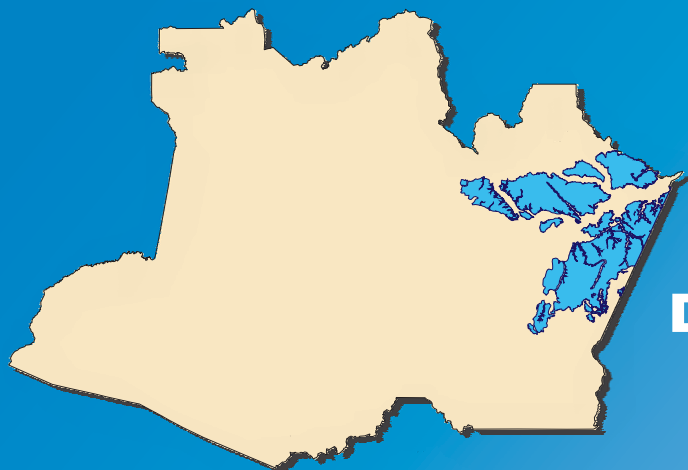


RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS LEVANTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS



REDE INTEGRADA DE MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Relatório Diagnóstico

AQUÍFERO ALTER DO CHÃO NO ESTADO DO AMAZONAS

BACIA SEDIMENTAR DO AMAZONAS

Volume 6



**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM**

**PROJETO
REDE INTEGRADA DE MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

**RELATÓRIO DIAGNÓSTICO
AQUÍFERO ALTER DO CHÃO NO
ESTADO DO AMAZONAS
BACIA SEDIMENTAR DO AMAZONAS**

VOLUME 6

RECURSOS HÍDRICOS

ÁREA: RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS

SUBÁREA: LEVANTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS



2012

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

PAC – Programa de Aceleração do Crescimento

Projeto
REDE INTEGRADA DE MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Executado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM/Serviço Geológico do Brasil.
Superintendência Regional de Belo Horizonte.

CPRM – Superintendência Regional de Belo Horizonte
Av. Brasil, 1731 – Bairro Funcionários
Belo Horizonte – MG – 30140-002
Fax: (31) 3878-0388
Tel: (31) 3878-0307
<http://www.cprm.gov.br/bibliotecavirtual/estantevirtual>
seus@cprm.gov.br

Ficha Catalográfica

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM

Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas: relatório diagnóstico Aquífero Alter do Chão no Estado do Amazonas. Bacia Sedimentar do Amazonas/Carlos José Bezerra de Aguiar, Maria Antonieta Alcântara Mourão, Coord. Belo Horizonte: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2012.

30 p, il. v.6 . Inclui mapas de aquíferos (Serie: Área de Recursos Hídricos Subterrâneos, Subárea, Levantamento de Recursos Hídricos Subterrâneos). Versão digital e impresso em papel.

Conteúdo: Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas – Inclui listagem da coleção com 16 volumes de Relatórios dos Aquíferos Sedimentares no Brasil, descritos na página 7.

1-Hidrogeologia. 2- Aquífero Alter do Chão. 3- Bacia do Amazonas. I – Título. II – Aguiar, C.J.B. de III – Mourão, M.A.A., Coord. IV - Série

CDU 556.3(81)

Direitos desta edição: CPRM – Serviço Geológico do Brasil
É permitida a reprodução desta publicação, desde que mencionada a fonte.

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM**

**PROJETO
REDE INTEGRADA DE MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

**RELATÓRIO DIAGNÓSTICO
AQUÍFERO ALTER DO CHÃO NO
ESTADO DO AMAZONAS
BACIA SEDIMENTAR DO AMAZONAS**

VOLUME 6

**RECURSOS HÍDRICOS
ÁREA: RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS
SUBÁREA: LEVANTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS**

CARLOS JOSÉ BEZERRA DE AGUIAR



2012

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

SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
Carlos Nogueira
SECRETÁRIO

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM

Manoel Barretto da Rocha Neto
DIRETOR-PRESIDENTE

Roberto Ventura Santos
DIRETOR DE GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS

Thales de Queiroz Sampaio
DIRETOR DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL

Antônio Carlos Bacelar Nunes
DIRETOR DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS E DESENVOLVIMENTO

Eduardo Santa Helena da Silva
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 Marcio Henrique Soares
CHEFE DA DIVISÃO DE MARKETING E DIVULGAÇÃO

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

ÁREA: RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS
SUBÁREA: LEVANTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS

PROJETO
REDE INTEGRADA DE MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

CRÉDITOS DE AUTORIA

Maria Antonieta Alcântara Mourão
COORDENAÇÃO EXECUTIVA

Daniele Tokunaga Genaro
Marcio Junger Ribeiro
Elvis Martins Oliveira

Thiago de Castro Tayer (estagiário)
APOIO TÉCNICO E EXECUTIVO

Manfredo Ximenes Ponte
SUREG-BE

João Batista Marcelo de Lima
GERENTE DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL

Ariolino Neres Souza
SUPERVISOR TÉCNICO

Manoel Imbiriba Junior

Homero Reis de Melo Junior (de 2009 a 2011)
COORDENADOR REGIONAL DO PROJETO

Rosilene do Socorro Sarmento de Souza
Celina Monteiro (Estagiária)
APOIO TÉCNICO

Marco Antônio de Oliveira
SUREG-MA

Daniel de Oliveira
GERENTE DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL

Carlos José Bezerra de Aguiar
COORDENADOR REGIONAL DO PROJETO

Silvia Cristina Benites Goncales
Hugo Galúcio Pereira
EQUIPE EXECUTORA

Francisco Sandoval Brito Pereira
Cláudia Vieira Teixeira
APOIO TÉCNICO

Maria Abadia Camargo
SUREG-GO

Cíntia de Lima Vilas Boas

GERENTE DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL

Tomaz Edson de Vasconcelos

COORDENADOR REGIONAL DO PROJETO - SUPERVISOR
TÉCNICO

Dario Dias Peixoto (de 2009 a 2012)
APOIO EXECUTIVO

Claudionor Francisco de Souza
APOIO TÉCNICO

Marco Antônio Fonseca
SUREG-BH

Márcio de Oliveira Cândido

GERENTE DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL

Haroldo Santos Viana
SUPERVISOR TÉCNICO

Raphael Elias Pereira

COORDENADOR REGIONAL DO PROJETO

Claudia Silvia Cerveira de Almeida
José do Espírito Santo Lima
Reynaldo Murilo Drumond Alves de Brito
APOIO EXECUTIVO

José Carlos Garcia Ferreira
SUREG-SP

Ângela Maria de Godoy Theodorovicz
GERENTE DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL

