúdo e o formato do mesmo. Portanto, a representação e formato de mapas hidrogeológicos podem variar amplamente, do simplificado para o complexo, do regional ao detalhado, desenhado à mão ou elaborado por complexos sistemas computacionais. Um mapa não deve obrigatoriamente ser cartograficamente perfeito, mas sim ser perfeitamente adaptada à sua finalidade (figura 19).

3. CONCEITOS HIDROGEOLÓGICOS BÁSICOS

3.1. CONCEITO DE HIDROGEOLOGIA

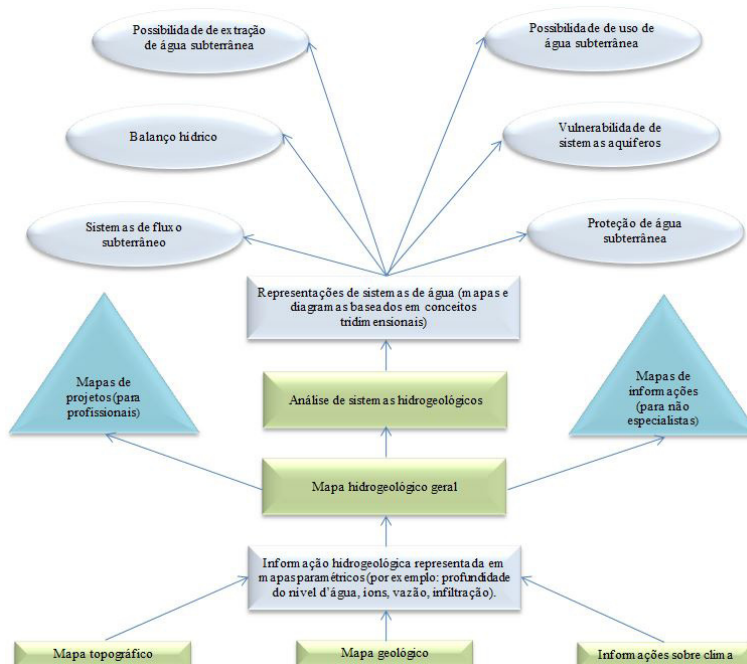
Foi o naturalista francês Lamarck que, em 1802, utilizou pela primeira vez o termo “Hidrogeologia”, aplicando-o para definir o conjunto de fenômenos de erosão, transporte e sedimentação produzidos pelos agentes hídricos, ou seja, como uma parte da geodinâmica externa.

Somente em 1880 o inglês Lucas utilizou, pela primeira vez, o termo hidrogeologia para referir-se a um estudo geológico para investigação de águas subterrâneas, tendo esta expressão sido aplicada neste sentido desde então.

3.2. FORMAÇÕES GEOLÓGICAS COMO AQUÍFEROS

Nem todas as formações geológicas ou rochas em geral possuem a mesma facilidade para armazenar e transmitir água em quantidades economicamente viáveis. Sob este aspecto existem notáveis diferenças entre as aluviões de um rio, por exemplo, e um maciço granítico. Os aquíferos mais comuns estão formados por depósitos não consolidados de materiais soltos, tais como areias, cascalhos ou mistura de ambos, podendo ter origens fluviais, deltaicas, eólicas, etc..

Figura 19.
Diferentes
Finalidades
dos Mapas
Hidrogeológicos



Em hidrogeologia se denomina “aquífero” (do latim *acqua* = água e *fero* = conduzir) a um estrato ou formação geológica capaz de armazenar e transmitir água em seus poros ou vazios, de forma que a mesma possa ser economicamente aproveitada pelo homem para suprir suas necessidades.

Por outro lado um “aquicludo” (do latim *claudere* = conter) é definido como uma formação geológica que contém água em seu interior até a saturação, sendo incapaz de transmiti-la. O melhor exemplo deste tipo de formação são as argilas.

Já um “aquitardo” (do latim *tardare* = retardar) refere-se a formações geológicas que, embora contendo apreciáveis quantidades de água, a transmitem muito lentamente, como camadas de argilas siltsas ou arenosas.

Finalmente, por “aquifugo” (do latim *fugere* = fugir) se denomina aquelas formações geológicas que não contém nem transmitem água, como por exemplo, um maciço granítico não alterado.

3.3. CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Considerando os aquíferos como definido acima, possuindo um funcionamento regulado pelas suas recargas e extrações, é necessário o estabelecimento de certas características fundamentais das quais eles dependem, que são a porosidade, a permeabilidade, o coeficiente de armazenamento e a transmissividade.

A **porosidade** total de um solo ou rocha pode ser definida como a relação entre o volume de vazios e o volume total. A porosidade depende do tamanho, forma, arranjo e homogeneidade dos grãos. Se os grãos são de tamanho variado, a porosidade tende a ser menor do que num caso de grãos uniformes, uma vez que os grãos menores ocupam os espaços vazios entre os maiores.

A **permeabilidade**, também chamada de condutividade hidráulica, corresponde à propriedade de um meio de permitir a passagem de água ou outro fluído, em maior ou menor vazão por unidade de área. Esta propriedade depende das características do meio (porosidade, tamanho, distribuição, forma e arranjo das partículas) e das propriedades do fluído (viscosidade e peso específico).

Já o **coeficiente de armazenamento**, representa um parâmetro hidrogeológico adimensional que corresponde ao volume de água liberado por uma coluna de aquífero de altura igual à sua espessura e secção unitária, ao diminuir a carga hidráulica (nível piezométrico) de uma unidade.

A **transmissividade** pode ser definida como a quantidade de água que escoar através da secção vertical do aquífero (por toda sua espessura), quando se diminui a carga hidráulica de uma unidade e se expressa em m²/dia ou cm²/s. É importante notar que a mesma varia com a espessura da camada, sendo calculado pela fórmula:

$$T = \int_0^b k \cdot dz$$

3.4. ORIGEM E COMPORTAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A água da chuva pode ter vários destinos após atingir a superfície da Terra (figura 20). Inicialmente uma parte se infiltra. Quando o solo atinge seu ponto de saturação, ficando encharcado, a água passa a escorrer sobre a superfície em direção aos vales. Dependendo da temperatura ambiente, uma parte da chuva volta à atmosfera na forma de vapor. A parcela da água que se infiltra vai dar origem à água subterrânea, que constitui 99,6% de toda a água doce disponível na Terra.

3.5. TIPOS DE AQUÍFEROS

De uma maneira geral, existem dois tipos básicos de aquíferos, englobando dois grandes domínios em relação aos mananciais subterrâneos: *meios porosos* ("isotrópicos") e *meios fraturados* (anisotrópicos).

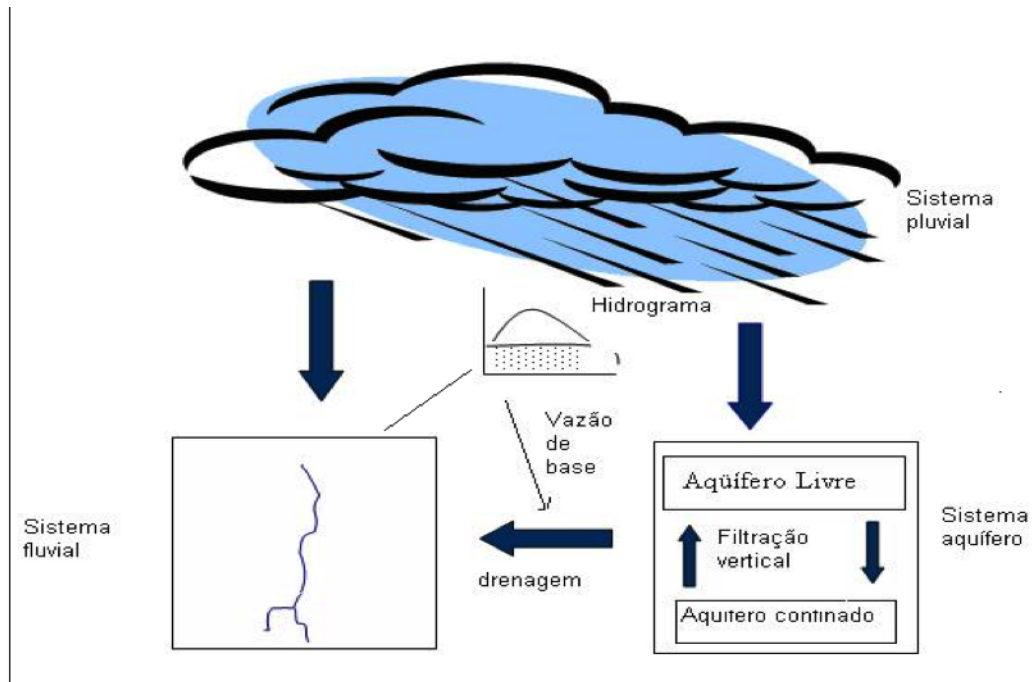
No domínio anisotrópico, destacam-se dois importantes grupos de rochas, responsáveis por uma parcela significativa de ocorrência de água subterrânea: rochas carbonáticas (aquífero cárstico) e rochas cristalinas (aquífero fraturado). Cada um deles apresenta um comportamento hidráulico próprio e peculiar à sua forma de ocorrência, totalmente diferenciado do comportamento hidráulico dos aquíferos porosos.

Outra classificação, aplicada particularmente aos meios porosos é feita em função da pressão hidrostática a qual está submetida à água subterrânea. Através deste referencial os aquíferos podem ser divididos em confinados e livres.

Os aquíferos confinados são aqueles onde em qualquer ponto, a água está submetida a uma pressão superior que a pressão atmosférica. Em função disto, ao se perfurar poços nestas formações, quando se atravessa o topo do aquífero, se observa uma ascensão rápida da água até a mesma se estabilizar numa determinada posição, fenômeno conhecido como artesianismo.

Assim, de acordo com a posição topográfica da boca do poço, consideram-se poços artesianos surgentes ou jorjantes aqueles onde a água ascende até uma posição superior à superfície do terreno e simplesmente poços artesianos, aqueles onde o nível da água não ultrapassa esta superfície. A posição de estabilização da água nos poços indica uma superfície virtual que representa o nível da pressão hidrostática do aquífero, conhecida como superfície piezométrica. O confinamento é feito através de camadas impermeáveis a semipermeáveis e o aquífero permanece em qualquer instante (mesmo durante o bombeamento de poços) totalmente saturado. O mecanismo de liberação de água ocorre apenas através da compactação do aquífero e da expansão da água, processos provenientes da diminuição da pressão hidrostática devido ao bombeamento.

Figura 20.
Simplificação do
Ciclo Hidrológico



Já os aquíferos livres, também chamados de freáticos, são constituídos por formações geológicas de características permeáveis, parcialmente saturadas de água. Sua base é formada por uma camada impermeável como, por exemplo, a argila, ou pode ser semipermeável. Neste aquífero existe uma superfície livre de água que se encontra sujeita apenas à pressão atmosférica (superfície piezométrica). Em aquíferos livres o nível da água varia diretamente com a quantidade de chuva.

3.6. TAXONOMIA HIDROGEOLÓGICA – UNIDADES BÁSICAS DE REFERÊNCIA

Muito se tem discutido sobre sistemas de classificação de aquíferos, comumente se criando unidades ao gosto de cada um, sem uma justificativa plausível para a sua proposição.

A teoria e prática de agrupamento de indivíduos em espécies, organizando-os em grupos maiores, dando nomes aos grupos e produzindo assim uma classificação hierárquica é chamada de taxonomia.

Partindo-se de uma unidade básica de referência (o indivíduo) é possível o estabelecimento de classes hierárquicas organizadas em grupos ou categorias com características semelhantes, para determinados fins, como, por exemplo, cartografia.

De acordo com Cline (1949) indivíduo é "*o menor corpo natural, definível por si próprio*". Os indivíduos de interesse para a classificação passam a serem membros de classes. De acordo com esta definição, um indivíduo pode representar somente um objeto do universo considerado, o indivíduo é completo e indivisível.

Em hidrogeologia, essa unidade de referência é normalmente representada pelo aquífero, representado pela unidade litológico-estratigráfica que lhe empresta o nome.

Apesar de ser considerada a unidade hidrogeológica fundamental, os aquíferos são frequentemente subdivididos, seus limites não coincidindo obrigatoriamente com os limites das unidades estratigráficas, pois uma determinada formação geológica frequentemente apresenta variações locais ou regionais em suas capacidades aquíferas.

Uma determinada formação, como p.ex., a Formação Ilhas do Cretáceo da Bacia de Tucano pode ocorrer com alta produtividade nas áreas confinadas, ou como um aquífero pobre, nas áreas de afloramento e topograficamente elevadas.

Desta forma, a menor classe hierárquica em termos hidrogeológicos não deve ser o aquífero, uma vez que ele pode ser subdividido em várias partes, se considerarmos suas produtividades.

Visando caracterizar essas áreas nas diferentes condições de produtividade, propõe-se o estabelecimento do conceito de Unidade Hidroestratigráfica (figura 21), agregando “formações geológicas ou partes delas que armazenam e transmitem águas subterrâneas de forma semelhante e com produtividades da mesma ordem de grandeza”.

A sua representação em mapa seria feita através da sigla da unidade geológica, seguida por um número representante de sua classe de potencialidade hídrica. Assim, na figura 21 poderíamos ter a grafia (4) K1i, quando esta unidade mostrasse baixa produtividade aquífera (situação 1) e (1)K1i, ressaltando a ocorrência do aquífero Ilhas em área de alta produtividade (situação 2).

A classe taxonômica imediatamente superior a esta seria a formação geológica (o aquífero – figura 22), considerado como homogêneo e isotrópico, conforme sua definição clássica. Neste caso, não são consideradas variações de produtividade.

É definida 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, tais como:

- » Forma de armazenamento e condução de água – granular, fraturado, cárstico,
- » Grau de consolidação, no caso de materiais granulares;
- » Granulometria predominante;
- » Grau de cimentação;
- » Grau de compactação;
- » Grau de carstificação;
- » Grau de fraturamento;
- » Espessura;
- » Constituição litológica;
- » Forma geomorfológica de ocorrência;
- » Espessura do manto de intemperismo;
- » Composição do manto de intemperismo;
- » Densidade de drenagem influente;
- » Tipo de drenagem.

A reunião de dois ou mais aquíferos pode originar um **sistema aquífero**, domínio espacial limitado em superfície e em profundidade, relacionados ou não entre si, mas que constituem uma unidade prática para a investigação ou exploração, que seria a classe taxonômica imediatamente superior ao aquífero.

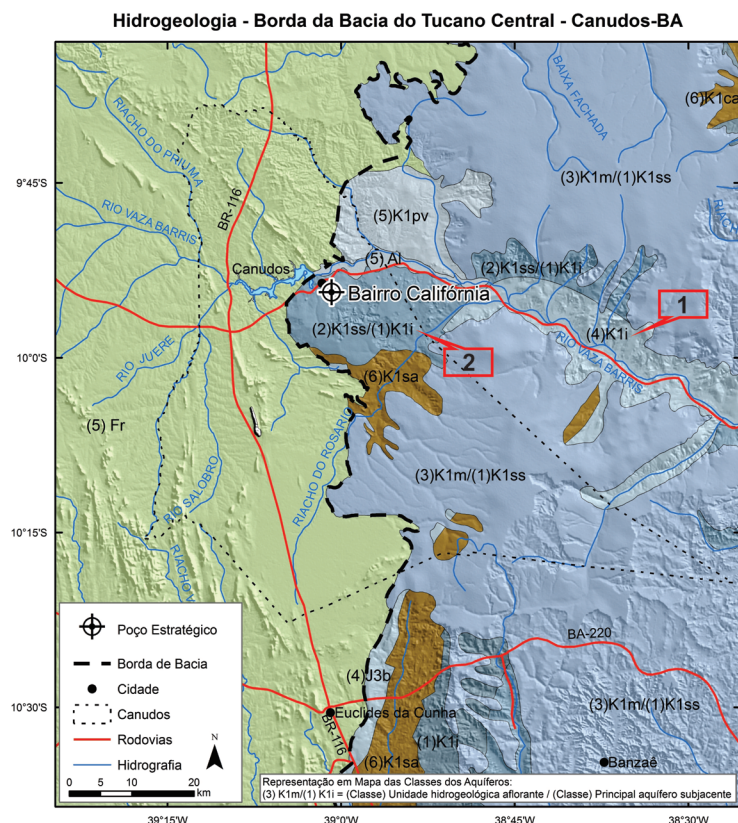
O estabelecimento desses sistemas aquíferos deve levar em conta os princípios básicos do agrupamento de indivíduos (Smith & Medin, D., 1981):

» A definição de um sistema é uma representação resumida de uma categoria inteira de unidades individuais;

» As características essenciais que implicam na criação de um sistema aquífero são, para cada unidade incluída, individualmente necessária e conjuntamente suficiente para determinar a associação dentro da categoria;

» Se um aquífero (A) é colocado dentro de um sistema aquífero supra ordenado (B), as características que definem esse sistema estão contidas dentro do conjunto de características que definem o aquífero (A) e vice-versa.

Figura 21. Mapa de Unidades Hidroestratigráficas



Classificação das Unidades Hidroestratigráficas
(Classe) Tipo e produtividade

Classe	Tipo e produtividade	Parâmetros Hidrodinâmicos			
		Q (m ³ /h)	Ce (m ³ /h/m)	T (m ² /s)	K (m/s)
(1)	Granular, produtividade muito alta	> 100	> 4,0	> 10 ²	> 10 ⁻⁴
(2)	Granular, produtividade alta	50 a 100	2,0 a 4,0	10 ³ a 10 ²	10 ⁻⁵ a 10 ⁻⁴
(3)	Granular, produtividade moderada	25 a 50	1,0 a 2,0	10 ⁴ a 10 ³	10 ⁻⁶ a 10 ⁻⁵
(4)	Granular, produtividade baixa porém localmente moderada	10 a 25	0,4 a 1,0	10 ⁵ a 10 ⁴	10 ⁻⁷ a 10 ⁻⁶
(5)	Granular, produtividade muito baixa porém localmente baixa	1 a 10	0,04 a 0,4	10 ⁶ a 10 ⁵	10 ⁻⁸ a 10 ⁻⁷
(6)	Granular, pouco produtiva ou não aquífera	< 1	< 0,04	< 10 ⁶	< 10 ⁻⁸
(5)	Fraturado, produtividade muito baixa porém localmente baixa	1 a 10	0,04 a 0,4	10 ⁶ a 10 ⁵	10 ⁻⁸ a 10 ⁻⁷

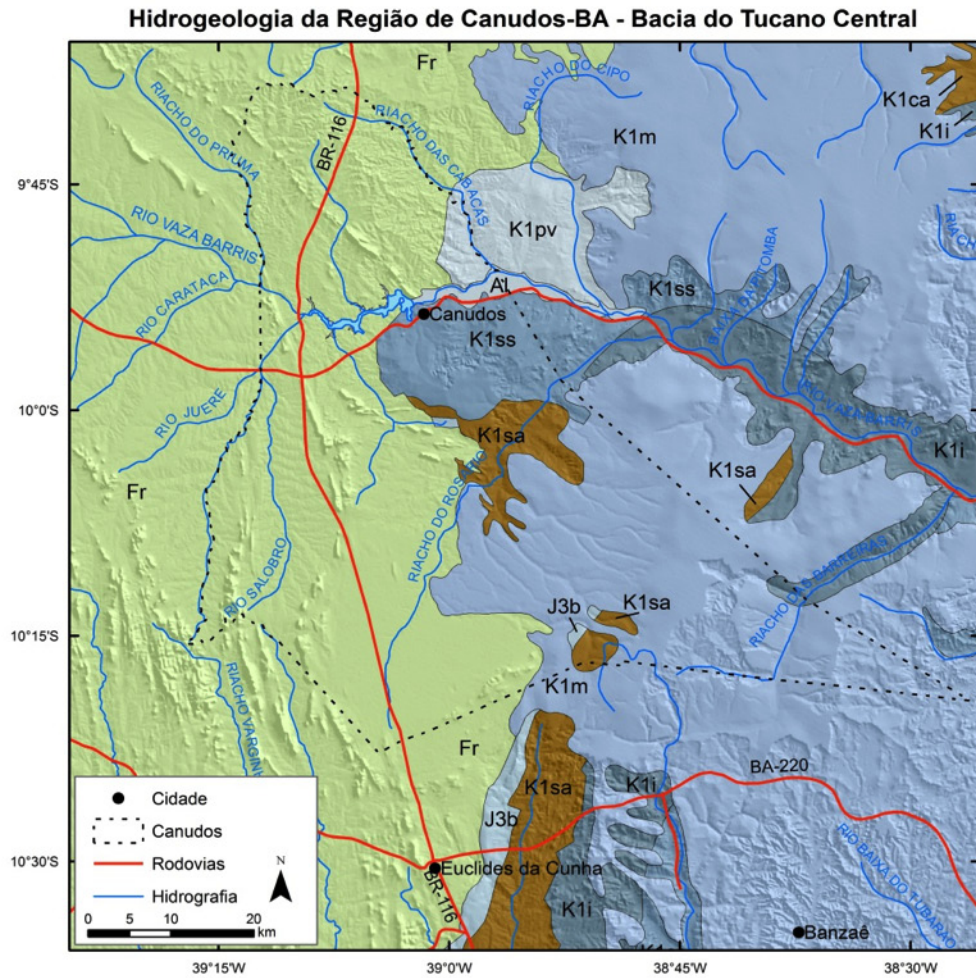
Unidade Hidroestratigráficas

K1m - Formação Marizal	K1i - Grupo Ilhas	K1ca - Formação Candeias	Fr - Fraturada
K1ss - Formação São Sebastião	K1sa - Grupo Santo Amaro	J3b - Formação Brotas	

A maior classe taxonômica aquífera pode ser definida pelo agrupamento de unidades geológicas que armazenam e transmitem águas subterrâneas de forma semelhante, criando as **unidades hidrolíticas, ou domínios hidrogeológicos** (figura 23).

Neste caso, considera-se tão somente o tipo litológico predominante, resultando nas unidades hidrolíticas fraturadas, porosas e cársticas.

Figura 22. Mapa de Aquíferos



Classificação dos Aquíferos

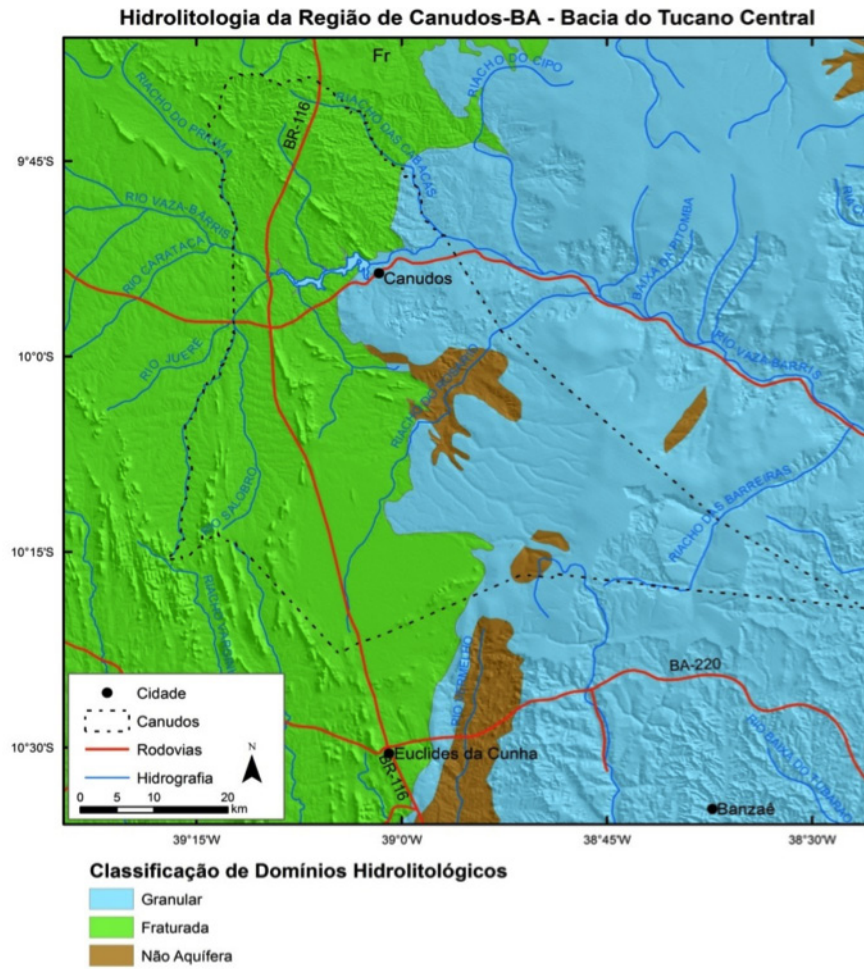
Granular

	Parâmetros Hidrodinâmicos			
	Q (m ³ /h)	Ce (m ³ /h/m)	T (m ² /s)	K (m/s)
Produtividade muito alta K1i - Ilhas	> 100	> 4,0	> 10 ⁻²	> 10 ⁻⁴
Produtividade alta K1ss - São Sebastião	50 a 100	2,0 a 4,0	10 ⁻³ a 10 ⁻²	10 ⁻⁵ a 10 ⁻⁴
Produtividade moderada K1m - Marizal	25 a 50	1,0 a 2,0	10 ⁻⁴ a 10 ⁻³	10 ⁻⁶ a 10 ⁻⁵
Produtividade muito baixa porém localmente baixa Al - Aluvião K1sa - Santo Amaro K1pv - Poço Verde J3b - Brotas	1 a 10	0,04 a 0,4	10 ⁻⁶ a 10 ⁻⁵	10 ⁻⁸ a 10 ⁻⁷
Pouco produtiva ou não aquífera K1ca - Candeias K1sa - Santo Amaro	< 1	< 0,04	< 10 ⁻⁶	< 10 ⁻⁸

Fraturado

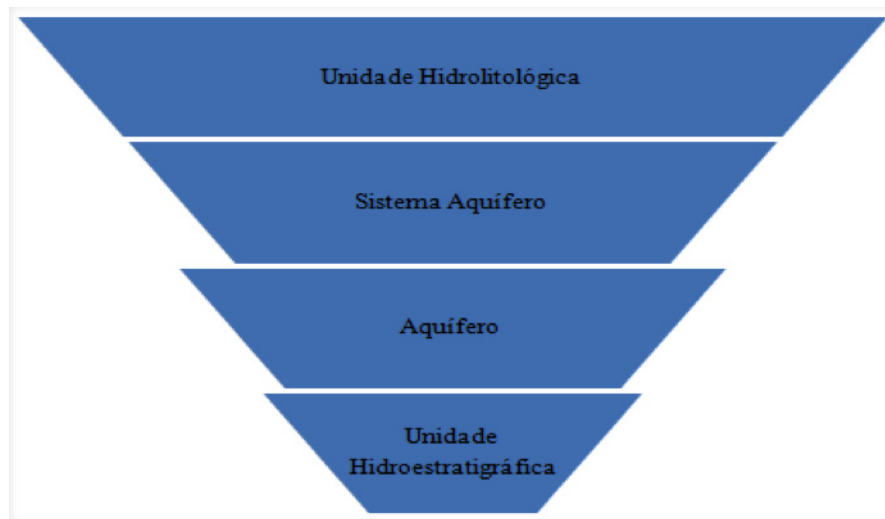
Produtividade muito baixa porém localmente baixa Fr - Fraturada	1 a 10	0,04 a 0,4	10 ⁻⁶ a 10 ⁻⁵	10 ⁻⁸ a 10 ⁻⁷
---	--------	------------	-------------------------------------	-------------------------------------

Figura 23. Mapa de Domínios Hidrogeológicos



A figura 24 resume essas proposições.

