

RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS LEVANTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS



REDE INTEGRADA DE MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Relatório Diagnóstico

AQUÍFERO SERRA GRANDE

BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA

Volume 4



**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 SERRA GRANDE BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA

VOLUME 4

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 Serra Grande, Bacia Sedimentar do Parnaíba/Mickaelon B. Vasconcelos, Carlos Antônio da Luz, Maria Antonieta Alcântara Mourão, Coord. Belo Horizonte: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2012.

47 p, il. v.4. 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 Serra Grande. 3- Bacia do Parnaíba. I –Título. II –Vasconcelos, M. B., III – Luz, C.A. da , IV - Mourão, M.A.A., Coord. V-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 SERRA GRANDE BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA

VOLUME 4

RECURSOS HÍDRICOS

ÁREA: RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS

SUBÁREA: LEVANTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS

**MICKAELON B. VASCONCELOS
CARLOS ANTÔNIO DA LUZ**



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.....	19
2. ASPECTOS CLIMÁTICOS E FÍSIOGRÁFICOS.....	21
2.1. Pluviometria.....	21
2.2. Temperatura.....	22
2.3. Geomorfologia.....	22
2.4. Hidrografia.....	22
3. GEOLOGIA REGIONAL.....	25
3.1. Grupo Serra Grande (Ssg).....	25
3.2. Formação Pimenteirias (D2pi).....	26
3.3. Formação Cabeças (Dc).....	26
3.4. Formação Longá (Dl).....	26
3.5. Formação Poti (Cpi).....	26
3.6. Formação Piauí (Cpa).....	26
3.7. Formação Pedra de Fogo (Ppf).....	26
3.8. Formação Sambaíba (T12s).....	27
3.9. Formação Pastos Bons (J2pb).....	27
3.10. Formação Corda (J2c).....	27
3.11. Formação Sardinha (K1).....	27
3.12. Grupo Barreiras (Enb).....	27
3.13. Aluviões (Ql).....	27
4. CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO.....	29
4.1. Análises de Perfis Litológicos de Poços Tubulares na Região de Picos.....	29
4.2. Distribuição de Poços Cadastrados no SIAGAS	30
4.3. Potencial do Aquífero Serra Grande no Município de Picos-PI	31
4.4. Aspectos da Vulnerabilidade e Riscos de Contaminação	31
4.5. Pesquisas Isotópicas	31
5. SÍNTESE DE TRABALHOS ANTERIORES.....	33
5.1. Água Subterrânea no Piauí (KEGEL, 1955).....	33
5.2. Água Subterrânea sob Condições Artesianas na Área de Picos-Piauí (CRUZ e FRANÇA, 1967).	33
5.3. Estudos de Reconhecimento - Morro dos Cavalos (Vale do Fidalgo) TOMO II (DNOCS, 1972).	34
5.4. Estudos de Reconhecimento - Vale do Gurguéia VOL VIII (DNOCS, 1973).	37
5.5. Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste, Folha Teresina-NE (LEAL, 1977).	37
5.6. Estudo Hidrogeológico do Aquífero Cabeças no Médio Vale do Rio Gurguéia/PI (FEITOSA, 1990).	37
5.7. Perfil Hidrogeológico do Município de Picos, Projeto Hidrogeológico do Piauí- Programa de Água Subterrânea para a Região Nordeste, (SOARES FILHO e LEAL, 1997).	38
5.8. Disponibilidade e Gerenciamento Sustentável do Aquífero Serra Grande no Município de Picos-Piauí (VIDAL, 2003).	38
5.9. Projeto Borda Sudeste da Bacia Sedimentar do Parnaíba (CORREIA FILHO, 2009).	38
6. INFORMAÇÕES PARA O PLANEJAMENTO.....	39
6.1. Imagens de satélites.....	39

6.2. Perfis de Poços das Áreas Seleccionadas para Construção dos Poços de Monitoramen.....	39
7. POÇOS DE MONITORAMENTO IMPLANTADOS.....	41
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	43
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	45
10. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa da zona de afloramento do grupo Serra Grande, com destaque para as áreas selecionadas para monitoramento.....	19
Figura 2. Registro pluviométrico médio mensal, na localidade de Saudoso, município de Poranga - CE. Série histórica de 1997 a 2009.....	21
Figura 3. Registro pluviométrico médio mensal, no município de Itainópolis. Série histórica de 1963 a 2008.....	21
Figura 4. Registro pluviométrico, médio, mensal, na localidade Pedra Redonda no município de Conceição do Canindé-PI. Série histórica de 1992 a 2008.....	21
Figura 5. Registro pluviométrico, médio, mensal, no município de Parnaíba - PI. Série histórica de 2004 a 2009.....	22
Figura 6. Configuração geral do relevo do estado do Piauí, gerada a partir de imagens de RADAR.....	22
Figura 7. Rede de drenagem da bacia hidrográfica do Parnaíba no estado do Piauí.....	23
Figura 8. Mapa de pontos d'água inseridos no aquífero Serra Grande.....	31
Figura 9. Zoneamento das áreas favoráveis para o aproveitamento de água do Grupo Serra Grande por meio de poços artesianos.....	33
Figura 10. Corte esquemático das unidades litoestratigráficas na bacia do Parnaíba (modificado de CRUZ E FRANÇA, 1967).	34
Figura 11. Localização dos estudos de reconhecimento desenvolvido no Morro dos Cavalos, Vale do Fidalgo.....	34
Figura 12. Topo do aquífero Serra Grande na região do Morro dos Cavalos, Vale do Fidalgo.....	35
Figura 13. Direção de fluxo do aquífero Serra Grande na região do Morro dos Cavalos, Vale do Fidalgo.....	35
Figura 14. Transmissividade do aquífero Serra Grande na região do Morro dos Cavalos, Vale do Fidalgo.....	36
Figura 15. Áreas de maior exploração dos aquíferos Serra Grande e Pimenteiras na região do Morro dos Cavalos, Vale do Fidalgo.....	36
Figura 16. Faixas de cobertura do satélite LANDSAT, com as órbitas ponto de cada cena e detalhamento para as áreas alvo.....	39
Figura 17. Mapa Índice do Piauí com a cobertura das imagens de RADAR.....	39

LISTA DE FOTOS

- Foto 1. Detalhe do litotipo conglomerático do Grupo Serra Grande, apresentando grânulos e seixos de quartzo com tamanho entre 1 e 2 cm. Município de Itainópolis - PI.....25
- Foto 2. Afloramento da formação Pimenteiras no município de Picos - PI.....26
- Foto 3. Afloramento da formação Cabeças na área do Parque Nacional Sete Cidades, município de Piripiri - PI.....26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Temperaturas médias mínimas, médias máximas e médias para os municípios de Oeiras, Parnaíba, Piripiri e São João do Piauí.....	22
Tabela 2. Coluna litoestratigráfica da Bacia Sedimentar do Parnaíba.....	25
Tabela 3. Síntese das informações construtivas e parâmetros hidráulicos de poços construídos no município de Picos.....	29
Tabela 4. Registros de redução dos níveis d'água na área de Picos (CRUZ e FRANÇA, 1967).....	35
Tabela 5. Parâmetros hidrodinâmicos das unidades aquíferas que ocorrem nas imediações da cidade de Teresina-PI.....	37
Tabela 6. Síntese de parâmetros hidrodinâmicos dos Aquíferos Serra Grande, Cabeças e Poti/Piauí.....	37
Tabela 7. Síntese das características hidráulicas das unidades aquíferas.....	38
Tabela 8. Rebaixamentos do nível estático nas localidades do município de Picos.....	38
Tabela 9. Poços com perfis litológicos, situados nos municípios escolhidos para a perfuração dos poços da rede de monitoramento.....	39
Tabela 10. Principais características dos poços construídos para o monitoramento no aquífero Serra Grande.....	41

RELATÓRIO DIAGNÓSTICO AQUÍFERO SERRA GRANDE BACIA SEDIMENTAR DO PARNAÍBA

RECURSOS HÍDRICOS

ÁREA: RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS

SUBÁREA: LEVANTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS

1. INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas representam um manancial hídrico de grande importância no suprimento hídrico de diversas populações do Brasil. No estado do Piauí, em especial, essa condição de importância das águas subterrâneas destaca-se, visto que o estado possui grandes reservas hidrogeológicas.

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 interrelacionável e não fracionada 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 interpretação dessas informações visa 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.

O presente relatório apresenta a integração das informações para o aquífero Serra Grande 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.

A zona de afloramento do Grupo Serra Grande ocupa aproximadamente 8,5% da superfície do estado do Piauí, ocorrendo de norte a sul do estado em uma faixa de aproximadamente 950 km de comprimento com uma largura aproximada de 67 km na porção centro-leste, a nordeste do município de Picos. Na Figura 1 é apresentada a zona de afloramento do Grupo Serra Grande, com indicação das áreas selecionadas, para a perfuração dos poços de monitoramento.

As referências bibliográficas foram organizadas, analisadas e as informações pertinentes devidamente registradas, de modo a se gerar, tanto a história bibliográfica como a síntese do conhecimento existente na bacia sedimentar.

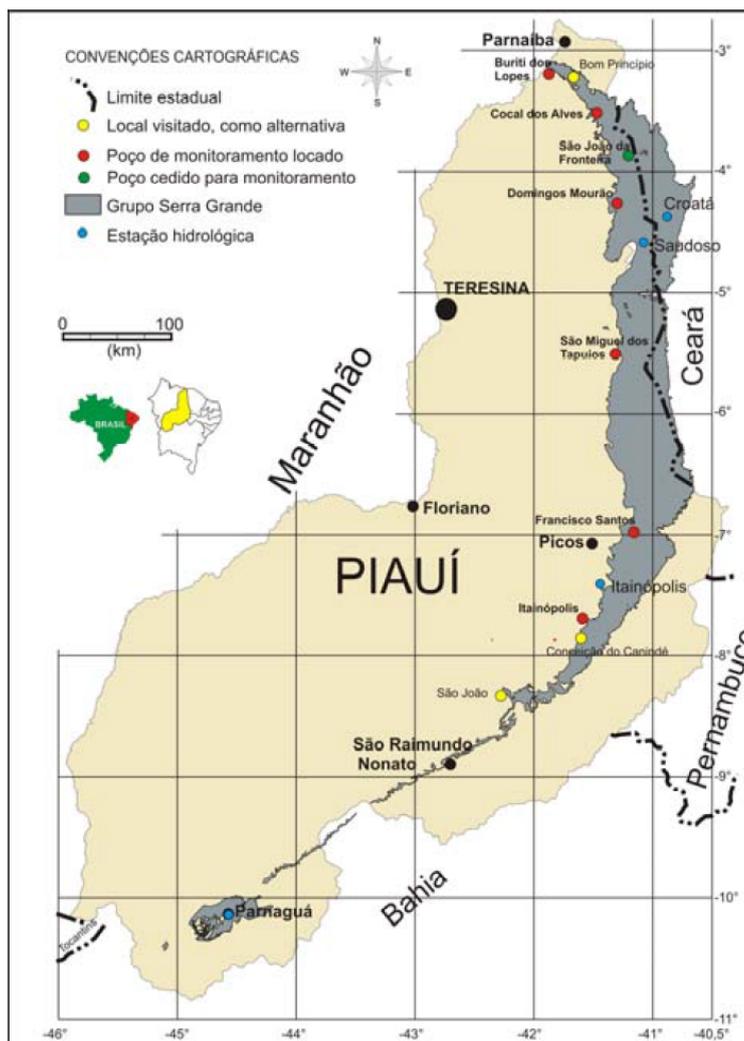


Figura 1. Mapa da zona de afloramento do grupo Serra Grande, com destaque para as áreas selecionadas para monitoramento

2. ASPECTOS CLIMÁTICOS E FISIAGRÁFICOS

2.1. Pluviometria

Os dados de chuvas das áreas próximas à zona de afloramento do Grupo Serra Grande são apresentados nas Figuras 2 a 5. A partir desses dados pode-se verificar que as chuvas ocorrem com maior concentração, entre os meses de janeiro a abril, e com menor quantidade, entre os meses de junho a novembro. Dentre as áreas selecionadas, o

município de Parnaguá, localizado no sul do Estado, é o de menor índice pluviométrico, com média de 575,5 mm/ano. Já a localidade de Pedra Redonda, no município de Conceição do Canindé, é o que apresenta a maior pluviosidade, tendo como média 909 mm/ano. O município de Itainópolis e a localidade de Saudoso, no município de Poranga, possuem índices médios semelhantes, respectivamente, de 713 mm/ano e 703 mm/ano.