Andrea Segura Franzini
SUPERVISORA TÉCNICA

Guilherme Nogueira Santos
COORDENADOR REGIONAL DO PROJETO
David Edson Lourenço
APOIO TÉCNICO

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

Teobaldo Rodrigues de Oliveira Junior

SUREG-SA

Gustavo Carneiro da Silva

GERENTE DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL

Amilton de Castro Cardoso

SUPERVISOR TÉCNICO

Paulo Cesar Carvalho Machado Villar

COORDENADOR REGIONAL DO PROJETO

Cristovaldo Bispo dos Santos

Cristiane Neres Silva (SIAGAS)

EQUIPE EXECUTORA

Juliana Mascarenhas Costa

Rafael Daltro (Estagiário)

Bruno Shindler Sampaio Rocha (Estagiário)

APOIO TÉCNICO

José Leonardo Silva Andriotti

SUREG-PA

Marcos Alexandre de Freitas

GERENTE DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL

Marcelo Goffermann

COORDENADOR REGIONAL DO PROJETO - SUPERVISOR

TÉCNICO

Guilherme Troian

Mario Wrege (2009-2010)

EQUIPE EXECUTORA

Pedro Freitas

Bruno Francisco B. Schiehl

Luiz Alberto Costa Silva

APOIO TÉCNICO

José Wilson de C. Temóteo

SUREG-RE

Adriano da Silva Santos

GERENTE DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL

Melissa Franzen

SUPERVISORA TÉCNICO

Joao Alberto Oliveira Diniz

COORDENADOR REGIONAL DO PROJETO

Carlos Eugenio da Silveira Arraes

Guilherme Troian (de 2009 a 2012)

EQUIPE EXECUTORA

Manoel Júlio da Trindade Gomes Galvão

APOIO EXECUTIVO

Paulo Magalhães

APOIO TÉCNICO

Darlan F. Maciel

CHEFE DA RESIDÊNCIA DE FORTALEZA

Jaime Quintas dos S. Colares

ASSISTENTE DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL

Liano Silva Verissimo

José Alberto Ribeiro (de 2009 a mar/2012)

COORDENADOR REGIONAL DO PROJETO

Helena da Costa Bezerra

CHEFE DA RESIDÊNCIA DE PORTO VELHO

Francisco de Assis dos Reis Barbosa

ASSISTENTE DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL

Claudio Cesar Aguiar Cajazeiras

COORDENADOR REGIONAL DO PROJETO

Elvis Martins Oliveira

Luiz Antonio da Costa Pereira

Marcos Nóbrega II

APOIO EXECUTIVO

Wladimir Ribeiro Gomes

APOIO TÉCNICO

Francisco das Chagas Lages Correia Filho

CHEFE DA RESIDÊNCIA DE TERESINA

Carlos Antônio da Luz

ASSISTENTE DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL

Mickaelon Belchior Vasconcelos

COORDENADOR REGIONAL DO PROJETO

Ney Gonzaga de Souza

Cipriano Gomes de Oliveira

APOIO TÉCNICO

Alceu Percy Mendel Junior

Fabio Silva da Costa

Rubens Esteves Kenup

LEVANTAMENTO ALTIMÉTRICO

Maria Antonieta Alcântara Mourão

REVISÃO DO TEXTO

Homero Coelho Benevides

REVISÃO ORTOGRÁFICA E GRAMATICAL

Alessandra Morandi Pidello

Patrícia Silva Araújo Dias

DIAGRAMAÇÃO

Elizabeth de Almeida Cadete Costa

ARTE GRÁFICA DA CAPA

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

PROJETO
REDE INTEGRADA DE MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

COLEÇÃO DE RELATÓRIOS-DIAGNÓSTICO DOS AQUÍFEROS SEDIMENTARES DO BRASIL

VOLUME 1. Aquífero Missão Velha. Bacia Sedimentar do Araripe.

Robério Bôto de Aguiar
José Alberto Ribeiro
Liano Silva Veríssimo
Jaime Quintas dos Santos Colares

VOLUME 2. Aquífero Açú. Bacia Sedimentar Potiguar.

João Alberto Oliveira Diniz
Francklin de Moraes
Alexandre Luiz Souza Borba
Guilherme Casaroto Troian

VOLUME 3. Aquífero Tacaratu. Bacia Sedimentar Jatobá.

João Alberto Oliveira Diniz
Francklin de Moraes
Alexandre Luiz Souza Borba
Guilherme Casaroto Troian

VOLUME 4. Aquífero Serra Grande. Bacia Sedimentar do Parnaíba.

Mickaelon B. Vasconcelos
Carlos Antônio Da Luz

VOLUME 5. Aquífero Itapecuru no Estado do Pará. Bacia Sedimentar do Parnaíba.

Homero Reis de Melo Junior

VOLUME 6. Aquífero Alter do Chão no Estado do Amazonas. Bacia Sedimentar do Amazonas.

Carlos José Bezerra de Aguiar

VOLUME 7. Aquífero Alter do Chão no Estado do Pará. Bacia Sedimentar do Amazonas.

Homero Reis de Melo Junior

VOLUME 8. Sistema Aquífero Parecis no Estado de Rondônia. Bacia Sedimentar dos Parecis.

Cláudio Cesar de Aguiar Cajazeiras

VOLUME 9. Aquíferos Ronuro, Salto das Nuvens e Utiariti no Estado do Mato Grosso. Bacia Sedimentar dos Parecis.

Dario Dias Peixoto
Tomaz Edson Vasconcelos
Jamilo José Thomé Filho

VOLUME 10. Sistema Aquífero Urucuaia. Bacia Sedimentar Sanfranciscana.

Paulo Cesar Carvalho M. Villar

VOLUME 11. Aquíferos Furnas e Vale do Rio do Peixe nos Estados de Mato Grosso e Goiás. Bacia Sedimentar do Paraná.

Dario Dias Peixoto
Tomaz Edson Vasconcelos
Jamilo José Thomé Filho

VOLUME 12. Aquífero Furnas nos Estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná. Bacia Sedimentar do Paraná.

Maria Cecília de Medeiros Silveira

VOLUME 13. Sistema Aquífero Bauru–Caiuá no Estado de Minas Gerais. Bacia Sedimentar do Paraná.

José do Espírito Santo Lima
Cláudia Sílvia Cerveira de Almeida

VOLUME 14. Sistema Aquífero Bauru-Caiuá nos Estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná. Bacia Sedimentar do Paraná.

Andréa Segura Franzini

VOLUME 15. Sistema Aquífero Guarani nos Estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná. Bacia Sedimentar do Paraná.