Figura 24. Taxonomia Hidrogeológica



3.6.1. HIDROLITOLOGIA E HIDROESTRATIGRAFIA

O conceito de Hidrolitologia, conforme já visto, pode ser definido “como grupos de unidades geológicas que armazenam e transmitem águas subterrâneas de

forma semelhante”. Uma unidade hidrolitológica é uma unidade de referência, tridimensional, com limites e dimensões arbitrárias.

Não possui limites concretos, muitas características se superpõem às de outras hidrolitologias e existem em número infinitamente grande. Por exemplo, uma Hidrolitologia fraturada pode abranger rochas ígneas plutônicas e vulcânicas, rochas cársticas, rochas metassedimentares e até mesmo rochas sedimentares de alta dureza.

O conceito de Unidade Hidroestratigráfica agrega “grupos de formações geológicas, temporalmente relacionadas, que armazenam e transmitem águas subterrâneas de forma semelhante e com produtividades da mesma ordem de grandeza”.

Portanto, constitui uma área aquífera formada por um único tipo litológico ou pelo agrupamento de hidrolitologias semelhantes, porém com características hidrodinâmicas próprias, que permitem individualizá-las no conjunto total.

Tem limites laterais estabelecidos pelos critérios de classificação e coincide com a classe de aquífero no nível categórico mais baixo da sua taxonomia. Desta forma, cada unidade hidroestratigráfica tem limites objetivos, servindo ao propósito de identificação e delineamento de classes no campo.

3.7. LEVANTAMENTOS HIDROGEOLÓGICOS

Os levantamentos hidrogeológicos envolvem pesquisas de gabinete, campo e laboratório, compreendendo o registro de observações, análises e interpretações de aspectos do meio físico e de características morfológicas, físicas, químicas, mineralógicas e hidrodinâmicas das formações geológicas, visando à sua caracterização, classificação e principalmente cartografia.

É um prognóstico da distribuição geográfica destas unidades, determinadas por um conjunto de relações e propriedades observáveis na natureza. O levantamento identifica formações que passam a ser reconhecidos como unidades naturais, preveem e delineiam suas áreas nos mapas/cartas, em termos de classes definidas de aquíferos.

Um programa de levantamento hidrogeológico requer a existência de um sistema organizado de classificação em caráter permanente de atualização, que possibilite a identificação dos aquíferos, em termos consistentes e uniformes, para facilitar a comunicação e o uso de informações para fins interpretativos.

O elo entre a classificação de aquíferos e o levantamento fica estabelecido no momento em que unidades semelhantes quanto às propriedades consideradas são reunidas em classes. As classes de aquíferos combinadas com informações e relações do meio ambiente constituem a base fundamental para composição de unidades de mapeamento. Assim, a unidade de mapeamento é o agrupamento de área de aquíferos, estabelecido para possibilitar a representação em bases cartográficas e mostrar a distribuição espacial, extensão, espessuras e limites dos mesmos.

De maneira geral, um levantamento identifica e separa unidades de mapeamento. Compreende um mapa com legenda e um texto explicativo, que define, descreve e interpreta, para diversos fins, as classes hidrolitológicas componentes das unidades de mapeamento. O mapa/carta é parte fundamental de um levantamento.

3.7.1. MÉTODOS DE PESQUISAS

Os métodos usuais de prospecção para fins de coleta de dados, descrição de características dos aquíferos no campo e a verificação de limites entre unidades de mapeamento, compreendem investigações relativas à rocha armazenadora – estratigrafia, dimensões, características hidrogeológicas, investigações com relação aos poços existentes e da água subterrânea – fatores de fluxo, características físicas, químicas, reservas e recursos (explotabilidade e disponibilidade).

Quando se trabalha com mapeamento de grandes áreas, levantamentos de áreas-piloto são indicados para mapeamentos de natureza genérica e constam de investigações minuciosas de áreas menores, representativas das condições hidrogeológicas gerais, posteriormente extrapoladas para o restante da área.

Para projetos de uso intensivo de águas subterrâneas, em que levantamentos detalhados são executados, o planejamento de coleta de dados e observações de campo e estudo das mudanças nas características dos aquíferos deve ser feito mediante utilização de um sistema de malhas. Neste método, as caracterizações se processam a espaços prefixados de modo a formar um reticulado denso (malha) em toda a extensão da área.

Importante observar que neste sistema, não deve haver rigidez absoluta na localização dos pontos de coleta/observações, podendo o hidrogeólogo de campo proceder a pequenos deslocamentos, visando evitar a coincidência dos mesmos com locais impróprios, tais como pântanos, lagos, construções, etc..

Em outro método de pesquisa, efetuado pelo caminhamento livre, deve ser utilizada a própria experiência do hidrogeólogo, o conhecimento sobre a área, a fotointerpretação e as correlações para definir os pontos de observação e amostragem, geralmente locais representativos, de modo que cada observação ou amostra coletada forneça o máximo de informações para o mapeamento e caracterização dos aquíferos. Este método requer a existência de material cartográfico, imagens de radar e de satélites, assim como fotografias aéreas em escalas compatíveis.

3.7.2. DENSIDADE DE INFORMAÇÕES

É comum, em trabalhos de cartografia hidrogeológica, se procurar sempre trabalhar com o maior número de informações possíveis, as quais são normalmente originadas de dados de poços e perfurações existentes. Contudo, o acúmulo exagerado de dados nem sempre confiáveis, às vezes prejudica bem mais que ajuda na confecção do mapa.

Torna-se então necessário que seja selecionados dados (poços) representativos de todo o universo trabalhado, de formas a se obter o máximo de informação com a melhor clareza cartográfica possível.

A densidade de observações é, então, função do maior ou menor grau de heterogeneidade da área de trabalho, da escala final do mapa, dos objetivos do levantamento e da qualidade dos dados primários disponíveis, além da experiência da equipa executora e do conhecimento prévio da área.

Embora esta densidade não possa ser estabelecida de forma rígida, propõe-se a adoção da seguinte tabela:

ESCALA DE TRABALHO	TIPO DE MAPA	Nº OBSERVAÇÕES
$e > 1:100.000$	Gerenciamento e Proteção	0,2 – 4 / hectare
$1:250.000 < e < 1:100.000$	Planejamento e Desenvolvimento	0,20 - 2 / hectare
$1:5.000.000 < e < 1:250.000$	Reconhecimento e Exploração	0,04 – 2 / km ²
$e < 1:5.000.000$	Esquemático	< 1/ km ²

Tabela 03. Número de observações X Escala de Trabalho (IBGE, 2004).

3.7.3. ESCALAS

Mapas e cartas são documentos que permitem uma visão reduzida de grandes áreas, ou seja, são documentos relativamente pequenos que encerram informações sobre superfícies ou territórios de dimensões bem maiores.

A proporção entre os tamanhos dos mapas/cartas e o tamanho dos territórios representados nos mesmos é indicada pela escala. A escala é, portanto, a relação entre a medida de uma porção territorial representada em mapa e seu tamanho real na superfície terrestre.

As escalas são definidas de acordo com os assuntos a serem representados nos mapas/cartas, podendo ser maiores ou menores conforme a necessidade de se observar um espaço com maior ou menor nível de detalhamento. Podem ser representadas numérica ou graficamente.

3.7.3.1. ESCALA NUMÉRICA

A expressão numérica de escala é dada pelo relacionamento direto entre medidas lineares ou planares na representação (mapa) e na superfície terrestre.

A apresentação da razão, no entanto, é feita normalmente mostrando o numerador unitário e o denominador expressando um valor:

$$E = \frac{1}{N} = \frac{d}{D}$$

Onde,

E = escala;

N = denominador da escala;

d = distância medida na carta;

D = distância real (no terreno);

O valor N denomina-se por número da escala e o valor E pelo nome de fração representativa ou fator de escala, e tanto pode ser dada pela fração como pela razão representativa, ou seja: 1/100.000 ou 1:100.000.

Formalmente esta razão expressa que uma unidade no mapa, equivale ao número de escala de unidades no terreno, ou seja:

1 mm na carta = 100.000 mm no terreno

Esta forma de expressar uma escala estabelece a segunda maneira de mostrar a relação, a forma escrita. Normalmente esta expressão é dada em termos de uma unidade coerente para as observações no mapa (mm ou cm), para unidades também coerentes em termos de terreno (metros ou quilômetros):

Escala linear: 1:100.000 tem-se que 1 cm (mapa) = 1 km (terreno) = 1000 m

Escala linear: 1:25.000 tem-se que 1 cm (mapa) = 0,25 km (terreno) = 250 m

3.7.3.2. ESCALA GRÁFICA

A escala gráfica ou de barra é a representação gráfica de várias distâncias do terreno sobre uma linha reta graduada (figura 25).

É uma forma de apresentação da escala linear, através de uma linha, normalmente faz parte da legenda da Carta, dividida em partes, mostrando os comprimentos na Carta, diretamente em termos de unidades do terreno.

É constituída de um segmento à direita da referência zero, conhecida como escala primária. Consiste também de um segmento à esquerda da origem denominada de Talão ou escala de fracionamento, que é dividida em submúltiplos da unidade escolhida, graduadas da direita para a esquerda.

A Escala Gráfica permite realizar as transformações de dimensões gráficas em dimensões reais sem a necessidade de efetuar cálculos. Para sua construção, entretanto, torna-se necessário o emprego da escala numérica.

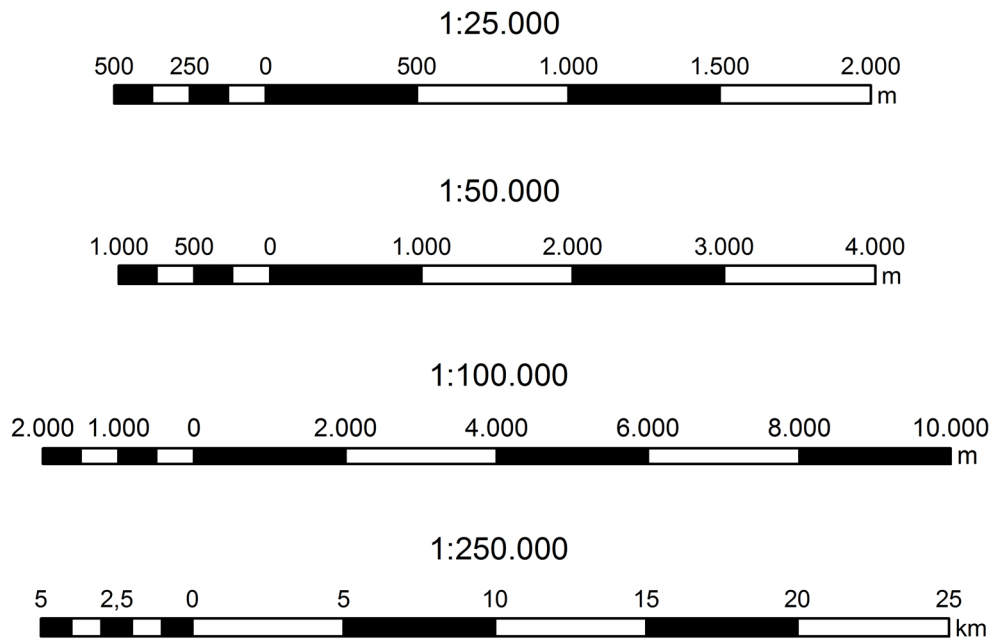
De modo geral, o seu emprego consiste nas seguintes operações:

1. Toma-se na carta a distância que se pretende medir.
2. Transportar essa distância para a Escala Gráfica.
3. Ler o resultado obtido.

3.7.3.3. ÁREA MÍNIMA MAPEÁVEL

É, por definição, determinada pelas menores dimensões que podem ser legivelmente delineadas num mapa ou carta, sem prejuízo da informação gerada nos trabalhos de campo, o que corresponde na prática, a uma área de $0,4\text{cm}^2$ ($0,6\text{cm} \times 0,6\text{cm}$). A equivalência desta área no mapa, com a área correspondente no terreno, é função da escala final de apresentação (tabela 04).

Figura 25.
Exemplos de
escalas gráficas



3.8. BASES DE REFERÊNCIA

Compreende o material cartográfico que é empregado nos levantamentos, consistindo de mapas ou cartas planialtimétricas, imagens de radar ou satélite, fotografias aéreas, carta-imagens, levantamentos topográficos convencionais, restituições aerofotográficas e outros.

Além deste material, os levantamentos utilizam as informações contidas em mapas/cartas geológicos e hidrogeológicos preexistentes, dados geomorfológicos, climáticos, hidrológicos e outros que permitam a extração e a utilização de informações preliminares sobre o meio ambiente e o uso da terra.

De uma maneira geral, apenas cinco bases temáticas devem ser utilizadas na confecção de mapas hidrogeológicos:

- » Base cartográfica;
- » Base geológica;
- » Base de poços;
- » Base piezométrica;
- » Base hidrológica

ESCALAS USUAIS	DISTÂNCIA NO TERRENO EM km, PARA CADA cm NO MAPA.	ÁREA MÍNIMA MAPEÁVEL	
		ha	km ²
1:500	0,005	0,001	0,00001
1:1 000	0,01	0,004	0,00004
1:2 000	0,02	0,016	0,00016
1:5 000	0,05	0,10	0,0010
1:7 000	0,07	0,19	0,0019
1:8 000	0,08	0,25	0,0025
1:10 000	0,10	0,40	0,004
1:15 000	0,15	0,90	0,009
1:20 000	0,20	1,60	0,016
1:25 000	0,25	2,50	0,025
1:30 000	0,30	3,60	0,036
1:50 000	0,50	10	0,10
1:60 000	0,60	14,4	0,14
1:75 000	0,75	22,5	0,22
1:100 000	1	40	0,4
1:150 000	1,5	90	0,9
1:200 000	2,0	160	1,6
1:250 000	2,5	250	2,5
1:300 000	3	360	3,6
1:500 000	5	1000	10
1:750 000	7,5	2.250	22,5
1:1 000 000	10	4.000	40
1:2 500 000	25	25.000	250
1:5 000 000	50	100.000	1.000
1:10 000 000	100	400.000	4.000
1:15 000 000	150	900.000	9.000

Tabela 04. Escalas e Área mínima Mapeável (IBGE, 2007)

A **base cartográfica** constitui a base para execução dos levantamentos hidrogeológicos, desde o seu planejamento até a apresentação final dos mapas. Nela, são lançadas todas as informações existentes, que assim se tornam cartograficamente ajustadas ou referenciadas.

A escolha do material básico para confecção da base cartográfica deve levar em consideração a escala de trabalho, bem como a documentação cartográfica existente e também a disponibilidade de fotografias aéreas, principalmente quando se trabalha no meio fraturado.

Para servir a levantamentos mais generalizados, costuma-se confeccionar a base cartográfica, diretamente a partir das cartas topográficas existentes. Somente em casos excepcionais, para levantamentos muito detalhados, confeccionados em escalas grandes, maiores que 1:25.000, e onde não se dispõe de informações em nível compatível com as mesmas, as bases são confeccionadas através de restituições fotográficas, ou a partir de levantamentos topográficos elaborados para este fim.

Na sua elaboração parte-se inicialmente de uma seleção cartográfica, que consiste na simplificação dos elementos topográficos extraídos da documentação básica, visando à escala final do trabalho. A seleção deve ser equilibrada e a densidade dos elementos topográficos a serem representados deve refletir as características básicas da região, mantendo as feições do terreno.

A representação deve incluir todos os elementos significativos para a escala final do trabalho, sem comprometer a legibilidade da carta, dentre eles:

- i. **Hidrografia** - Inclui todos os detalhes naturais e/ou artificiais, tendo a água como principal componente;
- ii. **Planimetria** - A seleção dos elementos planimétricos deve ser criteriosa, considerando-se:

» **Localidades:** É obrigatória a representação das principais cidades e vilas no campo da folha. Conforme a região geográfica devem ser selecionados os povoados, lugarejos, núcleos e propriedades rurais, que tenham importância para o trabalho;

» **Sistema Viário:** As rodovias e ferrovias são selecionadas considerando-se a interligação das localidades selecionadas.

» **Altimetria:** Representar o relevo através de convenções cartográficas na forma de curvas de nível, escarpas, etc., tendo sempre o cuidado na sua generalização, que é a simplificação da forma geométrica dos acidentes, sem descaracterizá-los, possibilitando sua representação numa escala menor que a do documento de origem. Esta representação da altimetria, embora útil para mostrar feições maiores do relevo, não deve ser utilizada para confecção de superfícies potenciométricas, devido ao erro que normalmente mostram. Para isso, utilizam-se preferencialmente cotas obtidas com o uso de equipamento de GPS geodésicos, ou obtidas através de imagens SRTM;

» **Vegetação** - É feita separadamente a partir da documentação topográfica básica. Embora mapas hidrogeológicos não representem diretamente a vegetação, essas informações são úteis, considerando a associação das águas subterrâneas com o meio ambiente vegetal;

A **base geológica**, obtida a partir de mapas pré-existente, normalmente precisa ser simplificada, pela conversão das unidades geológicas em unidades hidrolíticas, conforme já definidas, o que pode ser feito em níveis diferentes (Struckmeier & Margat, 1995):

» 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;

Enquadrando as diferentes formações geológicas nos conceitos acima é possível classificá-las em quatro tipos básicos:

i. Unidades Hidrolitológicas Porosas ou Granulares: Representadas por aquelas formações nas quais a água se acumula nos poros da rocha e circula através dos mesmos. Estas unidades ocorrem em rochas sedimentares consolidadas, sedimentos não consolidados e materiais arenosos decompostos. Geralmente constituem aquíferos importantes, pelo grande volume de água que podem armazenar, e também por normalmente ocorrerem de forma contínua e abranger grandes áreas.

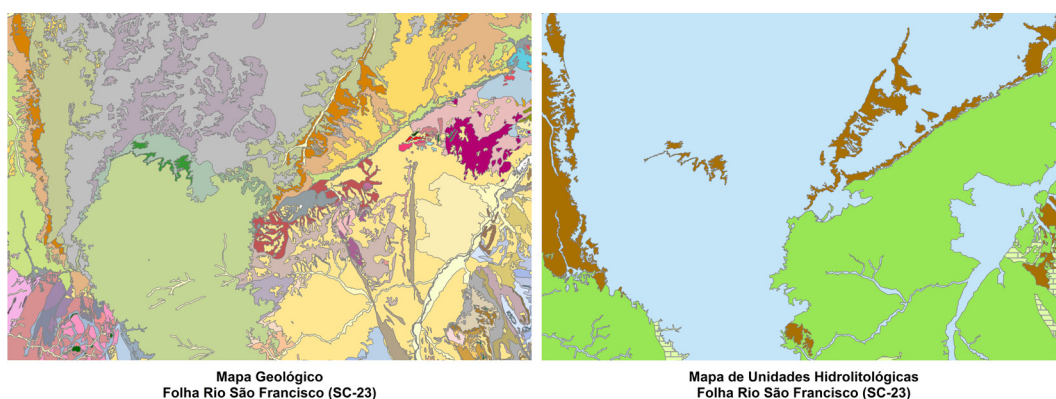
ii. Unidades Hidrolitológicas Fraturadas: São aquelas que apresentam porosidade secundária, originada do fraturamento ou falhamentos das rochas. São representadas pelas rochas ígneas, metamórficas e algumas rochas sedimentares fortemente cimentadas, onde os canais do fluxo de água são representados fraturas de diversas origens, tamanhos e abertura. São unidades restritas, descontínuas e localizadas, nas quais cada fenda ou um conjunto restrito delas representam um aquífero.

iii. Unidades Hidrolitológicas Cársticas: Representam um tipo particular de unidade fraturada, originando-se da dissolução pela água de rochas carbonáticas, como calcários, dolomita e gipsita. Caracteriza-se por feições topográficas particulares como cavernas e dolinas, e também padrões complexos de fluxo das águas subterrâneas.

iv. Unidades Hidrolitológicas Não aquíferas: Unidades capazes de armazenar quantidades significativas de água, embora as condições de fluxo nas mesmas impeçam a exploração sistemática destes recursos hídricos.

Este procedimento, por si só já proporciona um aumento exponencial na clareza da representação das feições geológicas no mapa, conforme pode ser visto na figura 26, que mostra o mapa geológico da Folha Rio São Francisco (SC23) e o mapa de unidades hidrolitológicas da mesma área, na mesma escala.

Figura 26. Mapa Geológico X Mapa de Unidades Hidrolitológicas (Folha SC 23)



No mapa geológico (lado esquerdo da figura), foram cartografadas aproximadamente 1.200 formações, tornando o mapa, para fins hidrogeológicos, de difícil compreensão. Utilizado diretamente como base para o mapa hidrogeológico, provocaria acúmulo de informações litológicas na sua legenda, dificultando a leitura e interpretação.

No mapa do lado direito da figura estão representadas as unidades hidrolitológicas porosas (cor azul) e fraturadas (cor verde). As unidades não aquíferas, que podem englobar qualquer uma das anteriores, são representadas na cor marrom. Esta representação proporciona grande simplificação, como mostrado no lado esquerdo da figura. As unidades hidrolitológicas definidas nesta figura encontram-se representadas por cores de acordo com a Convenção Internacional para Mapas Hidrogeológicos, definida pela UNESCO, em 1983 (figura 27).

As camadas aflorantes que aparecem no mapa, relacionadas a aquíferos ou a não aquíferos, foram apresentadas numa determinada cor, de acordo com a legenda internacional. Os aquíferos foram diferenciados em aquíferos porosos e aquíferos fraturados. Os *aquíferos porosos* 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) menos escura pode ser utilizada para outros aquíferos menos produtivos. Não aquíferos (que podem ser porosos ou fraturados) são indicados com a cor marrom.

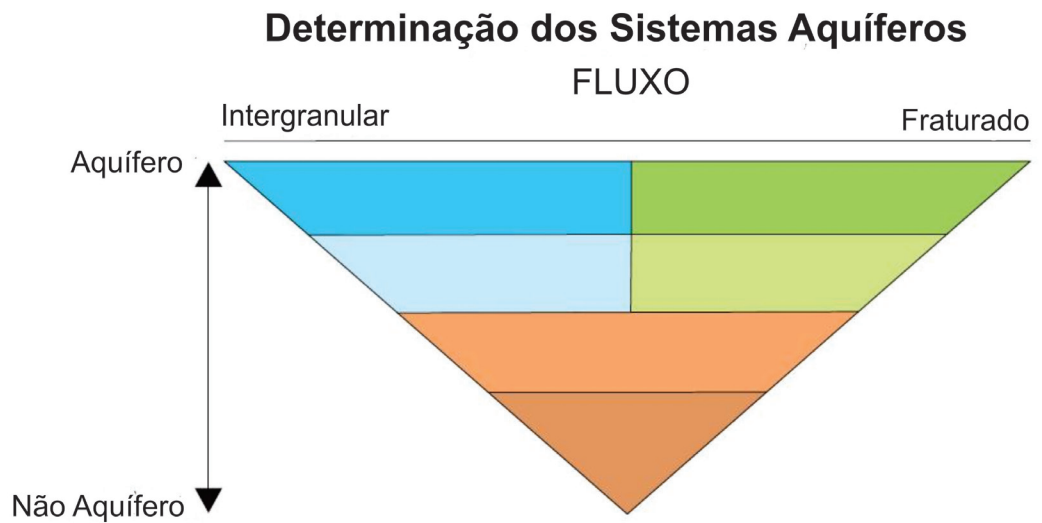
Visando simplificar mais ainda o corpo do mapa são dispensados símbolos ou ornamentos para diferenciações litológicas, exceção feita no caso dos cársticos que, por receberem a mesma coloração dos aquíferos fraturados, recebem a ornamentação consagrada mundialmente (forma de “costelas”).

Cada polígono representante de uma unidade geológica aquífera, além da cor deverá receber também a inclusão da sigla da unidade geológica, visando diferenciá-la das demais. Por exemplo, na figura 28, 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 28 se mostram os dois casos:

1. A Formação Iça ocorrendo isoladamente, e;
2. 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.

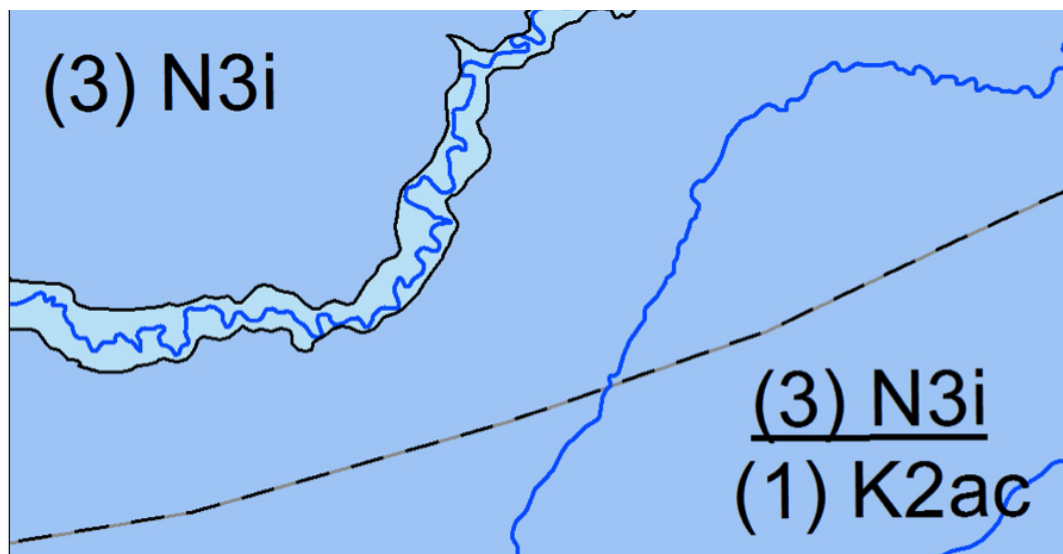
Figura 27.
Convenção
Internacional de
Cores para Mapas
Hidrogeológicos



IAH - International Association of Hydrogeology

Por “aquífero mais produtivo”, se compreende aquele que produz mais água, de melhor qualidade e em menor profundidade.

Figura 28.
Formas de
representação
das unidades
aquíferas
em mapas,
ocorrendo
isoladamente
(caso 1) ou como
uma sequência
de aquíferos
superpostos
(caso 2).



Na classificação destas hidrolitologias, é importante salientar o enquadramento das unidades geológicas em grupos que levam em conta tão somente aspectos de continuidade das formações e forma de ocorrência do fluxo de água subterrânea, não sendo analisadas produtividades hídras ou aspectos estratigráficos destas formações.

As coberturas hidrogeologicamente insignificantes, tais como Depósitos de Pântanos e Mangues, Concreções Detritico-Laterícas, etc., também foram eliminadas, uma vez que impedem a visualização de feições importantes (figura 29).