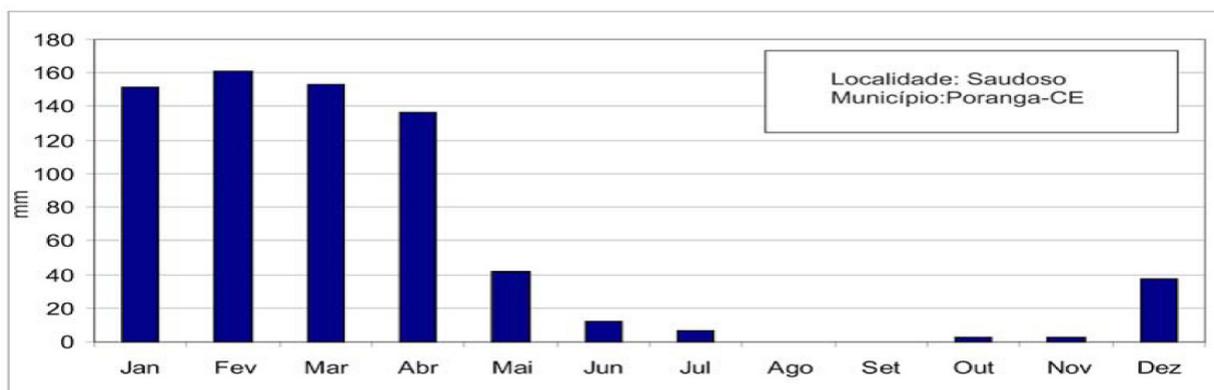


Figura 2. Registro pluviométrico médio mensal, na localidade de Saudoso, município de Poranga – CE. Série histórica de 1997 a 2009

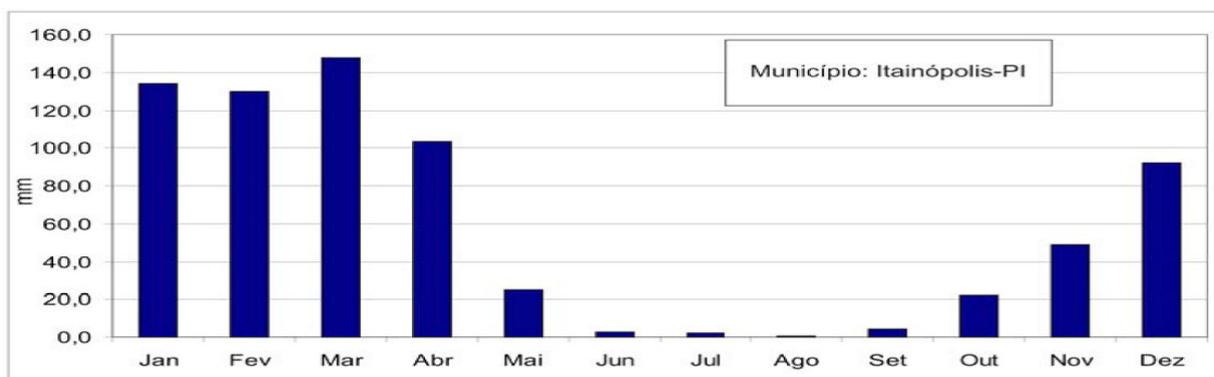


Figura 3. Registro pluviométrico médio mensal, no município de Itainópolis. Série histórica de 1963 a 2008

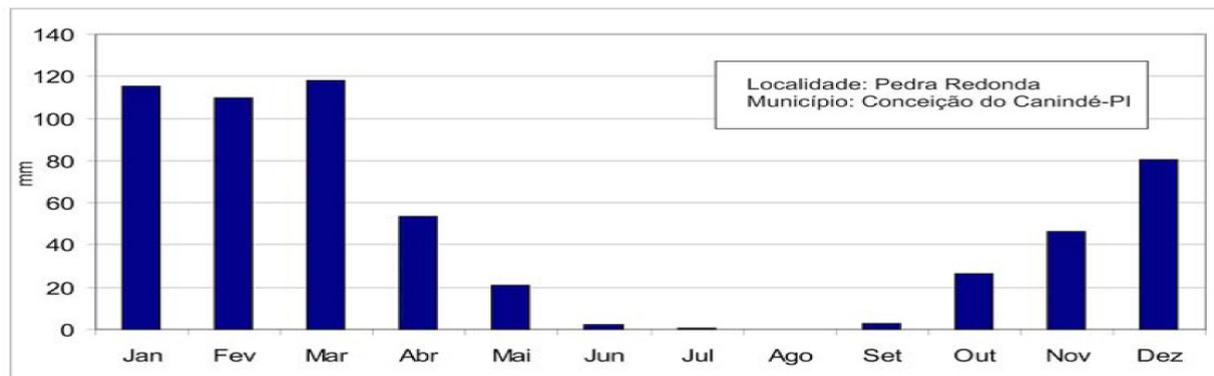


Figura 4. Registro pluviométrico, médio, mensal, na localidade Pedra Redonda no município de Conceição do Canindé-PI. Série histórica de 1992 a 2008

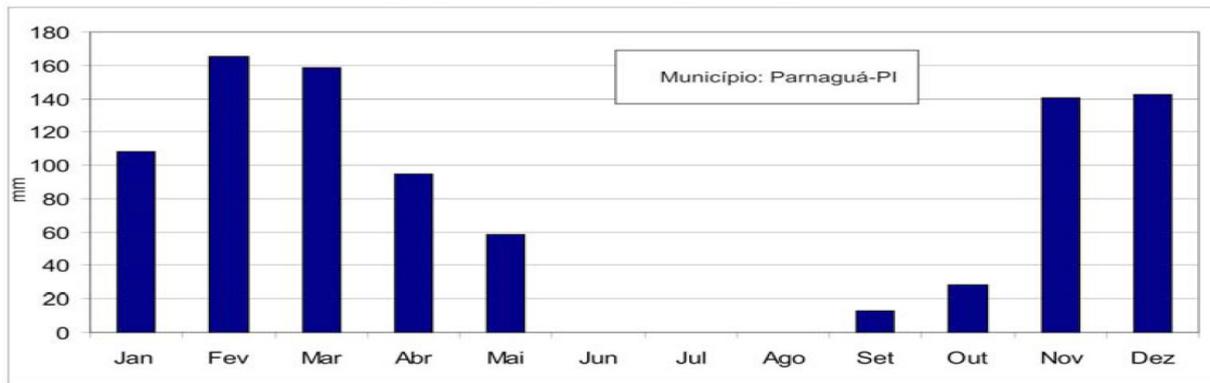


Figura 5. Registro pluviométrico, médio, mensal, no município de Parnaíba – PI. Série histórica de 2004 a 2009

2.2. Temperatura

O estado do Piauí possui alguns fatores que influenciam na temperatura do ar como as variações decorrentes da distância do oceano, altitude e variações latitudinais. O oceano atua como um regulador da temperatura do ar, suavizando as flutuações, como verificado nos municípios de Cajueiro da Praia, Ilha Grande, Parnaíba e Luís Correia (LIMA, 2002). Os municípios com altitudes superiores a 500 m possuem médias anuais abaixo de 25°C. A área de abrangência do aquífero Cabeças atinge uma extensão de aproximadamente 750 km de norte a sul do estado, portanto os municípios inseridos nessa área possuem diferenças em relação às suas temperaturas. A cidade de Teresina possui temperatura média anual 27,3°C, com média da mínima e máxima, respectivamente de 22,2 e 33,5°C. Dados de temperatura do ar para as cidades de Oeiras, Parnaíba, Piri-piri e São João do Piauí são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Temperaturas médias mínimas, médias máximas e médias para municípios de Oeiras, Parnaíba, Piri-piri e São João do Piauí

MUNICÍPIO	TEMPERATURA MÉDIA °C	
Oeiras	21,9	MÍNIMA
Oeiras	33,6	MÁXIMA
Oeiras	27,3	MÉDIA
PARNAÍBA	22,8	MÍNIMA
PARNAÍBA	33,6	MÁXIMA
PARNAÍBA	27,7	MÉDIA
PIRIPIRI	21,7	MÍNIMA
PIRIPIRI	32,7	MÁXIMA
PIRIPIRI	26,7	MÉDIA
SÃO JOSÉ DO PIAUÍ	21,6	MÍNIMA
SÃO JOSÉ DO PIAUÍ	33,5	MÁXIMA
SÃO JOSÉ DO PIAUÍ	27,2	MÉDIA

Fonte: modificado de Lima (2002)

2.3. Geomorfologia

A geomorfologia da área de ocorrência do Grupo Serra Grande possui uma característica marcante exibindo, no lado oriental, escarpas (fronteira entre os estados do Piauí e Ceará) e relevo suavemente plano na porção ocidental.

Na Figura 6 é apresentado aspecto geral da configuração do relevo no estado do Piauí, elaborado a partir de dados de RADAR (SRTM, 2003).

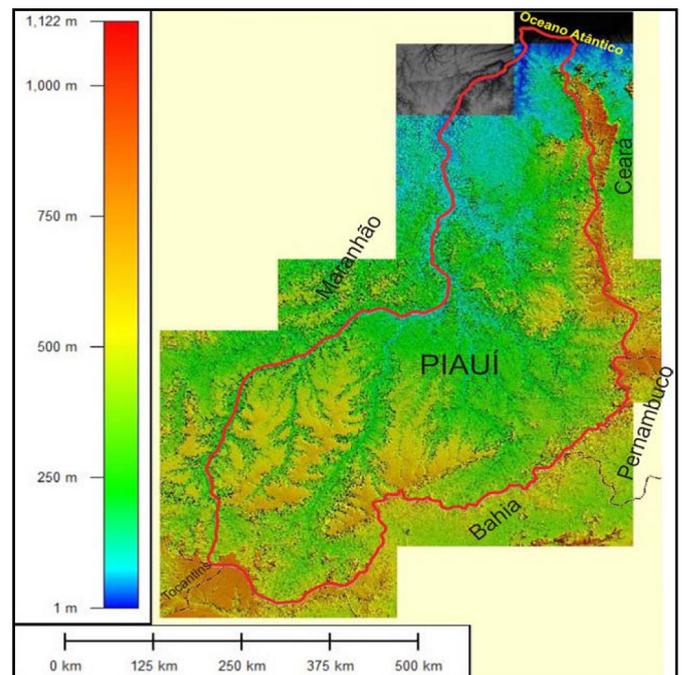


Figura 6. Configuração geral do relevo do estado do Piauí, gerada a partir de imagens de RADAR

2.4. Hidrografia

A Bacia hidrográfica do rio Parnaíba abrange, por completo, o estado do Piauí e pequena parte dos estados do Maranhão e Ceará. Na Figura 7 é apresentada a rede de drenagem da Bacia Hidrográfica do Parnaíba, na qual se podem verificar alguns rios de importância como: i) rios Gurguéia e Uruçuí-Preto na porção sul do estado;

- ii) rios Piauí, Canindé e Salinas na parte leste; iii) rios Berlingas, Sambito e São Nicolau na região central e, iv) rios Piranji, Jacaraí, Piracuruca e Longá no quadrante norte do estado.