Armando Teruo Takahashi

VOLUME 16. Sistema Aquífero Guarani no Estado do Rio Grande do Sul. Bacia Sedimentar do Paraná.

Mario Wrege

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
2. O AQUÍFERO ALTER DO CHÃO NA CIDADE DE MANAUS.....	19
2.1. Características Gerais.....	19
2.2. Aspectos Hidrodinâmicos.....	20
2.3. Características Químicas.....	20
2.3.1. Análises Isotópicas.....	20
2.3.2. Análise dos Riscos de Contaminação.....	20
2.4. O Uso da Água Subterrânea.....	20
2.5. Potenciometria.....	21
2.6. Reserva de Saturação.....	21
2.7. Recursos Renováveis.....	22
2.8. Potencialidades.....	22
2.9. Disponibilidades.....	22
2.10. Recursos Explotáveis.....	22
2.11. Simulação de Cenários.....	22
3. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS.....	23
3.1. Aspectos Gerais.....	23
3.2. Síntese do Balanço Hídrico do Alter do Chão na Cidade de Manaus.....	23
4. A REDE DE MONITORAMENTO PROJETADA PARA O ALTER DO CHÃO EM MANAUS.....	25
4.1. Poços de Monitoramento Implantados.....	26
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	27
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. a) Distribuição das bacias sedimentares do Brasil (em verde) e dos domínios cristalinos (fissurados - em amarelo); b) Mapa geológico simplificado do estado Amazonas (Manaus: 03° 00' 00" - 60° 00' 00").....19
- Figura 2. Mapa potenciométrico para a cidade de Manaus.....21
- Figura 3. Área de afloramento da Formação Alter do Chão e localização da Estação da Rede Hidrometeorológica Nacional, operada pela CPRM e pontos de monitoramento implantados.....26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Balanço Hídrico do Aquífero Alter do Chão.....	23
Tabela 2. Estação Pluviométrica BIF /MA - Bombeiros (proximidades da ASFRAMA).....	25
Tabela 3. Valores médios das características de poços tubulares existentes nas imediações de três poços de monitoramento perfurados no aquífero Alter do Chão.....	25
Tabela 4. Principais características dos poços de monitoramento implantados no aquífero Alter do Chão, em Manaus.....	26

RELATÓRIO DIAGNÓSTICO AQUÍFERO ALTER DO CHÃO NO ESTADO DO AMAZONAS BACIA SEDIMENTAR DO AMAZONAS

RECURSOS HÍDRICOS

ÁREA: RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS

SUBÁREA: LEVANTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS

1. INTRODUÇÃO

O Serviço Geológico do Brasil-CPRM, empresa pública vinculada ao Ministério de Minas e Energia, em consonância com suas atribuições, propôs e definiu as bases para a implantação de rede de monitoramento integrado das águas subterrâneas abrangendo os principais aquíferos do país.

A rede de monitoramento, de natureza fundamentalmente quantitativa, foi concebida tendo como principal objetivo o conhecimento mais detalhado a respeito dos aquíferos de modo a propiciar a médio e longo prazos: i) A identificação de impactos às águas subterrâneas em decorrência da exploração ou das formas de uso e ocupação dos terrenos; ii) A estimativa da disponibilidade do recurso hídrico subterrâneo; iii) A avaliação da recarga e o estabelecimento do balanço hídrico; iv) Informações do nível d'água; v) Determinação de tendências de longo termo tanto como resultado de mudanças nas condições naturais quanto derivadas de atividades antropogênicas etc.

Um dos principais aspectos do programa refere-se à proposição de um monitoramento integrado (águas subterrâneas e superficiais) em que o ambiente aquático é considerado de forma inteiramente inter-relacionável e não fracionado nos diversos componentes. Um aspecto que favorece esta integração é o fato da CPRM ser responsável pela implantação e operação de redes

hidrometeorológicas, telemétricas, de qualidade de água e sedimentométricas bem como monitoramento de níveis em açudes.

A estruturação do programa de monitoramento para cada aquífero ou local selecionado exige que seja feita uma caracterização hidrogeológica a partir da integração, análise e interpretação de dados existentes. Além disso, considerando a integração com o monitoramento hidrometeorológico são incluídos também dados relativos às estações existentes no domínio dos aquíferos enfocados além de estudos hidrológicos e climatológicos realizados na região enfocada.

A reunião e a interpretação dessas informações visam subsidiar a seleção dos locais para monitoramento bem como a avaliação da viabilidade de emprego dos dados das estações fluviométricas e pluviométricas para interpretação dos resultados do monitoramento quanto à representatividade do aquífero nas bacias hidrográficas monitoradas, densidade, localização etc.

O presente relatório apresenta a integração das informações para o aquífero Alter do Chão e constitui o estágio atual de conhecimento de suas características naturais, pressões percebidas e impactos identificados. Como resultados da análise dessas informações são apresentadas as principais demandas ao monitoramento e promovida a configuração da rede de monitoramento para o aquífero.

2. O AQUÍFERO ALTER DO CHÃO NA CIDADE DE MANAUS

2.1. Características Gerais

As grandes áreas sedimentares paleozoicas situadas na região Norte do Brasil receberam inicialmente a denominação genérica de bacia do Amazonas (Figura 1a). Esta unidade foi dividida em três bacias, denominadas Alto, Médio e Baixo Amazonas, separadas pelo arco de Purus e pelo alto de Monte Alegre, respectivamente. A cidade de Manaus está situada na porção central da bacia do Amazonas, na região anteriormente designada de bacia do médio Amazonas.

Manaus é a maior cidade da Amazônia, posicionada à margem esquerda do rio Negro, na confluência deste com o rio Solimões e ocupa uma área de aproximadamente 500 km². Todavia, o seu território municipal é de 11.408 km² e abriga uma população de quase dois milhões de habitantes. Apresenta uma fisiografia levemente ondulada, com altitudes que variam de 25 a 100 metros. As colinas são interrompidas por vales de fundo chato que atingem desníveis da ordem de 30 a 50 metros e cujo gradiente de suas encostas apresenta declividade média a forte. Abrange principalmente as bacias dos igarapés Quarenta/Educandos, Mindu/São Raimundo e parte da bacia do Tarumã. O clima é equatorial quente e úmido, segundo a classificação de Köppen, e a precipitação média da ordem de 2.300 mm/ano.