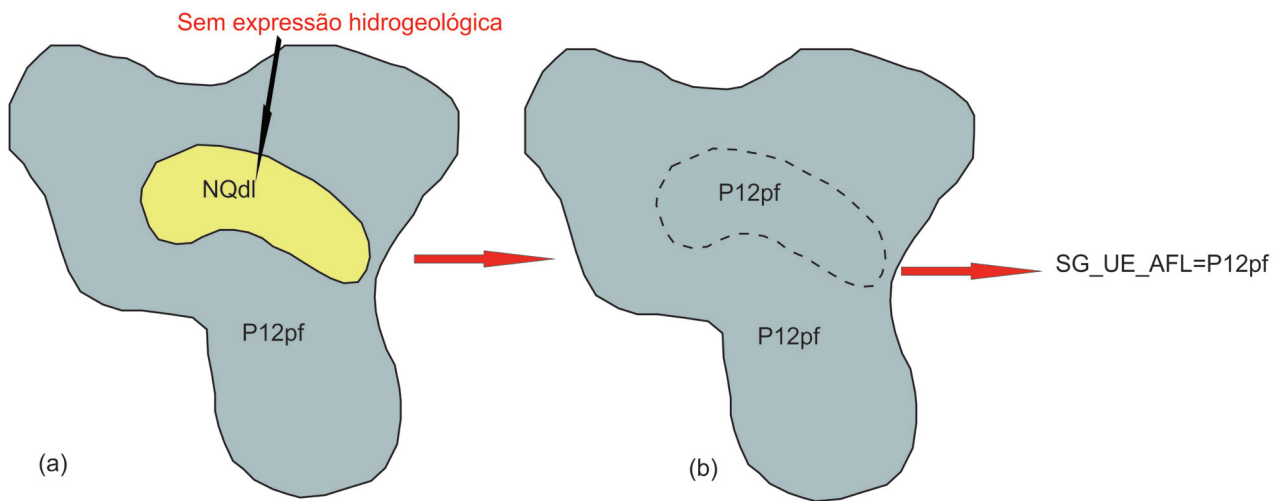


Figura 29. Simplificando a geologia

A **base de poços representativos** deverá conter uma rede de poços selecionados, representativos das condições médias dos aquíferos, onde serão mostrados, conforme simbologia apropriada, as principais características dos mesmos, a seção hidroestratigráfica atravessada e, quando existentes, os valores dos coeficientes hidrodinâmicos (figura 30).

É de grande importância ressaltar aqui que um conjunto de dados de poços de boa qualidade é fundamental 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 deveriam ser fornecidos pelas captações existentes. Além disso, os dados de poços fornecem valores para a criação de camadas temáticas, como densidade de poços, qualidade química das águas, regimes de fluxo e áreas de descarga/recarga de águas subterrâneas.

Apesar do mapa apresentar informações de cada poço individualmente de forma atemporal, o mesmo não pode ocorrer quando formos desenhar linhas potenciométricas, obrigatoriamente referidas a uma mesma época.

Do exposto, se compreende a imperiosa necessidade de pesquisar poços com informações completas, testes de bombeamento bem conduzidos, com as respectivas tabelas de rebaixamentos preservadas.

Figura 30. Forma de representação dos poços representativos em mapa.

1	Poços	
⊕	2 - 3 - 4 - 5	1 - Aquífero captado
	6 - 7 - 8 - 9	2 - Vazão de teste para 12:00 hs (m^3/h)
		3 - Capacidade específica para 12:00 hs ($m^3/h/m$)
		4 - Nível estático (m)
		5 - Nível Dinâmico (m)
		6 - Profundidade (m)
		7 - Transmissividade (m^2/s)
		8 - Condutividade hidráulica (m/s)
		9 - STD (mg/l)

A **base piezométrica** deve ser construída a partir da plotagem dos pontos de alturas piezométricas, obtidas a partir de dados de profundidade dos níveis da água subterrânea, referidos a um mesmo período de tempo, para cada unidade estudada. Deverão ser posteriormente transformadas em superfícies potenciométricas, de mesma altura piezométrica, com o auxílio de cotas topográficas obtidas preferencialmente por meio de levantamentos com aparelhos de GPS geodésicos. Caso isso não seja possível, por insuficiência de dados, de tempo ou de orçamento, deverão ser utilizadas cotas obtidas através de imagens SRTM.

Deverá ser indicado o sentido de escoamento, esboçadas as linhas divisórias de águas subterrâneas e delimitadas as áreas de águas sob pressão, bem como as zonas de artesianismo.

As curvas de igual altitude da superfície piezométrica são denominadas de curvas *hidro-isohipsas* ou *hidrohypsas* (*hydro* = água e *hypsas* = altitude) que se assemelham as curvas de pressão ou depressão, por este motivo também denominadas de curvas isopiezas. As flutuações da superfície piezométrica no tempo permitem estudar a variação das reservas, a alimentação dos aquíferos e, sobretudo, sua observação e controle são importantes para a conservação dos recursos de águas subterrâneas. Por simplificação se admite que as superfícies equipotenciais do fluxo de água em um aquífero são superfícies verticais, de modo que o potencial é o mesmo em qualquer ponto de uma mesma vertical. Assim, cada superfície potenciométrica não depende da profundidade considerada.

Em aquíferos livres, a superfície piezométrica define seu limite de saturação e coincide com os pontos situados em seu limite de saturação.

Em aquíferos confinados, as superfícies piezométricas são mais elevadas que os tetos dos mesmos, exceto em alguns casos nas proximidades de captações que produzem um grande rebaixamento dos níveis de água.

Não se usa falar de superfícies piezométricas em aquíferos fraturados, haja vista a inexistência de continuidade na zona saturada.

A obtenção dos mapas de isopiezas em curvas se baseia na medição em campo dos níveis piezométricos e respectivo traslado e interpretação sobre mapas topográficos. As curvas assim obtidas representam as equipotenciais da superfície piezométrica. As medidas devem ser feitas em condições de equilíbrio dessa superfície, durante um período determinado e mais curto possível, de forma que não haja variação sensível nos níveis locais ou regionais; em casos onde isso não é possível, devem ser feitas correções dos dados em relação a uma cota de referência de uma obra (poço) em observação contínua.

Para interpretação de mapas desta natureza, primeiro se definem os eixos de fluxo e suas direções traçando-se perpendiculares de cada curva isopieza. Os principais eixos correspondem aos trajetos mais curtos e simples das águas subterrâneas.

A equidistância das curvas depende do valor do gradiente hidráulico, da precisão das medidas de base (níveis piezométricos), da escala do mapa, da qualidade do nivelamento topográfico e da densidade de pontos observados. De uma maneira geral, essas equidistâncias são de 1m para escalas de 1:10.000 a 1:20.000, de 5m para escalas de 1:50.000 a 1:100.000 e de 10m a 20m para escalas menores.

As medidas em campo são feitas considerando-se a cota do terreno e o nível da água no aquífero.

A forma e distribuição das curvas isopiezas em um mapa potenciométrico permitem considerações a respeito da permeabilidade ou transmissibilidade, gradiente hidráulico, vazão unitária e seção de fluxo de determinadas regiões. Segundo a separação destas curvas e sua concavidade ou disposição relativamente às linhas de fluxo, se podem definir vários tipos de superfícies piezométricas:

- » **Superfície cilíndrica:** As equipotenciais são retas paralelas;
- » **Superfície radial:** As equipotenciais são curvas e as linhas de fluxo tendem a convergir; se convergem para montante (equipotenciais convexas para jusante) se diz que a superfície é radial divergente, sendo chamada de radial convergente caso ocorra situação inversa;
- » **Superfície plana:** A separação entre as equipotenciais é constante;
- » **Superfície parabólica:** A separação entre as equipotenciais diminui no sentido contrário ao fluxo;
- » **Superfície hiperbólica:** A separação entre as equipotenciais diminui no sentido do fluxo;
- » **Superfície elíptica:** A separação das equipotenciais aumenta tanto para um lado quanto para o outro, a partir de um determinado ponto.

Na figura 31 são mostradas algumas destas relações entre as formas dessas curvas e seus significados hidrogeológicos.

A **base hidrológica** é de fundamental importância na elaboração de mapas hidrogeológicos, visto que somente a partir da definição das bacias e sub-bacias hidrográficas, bem como da localização da rede hidrográfica existentes em determinada área, se poderá realizar um balanço hídrico na região, fundamental na definição da recarga dos aquíferos, principalmente no caso dos aquíferos livres e fraturados.

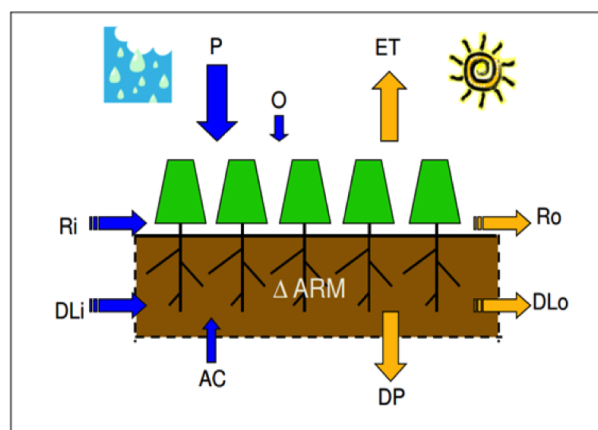
O balanço hídrico nada mais é do que o computo das entradas e saídas de água de um sistema. Várias escalas espaciais podem ser consideradas para se contabilizar o balanço hídrico. Na escala macro, o "balanço hídrico" é o próprio "ciclo hidrológico", cujo resultado nos fornecerá a água disponível no sistema (no subsolo, rios, lagos, vegetação úmida e oceanos), ou seja, na biosfera (figura 32).

Várias escalas espaciais podem ser consideradas para se contabilizar o balanço hídrico. Na escala macro, o "balanço hídrico" é o próprio "ciclo hidrológico", cujo resultado nos fornecerá a água disponível no sistema (no subsolo, rios, lagos, vegetação úmida e oceanos), ou seja, na biosfera (figura 32).

Figura 31:
Formas das superfícies potenciométricas e significado hidrogeológico (Cartografia de água subterrânea, (Disponível em <http://www.geocities.ws/cesol999/>)

<u>Orientação da concavidade</u>	<u>Tipo</u>	<u>Permeabilidade ou transmissibilidade</u>	<u>Vazão unitária</u>	<u>Forma</u>
<u>Para cima</u>	<u>Alimentação</u>	<u>Débil</u>	<u>Importante</u>	
<u>Para baixo</u>	<u>Drenagem</u>	<u>Forte</u>	<u>Débil</u>	
<u>Espacamento</u>	<u>Gradiente hidráulico</u>	<u>Permeabilidade ou transmissibilidade</u>	<u>Vazão unitária</u>	<u>Forma</u>
<u>Pequeno</u>	<u>Forte</u>	<u>Débil</u>	<u>Elevada</u>	
<u>Grande</u>	<u>Débil</u>	<u>Forte</u>	<u>Débil</u>	
<u>Aumenta (convergente)</u>	<u>Diminui</u>	<u>Cresce</u>	<u>Cresce</u>	
<u>Aumenta (divergente)</u>	<u>Diminui</u>	<u>Cresce</u>	<u>Diminui</u>	
<u>Diminui (convergente)</u>	<u>Cresce</u>	<u>Diminui</u>	<u>Cresce</u>	
<u>Diminui (divergente)</u>	<u>Cresce</u>	<u>Diminui</u>	<u>Diminui</u>	

Figura 32.
Variáveis do Balanço Hídrico



- Entradas
- Saídas
- P = Chuva
- O = Orvalho
- Ri = Escoamento superficial
- DLi = Escoamento subsuperficial
- AC = Ascensão capilar
- ET = Evapotranspiração
- RO = Escoamento superficial
- DLo = Escoamento subsuperficial
- DP = Infiltração subterrânea

Equacionando-se as entradas e saídas de água do sistema, tem-se que a variação na quantidade de água disponível para infiltração virá dada por:

$DP = P - \Delta S$, onde ΔS corresponde ao somatório de todos os demais itens da figura 32.

O reabastecimento de um aquífero ocorre basicamente a partir da infiltração de água das chuvas e, em menor escala, de corpos d'água superficiais. O maior ou menor grau de reabastecimento ou recarga depende de fatores como clima, vegetação, relevo, drenagem e geologia da região. A existência de solos porosos e permeáveis favorece a infiltração, mas essa condição pode ser ampliada se o solo for coberto por vegetação e estiver em relevo plano. Já em áreas de relevo íngreme e solos pouco permeáveis, a maior parte da água precipitada transforma-se em cursos superficiais, dificultando a infiltração. Em regiões de clima úmido e solos permeáveis, a recarga pode atingir até 25% da precipitação pluviométrica anual.

Os aquíferos podem ser reabastecidos localmente pela infiltração da água das chuvas. É a chamada recarga direta, característica dos aquíferos livres. Já nos aquíferos confinados o mais comum é que aconteça a recarga indireta, quando o reabastecimento ocorre somente nos locais onde a camada que contém o aquífero aflora. Esses locais são denominados zona de recarga desses aquíferos. Nos aquíferos fissurais a recarga pode ser direta, indireta ou ambas, de acordo com as condições e local de ocorrência.

Normalmente se tenta quantificar a recarga de água dos aquíferos, com a realização da aplicação da Equação de Continuidade. O balanço hídrico é uma ferramenta que permite avaliar de forma quantitativa os volumes de água que entram e saem de um dado local, num dado intervalo de tempo (normalmente de um ano). A realização do balanço hídrico de uma dada região é de fundamental importância para a determinação das variáveis de entrada da modelagem do sistema. As principais componentes de um balanço hídrico são:

- i. **Precipitação:** Normalmente medida em pluviômetros espalhados por diversos pontos da área de interesse;
- ii. **Dados meteorológicos:** Apesar da importância destes dados, a determinação das quantidades de água evaporadas e transpiradas numa região contínua é muito difícil de conseguir no Brasil. A maioria das estimativas de evapotranspiração é então feita usando tanques, balanços de energia, métodos de transferência de massas e relações empíricas.

Em mapas hidrogeológicos, as bacias e sub-bacias hidrográficas, estações pluviométricas, fluviométricas, pluvio-fluviométricas, evaporimétricas, etc., além das estações de monitoramento de águas subterrâneas deverão ser mostradas na forma de mapas de encarte.

3.9. PRODUTIVIDADE AQUÍFERA

De acordo com Struckmeier & Margat (1995, op. cit.), várias maneiras podem ser utilizadas para avaliar a produtividade de um aquífero:

» A permeabilidade de corpos rochosos pode ser estimada a partir de analogias entre a geologia (tipo litológico) e a hidrogeologia (valores da condutividade hidráulica), fornecendo boas medidas acerca da produtividade aquífera.

» A capacidade específica ou vazão específica, que é a vazão dividida pelo rebaixamento do nível da água, é um 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.

» Também os valores da recarga podem ser utilizados para estimar a produtividade aquífera, seu valor representando uma aproximação do limite máximo desta produtividade. 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.**

Baseados nestas considerações, Struckmeier & Margat (op. cit.), propõem uma divisão para as classes de aquíferos, baseada em valores dos coeficientes hidráulicos dos mesmos (capacidades específicas, transmissividades e condutividades hidráulicas), além de feições como expectativa de vazões e produtividades de água subterrânea, conforme mostrado na tabela 05.

AQUIFER CATEGORY	SPECIFIC CAPACITY (L/s/m)	TRANSMISSIVITY (m ² /d)	HYDRAULIC CONDUCTIVITY (m/d)	VERY APPROX. EXPECTED YIELD (L/s)	GROUNDWATER PRODUCTIVITY
A, B, C	>1	>75	>3	>10	High: Withdrawals of regional importance (supply to towns, irrigation).
A, B, C	0,1-1	5-75	0,2-3	1-10	Moderate: Withdrawals for local water supply (smaller communities small scale irrigation etc.).
D1	0,001-0,1	0,05-5	0,002-0,2	0,01-1	Generally low productivity but locally moderate productivity: Smaller withdrawals for local water supply (supply through hand pump, private consumption).
D2	<0,001	<0,05	<0,002	<0,01	Generally low productivity: Sources for local water supply are difficult to ensure.

Tabela 05. Classes de aquífero (Struckmeier & Margat, 1995)

Seguindo a metodologia proposta por esses autores, contudo fazendo as devidas adaptações às nossas condições hidrogeológicas, propõe-se a adoção dos valores mostrados na tabela 06.

Q/S (m ³ /h/m)*	T (m ² /s)	K (m/s)	VAZÃO (m ³ /h)	PRODUTIVIDADE (**)	CLASSE
≥ 4,0	≥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 ≤ Q/s < 4,0	10 ⁻⁰³ ≤ T < 10 ⁻⁰²	10 ⁻⁰⁵ ≤ K < 10 ⁻⁰⁴	50 ≤ 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 ≤ T < 10 ⁻⁰³	10 ⁻⁰⁶ ≤ K < 10 ⁻⁰⁵	25 ≤ Q < 50	Moderada: Fornecimento de água para abastecimentos locais em pequenas comunidades, irrigação em áreas restritas.	(3)
0,4 ≤ Q/s < 1,0	10 ⁻⁰⁵ ≤ T < 10 ⁻⁰⁴	10 ⁻⁰⁷ ≤ K < 10 ⁻⁰⁶	10 ≤ Q < 25	Geralmente baixa, porém localmente moderada: Fornecimentos de água para suprir abastecimentos locais ou consumo privado.	(4)
0,04 ≤ Q/s < 0,4	10 ⁻⁰⁶ ≤ T < 10 ⁻⁰⁵	10 ⁻⁰⁸ ≤ K < 10 ⁻⁰⁷	1 ≤ 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 06. Proposta para estabelecimento de classes de aquíferos

Com a criação destas classes aquíferas, propõe-se que as siglas geológicas das diversas unidades litoestratigráficas sejam precedidas pelos números de 1 a 6, mostrados entre parênteses, indicando a classe de produtividade a que pertence cada uma delas, o que nos remete ao conceito de Unidade Hidroestratigráfica, conforme já definido. Por se referir a formações geológicas, é considerado também o posicionamento estratigráfico das mesmas. Como exemplo pode ser citado o Aquífero Urucuia, de alta produtividade, que terá sua sigla geológica precedida pelo numeral 1, indicando que o mesmo, de idade cretácea, é um aquífero de alta produtividade.

No caso de aquíferos superpostos, com o mais produtivo subjacente àquele de menor produtividade, deverão ser representadas as duas unidades como, p.ex.,

(3)N3i .

(1) K2ac

Neste caso, se compreenderá que o aquífero Alter do Chão, do Cretáceo e de muito alta produtividade (classe 1) se encontra subjacente ao aquífero Iça, do Pleistoceno de produtividade moderada, da classe 3 (ver figura 28).

No caso de vários aquíferos superpostos, serão representados em mapa apenas o aquífero aflorante e o principal confinado (produz mais água, de melhor qualidade e em menor profundidade).

Outra maneira de se estimar a produtividade de um aquífero é utilizando os valores de transmissividade versus a condição de recarga local, conforme mostrado na tabela 07.

TRANSMISSIVIDADE	RECARGA BAIXA (< 20 mm/ano)	RECARGA MODERADA (100 <R< 20 mm/ano)	RECARGA ELEVADA (> 100 mm/ano)
Alta	3	1; 2	1
Moderada	3; 4	2; 3	2
Baixa	6	5	3

(Os números de 1 a 6 refere-se as classes de produtividade)

Tabela 07. Estimativa da produtividade a partir dos valores de recarga.

3.10. MAPAS DE ENCARTE

Devem ser apresentados, como suporte ao mapa principal, no mínimo, os seguintes subprodutos:

- » Mapas potenciométricos de aquíferos confinados não representados no mapa principal;
- » Mapa de distribuição dos valores de sólidos totais dissolvidos, representados da mesma forma que os mapas hipsométricos;
- » Mapa dos Domínios Hidrogeológicos ou geológico simplificado da folha;
- » Mapa de bacias hidrográficas, contendo pluviometria, localização das estações pluviométricas, pluviométricas e pluvio-fluviométricas; localização das estações de monitoramento de águas subterrâneas; estimativas de recargas por bacia ou por unidade aquífera ocorrente. Mapa da densidade de distribuição de todos os poços utilizados na elaboração da folha;
- » Mapa hipsométrico da folha mapeada, ou seja, representação do relevo por curvas de nível, em relação ao nível do mar; os espaços entre as curvas de nível devem ser coloridos segundo uma legenda convencional que geralmente representa a cor verde para as baixas altitudes e a cor castanha para as maiores altitudes.

3.11. TEXTO EXPLICATIVO

O relatório ou nota explicativa constitui parte indispensável de um levantamento hidrogeológico. Nele deverão estar relatadas informações pormenorizadas sobre os dados cartográficos constantes no mapa/carta, bem como aspectos inerentes às múltiplas características do meio ambiente.

A sua abrangência poderá variar com o nível de levantamento hidrogeológico. Assim, nos levantamentos menos generalizados, o volume de informações é maior

e, conseqüentemente, seu texto explicativo apresenta-se mais enriquecido.

Os relatórios finais de levantamentos hidrogeológicos devem abordar, necessariamente, três aspectos importantes:

- a) descrição geral de características do meio físico, que têm relações com a formação e o uso dos depósitos de água subterrânea, compreendendo geologia, relevo, vegetação, clima e hidrografia;
- b) caracterização, descrição e classificação dos aquíferos de acordo com convenções internacionais; e,
- c) interpretação para diversos fins de utilização da água subterrânea.

Existem amplas possibilidades de formas e estilos de apresentação de relatórios finais, desde os mais simples, para usuários específicos, até os mais complexos, embora os usuários geralmente tenham maior interesse nas interpretações das produtividades dos aquíferos, em recomendações práticas e em indicações relativas ao seu melhor aproveitamento.

Não existe um modelo padrão para relatórios finais de levantamentos hidrogeológicos, mas como regra geral recomenda-se o seguinte:

- 1 – Não são necessários grandes discursões ou interpretações sobre petrografia e processos de formação das rochas, vista que elas comumente interessam apenas a professores, pesquisadores e estudantes de pós-graduação, que podem encontra-las em levantamentos geológicos mais pormenorizados;
- 2 – A base de dados para outras interpretações que não constem do texto do relatório final, como tabelas de testes de bombeamento e em boletins de resultados analíticos (físicos, químicos, bacteriológicos, geofísicos), deve ser apresentada na forma de anexos.
- 3 – As descrições das unidades de mapeamento devem ser sucintas, o suficiente para identificá-las e distingui-las de outras unidades;
- 4 – A inserção de tabelas, gráficos, fotografias, esquemas e desenhos, valorizam o relatório, pela possibilidade de síntese que apresentam;
- 5 – É muito importante a apresentação de informações relativas à qualidade das águas subterrâneas e a limitações de uso dos aquíferos, como profundidades de captação, susceptibilidade/vulnerabilidade à poluição, condições de drenagem, relevo, impedimentos ao uso extensivo e zonas de baixas potencialidades aquíferas localizadas;
- 6 – Da mesma forma, a descrição geral do meio físico deve fornecer subsídios para a interpretação de uso potencial dos aquíferos, compreendendo dados climáticos, topográficos e condições hídricas, inclusive com a realização de balanços hídricos;

7 – Especialmente nos mapas de planejamento é útil a apresentação de dados a respeito da extensão das unidades de mapeamento e seus respectivos percentuais em relação à área total. Um glossário para definição de termos pouco comuns, a estimativa do percentual de ocorrência de determinados aquíferos em unidades de mapeamento e uma conclusão geral (resumo) sobre limitações e potencialidades da área levantada.

Este deverá conter, de forma resumida, as seguintes informações básicas:

- » Fisiografia – Clima, relevo e vegetação, características da rede hidrográfica;
- » Condições sócio-econômicas predominantes;
- » Geologia – Descrição sucinta das características geológicas da área;
- » Hidrogeologia – Características das unidades hidroestratigráficas cartografadas;
- » Hidroquímica – Composição química das águas dos diferentes aquíferos;

3.12. RESUMO DO TRABALHO – FORMA DE APRESENTAÇÃO DO MAPA

Embora normalmente se trate os mapas como representações planares de dados hidrogeológicos, a folha do mapa não é composta apenas de sua face (a área representada num mapa temático), mas também de um conjunto de inserções e explicações, para fornecer informações claras e completas para o seu leitor. Os seguintes elementos são considerados essenciais (figura 33):

- » Título do mapa e escala– autoria;
- » Face fornecendo informação temática sobre uma base topográfica adequada;
- » Legenda explicando os elementos gráficos retratados no mapa;
- » Secção transversal para permitir uma compreensão pseudo-tridimensional da configuração hidrogeológica;
- » Mapas de encarte para mostrar informações adicionais não contidas na face do mapa, conforme já citado, além de mapa índice para definir a localização da folha no caso de séries sistemáticas de mapas;
- » Texto explicativo na forma de caderno, ou nota explicativa localizada no lado esquerdo da face do mapa;
- » Referências bibliográficas, no canto inferior direito;
- » Local e data da publicação.

3.13. NÍVEIS DE LEVANTAMENTOS HIDROGEOLÓGICOS

Para cada tipo de demanda solicitada é preciso escolher um tipo de levantamento em particular, que mantenha uma relação custo/benefício apropriada, sem prejuízo da qualidade ou da quantidade das informações demandadas.