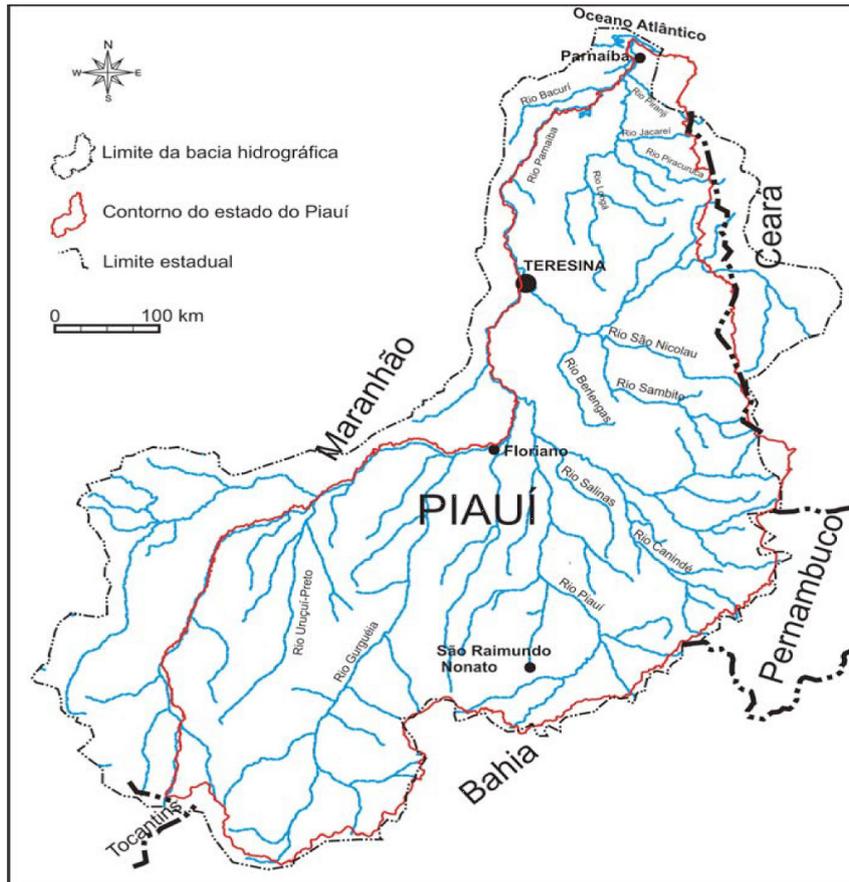


Figura 7. Rede de drenagem da bacia hidrográfica do Parnaíba no estado do Piauí

3. GEOLOGIA REGIONAL

O contexto geológico foi elaborado com base em trabalhos anteriores tais como Cruz e França (1967), Leal (1977), Feitosa (1990), Vidal (2003) e Santos e Carvalho (2009). Diante da extensão espacial do Grupo Serra Grande, será abordada nessa síntese, parte das unidades litoestratigráficas que ocorrem no estado do Piauí.

A Bacia Sedimentar do Parnaíba é caracterizada, de maneira geral, por uma alternância de sedimentos

siltosos e arenosos que mergulham em direção SE para NW. Possui idade paleozoica e, segundo Cunha (1986), foi formada sob condições tectonicamente estáveis, que propiciaram a deposição de uma coluna sedimentar de até 3.500 m de espessura.

Na Tabela 2 é apresentada a coluna litoestratigráfica, com informações compiladas de trabalhos anteriores.

Tabela 2. Coluna litoestratigráfica da Bacia Sedimentar do Parnaíba

PERÍODO	GRUPO	FORMAÇÃO		LITOLOGIA
QUATERNÁRIO		QI	Aluviões	Areias, siltes e argilas.
TERCIÁRIO	Barreiras	Enb		Arenitos friáveis e níveis de argilas.
CRETÁCIO		K1	Sardinha	Derrames de basáltos e diabásios.
JURÁSSICO	Mearim	J2c	Corda	Arenitos homogêneos, friáveis e siltitos.
		J2pb	Pastos Bons	Arenitos argilosos fino a médio.
TRIÁSSICO	Balsas	T12s	Sambaíba	Arenitos homogêneos, friáveis.
PERMIANO		Ppf	Pedra de Fogo	Arenitos, siltitos, folhelhos e calcários.
CARBONÍFERO		C2pi	Piauí	Arenitos finos a grossos com níveis de siltitos.
	DEVONIANO	Canindé	C1po	Poti
D3c1l			Longá	Folhelhos cinza escuro, com níveis de arenitos e siltitos.
D2c			Cabeças	Arenitos médios a grossos de cores clara com subordinadas intercalações de folhelhos e siltitos cinza e vermelho.
D2p			Pimenteiras	Folhelhos e siltitos (cor vermelha), com finos níveis de arenito.
SILURIANO	Serra Grande	Ssgj	Jaicós	Arenitos muito grossos e conglomerados.
		Ssgt	Tianguá	Folhelhos, siltitos e arenitos finos.
		Ssgi	Ipú	Arenitos grossos.
PRÉ-CAMBRIANO				Granitos, gnaisses e micaxistos.

Fonte: Compilação de dados de Cruz e França (1967); Leal (1977); Feitosa (1990); Vidal (2003); e Santos e Carvalho (2009)

3.1. Grupo Serra Grande (Ssg)

É representado por arenitos de cor branca, variando para tonalidade bege, com granulação média a muito grossa, comumente conglomeráticos (Foto 1). Possuem níveis pouco espessos de arenitos siltosos ou puramente sílticos, especialmente na base do pacote. Podem apresentar estratos com cimento quartzoso, sendo comum a ocorrência de estratificações cruzadas.

Caputo e Lima (1984) dividiram o Grupo Serra Grande nas formações Ipu, Tianguá e Jaicós.



Foto 1. Detalhe de litotipo do grupo Serra Grande apresentando grânulos e seixos de quartzo com tamanho entre 1 e 2 cm. Município de Itainópolis

- PI

3.2. Formação Pimenteiras (D2p)

É constituída, essencialmente, por uma alternância de níveis de folhelhos e siltitos intercalados de forma subordinada, por finos níveis de arenitos de granulação muito fina, de cores variadas com predominância da tonalidade vermelha (Foto 2). Na porção inferior predominam níveis arenosos. Em virtude desta variação litológica podem ser distinguidos dois membros na formação: o membro inferior, Itaim, arenoso e o membro superior, Picos, argiloso. Os arenitos podem apresentar concreções de hematita, com diâmetro de 10 cm e nódulos de calcário.



Foto 2. Afloramento da formação Pimenteiras no município de Picos – PI

3.3. Formação Cabeças (Dc)

É representada por um pacote clástico que evolui da base para o topo, de arenitos finos para grossos, com intercalações de siltitos e folhelhos e por vezes de bancos oolíticos piritosos. Os arenitos são fortemente litificados, possuindo cimentação de sílica. Há indícios de que a formação Cabeças foi depositada em um ambiente marinho e deltaico, com uma rica fauna associada. Na Foto 3 é apresentada a disposição dos afloramentos da formação Cabeças na área do Parque Nacional de Sete Cidades.

3.4. Formação Longá (DI)

Representada por folhelhos laminados de cor cinza escura, por vezes betuminosos, e por siltitos micáceos. A porção média da formação apresenta-se silto-arenosa, enquanto os extremos são mais argilosos.

Alguns aspectos encontrados na formação indicam sedimentação em ambiente de mar raso, onde se destacam marcas de onda, furos de organismos e uma fauna nerítica.

3.5. Formação Poti (Cpi)

Constituída por arenitos conglomeráticos de cor cinza, com raras intercalações de folhelhos. Mostra, para o topo, gradação para arenitos finos, micáceos, carbonáticos ou silticos. As características sedimentares marcam um período de regressão marinha, iniciando-se com depósitos marinhos que evoluem para deltaicos e, mesmo, continentais.

3.6. Formação Piauí (Cpa)

São sedimentos que podem ser divididos em duas sub-unidades, inferior e superior. A parte inferior é representada por arenitos vermelhos ou róseos, grãos arredondados a subarredondados, apresentando estratificação cruzada.

Na parte superior ocorrem folhelhos de cor verde e vermelha, arenitos vermelhos, anidrita delgada, dolomitos róseos e raros calcários fossilíferos de cor cinza. Trata-se de depósitos essencialmente continentais, com indícios de invasões episódicas do mar ao final do ciclo de sedimentação, caracterizados por camadas de calcário fossilífero.

3.7. Formação Pedra de Fogo (Ppf)

Unidade geológica composta por folhelhos calcíferos de cor marrom, siltitos esverdeados, arenitos amarelados e esverdeados, eventualmente calcíferos.



Foto 3. Afloramento da formação Cabeças na área do Parque Nacional Sete Cidades, município de Piripiri - PI

Pode apresentar *chert*, nódulos silicificados e bancos de sílex com espessura de 3 a 4 m. A porção inferior relaciona-se a ambiente de sedimentação marinho enquanto as camadas subsequentes a ambiente continental, de mar remanescente, com ciclos de evaporitos.

3.8. Formação Sambaíba (T12s)

Esta unidade litoestratigráfica ocorre, principalmente, no estado do Maranhão, nas cidades de Carolina e Sambaíba, no centro da bacia. Foi definida, inicialmente por Plummer *et al.* (1948), como composta por arenitos eólicos, sendo caracterizada, também por não apresentar fósseis.

3.9. Formação Pastos Bons (J2pb)

É composta, basicamente, por arenitos brancos ou esverdeados, folhelhos arroxeados, verdes ou pretos intercalados com calcários verdes.

3.10. Formação Corda (J2c)

Representada por arenitos, argilitos e folhelhos, característicos de ambientes desértico, fluvial e lacustre

(CPRM, 2006). No estado do Piauí aflora na região central e centro-sul.

3.11. Formação Sardinha (K1)

Constituída por derrames de basaltos e intrusivas básicas que ocorrem em subsuperfície nas regiões de Picos e afloram nos municípios de Jatobá do Piauí, Esperantina, Matias Olimpo e Lagoa de São Francisco. Estas rochas foram datadas como pertencentes à base do Cretáceo (GÓES e FEIJÓ, 1994).

3.12. Grupo Barreiras (Enb)

Esta unidade é representada por sedimentos areno-argilosos que ocorrem nas proximidades do litoral. Possuem uma coloração variando de branca a avermelhada, apresentando, por vezes, concreções lateríticas.

3.13. Aluviões (Ql)

Trata-se de sedimentos transportados e depositados pela ação fluvial. Estão localizados nas calhas dos rios, sendo representados por areias heterogêneas com algumas intercalações de material argiloso.

4. CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

A configuração da zona de recarga do aquífero Serra Grande estende-se do sul do Piauí, município de Parnaíba até próximo ao município de Parnaíba, no extremo norte do estado, em uma faixa de aproximadamente 950 km de extensão e largura de 67km em sua porção central, próximo ao município de Picos.

Este aquífero encontra-se confinado pelos folhelhos da Formação Pimenteiras, que se assenta diretamente sobre as rochas do embasamento cristalino. Esses sedimentos mergulham suavemente para leste, no sentido do fluxo das águas subterrâneas.

4.1. Análises de Perfis Litológicos de Poços Tubulares na Região de Picos

Foram pesquisados 35 perfis litológicos e construtivos de poços que estão localizados no município de Picos e em suas imediações (Tabela 3). Os poços apresentam profundidades entre 139 e 747 m e diâmetro de perfuração variando de 6" até 17 ½", que por vezes diminui com o avanço da perfuração. O revestimento possui diâmetro, geralmente de 4" (quatro polegadas). Os dados disponíveis para vazão de produção mostram valores de 8,0 a 144,0 m³/h e capacidade específica entre 0,52 e 9,69 m³/h/m.

A profundidade do nível d'água, referente à data da perfuração, varia de 2,5 a 118 m. O nível dinâmico pode alcançar até 160 m.