A Formação Alter do Chão ocorre, de forma aflorante, da cidade de Caapiranga (situada a aproximadamente 140 km a oeste da cidade de Manaus) até as proximidades da cidade de Belém, no estado do Pará e encoberta pela Formação Solimões (sotoposta à Formação Içá) até o extremo oeste do estado do Amazonas, estendendo-se ao Peru (Figura 1b). A unidade Alter do Chão é representada por arenitos e pelitos avermelhados,

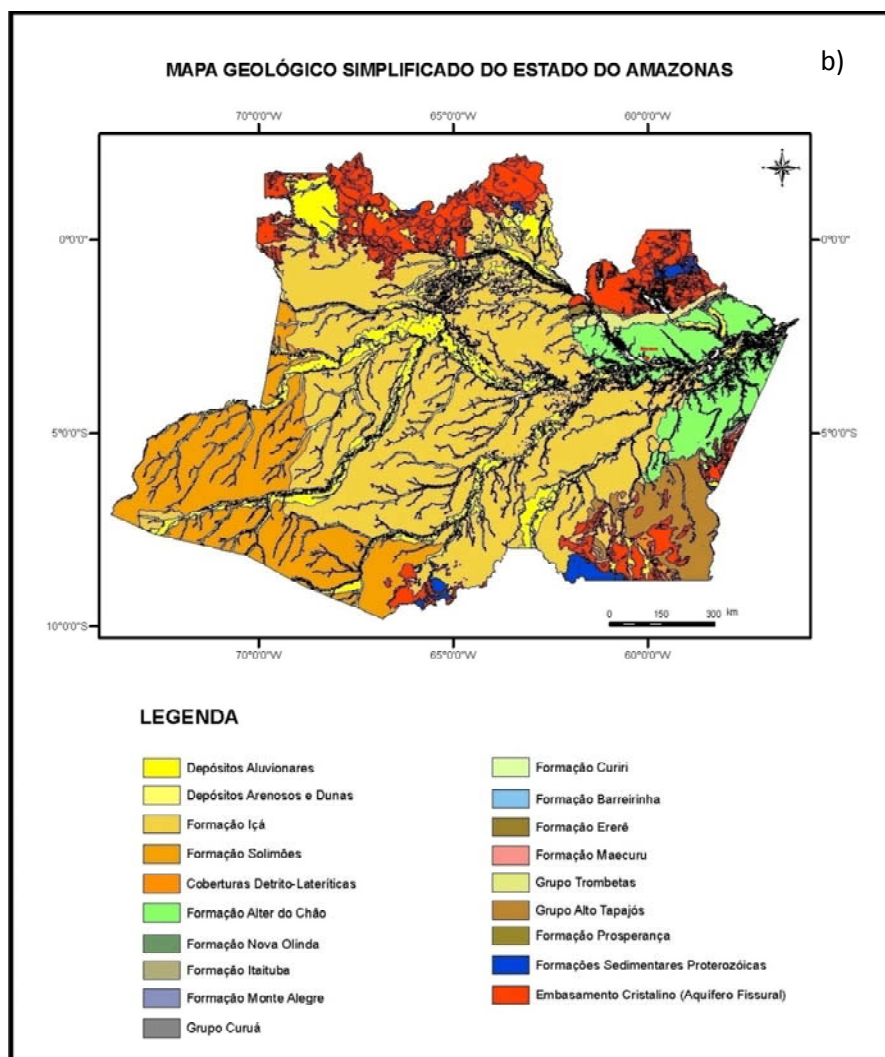
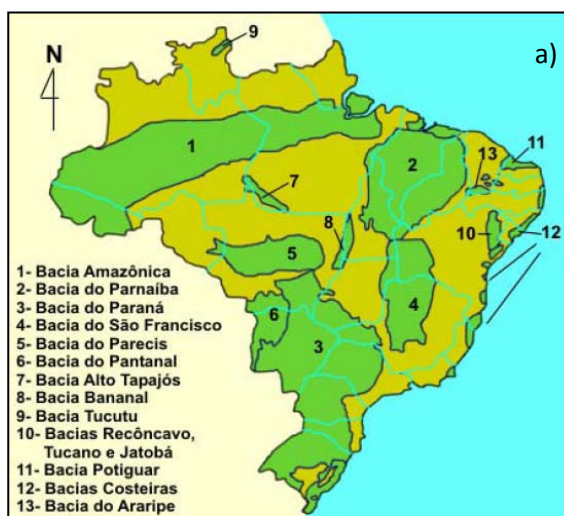


Figura 1. a) Distribuição das bacias sedimentares do Brasil (em verde) e dos domínios cristalinos (fissurados – em amarelo); b) Mapa geológico simplificado do estado Amazonas (Manaus: 03° 00' 00" – 60° 00' 00")

Fonte: ANA (2005) e CPRM (2006)

relacionados a um sistema deposicional continental do Cretáceo Superior. Aparece assentada discordantemente sobre os calcários da Formação Nova Olinda, de idade carbonífera. De acordo com Dino e Abraão (1999), a sucessão inferior é predominantemente arenosa e a superior pelítica. Representa o aquífero mais importante do estado do Amazonas, genericamente denominado de aquífero Alter do Chão.

Na área urbana de Manaus foi possível identificar quatro litofácies, descritas como argilosa, areno-argilosa, arenosa e Arenito Manaus. As unidades em pauta se apresentam na forma de camadas sub-horizontalizadas, com disposição geral lenticular. O arranjo indica que a estruturação original da bacia Alter do Chão não foi obliterada pela atividade tectônica recorrente, esta, aparentemente restrita a falhamentos lítricos pouco acentuados. Localmente, ocorrem crostas lateríticas sílico-ferruginosas, com espessura média de cerca de 1 metro e extensão lateral na ordem de dezenas de metros, sendo responsáveis pela preservação do modelado tabular do relevo.

A unidade faciológica Arenito Manaus forma corpos lenticulares no interior da Formação Alter do Chão. Esses corpos, constituídos por arenitos de granulação fina a média, coloração predominantemente avermelhada, fortemente cimentados por sílica e óxidos de ferro, ocorrem normalmente interestratificados em litologias inconsolidadas. As litologias argilosas ocorrem preferencialmente nos horizontes superiores do perfil, representando em planta 60-70% da área da cidade e perfazendo 20 a 25% do total dos litotipos considerados. Na porção superior do perfil, essa unidade tem origem a partir da alteração intempérica de crostas lateríticas, sendo que em profundidade, corresponde a estratos pelíticos da Formação Alter do Chão. Os pacotes argilosos ocorrem de forma mais expressiva no setor ocidental da área, chegando a apresentar espessuras de até 50 metros na região sudoeste. As unidades areno-argilosa e arenosa representam as variedades faciológicas de maior importância para o reservatório, correspondendo aos estratos de arenitos e siltitos da Formação Alter do Chão.