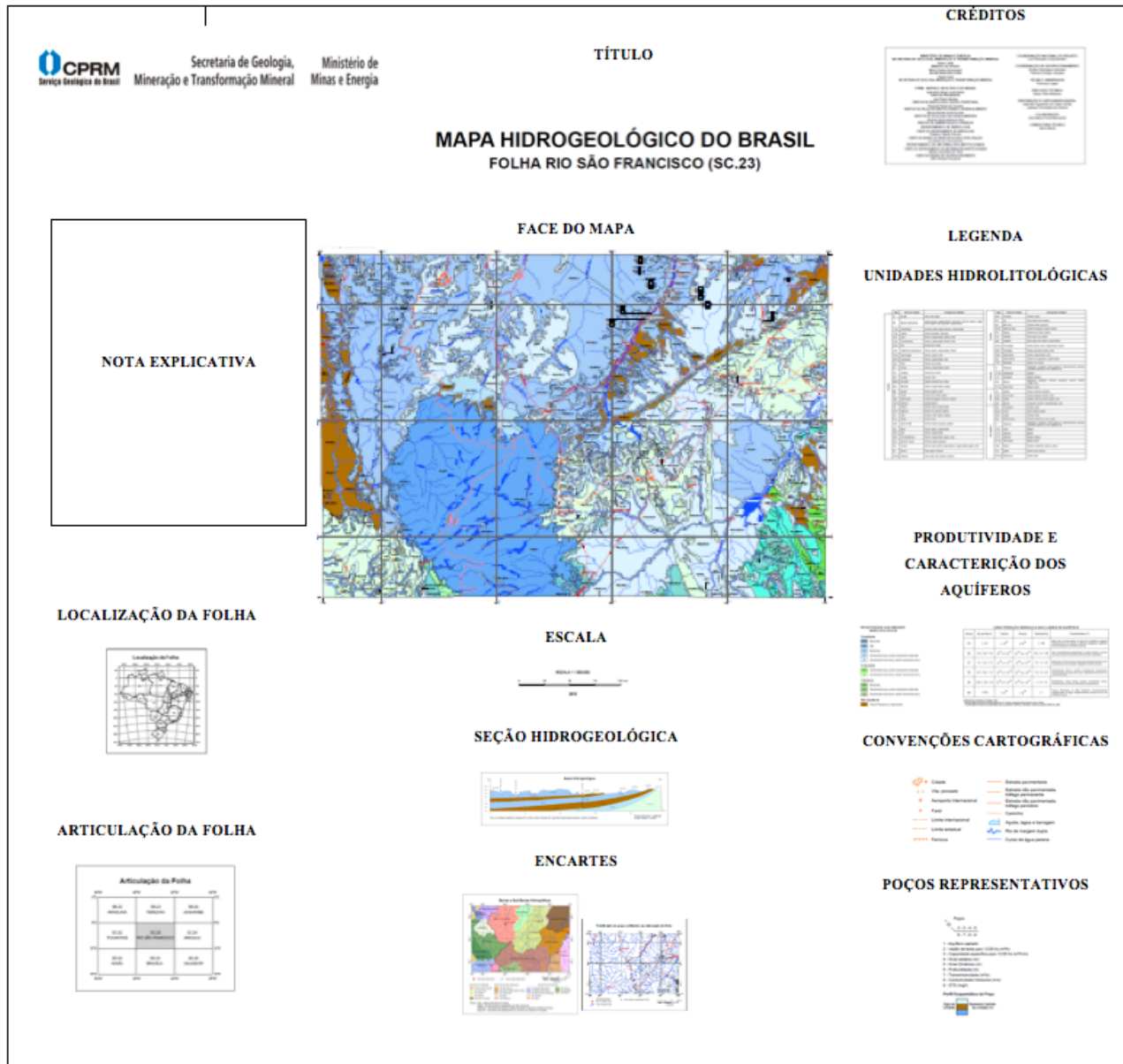


Figura 33. Aspecto geral da folha de um mapa hidrogeológico

Para melhorar a compreensão dessa assertiva, a figura 34 mostra a relação entre escalas de mapas, e áreas mapeáveis de acordo com a Organização Meteorológica Mundial - OMM (1977), aplicável também aos levantamentos hidrogeológicos.

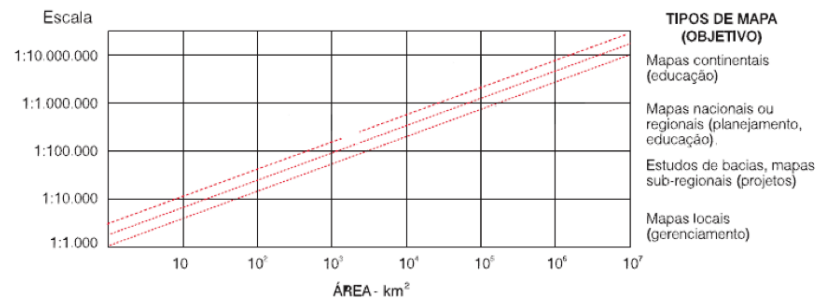


Figura 34. Escalas, áreas mapeadas e tipos de mapas hidrogeológicos (OMM, 1977).

Em função da precisão, escala e objetivo do trabalho, é definido o tipo do levantamento, sendo então tomadas decisões a respeito de composição das unidades de mapeamento, dos métodos de prospecção, da qualidade e escala do material cartográfico e dos sensores remotos, densidade de observações e frequência de amostragem.

Os levantamentos hidrogeológicos diferenciam-se, principalmente, quanto aos objetivos a que se destinam e quanto à extensão das áreas que abrangem. A cada tipo de levantamento corresponde um tipo de mapa ou carta, sendo reconhecidos basicamente apenas cinco tipos principais de levantamentos:

- » Mapas Esquemáticos;
- » Mapas de Reconhecimento e Exploração;
- » Mapas de Planejamento e Desenvolvimento;
- » Mapas de Gerenciamento e Proteção;
- » Mapas de Fins Especiais.

É importante ressaltar que, em qualquer situação, independente do tipo do mapa e de sua escala de representação, a cor de representação das unidades mapeadas deve ser atribuída em função da informação hidrogeológica verdadeira, ao invés da estratigrafia ou tipo de rocha.

3.14. OS MAPAS ESQUEMÁTICOS

Os mapas esquemáticos têm por finalidade fornecer informações generalizadas sobre a distribuição geográfica e a natureza dos aquíferos de grandes extensões territoriais. São elaborados a partir de informações hidrogeológicas preexistentes em combinação com interpretações e correlações de geologia, geomorfologia, clima e hidrografia, visando à previsão do modo de ocorrência e da natureza dos aquíferos. Como materiais básicos para sua execução são utilizados principalmente, mapas cartográficos, geológicos, dados climáticos e hidrográficos, imagens de radar e de satélites e foto índices, além de informações geomorfológicas e hipsométricas. Estes materiais devem ser disponibilizados preferencialmente em formato de shapefiles.

As escalas de apresentação destes mapas hidrogeológicos esquemáticos são geralmente iguais ou inferiores a 1:5.000.000. Como se trata de escalas muito pequenas, não permitem sua utilização no planejamento do uso da água sub-

terrânea. Poderão ser utilizados para fins didáticos e para avaliação global de recursos regionais.

As unidades de mapeamento identificadas nestes mapas são compostas de amplas associações de aquíferos ou domínios hidrogeológicos, classificadas do ponto de vista qualitativo (unidades hidroestratigráficas), a partir da experiência dos hidrogeólogos locais e com pouquíssimos dados hidrodinâmicos.

Este tipo de mapa, em geral, é elaborado sem execução de trabalhos de campo.

Normalmente contemplam grandes áreas ou regiões (iguais ou superiores a 106 km²), onde as informações existentes sobre águas subterrâneas são muito escassas, ou então, áreas bem conhecidas, no caso de necessidade de informações mais generalizadas em pequenas escalas.

3.14.1. MAPAS DE RECONHECIMENTO E EXPLORAÇÃO

Os levantamentos do tipo reconhecimento são executados para fins de avaliação qualitativa e semiquantitativa das águas subterrâneas, visando à estimativa de seu potencial hídrico. Normalmente são elaboradas em escalas que variam entre 1:5.000.000 e 1:1.000.000. A área mínima mapeada é de 105 km².

A seleção de mapas/cartas e sensores remotos básicos, métodos de prospecção de campo, composição de unidades de mapeamento e grau de detalhe cartográfico são estabelecidos previamente, em função da escala de apresentação do mapa ou carta, dos objetivos e da precisão desejada.

As classes de aquíferos definidas nos levantamentos de reconhecimento acumulam as características hidrolíticas utilizadas nos levantamentos esquemáticos, além de aspectos relacionados às suas produtividades, correspondendo, em termos taxonômicos, às unidades hidroestratigráficas.

Dados morfológicos e analíticos (químicos, físicos e mineralógicos), testes de bombeamento, seções geológicas, potenciometrias, dados geofísicos e balanços hídricos, são necessárias para caracterização dos aquíferos e definição das unidades de mapeamento (as unidades hidroestratigráficas).

Os níveis de reconhecimento (baixo, médio e alto), diferenciam-se quanto aos objetivos, métodos de prospecção, tipos de unidades de mapeamento, área mínima mapeável, material cartográfico e sensores remotos básicos e escala de publicação.

A densidade da distribuição de poços e demais pontos de observação por área é variável, normalmente igual ou inferior a 2,0 observações por quilômetro quadrado.

De uma forma geral os mapas deverão conter:

I. No corpo do Mapa Hidrogeológico

a. Potencialidades das Unidades Hidrogeológicas com a representação das pro-

produtividades das Unidades Hidroestratigráficas Aflorantes e das Unidades Hidroestratigráficas Subjacentes mais produtivas e em profundidade economicamente viável de acordo com a tabela 06.

b. As unidades hidroestratigráficas aflorantes deverão ser representadas com cores de acordo com legenda da IAH (International Association of Hydrogeology).

c. Confecção de Seção Hidroestratigráfica Regional.

d. Rede de poços representativos onde será mostrada a coluna hidroestratigráfica, aquífero captado, profundidade (m), vazão (m^3/h), capacidade específica ($m^3/h/m$), nível estático (m), Nível Dinâmico (m), sólidos totais dissolvidos (mg/L), transmissividade (m^2/s), condutividade hidráulica (m/s) e coeficiente de armazenamento (adimensional).**e.** Balanço Hídrico

II. Na Legenda

a. Convenções Cartográficas;

b. Convenções Hidrogeológicas;

c. Parâmetros Construtivos, Hidrodinâmicos e Hidroquímicos dos Poços;

d. Perfil Esquemático dos Poços;

e. Biblioteca das Unidades Hidrogeológicas;

f. Produtividade das Unidades Hidrolitológicas;

g. Caracterização das Classes de Aquíferos;

III. Mapas de Encartes

a. Mapa de Localização;

b. Mapa de Densidade de Informação;

c. Mapa Geológico esquemático;

d. Mapa de Bacias e Sub-Bacias Hidrográficas, com indicação de estações de monitoramento pluviométricas, fluviométricas e de águas subterrâneas;

e. Mapa de Bacias e Coberturas Sedimentares;

f. Mapa Pluviométrico;

g. Mapa Hipsométrico; h. Seções Hidroestratigráficas Regionais.

3.14.2. MAPAS DE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO

Este tipo de levantamento tem como objetivos básicos a obtenção de informações com vistas à implantação de projetos baseados no uso mais intensivo de águas subterrâneas, como implantação de projetos de colonização, estudos integrados de bacias, planejamento do uso e conservação de águas subterrâneas em áreas destinadas ao desenvolvimento de projetos agrícolas, além de projetos e estudos prévios para engenharia civil.

A escala de apresentação do mapa/carta é, em geral, entre 1:1.000.000 e 1:500.000, enquanto que a área mínima mapeável situa-se em torno dos 104 km²

As unidades básicas de mapeamento ainda devem ser as unidades hidroestratigráficas, contudo já se podem analisar os aquíferos individualmente.

Os trabalhos de campo assumem maior importância e a caracterização das unidades aquíferas deve ser mais minuciosa, visto que será usada diretamente na definição do manejo a ser implantado.

São também elaborados visando à realização de estudos ambientais em empreendimentos localizados (minerações, construção, estações experimentais, etc.), ao estabelecimento de medidas corretivas ou compensatórias de caráter localizado e seleção de áreas para projetos específicos.

A frequência mínima de amostragem é função da área de ocorrência de cada unidade aquífera e de sua heterogeneidade e anisotropia.

Estes trabalhos devem contemplar:

1.1 MAPA HIDROGEOLÓGICO

- a. Potencialidades das Unidades Hidrogeológicas com a representação das produtividades das Unidades Hidroestratigráficas Aflorantes e das Unidades Hidroestratigráficas Subjacentes mais produtivas e em profundidade economicamente viável de acordo a tabela 06;
- b. As unidades hidroestratigráficas aflorantes representadas com cores de acordo com Legenda Internacional;
- c. Mapa potenciométrico dos principais aquíferos.
- d. Frente de Escoamento e Gradiente Hidráulico Médio
 - » Definição das frentes de escoamento;
 - » Cálculo do gradiente hidráulico;
 - » Determinação dos Parâmetros Hidrodinâmicos representativos do Aquífero;
 - » Determinação das Reservas e Recursos de Água Subterrânea;
 - » Reservas de Água Subterrânea ou Reserva Permanente;
 - » Recursos de Água Subterrânea;
 - a. Recursos Renováveis ou Vazão de Escoamento Natural;
 - b. Potencialidade;
 - c. Disponibilidade (Efetiva e Instalada);
 - d. Recursos Explotáveis;
 - » Confecção de Seção Hidroestratigráfica Regional;
 - » Representação das estações fluviométricas, pluviométricas e de monitoramento de águas subterrâneas;
 - » Rede de poços representativos, mostrando a coluna hidroestratigráfica, aquífero captado, profundidade (m), vazão (m^3/h), capacidade específica ($\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$), nível estático (m), Nível Dinâmico (m), sólidos totais dissolvidos (mg/L), transmitividade (m^2/s), condutividade hidráulica (m/s) e coeficiente de armazenamento (adimensional);
 - » Balanço Hídrico;

1.2 LEGENDA

- h. Convenções Cartográficas;
- i. Convenções Hidrogeológicas;

- j.** Parâmetros Construtivos, Hidrodinâmicos e Hidroquímicos dos Poços;
- k.** Perfil Esquemático dos Poços;
- l.** Biblioteca das Unidades Hidrogeológicas;
- m.** Produtividade das Unidades Hidrolitológicas;
- n.** Caracterização das Classes de Aquíferos;

1.3 ENCARTES

- a.** Mapa de Localização;
- b.** Mapa de Densidade de Informação;
- c.** Mapa Geológico esquemático;
- d.** Mapa de Bacias e Sub-Bacias Hidrográficas;
- e.** Mapa de Bacias e Coberturas Sedimentares;
- f.** Mapa Pluviométrico;
- g.** Mapa Hipsométrico;
- h.** Seções Hidroestratigráficas Regionais;
- i.** Hidroquímica

3.14.3 MAPAS DE GERENCIAMENTO E PROTEÇÃO

Realizados em escalas maiores que 1:500.000 e menores que 1:250.000, diferenciam-se dos mapas de planejamento e gerenciamento basicamente pela maior atenção a questões ambientais e de gerenciamento dos recursos hídricos de forma integrada e pela necessidade de melhor detalhamento das informações.

A área mínima mapeável situa-se entre 1.000 e 10.000 km².

Devem apresentar as seguintes informações:

- » Presença, extensão e continuidade dos aquíferos;
- » Profundidade do nível da água subterrânea em relação à superfície;
- » Altura da superfície potenciométrica, contornos piezométricos ou freáticos, delimitação de áreas de aquíferos livre, confinados ou artesianos;
- » Direções de fluxo e gradientes hidráulicos, inclinações da superfície potenciométrica, limites hidrodinâmicos pouco estáveis por drenança;
- » Conexões de fluxos entre aquíferos descontínuos;
- » Variações dos níveis potenciométricos e flutuações dos níveis de água, sazonais ou derivados de ações antrópicas;

- » Volume de água subterrânea em um aquífero por unidade de área;
- » Distinção entre áreas de recarga e descarga;
- » Recarga difusa (pluviométrica), por unidade de área;
- » Fontes de descarga natural, tais com fontes ou drenagem para rios;
- » Tipo do regime de descarga da fonte: permanente, intermitente ou temporário; variabilidade; valores médios de coeficientes de descarga ou, eventualmente hidrogramas das fontes;
- » Quantidade de água retirada local ou regionalmente por estações de bombeamento e poços artesianos em um determinado período de tempo;
- » Características, físicas (térmica, isotópica, etc) ou químicas, de água subterrânea em pontos determinados, como por exemplo, fontes, em datas determinadas; distribuição espacial dessas características, composição, especialmente químicas da água; diagramas podem ser usados para mostrar a composição química das águas subterrâneas em alguns pontos de amostragem;
- » Tipo litológico das formações geológicas (depósitos aflorantes ou sob coberturas superficiais), classificadas segundo a sua capacidade de transmitir, armazenar e fornecer água: tipo e ordem de grandeza da permeabilidade e da porosidade, em meios contínuos ou descontínuos (poroso, fraturado, carstificado);
- » Extensão, estrutura e geometria dos corpos rochosos, particularmente dos aquíferos;
- » Posição e tipo de limites entre áreas de diferentes permeabilidades;
- » Topo e base dos aquíferos;
- » Espessura saturada;
- » Localização das heterogeneidades internas relevantes para o fluxo de água subterrânea (zonas fraturadas, falhas, descontinuidades, etc.);
- » Valores dos parâmetros quantificadores das propriedades hidráulicas das rochas, como transmissividade, permeabilidade, armazenamento e sua distribuição espacial;
- » Os valores estimados para a zona não saturada, por exemplo, a capacidade de saturação dos solos, necessários para a modelagem de balanço hídrico (indicado em mm);
- » Posição dos elementos de rede hidrográfica (permanente ou temporária), que sugiram uma definição das condições de contorno do aquífero (potencial ou de fluxo);
- » Relação entre rios e aquíferos adjacentes: relação estreita, contínua e descontínua, permanente ou temporária, ausencia de relações;
- » Posição de pontos individuais e locais do ponto de vista de descarga. Por exemplo, nascentes, linhas de escoamento, planícies de evaporação, sumidouros e as perdas de água nos rios;
- » Genese e morfologia ou tipo de fontes ou sumidouros;
- » Classificação de Zonas de acordo com sua complexidade e estrutura hidrogeológica (grau de homogeneidade, em aquíferos, freáticos ou confinados, de múltiplas camadas, ou aquíferos contínuos, descontínuos, etc);
- » Localização de intervenções antropogênicas, como posição dos poços, estações de bombeamento, poços de injeção, recarga artificial, áreas irrigadas, áreas minadas, drenage de solos, túneis, barragens e canais, etc.

3.14.4. MAPAS HIDROGEOLÓGICOS ESPECÍFICOS

Constituem documentos básicos altamente úteis para o planejamento e controle

dos impactos humanos no regime hídrico. Os mapas são sempre voltados para solucionar problemas, como fornecimento de água, obras sanitárias, recursos minerais e energéticos, prospecção, engenharia hidráulica ou recuperação de terra.

Os mapas hidrogeológicos específicos podem ser semiquantitativos ou quantitativos e utilizam-se escalas normalmente superiores a 1:250.000. Não se define área mínima mapeável, uma vez que os trabalhos podem ser conduzidos em áreas de quaisquer dimensões.

Conforme o público-alvo, estes mapas podem ser separados nas categorias de mapas para especialistas e de mapas para não especialistas, como segue:

- » mapas de parâmetros detalhados e mapas de projetos, destinados a hidrogeólogos, engenheiros e técnicos de modo geral;
- » mapas interpretativos, derivados e programáticos, voltados para não especialistas, planejadores, políticos e ao público interessado em geral;

Considerando, por um lado a complexidade dos problemas em hidrogeologia, e a necessidade de se ter em mãos informações claras, completas e confiáveis, por outro, torna-se necessário dispor de uma série de mapas hidrogeológicos específicos em que se apresenta, em cada folha separada, apenas um aspecto básico ou um parâmetro em particular, formando atlas para uso em diversos fins.

Como os mapas hidrogeológicos específicos podem ser tanto semiquantitativos como quantitativos, as escalas utilizadas variam entre grande a média (1/10.000 a 1/500.000). Os mapas hidrogeológicos específicos podem ser divididos em: mapas paramétricos e de projetos (que servem mais aos técnicos e especialistas); e mapas programáticos (voltados para não especialistas em hidrogeologia).

Mapas hidrogeológicos paramétricos e de projetos, são normalmente preparados para especialistas, durante e depois de investigações em áreas restritas de projetos.

Ora referem-se a dados de campo, mostrando os locais onde foram realizadas as medições e seus valores (níveis de água, temperatura, condutividade, descargas de fontes ou deflúvios de rios, etc.), ou podem ser mapas interpretativos, ressaltando um ou mais elementos relacionados ao regime das águas subterrâneas (recarga, vulnerabilidade à poluição, profundidade do nível d'água, transmissividade, linhas isotenciais, composição química das águas subterrâneas etc.).

Em muitos casos, podem mostrar tanto as localidades exatas onde foram efetuadas as medições como a extrapolação e interpretação dos dados pontuais, através de um agrupamento de determinadas categorias de dados.

A seguir, são apresentados os principais elementos e feições hidrogeológicas, que normalmente são representadas em mapas específicos paramétricos ou de projetos.

ELEMENTOS RELATIVOS À ÁGUA SUBTERRÂNEA:

- » Isolinhas potenciais, de pH, de condutividade elétrica, STD, etc.;
- » Composições químicas ou componentes particulares de água subterrânea;
- » Idade de água subterrânea, tempo de residência;

CARACTERÍSTICAS DO AQÜÍFERO

- » Condutividade hidráulica;
- » Transmissividade;
- » Coeficiente de armazenamento;
- » Espessura da camada saturada;
- » Profundidade do nível d'água;
- » Variações do nível de água subterrânea;
- » Base e topo de unidades hidrogeológicas;
- » Velocidade de fluxo.

FLUXO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

- » Recargas e descargas;
- » Precipitação;
- » Escoamento superficial;
- » Escoamento de base;
- » Fluxo subterrâneo.

EXPLOTAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

- » Vazão de exploração;
- » Capacidade específica;
- » Potencialidade;
- » Disponibilidade;
- » Vulnerabilidade;
- » Risco de perfurações;
- » Custo da água subterrânea.

Na legenda mapa devem constar observações sobre a confiabilidade das informações apresentadas, uma vez que a mesma sempre deve ser a maior possível.

Não existem métodos internacionalmente acertados para a apresentação de mapas hidrogeológicos específicos, haja vista a grande variedade de conteúdo e representação gráfica.

Na sua elaboração pode-se utilizar, na medida do possível, utilizar os elementos gráficos (ornamentos) sugeridos na Legenda Internacional da UNESCO (ver anexo 01). Qualquer outra informação adicional a ser apresentada, ficará a critério do autor.

Contudo, deve-se levar em conta o princípio básico de cartografia hidrogeológica, segundo o qual, a representação da informação principal em mapas deve ser efetuada em cores sólidas, mostrando sempre características hidrogeológicas e não aspectos estratigráficos ou geológicos.

CAPÍTULO III
BANCO DE DADOS
GEORREFERENCIADOS
DO SERVIÇO GEOLÓGICO
DO BRASIL

INTRODUÇÃO

As “Instruções Técnicas” apresentadas a seguir, tem como objetivo principal padronizar e auxiliar os executores dos *Projetos de Cartografia Hidrogeológica* na compreensão do tema e no preenchimento dos Atributos do Polígono de Hidrogeologia em ambiente SIG.

São divididas em três partes:

- I - Banco de Dados Georreferenciados do *Geotabbase Cartografia Hidrogeológica*;
- II – Preenchimento dos Atributos do Polígono de Hidrogeologia;
- III – Encartes – Principais Cartogramas. Além disso, consta uma tabela com as cores definidas para as Produtividades dos Aquíferos.

BASE METODOLÓGICA

Toda metodologia CPRM é baseada na tabela de “*Struckmeir & Margat – Modificado in Diniz – 2012*”, nas metodologias empregadas na elaboração dos “*Mapas Hidrogeológicos da Austrália (1987) e do SADC (2009)*”, e em texto interno intitulado “*Procedimentos no Tratamento Digital de Dados (CPRM-2008)*”.

BANCOS DE DADOS UTILIZADOS

A CPRM possui dois bancos de dados: *GEOBANK (Sistema de Informações Geológicas)* e o *SIAGAS (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas)*.

Além destes foi criado, para o Programa de Cartografia Hidrogeológica, um banco de dados próprio, adotado para uso específico nesses projetos.

BASE PLANIMÉTRICA E GEOLÓGICA

As bases planimétricas são as definidas pelo *IBGE* e as cartas geológicas, utilizadas nos projetos de Cartografia Hidrogeológica, são oriundas, principalmente, dos Programas da CPRM - *GIS Brasil* e *PLGB (Programa de Levantamento Geológico Básico)*.

I. BANCO DE DADOS GEORREFERENCIADOS

1. Introdução

O banco de dados espaciais do Projeto Cartografia Hidrogeológica do Brasil foi planejado e elaborado com o objetivo de facilitar, padronizar e acelerar o preenchimento dos atributos relativos ao tema hidrogeologia. A estrutura do banco permite ainda uma fácil e rápida manipulação dos dados nele contido, 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 está disponível nos pacotes de aplicativos do Arcgis 10.2, programa utilizado na realização do projeto.

2. Vantagens no uso do Geodatabase

- » Estrutura;
- » Versatilidade e usabilidade aprimoradas;
- » Desempenho otimizado;
- » Poucas limitações de espaço de armazenamento;
- » Desempenho;
- » Fácil migração de dados;
- » Modelo de edição aprimorado;
- » Gerenciamento de dados;
- » Configuração de armazenamento possível de customização;
- » Permite atualização dos índices espaciais;
- » Permite o uso de compressão de dados.

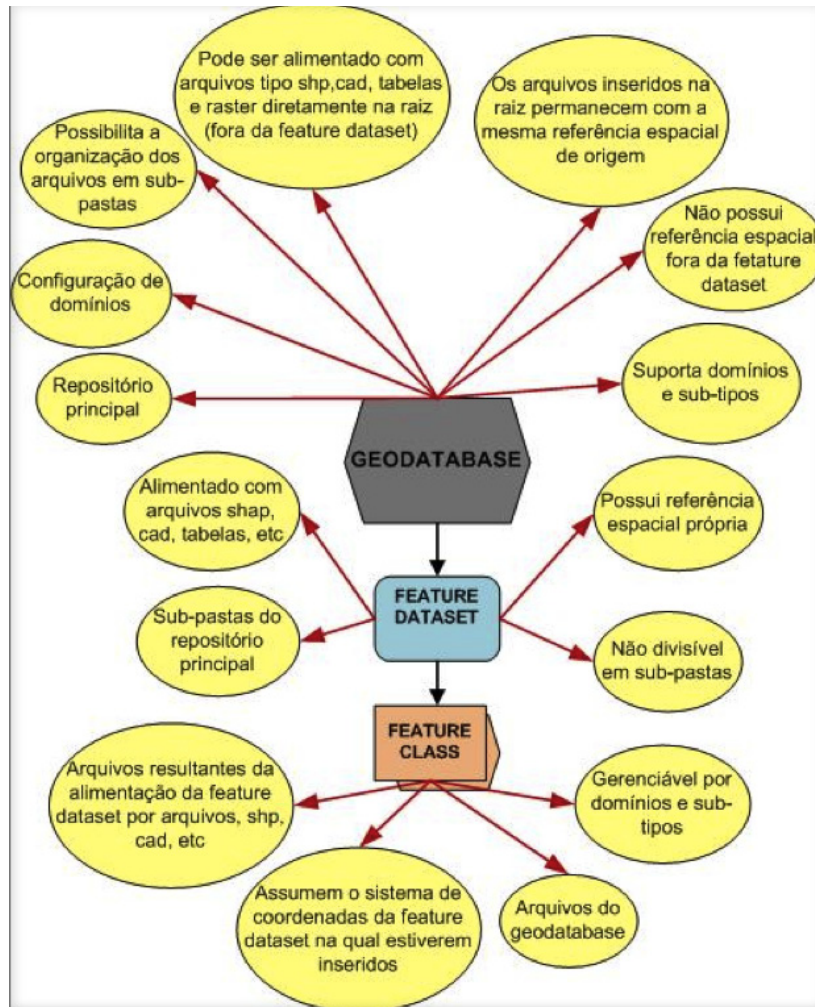
3. Conceitos Importantes

- » **Banco de Dados Espaciais** - É o banco formado por dados que descrevem objetos ou fenômenos que acontecem na Terra e que tem associado uma posição geográfica. Esses dados estão associados a dois tipos de atributos. Os atributos espaciais, que são dados sobre a localização e representação do objeto geográfico, considerando sua geometria e sistema de coordenadas. E os atributos não espaciais que são dados que descrevem qualitativa ou quantitativamente uma entidade geográfica.
- » **Geodatabase** - Banco de dados ou estrutura de arquivos usados principalmente para armazenar, consultar e manipular dados espaciais.
- » **Classe de Feição (*Feature Class*)** - Grupo de feições geográficas com o mesmo tipo de geometria (linha ou polígono), os mesmos atributos e a mesma referência espacial.
- » **Conjunto de Dados de Feição (*Feature Dataset*)** - Grupo de classe de feições armazenadas em conjunto, que compartilham a mesma referência espacial.
- » **Domínio** - Conjunto de valores válidos para um atributo particular.