Tabela 3. Síntese das informações construtivas e parâmetros hidráulicos de poços construídos no município de Picos

POÇO	PROF.(m)	NE(m)	ND(m)	DIÂM. PERF.(pol.) E PROF. INSTALADA	DIÂM. REVEST. (pol.)	Q. ESP. (m ³ /h/m)	VAZÃO (m ³ /h)
1PS-01-PI	190	2,5	23,3	10	6	3,8	80
1PS-02-PI	198,5	2,8	38,86	10	6	0,52	19
1PS-03-PI	210	9,2	21,36	10	6	7,4	7,4
4PS-04-PI	150	22	36,85	12 1/4	6	9,69	144
4PS-05-PI	300 - -	32,03 - -	49,52 - -	18 1/2 15 8 5/8	12 - -	7,54 - -	132 - -
4PS-06-PI	300	4	40,2	23 17 1/2 8 1/2	13 3/8 - -	5,49 - -	144 - -
4PS-07-PI	300	5,35	43,35	23-0 a 4 17 1/2- 4 a 85 12 1/4- 85 a 90 8 5/8- 90 a 209 8 1/2- 209 a 300	13 3/8 - - - -	3,36 - - -	127,76
4PS-08-PI	550	207	220	12 1/4- 0 a 282 9 5/8- 282 a 452 9 1/2- 452 a 550	9 5/8	1	13
4PS-09-PI	450	81,9	88,7	23- 0 a 15 17 1/2- 15 a 124 9 5/8- 124 a 450	13 3/8	7,76	52,8
4PS-10-PI	430	35,1	48,1	17 1/2- 0 a 123 9 5/8- 123 a 430	13 3/4	9,23	120
4PS-11-PI	555	209	227	15- 0 a 10 9 7/8- 10 a 555	6 5/8	1	18
4PS-12-PI	747	320	330	8- 0 a 300 7 5/8- 300 a 360 6 5/8- 360 a 650			
CEFET/PICOS	150	39,3	41,5	8- 0 a 59 6- 59 a 150	6		6,7
Grupo Carvalho	160	30,4	32,6	8- 0 a 79	6	-	8
João F ^{co} Nogueira	139	14,3	26,2	10- 0 a 139	6		8,8
SESAPI/PROSAR	300	-	-	14- 0 a 6 10- 6 a 203 6- 203 a 300	6	-	-

POÇO	PROF.(M)	NE(M)	ND(M)	DIÂM. PERF.(POL.) E PROF. INSTALADA	DIÂM. REVEST. (POL.)	Q. ESP. (M ³ /H/M)	VAZÃO (M ³ /H)
F ^{ca} Madalena Costa	160	42,2	54,6	6- 59 a 160	6	-	9,9
J. Edimar de Sousa	150	19,28	20,51	8- 0 a 35 6- 35 a 150	6 -	- -	23,2 -
I. E. Sup R. Sá	250	69,81	87,01	12- 0 a 15 8- 15 a 250	4,5 -	- -	4,5
Jicilé Moura Luz	150	24,3	42,5	8- 0 a 83 6- 83 a 150	6 -	-	20,7
Joaquim K. Braga	150	30,1	42	8- 0 a 39 6- 39 a 150	6 -	-	24
Albino A. Moura (P2)	270	118,2	138,5	8- 0 a 131 6- 131 a 270	6 -	-	4,6
Albino A. Moura	272	70,1	75,3	10	4,5	-	10,5
Raimundo de Sá	180	36,2	42,6	8- 0 a 119 6- 119 a 180	6 -	- -	8,8
Pascoal J. S. Filho	150	23,1	24,5	8- 0 a 43 6- 43 a 150	6 -	- -	7
Pedro A. Ramos	180			8- 0 a 129 6- 129 a 180	6 -	- --	-
Posto Avelino	205	84,3	96,5	10	4,5	-	4,5
Antenor G. F. Sobrinho	200	31,8	42,31	8- 0 a 60 6 60 a 200	6	-	9,7
Pref. de Picos (Estádio)	202	39,1	49,3	8- 0 a 59 6- 59 a 202	6	-	12,5
Ribamar G. Carvalho	180	61,3	87,5	8- 0 a 43 6- 43 a 180	6	-	6
Soc. C. Malta (Proj. SJ Batista)	180	28,89	40,25	8- 0 a 48 6- 48 a 180	6	-	22,6
Plínio Cavalcanti e Cia	120	25,01	26,64	8- 0 a 59 6- 59,5 a 120	6	-	7,2
Tecnopoços	152,5	18,1	46,3	8- 0 a 25 6- 25 a 152	6	-	21,4
Waldimiro B. Monteiro	210	46,68	73,11	8- 0 a 31 6- 31 a 210	6 -	-	12,7
Pref. de Picos (Boa Vista)	202	25,1	160,3	8- 0 a 31 6- 31 a 202	6 -	- -	2

4.2. Distribuição de Poços Cadastrados no SIAGAS

De acordo com as informações do SIAGAS, estão inseridos no aquífero Serra Grande aproximadamente 843 pontos d'água (Figura 8) com maior densidade na região do município de Picos, e menor na região do município de São Raimundo Nonato.

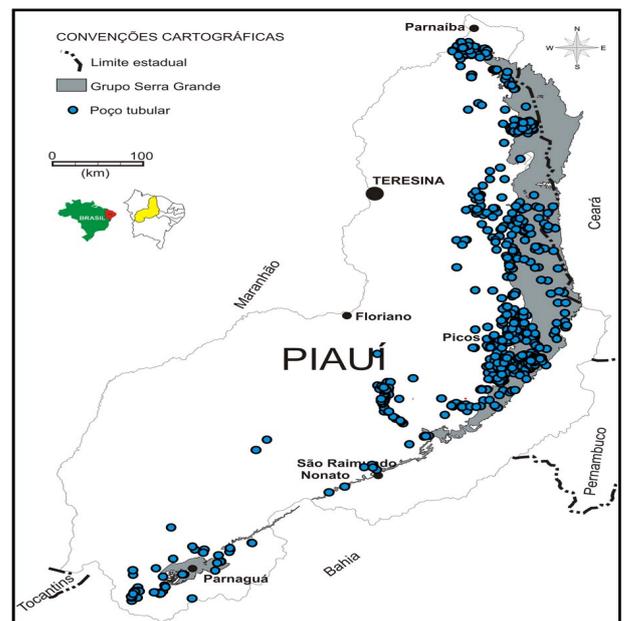


Figura 8. Mapa de pontos d'água inseridos no aquífero Serra Grande. Fonte: SIAGAS

4.3. Potencial do Aquífero Serra Grande no Município de Picos-PI

A captação de água subterrânea do aquífero Serra Grande em Picos, no ano de 2003, foi de $9,87 \times 10^6$ m³/ano (VIDAL, 2003), sendo que 74,47% deste volume foi captado pela Companhia de Águas e Esgotos do Piauí, AGESPISA.

Estima-se que o volume de água bombeado entre o ano de 1958 e 2001 foi de aproximadamente $200,3 \times 10^6$ m³/ano.

4.4. Aspectos da Vulnerabilidade e Riscos de Contaminação

O termo vulnerabilidade à contaminação é utilizado para representar as características intrínsecas que determinam a suscetibilidade do aquífero de ser adversamente afetado por uma carga contaminante (FOSTER, 1987). Esse termo pode ser definido como a probabilidade de certa proporção de um poluente poder alcançar o aquífero em um determinado tempo (VOIGT *et al.*, 2003).

Para se determinar os riscos à contaminação das águas subterrâneas devem ser considerados os fatores de vulnerabilidade e fontes potenciais de contaminação. Somente, após a interação destes atributos é que se pode ponderar o risco de contaminação, para cada unidade aquífera considerada.

Na zona de recarga do aquífero Serra Grande o principal fator na definição da vulnerabilidade do aquífero é o nível estático. À medida que se torna confinado pela formação Pimenteiras ocorre uma redução do índice de vulnerabilidade, ficando mais protegido.

Estudos de vulnerabilidade na bacia do Parnaíba, abrangendo a região sudoeste do estado, foram realizados por Araújo e Marques (2008), em escala 1:500.000. Neste trabalho o aquífero Serra Grande é classificado como de vulnerabilidade moderada.

4.5. Pesquisas Isotópicas

Estudos isotópicos desenvolvidos por Batista *et al.* (1998) na região de Picos, caracterizaram as águas subterrâneas do Aquífero Serra Grande como paleoáguas. Já as águas do aquífero Cabeças são na maioria, pertencentes ao Holoceno, podendo haver mistura com paleoáguas do pleistoceno.

Santiago *et al.* (1982) verificaram que no aquífero Serra Grande ocorre um aumento da salinização das águas, à medida que se afasta da zona de recarga, em direção ao interior da bacia.

Carneiro *et al.*, (1998) não identificaram uma correlação entre idades mais antigas e o aumento da salinização pois de maneira geral as águas são pouco mineralizadas, diferentemente das demais paleoáguas do nordeste brasileiro.

5. SÍNTESE DE TRABALHOS ANTERIORES

Foram analisados alguns trabalhos que abordam o Grupo Serra Grande e elaborada uma síntese enfocando os dados mais relevantes que possam contribuir para o aprimoramento do conhecimento desse aquífero. O trabalho pioneiro na bacia sedimentar do Parnaíba foi realizado por Small (1913) que caracterizou a hidrogeologia do Ceará e parte da do Piauí.

5.1. Água Subterrânea no Piauí (KEGEL, 1955).

Kegel (1955) apresenta uma caracterização sucinta a respeito da qualidade das águas nos aquíferos do estado. Os parâmetros obtidos são pH, dureza, cloreto,

presença de sulfato, amoníaco, ácido sulfídrico (H₂S) e temperatura.

Neste estudo é relatado que a qualidade da água do membro Picos, pertencente à formação Pimenteiras, é muito salgada não sendo indicada, nem ao menos para a irrigação. O pH mostrou-se ácido para a maioria das amostras de água, sendo, por vezes, inferior a 6,5 como verificado para o Grupo Serra Grande; e formações Cabeças e Sambaíba. É ressaltado que águas com estas características são agressivas aos metais.

Na Figura 9 são apresentadas as áreas favoráveis à ocorrência de artesianismo na região entre os municípios de Picos e Oeiras.