2.2. Aspectos Hidrodinâmicos

O aquífero Alter do Chão, na cidade de Manaus, apresenta-se com uma espessura média de aproximadamente 160 m (porção saturada e arenosa da formação). O limite inferior corresponde ao contato com os evaporitos e calcários da Formação Nova Olinda. A profundidade média do nível d'água é de aproximadamente 30 m, de acordo com a Carta Hidrogeológica da Cidade de Manaus (CPRM, 2002). As maiores profundidades estão nos setores sudeste e nordeste, correspondendo a quase toda a porção oriental da cidade de Manaus. Para oeste, o nível d'água torna-se mais raso, chegando a aflorar em alguns locais, como no setor noroeste, no bairro de Santa Etelvina. O fluxo principal das águas

subterrâneas exibe sentido de nordeste para sudoeste. A análise da transmissividade, parâmetro utilizado para medir o grau de dificuldade das águas subterrâneas ao atravessar uma seção vertical de largura unitária, sugere que os maiores valores ocorrem nos setores sudoeste, norte e leste da cidade, e os menores na zona central. Os principais parâmetros hidrodinâmicos possuem média de: 1) transmissividade de 4,7 m²/h; 2) condutividade hidráulica de 2,9 x 10⁻² m/h; 3) porosidade efetiva de 18%; 4) inclinação (gradiente) das águas da ordem de 0,002 e; 5) velocidade em torno de 2 cm/dia (muito pequena).

2.3. Características Químicas

De modo geral, as águas do aquífero Alter do Chão são consideradas potáveis, ou seja, de boa qualidade. Todavia, como em quase todas as unidades aquíferas da região, as águas são pouco mineralizadas com sólidos totais dissolvidos entre 10 a 20 mg/L e pH variando de 4,5 a 5,5. Predominam os tipos sulfatada-cloretada potássica e cloretada-sódica (CPRM, 2002). Esses dados refletem infiltração rápida e ambiente de circulação quimicamente pobre.

2.3.1. Análises isotópicas

Estudos isotópicos foram realizados por Silva (2005) na região do entorno de Manaus, e restringiram-se aos isótopos de urânio. Com relação aos isótopos ²³⁴U e ²³⁸U, as águas analisadas indicaram boa qualidade química para o consumo humano, ou seja, encontram-se dentro dos limites de potabilidade estabelecidas pela legislação vigente. A razão de atividade ²³⁴U/ ²³⁸U ficou entre 1 e 3,5 e a concentração de urânio ²³⁸U entre 0,01 µg/L⁻¹ e 1,4 µg/L⁻¹.

2.3.2. Análise dos Riscos de Contaminação

Em Manaus, como em outras grandes cidades, poços com deficiência construtiva vêm contribuindo para o aumento do nível de contaminação dos aquíferos. Na cidade, existem aproximadamente 15.000 poços cujas profundidades variam entre 10 a 240 metros, dos quais uma parcela significativa não possui, no seu entorno, a proteção necessária contra a infiltração de poluentes. Além disso, existem muitos poços abandonados sem o devido tamponamento. Outros agravantes, referem-se aos postos de combustíveis, lixões, cemitérios e a falta de rede de esgotamento sanitário, que constituem fontes potenciais de contaminação.

2.4. O uso da água subterrânea

Em Manaus, as águas do aquífero Alter do Chão são utilizadas, principalmente, para abastecimento público (correspondendo a quase 25% do seu abastecimento) e secundariamente para indústria e agricultura. Apesar do estado do Amazonas ser cortado por vários rios e

igarapés, a grande maioria das cidades da porção oriental é abastecida quase exclusivamente por água subterrânea.

2.5. Potenciometria

O mapa potenciométrico da Figura 2 (Zoneamento de Valores de elevação da água subterrânea da cidade de Manaus) foi elaborado a partir das informações contidas no banco de dados do SIAGAS (400 registros), tratadas pelo *software* Oasis Montaj 5.0 (Geosoft) e faz parte da Carta Hidrogeológica da Cidade de Manaus (CPRM, 2002). Como o fluxo das águas subterrâneas ocorre de pontos com maior carga hidráulica (representado pelas cores avermelhadas) para aqueles de menor carga (tons azulados) é de se esperar que o fluxo principal das águas subterrâneas da cidade de Manaus seja de nordeste para

sudoeste, em direção ao rio Negro. Todavia, os fluxos secundários seguem em direções diversas, gerados principalmente pela drenagem dos igarapés Quarenta, Mindu e Bolívia ou associados à baixa transmissividade e exploração elevada, como acontece na zona leste da cidade, no bairro de Jorge Teixeira, onde o rebaixamento das águas já ultrapassa 80 metros.

2.6. Reserva de Saturação

Foi feita estimativa de reserva para Manaus de aproximadamente 14,4 km³, levando-se em conta os seguintes aspectos:

a) O aquífero Alter do Chão, em Manaus, é principalmente livre, e ocupa toda a área da cidade, referente a cerca de 500 km²;