4. Principais Características de um *Geodatabase*

O *geodatabase* possui uma estrutura simples e amigável de alimentação e gerenciamento dos dados espaciais, conforme podemos observar na Figura 35, que representa um esquema simplificado de algumas características do banco.

Figura 35.
Estrutura de um
Geodatabase.



5. Estrutura do Banco de Dados da Cartografia Hidrogeológica

a. Repositório Principal - Intitulado com o nome que identifica o a área a ser mapeada pelo projeto de Cartografia Hidrogeológica do Brasil, o mesmo é composto, inicialmente, por dezessete pastas (feature datasets) com referência espacial em WGS84, geográfica. A quantidade de pastas pode alterar, para mais ou para menos, a depender da necessidade de cada área a ser mapeada.

b. Pastas (*feature datasets*) - Distribuídas conforme os diversos agrupamentos de arquivos do projeto, têm como objetivo principal a organização e armazenamentos das diversas feições geradas durante a execução do projeto. Essa estrutura de pastas está montada da seguinte forma:

i. AQUÍFEROS_TRANSFRONTEIRICOS - destinada ao armazenamento das feições que compõem o encarte que mostra a distribuição espacial dos aquíferos localizados na fronteira do Brasil e seus países vizinhos;

- ii. **ARCTRAB** - destinada ao armazenamento de feições de uso temporário, que não farão parte do projeto final e servem apenas para testes, geração de outras feições, análises espaciais, processamento, etc.;
- iii. **BACIAS_SEDIMENTARES** - destinada ao armazenamento das feições que compõem o encarte que mostra a distribuição espacial das bacias sedimentares e estações da RIMAS na área mapeada;
- iv. **CAPACIDADE_DE_INFILTRACÃO_DO_SOLO** - destinada ao armazenamento das feições que compõem o encarte do balanço hídrico e da capacidade de infiltração dos solos da área mapeada;
- v. **CONDUTIVIDADE_ELÉTRICA ($\mu\text{S}/\text{cm}$)** - destinada ao armazenamento das feições que compõem o encarte que retrata os valores da condutividade elétrica nos aquíferos da área mapeada;
- vi. **DENSIDADE_DE_POÇOS** - destinada ao armazenamento da feição que retrata a densidade de poços distribuídos na área mapeada;
- vii. **DOMÍNIOS_HIDROLITOLÓGICOS** - destinada ao armazenamento das feições que compõem o encarte dos domínios hidrolitológicos da área mapeada;
- viii. **GEOMORFOLOGIA** - destinada ao armazenamento das feições que compõem o encarte que mostra a geomorfologia da área mapeada;
- ix. **HIDROGEOLOGIA** - destinado ao armazenamento do tema principal do projeto, a hidrogeologia da área mapeada. Para essa feição foram criados domínios de atributos, destinados a facilitar e padronizar o preenchimento dos campos de atributos dos polígonos mapeados;
- x. **HIDROGRAFIA** - destinada ao armazenamento de feições relativas à drenagem da área mapeada, tais como, rios açudes, lagoas, etc.;
- xi. **HIPSOMETRIA** - destinada ao armazenamento das feições que compõem o encarte que retrata as elevações do terreno da área mapeada;
- xii. **PLANIMETRIA** - destinada ao armazenamento de feições relativas à base planimétrica da área mapeada, tais como estradas, cidades, localidades, vilas, aeroportos, etc.;
- xiii. **PLUVIOMETRIA** - destinada ao armazenamento das feições que compõem o encarte que retrata a distribuição das chuvas na área mapeada;
- xiv. **POÇOS_REPRESENTATIVOS** - destinada ao armazenamento da feição dos poços representativos, contidos na área mapeada;
- xv. **POTENCIOMETRIA** - destinada ao armazenamento da feição que compõem a potenciometria dos aquíferos da área mapeada;
- xvi. **SEÇÃO_HIDROGEOLÓGICA** - destinada ao armazenamento das feições que compõem a seção hidrogeológica da área mapeada;
- xvii. **SUB_BACIAS_HIDROGRÁFICAS** - destinada ao armazenamento das feições que compõem o encarte que mostra a distribuição espacial das bacias hidrográficas na área mapeada;
- xviii. **VOLUMES ANUAIS EXPLOTADOS** - destinada ao armazenamento das feições que compõem o encarte que retratará os volumes anuais extraídos dos aquíferos da área mapeada.

6. Atributos da Feição Hidrogeologia e Domínios

São 31 (trinta e um) campos de atributos a serem preenchidos com as características dos polígonos da hidrogeologia. O nome de cada um deles e sua descrição encontra-se detalhada na Parte II desse manual. Visando facilitar o seu preenchimento, os mesmos foram divididos em dois grupos, a saber:

a. Atributos que possuem classificação pré-determinada

São aqueles atributos que tem valores pré-definidos, ou seja, existe uma tabela contendo todas as formas possíveis de preenchimento para os diversos polígonos da feição hidrogeologia. Para evitar erros de digitação, os diversos valores de cada campo de atributo foram transformados em domínios, que nada mais são que o agrupamento desses valores. Os domínios são vinculados aos respectivos campos de atributos que devem conter todas as possibilidades possíveis. Os campos que possuem essas características, seus respectivos domínios e seus valores estão descritos a seguir (ex: CAMPO – Domínio – “Valores”):

i. E_UE_AFL e E_UE_SUB – Espessura da Unidade – “Muito Alta (>500 m); Alta (100 - 500 m); Média (10 - 100 m); Baixa (<10 m); Sem Informação; Não se aplica”;

ii. U_HL_AFL e U_HL_SUB – Unidade Hidrolitológica – “Granular (Gr); Fraturada (Fr); Cárstica (K); Não se aplica”;

iii. E_INT - Espessura do Intemperismo – “Alta (>30 m); Média (5 - 30 m); Baixa (1 - 5 m); Muito Baixa (<1 m); Inexistente; Sem Informação”;

iv. GRAU_FRAT – Grau de Fraturamento – “Alto; Médio; Baixo; Inexistente; Não se aplica; Sem informação”;

v. Q_HE_AFL e Q_HE_SUB - Vazão1 – “ ≥ 100 ; $50 \leq Q < 100$; $25 \leq Q < 50$; $10 \leq Q < 25$; $1 \leq Q < 10$; < 1,0; Não se aplica”;

vi. Qs_HE_AFL e Qs_HE_SUB – Vazão – “ $\geq 4,0$; $2,0 \leq Q/s < 4,0$; $1,0 \leq Q/s < 2,0$; $0,4 \leq Q/s < 1,0$; $0,04 \leq Q/s < 0,4$; <0,04; Não se aplica”;

vii. T_HE_AFL e T_HE_SUB – Transmissividade – “ $\geq E-2$; $E-3 \leq T < E-2$; $E-4 \leq T < E-3$; $E-5 \leq T < E-4$; $E-6 \leq T < E-5$; <E-6; Não se aplica”;

viii. K_HE_AFL e K_HE_SUB – Condutividade – “ $> E-4$; $E-5 \leq K < E-4$; $E-6 \leq K < E-5$; $E-7 \leq K < E-6$; $E-8 \leq K < E-7$; <E-8; Não se aplica”;

ix. PROD_HE_AFL e PROD_HE_SUB – Produtividade – “Muito Alta; Alta; Moderada; Geralmente baixa, porém localmente moderada; Geralmente muito baixa, porém localmente baixa; Pouco Produtiva ou Não Aquífera; Não se aplica”;

x. CL_HE_AFL e CL_HE_SUB – Classe – “(1); (2); (3); (4); (5); (6); Não se aplica”;

b. Atributos que possuem classificação variável

São atributos cujos valores variam bastante em um mesmo polígono e assim não oferecem condições de organização através de domínios. O preenchimento desses campos é feito de forma manual. Para minimizar os erros de preenchimentos e tentar padronizar os valores desse campo, quanto à forma de digitação, relacionamos abaixo o nome desses campos, a forma de preenchimento e um exemplo de como fazê-lo:

i. SGL_UE_AFL e SGL_UE_SUB – Sigla da Unidade - preenchimento conforme GEOBANK (ex: K1_delta_sg);

i. NOM_UE_AFL e NOM_UE_SUB – Nome da Unidade - quando for nome de formação, grupo, suíte, complexo, colocar a primeira letra de cada palavra maiúscula. Nos demais casos, apenas a primeira letra da frase em maiúscula (ex: Formação Serra Geral);

ii. L_UE_AFL e L_UE_SUB – Litologia - digitar a primeira letra da palavra que inicia o litotipo em minúscula (ex: basalto);

iii. PE_HE_AFL – Porosidade efetiva - número representado em percentual (ex: 5%);

iv. S_HE_SUB – Coeficiente de Armazenamento – valor representado em notação científica (ex: 1,0E-4);

v. U_HE_AFL e U_HE_SUB – Unidade Hidroestratigráfica - digitar a classe da unidade hidroestratigráfica entre parêntese, um espaço e a sigla da unidade estratigráfica (ex: (6) K1_delta_sg);

vi. ESTRAT – Sequência Hidroestratigráfica - digitar a classe da unidade hidroestratigráfica entre parênteses, seguida de espaço e em seguida a sigla da unidade estratigráfica; separando os conjuntos por ponto e vírgula seguida de espaço (ex: (2) C1po; (6) D3C1l; (1) D2c; (6) D2p; (1) Ssg);

vii. REPR_MAP – Representação em Mapa - digitar a U_HE_AFL, mais barra e a U_HE_SUB (ex: (4) K1_delta_sg/ (1) J3K1bt);

viii. COR_MAPA – digitar a classe da unidade entre parêntese, seguido de espaço e a sigla referente à unidade hidrolitológica (ex: (1) Gr).

7. Preenchimento dos campos de atributos no ArcMap

O preenchimento dos campos de atributos no ArcMap é feito de três formas:

a. Campos que não possuem biblioteca de domínios associadas a eles

i. Iniciar a edição no ArcMap;

ii. Selecionar o polígono a ser classificado;

iii. Abrir a janela de atributos, localizada na barra de ferramentas do editor;

iv. Clicar dentro do campo a ser preenchido e digitar conforme o padrão indicado no item 6b;

v. Salvar a edição após a finalização do preenchimento dos atributos;

- vi. Estes procedimentos encontram-se ilustrado nas Figuras 36 e 37.
- vii. Caso esteja lendo esse manual no computador, abra o link a seguir, clicando com o botão direito do mouse, para assistir ao vídeo demonstrativo: Vídeos\ Modo de Edição 01.mp4.

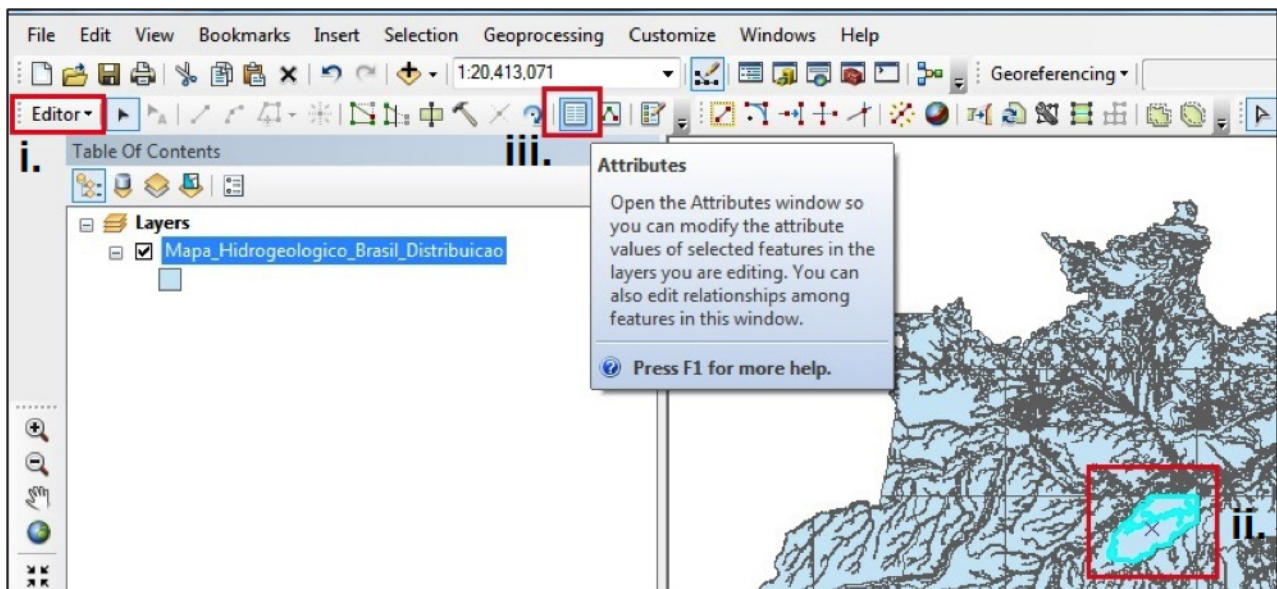
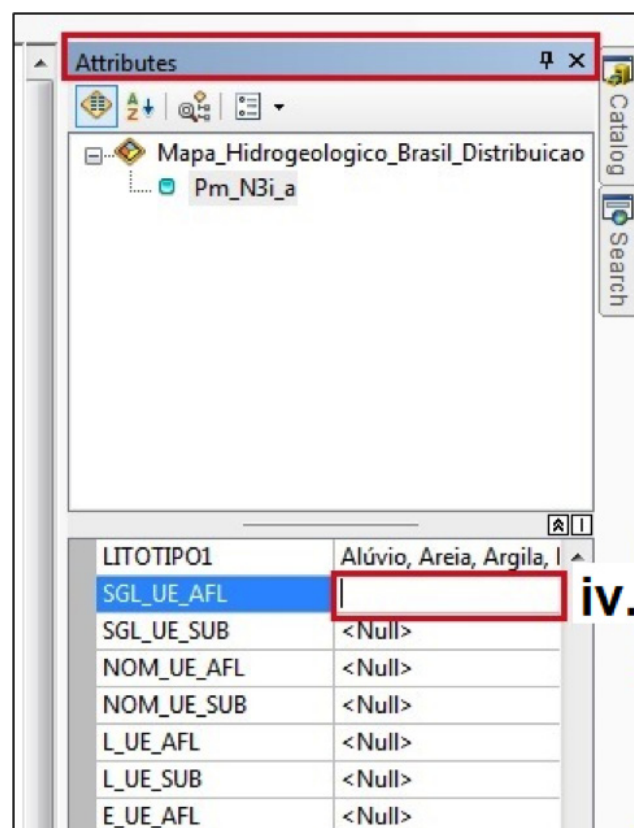


Figura 36. Procedimentos para preenchimento de campos sem biblioteca de domínios

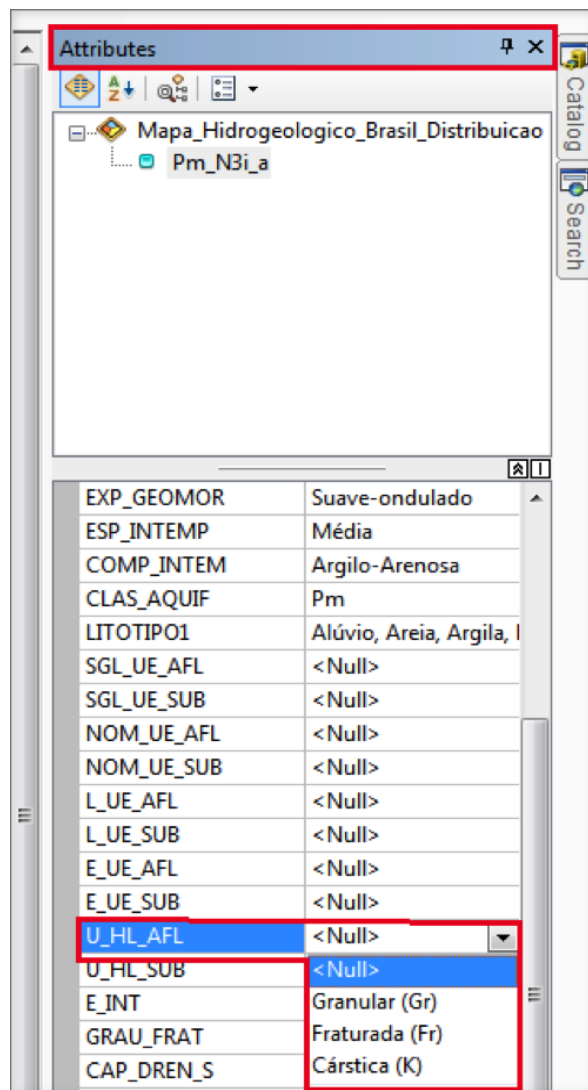
Figura 37.
Preenchimento
de campos sem
biblioteca de
atributos



b. Campos que possuem biblioteca de domínios associados - preenchendo cada polígono individualmente

- i. Iniciar a edição no ArcMap;
- ii. Selecionar o polígono a ser classificado;
- iii. Abrir a janela de atributos, localizada na barra de ferramentas do editor;
- iv. Clicar dentro do campo a ser preenchido e escolher a classificação na lista de opções suspensa que será disponibilizada (Figura 38);
- v. Salvar a edição após a finalização do preenchimento dos atributos;
- vi. Caso esteja lendo esse manual no computador, abrir o link a seguir, clicando com o botão direito do mouse, para assistir ao vídeo demonstrativo: Vídeo\Modo de Edição 02.mp4.

Figura 38.
Preenchimento
de campos com
biblioteca de
atributos.



c. Campos que possuem biblioteca de domínios associados – preenchendo um agrupamento de polígonos de mesma classificação

i. Iniciar a edição no ArcMap;

ii. Selecionar os polígonos a serem classificados;

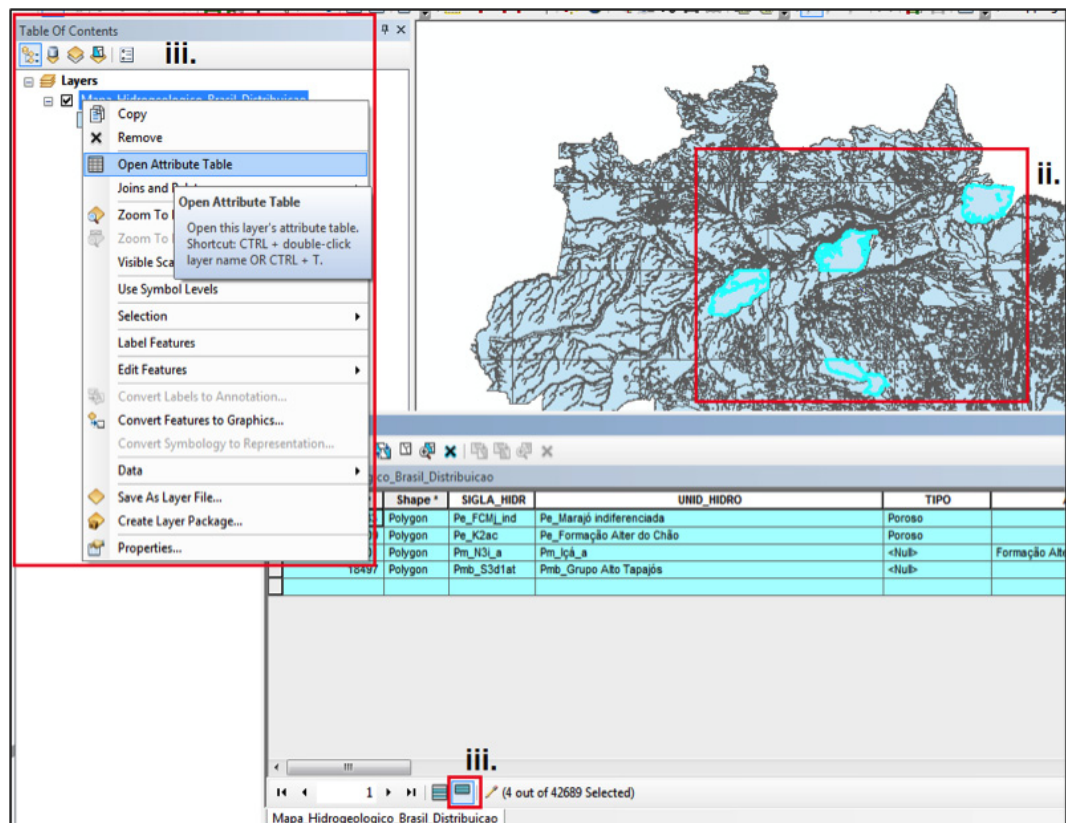
iii. Abrir a tabela de atributos da feição hidrogeologia e exibir apenas os itens selecionados (Figura 39);

iv. Clicar com o botão direito do mouse sobre o campo a ser classificado, selecionar o comando “Field Calculator” e montar a seguinte expressão: “nome do campo = código do atributo a ser preenchido” (Figura 40). Os códigos de cada atributo podem ser encontrados na Parte II desse manual. A Figura 41, “DESCRIÇÃO DOS DOMÍNIOS E SEU RELACIONAMENTO COM OS CAMPOS DE ATRIBUTOS”, mostra um exemplo de como os números representam esses atributos;

v. Salvar a edição após a finalização do preenchimento dos atributos;

vi. Caso esteja lendo essa apostila no computador, abrir o link a seguir, clicando com o botão direito do mouse, para assistir ao vídeo demonstrativo: Vídeos\ Modo de Edição 03.mp4.

Figura 39.
Selecionando campos a serem preenchidos.



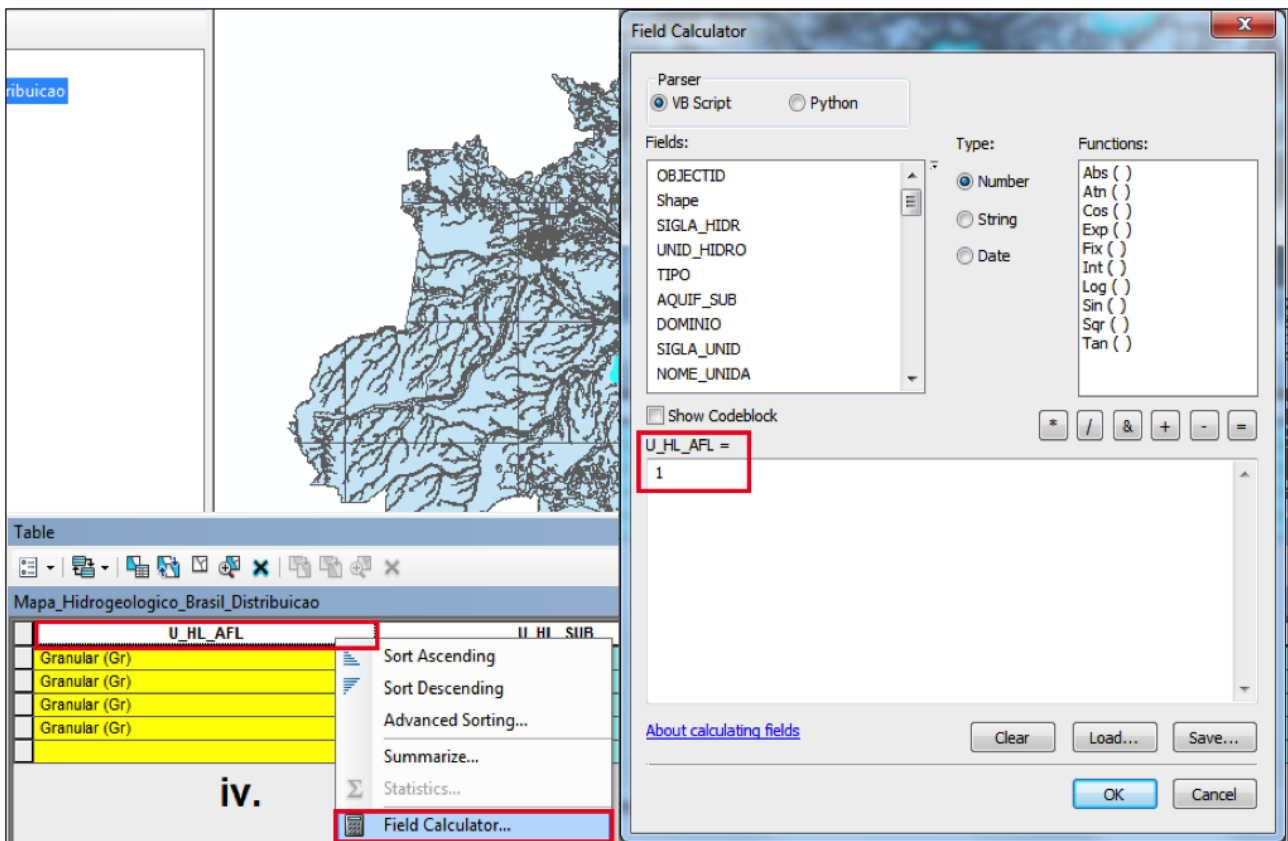


Figura 40. Aplicando o comando "Field Calculator".

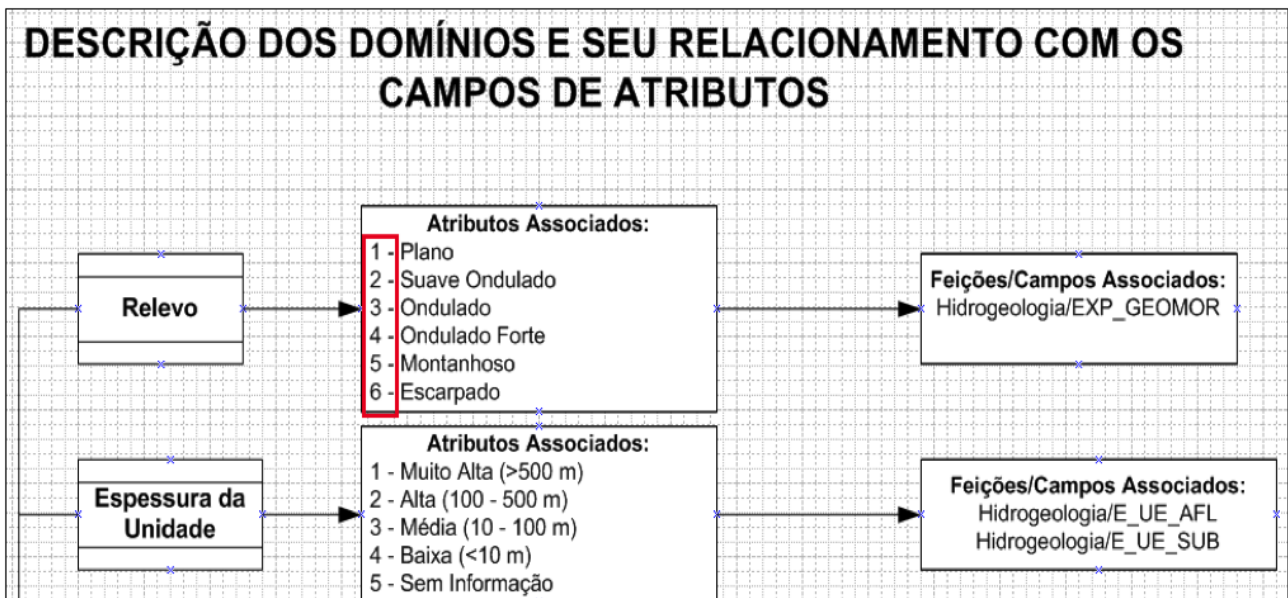


Figura 41. Localização dos Códigos dos Domínios.