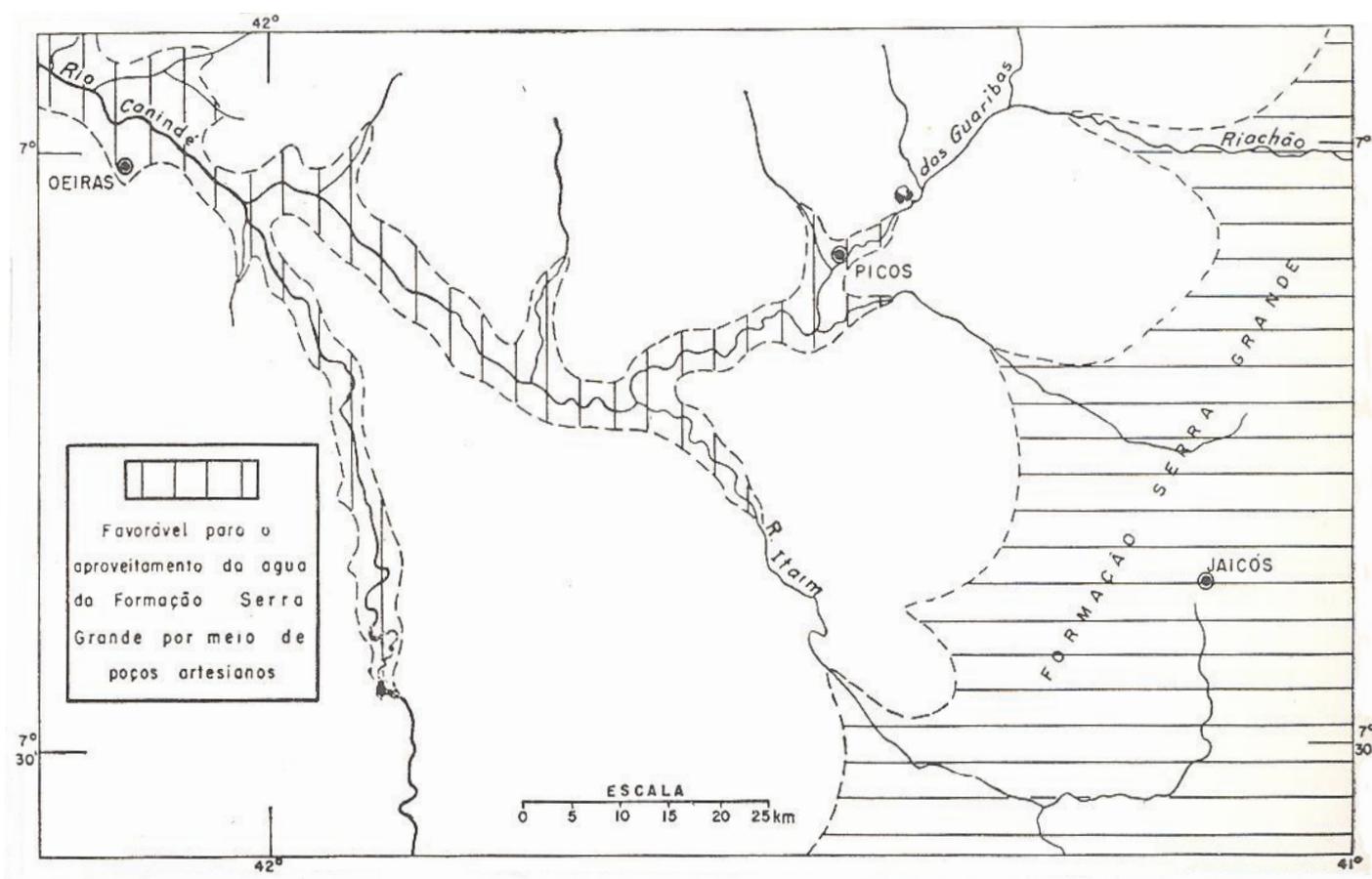


Figura 9. Zoneamento das áreas favoráveis para o aproveitamento de água do Grupo Serra Grande por meio de poços artesianos

Fonte: Kegel (1955)

5.2. Água Subterrânea sob Condições Artesianas na Área de Picos-Piauí (CRUZ e FRANÇA, 1967).

Cruz e França (1967) descrevem as condições hidrogeológicas na região de Picos, com o objetivo de propor um programa mais racional de exploração.

As camadas dos sedimentos da área estudada possuem direção NE-SW, mergulhando aproximadamente 8 a 10 m/km para NW, podendo apresentar suaves ondulações.

O aquífero Serra Grande é apresentado como sendo o principal da região, estando o mesmo confinado pela Formação Pimenteiras. Outros aquíferos, como o Cabeças, possuem uma importância maior na região oeste do estado, e os aluviões são representativos no fornecimento de água para as chamadas "culturas de vazante". Na Figura 10 é apresentado um corte esquemático elaborado neste estudo.

Foram analisados no estudo, 60 poços tubulares, dentre estes, 41 são jorrantes. Esses poços foram

construídos com máquinas à percussão, geralmente com diâmetro de 6" e com profundidade média de 160 m. A vazão livre ou jorrante dos poços varia de 0,2 m³/h até 42 m³/h, com média de 11,7 m³/h.

A questão da redução do nível estático é relatada, sendo que os registros históricos encontram-se apresentados na

Tabela 4. Destaca-se que os dados de NE estão restritos aos poços não jorrantes, por não haver medidas da altura do jorro nos poços.

Os testes de bombeamento, realizados em 6 (seis) poços, indicam valores médios de transmissividade (T) de $2,8 \times 10^{-3}$ m²/s e armazenamento específico (S) de $7,1 \times 10^{-4}$.

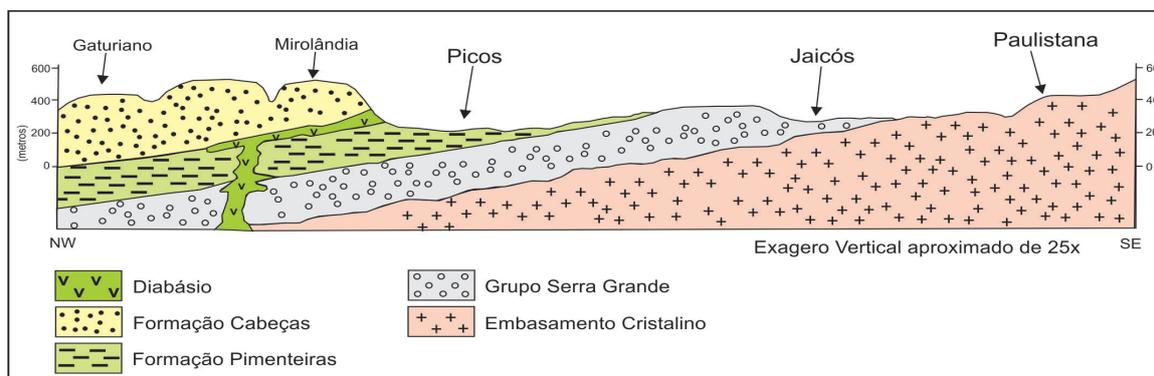


Figura 10. Corte esquemático das unidades litoestratigráficas na bacia do Parnaíba (modificado de CRUZ E FRANÇA, 1967)

Tabela 4. Registros de redução dos níveis d'água na área de Picos (CRUZ e FRANÇA, 1967)

POÇO	LOCALIDADE	DATA/NE (M)	DATA/NE (M)	REBAIXAMENTO (M)
Poço nº 14.28	Condurus	1962/3,3	1966/6,71	3,41
Poço nº 14.33	Samambaia/ Faz. Mari	1963/18,0	1966/20,14	2,14
Poço nº 14.12	Faz. Abóboras	1960/8,0	1966/9,4	1,40

5.3. Estudos de Reconhecimento - Morro dos Cavalos (Vale do Fidalgo) TOMO II (DNOCS, 1972).

Este trabalho reflete a tentativa de minimizar os problemas com as estiagens ocorridas no semiárido do Piauí, por meio de projetos de irrigação. De acordo com o Plano de Irrigação do Nordeste apresentado na época deste estudo, o estado do Piauí possuía 6 (seis) Projetos de desenvolvimento; Projeto das Lagoas (localizado no norte do estado), Projeto Caldeirão (sudeste da capital Teresina), Projeto Lameiro (setor central do estado, próximo ao rio Parnaíba), Projeto Gurguéia (ao sul do estado, no vale de mesmo nome), o Projeto Morro dos Cavalos e Projeto Fidalgo, ambos localizados na porção centro-sudeste do estado (Figura 11).

Na área de estudo, o morro dos Cavalos possui dimensões de aproximadamente 60 x 60 km, estando inserido nos municípios de São João do Piauí, Conceição do Canindé e Simplício Mendes. Neste trabalho são apresentados alguns mapas temáticos como:

- Topo do aquífero Serra Grande e aquífero Pimenteiras.
- Fluxo das águas subterrâneas dos aquíferos Serra Grande e aquífero Pimenteiras.
- Transmissividade dos aquíferos Serra Grande e aquífero Pimenteiras.
- Situação dos pontos d'água.

- Zoneamento das áreas de maior exploração dos aquíferos e aquíferos.
- Curvas de isoconcentração de resíduo seco.

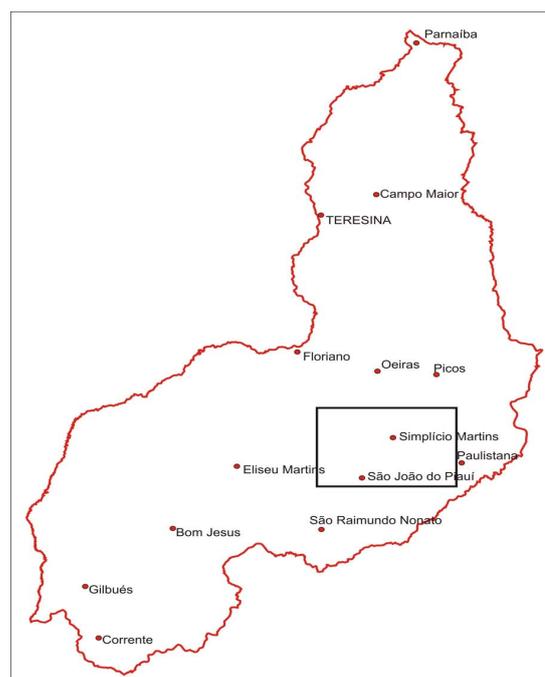


Figura 11. Localização dos estudos de reconhecimento desenvolvido no Morro dos Cavalos, vale do Fidalgo. Fonte: DNOCS (1972)

No mapa do topo do aquífero Serra Grande (Figura 12), o acamamento mostra direção NNE-SSW, e uma variação de cotas no sentido WNW, alcançando 240 m.

Em relação à direção do fluxo subterrâneo do aquífero Serra Grande (Figura 13), este se encontra sempre em direção aos talwegues dos rios existentes.

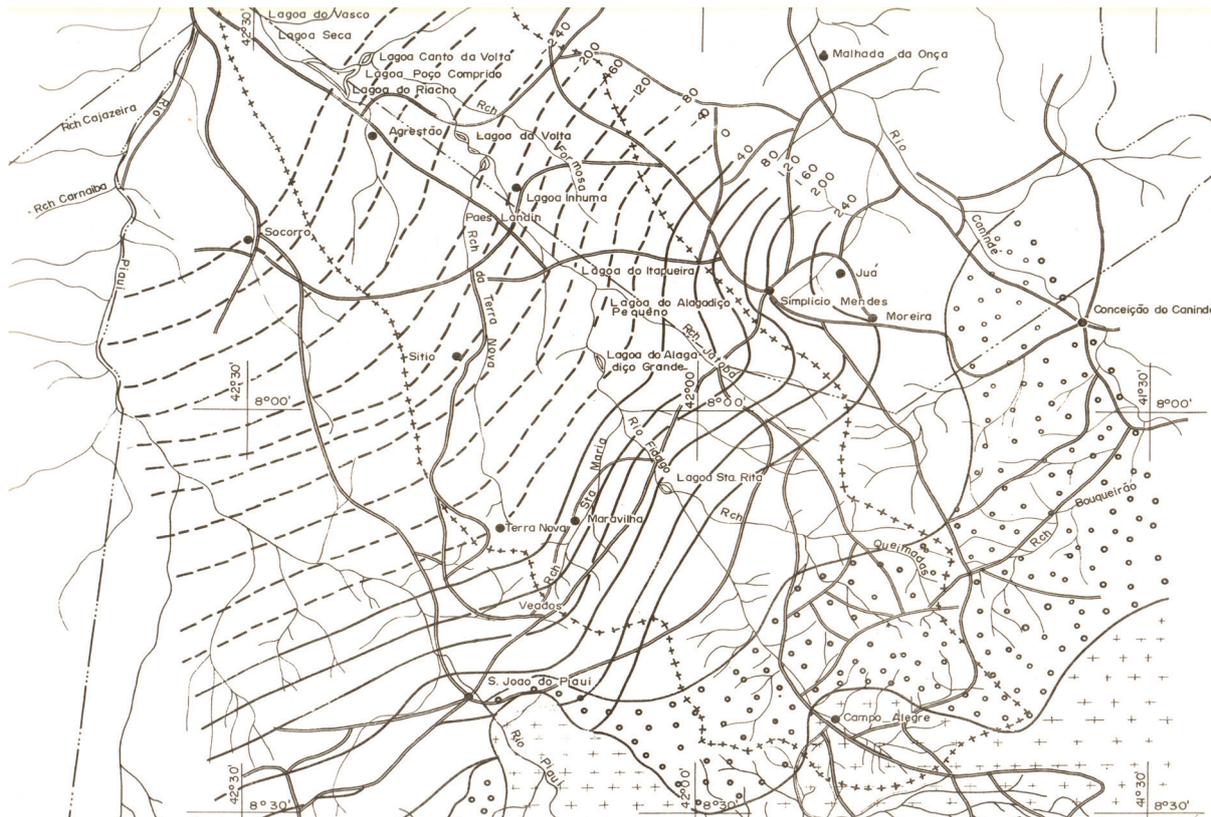


Figura 12. Topo do aquífero Serra Grande na região do morro dos Cavalos, Vale do Fidalgo. Fonte: DNOCS (1972)

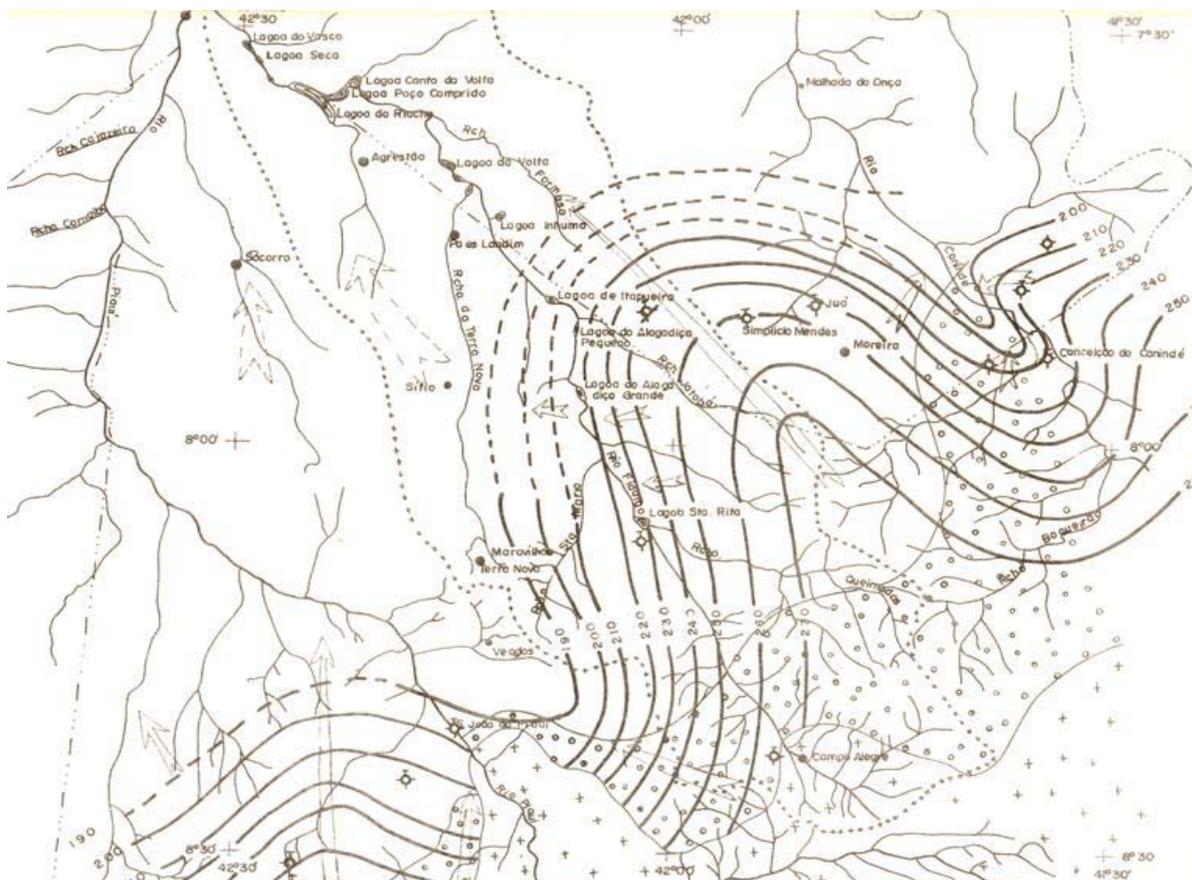


Figura 13. Direção de fluxo do aquífero Serra Grande na região do morro dos Cavalos, Vale do Fidalgo. Fonte: DNOCS (1972)

O mapa de transmissividade do aquífero Serra Grande (Figura 14) mostra que ocorre um aumento dos valores à medida que se desloca no sentido ESE para WNW, havendo uma inversão próxima ao riacho Jatobá, onde a transmissividade diminui à medida que se desloca de sul para norte.

As áreas de maior exploração dos aquíferos Serra Grande e aquífero Pimenteiras (Figura 15) estão situadas nas proximidades da sede do município de Simplício Mendes, Conceição do Canindé e em uma faixa alongada no município de São João do Piauí.

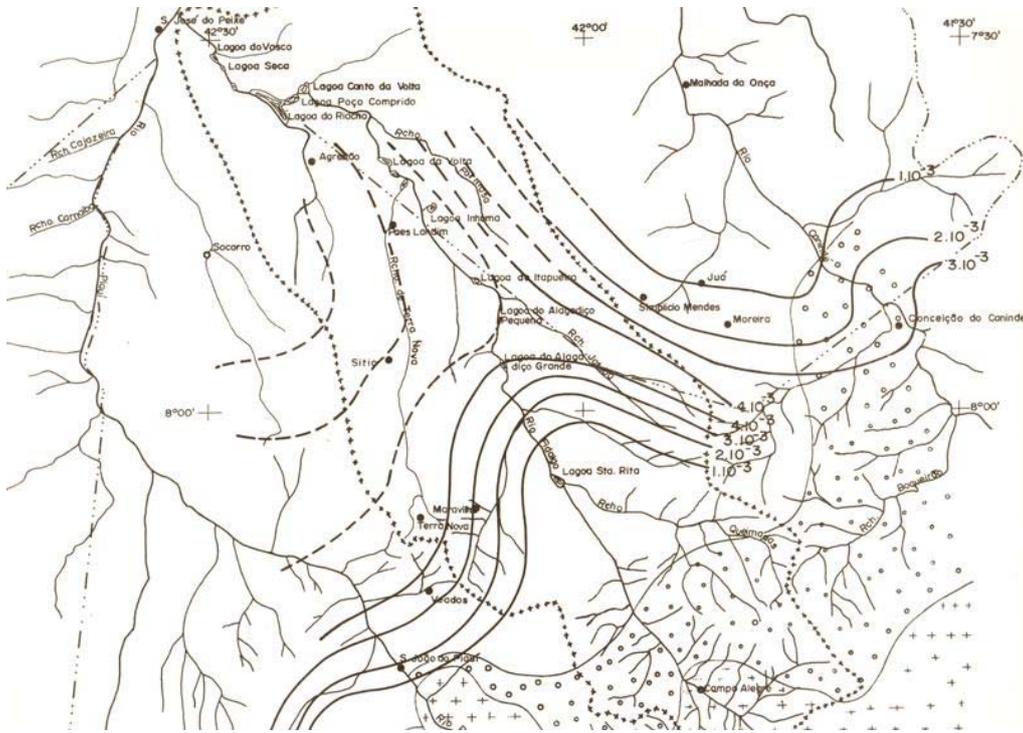


Figura 14. Transmissividade do aquífero Serra Grande na região do morro dos Cavalos, vale do Fidalgo
 Fonte: DNOCS (1972)

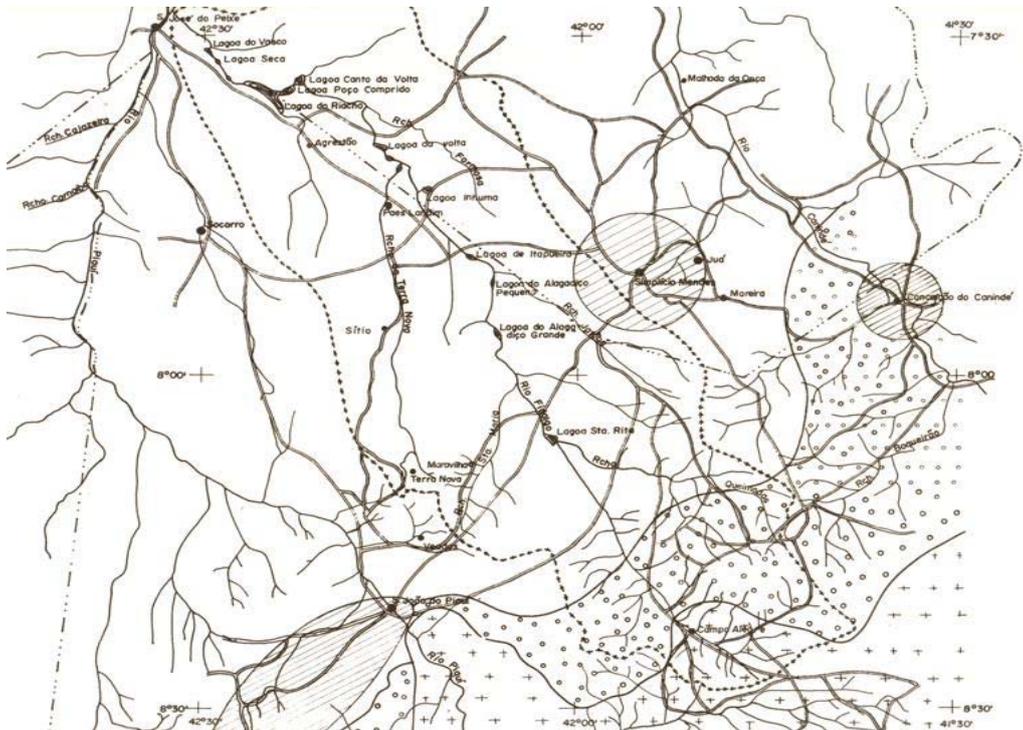


Figura 15. Áreas de maior exploração dos aquíferos Serra Grande e Pimenteiras na região do Morro dos Cavalos, Vale do Fidalgo
 Fonte: DNOCS (1972)

5.4. Estudos de Reconhecimento - Vale do Gurguéia VOL VIII (DNOCS, 1973).

Desenvolvido no setor sul do estado do Piauí, o mesmo faz um reconhecimento e caracterização das unidades hidrogeológicas que ocorrem nessa região. A construção do poço GUR-02, também conhecido como poço Violeta, é um produto marcante reconhecido até os dias atuais. Trata-se de um poço jorrante, com profundidade de 1000 m, interceptando apenas as unidades sedimentares, sem atingir o embasamento cristalino. O perfil litológico deste poço é formado pelas unidades aquíferas Serra Grande, Pimenteiras, Cabeças e Longá. Entretanto, na área do estudo é também encontrado o aquífero Poti.

5.5. Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste, Folha Teresina-NE (LEAL, 1977).

Este trabalho apresenta uma visão abrangente da situação das águas subterrâneas no setor norte do estado do Piauí, onde está localizada a capital Teresina, e parte do estado do Maranhão. Com relação aos aquíferos que ocorrem nas imediações da cidade de Teresina são relacionados os valores referentes aos parâmetros hidrodinâmicos (Tabela 5).

Informações de qualidade de água são apresentadas sem especificação do aquífero de origem. Dentre as 189 amostras analisadas, o percentual encontrado de ocorrência dos tipos de águas é: 30,16% são cloretadas sódicas, 19,57 % bicarbonatadas mistas e 17,46 % bicarbonatadas sódicas. Outros tipos de água perfazem percentual inferior a 8%.

5.6. Estudo Hidrogeológico do Aquífero Cabeças no Médio Vale do Rio Gurguéia/PI (FEITOSA, 1990).

Desenvolvido no sul do estado do Piauí, envolveu a realização de 20 ensaios de bombeamento para a determinação de parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos, com ênfase para o Cabeças. Na área do trabalho, destaca a ocorrência dos aquíferos Serra Grande, Cabeças e sistema aquífero Poti/Piauí, e dos aquíferos Pimenteiras e Longá. É apresentada uma síntese dos dados hidrodinâmicos (Tabela 6) obtidos em trabalhos de reconhecimento realizados pelo DNOCS no ano de 1972, juntamente com aqueles gerados no estudo. Verifica-se que o aquífero Cabeças exibe transmissividade e condutividade hidráulica em ordem de grandeza semelhante ao aquífero Serra Grande.

Tabela 5. Parâmetros hidrodinâmicos das unidades aquíferas que ocorrem nas imediações da cidade de Teresina-PI

UNIDADE AQUÍFERA	T (m ² /S)	K (m/S)	S	EXUTÓRIO
Cabeças	1,3x10 ⁻³	7,0x10 ⁻⁶	5,9x10 ⁻⁴	Etp (1669 mm/ano).
Longá	1,7x10 ⁻³	1,7x10 ⁻⁵	-	Etp (1669 mm/ano) e os rios Longá e Poti.
Poti	1,7x10 ⁻³	1,7x10 ⁻⁵	-	Etp (1669 mm/ano) e os rios Longá e Poti.
Piauí	1,7x10 ⁻³	5,1x10 ⁻⁶	-	Etp e o rio Parnaíba.
Pedra de Fogo	*1,8x10 ⁻³	*8,4x10 ⁻⁶	-	Etp e o rio Parnaíba.
Pastos Bons/Motuca	2,3x10 ⁻⁴	3,6x10 ⁻⁶	2,0x10 ⁻⁴	Etp (1643 mm/ano) e o rio Itapecuru.

*valores aproximados; Etp-Evapotranspiração
Fonte: Leal (1977)

Tabela 6. Síntese de parâmetros hidrodinâmicos dos Aquíferos Serra Grande, Cabeças e Poti/Piauí

AQUÍFERO	LOCALIZAÇÃO	TRANSMISSIVIDADE (m ² /s)	CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA (m/s)	ARMAZENAMENTO ESPECÍFICO
Serra Grande	Poço Violeta	2,27x10 ⁻³	9,10x10 ⁻⁶	6,00x10 ⁻⁴
	Riacho Corrêia com o rio Gurguéia	1,29x10 ⁻²	2,70x10 ⁻⁵	-
Cabeças	Paus	1,35x10 ⁻²	5,56x10 ⁻⁵	2,66x10 ⁻⁵
	Colônia do INCRA	1,95x10 ⁻²	7,05x10 ⁻⁵	1,96x10 ⁻⁵
	Violeta	1,79x10 ⁻²	6,7x10 ⁻⁵	1,38x10 ⁻⁵
	Santa Luz	9,90x10 ⁻³	4,3x10 ⁻⁵	-
	L. Comprida	5,0x10 ⁻³	1,09x10 ⁻⁵	-
	Média do vale do Gurguéia	1,33x10 ⁻²	5,89x10 ⁻⁵	3,74x10 ⁻⁵
Poti/Piauí	Vale do Gurguéia	6,64x10 ⁻⁴	7,16x10 ⁻⁶	9,29x10 ⁻⁴

Fonte: Feitosa (1990)

5.7. Perfil Hidrogeológico do Município de Picos, Projeto Hidrogeológico do Piauí-Programa de Água Subterrânea para a Região Nordeste, (SOARES FILHO e LEAL, 1997).

Trata-se de um diagnóstico das condições das águas subterrâneas no município de Picos. Neste município foram cadastrados 482 poços tubulares, sendo que 13,9% destes encontram-se desativados, obstruídos e/ou abandonados. Deste total, 58,26% captam água do aquífero Serra Grande, 13,84% do Serra Grande e Pimenteiras e 4,76% somente do aquífero Pimenteiras, sendo que 21,9% não possuem definição da unidade hidrogeológica captada.

O aquífero Serra Grande, nesta área, responde por 98% do volume captado de águas subterrâneas, enquanto os 2% restante refere-se a águas originadas do aquífero Pimenteiras. Quando encoberto pela Formação Pimenteiras, o aquífero Serra Grande exibe vazões específicas de 0,41 a 25,75 m³/h/m. De modo geral, as vazões específicas do aquífero Serra Grande (para 77 poços) variam de 0,08 a 33,8 m³/h/m, com média de 5,25 m³/h/m.

O trabalho destaca que 92% dos poços estão concentrados nas proximidades da sede municipal, em um raio de aproximadamente 15 km.

Os valores dos parâmetros hidrodinâmicos médios apresentados para o aquífero Serra Grande são: i) transmissividade (T) de $2,6 \times 10^{-3}$ m²/s; ii) coeficiente de armazenamento de $4,9 \times 10^{-4}$ e, iii) restituição de $5,0 \times 10^{-3}$ m/s.

A análise da qualidade das águas subterrâneas em poços que captam água do aquífero Serra Grande mostra que das 44 (quarenta e quatro) amostras, apenas 5 (cinco) não possuem águas de qualidade satisfatória para o consumo humano.

5.8. Disponibilidade e Gerenciamento Sustentável do Aquífero Serra Grande no Município de Picos-Piauí (VIDAL, 2003).

Corresponde a uma tese de doutorado em que é apresentado o contexto geral das condições das águas subterrâneas no município de Picos, abrangendo dados de parâmetros hidrodinâmicos, volume captado, modelagem matemática de fluxo subterrâneo e dados de qualidade de águas subterrâneas.

A Tabela 7 mostra uma síntese dos dados hidráulicos obtidos nesse estudo. As menores vazões específicas são encontradas nos poços do aquífero Pimenteiras e as maiores no aquífero Serra Grande.

Tabela 7. Síntese das características hidráulicas das unidades aquíferas

AQUÍFERO	PROF. MÉDIA	NE (m)		ND (m)		Q (m ³ /h)		Qs (m ³ /s)	
		min	max	min	max	min	max	min	max
Cabeças	153	25	134	95	145	1,7	3	0,15	0,38
Pimenteiras	79	4	85	26,5	100	1	20	0,09	0,5
Serra Grande/ Pimenteiras	140	*12	100	6,5	120	2	50	0,12	20,5
Serra Grande	172	*15,8	323	3,5	340	1,5	144	0,08	15

*poço jorrante, com nível referente a altura do jorro

Os valores de infiltração são estimados em 25% do total das precipitações, com uma taxa de recarga de 169 mm/ano, tendo sido considerada os aportes laterais do aquífero.

Outra fonte de recarga considerada refere-se à infiltração descendente a partir do aquífero Pimenteiras, que segundo Verhagen *et al.* (1991) contribui com 3 a 10 mm/ano.

São apresentados também os valores de rebaixamentos na área do município de Picos que alcançaram 26,9 m em um intervalo de 43 anos (Tabela 8).

Tabela 8. Rebaixamentos do nível estático nas localidades do município de Picos

LOCAL	PERÍODO DE OBSERVAÇÃO	REBAIXAMENTO (m)
Bairro Ipueiras	1958-2001	26,9
Bairro Umari	1968-2001	19,8
Cantinho	1959-2001	17,8

5.9. Projeto Borda Sudeste da Bacia Sedimentar do Parnaíba (CORREIA FILHO, 2009).

Este trabalho foi desenvolvido na região do município de São Raimundo Nonato com o objetivo de efetuar um mapeamento hidrogeológico da porção sudeste da bacia, na busca de uma melhor compreensão da distribuição espacial dos aquíferos e obtenção de estimativas das reservas hídricas.

Foi feita uma avaliação da estrutura geológica com a utilização de dados geofísicos, que resultou na identificação das estruturas grabeniformes armazenadoras de águas subterrâneas. As áreas que possuem zona com ascendência vertical do aquífero Serra Grande e aquelas com drenança vertical descendente do aquífero Cabeças para o aquífero Serra Grande são delimitadas.

6. INFORMAÇÕES PARA O PLANEJAMENTO

Neste item serão apresentadas algumas informações úteis para o desenvolvimento dos estudos nos locais de implantação da rede de monitoramento de águas subterrâneas.

6.1. Imagens de satélites

Para o planejamento e a realização dos trabalhos estão sendo utilizadas imagens de satélite Landsat 7 (GLCF), com faixas de coberturas apresentadas na Figura 16, com destaque para as áreas alvo. As dimensões dessas faixas

são de 185×185 km, com resolução de 30 m para as bandas 1, 2, 3, 4, 5, e 7, e resolução de 15 m para a banda pancromática.

Dados de RADAR do projeto SRTM (2003), também estão sendo empregados tendo como base as faixas de cobertura disponibilizadas pela EMBRAPA (Figura 17). Cartas topográficas da SUDENE/DSG, mapas rodoviários do DNIT e informações de instituições públicas de abastecimento de água são outros documentos utilizados no planejamento da rede de monitoramento.

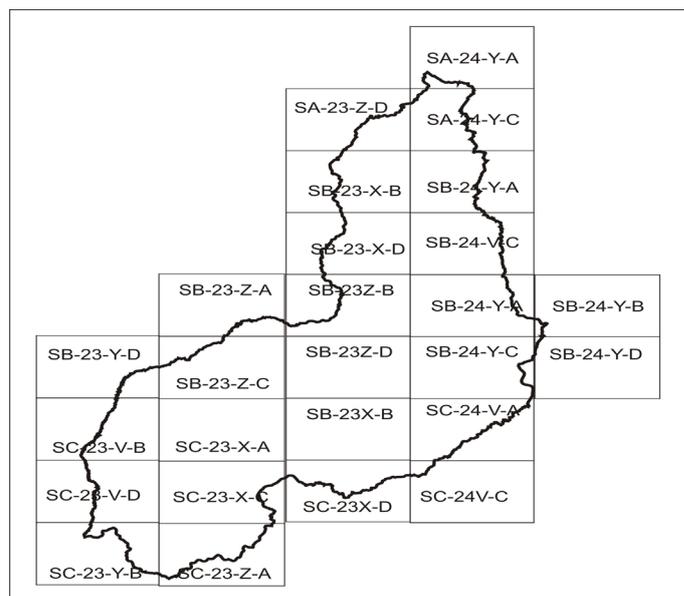
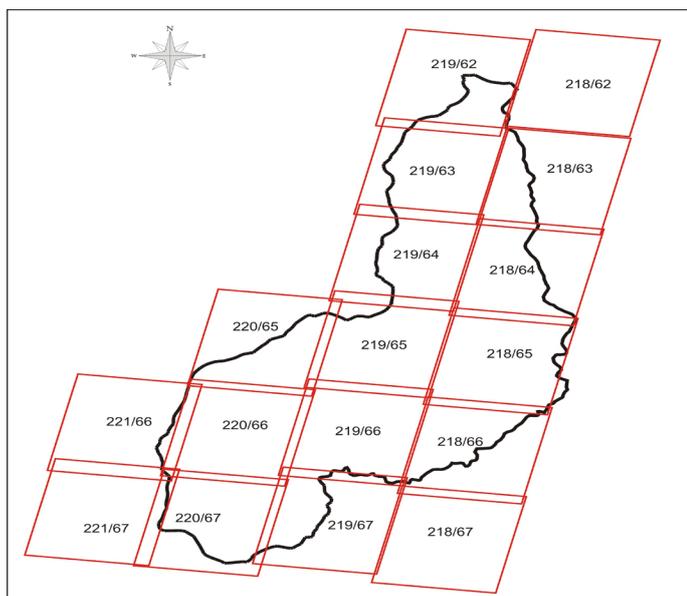


Figura 16 - Faixas de cobertura do satélite LANDSAT, com as órbitas ponto de cada cena e detalhamento para as áreas alvo

Figura 17 - Mapa Índice do Piauí com a cobertura das imagens de RADAR

6.2. Perfis de Poços das Áreas Seleccionadas para Construção dos Poços de Monitoramento

A CPRM/RETE conta com alguns perfis de poços da região de interesse, os quais estão sendo utilizados para a compreensão da configuração hidrogeológica das áreas de interesse. A Tabela 9 identifica os municípios e coordenadas dos locais em que foram obtidos perfis litológicos e construtivos de poços.

Tabela 9. Poços com perfis litológicos, situados nos municípios escolhidos para a perfuração dos poços da rede de monitoramento

POÇO	MUNICÍPIO	LONGITUDE W	LATITUDE S
1FS-02-PI	Francisco Santos	-41°10'28"	-07°00'29"
1-IP-01-PI	Itainópolis	-----	-----
1ST-01-PI	São Miguel do Tapuio	-40°-59'18"	-05°27'06"
4-DM-01-PI	Domingos Mourão	-41°15'00"	-04°15'36"
1-FS-01-PI	Francisco Santos	-41°10'28"	-07°00'29"

7. POÇOS DE MONITORAMENTO IMPLANTADOS

Até o momento (agosto/2012) foram perfurados e instalados nove piezômetros. As principais características dos poços de monitoramento implantados encontram-se apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10. Principais características dos poços construídos para o monitoramento no aquífero Serra Grande

MUNICÍPIO	LOCALIDADE	LATITUDE	LONGITUDE	ESTADO	NE	PROF	VAZÃO
São Miguel do Tapuio	Centro de Apoio à Pessoa Idosa	-5.512	-41.311	PI	4.10	80.00	6.00
Francisco Santos	Estádio Municipal	-6.996	-41.134	PI	15.00	120.00	2.40
Itainópolis	Ginásio Poliesportivo Gov. Guilherme Melo	-7.446	-41.479	PI	5.00	90.00	7.20
Conceição do Canindé	Quadra de Esporte Juraci Moreira de Freitas	-0.787	-41.597	PI	28.00	100.00	5.00
Domingos Mourão	Secretaria de Ação Social	-4.252	-41.274	PI	12.20	90.00	2.40
Buriti dos Lopes	Unidade Escolar Nasila de Souza Pires	-3.171	-41.862	PI	6.00	90.00	6.00
Cocal dos Alves	Unidade Escolar Teotônio Ferreira	-3.599	-41.441	PI	9.00	93.00	1.50

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conteúdo apresentado neste relatório trata-se de uma síntese dos dados secundários coletados a partir de estudos desenvolvidos na área de estudo do Projeto Rede Básica de Monitoramento Integrado das Águas Subterrâneas-RIMAS. A expectativa é de que com a evolução da rede

de monitoramento as informações possam ser enriquecidas.

Esta síntese demonstrou a representatividade do aquífero Serra Grande, diante dos demais mananciais de águas subterrâneas, e quanto ao suprimento hídrico de diversos municípios do estado do Piauí.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, P.P.; MARQUES, S.S.; Vulnerabilidade Natural de Aquíferos, Bacia do Parnaíba, escala 1:500.000. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 16, 2008, Natal. *Anais...Natal: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas*, 2008. 1CD
- BATISTA, J.R.X.; SANTIAGO, M.M.F.; FRISCHKORN, H.; MENDES FILHO, J.; FORSTER, M.; Isótopos Ambientais na Água Subterrânea de Picos-PI. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 10, 1998, São Paulo. *Anais...São Paulo: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas*, 1998. 1CD.
- CAPUTO, M.V.; LIMA, E.C.; Estratigrafia, idade e correlação do Grupo Serra Grande, Bacia do Parnaíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, 1984, Rio de Janeiro. *Anais...*, Rio de Janeiro: SBG, v. 2, p. 740-753, 1984.
- CARNEIRO, C.E.C.D.; SANTIAGO, M.M.F.; FRISCHKORN, H.; MENDES FILHO, J. FORSTER, M. Oxigênio-18, Deutério e Condutividade Elétrica para Caracterização da Água subterrânea no Vale do Gurguéia In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 10, 1998, São Paulo. *Anais...São Paulo: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas*, 1998. 1CD.
- CORREIA FILHO, F.L. *Projeto Borda Sudeste da Bacia Sedimentar do Parnaíba: Relatório Final*. Teresina: CPRM-Serviço Geológico do Brasil, 2009.153p.; 2v.
- CPRM- Serviço Geológico do Brasil. *Mapa Geológico do Piauí*, Teresina: CPRM/Residência de Teresina. 2006. 1 mapa e 8 mapas aux., color. Escala: 1:1.000.000.
- CRUZ, W.B.; FRANÇA, H.P.M.; *Água subterrânea sob condições artesianas na área de Picos-Piauí*. Recife, SUDENE. 1967.79 p.
- CUNHA, F.M.B. *Evolução paleozóica da Bacia do Parnaíba e seu arcaço tectônico*. 1986. 107 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro – Instituto de Geociências, Rio de Janeiro, 1986.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS-DNOCS. *Estudos de reconhecimento- Morro dos Cavalos (Vale do Fidalgo), Tomo II*. Teresina: Consórcio OESA-TECNOSOLO-OTI-EPTISA/DNOCS - 1ª Diretoria Regional-PI, 1972. Tomo II.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS-DNOCS. *Estudos de reconhecimento- Vale do Gurguéia*, Teresina: Consórcio OESA-TECNOSOLO-OTI-EPTISA/DNOCS - 1ª Diretoria Regional-PI, 1973. v.8.
- FEITOSA, E.C.; DEMETRIO, J.G.A. Hidráulica de captação conjunta dos Aquíferos Serra Grande e Cabeças na bacia do Parnaíba. *Revista Águas Subterrâneas*, ABAS: São Paulo, nº13, p.50-61, 1990.
- FOSTER S. Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. 1987. In: VAN DUIJVENBOODEN W, VANWAEGENINGH HG (eds) *Vulnerability of soil and groundwater to pollutants*. Committee on Hydrological Research, The Hague, 1987. pp 69–86
- GLCF- Global Land Cover Facility, Earth Science Data Interface, University of Maryland, Imagens Landsat 7. Disponível em: <<http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp> acesso em agosto 2009>.
- GÓES, A.M.O.; FEIJÓ, J.F.; *Bacia do Parnaíba*. Rio de Janeiro: PETROBRAS, 1994. Boletim de Geociências. vol. 8, n. 1, p. 57-67.
- KEGEL, W. *Águas Subterrâneas no Piauí*. Rio de Janeiro: DNPM, 1955. Boletim, n.156, 60p.
- LEAL, J. M. *Inventário hidrogeológico básico do Nordeste*, Folha n.8. Teresina-NE. Recife: SUDENE- Div. Reprografia, 1977.
- LIMA; M. G.; *Estimativa da Temperatura do Ar no Piauí*. Teresina: UFPI, 2002. 48 p.
- PLUMMER, F.B.; PRICE, L.I.; GOMES, F.A. *Estados do Maranhão e Piauí*. Relatório. Conselho. Nacional do Petróleo, 1948. p.87-134.
- SANTIAGO, M.F.; FRISCHKORN, H.; TORQUATO, J.R. Medidas isotópicas e hidroquímicas nos aquíferos subterrâneos da região de Simplício Mendes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32, 1982, Salvador. *Anais...Salvador: SBG*, 1982. v.4, p. 1727-1735.
- SANTOS, M. E. C. M.; CARVALHO, M. S. S. *Paleontologia das bacias do Parnaíba, São Luís e Grajaú*. Reconstituições paleobiológicas. Rio de Janeiro: CPRM-Serviço Geológico do Brasil, DGM/DILAPE, 2009. v. 1. 212 p.
- SMALL, H.L. *Geologia e suprimento d'água subterrânea no Ceará e parte do Piauí*. Rio de Janeiro: Insp. Obr. Contra as Secas. 1913. ser. I.D, 25, 80 p.
- SOARES FILHO, A. R.; LEAL, A. S. Perfil hidrogeológico do município Picos. Programa de água subterrânea para a região nordeste, Projeto Hidrogeológico do Piauí. Teresina: CPRM/RETE, 1997. 29p.

SRTM, Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Disponível em: <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>> Courtesy NASA/JPL-Caltech, 2003.

VERHAGEN, B.T.; MEBUS, M.A.; FROHLI, K.; WIRTH, K. 1991, *Isotope methods for the quantitative evaluation of groundwater resources in arid and semi arid areas*. Bonn: Federal Ministry for Economic Cooperation, Relatório. p. 60-71.

VIDAL, C. L. R. *Disponibilidade e gerenciamento Sustentável do Aquífero Serra Grande no Município de*

Picos- Piauí, 2003. 208f. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia - Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, São Paulo, 2003.

VOIGT, H.J.; HEINKELE, T.; JAHNKE, C.; WOLTER, R. Characterisation of Groundwater Vulnerability In Aquifer Vulnerability and Risk. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON AQUIFER VULNERABILITY AND RISK, 1, 2003, Salamanca Guanajuato, Mexico. *Proceedings...* Salamanca Guanajuato. 2003. p. 266-277.

10. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- AGUIAR, G. A. *Bacia do Maranhão; geologia e possibilidade de petróleo*. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, 1969. 55p. ilustr. (Relatório, 371).
- AGUIAR, R. B. *Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea, estado do Piauí, diagnóstico do município de Conceição do Canindé*, Fortaleza: CPRM- Serviço Geológico do Brasil, 2004.
- BLANKENNAGEL, R. K. *Sumário geológico e potencial de água subterrânea da margem leste da bacia do Maranhão, cobrindo o Estado do Piauí e uma pequena parte do Ceará*. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, 1962. 26 p. Inclui Bibliografia.
- BOURLON, N.; BERTHON, D. 1997. Modelagem de dados hidrogeológicos no município de Picos, Piauí. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12. 1997, Vitória. *Anais...* Vitória: ABRH. p. 201-207.
- CPRM- Serviço Geológico do Brasil. *Programa de Recenseamento de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea no Estado do Ceará, Diagnóstico do Município de Poranga*. Fortaleza: CPRM/REFO, 2004.
- CPRM- Serviço Geológico do Brasil. *Diagnóstico do município de Itainópolis*, Fortaleza: CPRM/REFO, 2004.
- CPRM- Serviço Geológico do Brasil. *Diagnóstico do município de Parnaíba*, Fortaleza: CPRM/REFO, 2004.
- KEGEL, W. *Pesquisa sistemática da água subterrânea na Bacia do Parnaíba (Piauí e Maranhão) e Bacia do Apodi*. Recife: SUDENE, 1961. 12p.
- KEGEL, W. *Estudos no Estado do Piauí*. Teresina: DNPM. Relatório. 1953. 18p.
- KEGEL, W. *As inconformidades na Bacia do Parnaíba e zonas adjacentes*. Rio de Janeiro: DNPM.- Div. Geologia e Mineralogia. 1956. 59 p. ilustr. (B., 160),
- LIMA, E.A.A.; LEITE, J.F. *Projeto estudo global dos recursos minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba: integração geológica-metalogenética- Relatório Final da Etapa III*. Recife: CPRM. 1978. 437p.
- MESNER, J.C.; WOOLDRIDGE, L.C.; *Estratigrafia das bacias pelezóica e cretácea do Maranhão (tradução condensada de W. M. Campos)*. Rio de Janeiro: PETROBRAS. 1964. Boletim técnico, p.. 137-164.
- SANTIAGO, M.F.; RÄDE, H.; TORQUATO, J.R. e GARRETT, L. - *Idade e movimento das águas subterrâneas na região de Picos – Piauí (Bacia do Parnaíba) e sua evolução hidroquímica*. In: BNB (ed.). *Estudo Hidrológico do Nordeste*. 1981. Série monografia, v.3: p.73-100.
- SOARES FILHO, A. R.; *Projeto estudo global dos recursos minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba: subprojeto hidrogeologia-folha 7*. Recife: CPRM, 1979.
- SOARES FILHO, A.R.; *Picos-perfil hidrogeológico do município*. Teresina: CPRM. 1993. 38p.

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