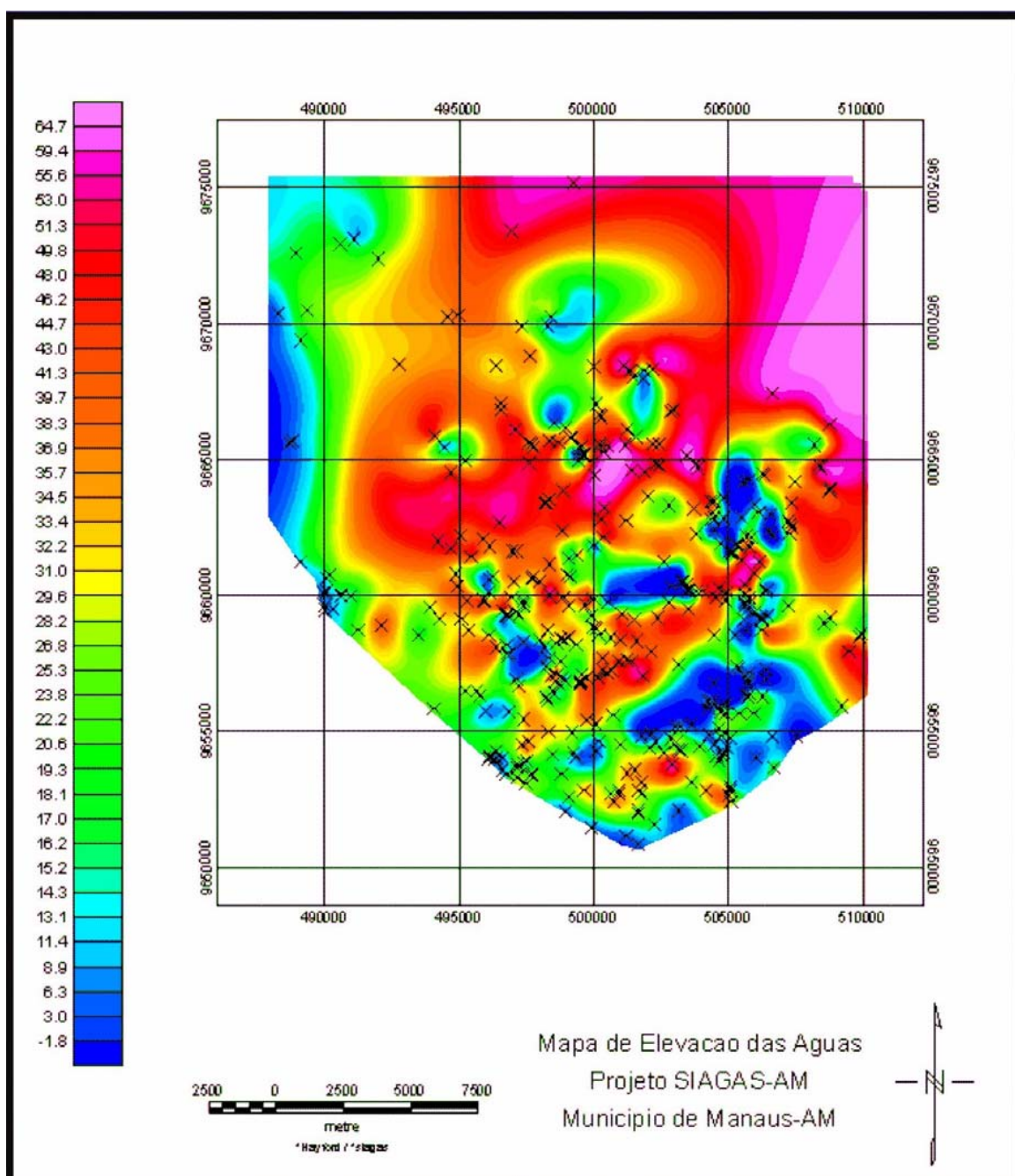


Figura 2. Mapa potenciométrico para a cidade de Manaus
 Fonte: SIAGAS (2010) – níveis estáticos medidos na perfuração de poços no período de 1980 a 2000

b) A espessura média é de 160 m (já subtraídos 30 m da zona não saturada e 20% das camadas argilosas da formação),

c) A porosidade efetiva estimada é de 18%.

2.7. Recursos Renováveis

Com base no monitoramento do poço da ASSECMA – Associação dos Servidores da CPRM de Manaus, por um período de quase dois anos (leituras semanais nos anos 2000 e 2001), foi possível estabelecer a variação anual do nível das águas subterrâneas local, em torno de 3,5 m. Este valor é comparável àqueles obtidos no monitoramento de três poços localizados nas proximidades do km 40 da BR-174, realizado pelo INPA – Instituto de Pesquisas da Amazônia. Desta forma, por falta de maiores informações, para cálculo dos recursos renováveis, esse valor de variação anual de nível foi extrapolado para toda a cidade de Manaus. Assim, considerando área de 500 km², espessura de 3,5 m (referente à altura entre o nível mínimo e máximo) e porosidade efetiva de 18%, foi encontrado, para os recursos renováveis, um valor de 0,32 km³/ano.

2.8. Potencialidades

A potencialidade das águas subterrâneas é uma questão muito delicada e está associada ao conceito de vazão segura dos norte-americanos. Em 1959, Todd apresentou uma definição abrangente do termo, considerando a descarga anual que pode ser extraída sem que produza um efeito indesejável. Assim, em determinados modelos/situações, pode ser utilizado até 100 % dos recursos renováveis e mais uma parte significativa das reservas. Com base no trabalho da UFPE/CPRM/FINEP (2007), para o cálculo da potencialidade foi considerado o valor de 10% das reservas do sistema aquífero, ou seja, 1,44 km³. Portanto, ao se considerar a exploração desse volume para os próximos 50 anos, encontra-se o valor de 0,029 km³/ano, que somado aos recursos renováveis (0,32 km³/ano) tem-se uma potencialidade de 0,35 km³/ano.

Todavia, esta potencialidade não poderá ser aplicada para o aquífero Alter do Chão em Manaus, principalmente

na zona leste (João Paulo II), onde os poços públicos vêm trabalhando com o nível dinâmico superior a 120 m, para uma vazão média de 30 m³/h.

2.9. Disponibilidades

Com base nos valores levantados pela Água do Amazonas (concessionária local), na cidade de Manaus, estima-se uma descarga (disponibilidade efetiva) de 0,06 km³/ano para um período diário de 16 horas de bombeamento. Entretanto, para um bombeamento contínuo teríamos 0,09 km³/ano, que corresponde a 28% dos recursos renováveis e 26% da potencialidade.

2.10. Recursos exploráveis

Os recursos exploráveis são considerados como a diferença entre a potencialidade e a disponibilidade instalada (UFPE/CPRM/FINEP, 2007) e corresponde à descarga que ainda pode ser utilizada. Assim, durante os próximos 50 anos, a cidade de Manaus “poderá contar com uma descarga adicional de 0,26 km³/ano”. Todavia, para a descarga (disponibilidade efetiva) de cerca de 0,06 km³/ano, de apenas a quinta parte dos recursos renováveis, algumas situações indesejáveis já vêm acontecendo, como o desaparecimento de algumas nascentes devido o rebaixamento acentuado das águas em determinados setores (Figura 2) e o espalhamento de contaminantes provocado por inversões de fluxo (igarapé contaminado → aquífero). Portanto, é recomendável prudência, com relação à perfuração de novos poços em Manaus, pois a potencialidade calculada certamente não representa a realidade da cidade.

2.11. Simulação de Cenários

Sabedora dos fatos acima citados, a Água do Amazonas contratou a Empresa Shaft Consultoria Ltda para avaliar a potencialidade do aquífero Alter do Chão na cidade de Manaus. A conclusão é que se houver continuidade com o nível de produção atual, principalmente aquela referente a companhia de abastecimento, em 2015 o aquífero poderá tornar-se improdutivo, principalmente no bairro de Jorge Teixeira, na zona leste da cidade.

3. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

3.1. Aspectos Gerais

Situada à margem esquerda do rio Negro, Manaus certamente é a maior cidade da Amazônia. Em termos fisiográficos, as características mais importantes são os rios Solimões/Amazonas e o rio Negro. O clima de Manaus está classificado como equatorial quente e úmido, enquadrado no tipo “Afi” segundo a classificação de Köppen. Nesta classificação, a zona climática “A” corresponde ao clima tropical, praticamente sem inverno e com temperatura média para o mês mais frio sempre superior a 18°C. O tipo climático “f” indica a ocorrência de chuvas durante todo o ano, com precipitação superior a 60 mm no mês mais seco, que em Manaus corresponde a agosto. A variedade climática “i” indica isotermia, já que não há grandes variações anuais de temperatura média. Em Manaus é em torno de 5°C.

No espaço geográfico do município de Manaus definem-se, apenas, duas estações ao ano: a estação chuvosa (localmente chamada de inverno), que cobre o período de novembro a maio e a estação seca (localmente chamada de verão), que se estende de junho a outubro.

A precipitação média sobre a cidade é da ordem de 2.300 mm/ano (ROVERE *et al.*, 2002).

3.2. Síntese do Balanço Hídrico do Alter do Chão na Cidade de Manaus

O balanço hídrico em questão, relativo às entradas e saídas de água do Alter do Chão na área da cidade de Manaus, foi realizado por Shaft Consultoria (2005). Os resultados encontrados são apresentados na Tabela 1.

A principal entrada de água no sistema, no valor de 663.740 m³/dia, diz respeito às infiltrações pluviométricas, consideradas como Reservas Transitórias e correspondem a cerca de 87 % do total das entradas. O restante, em parcelas aproximadamente iguais, são provenientes: 1) dos rios (2,4%), 2) do armazenamento (3,5%) e 3) dos limites de carga constante (3,5%). Com relação às saídas de água, os principais exutórios são representados pelos rios (78%), seguidos dos poços exploratórios com 19%. As descargas para os rios e igarapés durante todo o ano são da mesma ordem de grandeza da recarga pelas infiltrações pluviométricas.

Tabela 1. Balanço Hídrico do Aquífero Alter do Chão

ORIGEM	ENTRADAS (m ³ /dia)	SAÍDAS (m ³ /dia)
Armazenamento	25.651	0
Poços	0	139.790
Limites de Carga Constante	25.681	19.932
Recarga	663.740	0
Rios	17.880	573.230
Recarga por Filtração Vertical	0	0
Totais	732.952	732.952

Fonte: Shaft Consultoria Ltda (2005)

4. A REDE DE MONITORAMENTO PROJETADA PARA O ALTER DO CHÃO EM MANAUS

Para o Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas - RIMAS, está previsto para as primeiras etapas de implantação da rede, a perfuração de sete poços tubulares no aquífero Alter do Chão, em Manaus.

Procurou-se, na seleção dos locais de perfuração, a proximidade a uma Estação da Rede Hidrometeorológica

Nacional da ANA, operada pela CPRM, devido aos fatores de segurança e pela importância na interpretação dos dados de níveis de água subterrânea com os valores de precipitação. Todavia, na cidade de Manaus, com relação às bacias secundárias, apenas nas imediações do poço que foi perfurado na área da ASFRAMA - Associação dos Servidores da SUFRAMA existe uma estação da ANA (Tabela 2).

Tabela 2. Estação Pluviométrica BIF /MA - Bombeiros (proximidades da ASFRAMA)

CÓDIGO NACIONAL	ESTAÇÃO	MUNICÍPIO	LATITUDE	LONGITUDE	PERÍODO	ANOS	ANOS COM DADOS	MESES	MESES COM DADOS
00359007	BIF/MA	Manaus	-03°06'19"	-59°57' 23"	03/2004 a 03/2010	6	6	72	72

Os pontos (locações), previamente selecionados segundo critérios adotados para a rede de monitoramento, foram visitados pela equipe executora do projeto e analisados suas condições de segurança, posicionamento geológico e aspectos hidrogeológicos, para que se pudesse proceder às perfurações dos poços de monitoramento.

A partir das informações cadastradas no banco SIAGAS (2010), foi possível obter uma média para as características gerais dos poços que captam águas do aquífero Alter do Chão, cujos valores encontram-se na Tabela 3. Estas informações foram utilizadas na elaboração dos projetos de perfuração dos poços de monitoramento.

Tabela 3. Valores médios das características de poços tubulares existentes nas imediações de três poços de monitoramento perfurados no aquífero Alter do Chão

NAS IMEDIAÇÕES DOS POÇOS:	PROFUNDIDADE (m)	NÍVEL ESTÁTICO (m)	NÍVEL DINÂMICO (m)	VAZÃO (m ³ /h)	VAZÃO ESPECÍFICA (m ³ /h/m)	S.T.D. (mg/L)
Poço da Asframa	114	40	67	32	1,37	10- 25
Poço do Aeroclube	84	30	50	25	1,45	10-25
Poço da Aseel	75	35	78	37	1,33	10-25

De posse das futuras informações obtidas através da RIMAS, espera-se, dentre outros benefícios, contribuir para a avaliação da exploração de água subterrânea no sistema aquífero, para estimativa das reservas e de parâmetros hidráulicos, bem como para avaliação da qualidade da água.

Vale ressaltar que, na definição dos locais para perfuração dos poços de monitoramento, a proposta de implantação da rede, foi apresentada à direção do órgão gestor (IPAAM – Instituto de Proteção Ambiental do Estado do Amazonas) e à concessionária local (Água do Amazonas S.A.), que demonstraram interesse em colaborar.

4.1. Poços de Monitoramento Implantados

Até o momento (agosto de 2012) existem cinco poços de monitoramento no aquífero Alter do Chão em Manaus. Quatro foram construídos pela CPRM e um poço existente (Associação dos Empregados da CPRM/MA) foi incorporado à rede. As principais características dos poços implantados encontram-se na Tabela 4.

Informações mais completas a respeito dos poços de monitoramento podem ser obtidas no banco de dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS, disponível no site <http://siagas.cprm.gov.br>

O mapa da Figura 3 mostra a área de exposição do aquífero Alter do Chão (toda a cidade) e a localização das estações pluviométricas e dos pontos de monitoramento implantados.