No Anexo I desse manual se mostra o esquema gráfico da estrutura do banco de dados espaciais. Nele é possível visualizar a estrutura de pastas, campos de atributos da feição hidrogeologia e a biblioteca de domínios com seus campos associados.

CAPÍTULO IV
PREENCHIMENTO
DOS ATRIBUTOS
DOS POLÍGONOS DE
HIDROGEOLOGIA

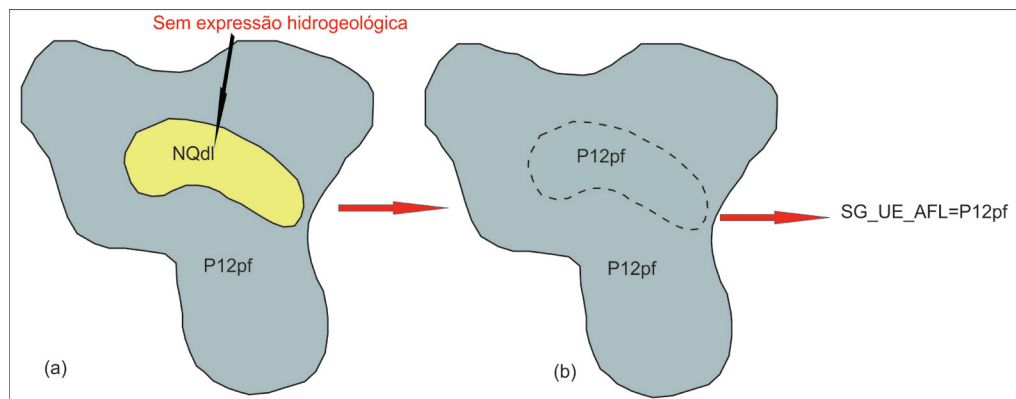
1. SGL_UE_AFL – Sigla da Unidade Estratigráfica Aflorante

Corresponde a sigla da unidade geológica aflorante ou imediatamente subjacente que pela sua geometria (espessura, extensão lateral), características litológicas e estruturais, tenham importância no estudo da hidrogeologia regional (Figuras 42 e 43).

No exemplo abaixo (Figura 42) afloram duas unidades estratigráficas (NQdl – Coberturas Detrito-Lateríticas e P12f - Formação Pedra de Fogo):

- » a área de afloramento das *Coberturas Detrito- Lateríticas (NQdl)*, Figura 42 (a), sem expressão hidrogeológica;
- » foi suprimida e substituída pela formação *Pedra de Fogo (P12pf)*, unidade subjacente imediatamente inferior, Figura 42 (b).

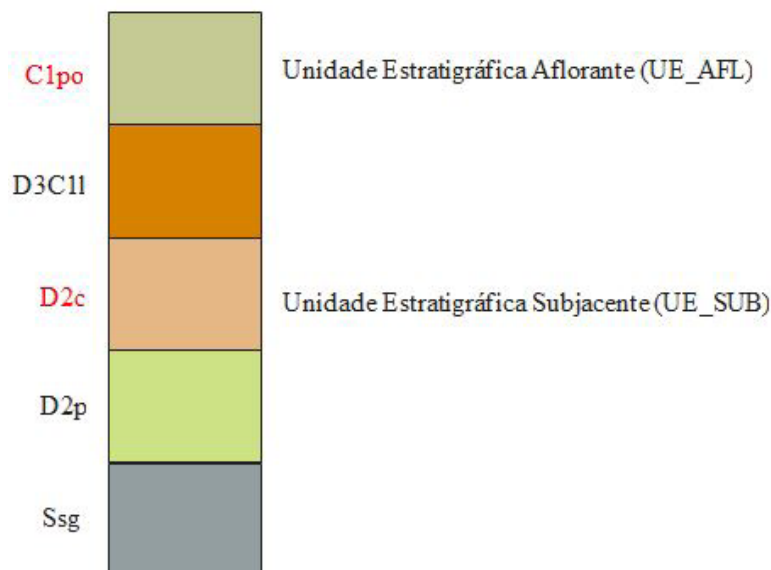
Figura 42.
Polígono de
Hidrogeologia.



2. SGL_UE_SUB – Sigla da Unidade Estratigráfica Subjacente

Corresponde a unidade geológica subjacente que pela sua geometria (espessura, extensão lateral), características litológicas e estruturais, tenham importância no estudo da hidrogeologia regional e que esteja em profundidade economicamente viável. A Figura 43 exemplifica essa situação.

Figura 43. Seção
vertical de um
polígono de
hidrogeologia.

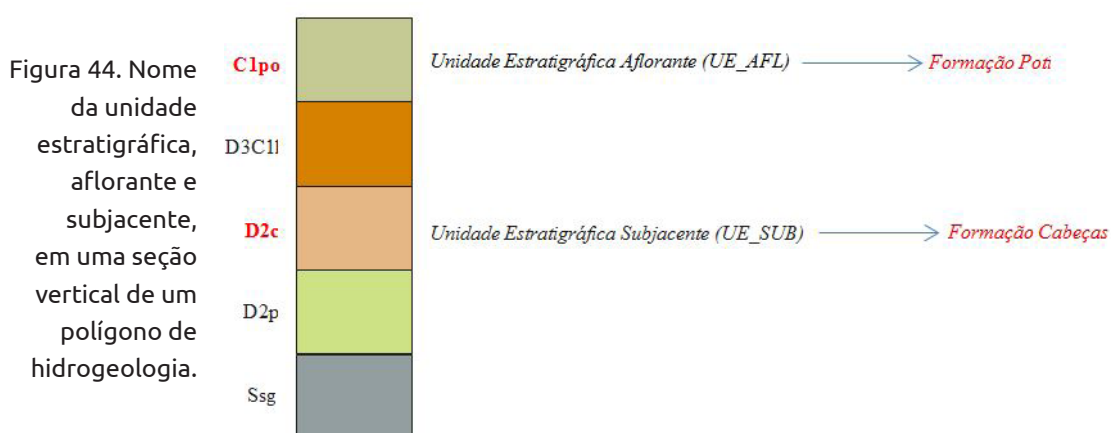


3. NOM_UE_AFL – Nome da Unidade Estratigráfica Aflorante

Corresponde ao nome da unidade geológica determinada no item 1 e definida em um *Banco de Dados de Informações Geológicas*. Na Figura 44, *Formação Poti*.

4. NOM_UE_SUB – Nome da Unidade Estratigráfica Subjacente

Corresponde ao nome da unidade geológica determinada no item 2 e definida em um *Banco de Dados de Informações Geológicas*. Na figura 44, *Formação Cabeças*.

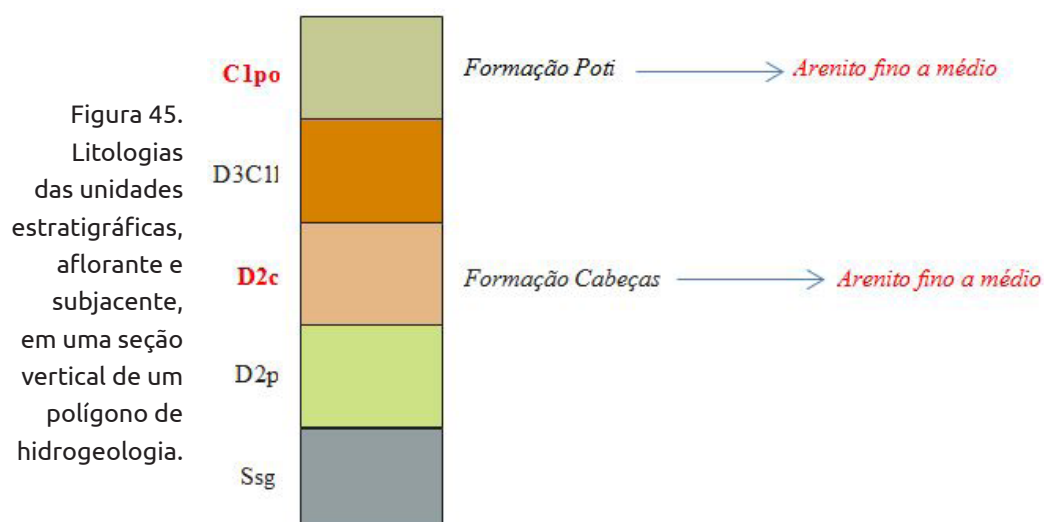


5. L_UE_AFL – Litologia da Unidade Estratigráfica Aflorante

Corresponde a descrição da litologia da formação de acordo com dados coletados no campo ou na descrição da geologia regional para área. Na Figura 45, a Formação Poti é constituída de *arenito fino a médio*.

6. L_UE_SUB – Litologia da Unidade Estratigráfica Subjacente

Corresponde a descrição da litologia da formação de acordo com dados coletados no campo e na descrição da geologia regional para a área. Na Figura 45, a Formação Cabeças é constituída de *arenito fino a médio*.



7. E_UE_AFL – Espessura da Unidade Estratigráfica Aflorante

Preencher este campo de acordo com a Tabela 8.

8. E_UE_SUB – Espessura da Unidade Estratigráfica Subjacente

Preencher este campo de acordo com a Tabela 8.

9. U_HL_AFL – Unidade Hidrolitológica Aflorante.

A biblioteca correspondente a este campo é: Granular (Gr), Fraturada (Fr) e Cárstica (K).

10. U_HL_SUB – Unidade Hidrolitológica Subjacente.

A biblioteca correspondente a este campo é: Granular (Gr), Fraturada (Fr), Cárstica (K) e Não se aplica.

Muito Alta	>500
Alta	100-500
Média	10-100
Baixa	<10
Sem informação	-
Não se aplica	

Tabela 8. Espessura da Unidade Estratigráfica (m)

11. E_INT – Espessura do Manto de Intemperismo.

A biblioteca correspondente está na Tabela 9.

Alta	> 30
Média	5 - 30
Baixa	1 - 5
Muito Baixa	< 1
Inexistente	-
Sem Informação	-

Tabela 9. Espessura do Manto de Intemperismo (m)

12. GRAU_FRAT – Grau de Fraturamento.

A biblioteca correspondente a este campo é: Alto, Médio, Baixo, Inexistente, Não se aplica e Sem informação.

13. Q_HE_AFL – Vazão da Unidade Hidroestratigráfica Aflorante

Este campo deve ser preenchido de acordo com a tabela de Struckmeir & Margat (1995) – Modificado in Diniz (2012). A biblioteca correspondente está na Tabela 10.

14. Q_HE_SUB – Vazão da Unidade Hidroestratigráfica Subjacente

Este campo deve ser preenchido de acordo com a tabela de Struckmeir & Margat (1995) – Modificado in Diniz (2012). A biblioteca correspondente está na Tabela 10.

Quando não houver Unidade Hidroestratigráfica Subjacente que tenha classe de produtividade superior ou igual à classe de produtividade da Unidade Hidroestratigráfica Aflorante, deve-se nesse caso utilizar o termo ***Não se aplica*** no preenchimento.

15. Qs_HE_AFL – Vazão Específica da Unidade Hidroestratigráfica Aflorante

Este campo deve ser preenchido de acordo com a tabela de Struckmeir & Margat (1995) – Modificado in Diniz (2012). A biblioteca correspondente está na Tabela 10. Deve-se utilizar o termo ***Não se aplica*** quando a Unidade Hidrolitológica for Fraturada (Fr) ou Cárstica (K).

16. Qs_HE_SUB – Vazão Específica da Unidade Hidroestratigráfica Subjacente

Este campo deve ser preenchido de acordo com a tabela de Struckmeir & Margat (1995) – Modificado in Diniz (2012). A biblioteca correspondente está na Tabela 10. Deve-se utilizar o termo ***Não se aplica*** quando a Unidade Hidrolitológica for Fraturada (Fr) ou Cárstica (K).

17. T_HE_AFL – Transmissividade da Unidade Hidroestratigráfica Aflorante

Este campo deve ser preenchido de acordo com a tabela de Struckmeir & Margat (1995) – Modificado in Diniz (2012). A biblioteca correspondente está na Tabela 10. Deve-se utilizar o termo ***Não se aplica*** quando a Unidade Hidrolitológica for Fraturada (Fr) ou Cárstica (K).

18. T_HE_SUB – Transmissividade da Unidade Hidroestratigráfica Subjacente

Este campo deve ser preenchido de acordo com a tabela de Struckmeir & Margat – Modificado in Diniz (2012). A biblioteca correspondente está na Tabela 10. Deve-se utilizar o termo ***Não se aplica*** quando a Unidade Hidrolitológica for Fraturada (Fr) ou Cárstica (K).

19. K_HE_AFL – Condutividade Hidráulica da Unidade Hidroestratigráfica Aflorante

Este campo deve ser preenchido de acordo com a tabela de Struckmeir & Margat (1995) – Modificado in Diniz (2012). A biblioteca correspondente está na Tabela 10. Deve-se utilizar o termo ***Não se aplica*** quando a Unidade Hidrolitológica for Fraturada (Fr) ou Cárstica (K).

20. K_HE_SUB – Condutividade Hidráulica da Unidade Hidroestratigráfica Subjacente

Este campo deve ser preenchido de acordo com a tabela de Struckmeir & Margat (1995) – Modificado in Diniz (2012). A biblioteca correspondente está na Tabela 10. Deve-se utilizar o termo ***Não se aplica*** quando a Unidade Hidrolitológica for Fraturada (Fr) ou Cárstica (K).

21. PE_HE_AFL – Porosidade Efetiva da Unidade Hidroestratigráfica Aflorante em porcentagem

Exemplo: Aquífero Barreiras – PE = 5%. Deve ser preenchido da seguinte forma: 5%. Utilizar o termo **Não se aplica** quando a Unidade Hidrolitológica for Fraturada (Fr) ou Cárstica (K).

22. S_HE_SUB – Coeficiente de Armazenamento da Unidade Hidroestratigráfica Subjacente

Este valor é obtido do teste de aquífero representativo da unidade hidroestratigráfica. Exemplo - Aquífero Beberibe – $S=1 \times 10^{-04}$. Deve ser preenchido da seguinte forma: 1,0E-04. Utilizar o termo **Não se aplica** quando a Unidade Hidrolitológica for Fraturada (Fr) ou Cárstica (K).

23. PROD_HE_AFL – Produtividade da Unidade Hidroestratigráfica Aflorante

Este campo deve ser preenchido de acordo com a tabela de Struckmeir & Margat (1995) – Modificado in Diniz (2012). A biblioteca correspondente está na Tabela 10.

24. PROD_HE_SUB – Produtividade da Unidade Hidroestratigráfica Subjacente

Este campo deve ser preenchido de acordo com a tabela de Struckmeir & Margat (1995) – Modificado in Diniz (2012). A biblioteca correspondente está na Tabela 10. Quando não houver Unidade Hidroestratigráfica Subjacente que tenha classe de produtividade superior ou igual à classe de produtividade da Unidade Hidroestratigráfica Aflorante, deve-se nesse caso utilizar o termo **Não se aplica** no preenchimento.

25. CL_HE_AFL – Classe da Unidade Hidroestratigráfica Aflorante

Este campo deve ser preenchido de acordo com a tabela de Struckmeir & Margat (1995) – Modificado in Diniz (2012). A biblioteca correspondente está na Tabela 10.

26. CL_HE_SUB – Classe da Unidade Hidroestratigráfica Subjacente

Este campo deve ser preenchido de acordo com a tabela de Struckmeir & Margat (1995) – Modificado in Diniz (2012). A biblioteca correspondente está na Tabela 10. Quando não houver Unidade Hidroestratigráfica Subjacente que tenha classe de produtividade superior ou igual à classe de produtividade da Unidade Hidroestratigráfica Aflorante, nesse caso utilizar o termo **Não se aplica** no preenchimento.

Q/s (m ³ /h/m)*	T (m ² /s)	K(m/s)	VAZÃO (m ³ /h)	PRODUTIVIDADE (**)	CLASSE
≥ 4,0	≥ 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 ≤ Q/s < 4,0	10 ⁻⁰³ ≤ T < 10 ⁻⁰²	10 ⁻⁰⁵ ≤ K < 10 ⁻⁰⁴	50 ≤ 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 ≤ T < 10 ⁻⁰³	10 ⁻⁰⁶ ≤ K < 10 ⁻⁰⁵	25 ≤ Q < 50	Moderada: Fornecimento de água para abastecimentos locais em pequenas comunidades, irrigação em áreas restritas.	(3)
0,4 ≤ Q/s < 1,0	10 ⁻⁰⁵ ≤ T < 10 ⁻⁰⁴	10 ⁻⁰⁷ ≤ K < 10 ⁻⁰⁶	10 ≤ Q < 25	Geralmente baixa, porém localmente moderada: Fornecimentos de água para suprir abastecimentos locais ou consumo privado.	(4)
0,04 ≤ Q/s < 0,4	10 ⁻⁰⁶ ≤ T < 10 ⁻⁰⁵	10 ⁻⁰⁸ ≤ K < 10 ⁻⁰⁷	1 ≤ 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 10. Caracterização Hidráulica das Classes dos Aquíferos. (de acordo com Struckmeir & Margat (1995) – Modificado in Diniz (2012)

27. U_HE_AFL – Unidade Hidroestratigráfica Aflorante

Este campo corresponde a junção da *Classe da Unidade Hidroestratigráfica Aflorante* definida no item 25 mais a *Unidade Estratigráfica* definida no item 1 (Figura 46).



Figura 46. Unidade Hidroestratigráfica Aflorante para o exemplo da Figura 43.

28. U_HE_SUB – Unidade Hidroestratigráfica Subjacente

Este campo corresponde a junção da *Classe da Unidade Hidroestratigráfica Subjacente* definida no item 26 mais a *Unidade Estratigráfica* definida no item 2 (Figura 47).

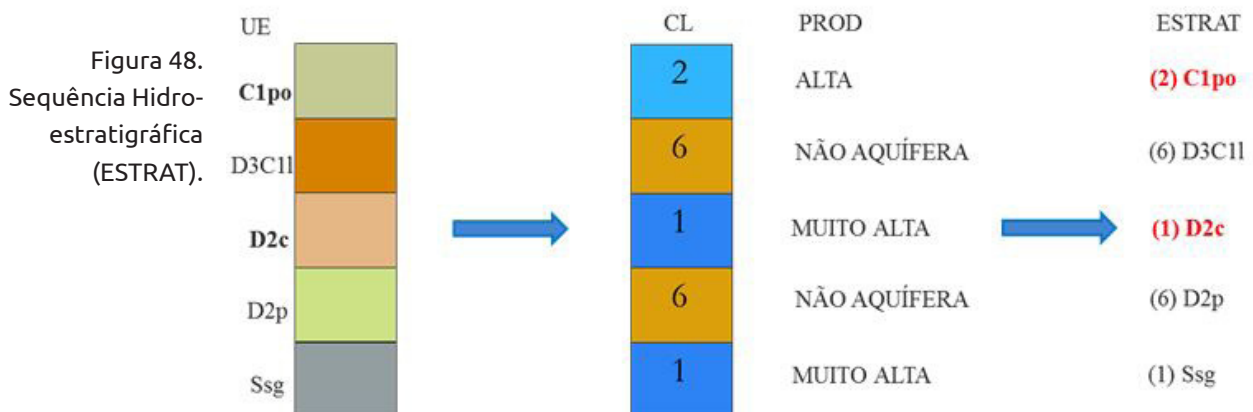


Figura 47. Unidade Hidroestratigráfica Subjacente para o exemplo da Figura 43.

Quando não houver Unidade Hidroestratigráfica Subjacente que tenha classe de produtividade superior ou igual à classe de produtividade da Unidade Hidroestratigráfica Aflorante, deve-se nesse caso utilizar o termo **Não se aplica** no preenchimento.

29. ESTRAT – Sequência Hidroestratigráfica

Corresponde a sequência hidroestratigráfica completa no polígono considerado (Figura 48). Deve ser preenchido, na tabela de atributos, separando as unidades hidroestratigráficas por ponto e vírgula: **(2) C1po**; **(6) D3C1l**; **(1) D2c**; **(6) D2p**; **(1) Ssg**.



Utilizar o termo **Não se aplica** no preenchimento deste campo quando ocorrer apenas a unidade hidroestratigráfica aflorante.

30. REPR_MAP – Representação em Mapa.

Corresponde a representação da *Unidade Hidroestratigráfica Aflorante (U_HE_AFL)* e a *Unidade Hidroestratigráfica Subjacente (U_HE_SUB)* em mapa.

Exemplo da Figura 48.

(2) C1po
(1) D2c

31. COR MAPA

Representa a cor da unidade hidroestratigráfica de acordo com a *Classe de Produtividade (CL)* e a *Unidade Hidrolitológica (Granular-Gr, Fraturado-Fr, Cárstico-K)*.

A Style Cartografia Hidrogeológica Brasil define o RGB para cada Unidade Hidroestratigráfica. A Tabela 11 resume os atributos e a Figura 49 mostra a feição das cores na style.

(CL) U_HL	RGB	(CL) U_HL	RGB	(CL) U_HL	RGB
(1) Gr	112, 148, 169	(1) Fr	0, 115, 76	(1) K	0, 115, 76
(2) Gr	130, 173, 207	(2) Fr	0, 168, 132	(2) K	0, 168, 132
(3) Gr	173, 208, 247	(3) Fr	96, 204, 0	(3) K	96, 204, 0
(4) Gr	195, 229, 247	(4) Fr	152, 230, 85	(4) K	152, 230, 85
(5) Gr	224, 244, 255	(5) Fr	224, 255, 171	(5) K	224, 255, 171
(6) Gr	168, 112, 0	(6) Fr	168, 112, 0	(6) K	168, 112, 0

Tabela 11. Cor do Mapa (RGB das Classes das Unidades Hidrolitológicas).

Figura 49. Biblioteca de Cores de Acordo com a Produtividade dos Aquíferos.



CAPÍTULO V

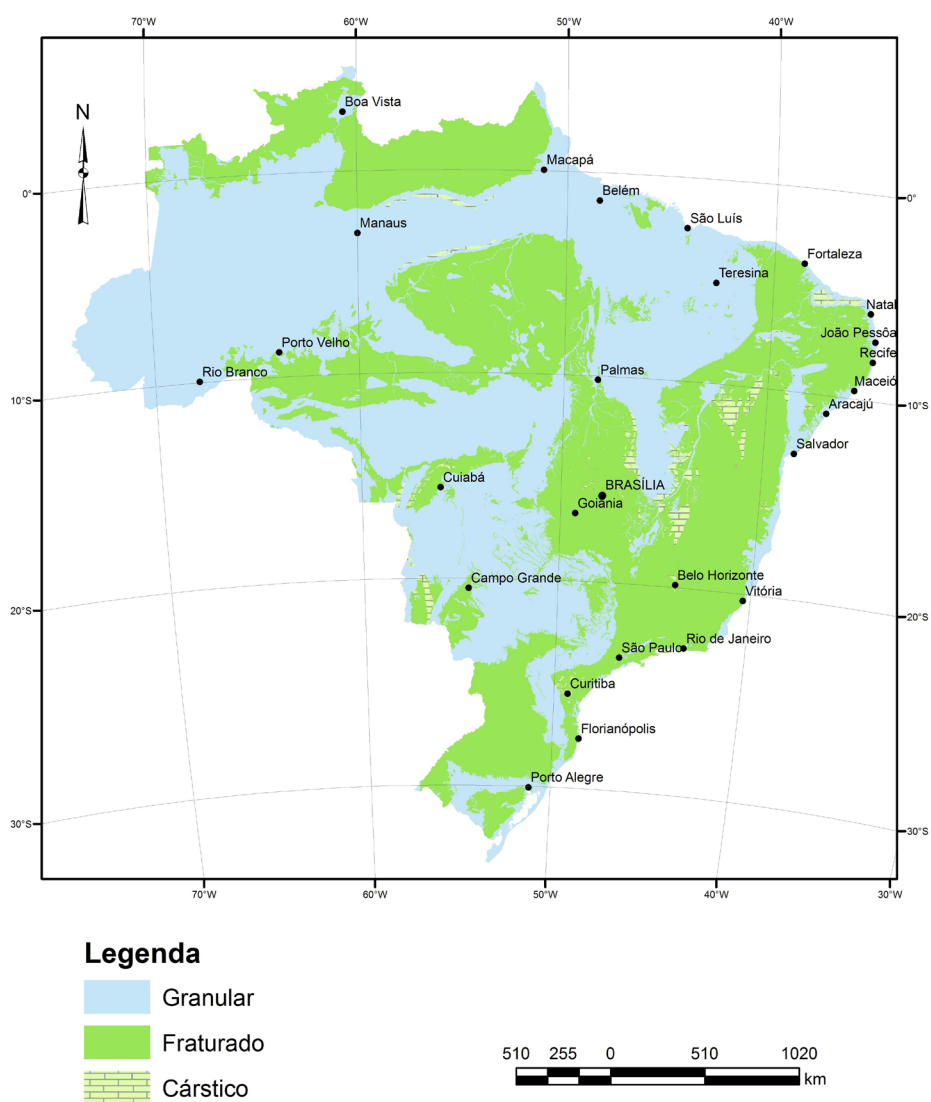
ENCARTES – PRINCIPAIS CARTOGRAMAS

Foram gerados vários mapas de encarte de apoio ao mapa principal. Os principais são:

1. UNIDADES HIDROLITOLÓGICAS

Unidades Hidrolitológicas ou Domínios Hidrogeológicos, consistem no agrupamento de unidades geológicas que armazenam e transmitem águas subterrâneas de forma semelhante, conforme mostrado na figura 50, onde se veem essas unidades conforme representadas em cartograma do no Mapa Hidrogeológico do Brasil.

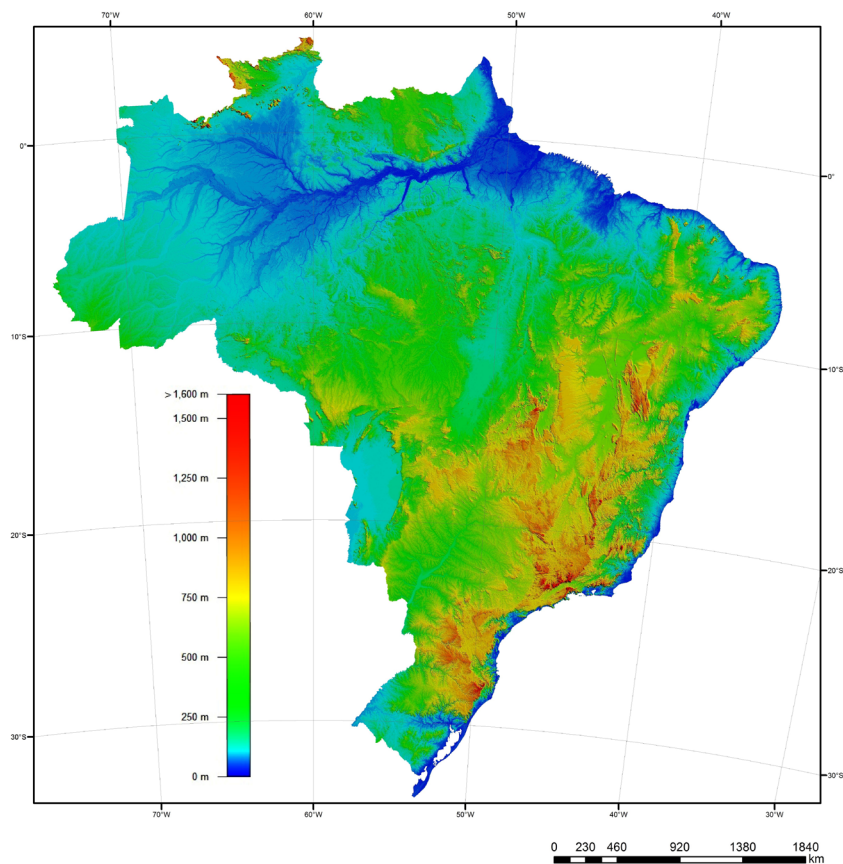
Figura 50. Mapa de Hidrolitologias para o Brasil.



2. HIPSONOMETRIA

Chama-se Hipsonometria a representação da variação de altitudes de uma região através de cores, utilizando dados do Modelo Digital do Terreno (MDT). O sistema de graduação das cores vai das baixas altitudes (azul) até altas altitudes do relevo (vermelho), como mostrado na figura 51.

Figura 51.
Hipsometria da
Área do Brasil.



3. BALANÇO HÍDRICO E CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO DOS SOLOS

Uma vez que se disponha de mapas de solos em determinadas áreas, com estimativas de sua capacidade de infiltração, se pode, a partir da realização de um balanço hídrico e a determinação do respectivo excedente de água disponível para infiltração subterrânea, realizar estimativas qualitativas da recarga dos aquíferos. Em áreas onde não se dispõe de informações hidrogeológicas mais detalhadas, esses dados podem se constituir em importantes ferramentas para estimar as produtividades aquíferas locais. Na tabela 12 se mostra os intervalos de valores dos excedentes hídricos utilizados em nossos trabalhos, enquanto que a tabela 13 mostra uma estimativa das capacidades médias de infiltração dos tipos de solos mais comuns no Brasil.

A figura 52 mostra um exemplo da aplicação desta metodologia para a Amazônia Legal do Brasil.

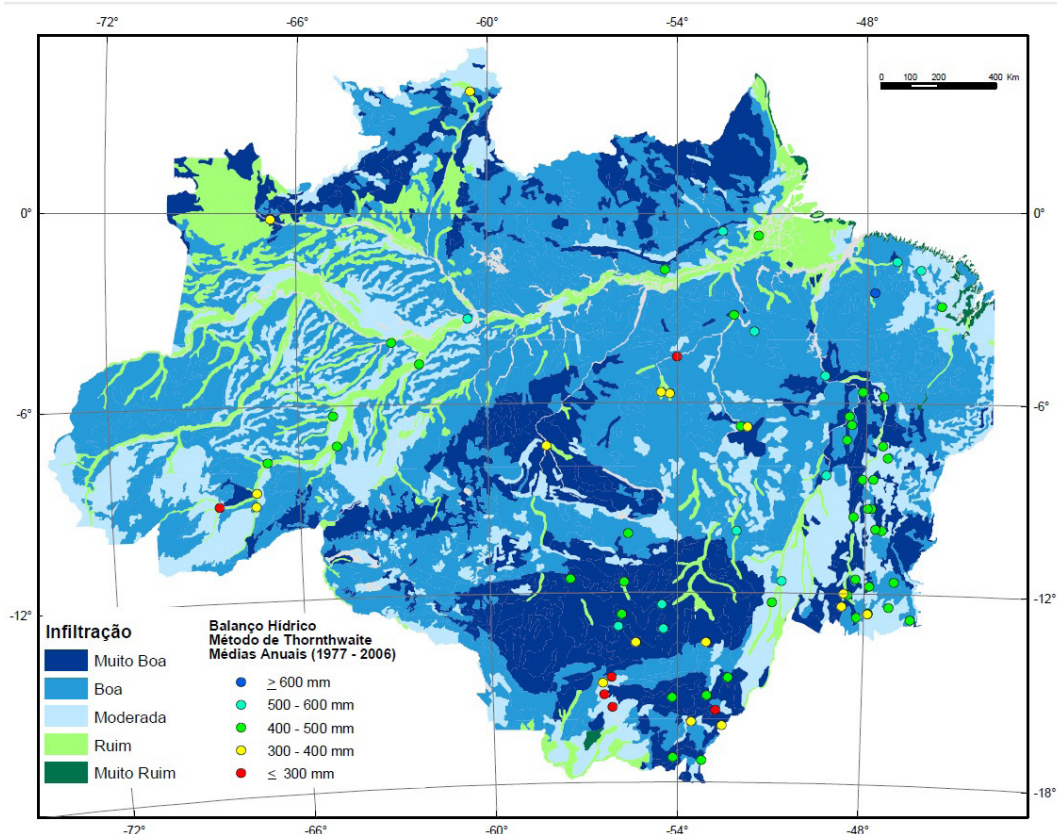
EH (mm)
≤ ZERO
0 < EH < 100
100 ≤ EH < 200
200 ≤ EH < 300
300 ≤ EH < 400
400 ≤ EH < 500
500 ≤ EH < 600
≥ 600

Tabela 12. Excedente Hídrico (EH)

ORDEM	SUBORDEM	SIGLA	PROF. RELATIVA (m)	DRENAGEM INTERNA
Argissolos	Bruno-Acinzentado	PB	> 2	Boa
	Acinzentado	PAC	> 2	Moderada
	Amarelo	PA	> 2	Boa
	Vermelho	PV	> 3	Boa
	Vermelho-Amarelo	PVA	> 3	Boa
Cambissolos	Húmico	CH	< 2	Boa
	Flúvico	CY	> 3	Ruim
	Háplico	CX	< 2	Boa
Chernossolos	Rêndzico	MD	< 1,5	Moderada
	Ebânico	ME	< 2	Moderada
	Argilúvico	MT	< 2	Boa
Espodosolos	Háplico	MX	< 2	Boa
	Humilúvico	EK	> 2	Ruim
	Ferrilúvico	ES	> 2	Ruim
	Ferrihumilúvico	ESK	> 2	Ruim
Gleissolos	Tiomórfico	GJ	< 2	Muito ruim
	Sálico	GZ	< 2	Muito ruim
	Melânico	GM	< 2	Ruim
	Háplico	GX	< 2	Ruim
Latossolos	Bruno	LB	> 3	Boa
	Amarelo	LA	> 3	Boa
	Vermelho	LV	> 3	Muito boa
	Vermelho-Amarelo	LVA	> 3	Muito boa
Luvissolos	Crômico	TC	< 1,5	Moderada
	Háplico	TX	< 2	Boa
Neossolos	Litólico	RL	< 1	Moderada
	Flúvico	RY	> 3	Ruim
	Regolítico	RR	< 2	Moderada
	Quartzarênico	RQ	> 2	Muito boa
Nitossolos	Bruno	NB	> 3	Muito boa
	Vermelho	NV	> 3	Muito boa
	Háplico	NX	> 3	Boa
Organossolos	Tiomórfico	OT	> 2	Muito ruim
	Fólico	OO	< 1,5	Muito ruim
	Háplico	OX	> 2	Muito ruim
Planossolos	Nátrico	SN	< 2	Muito ruim
	Háplico	SX	< 2	Ruim
Plintossolos	Pétrico	FF	> 2	Moderada
	Argilúvico	FT	> 2	Ruim
	Háplico	FX	> 2	Moderada
Vertissolos	Hidromórfico	VG	< 2	Ruim
	Ebânico	VE	< 2	Muito ruim
	Háplico	VX	< 2	Muito ruim
Afloramentos de Rocha	AR			

Tabela 13. Capacidade de Drenagem dos Solos.

Figura 52.
Balanço Hídrico e Capacidade de Infiltração dos Solos.



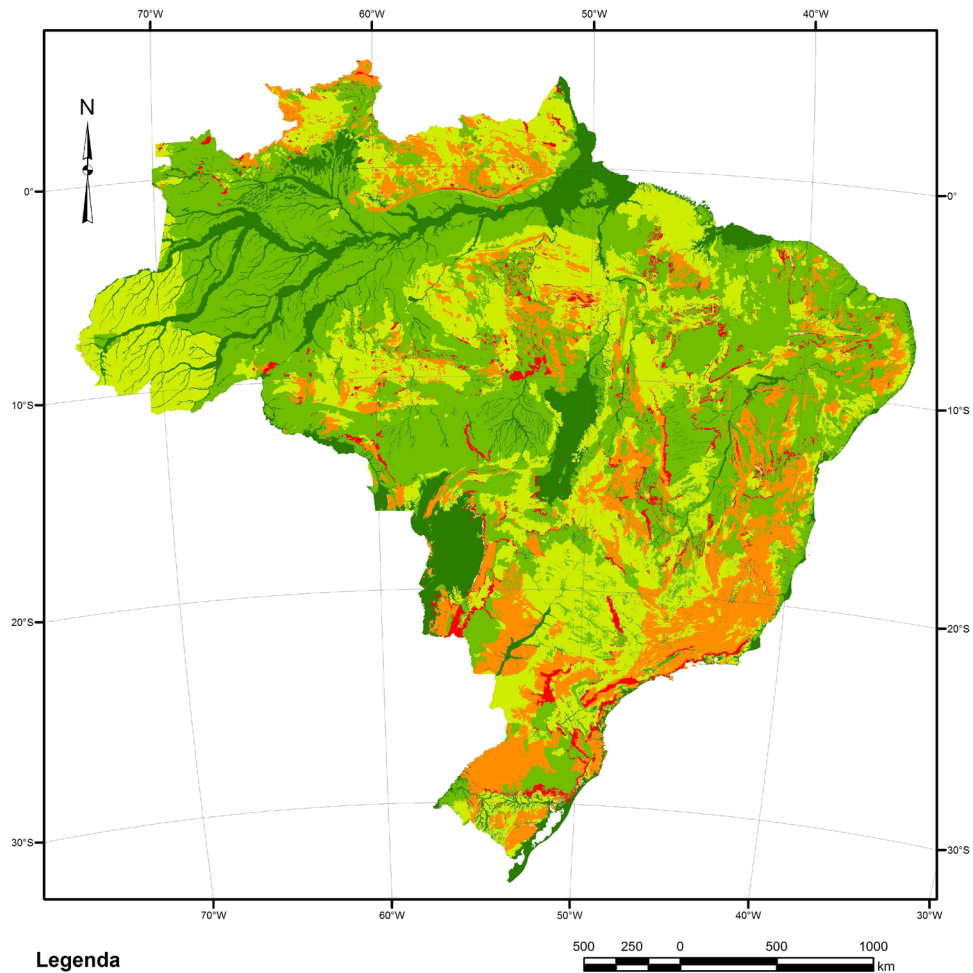
4. GEOMORFOLOGIA

Este cartograma tem como objetivo mostrar as feições de relevo da área em estudo, visando principalmente avaliar as condições de infiltração de águas. A biblioteca correspondente está na tabela 14. A figura 53 exemplifica para o Mapa Hidrogeológico do Brasil.

Classes de Relevo	Geomorfológico	(CL) U_HL	RGB	(CL) U_HL	RGB
Plano	Recife e Ilhas Oceânicas, Cordões Litorâneos e Dunas, Brejos, Planícies e Terraços Fluviais.	(1) Fr	0, 115, 76	(1) K	0, 115, 76
Suave-Ondulado	Tabuleiros, Chapadas, Superfícies Aplainadas.	(2) Fr	0, 168, 132	(2) K	0, 168, 132
Ondulado	Colinas e Morros Baixos	(3) Fr	96, 204, 0	(3) K	96, 204, 0
Ondulado Forte	Depósitos de Piemont	(4) Fr	152, 230, 85	(4) K	152, 230, 85
Montanhoso	Morros e Montanhas	(5) Fr	224, 255, 171	(5) K	224, 255, 171
Escarpado	Inselbergs, Escarpas, Degraus e Serras.	(6) Fr	168, 112, 0	(6) K	168, 112, 0

Tabela 14. Relevo e Feição Geomorfológica

Figura 53.
Tipos de Relevo
presentes no
Brasil.



Legenda

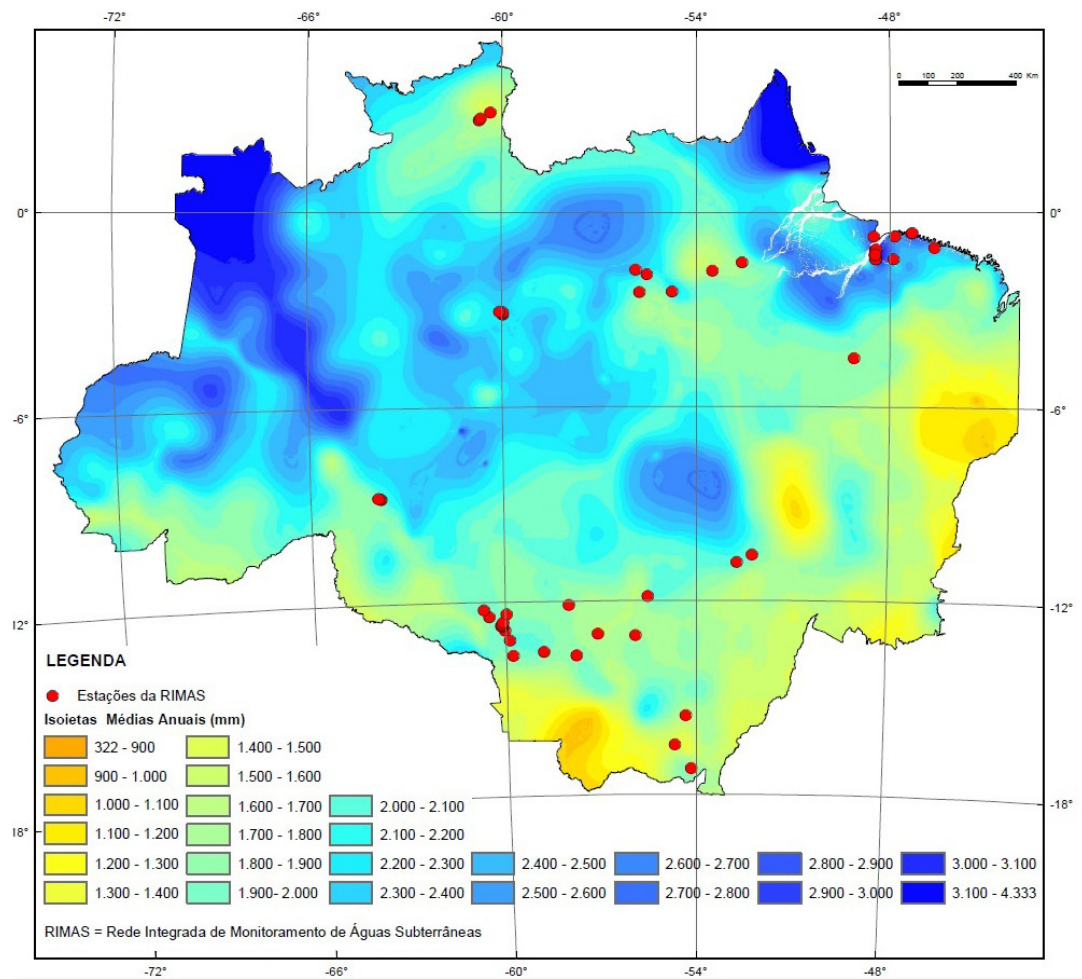
Classe de Relevo	Feição Geomorfológica
 Plano	Recife, Ilhas Oceânicas, Cordões Litorâneos, Dunas, Brejos, Planices e Terraços Fluviais
 Suave-ondulado	Tabuleiros, Chapadas e Superfícies Aplainadas
 Ondulado	Colinas e Morros Baixos
 Forte-ondulado	Depósitos de Piemont
 Montanhoso	Morros e Montanhas
 Escarpado	Inselbergs, Escarpas, Degraus e Serras

5. PLUVIOMETRIA E ESTAÇÕES DA RIMAS

Este cartograma foi elaborado com a finalidade de mostrar os índices pluviométricos médios anuais – visando estimativas de recargas subterrâneas, juntamente com as estações da RIMAS (Rede Integrada de Monitoramento de Água Subterrânea) – para medir a ocorrência ou não desta infiltração.

A figura 54 mostra um estudo de caso na área da Amazônia Legal.

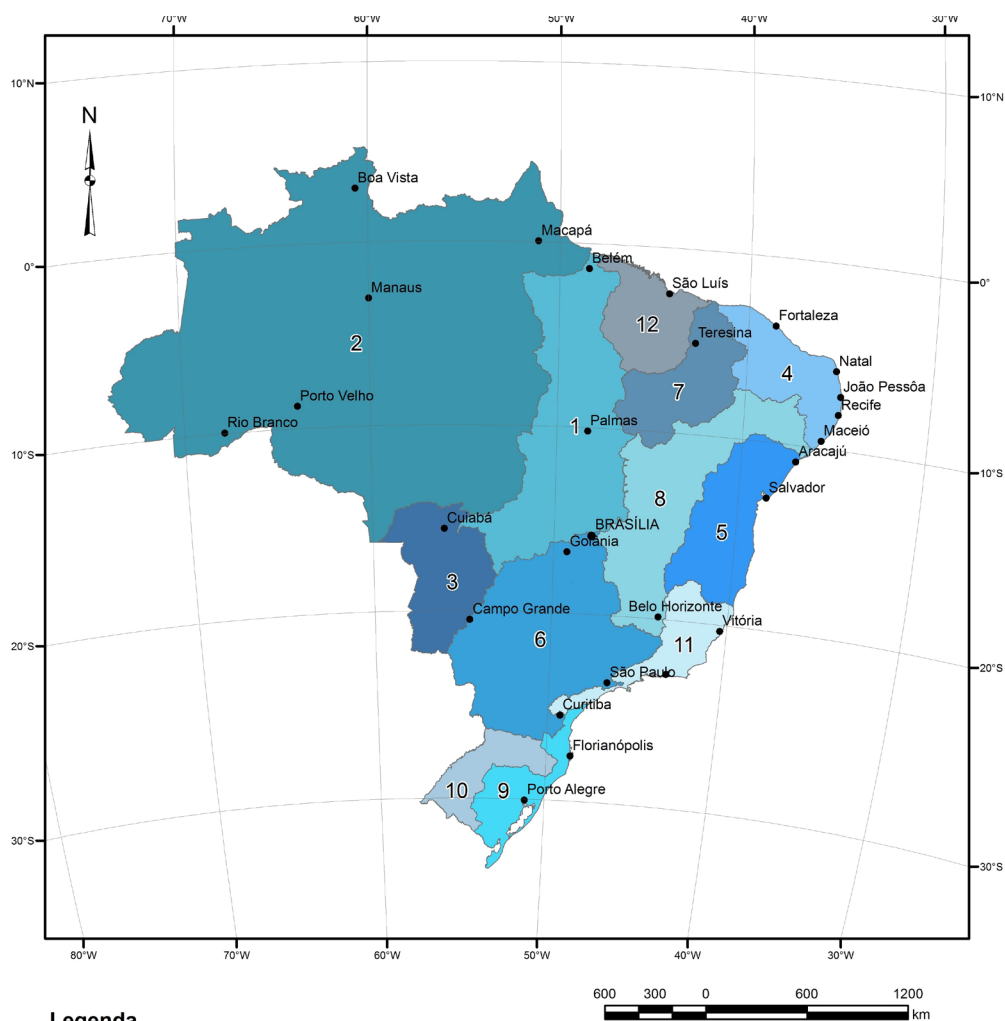
Figura 54.
Isoietas Médias Anuais (mm)
e Estações da
RIMAS para a
Amazônia Legal.



6. REGIÕES HIDROGRÁFICAS

Mostra o da Região Hidrográfica em que se encontra o polígono de hidrogeologia de acordo com a classificação definida pela Resolução 32/2003 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) e adotada pela Agência Nacional de Águas (ANA). A biblioteca corresponde as estas regiões hidrográficas é mostrada como legenda na Figura 55.

Figura 55.
Regiões
Hidrográficas
Brasileiras
(CNRH; 2003)



Legenda

1	Região Hidrográfica do Tocantins	7	Região Hidrográfica do Parnaíba
2	Região Hidrográfica Amazonica	8	Região Hidrográfica do São Francisco
3	Região Hidrográfica do Paraguai	9	Região Hidrográfica Atlântico Sul
4	Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental	10	Região Hidrográfica do Uruguai
5	Região Hidrográfica Atlântico Leste	11	Região Hidrográfica Atlântico Sudeste
6	Região Hidrográfica do Paraná	12	Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Ocidental

7. SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS

Mostra um detalhamento do encarte anterior, a ser utilizado quando houver necessidade de um maior detalhamento em determinada área. Estas subbacias estão cartografadas de acordo com a classificação da Agência Nacional de Águas - ANA (figura 56).

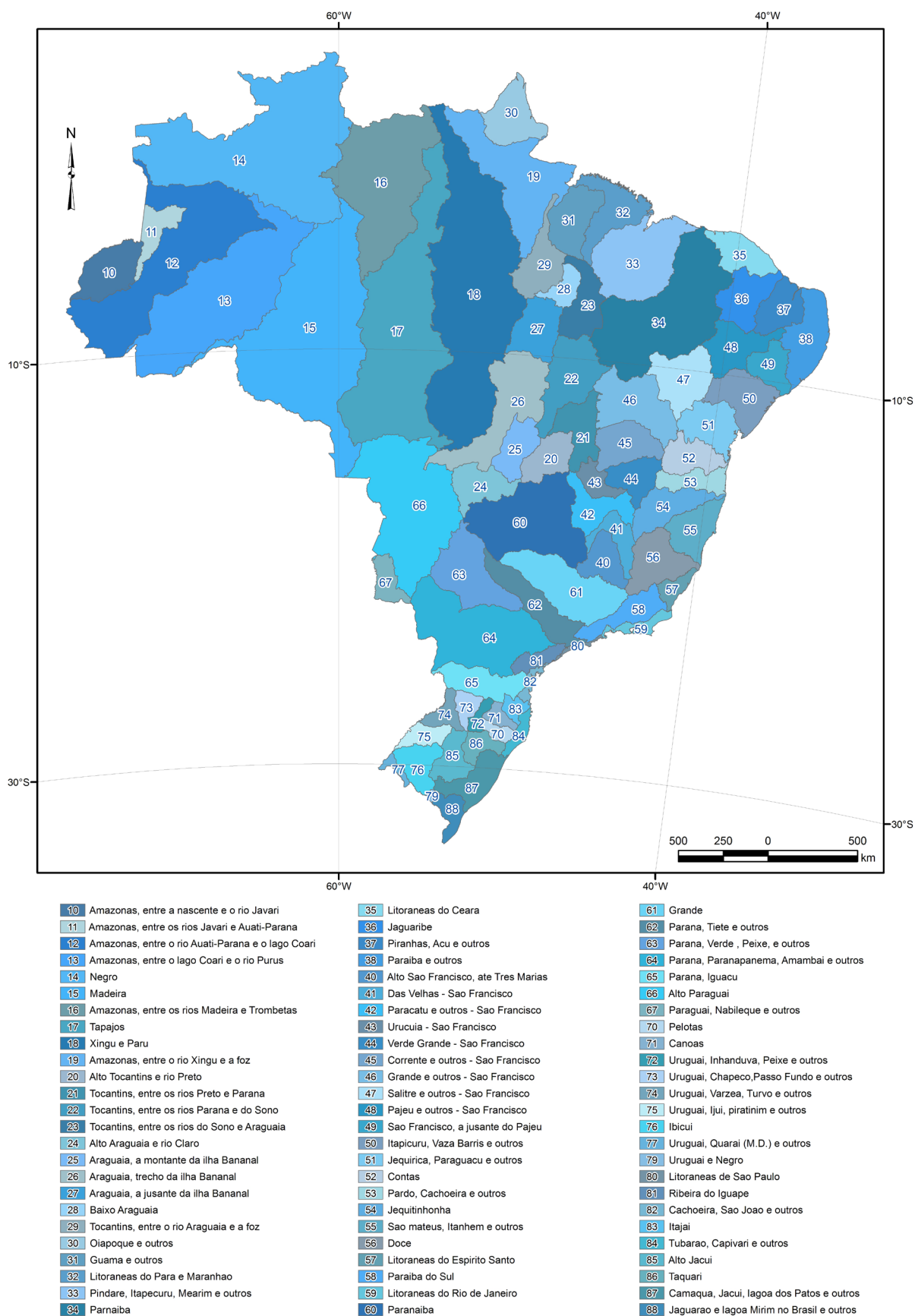


Figura 56. Sub-Bacias Hidrográficas do Brasil.

8. DENSIDADE DE POÇOS

Mostrar a densidade de poços por 100 km² para todo o país, de grande importância para estudos de gerenciamento de recursos hídricos. A figura 57 exemplifica para o Brasil.

Figura 57.
Densidade de Poços por 100 km² para Regiões Hidrográficas do Brasil.

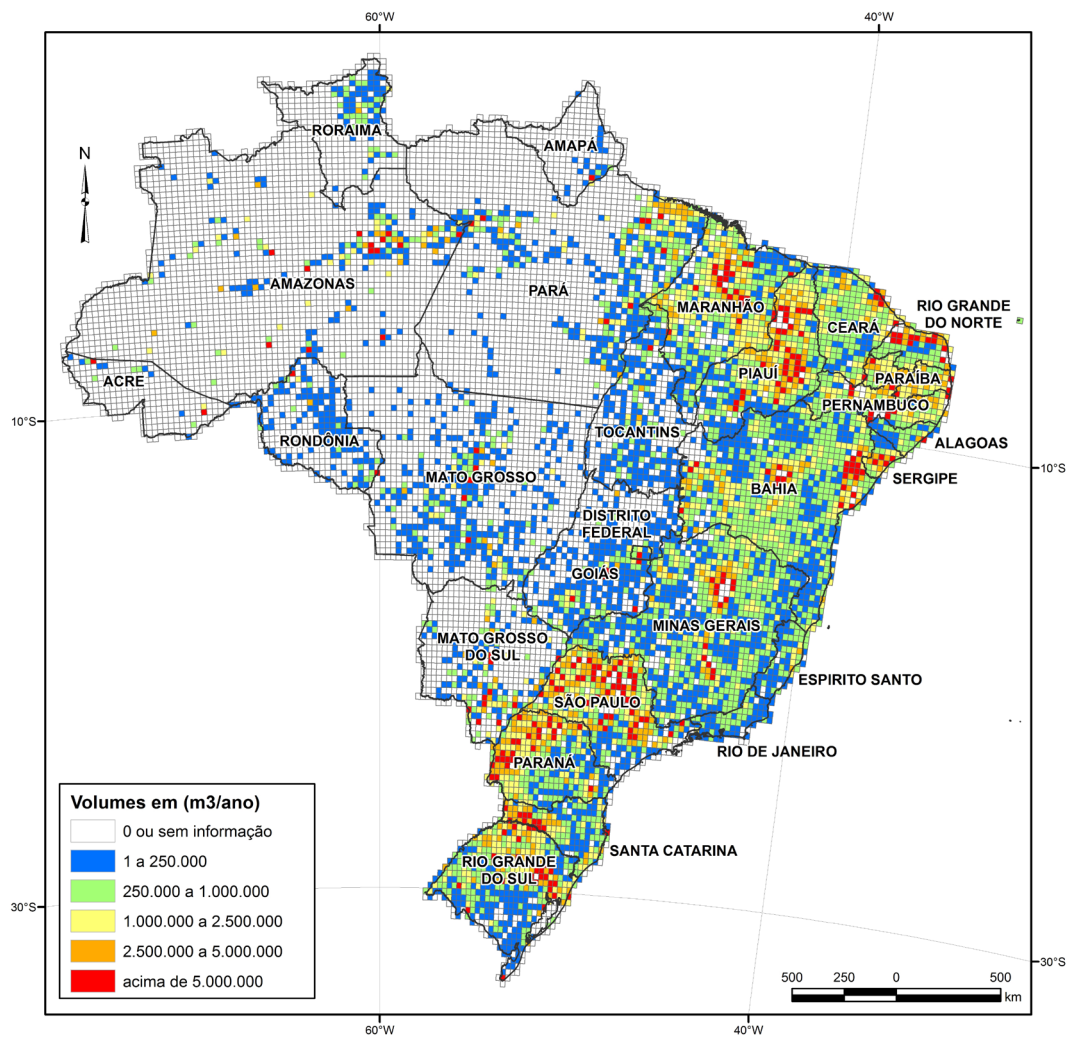


REGIÃO HIDROGRÁFICA (CNRH, 2003)	Área (km ²)	Nº de Poços/100 km ²
Hidrográfica Amazônica	3.849.300	1,0
Atlântico Sudeste	214.629	1,6
Atlântico Leste	388.160	5,1
Atlântico Nordeste Ocidental	274.301	3,6
Atlântico Nordeste Oriental	286.862	20,0
Atlântico Sul	187.522	5,5
Paraguai	363.446	1,0
Paraná	897.873	4,1
Parnaíba	333.056	9,3
São Francisco	638.576	5,8
Tocantins	918.822	1,0
Uruguai	174.533	6,4

9. VOLUMES ANUAIS EXPLOTADOS

Este cartograma mostra os volumes de água extraídos dos poços de modo global no país, sem distinção de aquíferos. Na sua elaboração, utilizaram-se dados de poços operados por companhia de saneamento, poços privados (condomínios residenciais, etc.), poços industriais ou de uso rural, conforme visto na figura 58.

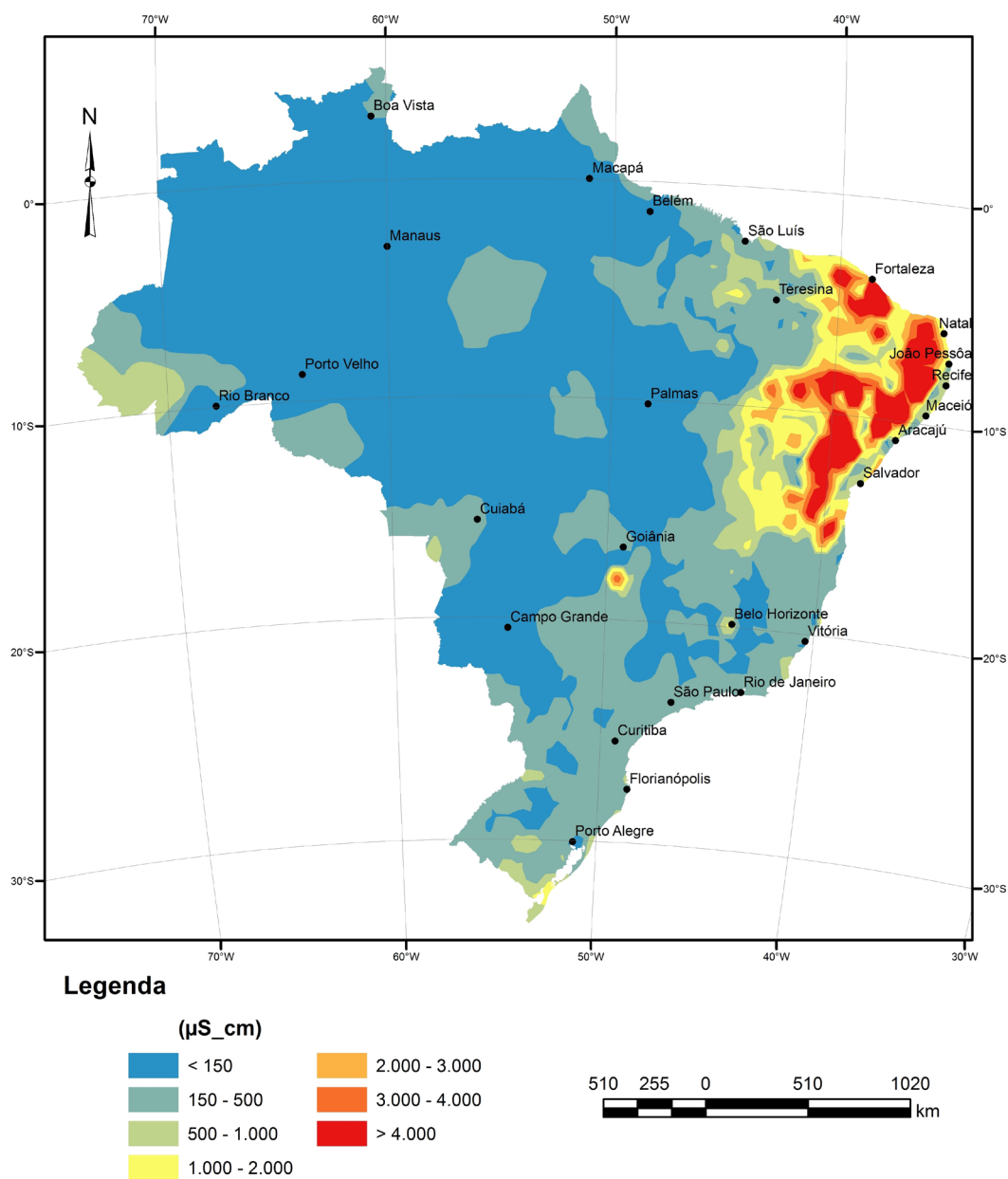
Figura 58.
Volumes Totais
Explotados
Anualmente dos
Poços no Brasil.



10. CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

A condutividade elétrica é a medida da facilidade de uma água conduzir a corrente elétrica. Foi elaborado cartograma com o objetivo mostrar a variação de condutividade elétrica em $\mu\text{S}/\text{cm}$ das águas subterrâneas utilizadas no país. Não se distinguem aquíferos, retratando-se a qualidade das águas subterrâneas em geral. A figura 59 mostra o resultado deste trabalho.

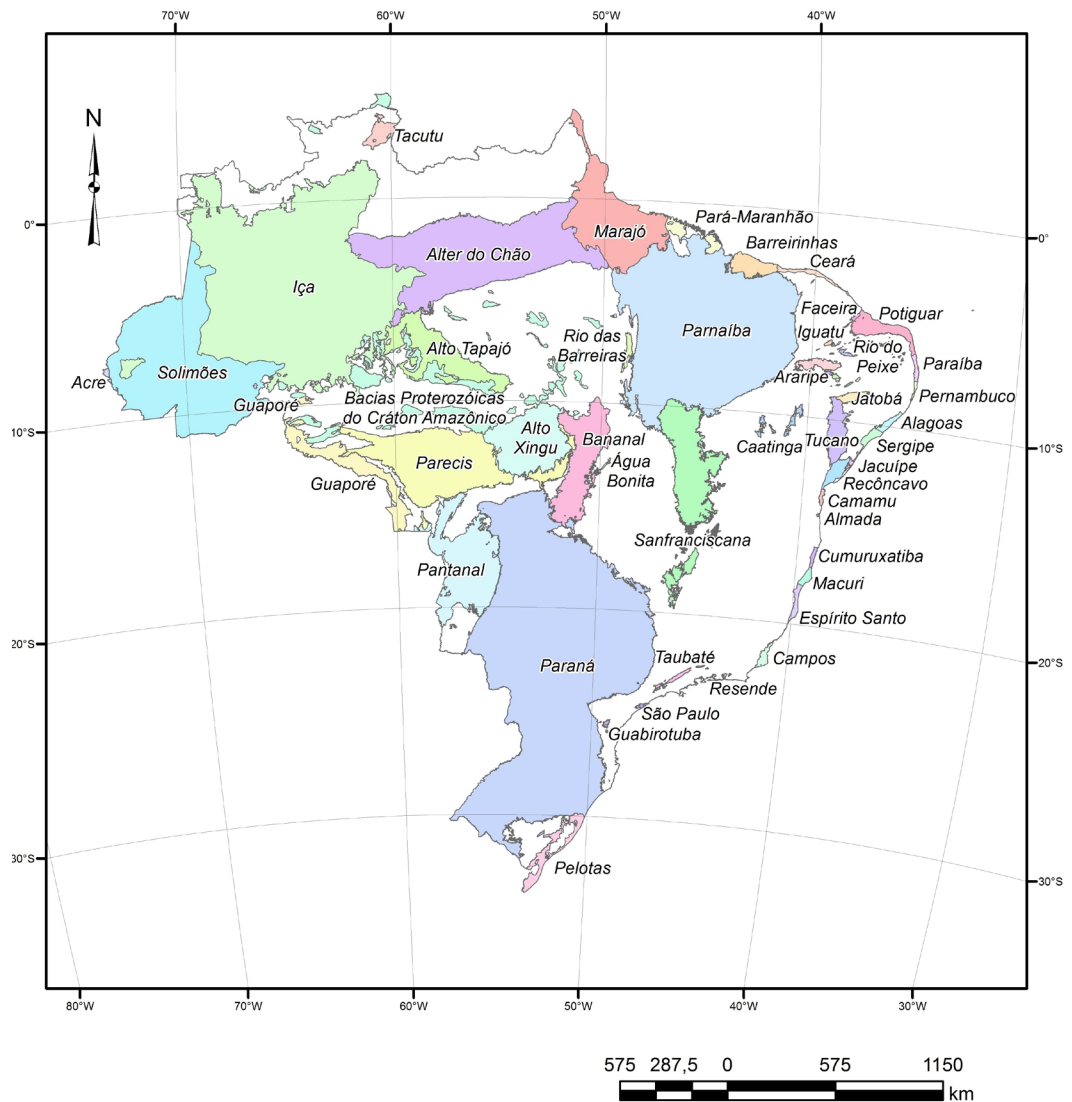
Figura 59.
Condutividade
Elétrica para os
Aquíferos do
Brasil.



11. BACIAS E COBERTURAS SEDIMENTARES

Mostra as principais ocorrências de rochas porosas no país, de grande importância para o armazenamento, transmissão e exploração de águas subterrâneas (figura 60).

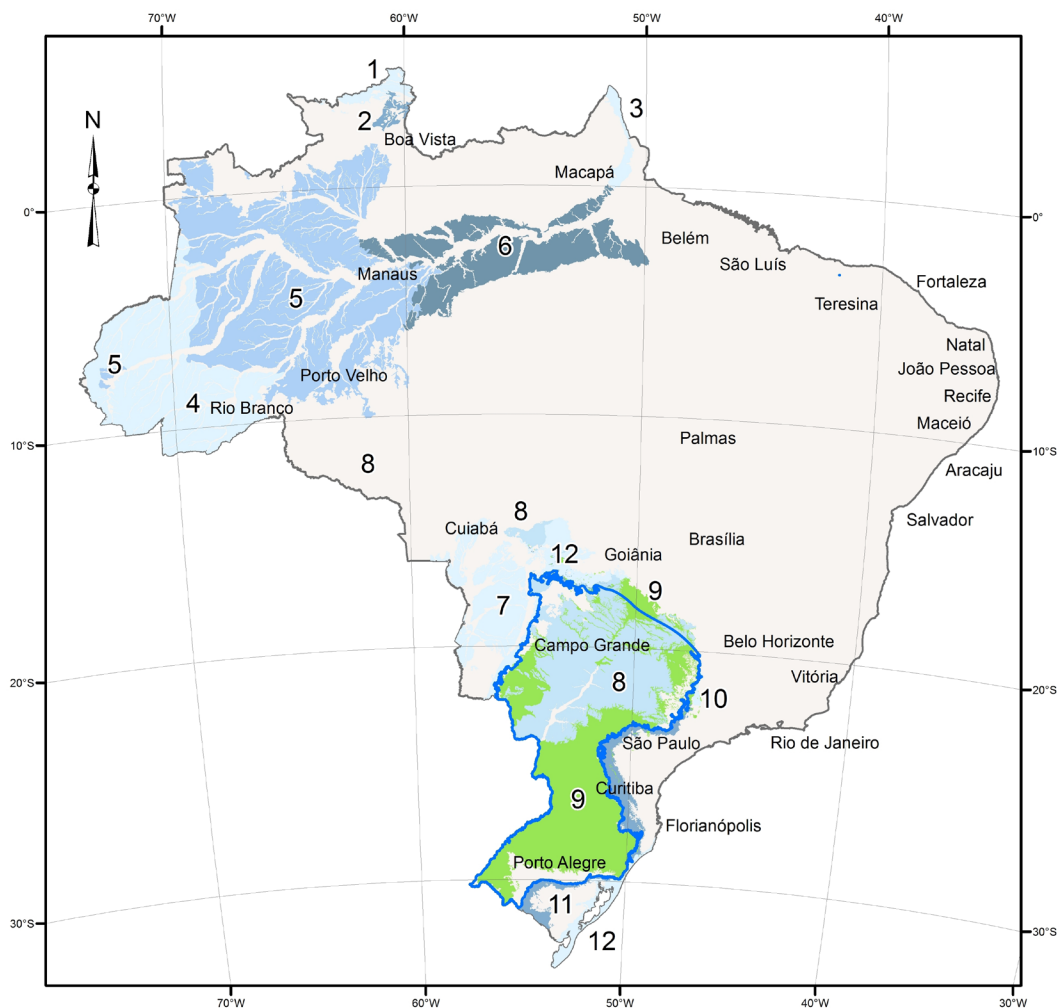
Figura 60. Bacias e Coberturas sedimentares do Brasil
















12. AQUÍFEROS TRANSFRONTEIRIÇOS

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. Assim, este cartograma mostra a distribuição e área de ocorrência dos principais aquíferos transfronteiriços do Brasil (figura 61).

Figura 61.
Principais
Aquíferos
Transfronteiriços
do Brasil



Aquíferos_transfronteiricos

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



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Sub-Bacias Hidrográficas do Brasil. 2010. *www.ana.gov.br*. Página visitada em 28/08/2014.

ANON. International legend for hydrogeological maps. London: UNESCO; IAHS; Inst. Geol. Sci, 1970. 101 p.

ANTON, D. Desarrollo de una guía metodológica para el mapeo esquemático de acuíferos utilizando información básica disponible con miras a optimizar su Gestión. Informe Final Contrato N° 1033.4 – UNESCO. 2005. Disponível em: 02 set. 2014

BALANÇO Hídrico. Disponível em: < www.lce.esalq.usp.br/aulas/lce306/aula9.pps > Acesso em: 27 ago. 2104.

BOMFIM, L. F. C. (Coordenador). Procedimentos no Tratamento Digital de Dados. CPRM, 2008 (publicação interna).

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil Subchefia para Assuntos Jurídicos. Decreto n° 89.817 de 20 de junho de 1984. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm> Acesso em 22. jan.2014

BULHÕES, C. A.; CIRILO, J. A. Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação. São Paulo: ABRH, 2001. 533p.

CLINE, M. G. Basic principles of soil classification. *Soil Science, Baltimore, n.67, p. 81-91, 1949.*

CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução n° 32/2003 - Institui a Divisão Hidrográfica Nacional. *www.cnrh.gov.br*. Página visitada em 22/01/2014.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Mapa de domínios e subdomínios hidrogeológicos do Brasil : águas subterrâneas: escala 1:2.500.000. Rio de Janeiro: CPRM, 2007. 1 CD-ROM. Sistema de Informações Geográficas - SIG. Disponível em: < <http://www.cprm.gov.br/publique/media/RecHidSub.pdf> > Acesso em 27 ago. 2014

DINIZ, J. A. Oliveira. Proposta Metodológica para Elaboração de Mapas Hidrogeológicos. Recife: CPRM, 2012. (publicação interna).

D'ALGE, J. C. L. Cartografia para geoprocessamento. Disponível em: <www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap6-cartografia.pdf> Acesso em: 22 jan. 2014

IBGE. Manual técnico de pedologia. 2a ed. Rio de Janeiro, 2007.

IBGE. Noções básicas de cartografia. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/manual_nocoas/representacao.html> Acesso em: 22 jan. 2014

LEITE, C. E. S. Cartografia de água Subterrânea. *Disponível em:* <<http://www.geocities.ws/cesol999/CartografiaAguaSubterranea>> *Acesso em:* 01 set. 2014

LOPES, L. F. As projeções cartográficas e a evolução do pensamento humano. *Disponível em:* <<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=27336>>. *Acesso em:* 27 ago. 2014.

MAGUIRE, D.; GOODCHILD, M.; RHIND, D. (eds.). Geographical Information Systems. *London: Longman, 1991.*

MENTE, A. Cartografia hidrogeológica. In: FEITOSA, F. A. C. (Coord.) et al. Hidrogeologia: Conceitos e aplicações. 3 ed . rev. e ampl. *Rio de Janeiro: CPRM; LABHID, 2008. p. 709-723. ISBN 9788574990613.*

MONTEIRO, A. B. Carta hidrogeológica do Brasil ao Milionésimo Folha SC.23 Rio São Francisco: bloco Nordeste: Sistema de Informações Geográficas - SIG. [S. l.]: CPRM, 2010. 1 CD-ROM.

NUNES, Christian. Evolução da representação cartográfica. *Disponível em:* <www.geomundo.com.br> *Acesso em:* 22 jan. 2014

REBOUÇAS, A. da C.; MANOEL FILHO, J.; BRITO NEVES, B. B. de. Inventário hidrogeológico básico do Nordeste – Programa e Normas Técnicas. *Recife: SUDENE, Divisão de Documentação, 1969. 40 p.*

SOUTHERN AFRICAN DEVELOPMENT COMMUNITY. Folheto Explicativo do Mapa e Atlas Hidrogeológico da Comunidade para o Desenvolvimento da Africa Austral (SADC). [Lusaka, Zambia]: SADC, mar. 2009. 51 p. (*Projecto de Elaboração do Mapa Hidrogeológico da SADC*).

SIGNOS, Símbolos e Significados. *Disponível em* <www.maxwell.vrac.puc-rio.br> *Acesso em:* 02 set. 2014

STRUCKMEIER, Wilhelm F.; MARGAT, Jean. Hydrogeological Maps A Guide and a Standard Legend. *Hannover: International Association of Hydrogeologists, 1995. (International contributions to hydrogeology, v. 17).*

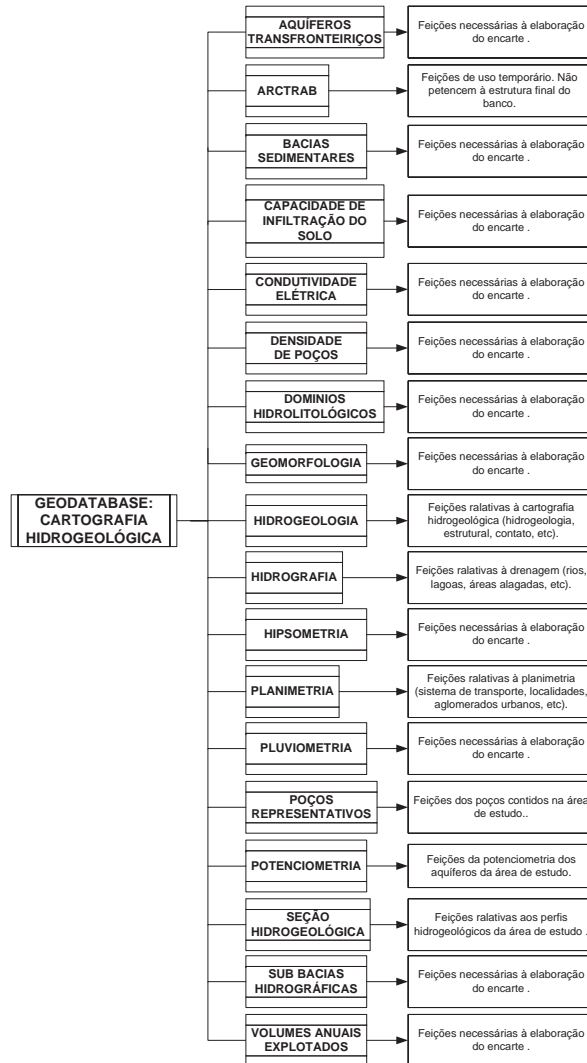
THEATRUM Orbis Terrarum. *Disponível em:* <http://pt.wikipedia.org/wiki/Theatrum_Orbis_Terrarum> *Acesso em* 01.set. 2014

UNESCO. International legend for hydrogeological maps. *Paris: UNESCO, 1983. 51*

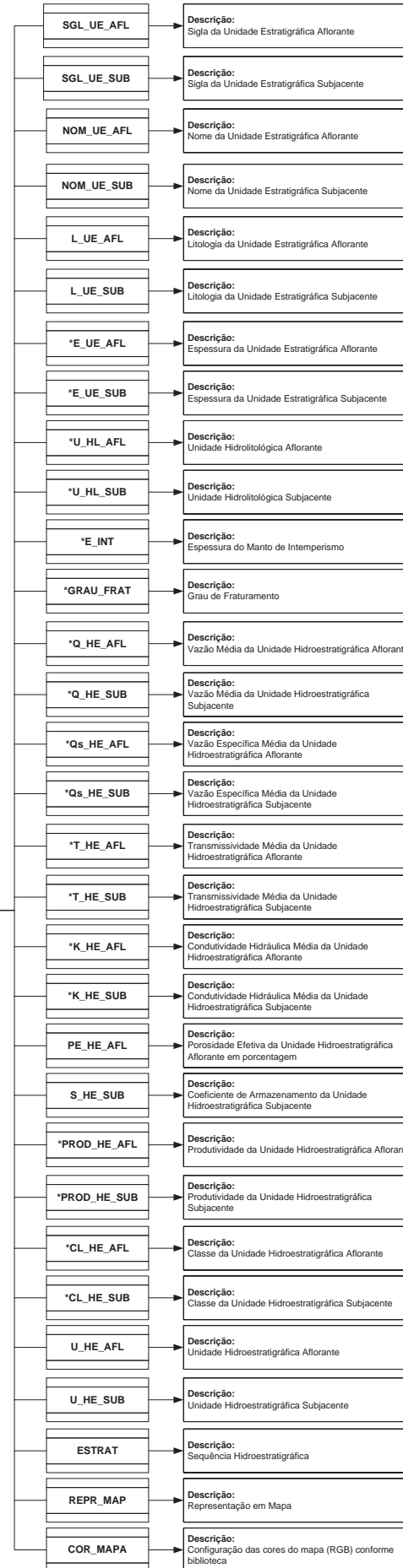
ANEXO 1

ESTRUTURA DO BANCO DE DADOS

ESTRUTURA DE PASTAS DO GEODATABASE

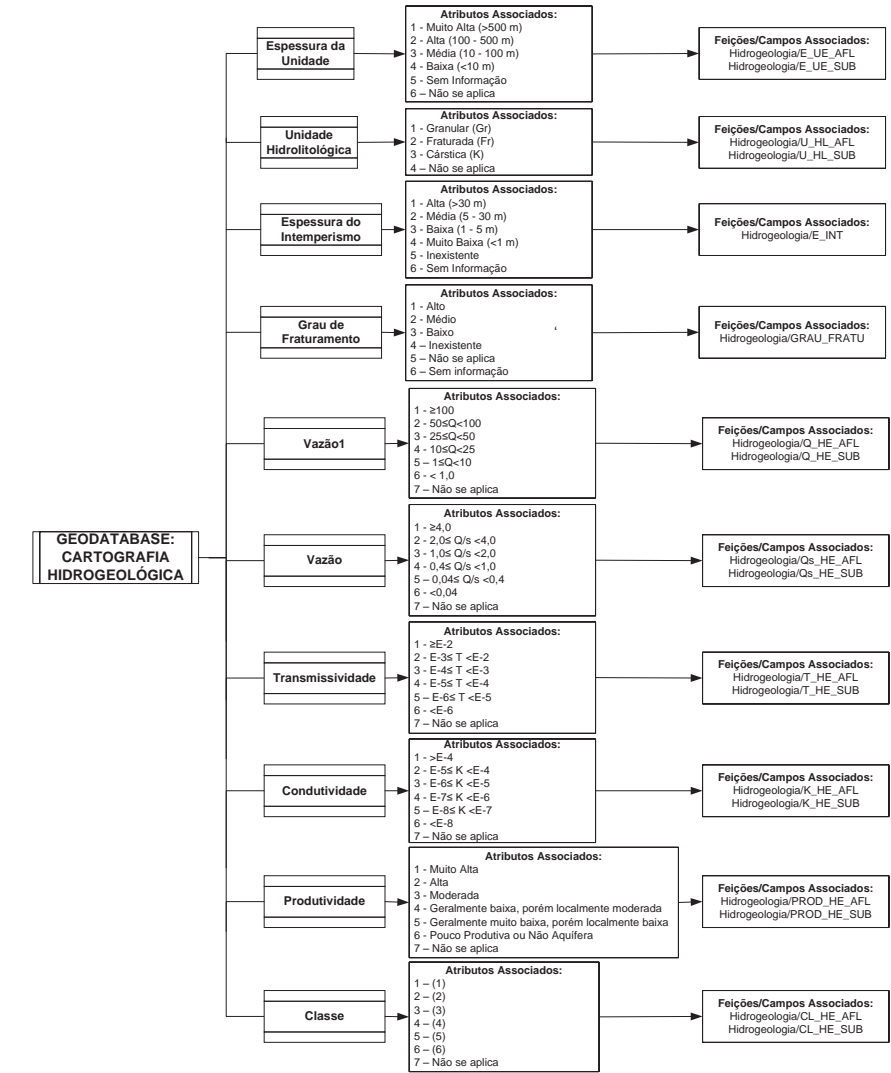


CAMPOS DE ATRIBUTOS DA FEIÇÃO HIDROGEOLOGIA



* Campos com preenchimento através de domínios

DESCRIÇÃO DOS DOMÍNIOS E SEU RELACIONAMENTO COM OS CAMPOS DE ATRIBUTOS



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



Secretaria de
**Geologia, Mineração e
Transformação Mineral**

Ministério de
Minas e Energia

Agência Brasileira do ISBN

ISBN 978-85-7499-225-9



9 788574 992259