Tabela 4. Principais características dos poços de monitoramento implantados no aquífero Alter do Chão, em Manaus

MUNICÍPIO	LOCALIDADE	LAT	LONG	PROPRIETÁRIO	NE (m)	PROF. (m)	Q (m ³ /h)
Manaus	Asframa	-3,134	-59,971	CPRM	9.99	78	5.48
Manaus	Aleixo	-3,102	-59,994	ASSEC - MA	8.5	24	
Manaus	Aeroclube	-3,073	-60,018	CPRM	43.89	102	4.5
Manaus	Country Club	-3,065	-59,973	CPRM	31	80	6.56
Manaus	Cemitério Taruma	-3,054	-60,078	CPRM	27.23	79	5.16

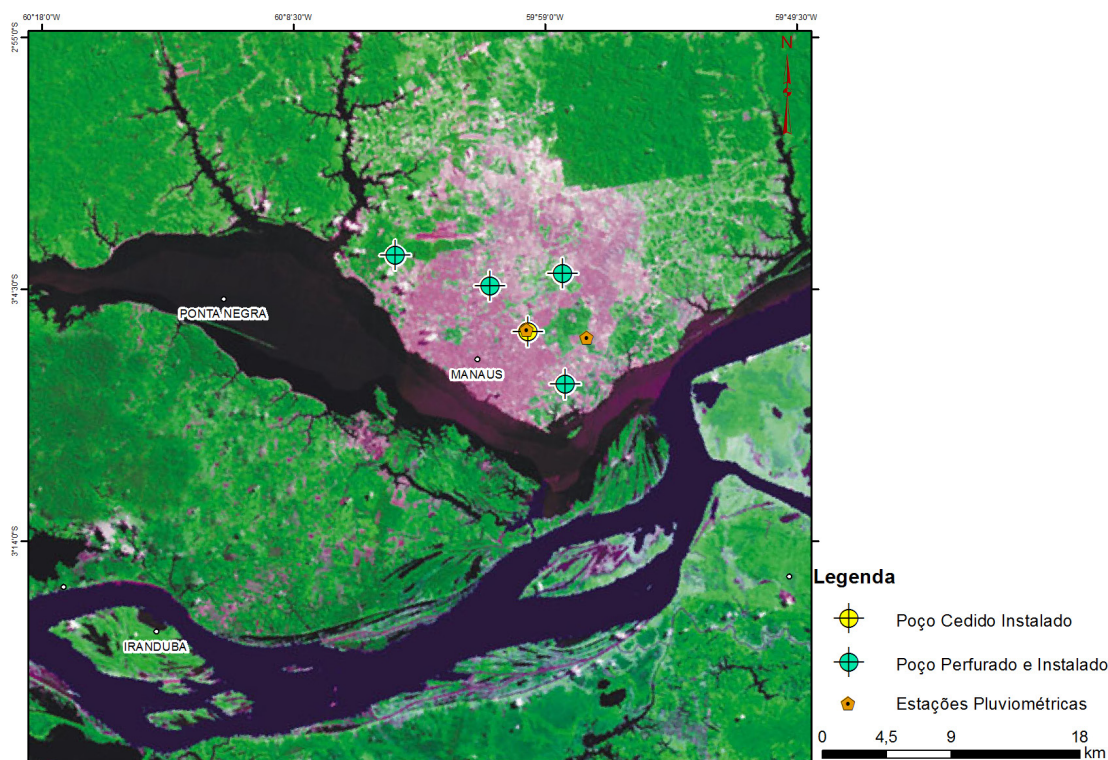


Figura 3. Área de afloramento do aquífero Alter do Chão e localização das estações pluviométricas da rede hidrometeorológica nacional, operadas pela CPRM e dos pontos de monitoramento implantados

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os princípios básicos para um estudo hidrogeológico no tocante ao planejamento e à gestão da água, são o correto dimensionamento de oferta e a demanda dos recursos hídricos. Porém, na hidrogeologia nem sempre é fácil definir o dimensionamento da oferta, ou seja, o cálculo de reservas e disponibilidades, pois envolvem aspectos geológicos e o uso e ocupação do solo, que quase sempre resulta em interferência antrópica sobre a

quantidade e qualidade das águas armazenadas em subsuperfície.

O monitoramento dos corpos hídricos superficiais e subterrâneos é fundamental para definir qualquer situação no planejamento e gestão das águas. Para a implantação de monitoramento de águas subterrâneas é necessário que haja uma estrutura de caracterização hidrogeológica a partir da integração, análise e interpretação dos dados existentes e ampla pesquisa bibliográfica.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA. *Disponibilidade e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil*. Brasília: ANA – Agência Nacional de Águas. 2005. Cadernos de Recursos Hídricos. Disponível em: http://www.ana.gov.br/pnrh_novo/documentos/01%20Disponibilidade%20e%20Demandas/VF%20Disponibilidade%20Demanda.pdf.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. *Carta Hidrogeológica da Cidade de Manaus*. Relatório Preliminar. Manaus: CPRM, 2002.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Geologia e recursos minerais do Estado do Amazonas: Sistema de Informações Geográficas - SIG. Manaus: CPRM, 2006. 1 CD-ROM, Escala 1:1.000.000. Programa Geologia do Brasil - Integração, Atualização e Difusão dos Dados da Geologia do Brasil; Subprograma Mapas Geológicos Estaduais; Convênio CPRM - SIMEC/MT.

DINO R., SILVA O.B., ABRAÃO D. *Caracterização Palinológica e Estratigráfica de Estratos Cretáceos da Formação Alter do Chão, Bacia do Amazonas*. In: UNESP, Simp. sobre o Cretáceo do Brasil, 5, Rio Claro, SP, 1999. *Anais*: 557-565.

ROVERE, A. L.N, CRESPO, S.; VELLOSO, R.. Projeto geo-cidades: relatório ambiental urbano integrado: informe GEO: Manaus. PNUMA; Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos; Rio de Janeiro: Consórcio Perceria 21, 2002, 187 p. mapas, tab.

SHAFT CONSULTORIA. *Estudo Hidrogeológico da Cidade de Manaus*: Relatório Final. Manaus: Águas do Amazonas, 2005. v.1.

SIAGAS – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. *Banco de Dados Hidrogeológicos*. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2004. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>. Acesso em: 01 jun.2010.

SILVA, M. L. *Estudo Hidroquímico e dos Isótopos de Urânio nas Águas Subterrâneas em Cidades do Estado do Amazonas (AM)*. Tese (Doutorado). Rio Claro, SP, UNESP, 2005. 178p.

UFPE/CPRM/FINEP. Hidrogeologia da Bacia Sedimentar do Jatobá: Sistema Aquífero Tacaratu/Inajá. In: *Comportamento das Bacias Sedimentares da Região Semi-Árida do Nordeste Brasileiro*. Recife: UFPE/CPRM/FINEP, 2007. 1 CD.

www.cprm.gov.br

PAC PROGRAMA DE
ACELERAÇÃO DO
CRESCIMENTO

 **CPRM**
Serviço Geológico do Brasil

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

Ministério de
Minas e Energia

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA