

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS DA ILHA DE SÃO LUÍS – MA

Subsídios para o Uso Sustentável
dos Recursos Hídricos



VOLUME IV Relatório Final

Vulnerabilidade e Perigo de Contaminação
Riscos de Intrusão Marinha
Recargas, Reservas, Disponibilidades
e Potencialidades
Modelo Numérico de Fluxo Subterrâneo
Gestão dos Recursos Hídricos



**SERVIÇO GEOLÓGICO
DO BRASIL – CPRM**



ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS DA ILHA DE SÃO LUÍS – MA

Subsídios para o Uso Sustentável dos Recursos Hídricos

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

PRESIDENTE

Jair Bolsonaro

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE

MINISTRO DE ESTADO

Ricardo Sales

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA

DIRETORIA COLEGIADA

Diretora Presidente

Christiane Dias Ferreira

Diretor de Hidrologia

Ney Maranhão

Diretor de Gestão

Ricardo Medeiros de Andrade

Diretor de Planejamento

Marcelo Cruz

Diretor de Regulação

Oscar de Moraes Cordeiro Netto

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

MINISTRO DE ESTADO

Bento Costa Lima Leite de Albuquerque Junior

**SECRETÁRIO DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E
TRANSFORMAÇÃO MINERAL**

Alexandre Vidigal de Oliveira

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor-presidente

Esteves Pedro Colnago

Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial

Antônio Carlos Bacelar Nunes

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

José Leonardo Silva Andriotti

Diretor de Administração e Finanças

Juliano de Souza Oliveira

Diretor de Infraestrutura Geocientífica

Fernando Pereira de Carvalho

Chefe do Departamento de Hidrologia

Frederico Cláudio Peixinho

Chefe da Divisão de Hidrogeologia e Exploração

João Alberto Oliveira Diniz

Agência Nacional de Águas – ANA
Ministério do Meio Ambiente

Serviço Geológico do Brasil – CPRM
Ministério de Minas e Energia

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS DA ILHA DE SÃO LUÍS – MA

Subsídios para o Uso Sustentável dos Recursos Hídricos

Relatório Final

VOLUME IV

Vulnerabilidade e Perigo de Contaminação

Riscos de Intrusão Marinha

Recargas, Reservas, Disponibilidades e Potencialidades

Modelo Numérico de Fluxo Subterrâneo

Gestão dos Recursos Hídricos

Brasília - DF
ANA | CPRM
2019

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA

Setor Policial, Área 5, Quadra 3, Blocos “B”, “L” e “M” e “T”.
CEP:70610-200, Brasília - DF - Brasil
PABX: (61) 2109-5400 / (61) 2109-5252
www.ana.gov.br

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

SEDE

Setor Bancário Norte - SBN Quadra 02, Bloco H - Asa Norte
Edifício Central Brasília
CEP: 70040-904, Brasília - DF - Brasil
Tel.: (61) 2108-8400

ESCRITÓRIO RIO DE JANEIRO

Avenida Pasteur, 404 - Urca
CEP: 22290-255, Rio de Janeiro - RJ - Brasil
Tel.: (21) 2295-0032
www.cprm.gov.br

EDITORAÇÃO

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

DIVISÃO DE EDITORAÇÃO GERAL – DIEDIG

Valter Barradas

Ricardo Motta

PROJETO GRÁFICO e DIAGRAMAÇÃO

Andréia Continentino

Agmar Alves Lopes

NORMATIZAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

DIVISÃO DE DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA – DIDOTE

Maria Gasparina de Lima

Isabel Angela dos Santos Matos

FOTOGRAFIAS

Imagens pertencem ao acervo da CPRM

Contato

Informações, críticas, sugestões, correções de dados.

sip@ana.gov.br

adriana.ferreira@ana.gov.br

© 2019 AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA

Todos os direitos reservados.

É permitida a reprodução de dados e de informações contidos nesta publicação, desde que citada a fonte.

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

E82 Estudos hidrogeológicos da Ilha de São Luís, MA : subsídios para o uso sustentável dos recursos hídricos : relatório final, volume IV/ Agência Nacional de Águas, Serviço Geológico do Brasil – CPRM. -- Brasília : ANA; CPRM, 2019.
1 recurso eletrônico : PDF

Nota de conteúdo: vulnerabilidade e perigo de contaminação, riscos de intrusão marinha, recargas, reservas, disponibilidades e potencialidades, modelo numérico de fluxo subterrâneo, gestão dos recursos hídricos.

ISBN 978-65-5664-224-6

1. Hidrogeologia. I. Agência Nacional de Águas (Brasil). II. Serviço Geológico do Brasil – CPRM. III. Título.

CDD 551.49

EQUIPE DE EXECUÇÃO

COORDENAÇÃO GERAL

João Alberto Oliveira Diniz

GESTOR

Carlos Eduardo Sobreira Leite

HIDROGEOLOGIA

Thiago Luís Feijó de Paula

João Alberto Oliveira Diniz

Carlos Eduardo Sobreira Leite

Viviane Cristina Vieira da Cunha

CADASTRO DE POÇOS E FONTES DE CONTAMINAÇÃO

Breno Augustos Beltrão

Manoel Júlio da Trindade Gomes Galvão

Bruno Eldorff

Cipriano Gomes de Oliveira

Frank José Gurgel Santos

Adão José Gomes

Luís Antônio Rodrigues Almendra

Saulo Moreira

HIDROLOGIA E CLIMA

João H. P. de B. Salgueiro

Éber Pinto de Andrade - Consultor

Alice Silva Castilho - Consultor

Fábio Araújo

José Carlos Souza da Silva

Eduardo da Silveira Wilson

HIDROGEOQUÍMICA E ISÓTOPOS

Tereza Cristina B. Villanueva

Idembergue Barroso Macedo de Moura

Mickaelon Belchior de Vasconcelos

Manoel Imbiriba

Clyvikh Renna Camacho

Liano Silva Veríssimo

Maria Antonieta Alcântara Mourão

Daniele Tokunaga Genaro

GEOFÍSICA

Oderson A. de Souza Filho

Bruce Fabini Franco Chiba

Rafael Ribeiro Severino

Jairo Jamerson Correia de Andrade

Nilo C. Pedrosa Jr

GEOLOGIA

Elem Cristina dos S. Lopes

Gisele Correa dos Anjos

José Paulo dos Santos Melo

Avelino Alves de Moraes

Edilberto Lisboa Leão

Lourenço Cardoso

SOLOS

Edgar Shinzato - Coordenador

Rogério Valença Ferreira

Marta Vasconcelos Ottoni

GEOMORFOLOGIA E USO E OCUPAÇÃO DOS SOLOS

Rogério Valença Ferreira

Marcelo Dantas

GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Roberto Eduardo Kirchhein

Andrea Segura Franzini

Camila Dalla Porta Mattiuzi

Andrea de Oliveira Germano

NIVELAMENTO GEODÉSICO

Rubens Esteves Kenup

Fábio Silva da Costa

SIG E BANCO DE DADOS

Robson de Carlo da Silva

Thiago Luiz Feijó de Paula

Franciele Eunice de Araújo

Rayssa Costa Pedrosa

CONSULTORES

Éber de Andrade Pinto

Alice Silva Castilho

Maria Antonieta Alcântara Mourão

Roberto Gusmão de Oliveira

Wenceslau Teixeira - EMBRAPA

Alba Martins - EMBRAPA

EQUIPE DE GESTÃO, SUPERVISÃO E FISCALIZAÇÃO

CPRM

Frederico Cláudio Peixinho -

Chefe do Departamento de Hidrologia (DEHID)

João Alberto Oliveira Diniz -

Chefe de Divisão de Hidrologia e Exploração (DIHEXP)

ANA

Tibério Magalhães Pinheiro -

Superintendente de Implementação de Planos, Programas e Projetos (SIP)

Flavia Carneiro da Cunha Oliveira (Adjunta)

Fernando Roberto de Oliveira -

Coordenador de Águas Subterrâneas (COSUB/SIP)

Fabício Bueno da Fonseca Cardoso (Substituto)

Adriana Niemeyer Pires Ferreira

Gestora do Projeto

Letícia Lemos de Moraes

Gestora Adjunta

COMISSÃO TÉCNICA DE ACOMPANHAMENTO E FISCALIZAÇÃO - CTAF

Liene Soares Pereira -

SEMA/SRH

Raimundo N. Medeiros da Silva -

SEMA/SRH (*in memorian*)

Breno Ruiz de Lima Verda da Silva

SEMA/SRH

Rebeca Cristina Nascimento Matos

SEMA/SRH

José Augusto dos Santos -

CAEMA (*in memorian*)

Wagner Gonzaga -

CAEMA

Suely Gonçalves da Conceição -

CAEMA

Felipe Negreiros de Moreira -

BRK Ambiental

Helder Dantas

BRK Ambiental

Lucas Pinheiro da Silva -

BRK Ambiental (substituto)

Ricardo Pereira Alves Mamede -

BRK Ambiental (substituto)

Ediléia D. Pereira -

Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Jorge Hamilton Souza dos Santos -

Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Alessandro Costa da Silva -

Universidade Estadual do Maranhão

(UEMA)

Jucivan Ribeiro Lopes -

Universidade Estadual do Maranhão

(UEMA)

Sara de C. Ribeiro -

Serviço Autônomo de Águas de Codó (CERH)

José Ronald Damasceno -

Região dos Lagos (CERH)

Myrcea Araújo Muniz -

Pref. Paço Lumiar

Suzane Andrade -

Pref. Paço Lumiar

Edmar Silva Castro -

Pref. Paço Lumiar (substituto)

Antônio Paulo da Silva Filho -

Pref. Paço Lumiar (substituto)

Flavio Bonfim -

Pref. Paço Lumiar (substituto)

Maria Madalena Xavier -

Pref. São José do Ribamar

Claudio Bastos Figueira -

Pref. São José do Ribamar

José Ribamar P.A. Coimbra -

Pref. São José do Ribamar

Claudio Bastos Figueira Junior -

Pref. São José do Ribamar

Divane Pinheiro da Silva -

Pref. São José do Ribamar

FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização	18
Figura 2: Avaliação da vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação (de acordo com FOSTER; HIRATA, 1988)	21
Figura 3: Profundidade do nível das águas subterrâneas na Ilha do Maranhão	23
Figura 4: Mapa de Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos à Contaminação (método GOD)	25
Figura 5: Fontes de poluição na Ilha de São Luís	28
Figura 6: Áreas agrícolas na Ilha de São Luís	30
Figura 7: Fontes de poluição difusas.....	31
Figura 8: Lixão no município de Paço do Lumiar	38
Figura 9: Depósitos clandestinos de lixo na Ilha de São Luís	39
Figura 10: Lixões e poços na Ilha do Maranhão	40
Figura 11: Fontes pontuais de poluição na Ilha do Maranhão	42
Figura 12: Perigo de contaminação das águas subterrâneas (FOSTER, 1987).....	43
Figura 13: Perigo de contaminação dos aquíferos na Ilha do Maranhão	44
Figura 14: Perigo de contaminação dos aquíferos na Bacia do rio Anil	45
Figura 15: Perigo de contaminação dos aquíferos na Bacia do rio Bacanga	46
Figura 16: Perigo de contaminação dos aquíferos na Bacia hidrográfica do rio Cachorros	47
Figura 17: Perigo de contaminação dos aquíferos na Bacia hidrográfica do rio Estiva	48
Figura 18: Perigo de contaminação dos aquíferos na Bacia hidrográfica do rio Guarapiranga.....	49
Figura 19: Perigo de contaminação dos aquíferos na Bacia hidrográfica do rio Inhaúma	50
Figura 20: Perigo de contaminação dos aquíferos na Bacia hidrográfica do rio Itaqui	51
Figura 21: Perigo de contaminação dos aquíferos na Bacia hidrográfica do rio Jeniparana	52
Figura 22: Perigo de contaminação dos aquíferos na Bacia hidrográfica do rio Paciência	53
Figura 23: Perigo de contaminação dos aquíferos na Bacia hidrográfica Praias	54

Figura 24: Perigo de contaminação dos aquíferos na Bacia hidrográfica do rio Santo Antônio.....	55
Figura 25: Perigo de contaminação dos aquíferos na Bacia hidrográfica do rio Tibiri	56
Figura 26: Perigo de contaminação dos aquíferos na Bacia Tauá-Mirim	57
Figura 27: Zona de Influência (ZI).....	59
Figura 28: Modelo do Raio Fixo Calculado (RFC)	62
Figura 29: Ábaco para cálculo do perímetro intermediário de proteção	65
Figura 30: Ocorrência dos aquíferos (índice “G” do método Galdit)	69
Figura 31: Distribuição das condutividades hidráulicas do Aquífero (m/dia)	70
Figura 32: Parâmetro L (Galdit) Altura da água acima do nível do mar.....	71
Figura 33: Distância dos aquíferos em relação à linha de costa	73
Figura 34: Estado atual do impacto existente da intrusão da água do mar no aquífero (mEq/l)	74
Figura 35: Espessura dos aquíferos.....	75
Figura 36: Mapa de vulnerabilidade a salinização dos aquíferos da Ilha de São Luís – MA.....	76
Figura 37: Configuração normal da interface água doce/água salgada em regiões insulares.....	77
Figura 38: Seção geoeletrica E – F na Ilha de São Luís.....	78
Figura 39: Seção geoeletrica A – B na Ilha de São Luís	78
Figura 40: Distribuição da população nas bacias hidrográficas da Ilha do Maranhão (IBGE, 2011).....	83
Figura 41: Variações dos níveis de água subterrânea medidos em poços da rede RIMAS, entre agosto/2018 e abril/2019	84
Figura 42: Cálculo da Vazão de Escoamento Natural (VEN)	87
Figura 43: Altura da água sob pressão no aquífero Itapecuru.....	89
Figura 44: Drenanças verticais entre os aquíferos	91
Figura 45: Espessura saturada e total do aquífero São Luís.....	93
Figura 46: Espessuras saturadas do aquífero São Luís.....	94
Figura 47: Representação dos parâmetros utilizados no cálculo das reservas de aquíferos porosos.....	96
Figura 48: Espessuras drenáveis e sob pressão do aquífero Itapecuru.....	97
Figura 49: Espessuras saturadas – Aquífero Itapecuru	99

Figura 50: Etapas da modelagem numérica	104
Figura 51: Compartimentação dos aquíferos na Ilha de São Luís	107
Figura 52: O modelo hidrogeológico conceitual da Ilha de São Luís.....	108
Figura 53: Discretização horizontal do grid.....	111
Figura 54: Topo da camada 1 do modelo (baseada na imagem SRTM.....	112
Figura 55: Base da Camada 1 (espessura do Aquífero São Luís).....	113
Figura 56: Representação da discretização horizontal e vertical do modelo numérico.....	114
Figura 57: Classes de condutividade hidráulica (m/s) para o Aquífero São Luís	115
Figura 58: Distribuição das propriedades hidrodinâmicas no modelo numérico.....	116
Figura 59: Cargas Hidráulicas iniciais aplicadas no Modelo de São Luís	117
Figura 60: Drenos inseridos no Modelo Numérico	118
Figura 61: Zonas de distribuição de Recarga no Aquífero São Luís (Camada1).....	119
Figura 62: Cargas Constantes e GHB (Camada 1).....	120
Figura 63: Poços de Bombeamento.....	121
Figura 64: Localização dos poços de observação cujos dados serviram à calibração do modelo numérico.....	122
Figura 65: Gráfico de calibração dos níveis d'água em regime transiente no final do período seco de 2017.....	128
Figura 66: Gráfico de calibração dos níveis d'água em regime transiente no final do período chuvoso de 2018	128
Figura 67: Cargas Hidráulicas (m) calibradas no período seco de 2017.....	129
Figura 68: Cargas Hidráulicas (m) calibradas no período chuvoso de 2018	130
Figura 69: Cargas hidráulicas no final do período de calibração – 30/06/2018	131
Figura 70: Cargas hidráulicas resultantes do cenário 1 – 31/12/2028.....	131
Figura 71: Cargas hidráulicas resultantes do cenário 1 – 31/12/2038.....	132
Figura 72: Cargas hidráulicas resultantes do cenário 1 – 30/06/2050.....	132
Figura 73: Cargas hidráulicas resultantes do cenário 2 – 31/12/2028.....	133
Figura 74: Cargas hidráulicas resultantes do cenário 2 – 31/12/2038.....	134
Figura 75: Cargas hidráulicas resultantes do cenário 2 – 30/06/2050.....	134
Figura 76: Cargas hidráulicas resultantes do cenário 3 – 31/12/2028.....	135
Figura 77: Cargas hidráulicas resultantes do cenário 3 – 31/12/2038.....	136
Figura 78: Cargas hidráulicas resultantes do cenário 3 – 30/06/2050.....	136

Figura 79: Cargas hidráulicas resultantes do cenário 4 – 31/12/2028.....	137
Figura 80: Cargas hidráulicas resultantes do cenário 4 – 31/12/2038.....	137
Figura 81: Cargas hidráulicas resultantes do cenário 4 – 30/06/2050.....	138
Figura 82: O Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SINGREH) (FONTE: MDR)	140
Figura 83: Relação oferta x demanda de água na Ilha de São Luís	147
Figura 84: Ciclos vicioso e virtuoso na gestão dos recursos hídricos	150
Figura 85: Diagrama ontológico da estrutura do sistema e dos subsistemas para a gestão de águas subterrâneas	151
Figura 86: Programa de Ações Estratégicas – PAE da Ilha de São Luís	153
Figura 87: Proposta de implantação de rede de monitoramento na Ilha de São Luís	155
Figura 88: Seções Medidoras localizadas na Ilha do Maranhão.....	159
Figura 89: Áreas de restrição de uso das águas subterrâneas na Ilha de São Luís para os aquíferos São Luís e Itapecuru.....	166
Figura 90: Zona principal de restrição de águas subterrâneas na Ilha de São Luís, determinada pela utilização dos indicadorespropostos.	169
Figura 91: Linhas de tendências significativas	176

FOTOS

Foto 1: Curral bovino no Distrito Industrial de São Luís.....	32
Foto 2: Estado geral dos poços cadastrados na Ilha do Maranhão	61
Foto 3: Limites territoriais imprecisos entre os municípios de Paço do Lumiar e São José de Ribamar (FONTE: MOREIRA, 2013).....	148

TABELAS

Tabela 1: Área, população e densidade demográfica dos municípios da ilha de São Luís (FONTE: IPEA, 2014)	20
Tabela 2: Classes de Vulnerabilidade (FOSTER; HIRATA, 1998)	24
Tabela 3: Fontes de poluição e tipos de contaminantes.....	27
Tabela 4: Densidade demográfica nos municípios da Ilha do Maranhão	29

Tabela 5: Classificação das fontes de poluição pelo sistema POSH	29
Tabela 6: Fontes de poluição na Ilha de São Luís	32
Tabela 7: Índices de risco para atividades industriais comuns.....	41
Tabela 8: Áreas, população e densidade populacionais das principais bacias hidrográficas.....	58
Tabela 9: Principais características dos métodos empregados para delimitar perímetros de proteção de poços em meios com porosidade intergranular	63
Tabela 10: Perímetro de Proteção Intermediário, vazões diárias e espessuras saturadas	64
Tabela 11: Parâmetros, intervalos e índices do método GALDIT.....	67
Tabela 12: Recargas do Sistema Aquífero São Luís a partir do balanço hídrico no solo	82
Tabela 13: Cálculo das recargas a partir de dados da RIMAS	85
Tabela 14: Valores da recarga calculados pelos diversos métodos	88
Tabela 15: Reservas total, permanente e renovável do Sistema Aquífero São Luís	95
Tabela 16: Reservas de saturação para o aquífero Itapecuru na Ilha do Maranhão.....	98
Tabela 17: Volumes de drenanças verticais entre os aquíferos da Ilha de São Luís	102
Tabela 18: Reservas Potenciais Explotáveis por Bacia Hidrográfica - Sistema Aquífero São Luís.....	102
Tabela 19: Reservas explotáveis do Aquífero Itapecuru na Ilha de São Luís	103
Tabela 20: Unidades geológicas da Ilha de São Luís.....	105
Tabela 21: Dados de cota do nível d'água subterrânea (NA) utilizados para a calibração do modelo numérico	123
Tabela 22: Períodos de tempo utilizados na calibração em regime transiente.....	125
Tabela 23: K (m/s), Ss e Sy calibrados no modelo.....	125
Tabela 24: Recargas calibradas no modelo em regime transiente (Recargas Naturais e Urbanas)	126
Tabela 25: Resoluções do CNRH relativas às águas subterrâneas	142
Tabela 26: Detalhamento dos poços propostos para a rede de monitoramento	156

Tabela 27: Características das seções medidoras da Ilha do Maranhão	160
Tabela 28: Linhas de ação	161
Tabela 29: Indicadores do uso de águas subterrâneas	163
Tabela 30: Cálculo dos Indicadores do uso de águas subterrâneas na Ilha de São Luís	164

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO	17
1.1. A ÁREA DE ESTUDOS	20
1.2. VULNERABILIDADE NATURAL DOS AQUÍFEROS À CONTAMINAÇÃO	20
1.2.1. Conceitos Básicos	20
1.2.2. A vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação na Ilha do Maranhão	21
2. VULNERABILIDADE, PERIGO DE CONTAMINAÇÃO E RISCO DE INTRUSÕESSALINAS	26
2.1. FONTES DE POLUIÇÃO	26
2.1.1. Fontes de contaminação difusas	30
2.1.2. Fontes de poluição pontuais	32
2.2. PERIGO DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	43
2.3. ÁREAS DE PROTEÇÃO DE FONTES DE ABASTECIMENTO SUBTERRÂNEAS.....	58
2.3.1. Os Perímetros de Proteção de Poços (PPP) na Ilha de São Luís	60
2.3.1.1. O Perímetro de Proteção Imediato	60
2.3.1.2. Perímetro Intermediário ou Zona Intermediária	62
2.3.1.3. Perímetro de Proteção Ampliado ou Zona Ampliada	65
2.4. RISCOS DE INTRUSÕES SALINAS	65
2.4.1. O Método GALDIT	65
2.4.2. Aplicação do método à Ilha de São Luís.....	68
2.4.3. Considerações finais sobre os riscos à salinização	77
3. RECARGAS, RESERVAS, DISPONIBILIDADES E POTENCIALIDADES.....	79
3.1. RECARGAS	79
3.1.1. No Aquífero São Luís.....	80
3.1.2. No Aquífero Itapecuru	88
3.2. RESERVAS	92
3.3. RESERVAS RENOVÁVEIS OU REGULADORAS – AQUÍFERO SÃO LUÍS	92
3.4. RESERVAS PERMANENTES OU SECULARES AQUÍFERO SÃO LUÍS	92
3.5. RESERVAS PERMANENTES – AQUÍFERO ITAPECURU	96
4. DISPONIBILIDADES	100
4.1. AQUÍFERO SÃO LUÍS	100
4.2. Aquífero Itapecuru.....	103
5. MODELO NUMÉRICO E DE FLUXO SUBTERRÂNEO NA ILHA DE SÃO LUÍS	104
5.1. O MODELO CONCEITUAL DO FLUXO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	105
5.1.1. Compartimentação geológica e hidrogeológica	105

5.2. SELEÇÃO E CARACTERÍSTICAS DO MODELO NUMÉRICO.....	108
5.3. MONTAGEM DO MODELO	109
5.3.1. Grid.....	109
5.3.2. Propriedades hidráulicas.....	115
5.3.3. Cargas hidráulicas iniciais.....	117
5.3.4. Condições de contorno	117
5.3.5. Poços de observação	121
5.4. CALIBRAÇÃO.....	124
5.5. SIMULAÇÕES	130
5.6. CONCLUSÕES	138
6. ASPECTOS LEGAIS	140
6.1. LEIS, DECRETOS E REGULAMENTOS FEDERAIS E ESTADUAIS	140
6.2. OS PLANOS DIRETORES MUNICIPAIS	144
6.2.1. O Plano Diretor da cidade de São Luís (Lei nº 4669, de 11 de outubro de 2006).....	145
6.2.2. O Plano Diretor de São José de Ribamar (Lei Municipal nº 645 de 10 de outubro de 2006).....	145
6.2.3. Plano Diretor de Paço do Lumiar (Lei Municipal 335, de 25 de setembro 2006).....	145
6.2.4. Município de Raposa (Lei nº 113 de 06 de outubro de 2006)	146
6.2.5. O Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado – PDDI da Região Metropolitana da Grande São Luís (Lei Estadual Complementar nº 174, de 25 de maio de 2015)	146
6.3. A SITUAÇÃO ATUAL DA GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS	147
6.3.1. Atuação dos órgãos/instituições envolvidos na gestão dos recursos hídricos	148
7. PROCEDIMENTOS PARA A GESTÃO INTEGRADA DOS RECURSOS HÍDRICOS	149
7.1. ASPECTOS GERAIS	149
8. A GESTÃO INTEGRADA DOS RECURSOS HÍDRICOS NA ILHA DO MARANHÃO	152
8.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS	152
8.2. O PROGRAMA DE AÇÕES ESTRATÉGICAS DA ILHA DE SÃO LUÍS	154
8.2.1. Área Estratégica I – Gestão da Informação	154
8.2.1.1. Informações relacionadas com o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos, disponibilizadas na forma de um Sistema de Informações Geográficas (SIG SÃO LUÍS)	154
8.2.1.2. Informações disponíveis em tempo real, permitindo decisões operacionais, com base nos sistemas de monitoramento e alerta	154
8.2.1.3. Implantação de sistemas de apoio à decisão	160

8.2.2. Área Estratégica II – Desenvolvimento Sustentável dos Recursos Hídricos (Plano de recursos hídricos articulado com o manejo de bacias e ordenamento territorial).....	160
8.2.3. Área Estratégica III - Pesquisa e Desenvolvimento.....	170
8.2.4. Área Estratégica IV - Fortalecimento Institucional.....	171
8.2.5. Área Estratégica V - Educação, Formação, Mobilização Social	171
9. SÍNTESE E CONCLUSÕES	173
REFERENCIAS.....	177

ANEXO 1

Ficha de Cadastro de Fontes de Poluição

ANEXO 2

Dados brutos das sondagens elétricas verticais efetuadas na área de estudo

ANEXO 3

Estratégias de Gestão



OCEANO ATLÂNTICO

RAPOSA

PAÇO
DO LUMIAR

SÃO LUÍS

SÃO JOSÉ
DE RIBAMAR

BAÍA DE SÃO JOSÉ

BAÍA DO ARRAIAL

O PLANO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (PNRH), aprovado pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos, por meio da Resolução nº 058, de 30 de janeiro de 2006, configura-se como instrumento norteador da implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e pauta a atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SINGREH, em consonância com os fundamentos da descentralização e da participação na gestão dos recursos hídricos, preconizados pela Lei 9.433/97. A Agência Nacional de Águas – ANA, na condição de entidade federal implementadora do PNRH, em obediência aos preceitos acima, instituiu a Agenda de Ações para a Gestão Integrada dos Recursos Hídricos Superficiais e Subterrâneos, que tem como objetivo principal fortalecer a implementação da gestão integrada de recursos hídricos superficiais e subterrâneos no Brasil.

Neste sentido, foi elaborado um projeto técnico visando a avaliação dos recursos hídricos subterrâneos da Ilha de São Luís e suas interações com os mananciais superficiais. Esse projeto visa subsidiar a gestão de recursos hídricos, a apresentação de sugestões de normas e procedimentos de gestão, a indicação de diretrizes para uma exploração sustentável e a verificação da possibilidade de ampliação do uso das águas subterrâneas como incremento ao sistema de abastecimento na região. A localização da área estudada e dos municípios beneficiados pode ser vista na Figura 1.

Os trabalhos desenvolvidos, embora enfatizem as águas subterrâneas, tratam da avaliação dos recursos hídricos totais da Ilha, visando subsidiar a gestão tanto das águas subterrâneas quanto das águas superficiais.

O crescimento populacional dos municípios da Ilha de São Luís nas últimas décadas tem sido bastante expressivo, com média de 22% entre 2000 e 2010, destacando-se neste contexto o município de São José do Ribamar com incremento de 54% no período (IBGE, 2011). O incremento no desenvolvimento populacional e socioeconômico se reflete diretamente na demanda pelo uso da água.

Tendo em vista a crescente demanda local pelos recursos hídricos, sobressai-se a preocupação com um possível aumento de crises hídricas relacionadas à sua utilização, as quais podem ser agravadas pela demanda descontrolada e por reduções nas recargas de águas subterrâneas, que pode ter causas antrópicas ou naturais, tornando-se imprescindível e urgente a necessidade de se conhecer a disponibilidade hídrica subterrânea atual e suas interações com os mananciais superficiais, sua vulnerabilidade à contaminação, bem como projetar cenários futuros de exploração. Somente considerando os usos conjuntos das águas de superfície e subterrânea e o prognóstico dos seus efeitos sobre a disponibilidade hídrica total nas bacias se tornará possível a tomada de decisões estratégicas para a preservação dos mananciais em bases técnicas e científicas consistentes.

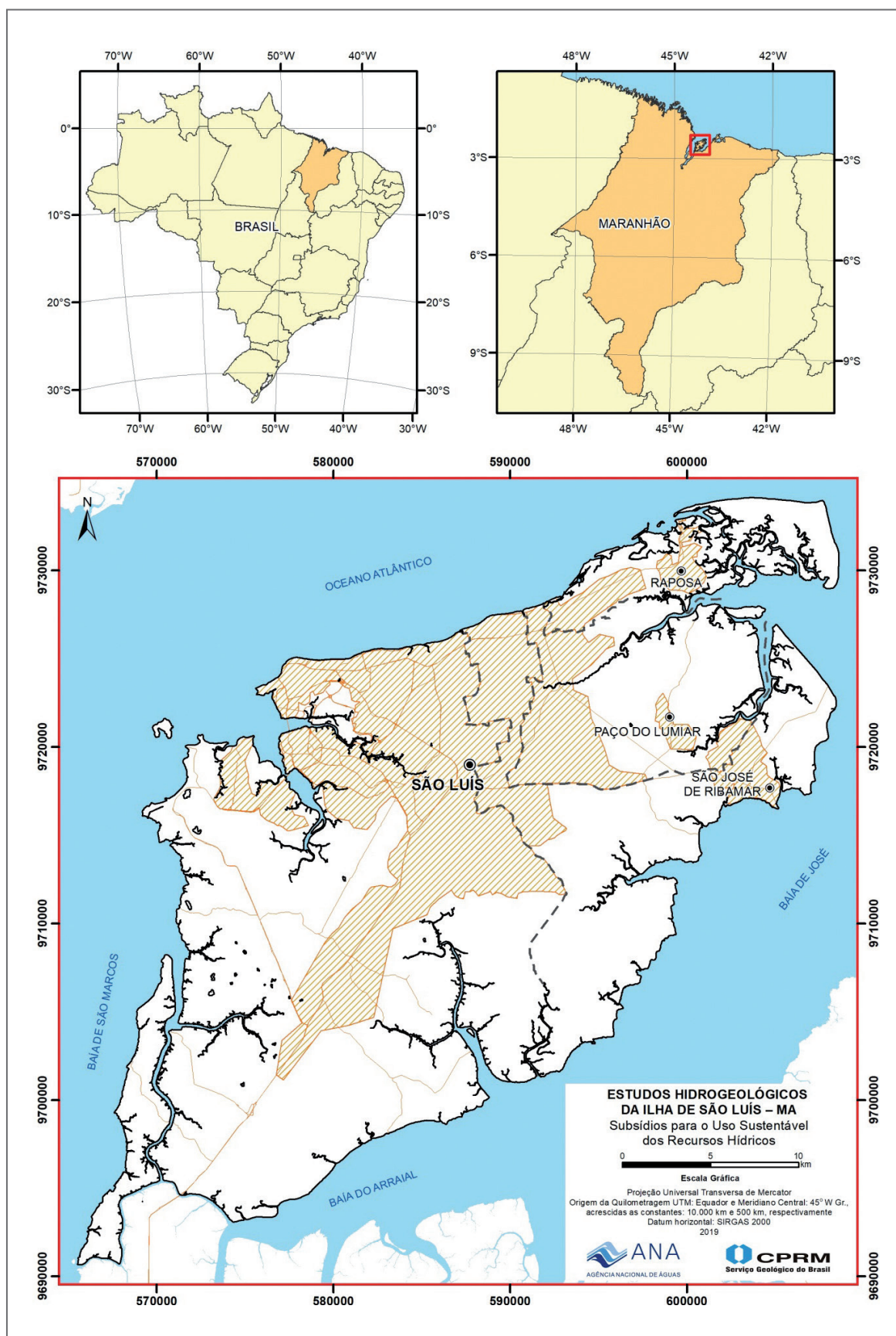


Figura 1: Mapa de localização



Neste RELATÓRIO FINAL se apresenta a consolidação do trabalho, iniciado em setembro de 2016, tendo, portanto, uma duração de 36 meses de pesquisas. Durante esse período foram elaborados 9 (nove) relatórios parciais, todos sistematicamente analisados e corrigidos por representantes da Comissão Técnica de Acompanhamento e Fiscalização – CTAF, constituída por instituições públicas (órgão gestor de recursos hídricos, Universidades, e Prefeituras Municipais), empresas de saneamento e a sociedade civil. No caso deste Estudo da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA), Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão (CAEMA), BRK Ambiental, Universidade Federal e Estadual do Maranhão (UFMA e UEMA), do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH), e das Prefeituras de Paço do Lumiar e São José de Ribamar. O relatório encontra-se estruturado da seguinte forma:

VOLUME I: Caracterização do Meio Físico

Engloba informações relativas à caracterização geológica da área, estudos geofísicos, geomorfologia, solos e uso e ocupação do solo na Ilha de São Luís.

VOLUME II: Hidroclimatologia e Avaliação Urbana

Apresenta a avaliação hidroclimática, avaliação hidrológica, balanço hídrico e estimativa das recargas naturais, com uma caracterização dos sistemas de drenagem urbana, esgotamento sanitário e de abastecimento de água de forma a avaliar o impacto da urbanização na recarga de forma a estimar as recargas urbanas.

VOLUME III: Hidrogeologia

Reúne toda a informação hidrogeológica, hidroquímica e isotópica levantada neste estudo, tanto em trabalhos de campo como em outros trabalhos anteriores de forma a consolidar toda a informação hidrogeológica existente necessária para embasar a gestão das águas subterrâneas.

Volume IV: Ferramentas e estratégias de gestão

Discute os dispositivos legais hoje existentes na Ilha de São Luís relativos aos recursos hídricos e a situação atual de sua gestão na Ilha, apresenta o sistema hídrico local, discorrendo sobre suas vulnerabilidades a contaminações e à salinização, elenca as principais fontes de contaminação presentes na Ilha, alertando para o perigo de contaminação das águas subterrâneas, para cada uma das bacias hidrográficas existentes. Discorre sobre as áreas de proteção de poços e de aquíferos, apresenta novas estimativas de recarga, avalia reservas e esboça um mapa de zonas de restrição de uso de águas subterrâneas. No final, a partir da modelagem matemática da área, faz previsões sobre possíveis cenários futuros da exploração.

Volume V: Mapas em PDF na escala 1:50.000

1.1. A ÁREA DE ESTUDOS

Os principais dados populacionais da ilha de São Luís (área metropolitana de acordo com a LCE nº 38/1998), encontram-se resumidos na Tabela 1 (IPEA, 2014).

Tabela 1: Área, população e densidade demográfica dos municípios da ilha de São Luís
(FONTE: IPEA, 2014)

MUNICÍPIO	POPULAÇÃO	ÁREA (KM ²)	DENSIDADE DEMOGRÁFICA (HAB./KM ²)
São Luís	1.014.837	834,781	1215,69
São José do Ribamar	163.045	388,369	419,82
Paço do Lumiar	105.121	124,753	842,63
Raposa	26.327	64,353	409,1

A área de estudos, bem como a delimitação dos respectivos municípios pode ser vista na Figura 1.

Limita-se a norte com o Oceano Atlântico, a oeste com a Baía de São Marcos, a leste com a Baía de São José e a sul com o Estreito dos Mosquitos. Está ligada ao interior do estado e ao estado do Piauí pela Ferrovia São Luís – Teresina (Ferrovia Transnordestina), e aos estados do Pará e Tocantins por meio da Estrada de Ferro Carajás e pela Ferrovia Norte/Sul, esta última prolongando-se até a Região Centro-Oeste, facilitando o escoamento de safras para o Porto de Itaqui. Por via rodoviária, o principal acesso se faz pela BR – 135, que liga a ilha ao continente. O transporte aéreo é feito por meio do Aeroporto Marechal Cunha Machado. Conta ainda com um serviço de *ferry-boats*, que faz sua ligação com o município de Alcântara.

Limita-se pelas coordenadas 02°22'23" e 02°51'00" Lat. Sul; 44°26'41" e 43°59'41" Long. Oeste. Faz parte do Sistema Hidrográfico das Ilhas Maranhenses, caracterizando-se como espaços que vem, ao longo dos anos, sendo ocupados de forma não ordenada, desrespeitando as condições do meio natural. É considerada uma ilha – península, dada sua compleição insular ante a existência de um estreito canal (mosquitos) que a separa da Baixada de Perizes e a interliga às baías de São José e São Marcos (PEREIRA, 2018).

1.2. VULNERABILIDADE NATURAL DOS AQUÍFEROS À CONTAMINAÇÃO

1.2.1. Conceitos Básicos

Na natureza, os aquíferos e as águas subterrâneas se apresentam naturalmente vulneráveis às contaminações externas em maior ou menor proporção, com graus de sensibilidade que dependem exclusivamente de suas características intrínsecas, como grau de confinamento, litologia das unidades sobrepostas, e profundidade do lençol freático, entre outros aspectos (Figura 2). A cartografia dessas feições se reveste de grande importância para fins de gerenciamento de recursos hídricos.

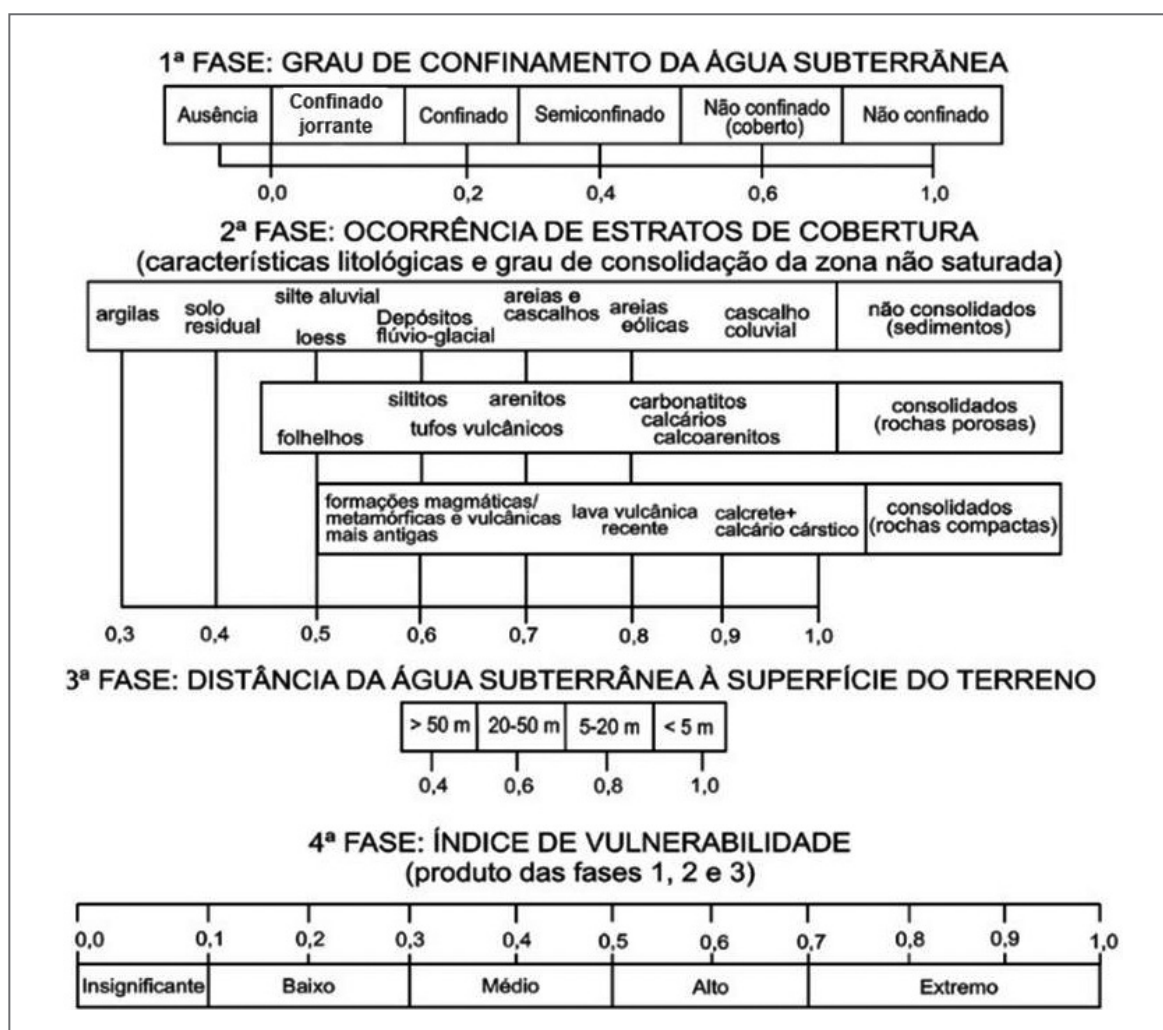


Figura 2: Avaliação da vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação (de acordo com FOSTER; HIRATA, 1988)

Em função destas características define-se o conceito de vulnerabilidade natural à contaminação. Quando utilizado conjuntamente com o levantamento das cargas contaminantes presentes, permite a determinação do perigo potencial de poluição/contaminação no local.

O mecanismo de poluição das águas subterrâneas está ligado ao processo de recarga do aquífero, a partir da infiltração superficial, ocorrendo nos pontos em que a carga contaminante gerada por atividades antrópicas (emissões, lixiviados, etc.) inadequadamente manuseadas, excede a capacidade de atenuação natural dos solos e das camadas de cobertura (FOSTER *et al.*, 2006).

1.2.2. A vulnerabilidade natural dos aquíferos à contaminação na Ilha do Maranhão

A estimativa do grau de vulnerabilidade natural dos aquíferos da Ilha do Maranhão e a posterior hierarquização e cartografia de diversas zonas existentes foi baseada no método GOD (*Groundwater occurrence, Overall lithology of the unsaturated zone, Depth to the water table*), conforme metodologia proposta por Foster e Hirata (1998).



De acordo com esses autores, considera-se um índice de classificação proveniente da avaliação de parâmetros como grau de confinamento da água subterrânea, ocorrência de estratos de cobertura e distância até o lençol freático. Cada parâmetro corresponde a um número entre 0 e 1, e o produto destes valores resulta no Índice que define a hierarquia das classes de vulnerabilidade dos aquíferos à contaminação, como pode ser visto na Figura 2.

Na Ilha de São Luís, para avaliar o parâmetro “*grau de confinamento da água subterrânea*” foi considerado que o principal aquífero livre existente é representado pelo Sistema Aquífero São Luís, formado pelas unidades Pós-Barreiras/Barreiras/Cujupe, de ocorrência geral por toda área. As demais unidades Cenozóicas (Mangues, Aluviões, Depósitos Eólicos, etc.), também formam aquíferos livres. Essas unidades receberam peso 1, de acordo com a classificação proposta (Figura 2).

O Sistema Aquífero Itapecuru - Unidades Alcântara e Itapecuru Indiferenciado, que ocorre soto-posto as unidades mais recentes recebeu o peso 0,6.

Para a avaliação do parâmetro “*ocorrência de estratos de cobertura*”, foram consideradas as litologias predominantes ou limitantes, em termos de permeabilidade, das unidades aquíferas que ocorrem na área do projeto.

Os litotipos do aquífero São Luís, composto pelas formações Cuijupé/Barreiras/Pós-Barreiras, se constituem, de uma maneira geral, predominantemente de arenitos finos a médios, por vezes conglomeráticos, com intercalações de lentes de Pós-Barreiras, adicionalmente, representam um retrabalhamento (lixiviação) das unidades inferiores, que certamente, com a retirada dos finos da formação, teve sua porosidade aumentada. Assim, receberam peso 0,7 com relação a litologia. Os silte e argila, ainda que os primeiros tenham uma maior fração fina. Os Depósitos Depósitos Cenozóicos representados pelas aluviões, depósitos eólicos e depósitos litorâneos, inconsolidados, receberam peso 0,9, enquanto os mangues, com grande teor de finos, matéria orgânica e argilas expansivas, receberam o peso 0,3.

Uma vez que não se dispunha de níveis estáticos reais dos poços (devido ao fato de que a grande maioria desses níveis foram obtidos em poços em pleno bombeamento), a avaliação do parâmetro “*distância até o lençol freático*” baseou-se na elaboração de uma superfície freática, utilizando o modelo digital de terreno (MDT) de resolução espacial 30 metros. Pontos em drenagens superficiais foram extraídos, considerando-os como áreas de descarga dos aquíferos, para gerar uma superfície numérica do nível freático e subtraí-la da superfície do Modelo Digital de Terreno. Após o resultado da subtração entre as superfícies, os valores de profundidade do nível de água foram separados em intervalos de classes conforme o método adotado (Figura 3).

O índice de classificação utilizado para a elaboração do mapa de vulnerabilidade natural foi obtido utilizando métodos de geoprocessamento, multiplicando os valores referentes aos planos de informação dos três parâmetros avaliados. Os valores dos resultados obtidos foram enquadrados nos intervalos de classe de vulnerabilidade à contaminação (Tabela 2), conforme proposto por Foster e Hirata (1998).

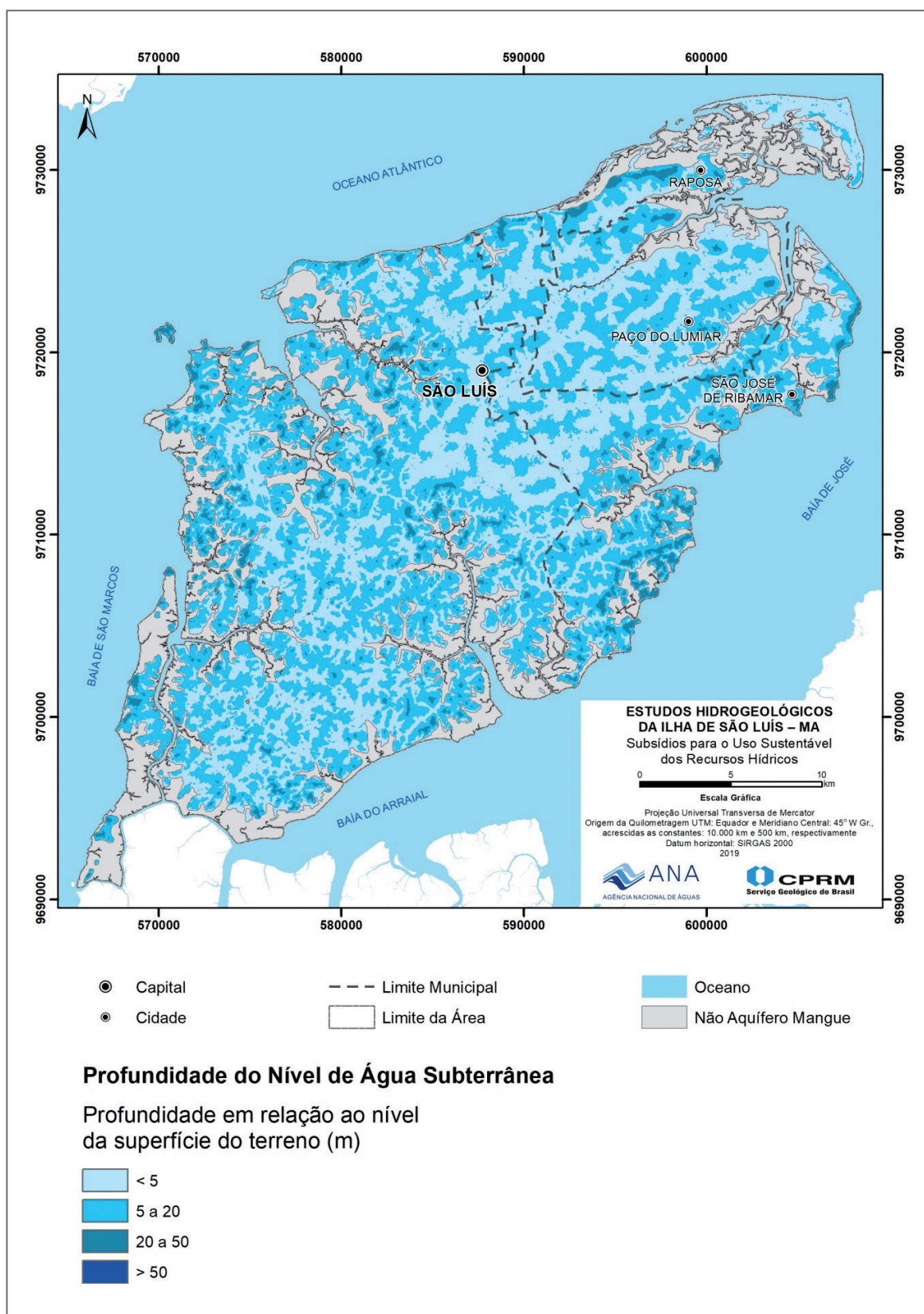


Figura 3: Profundidade do nível das águas subterrâneas na Ilha do Maranhão

Tabela 2: Classes de Vulnerabilidade (FOSTER; HIRATA, 1998)

CLASSES DE VULNERABILIDADE	CARACTERÍSTICAS
Extrema	Vulnerável à maioria dos contaminantes com impacto rápido em muitos cenários de contaminação.
Alta	Vulnerável a muitos contaminantes (exceto os que são fortemente adsorvidos ou rapidamente transformados) em muitas condições de contaminação.
Moderada	Vulnerável a alguns contaminantes, mas somente quando continuamente lançados ou lixiviados.
Baixa	Vulnerável somente a contaminantes conservadores, a longo prazo, quando contínua e amplamente lançados ou lixiviados.
Insignificante	Presença de camadas confinantes sem fluxo vertical significativo de água subterrânea (percolação).

O “Mapa de Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos”, mostrado na Figura 4 evidencia a predominante condição de alta vulnerabilidade natural dos aquíferos na Ilha, determinada de acordo com o método adotado.

Na classificação da zona do extremo NE da área como “alta” em termos de vulnerabilidade, se considera que o aquífero local, composto por dunas arenosas, aflorantes e muito permeáveis, pela sua configuração topográfica, formando altas elevações, sempre superiores aos 20m, constituem aquíferos de passagem, retendo água apenas nas suas porções mais inferiores, antes da infiltração para as unidades subjacentes. Assim, considerando níveis desta ordem de grandeza ($\geq 20\text{m}$), o produto dos índices G (*Groundwater occurrence* = 1), O (*Overall lithology of the unsaturated zone* = 1) e D (*Depth to the water table*) = 0,6) referidos na Figura 2, é de 0,6, o que implica em um índice de vulnerabilidade alto.

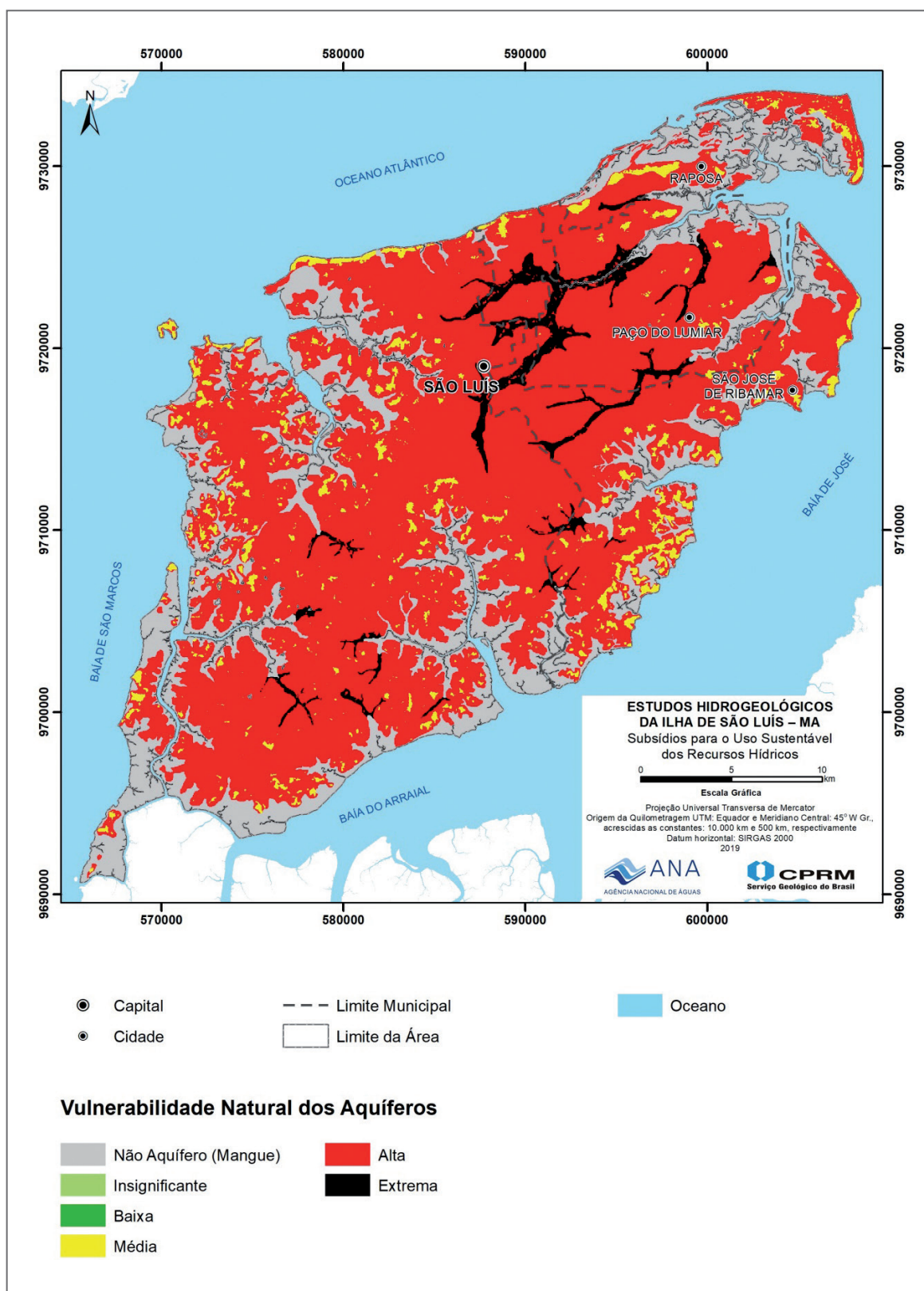


Figura 4: Mapa de Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos à Contaminação (método GOD)

2 VULNERABILIDADE, PERIGO DE CONTAMINAÇÃO E RISCO DE INTRUSÕES SALINAS

2.1. FONTES DE POLUIÇÃO

Os principais contaminantes de águas subterrâneas incluem produtos químicos, como metais pesados, solventes orgânicos, óleos minerais, pesticidas e fertilizantes, e contaminantes microbianológicos como bactérias fecais e vírus. Os nitratos são os de ocorrência mais generalizada e problemática, devido a sua mobilidade e estabilidade. Os metais pesados perigosos (cádmio, cromo, chumbo, mercúrio) migram em condições de pH extremos. Os constituintes orgânicos, alcanos e alquenos clorados apresentam a maior ameaça por serem relativamente solúveis na água. A contaminação por microrganismos patogênicos, embora de alcance restrito dentro do meio subterrâneo, merece atenção pelas doenças de veiculação hídrica que comumente acarretam (HIRATA, 1994; FOSTER *et al.*, 2006; HISCOCK, 2014).

Conforme citado no volume I deste Relatório Final, no capítulo que trata das características geomorfológicas da área, as cargas poluentes são fortemente incrementadas pelo processo de degradação ambiental decorrente da expansão desordenada da malha urbana da Ilha sobre as planícies fluviomarinhas, devido à supressão da vegetação original e à falta de saneamento básico (lançamento indiscriminado de resíduos sólidos urbanos e efluentes domésticos) descaracterizando e poluindo o manguezal.

As áreas de concentração industrial normalmente apresentam maiores riscos ambientais de contaminações. Muitas matérias primas e produtos químicos são utilizados e displicentemente descartados no meio ambiente. Assim, se deve sempre considerar qualquer sítio industrial como de alto potencial impactante sobre a qualidade das águas subterrâneas (FOSTER *et al.*, 2006; HISCOCK, 2014).

Soma-se ao quadro de contaminação industrial, a produção agrícola, com altas taxas de lixiviação de nitratos e outros íons móveis e persistentes, resultado da utilização recorrente de agroquímicos. Acrescenta-se a este quadro avanço da urbanização e a disposição descontrolada de dejetos humanos e lixo doméstico (HIRATA, 1994; HISCOCK, 2014).

A Tabela 3 sumariza os contaminantes mais comuns das águas subterrâneas e as fontes de poluição causadoras e a Figura 5 mostra a localização desses pontos na ilha.

O ANEXO 1 mostra o modelo de ficha de cadastro de fontes de poluição utilizada neste estudo.

A carga contaminante gerada por uma determinada atividade apresenta características fundamentais de persistência no ambiente, concentração no efluente, carga hidráulica e duração de sua aplicação.

Normalmente associa-se a probabilidade da presença de substâncias poluentes com o tipo de atividade humana e estima-se a provável sobrecarga hidráulica com base no uso da água pela



atividade em questão. Essa simplificação pode ser obtida com a aplicação do método de avaliação de atividades potencialmente contaminante denominado POSH (*Pollutant Origin, Surcharge Hydraulically*), que se baseia na origem do poluente e sua sobrecarga hidráulica na subsuperfície.

Tabela 3: Fontes de poluição e tipos de contaminantes

FONTE DE POLUIÇÃO	TIPO DE CONTAMINANTE
Atividade agrícola	Nitrato, amônio, pesticidas, organismos fecais
Saneamento in situ	Nitrato, hidrocarbonetos halogenados, microrganismos
Garagens e postos de serviço	Hidrocarbonetos aromáticos e halogenados, benzeno, fenóis
Disposição de resíduos sólidos	Amônia, salinidade, hidrocarbonetos halogenados, metais pesados
Indústrias metalúrgicas	Tricloroetileno, tetracloroetileno, hidrocarbonetos halogenados, fenóis, metais pesados, cianureto
Pintura e esmaltação	Alquibenzeno, hidrocarbonetos halogenados, metais, hidrocarbonetos aromáticos, tetracloroetileno
Indústria de madeira	Pentaclorofenol, hidrocarbonetos aromáticos, hidrocarbonetos aromáticos
Limpeza a seco	Tricloroetileno, tetracloroetileno
Indústria de pesticida	Hidrocarbonetos halogenados, fenóis, arsênico
Despejo de lodo de esgoto	Nitrato, amônia, hidrocarbonetos halogenados, chumbo, zinco
Curtumes	Cromo, hidrocarbonetos halogenados, fenóis
Exploração de petróleo e gás	Salinidade (cloreto de sódio), hidrocarbonetos aromáticos
Mineração de carvão e metálicos	Acidez, metais pesados, ferro, sulfatos

A Ilha do Maranhão ocupa uma área de 1.412.256 km², distribuída entre São Luís (834,781 km²), São José de Ribamar (388,369 km²), Paço do Lumiar (124,753 km²) e Raposa (64,353 km²), de acordo com o IPEA (2010).

A população estimada por município, de acordo com o IPEA(*op. cit*), é de 1.014.837 (São Luís), 153.045 (São José de Ribamar), 105.121 (Paço do Lumiar) e 26.327 (Raposa), conforme pode ser visto na Tabela 4.

Segundo o IBGE (2016), os municípios da Ilha do Maranhão apresentam “domicílios com esgotamento sanitário adequado” em 65,4% de suas unidades residenciais, em São Luís, 54,6% em Paço do Lumiar, 44,4% em São José de Ribamar e 16,6% em Raposa, com densidades demográficas de 18,59 hab/hc, 8,76 hab/hc, 8,80 hab/hc e 4,32 hab/hc, respectivamente (Tabela 4).

O método POSH (FOSTER, 2006) produz três níveis qualitativos de potencial contaminante no subsolo (reduzido, moderado e elevado) e sua classificação é padronizada de acordo com a Tabela 5, conferindo diferenciações entre fontes pontuais e difusas de contaminação.

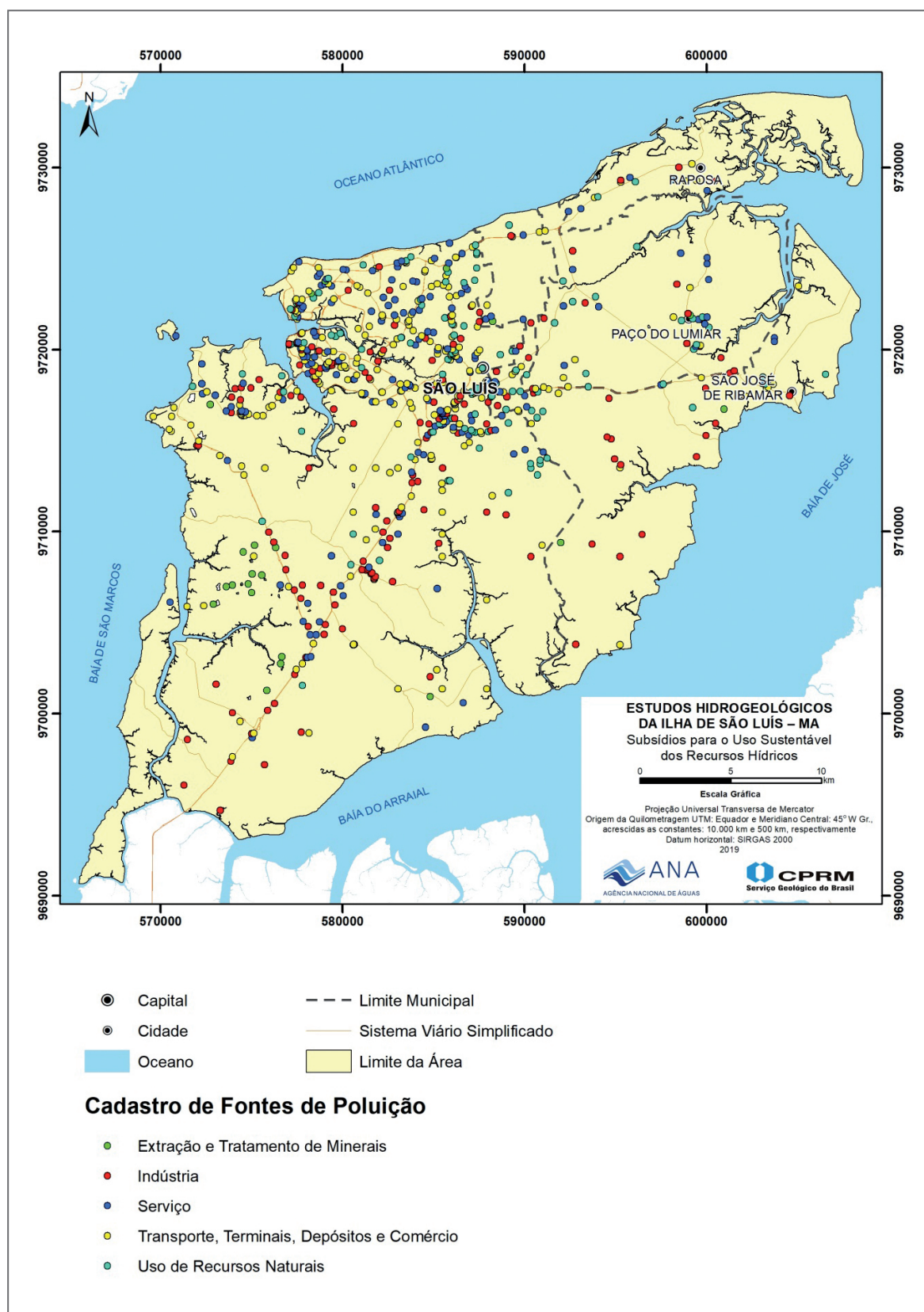


Figura 5: Fontes de poluição na Ilha de São Luís
(FONTES: CTF/IBAMA (2018), SEMA, CPRM)



Tabela 4: Densidade demográfica nos municípios da Ilha do Maranhão (IPEA – Região Metropolitana de São Luís). Disponível em https://www.ipea.gov.br/redeipea/images/pdfs/governanca_metropolitana/rel1_1_rmgsi.pdf

MUNICÍPIO	POPULAÇÃO	ÁREA INSULAR		DENS. DEMOGRÁFICA	
		Km ²	(ha)	(hab/km ²)	(hab/ha)
São Luís	1.014.837	546	54.600	1858,68	18,59
São José de Ribamar	153.045	174	17.400	879,57	8,80
Paço do Lumiar	105.121	120	12.000	876,01	8,76
Raposa	26.327	61	6.100	431,59	4,32
TOTAL	1.299.330	901	90.100	1442,10	14,42

Tabela 5: Classificação das fontes de poluição pelo sistema POSH (Adaptado de FOSTER *et al.*, 2006)

POTENCIAL DE CARGA CONTAMINANTE NO SUBSOLO	FONTES DE CONTAMINAÇÃO		
	FONTES DIFUSAS		
	SANEAMENTO IN SITU		PRÁTICAS AGRÍCOLAS
Elevado	Cobertura da rede de esgotos inferior a 25% e densidade populacional superior a 100 pessoas/hectare		Culturas comerciais intensivas e pasto intensivo em campos intensamente fertilizados
Moderado	Intermediário entre elevado e reduzido		
Reduzido	Cobertura da rede de esgotos superior a 75% e densidade populacional inferior a 500 pessoas/há		Rotação das culturas, terra para pasto, sistema de cultivo ecológico, plantações com alta eficiência de irrigação em regiões áridas e semiáridas
FONTES	FONTES PONTUAIS		
	POTENCIAL DE GERAR CARGA CONTAMINANTE NO SUBSOLO		
	ELEVADO	MODERADO	REDUZIDO
Deposição de resíduos sólidos	Resíduo industrial tipo 3; resíduo de origem desconhecida	Chuva > 500 mm/a, com resíduos residenciais ou industriais tipo 1, ou todos os demais casos	Chuva > 500 mm/a com resíduos de residências, agroindústrias, industriais tipo 1
Áreas industriais	Indústria do tipo 3 ou qualquer atividade que manuseie mais 100 kg de produtos químicos perigosos	Indústria tipo 2	Indústria tipo 1
Lagoas de áreas residuais	Resíduos industriais tipo 3, exceto esgoto residencial se a área > 5 ha	Esgoto residencial para área > 5 ha, demais casos não relacionados acima ou abaixo	Águas residuais residenciais, mistas, urbanas, agroindustriais e de mineração de não metálicos
Outras (urbanas)		Postos de gasolina, vias de transporte com tráfego regular de produtos químicos perigosos	Cemitérios
Mineração e exploração de petróleo	Operações em campos de petróleo, mineração de metais	Algumas atividades de mineração/extração de materiais inertes	xxxxxxx

Indústrias Tipo 1: Madeireiras, manufaturas de alimentos e bebidas, destilarias de álcool e açúcar

Indústrias Tipo 2: Fabricantes de borracha, papel e celulose, indústrias têxteis, fábricas de fertilizantes, usinas elétricas, fábricas de detergente e sabão, usinas elétricas

Indústrias Tipo 3: Refinarias de gás/petróleo, curtumes, químicos/farmacêuticos/plásticos/pesticidas



2.1.1. Fontes de contaminação difusas

Tomando-se em conta os dados de densidades demográficas mostradas na Figura 06, a Ilha de São Luís poderia ser enquadrada como sujeita a uma carga contaminante difusa moderada, de acordo com o sistema POSH de avaliação.

Se sobressai na paisagem regional o frequente descarte dos esgotos nas ruas e nos principais cursos d'água, inclusive nas áreas de tabuleiros, principais zonas de recarga subterrânea.

A porção nordeste da Ilha do Maranhão mostra intensa atividade agrícola (Figura 6), constituindo-se assim em zona potencialmente favorável à contaminação difusa.

Estas situações, por estarem presentes em toda a área urbana e periurbana da Ilha, constituem robustas fontes difusas de poluição às águas subterrâneas, praticamente onipresentes em toda a área.

A questão do esgotamento sanitário adquire expressiva importância na Ilha. Embora tenha passado nos últimos anos por substanciais melhorias e modernização, principalmente com a implantação da ETA de Vinhaes. A idade média das redes pluvial e de esgotos origina perdas e vazamentos expressivos, que podem atingir os aquíferos e contaminar suas águas (ver 4.2. – Recargas Urbanas, do Volume II deste relatório).

A Figura 7 mostra a distribuição das fontes de contaminação difusas na área.



Figura 6: Áreas agrícolas na Ilha de São Luís

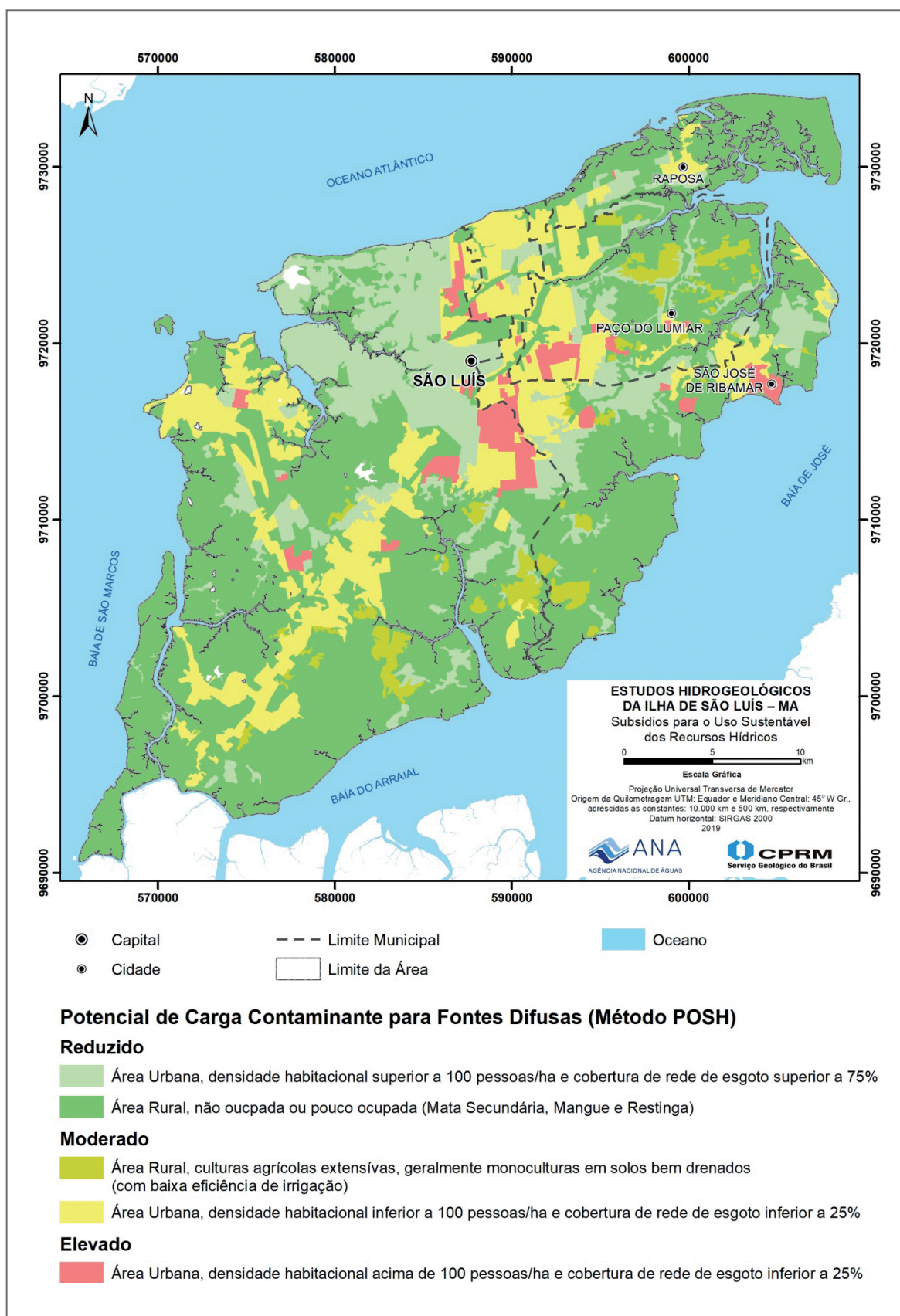


Figura 7: Fontes de poluição difusas

2.1.2. Fontes de poluição pontuais

Para a determinação das fontes pontuais de poluição, foram utilizadas como base informações do Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e/ou Utilizadoras de Recursos Ambientais (CTF/APP) do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente – IBAMA. Além dessas informações utilizaram-se arquivos *shapefiles* da Secretaria Estadual do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Maranhão (SEMA, 2019) e dados obtidos diretamente a partir dos levantamentos de campo. As informações referentes a estes levantamentos são mostradas na Tabela 6.

Bastante ilustrativo é o caso de uma indústria (Foto 1) que, embora não atue como curtume, faz localmente o tratamento químico das peles, que são enviadas para outros municípios fora da Ilha.

A disposição irregular de lixo na superfície, inclusive nas áreas de tabuleiros, principais zonas de recarga subterrânea, desempenha importante papel na poluição das águas subterrâneas da Ilha.



Foto 1: Curral bovino no Distrito Industrial de São Luís

Tabela 6: Fontes de poluição na Ilha de São Luís (Fontes: CTF/IBAMA, SEMA, CPRM)

TIPO	DESCRIÇÃO	SCORE
Extração e Tratamento de Minerais	Lavra a céu aberto, inclusive de aluvião, com ou sem beneficiamento.	2
Indústria de Borracha	Fabricação de espuma de borracha e de artefatos de espuma de borracha, inclusive látex.	2
Indústria de Borracha	Recondicionamento de pneumáticos	2
Indústria de Couros e Peles	Secagem e salga de couros e peles	1
Indústria de Madeira	Fabricação de chapas, placas de madeira aglomerada, prensada e compensada.	1
Indústria de Madeira	Fabricação de estruturas de madeira e de móveis.	1
Indústria de Madeira	Preservação de madeira	1
Indústria de Madeira	Preservação de madeira - usina, sob pressão	1
Indústria de Madeira	Serraria e desdobramento de madeira.	1
Indústria de Material de Transporte	Fabricação e montagem de veículos rodoviários e ferroviários, peças e acessórios.	3

continua

Tabela 6: Fontes de poluição na Ilha de São Luís (Fontes: CTF/IBAMA, SEMA, CPRM) (continuação)

TIPO	DESCRIÇÃO	SCORE
Indústria de Material de Transporte	Fabricação e reparo de embarcações e estruturas flutuantes.	3
Indústria de material Elétrico, Eletrônico e Comunicações	Fabricação de material elétrico, eletrônico e equipamentos para telecomunicação e informática.	3
Indústria de Papel e Celulose	Fabricação de artefatos de papel, papelão, cartolina, cartão e fibra prensada.	2
Indústria de Papel e Celulose	Fabricação de papel e papelão.	2
Indústria de Produtos Alimentares e Bebidas	Beneficiamento, moagem, torrefação e fabricação de produtos alimentares.	1
Indústria de Produtos Alimentares e Bebidas	Fabricação de bebidas alcoólicas	1
Indústria de Produtos Alimentares e Bebidas	Fabricação de bebidas não alcoólicas, bem como engarrafamento e gaseificação e águas minerais.	1
Indústria de Produtos Alimentares e Bebidas	Fabricação de cervejas, chopes e maltes.	1
Indústria de Produtos Alimentares e Bebidas	Fabricação de conservas	1
Indústria de Produtos Alimentares e Bebidas	Fabricação de rações balanceadas e de alimentos preparados para animais	1
Indústria de Produtos Alimentares e Bebidas	Fabricação e/ou manipulação de produtos bioestimuladores	1
Indústria de Produtos Alimentares e Bebidas	Matadouros, abatedouros, frigoríficos, charqueados e derivados de origem animal.	1
Indústria de Produtos Alimentares e Bebidas	Matadouros, abatedouros, frigoríficos, charqueados e derivados de origem animal - fauna silvestre.	1
Indústria de Produtos Alimentares e Bebidas	Refino e preparação de óleo e gorduras vegetais	1
Indústria de Produtos de Matéria Plástica	Fabricação de artefatos de material plástico.	3
Indústria de Produtos de Matéria Plástica	Fabricação de laminados plásticos.	3
Indústria de Produtos Minerais não Metálicos	Beneficiamento de minerais não metálicos, não associados a extração	2
Indústria de Produtos Minerais não Metálicos	Fabricação e elaboração de produtos minerais não metálicos tais como produção de material cerâmico, cimento, gesso, amianto, vidro e similares.	2
Indústria Mecânica	Fabricação de máquinas, aparelhos, peças, utensílios e acessórios com e sem tratamento térmico ou de superfície, fabricação de motosserras.	3

continua

Tabela 6: Fontes de poluição na Ilha de São Luís (Fontes: CTF/IBAMA, SEMA, CPRM) (continuação)

TIPO	DESCRIÇÃO	SCORE
Indústria Mecânica	Fabricação de máquinas, aparelhos, peças, utensílios e acessórios com e sem tratamento térmico ou de superfície.	3
Indústria Metalúrgica	Fabricação de artefatos de ferro, aço e de metais não ferrosos com ou sem tratamento de superfície, inclusive galvanoplastia.	2
Indústria Metalúrgica	Fabricação de estruturas metálicas com ou sem tratamento de superfície, inclusive galvanoplastia.	3
Indústria Metalúrgica	Metalurgia de metais preciosos.	3
Indústria Metalúrgica	Metalurgia dos metais não ferrosos, em formas primárias e secundárias, inclusive ouro.	2
Indústria Metalúrgica	Produção de fundidos de ferro e aço, forjados, arames, relaminados com ou sem tratamento de superfície, inclusive galvanoplastia.	3
Indústria Metalúrgica	Produção de laminados, ligas, artefatos de metais não-ferrosos com ou sem tratamento de superfície, inclusive galvanoplastia.	3
Indústria Metalúrgica	Produção de soldas e anodos.	3
Indústria Química	Fabricação de fertilizantes e agroquímicos	3
Indústria Química	Fabricação de perfumarias e cosméticos	3
Indústria Química	Fabricação de preparados para limpeza e polimento, desinfetantes, inseticidas, germicidas e fungicidas.	3
Indústria Química	Fabricação de preparados para limpeza e polimento, desinfetantes, inseticidas, germicidas e fungicidas - saneantes de uso domissanitário.	3
Indústria Química	Fabricação de produtos derivados do processamento de petróleo - Resolução CONAMA nº 362/205	3
Indústria Química	Fabricação de produtos farmacêuticos e veterinários	3
Indústria Química	Fabricação de sabões, detergentes e velas.	3
Indústria Química	Fabricação de tintas, esmaltes, lacas, vernizes, impermeabilizantes, solventes e secantes.	3
Indústria Química	Produção de óleos, gorduras, ceras, vegetais e animais, óleos essenciais, vegetais e produtos similares, da destilação da madeira	3
Indústria Química	Produção de substâncias e fabricação de produtos químicos	3
Indústria Química	Produção de substâncias e fabricação de produtos químicos -uso de mercúrio metálico	3

continua

Tabela 6: Fontes de poluição na Ilha de São Luís (Fontes: CTF/IBAMA, SEMA, CPRM) (continuação)

TIPO	DESCRIÇÃO	SCORE
Indústria Química	Produção de substâncias e fabricação de produtos químicos - fabricação, formulação e/ou manipulação de produtos remediadores físico-químicos.	3
Indústria Química	Recuperação e refino de solventes, óleos minerais, vegetais e animais.	3
Indústria Têxtil, de Vestuário, Calçados e Artefatos de Tecidos	Fabricação de calçados e componentes para calçados.	2
Indústria Têxtil, de Vestuário, Calçados e Artefatos de Tecidos	Tingimento, estamparia e outros acabamentos em peças do vestuário e artigos diversos de tecidos	2
Indústrias Diversas	Usinas de produção de asfalto.	3
Indústrias Diversas	Usinas de produção de concreto.	1
Outros serviços	Análises laboratoriais	1
Outros serviços	Análises laboratoriais - uso de mercúrio metálico	1
Outros serviços	Cemitério	1
Outros serviços	Experimentação com agroquímicos	2
Outros serviços	Lixão (residencial, agroindústria e industriais tipo1, ou todos os demais)	2
Outros serviços	Lixão (residencial, agroindústria e industriais tipo1)	1
Outros serviços	Troca de óleo lubrificante - Resolução Conama nº 362/2005	3
Serviços de Utilidade	Aplicação de agrotóxicos e afins	3
Serviços de Utilidade	Destinação de resíduos de esgotos sanitários e de resíduos sólidos urbanos, inclusive aqueles provenientes de fossas.	1
Serviços de Utilidade	Disposição de resíduos especiais tais como: de agroquímicos e suas embalagens; usadas e de serviço de saúde e similares.	3
Serviços de Utilidade	Estações de tratamento de água	1
Serviços de Utilidade	Interceptores, emissários, estação elevatória e tratamento de esgoto sanitário.	1
Serviços de Utilidade	Prestação de serviços de controle de pragas domésticas com aplicação de produtos químicos	3
Serviços de Utilidade	Produção de energia termoeletrônica.	2
Serviços de Utilidade	Tratamento e destinação de resíduos industriais líquidos e sólidos	3

continua

Tabela 6: Fontes de poluição na Ilha de São Luís (Fontes: CTF/IBAMA, SEMA, CPRM) (continuação)

TIPO	DESCRIÇÃO	SCORE
Serviços de Utilidade	Tratamento e destinação de resíduos industriais líquidos e sólidos - destinação de pilhas e baterias	3
Serviços de Utilidade	Tratamento e destinação de resíduos industriais líquidos e sólidos - operações de disposição final de resíduos sólidos	3
Serviços de Utilidade	Tratamento e destinação de resíduos industriais líquidos e sólidos - operações de tratamento de resíduos sólidos	3
Serviços de Utilidade	Tratamento e destinação de resíduos industriais líquidos e sólidos - reciclagem de resíduos sólidos, exceto recuperação e aproveitamento energético	3
Serviços de Utilidade	Tratamento e destinação de resíduos industriais líquidos e sólidos - substâncias controladas pelo Protocolo de Montreal	3
Transporte, Terminais, Depósitos e Comércio	Comércio produtos químicos. e perigosos. – Importação, pilhas, baterias e dos produtos que as contenham. Componentes químicos previstos. na RC 401/2008	3
Transporte, Terminais, Depósitos e Comércio	Comércio de combustíveis e derivados de petróleo	3
Transporte, Terminais, Depósitos e Comércio	Comércio de combustíveis e derivados de petróleo - Gás GLP	3
Transporte, Terminais, Depósitos e Comércio	Comércio de produtos químicos e produtos perigosos	3
Transporte, Terminais, Depósitos e Comércio	Comércio de produtos químicos e produtos perigosos- titularidade de registro de subst. químicas perigosas p/ comercialização de forma direta/indireta	3
Transporte, Terminais, Depósitos e Comércio	Comércio de produtos químicos e produtos perigosos - agrotóxicos, seus componentes e afins	3
Transporte, Terminais, Depósitos e Comércio	Comércio de produtos químicos e produtos perigosos - fertilizantes	3
Transporte, Terminais, Depósitos e Comércio	Comércio de produtos químicos e produtos perigosos - produtos e substâncias controladas pelo Protocolo de Montreal, inclusive importação e exportação	3
Transporte, Terminais, Depósitos e Comércio	Comércio de produtos químicos e produtos perigosos - Resolução CONAMA nº. 362/2005	3
Transporte, Terminais, Depósitos e Comércio	Depósito de produtos químicos e produtos perigosos - depósito e armazenamento de resíduos perigosos	3
Transporte, Terminais, Depósitos e Comércio	Depósitos de produtos químicos e produtos perigosos	3

continua

Tabela 6: Fontes de poluição na Ilha de São Luís (Fontes: CTF/IBAMA, SEMA, CPRM)

TIPO	DESCRIÇÃO	SCORE
Transporte, Terminais, Depósitos e Comércio	Terminais de minério, petróleo e derivados e produtos químicos.	3
Uso de Recursos Naturais	Atividade agrícola e pecuária	3
Uso de Recursos Naturais	Atividade de criação e exploração econômica de fauna exótica e de fauna silvestre - jardim zoológico	1
Uso de Recursos Naturais	Comércio de móveis compostos, no todo ou em parte, por painéis de madeira industrializada, tais como MDF, compensado ou aglomerado.	1
Uso de Recursos Naturais	Exploração econômica da madeira ou lenha e subprodutos florestais	1
Uso de Recursos Naturais	Exploração econômica da madeira ou lenha e subprodutos florestais - armazenamento de produtos/ subprodutos florestais	1
Uso de Recursos Naturais	Exploração econômica da madeira ou lenha e subprodutos florestais - comércio atacadista	1
Uso de Recursos Naturais	Exploração econômica da madeira ou lenha e subprodutos florestais - comércio varejista	1
Uso de Recursos Naturais	Exploração econômica da madeira ou lenha e subprodutos florestais - extração de madeira em florestas nativas	1
Uso de Recursos Naturais	Exploração econômica da madeira ou lenha e subprodutos florestais - produção de carvão vegetal em florestas nativas	1
Uso de Recursos Naturais	Exploração econômica da madeira ou lenha e subprodutos florestais - produção de carvão vegetal em florestas plantadas	1
Uso de Recursos Naturais	Exploração econômica da madeira, lenha e subprodutos florestais - instalação e manutenção de empreendimentos	1

Exemplo disto pode ser visto na Figura 8, onde um lixão de grande porte, localizado no município de Paço do Lumiar (coordenadas 59°57'6.98" E e 9°25'323.58" S), se situa nas bordas de planalto dos depósitos do aquífero São Luís, com grande produção de chorume, e drenando diretamente para afluente do Rio Paciência. Localiza-se a aproximadamente 1.000 m deste rio.

As drenagens que descem desse planalto em direção aos vales mais baixos, constituem afluentes do rio Paciência, importante corpo hídrico local e em cuja bacia hidrográfica se situa duas baterias de poços de bombeamento de águas subterrâneas da CAEMA.

O chorume produzido neste depósito, através do transporte superficial nestas drenagens atinge o rio Paciência, se constituindo em perigoso foco de contaminação, não só subterrâneo como também superficial.



Figura 8: Lixão no município de Paço do Lumiar. Situa-se nas bordas de planalto elevado, com resíduos (chorume), drenando diretamente para afluentes do rio Paciência

Além desse grande lixão, são comuns descartes clandestinos de lixo por toda a área da Ilha que, associados a existência de inúmeras captações construídas sem qualquer preocupação com proteção sanitária, formam verdadeiros caminhos para a penetração dos poluentes (ver Figura 9 e Figura 10).

A determinação do índice (de risco desta carga poluente tem por base os valores propostos por Foster *et al.* (2006), mostrados na Tabela 7.

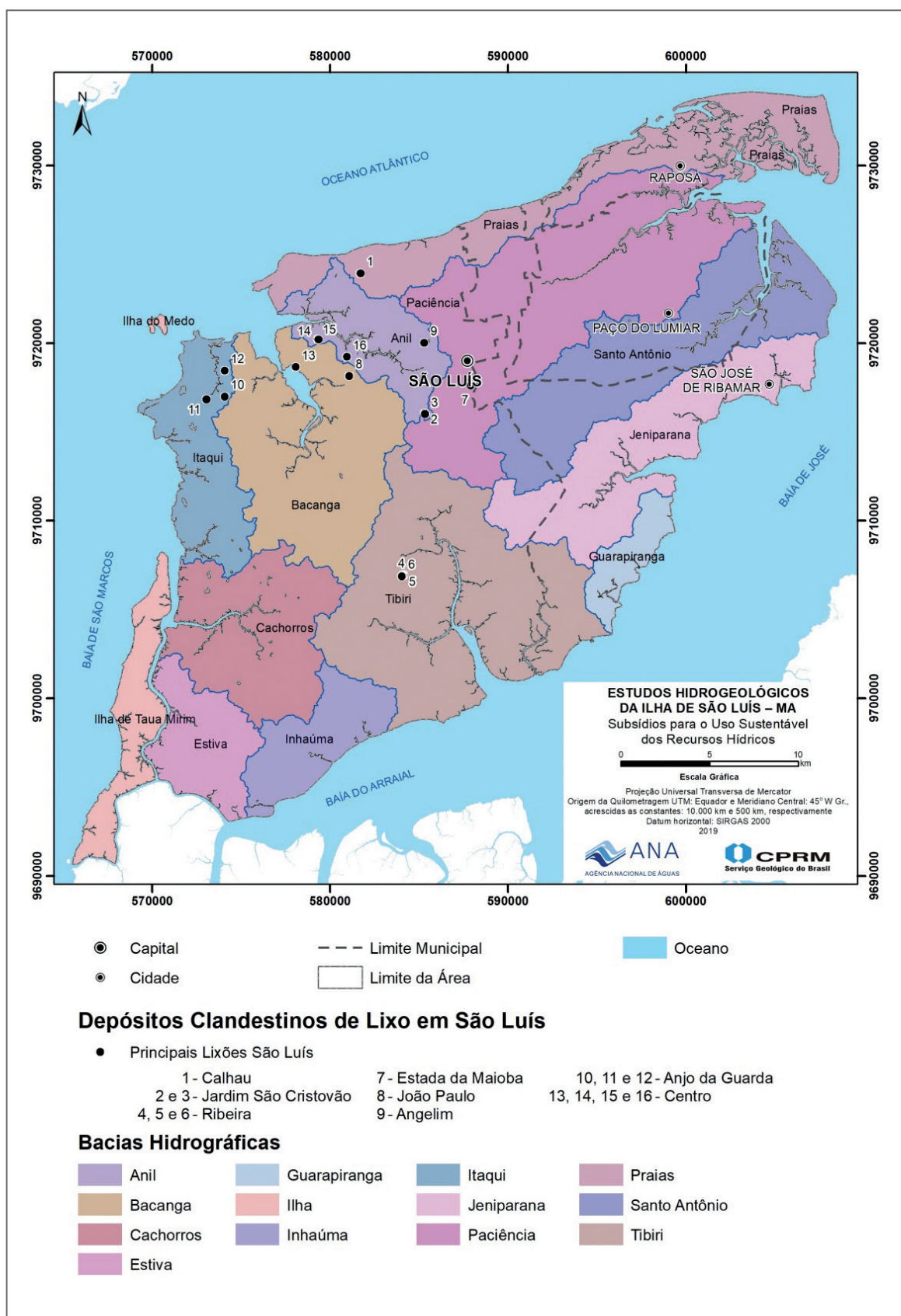


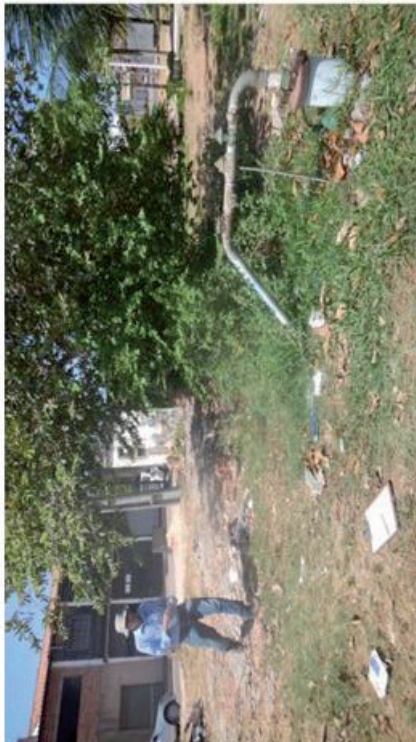
Figura 9: Depósitos clandestinos de lixo na Ilha de São Luís



Estrada de Araçagi - Poço do Lumiar
Coord.: 0592339/9725027
Lixão no topo dos tabuleiros



Estrada vicinal Mojó
Coord.: 0600700/9724008
Lixão no topo dos tabuleiros



Município de São Luís. Conjunto Residencial Araçagi
Coord.: 588674/9718699
Poço tubular em meio ao lixo e sem proteção sanitária e em meio à via pública



Município de São Luís. Vicente Fialho (COHAMA)
Coord.: 584937/9722802
Poço tubular em meio ao lixo e sem proteção sanitária

Figura 10: Lixões e poços na Ilha do Maranhão

Tabela 7: Índices de risco para atividades industriais comuns
(Adaptado de FOSTER *et al.*, 2006)

TIPO DE INDÚSTRIA	ÍNDICE DE RISCO	TIPO DE INDÚSTRIA	ÍNDICE DE RISCO
Ferro e Aço	2	Madeira	1
Processamento de Metal	3	Papel e Celulose	2
Engenharia Mecânica	3	Sabão e Detergentes	2
Metais Não-Ferrosos	2	Têxteis	2
Minerais Não-Metálicos	1	Curture	3
Refinarias de Gás e Petróleo	3	Alimentos e Bebidas	1
Produtos Plásticos	3	Pesticidas	3
Artefatos de Borracha	2	Fertilizantes	2
Produtos Químicos Orgânicos	3	Açúcar e Álcool	2
Produtos Químicos Inorgânicos	3	Usina Termoeletrica	2
Farmacêuticos	3	Elétricos e Eletrônicos	3

Uma vez determinadas essas fontes e atribuídos valores a cada uma delas, a área foi seccionada em quadrículas com 250 m de lado, sendo para cada uma delas aferido o somatório das cargas contaminante presentes, advindas de todas as ocorrências registradas. Desta forma, após a definição dos intervalos correspondentes às classes de geração de cargas contaminantes pontuais, foi elaborado o mapa da Figura 11.

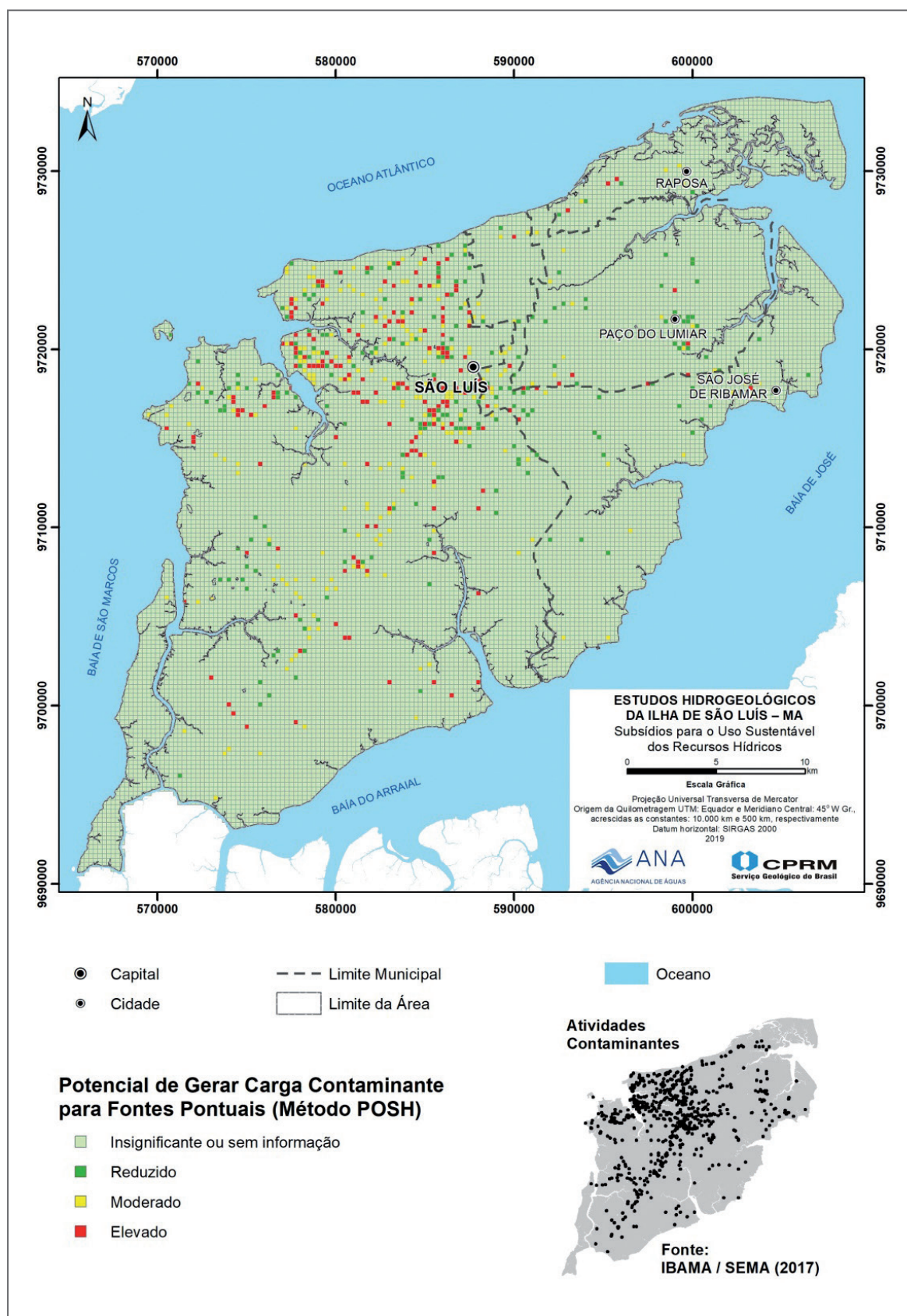


Figura 11: Fontes pontuais de poluição na Ilha do Maranhão



2.2. PERIGO DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Para se estimar o perigo de contaminação das águas subterrâneas na Ilha do Maranhão, foi utilizado o esquema proposto por Foster (1987), que avalia os fatores anteriormente analisados (vulnerabilidade e carga contaminante) presentes, conforme mostrado na Figura 12.

De sua análise compreende-se que para condições de alta inacessibilidade hidráulica e maior capacidade de atenuação dos aquíferos, menor será o perigo de contaminação, independente da carga contaminante sobre eles disposta. Inversamente, pequenas cargas contaminantes podem facilmente atingir os aquíferos se os mesmos se mostram hidráulicamente mais acessíveis e sem camadas atenuantes do fluxo descendente acima dos mesmos.

A partir dos valores dos índices obtidos nas Figura 4: Mapa de Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos à Contaminação (método GOD), Figura 7: Fontes de poluição difusas e Figura 11: Fontes pontuais de poluição na Ilha do Maranhão, foi elaborado o mapa de perigo de contaminação dos aquíferos, mostrado na Figura 13.

Finalmente, visando o detalhamento dessas informações, foram gerados mapas de perigo de contaminação para cada bacia hidrográfica da Ilha, haja vista a necessidade de se proceder ao gerenciamento integrado dos recursos hídricos em toda a área de estudo (Figura 14, Figura 15, Figura 16, Figura 17, Figura 18, Figura 19, Figura 20, Figura 21, Figura 22, Figura 23, Figura 24, Figura 25 e Figura 26).

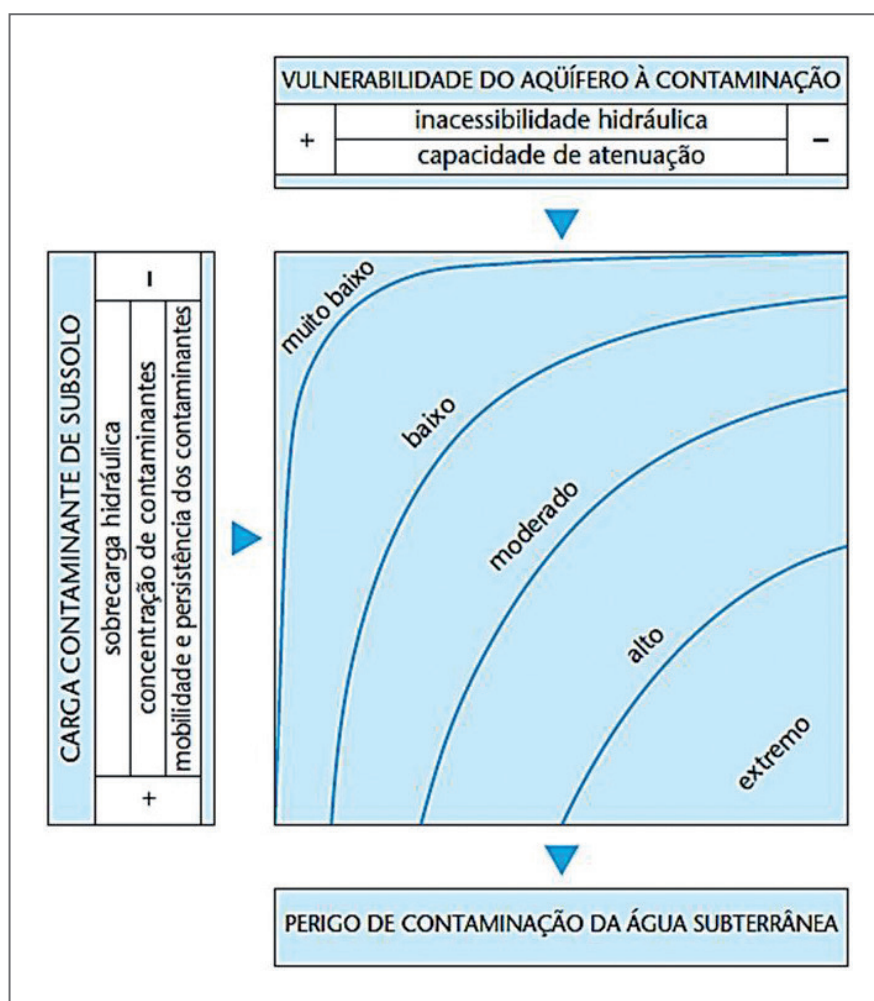


Figura 12: Perigo de contaminação das águas subterrâneas (FOSTER, 1987)

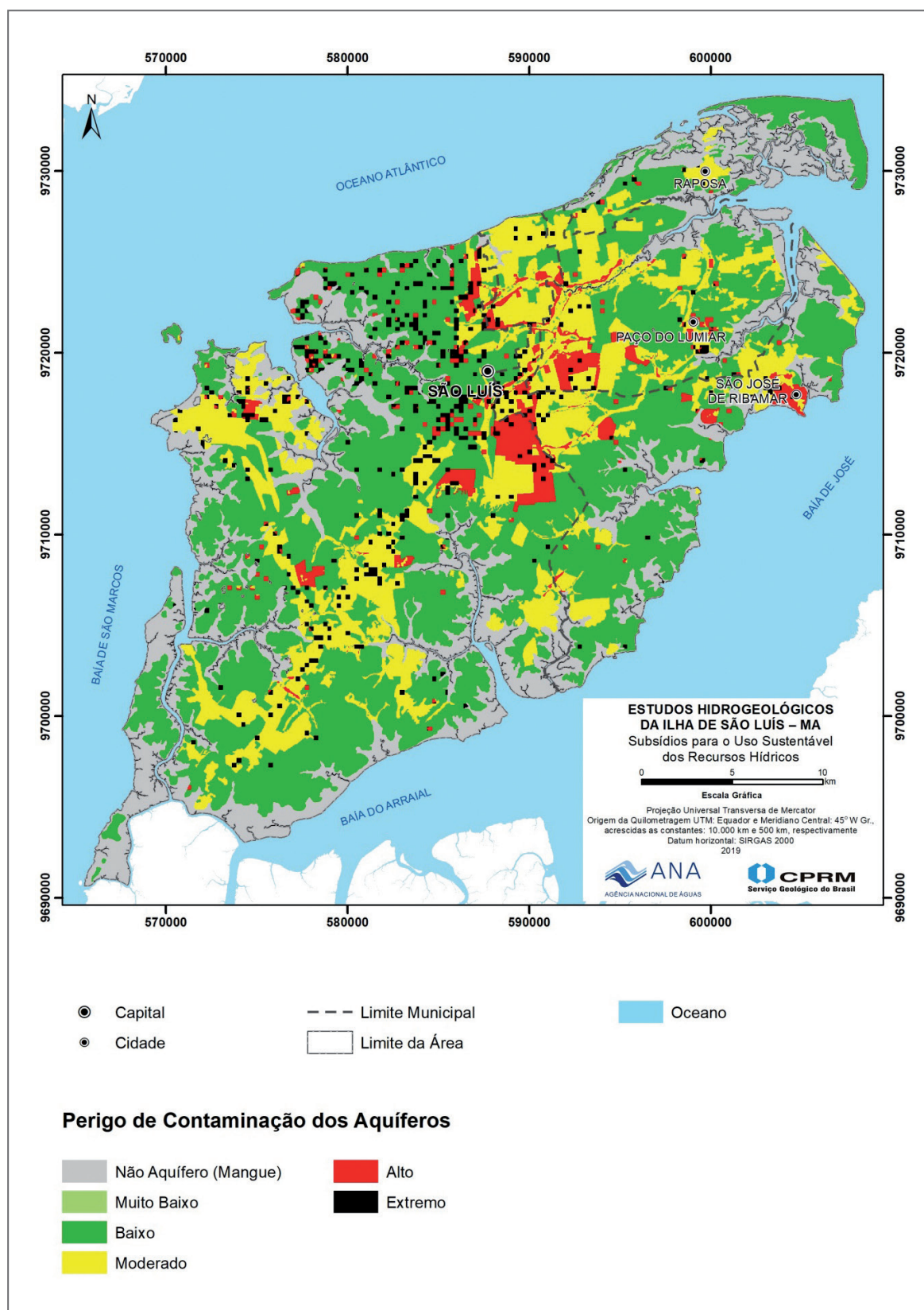


Figura 13: Perigo de contaminação dos aquíferos na Ilha do Maranhão

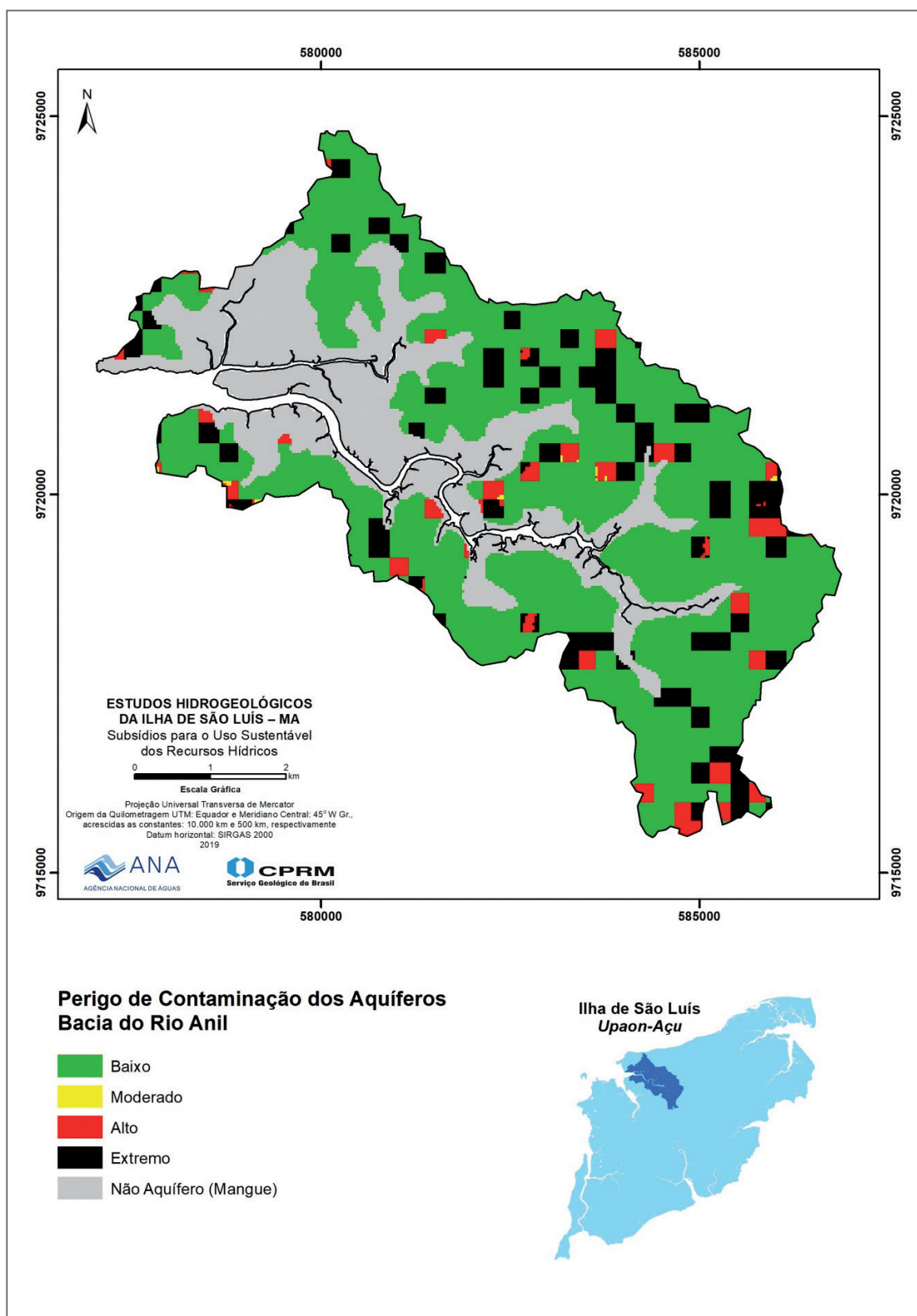


Figura 14: Perigo de contaminação dos aquíferos na Bacia do rio Anil

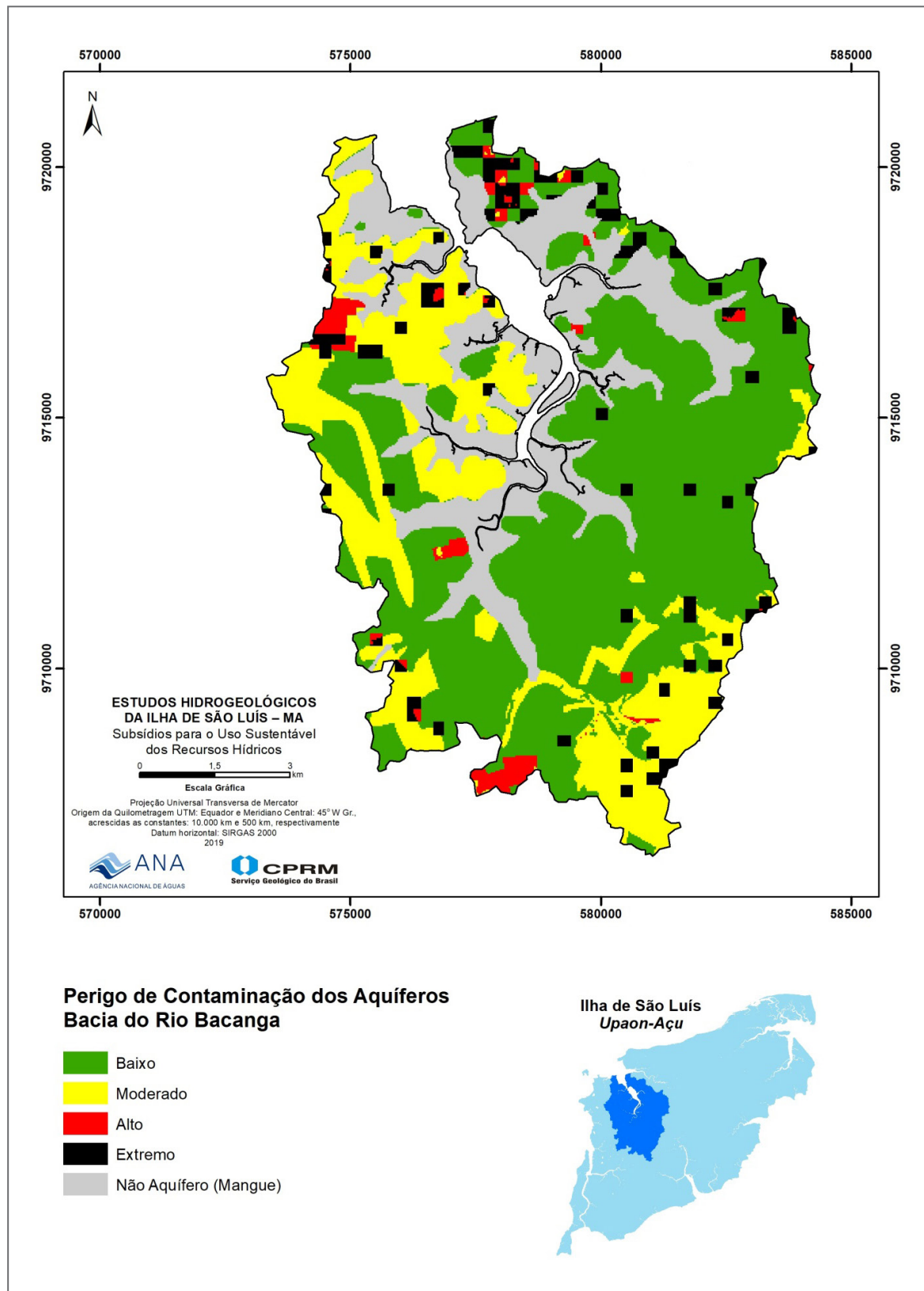


Figura 15: Perigo de contaminação dos aquíferos na Bacia do rio Bacanga

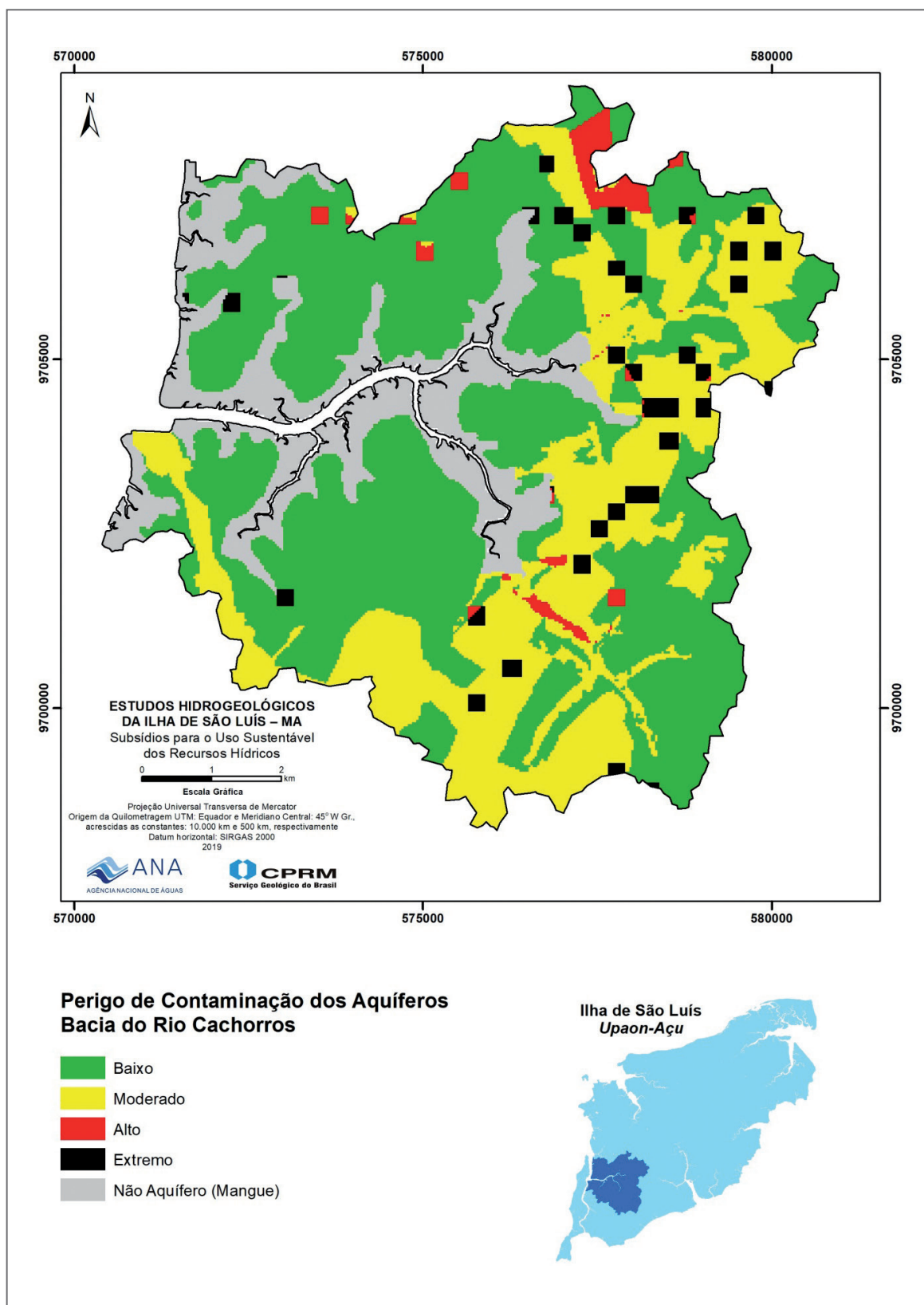


Figura 16: Perigo de contaminação dos aquíferos na Bacia hidrográfica do rio Cachorros

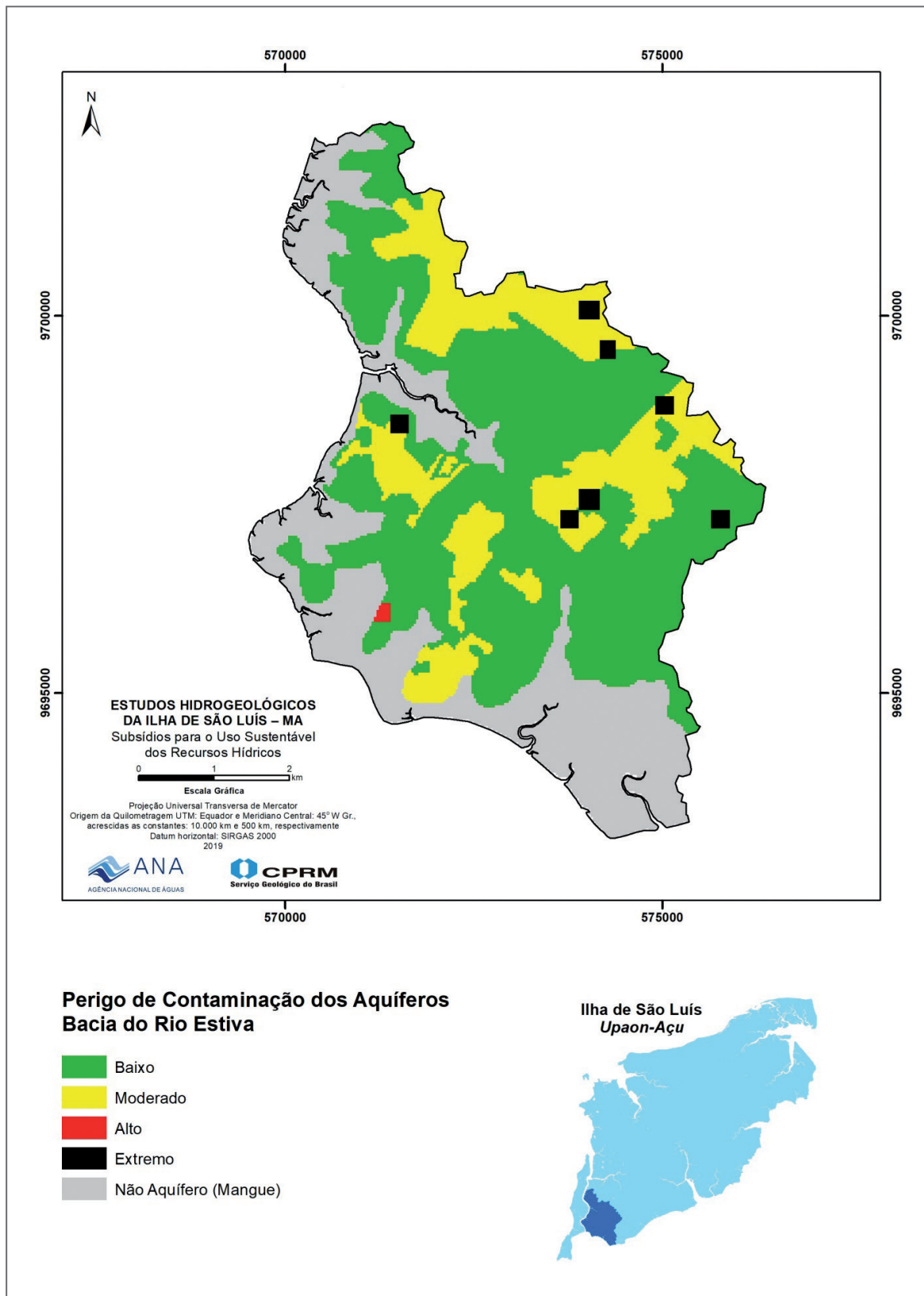


Figura 17: Perigo de contaminação dos aquíferos na Bacia hidrográfica do rio Estiva

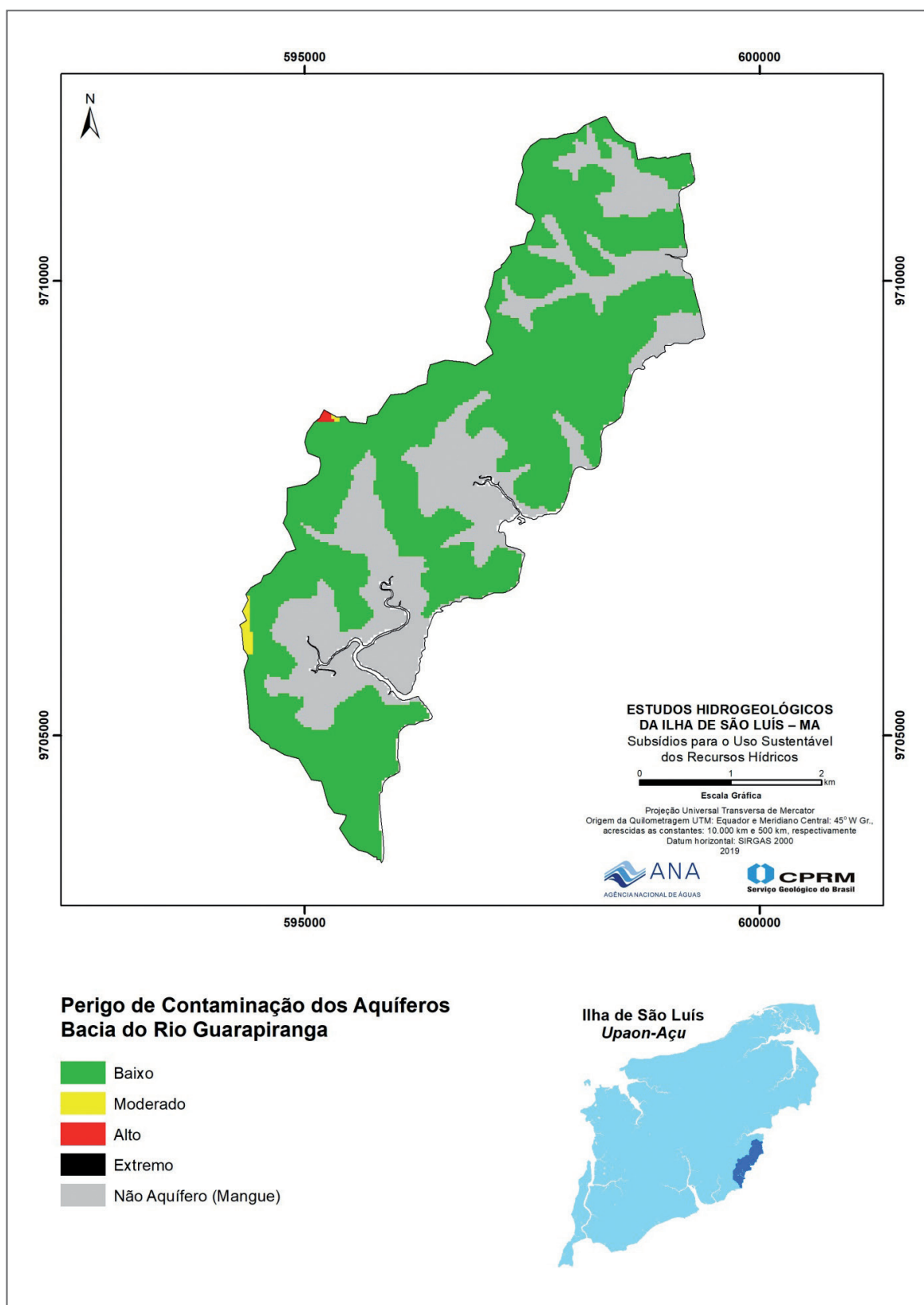


Figura 18: Perigo de contaminação dos aquíferos na Bacia hidrográfica do rio Guarapiranga

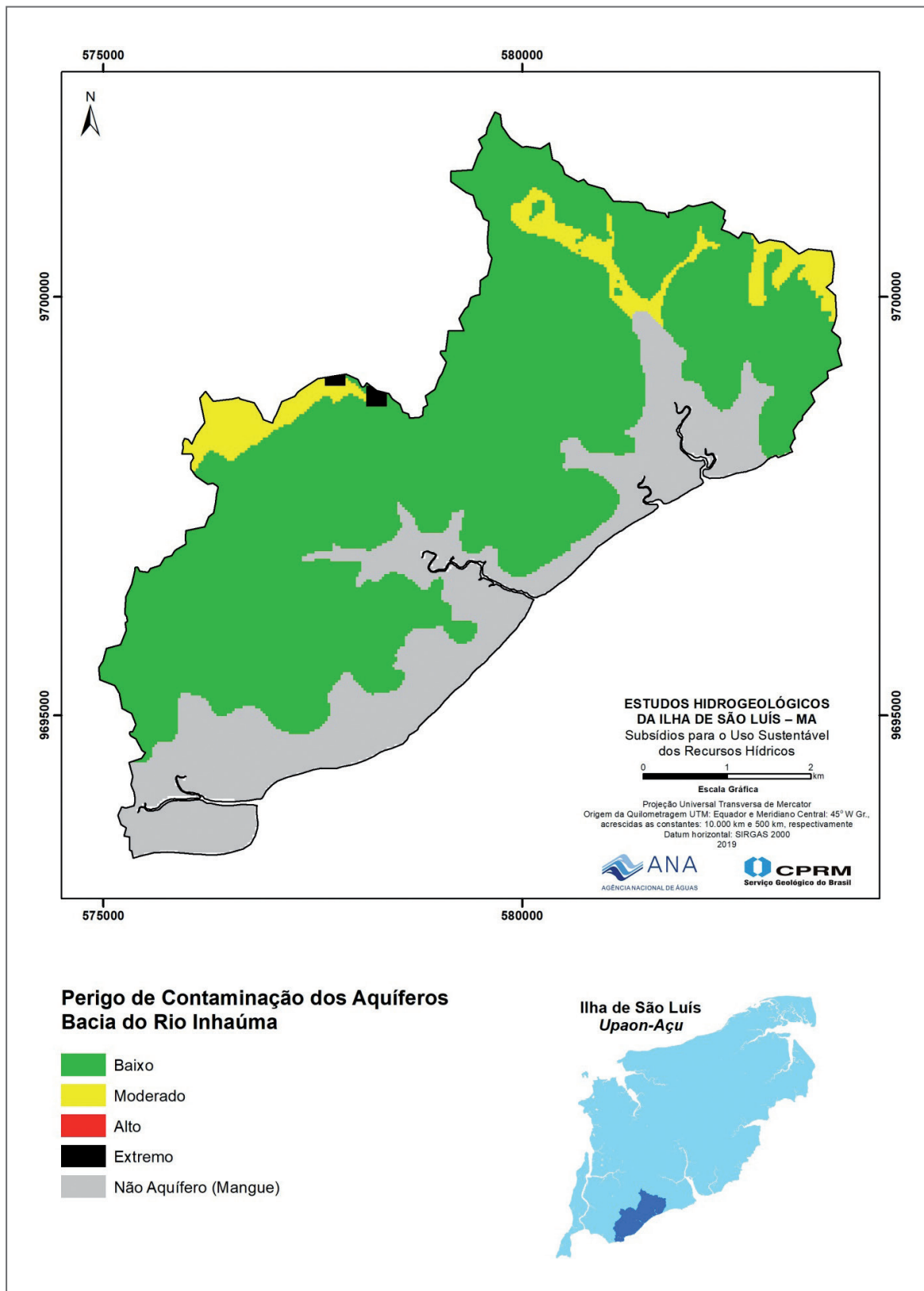


Figura 19: Perigo de contaminação dos aquíferos na Bacia hidrográfica do rio Inhaúma

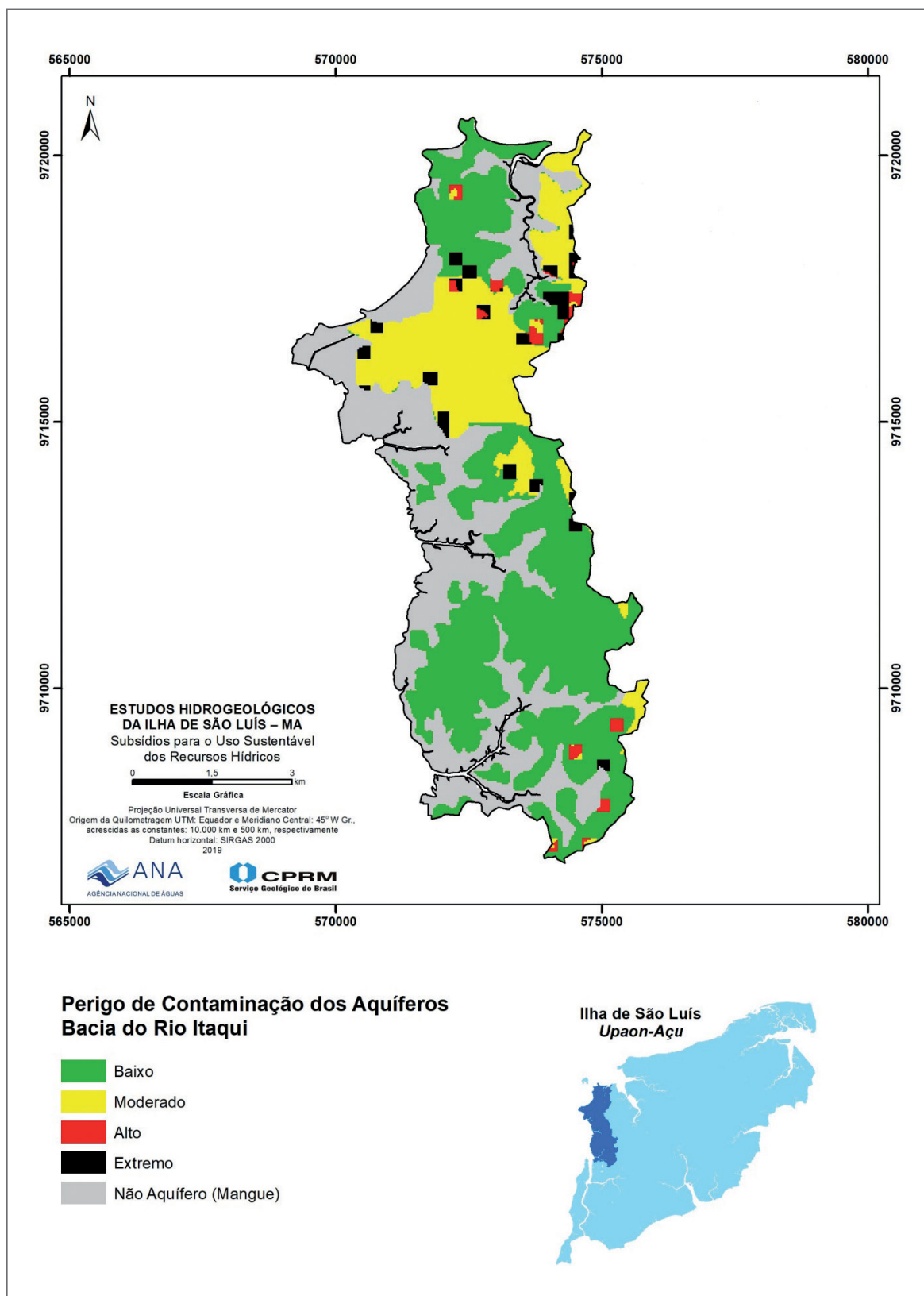


Figura 20: Perigo de contaminação dos aquíferos na Bacia hidrográfica do rio Itaqui

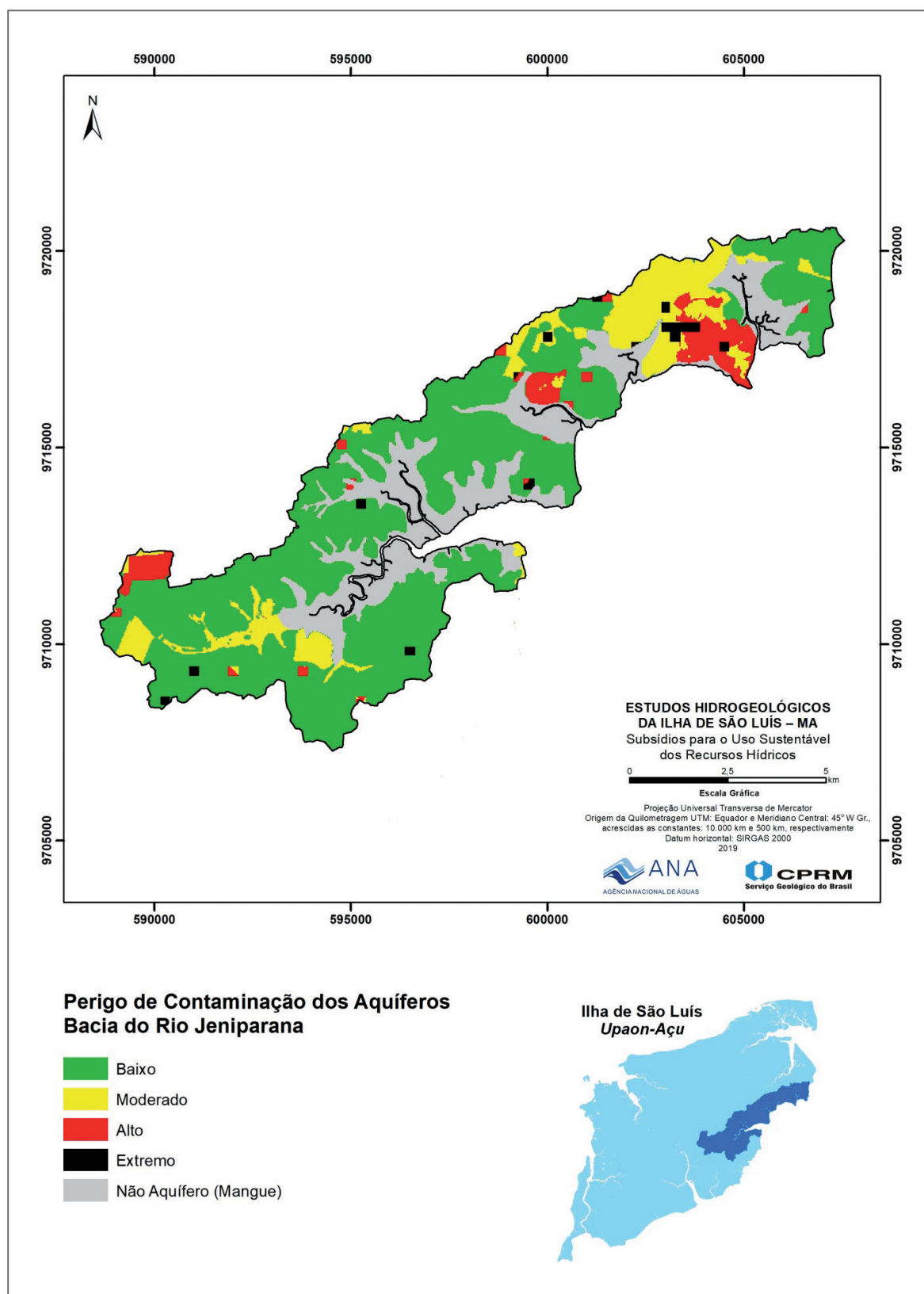


Figura 21: Perigo de contaminação dos aquíferos na Bacia hidrográfica do rio Jeniparana

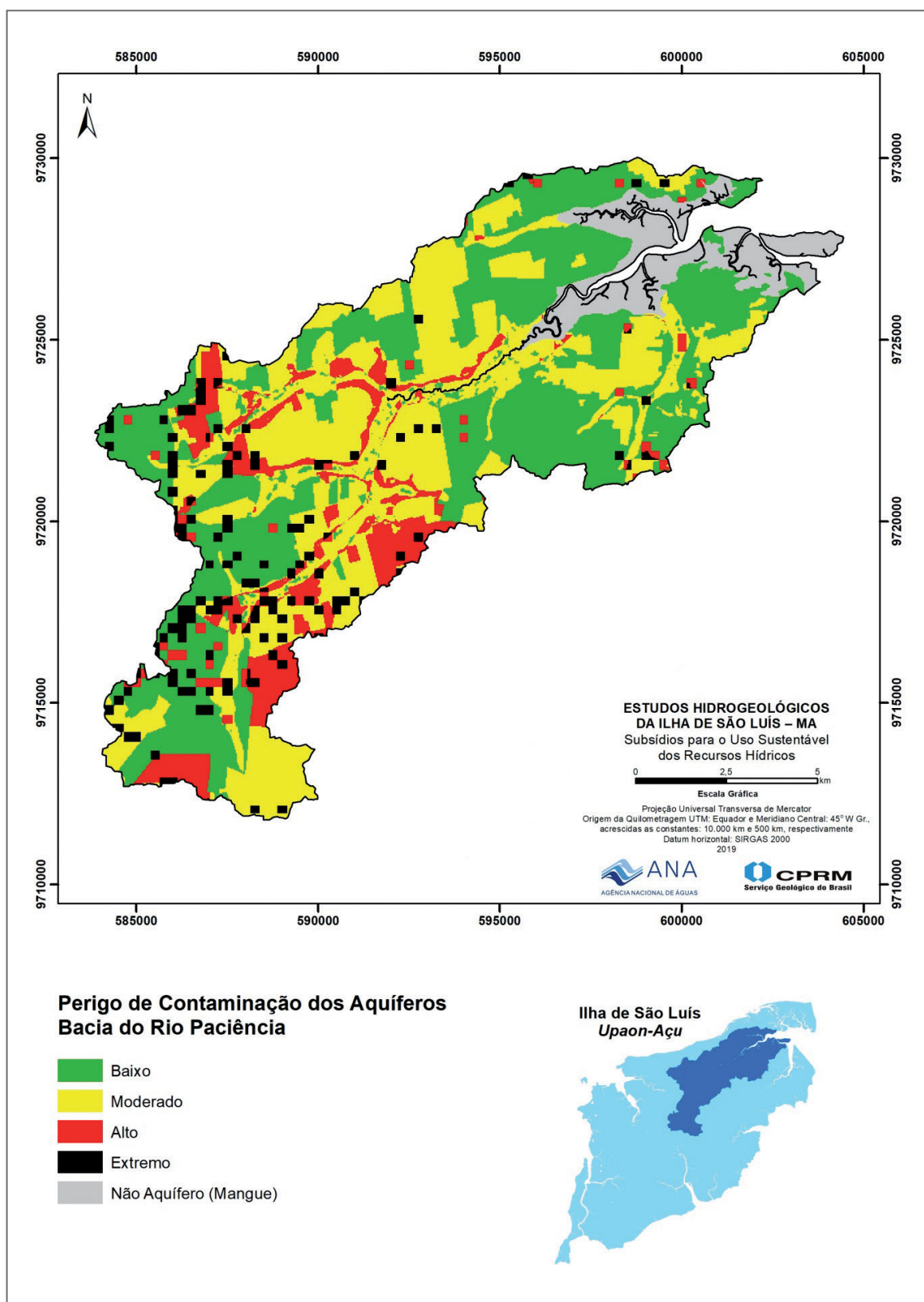


Figura 22: Perigo de contaminação dos aquíferos na Bacia hidrográfica do rio Paciência

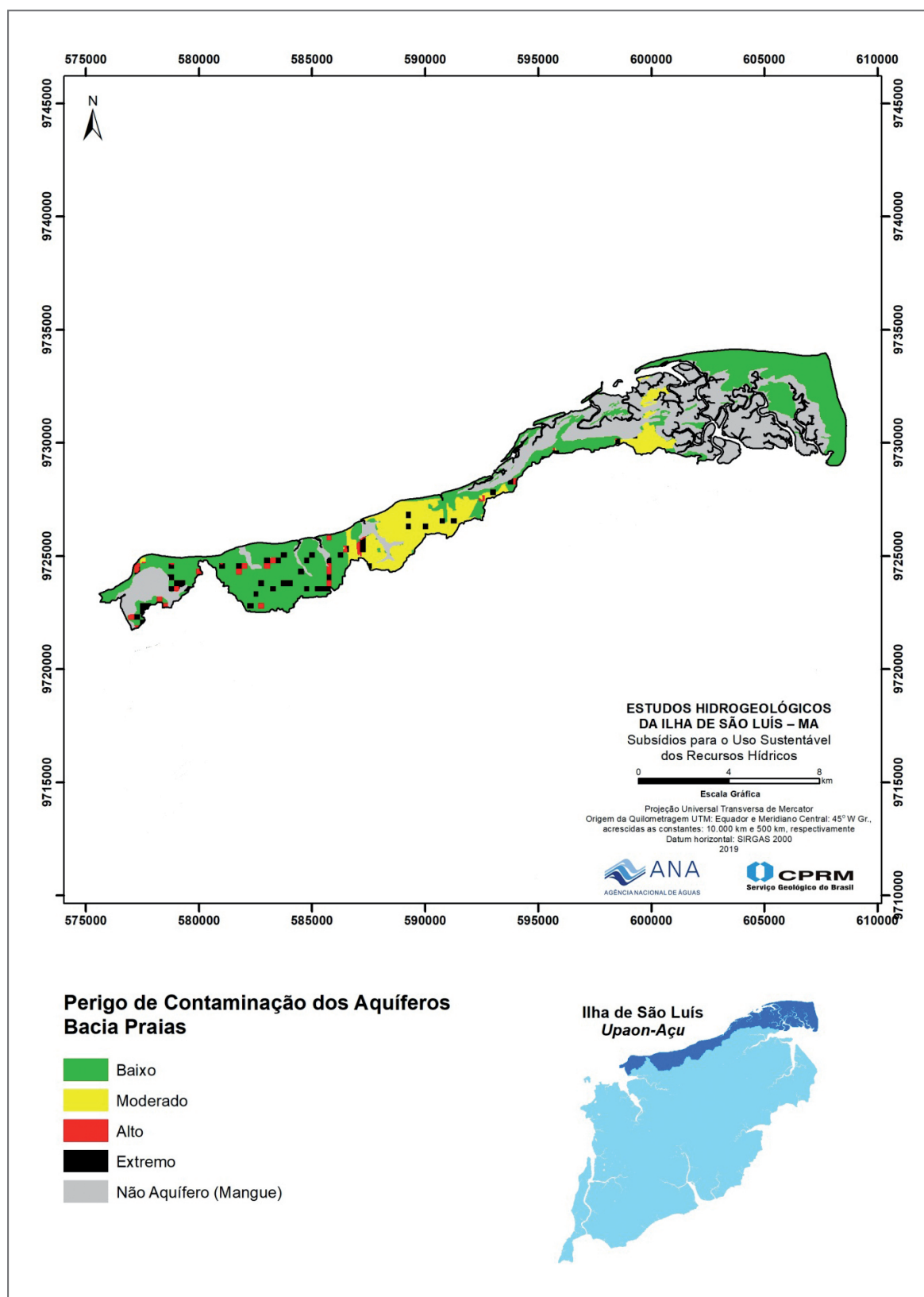


Figura 23: Perigo de contaminação dos aquíferos na Bacia hidrográfica Praias

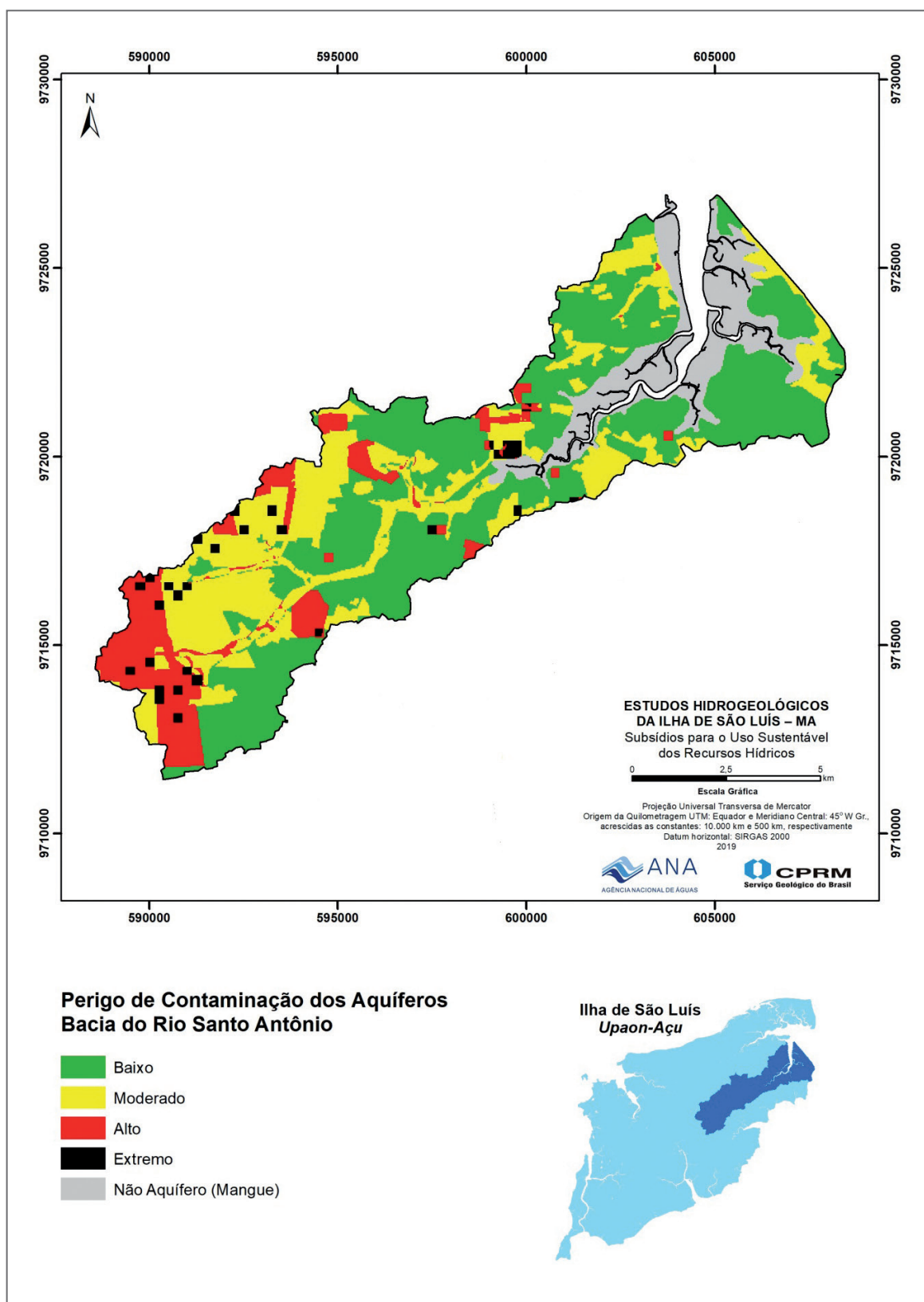


Figura 24: Perigo de contaminação dos aquíferos na Bacia hidrográfica do rio Santo Antônio

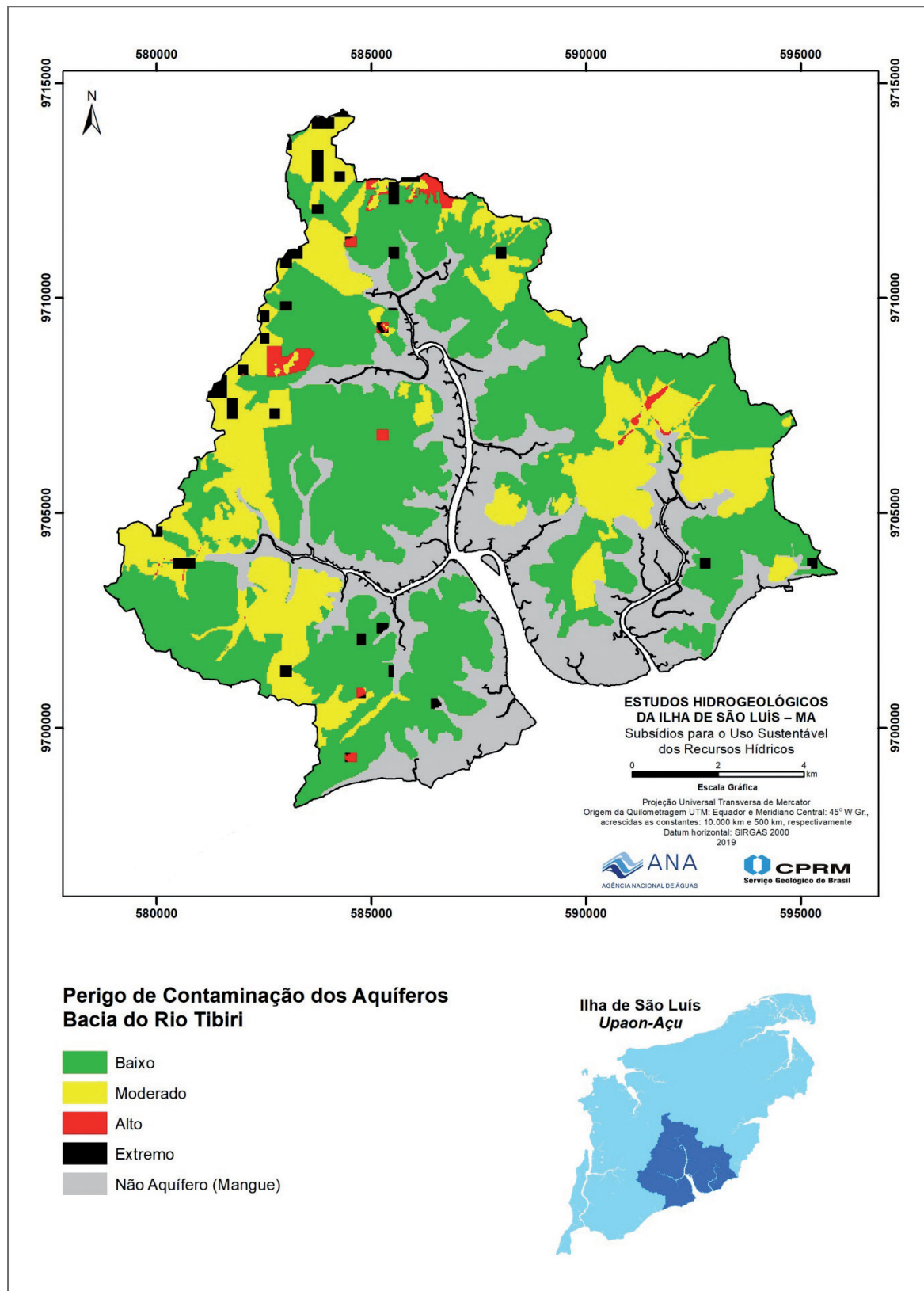


Figura 25: Perigo de contaminação dos aquíferos na Bacia hidrográfica do rio Tibiri

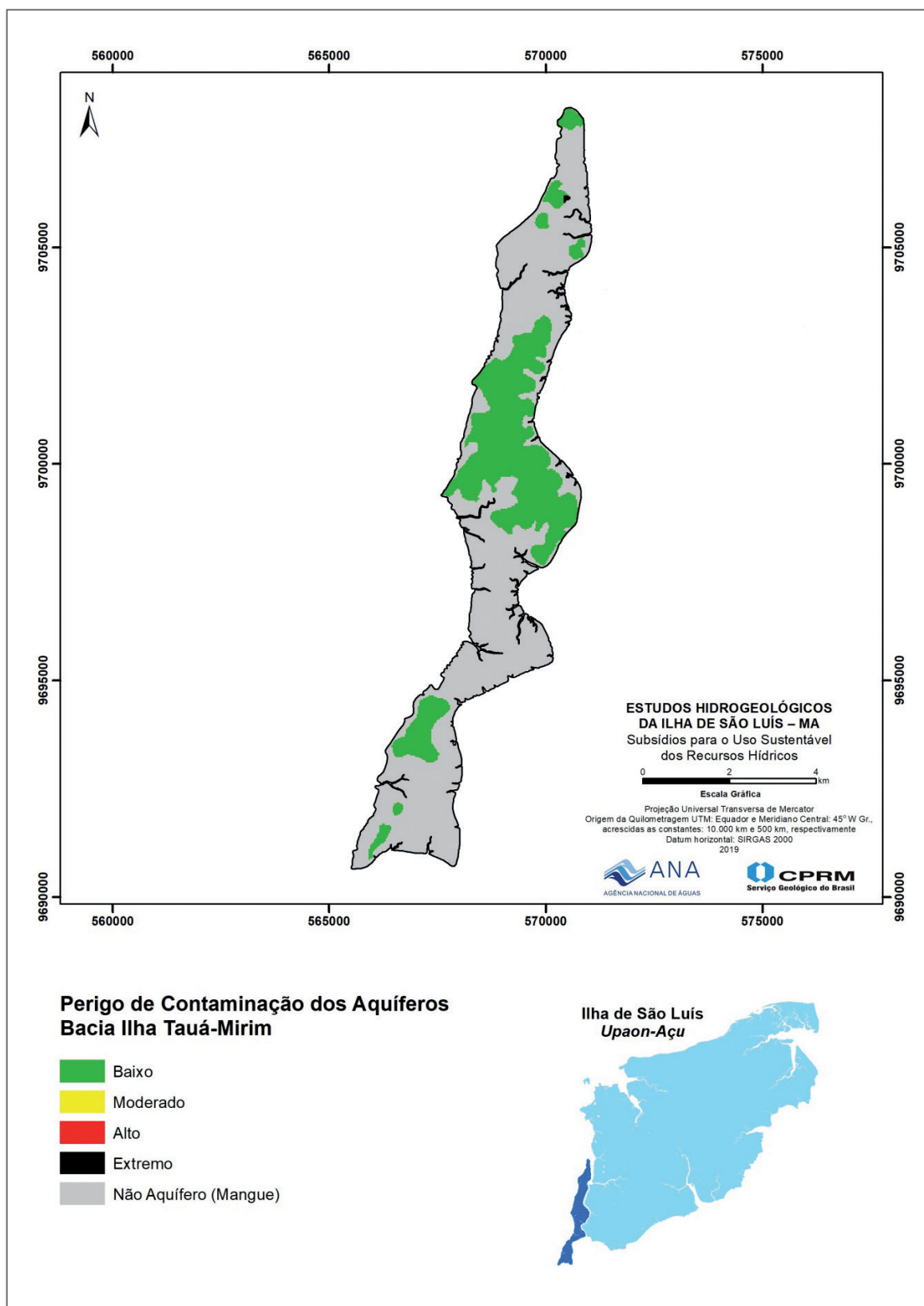


Figura 26: Perigo de contaminação dos aquíferos na Bacia Tauá-Mirim

As bacias hidrográficas dos rios Anil, Paciência e Santo Antônio são, juntamente com a bacia do Bacanga e das Praias, as mais densamente povoadas da Ilha, com mais de 1000 hab./km² (Tabela 8). Suas nascentes se situam nas áreas dos tabuleiros elevados, representando importantes áreas de recarga dos aquíferos. Nesses locais também se localizam as maiores concentrações das classes de perigo elevado e extremo, destacando-se entre elas a bacia do Anil, devido à sua pequena área geográfica (40,94 km²) e alta densidade populacional, acima de 6.500 hab./km². No caso da Bacia das Praias, ressalta-se a ocorrência das unidades mais recentes (dunas, depósitos litorâneos, etc.) que, devido à sua pequena profundidade de ocorrência e elevada permeabilidade, tem sua vulnerabilidade natural mais acentuada.

Tabela 8: Áreas, população e densidade populacionais das principais bacias hidrográficas

BACIA HIDROGRÁFICA	ÁREA (Km ²)	POPULAÇÃO 2017	HABITANTES/Km ²
Anil	40,94	266.933	6520,10
Bacanga	105,9	261.595	2470,21
Cachorros	65,00	15.637	240,57
Estiva	41,65	9.027	216,73
Itaqui	48,60	33.863	696,77
Paciência	153,12	400.756	2617,27
Praias	61,05	122.334	2003,83
Santo Antônio	100,46	175.655	1748,51
Tibiri	140,04	43.725	312,23
	756,76	1.329.525	

2.3. ÁREAS DE PROTEÇÃO DE FONTES DE ABASTECIMENTO SUBTERRÂNEAS

Visando reduzir os riscos de contaminação das águas subterrâneas, a partir dos pontos de acesso, naturais ou artificialmente construídos, como fontes ou poços de captação, se faz necessário estabelecer suas áreas de proteção, definidas como aquelas destinadas a proporcionar especial vigilância contra a contaminação das fontes de água destinadas ao abastecimento público, sendo delimitadas por um perímetro de proteção de poço (PPP) ou de outra fonte de captação.

Os PPP's são definidos ao longo da Zona de Contribuição (ZC) do poço, também denominada de Zona de Captura, representada pelo perímetro que delimita toda área de recarga do aquífero que contribui diretamente para o poço (Figura 27). A ZC é estabelecida pelos divisores de água subterrânea que se formam pelo bombeamento do poço e pelas fronteiras ou divisores naturais de fluxo.

De acordo com Foster *et al.* (*op cit*), as ameaças das atividades antrópicas a fontes de abastecimento de água dependem fundamentalmente de sua proximidade à captação e são controladas pelos seguintes fatores:



- i. Se a atividade está localizada dentro da zona de captura (no subsolo) dessa fonte de abastecimento, ou seja, de sua recarga ou zona de contribuição;
- ii. O tempo de trânsito horizontal da água subterrânea no aquífero, desde o local da atividade, até o ponto de extração da fonte de abastecimento.

De acordo com Iritani e Ezaki (2012), para uma proteção adequada da captação de água subterrânea, o ideal é o estabelecimento de restrições a atividades potencialmente poluidoras em toda a Zona de Contribuição (ZC) do poço. Entretanto, em alguns casos, ela pode ser muito extensa tornando esta estratégia inviável, seja do ponto de vista econômico ou técnico. Assim, a delimitação de perímetros internos à ZC permite o estabelecimento de zonas de proteção com controle e restrições tanto mais rígidos quanto mais próximos à captação.

O perímetro delimitado pelos pontos com o mesmo tempo de trânsito (isócrona) da água subterrânea no sentido montante do fluxo é denominado de Zona de Transporte (ZT). Por exemplo, a zona de transporte de 50 dias indica que qualquer partícula de água contida internamente a este perímetro atingirá o poço em um período de até 50 dias (Figura 27).

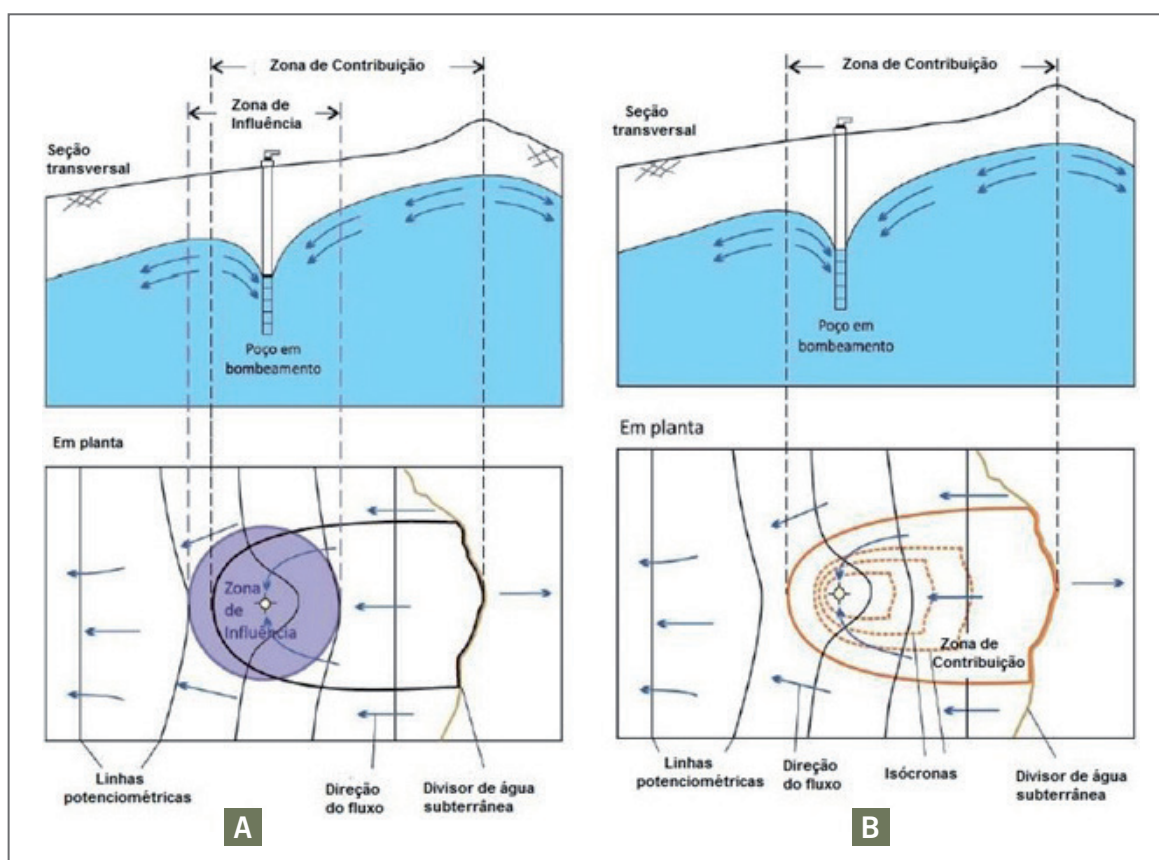


Figura 27: Zona de Influência (ZI), que corresponde ao cone de rebaixamento de um poço e (B) Isócronas da água subterrânea no sentido montante do fluxo para definição da zona de Transporte (ZT) de um poço (IRITANI; EZAKI, 2012)

2.3.1. Os Perímetros de Proteção de Poços (PPP) na Ilha de São Luís

No Estado do Maranhão, o Decreto nº 28.008 de 30 de janeiro de 2012, que regulamentava a Lei nº. 8.149, de 15/06/2004 e a Lei nº. 5.405, de 08/04/1992, determinava o estabelecimento de três zonas de proteção de poços tubulares, conforme abaixo:

a) **Zona de proteção imediata:** Área da superfície do terreno contígua à captação em que, para a proteção direta das instalações da captação e das águas captadas, todas as atividades são, por princípio, interditadas;

b) **Zona de proteção intermediária:** Área da superfície do terreno contígua exterior à zona de proteção imediata, de extensão variável, onde são interditadas ou condicionadas as atividades e as instalações susceptíveis de poluírem, alterarem a direção do fluxo ou modificarem a infiltração daquelas águas, em função do risco de poluição e da natureza dos terrenos envolventes;

c) **Zona de proteção ampliada:** Área da superfície do terreno contígua exterior à zona de proteção intermediária, destinada a proteger as águas de poluentes persistentes, onde as atividades e instalações são interditadas ou condicionadas em função do risco de poluição. Corresponde a parte da Zona de Influência localizada além da zona de proteção ampliada. Para sua determinação é necessário o conhecimento dos divisores naturais e artificiais do fluxo da água subterrânea, bem como a consideração de tempos de trânsito bastante extensos.

Embora os Decreto nº 27.845 de 18 de novembro de 2011, e o Decreto nº 28.008, de 30 de janeiro de 2012 tenham sido revogados pelo Decreto nº 34.847/19, a Lei 5.405/92 que *“Institui o Código de Proteção de Meio Ambiente e dispõe sobre o Sistema Estadual de Meio Ambiente e o uso adequado dos recursos naturais do Estado do Maranhão”*, em seu Art. 113 determina que *“As águas subterrâneas deverão ter programa permanente de preservação e conservação, visando ao seu melhor aproveitamento, conforme dispuser o regulamento”*.

Apesar disto, propõe-se neste documento o estabelecimento, por parte do órgão gestor, desses polígonos de proteção de poços na Ilha de São Luís, conforme os procedimentos a seguir:

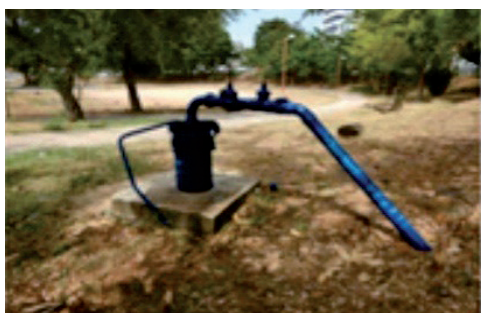
2.3.1.1. O Perímetro de Proteção Imediato

Para o estabelecimento do perímetro de proteção imediato, ou zona de proteção imediata, toma-se como referência a legislação do Estado de São Paulo (Lei nº 6.134, de 02/06/1988, Art. 24, regulamentada pelo Decreto nº 32.955, de 07/02/1991), que estabelece os procedimentos para a implantação dos perímetros imediatos de proteção de poços, conforme abaixo:

- Artigo 24 - Nas Áreas de Proteção de Poços e Outras Captações, será instituído Perímetro Imediato de Proteção Sanitária, abrangendo raio de dez metros, a partir do ponto de captação, cercado e protegido com telas, devendo o seu interior ficar resguardado da entrada ou penetração de poluentes.
- Parágrafo 1º - Nas áreas a que se refere este artigo, os poços e as captações deverão ser dotados de laje de proteção sanitária, para evitar a penetração de poluentes.

- Parágrafo 2º - As lajes de proteção, de concreto armado, deverão ser fundidas no local, envolver o tubo de revestimento, ter declividade do centro para as bordas, espessura mínima de dez centímetros e área não inferior a três metros quadrados.

A adoção desses procedimentos em muito melhoraria a gestão das águas subterrâneas locais, haja vista o estado atual de quase abandono em que se encontra a maioria das captações existentes, de propriedade das concessionárias de água (CAEMA e BRK AMBIENTAL), de outros órgãos públicos ou de propriedade privada, conforme pode ser verificado nas imagens da Foto 2.



Poço BE 057 (0578667/9720065).
Com laje de proteção, porém exposto
em área pública



Poço SA 110 (0591254/9719009).
Sem laje de proteção e sujeito ao acúmulo
de lixo



Poço BE 188 (0594120/9706295).
Sem laje de proteção e com aspecto
de abandono em meio ao matagal



Poço MJ 201 (0594115/9709748).
Sem laje de proteção e em meio
ao matagal



Poço SA 109 (0590856/9719118).
Com laje de proteção e dentro de área
de proteção não cimentada



Poço MJ 106 (0599120/9719005).
Sem laje de proteção nem perímetro
de proteção

Foto 2: Estado geral dos poços cadastrados na Ilha do Maranhão

2.3.1.2. *Perímetro Intermediário ou Zona Intermediária*

Corresponde ao perímetro de alerta da captação e sua forma e extensão pode ser calculada de várias formas:

i. Raio Fixo Arbitrário (RFA)

Método simplificado e impreciso e que não utiliza dados e informações sobre a captação, o aquífero ou os contaminantes.

Fixa arbitrariamente um raio de proteção ao redor do poço, sendo utilizado na definição de zonas de prevenção de acidentes. Normalmente utilizado na determinação da zona de proteção imediata.

ii. Raio Fixo Calculado (RFC)

Utilizado para determinação de áreas circulares ao redor da captação, através da qual a água subterrânea transita por determinado período.

Considere um poço bombeando a uma vazão (Q) constante em aquífero com espessura saturada (b), também constante e com baixo gradiente hidráulico, com fluxo horizontal radial para o poço. Este método calcula um cilindro cujo raio (r) corresponde a uma isócrona de tempo de trânsito (t), ou seja, a partícula que entrar neste cilindro demorará, no máximo, o tempo t para chegar ao poço (Figura 28).

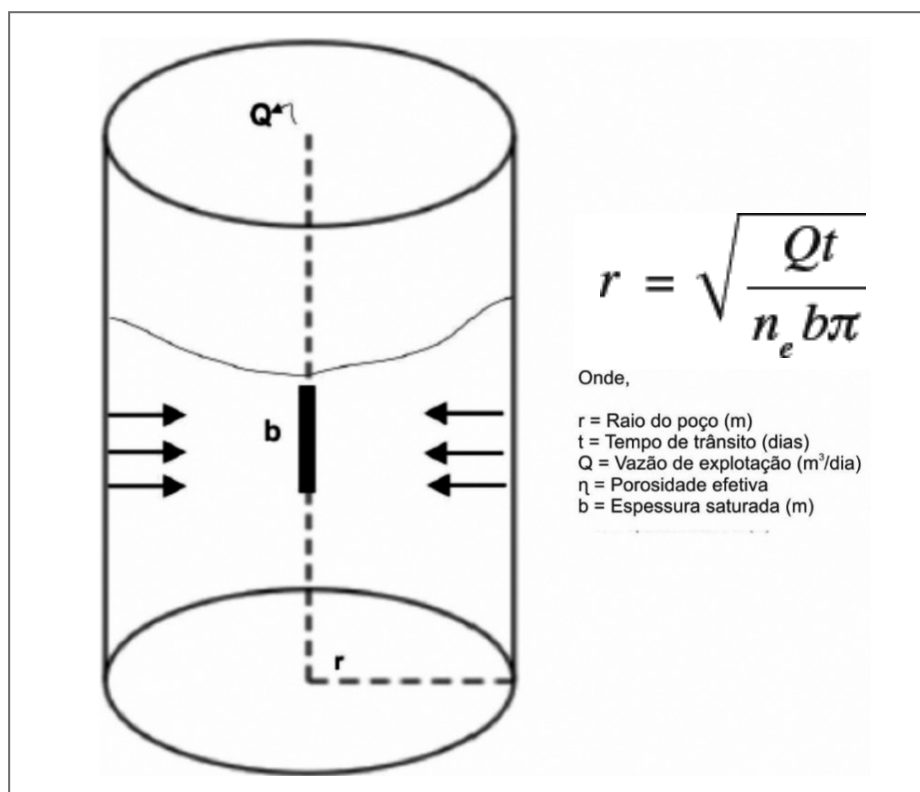


Figura 28: Modelo do Raio Fixo Calculado (RFC)



iii. Método de Wyssling

Consiste no cálculo da Zona de Chamada de uma captação. Segundo Merino e Navarrete (1991) a Zona de Chamada corresponde à parte da Zona de Contribuição onde se observa um rebaixamento do nível da água causado pelo bombeamento do poço.

Embora de determinação bastante simples, exige o conhecimento da zona de captura do poço e a existência de um mapa potenciométrico de maior detalhe, que permita calcular o gradiente hidráulico no local da captação. No nível do conhecimento hidrogeológico atual na ilha, esse método não nos parece factível de aplicação.

iv. Métodos Analíticos e/ou Numéricos

Requerem análises mais complexas que todos os métodos anteriormente citados e, também, não tem aplicação imediata na ilha de São Luís.

A Tabela 9 resume esses métodos, as limitações de cada um e os parâmetros necessários para sua aplicação.

Tabela 9: Principais características dos métodos empregados para delimitar perímetros de proteção de poços em meios com porosidade intergranular (baseado em NAVARRETE; GARCIA, 2003 apud IRITANI; EZAKI, 2012)

MÉTODO	LIMITAÇÕES	DADOS NECESSÁRIOS								OUTROS DADOS
		Q	i	K	b	μ_e	S	R	Ve	
Raio Fixo Calculado	Fluxo bidimensional. Fluxo ambiental desprezível. Poço de alta vazão	x			x	x				
Método de Wyssling	Aquífero homogêneo nas proximidades do poço. Gradiente regional uniforme	x	x	x	x	x			x	Direção de fluxo e linhas potenciométricas
Solução Analítica Simples	Aquífero homogêneo nas proximidades da captação	x	x	x	x	x				Direção de fluxo e linhas potenciométricas
Modelos Matemáticos (Visual Modflow, Visual Modpath)	Considera a componente de advecção de transporte de solutos, mas não considera a difusão e dispersão	Limites hidrogeológicos da área a modelar. Condições de contorno (recarga, características dos rios e drenagens). Geometria e tipo de aquífero. Potenciometria. Valores dos parâmetros hidráulicos em cada célula (Kx, Ky, Kz, S, μ_e), Q e regime de bombeamento em cada captação.								
Q: Vazão; N: Recarga; b: Espessura saturada; S: Coeficiente de armazenamento; K: Condutividade hidráulica; Ve: Velocidade efetiva; i: Gradiente hidráulico; μ_e : Porosidade efetiva.										

Onde:

Q = vazão de bombeamento; R = recarga; b = espessura saturada; S = coeficiente de armazenamento; K = condutividade hidráulica; Ve=Velocidade efetiva; i = gradiente hidráulico; μ_e = porosidade efetiva

Para a definição do Perímetro de Proteção Intermediária, será utilizada, a metodologia do Raio Fixo Calculado, uma vez que dispomos de todos os dados necessários (mapa de espessuras saturadas para o aquífero livre São Luís, condutividade hidráulica e porosidade efetiva).

Considerando a equação:

Sendo,

$$r = \sqrt{\frac{Qt}{n_e b \pi}}$$

r = Raio do perímetro de proteção;

t = Tempo de trânsito para um poluente atingir a captação, estipulado em 50 dias;

Q = Vazão de exploração (m^3/h);

μ_e = Porosidade efetiva, de 15% para o aquífero São Luís;

b = Espessura saturada, definida em cada ponto a partir do mapa de espessuras saturadas.

Considerando variações de vazões entre 100 e 2.000 m^3/dia e espessuras saturadas entre 10 e 100 m, teríamos as diversas extensões para o Perímetro de Proteção Intermediária no aquífero São Luís, conforme mostrado na Tabela 10 e no ábaco da Figura 29. Considera-se um tempo de trânsito de 50 dias.

Por tempo de trânsito se denomina o período no qual um contaminante atinja o poço e penetre no aquífero.

Tabela 10: Perímetro de Proteção Intermediário, vazões diárias e espessuras saturadas

VAZÃO (m^3/dia)	ESPESSURA SATURADA (M)									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
100	32.58	23.04	18.81	16.29	14.57	13.30	12.31	11.52	10.86	10.30
200	46.08	32.58	26.60	23.04	20.61	18.81	17.42	16.29	15.36	14.57
300	56.43	39.90	32.58	28.22	25.24	23.04	21.33	19.95	18.81	17.85
400	65.16	46.08	37.62	32.58	29.14	26.60	24.63	23.04	21.72	20.61
500	72.86	51.52	42.06	36.43	32.58	29.74	27.54	25.76	24.29	23.04
600	79.81	56.43	46.08	39.90	35.69	32.58	30.16	28.22	26.60	25.24
700	86.20	60.95	49.77	43.10	38.55	35.19	32.58	30.48	28.73	27.26
800	92.16	65.16	53.21	46.08	41.21	37.62	34.83	32.58	30.72	29.14
900	97.75	69.12	56.43	48.87	43.71	39.90	36.94	34.56	32.58	30.91
1000	103.03	72.86	59.49	51.52	46.08	42.06	38.94	36.43	34.34	32.58
2000	145.71	103.03	84.13	72.86	65.16	59.49	55.07	51.52	48.57	46.08

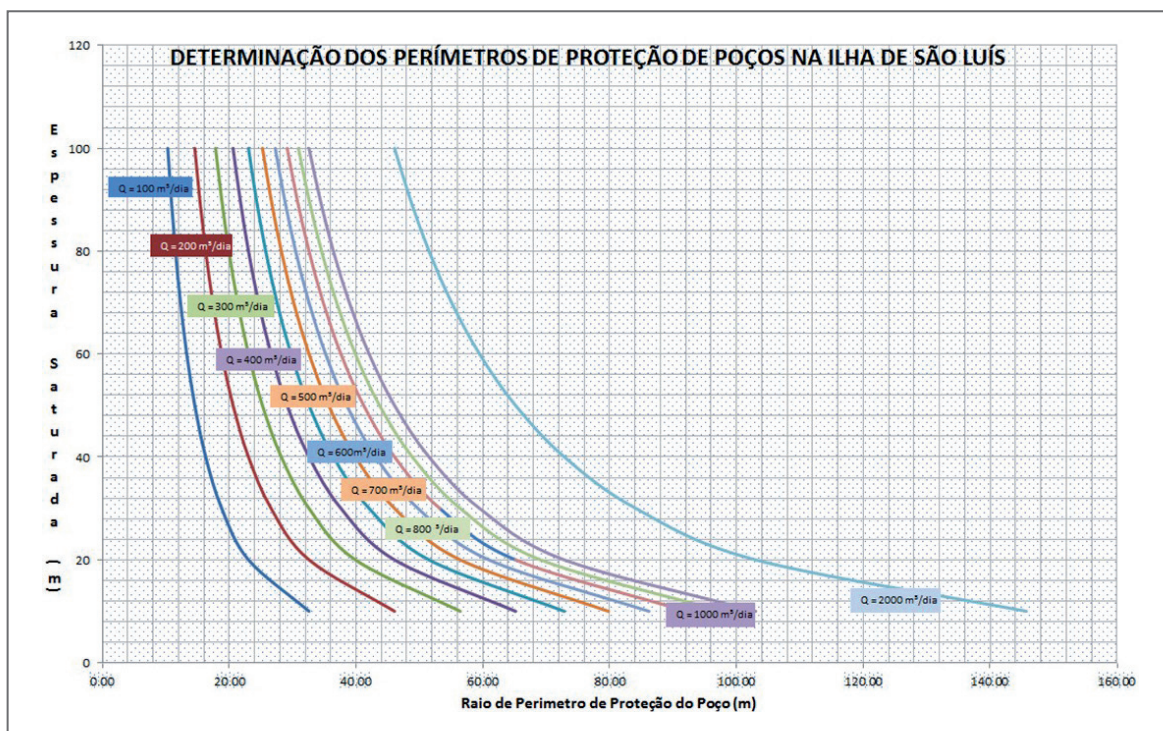


Figura 29: Ábaco para cálculo do perímetro intermediário de proteção, em função das vazões e espessuras saturadas na ilha de São Luís

Como exemplo da aplicação deste método, considere-se um poço bombeando uma vazão de $100 \text{ m}^3/\text{h}$, 20 horas por dia (volume total de $2.000 \text{ m}^3/\text{dia}$). Considerando as diversas espessuras saturadas possíveis, o perímetro de proteção poderia variar entre 150 e 45m. Hoje em dia, os perímetros de proteção são praticamente inexistentes, apesar do grande perigo de contaminação existente em toda a ilha.

2.3.1.3. *Perímetro de Proteção Ampliado ou Zona Ampliada*

Área da superfície do terreno contígua exterior à zona de proteção intermediária, destinada a proteger as águas de poluentes persistentes, onde as atividades e instalações são interditadas ou condicionadas em função do risco de poluição.

Para uma completa proteção de poços o ideal é o estabelecimento de restrições a atividades potencialmente poluidoras em toda a Zona de Contribuição da captação. Como esta prática costuma delimitar áreas muito extensas, tornando esta estratégia inviável, seja do ponto de vista econômico ou técnico, não será considerada no presente estudo.

2.4. RISCOS DE INTRUSÕES SALINAS

2.4.1. O Método GALDIT

A intrusão de águas salinas, diretamente do mar ou pela drenança de mangues continentais em aquíferos costeiros se constitui em uma das ocorrências mais danosas que podem afetar a



qualidade das águas subterrâneas. Origina-se principalmente pelo avanço do nível do mar, decorrente da superexploração de aquíferos ou por infiltrações verticais de águas salinizadas a partir dos mangues superiores, facilitadas por deficiências construtivas nos poços existentes. Na Ilha de São Luís, sujeita a marés de grande amplitude que “afogam” todas as drenagens existentes, coberta por extensos manguezais salinos e sujeita à intensa exploração de águas subterrâneas este risco é onipresente, podendo dar origem à salinização desses recursos hídricos, fundamentais para o abastecimento local.

A salinização pode ocorrer em diversas direções, seja horizontalmente, por percolações vindas do mar diretamente para o aquífero, verticalmente, através de camadas superiores salinizadas como manguezais e estuários, ou através de poços mal construídos, que servem como drenos para infiltração de águas salinizadas.

A superexploração ou sobre-exploração se constitui em importante causa da salinização, uma vez que o incremento dos volumes de água captados pode resultar na diminuição das cargas potenciométricas das águas subterrâneas, fazendo com que, paulatinamente, a interface água doce - água salgada avance para dentro da Ilha.

Chachadi e Lobo-Ferreira (2001, 2005) com o objetivo de avaliar a vulnerabilidade à intrusão marinha em regiões costeiras desenvolveram um método para estimar o grau desta vulnerabilidade, denominado GALDIT, cujo acrônimo é mostrado abaixo:

G – *Groundwater occurrence - Aquifer type: unconfined, confined and leaky confined. Relaciona-se com o tipo de ocorrência das águas subterrâneas.*

A – *Aquifer hydraulic conductivity (condutividade hidráulica);*

L – *Depth to groundwater Level above the sea (profundidade da água subterrânea acima do nível do mar);*

D – *Distance from the shore (distância à linha de costa);*

I – *Impact status of existing seawater intrusion (Impacto de intrusão marinha já existente);*

T – *Thickness of the aquifer (espessura do aquífero).*

O parâmetro G se refere ao tipo de aquífero, que pode ser, no caso da Ilha de São Luís, confinado ou livre. Em condições naturais, os aquíferos livres são mais suscetíveis à intrusão marinha do que os aquíferos confinados, uma vez que estes possuem a proteção de uma carga hidráulica superior à pressão atmosférica. Contudo, quando há exploração, o aquífero confinado torna-se mais vulnerável, devido à formação de um maior cone de rebaixamento e descarga instantânea de água para as captações durante o bombeamento.

A condutividade hidráulica (T) é definida como a capacidade do aquífero em transmitir água e depende da porosidade eficaz. Influencia a dimensão da intrusão marinha, pois quanto mais elevada, mais fácil se dará o avanço da cunha salina.

A profundidade da água em relação ao nível do mar (L) se refere ao nível de água subterrânea em relação ao mar. É um parâmetro bastante importante, uma vez que permite determinar a carga hidráulica capaz de evitar o avanço da cunha salina. Neste parâmetro deve ser considerada a variação temporal de longo período dos níveis de água.

A distância à linha de costa (D) diminui com o aumento da distância na perpendicular à costa, apresentando valores máximos junto ao litoral.

O impacto do estado atual da intrusão marinha na região (I) – Reflete o desequilíbrio que pode existir entre a água do mar e a água doce, por alteração do equilíbrio hidráulico em condições naturais e como resultado de atividades antrópicas já existentes. Utiliza-se a razão $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$ (em miliequivalentes/litro), para avaliação em aquíferos costeiros.

A espessura do aquífero (T) e a espessura saturada do aquífero confinado desempenham um papel importante no controle da intrusão marinha. Quanto maior for a espessura do aquífero maior a extensão da intrusão.

Os parâmetros acima variam entre 2,5 e 10, correspondendo as classes de vulnerabilidade à intrusão marinha crescente.

A Tabela 11 mostra os intervalos de variação e os valores dos índices, conforme atribuídos originalmente por Chachadi e Lobo-Ferreira (*op cit*).

Tabela 11: Parâmetros, intervalos e índices do método GALDIT

PARÂMETRO OBSERVADO		INTERVALO		ÍNDICE	PESO
G	Forma de ocorrência dos aquíferos	Confinado		10	1
		Livre		7.5	
		Semiconfinado		5	
		Limitado		2.5	
A	Condutividade hidráulica (m/dia)	Elevada	> 40	10	3
		Média	10 a 40	7.5	
		Baixa	5 a 10	5	
		Muito baixa	< 5	2.5	
L	Nível da água acima do nível do mar (m)	Elevada	< 1	10	4
		Média	1 a 1.5	7.5	
		Baixa	1.5 a 2	5	
		Muito baixa	> 2	2.5	
D	Distância à linha de costa (m)	Muito perto	< 500	10	4
		Perto	500 a 750	7.5	
		Meia distância	750 a 1000	5	
		Longe	> 1000	2.5	

continua

Tabela 11: Parâmetros, intervalos e índices do método GALDIT (continuação)

PARÂMETRO OBSERVADO		INTERVALO		ÍNDICE	PESO
I	Impacto atual intrusão (Cl ⁻ /HCO ₃ ⁻)	Alta	>2	10	1
		Média	1.5 a 2	7.5	
		Baixa	1 a 1.5	5	
		Moderada	< 1	2.5	
T	Espessura do aquífero (m)	Grande	>10	10	2
		Média	7.5 a 10	7.5	
		Pequena	5 a 7.5	5	
		Muito pequena	<5	2.5	

São também utilizados coeficientes de ponderação variando entre 1 e 4, valores estes associados, respectivamente, aos parâmetros com menor e maior influência na vulnerabilidade, de acordo com a Tabela 11.

Conhecidos os valores de cada parâmetro, o índice GALDIT é calculado utilizando a equação abaixo (CHACHADI; LOBO-FERREIRA, 2005).

$$\text{Índice GALDIT} = (1 \cdot G + 3 \cdot A + 4 \cdot L + 4 \cdot D + 1 \cdot I + 2 \cdot T) / 15 \quad (1)$$

2.4.2. Aplicação do método à Ilha de São Luís

Considera-se a Ilha, conforme referido ao longo deste relatório, constituída por quatro sistemas hidrogeológicos principais: o Sistema Itapecuru/Alcântara, o Sistema São Luís, o Sistema Holocênico, e uma unidade Não Aquífera, que não será considerada para efeitos de salinização de águas.

Na análise do índice G, relacionado à forma de ocorrência do aquífero, se estipulou o valor 10 para o Sistema Itapecuru/Alcântara, por ser confinado. Para o Sistema Aquífero São Luís, livre, foi atribuído o valor 7,5, enquanto que para o Sistema Holocênico, de dimensões e ocorrência limitada, foi atribuído o índice de 2,5 (ver a Figura 30).

Para a avaliação das condutividades hidráulicas (K) das unidades existentes (parâmetro A da equação do GALDIT), foram utilizados dados secundários de testes de bombeamento existentes e consideradas as relações entre as condutividades, a transmissividade hidráulica (T) e as espessuras saturadas dos aquíferos (B), expressa pela equação $T = K \cdot B$. No Sistema Aquífero Livre, destacam-se a área central da Ilha, e os depósitos eólicos e litorâneos que, embora de pequenas produtividades, mostram boas condutividades hidráulicas, refletindo sua alta porosidade efetiva. No Sistema Itapecuru/Alcântara, a área próxima ao Parque Estadual do Bacanga apresenta os maiores valores de condutividades hidráulicas e, portanto, a maior vulnerabilidade à salinização. A Figura 31 mostra a distribuição das condutividades hidráulicas na Ilha de São Luís.

O parâmetro L (Figura 32) – Altura dos níveis da água subterrâneas acima dos níveis do mar foi obtido a partir dos dados do cadastro de poços e também da campanha de medição de níveis

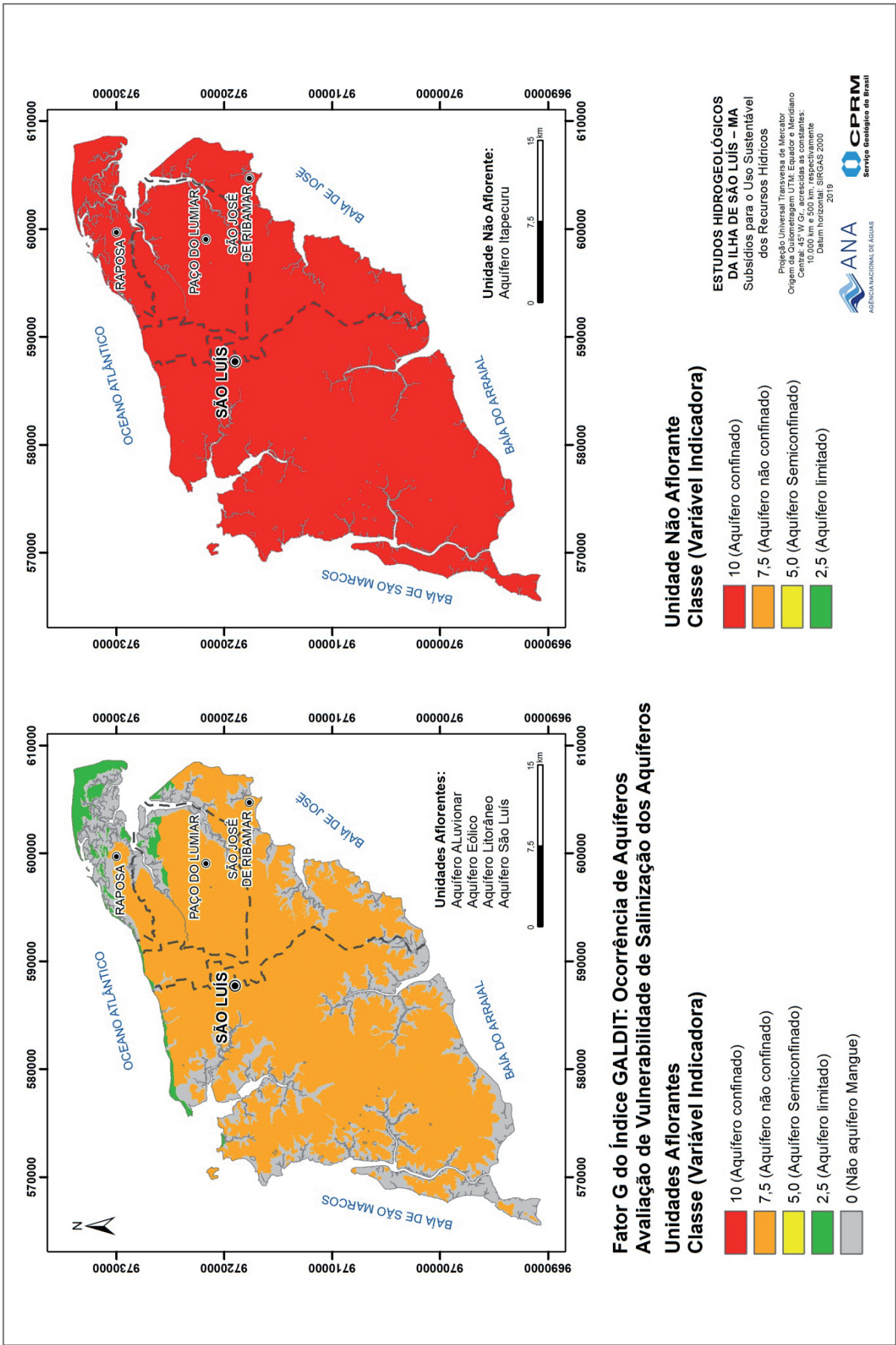


Figura 30: Ocorrência dos aquíferos (índice “G” do método Galdit)

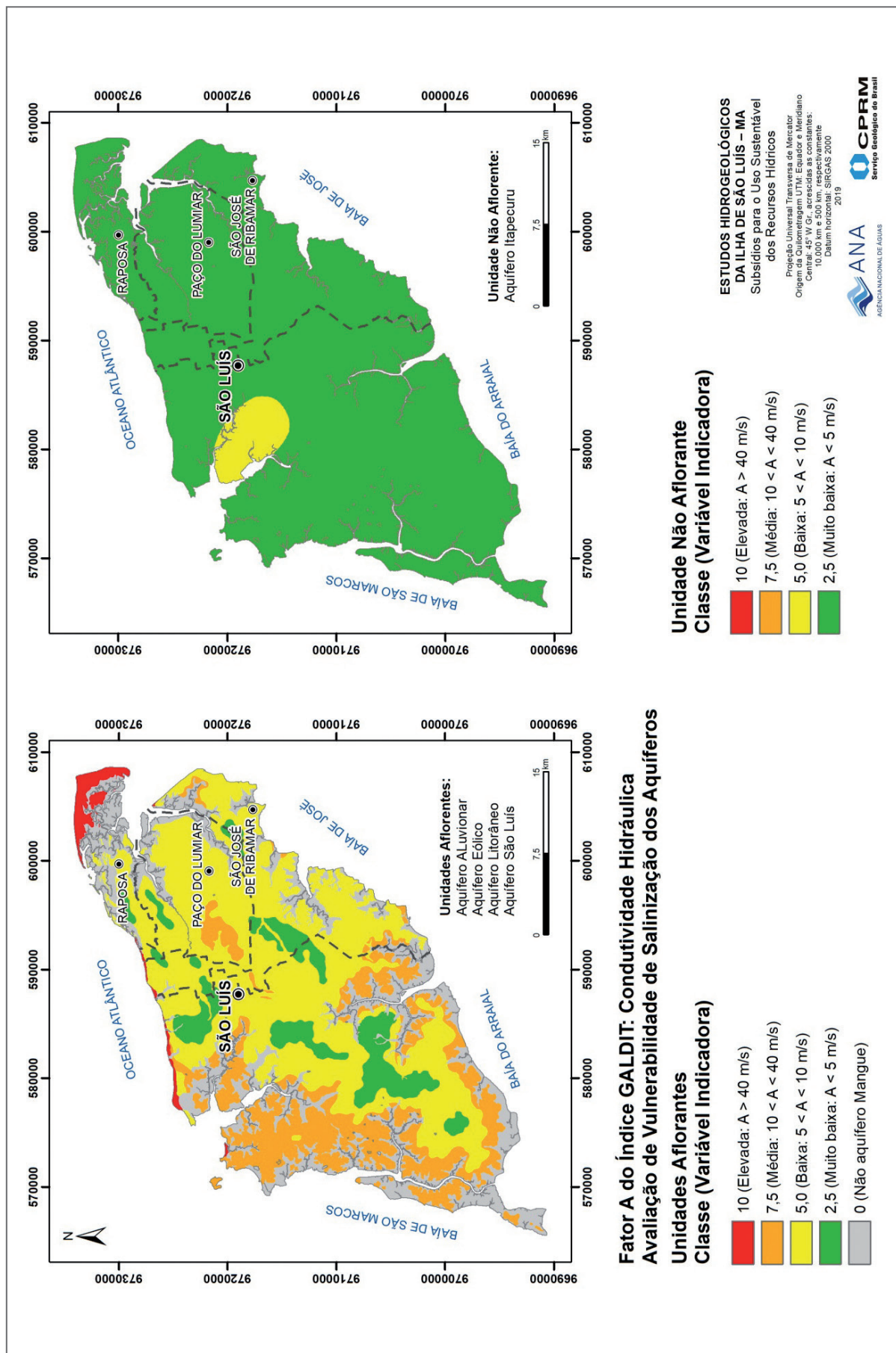


Figura 31: Distribuição das condutividades hidráulicas do Aquífero (m/dia). Unidades Aflorantes (à esquerda). Unidades Aflorantes-Alcântara (à direita)

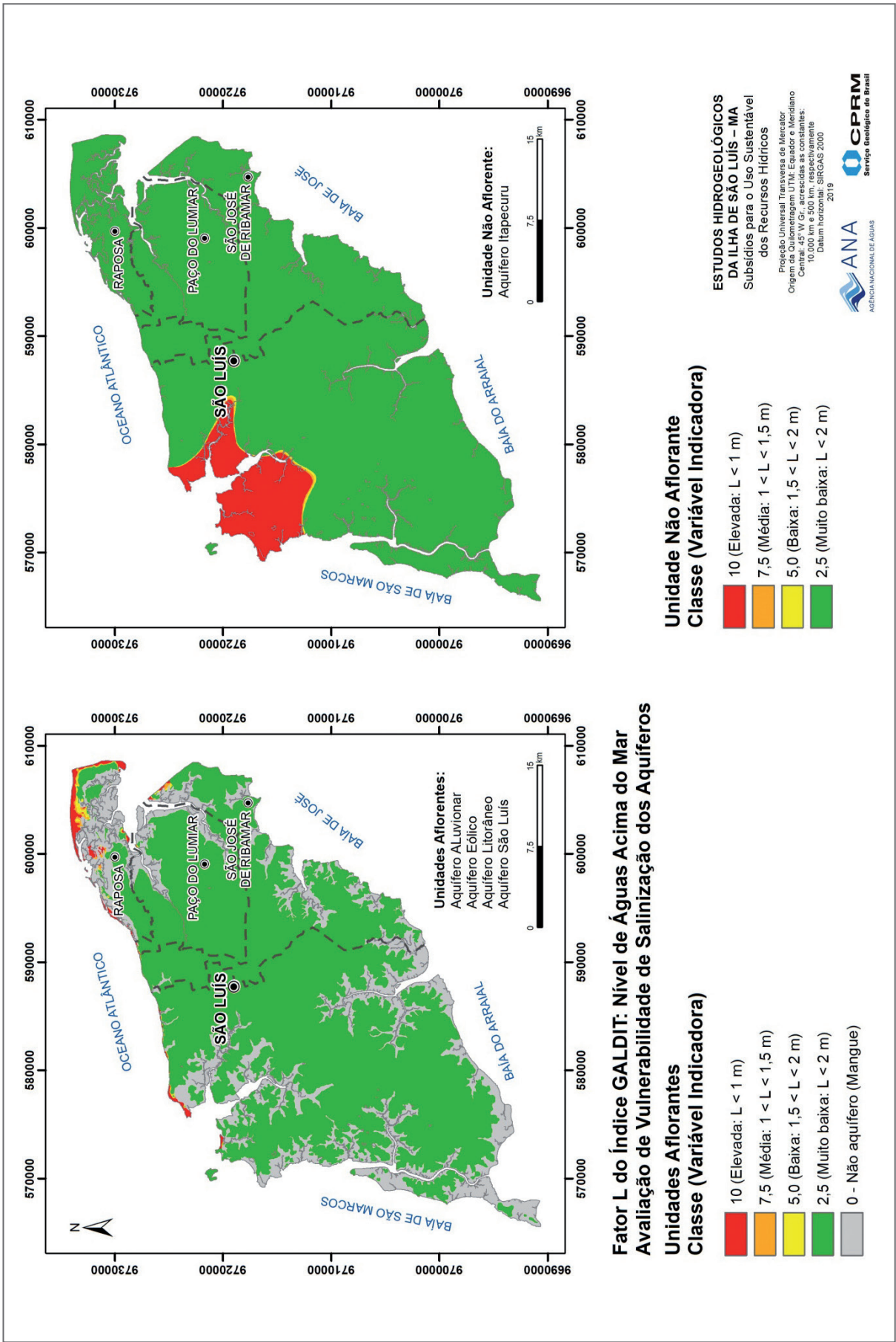


Figura 32: Parâmetro L (Galdit) Altura da água acima do nível do mar

de água realizada. O Sistema Aquífero São Luís mostra profundidades de água subterrânea quase sempre bem acima do nível do mar, com baixa vulnerabilidade, se situando na classe muito baixa de risco (índice 2,5). O Sistema Holocênico, principalmente quando localizado nas praias e nas dunas costeiras, apresenta risco elevado, com índice GALDIT de 10. O Sistema Itapecuru/Alcântara, apresenta risco elevado na área do Anil/Bacanga/Itaqui (índice >7,5) e muito baixo na porção mais interior da Ilha, uma vez que suas superfícies potenciométricas encontram-se bastante acima do nível do mar, e média nas bordas. (ver Figura 43: Altura da água sob pressão no aquífero Itapecuru) e média nas bordas.

O parâmetro D – Distância à linha da costa foi determinada através do cálculo de três distâncias na perpendicular à linha da costa, de 500, 750 e 1000 m respectivamente. Os resultados são mostrados no mapa da Figura 33.

Para estimativa do parâmetro I – Impacto atual da intrusão marinha (Figura 34), foram utilizados os resultados das análises químicas da primeira campanha de coleta de águas. Os valores das concentrações de Cl^- e HCO_3^- , originalmente expressos em mg/l foram convertidos para meq/l (miliequivalentes/litros). Os resultados desta relação aplicam-se como indicadores de contaminações de águas subterrâneas. Admite-se que águas do mar mostram valores para esta razão superiores a 20, enquanto em águas continentais, se situam entre 0,4 e 0,5. O valor deste índice, no caso das unidades aflorantes é normalmente elevado, indicado alto risco de salinização. Para o Sistema Itapecuru/Alcântara, confinado, embora predominem as áreas de risco elevado (10), interessante feição pode ser encontrada na porção centro-sul da Ilha. Nesta área, ocorre uma zona aparentemente de baixo risco, desde o limite sul da Ilha com o continente, deslocando-se para o interior da Ilha, onde progressivamente se torna maior. Pode-se considerar a existência de uma possível recarga vinda do continente, onde as águas se apresentam menos mineralizadas.

As espessuras das unidades ocorrentes na área (Figura 35), índice T, foram determinadas através dos perfis dos poços cadastrados.

Aos Aquíferos São Luís e Itapecuru, de grandes espessuras, foi atribuído o índice 10, enquanto no Sistema Holocênico, foram atribuídos os valores de 7,5 às dunas costeiras e de 5 ao Depósitos Aluvionares.

Os valores dos índices obtidos para cada um desses parâmetros foram substituídos na equação (1), originando os mapas dos índices de vulnerabilidade, para os sistemas aflorantes e confinados em toda a Ilha, conforme mostrado na Figura 36.

No caso dos aquíferos livres (aflorantes), as vulnerabilidades distribuem-se nas classes de vulnerabilidade baixa e média (no Sistema Aquífero São Luís) e alta, no Sistema Holocênico. As zonas de mangues, apesar de representadas na figura, por não conduzirem água, não foram analisadas.

O Sistema Itapecuru/Alcântara, apresenta risco elevado na área do Anil/Bacanga/Itaqui, muito baixo na porção mais interior da Ilha, uma vez que suas superfícies potenciométricas encontram-se bastante acima do nível do mar, e média nas bordas.

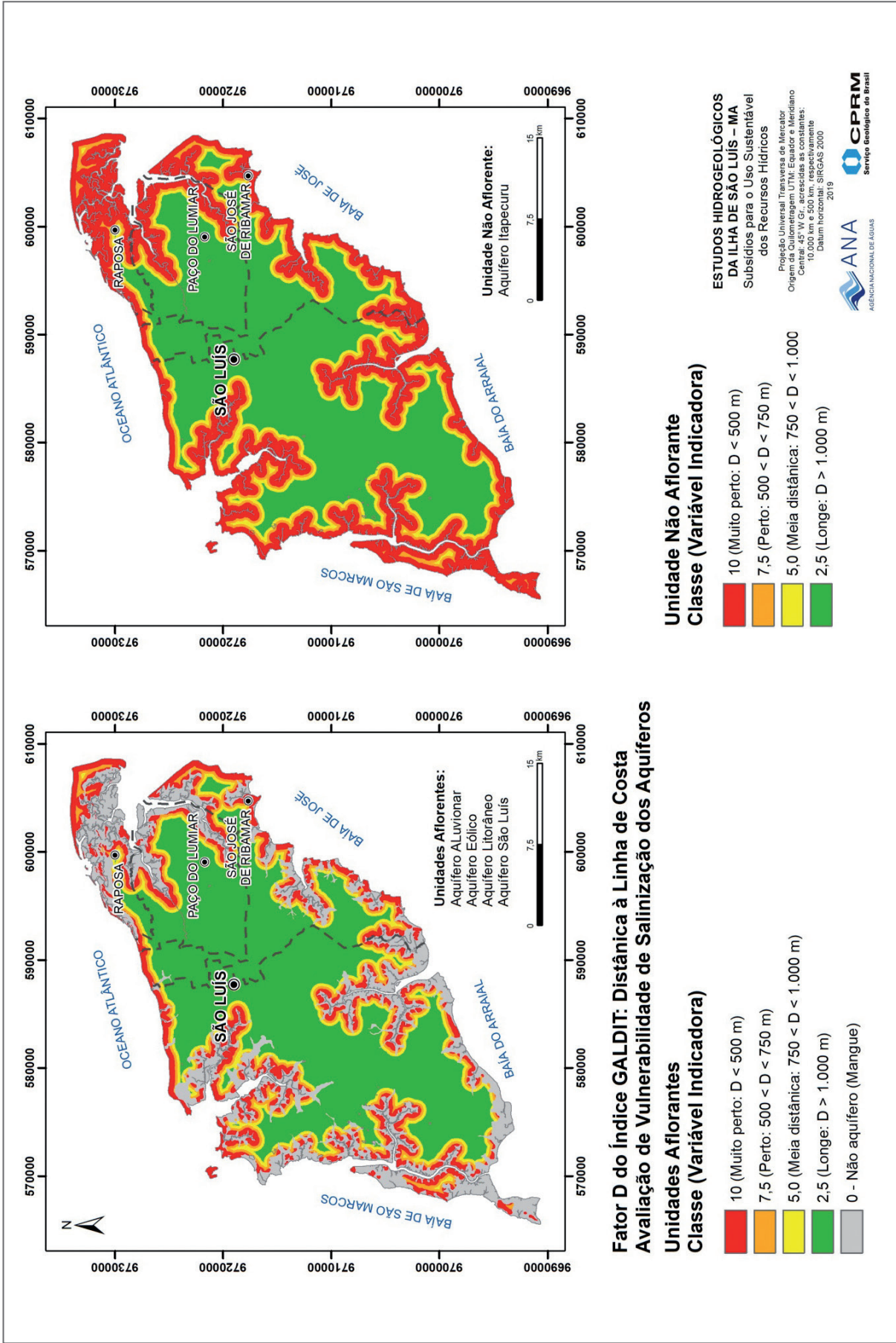


Figura 33: Distância dos aquíferos em relação à linha de costa

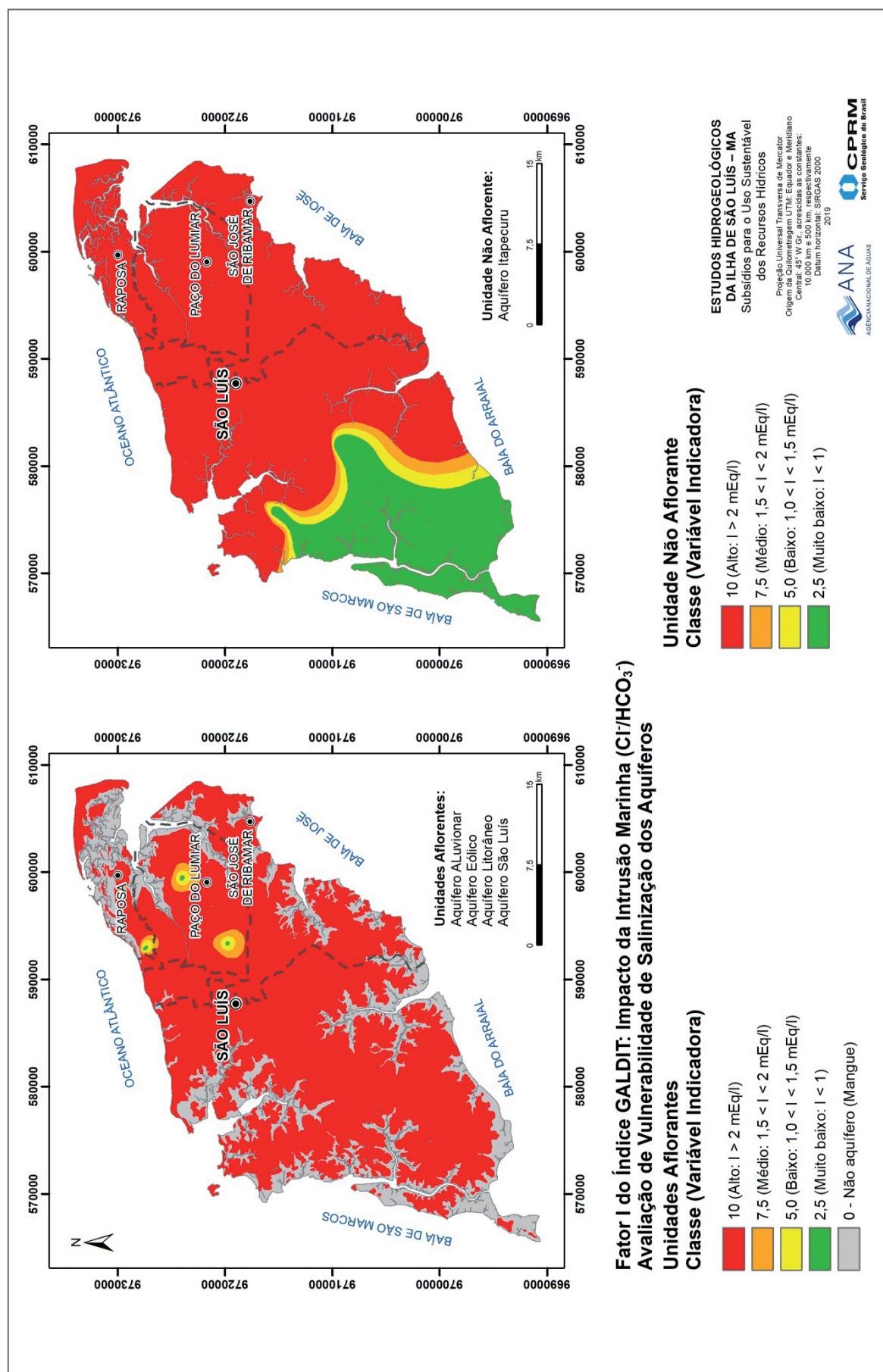


Figura 34: Estado atual do impacto existente da intrusão da água do mar no aquífero (mEq/l). Unidades Aflorantes (à esquerda). Sistema Itapecuru-Alcântara (à direita)

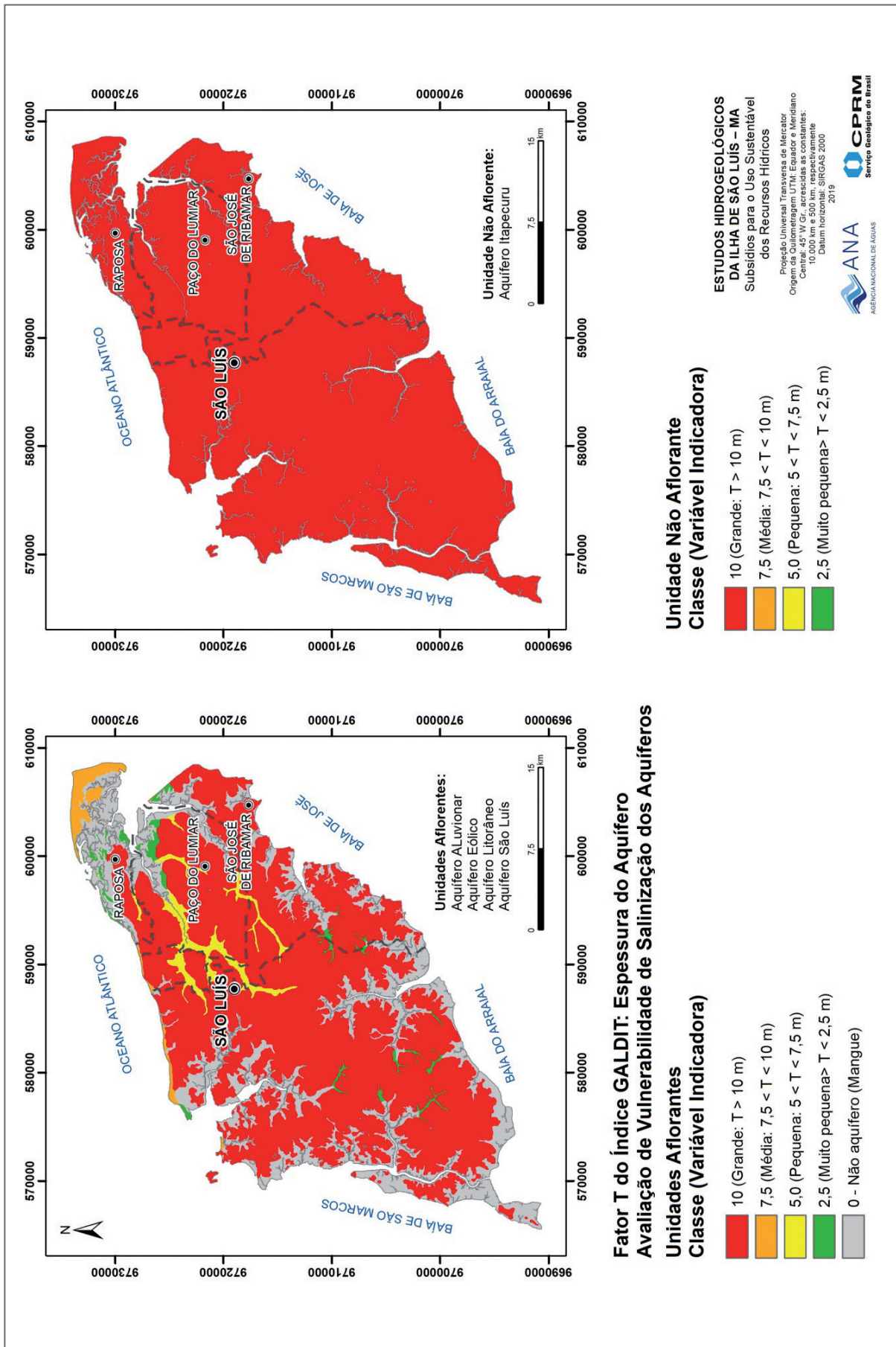


Figura 35: Espessura dos aquíferos

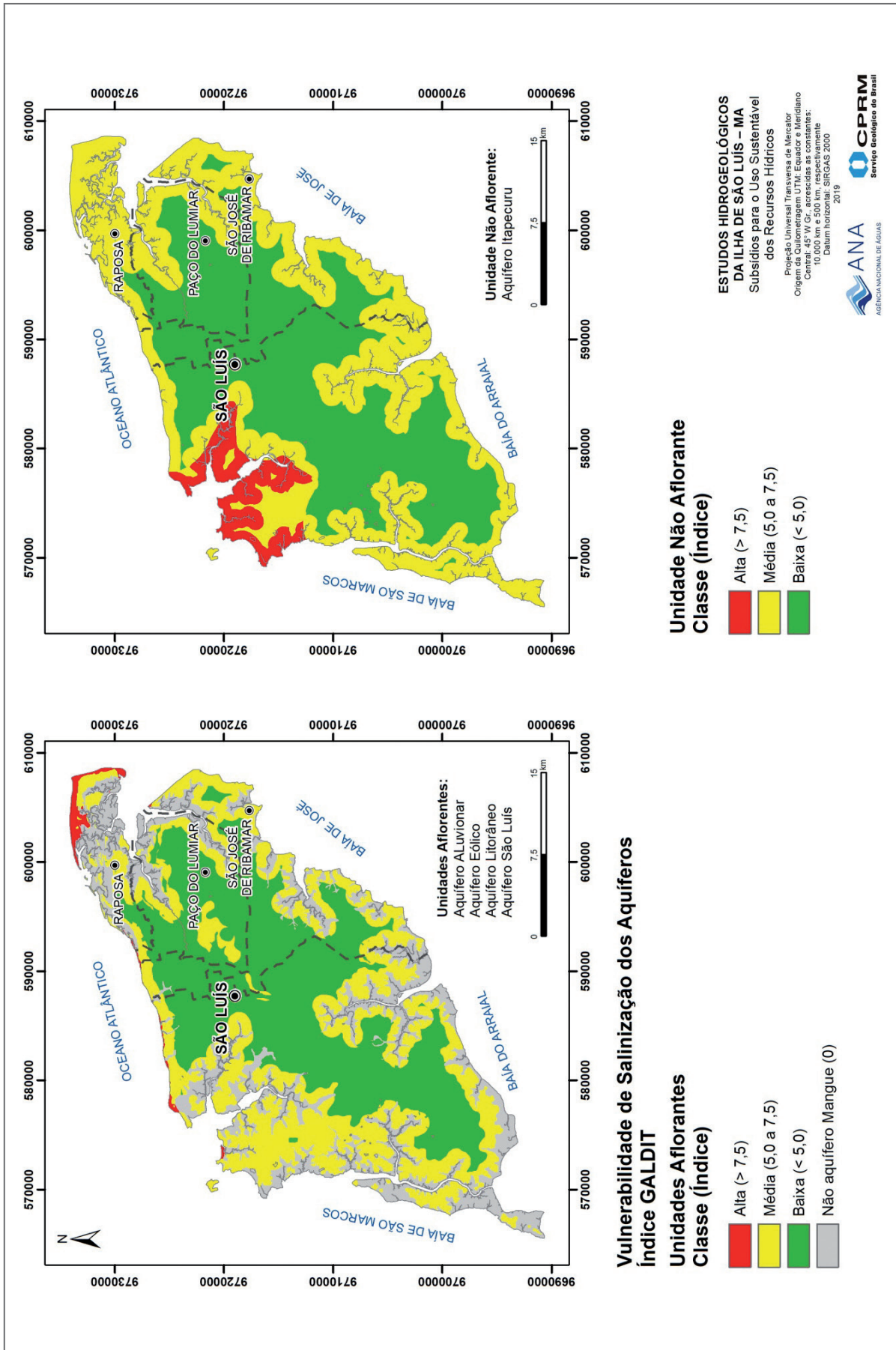


Figura 36: Mapa de vulnerabilidade a salinização dos aquíferos da Ilha de São Luís – MA

2.4.3. Considerações finais sobre os riscos à salinização

A Ilha de São Luís, de uma maneira geral, encontra-se sujeita a riscos de salinização nos sentidos vertical, por drenanças a partir dos mangues salinizados ou por infiltrações a partir de poços mal construídos e pelo avanço da cunha salina.

As mudanças climáticas e o aquecimento global também podem ter grande influência nas características físico-químicas destas águas, visto que, elevações do nível do mar causadas por esses fenômenos provocariam uma maior penetração do oceano na Ilha, constituindo-se em fator de grande influência no processo de salinização.

Em regiões insulares, o escoamento das águas subterrâneas ocorre de forma radial, a partir da zona central das Ilhas, com gradientes hidráulicos que variam de acordo com as características hidrodinâmicas regionais e as condições de fluxo dominantes, como mostrado na Figura 37.

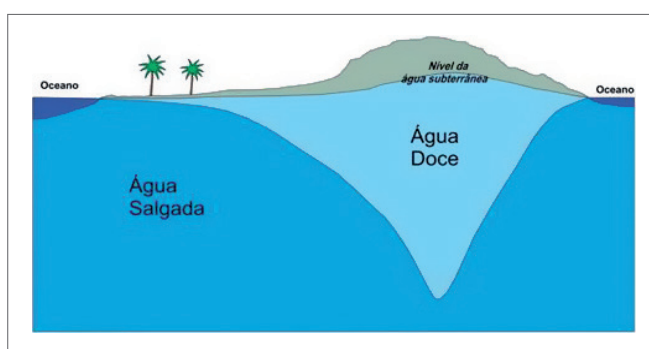


Figura 37: Configuração normal da interface água doce/água salgada em regiões insulares

Conforme mostrado na Figura 2 do item 2.2 do Volume III deste Relatório Final, a existência de poços salinizados, em profundidades superiores às aquelas usualmente existentes na Ilha (Praça da Misericórdia, com 170m de profundidade, Parque Bom Menino (184m), Praça Catulo da Paixão Cearense (200m) e no Outeiro da Cruz, com seções filtrantes iniciadas, respectivamente em 112m, 128m, 124m e 164m) evidenciam, a presença de águas salgadas em todo o substrato da Ilha.

Ressalte-se que esta suposição, baseada no princípio de Ghijben-Herzberg, não reproduz obrigatoriamente o comportamento real da interface água doce/água salgada na Ilha do Maranhão. Sua representação cumpre apenas o propósito de mostrar a importância da boa gestão.

De toda sorte, em trabalhos de reconhecimento elétrico, utilizando sondagens elétricas verticais – SEVs, com AB/2 de até 3.000 metros, realizado na área de Itaqui, Rebouças e Silva (1972), apresentaram resultados muito condizentes com esta suposição.

Citam a ocorrência de 3 horizontes elétricos principais, claramente diferenciados:

- Um horizonte subsuperficial condutor 8 ohms.m;
- Um horizonte resistente profundo de até 100 ohms.m;
- Um substrato infinitamente condutor.

Nas suas conclusões afirmam que o horizonte eletricamente mais resistente, corresponderia a uma camada arenosa com boas características hidrodinâmicas, enquanto que o horizonte infinitamente condutor representava uma camada argilosa seguida por uma sequência arenosa com água salgada, indicando também o risco da perfuração de poços em profundidades maiores que os 100m abaixo do nível do mar, como anteriormente sugerido.

Esses estudos, pela grande profundidade de investigação alcançada (AB/2 de 3.000m) complementam os dados obtidos nas SEVs realizadas no presente trabalho, nas quais não foi possível se conseguir tal espaçamento entre os eletrodos, pelas razões apresentadas no item 3 do Volume I deste relatório.

Rebouças e Silva (*op. cit.*), não mostram mapas de localização das SEVs realizadas, ressaltando apenas que se situam na região de Itaqui e dando indicações dos pontos iniciais e finais dos trabalhos. Desta forma, visando evitar especulações sobre o seu trajeto, deixamos também de apresentar aqui esses mapas.

A Figura 38 e a Figura 39 mostram as seções geoeletricas realizadas.

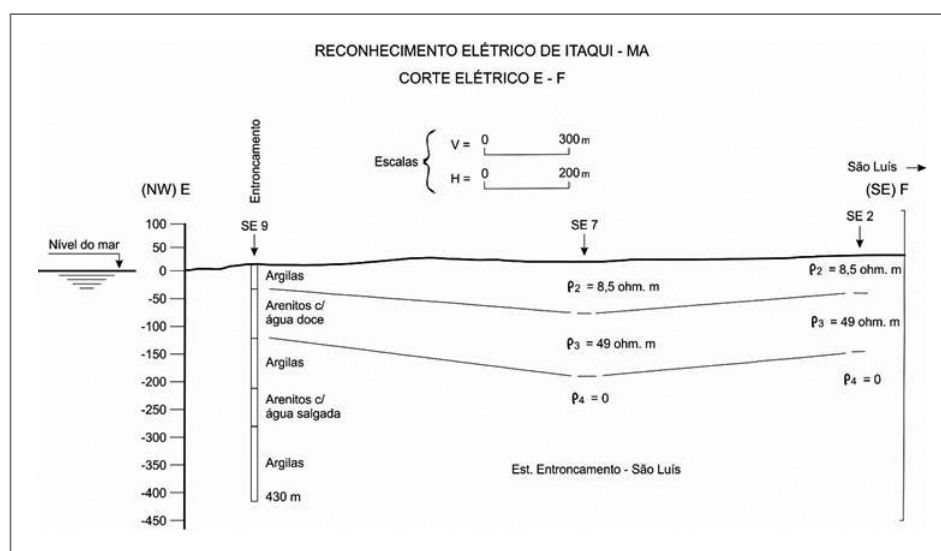


Figura 38: Seção geoeletrica E – F na Ilha de São Luís, evidenciando a existência de águas salinizadas em profundidades próximas a 100 m

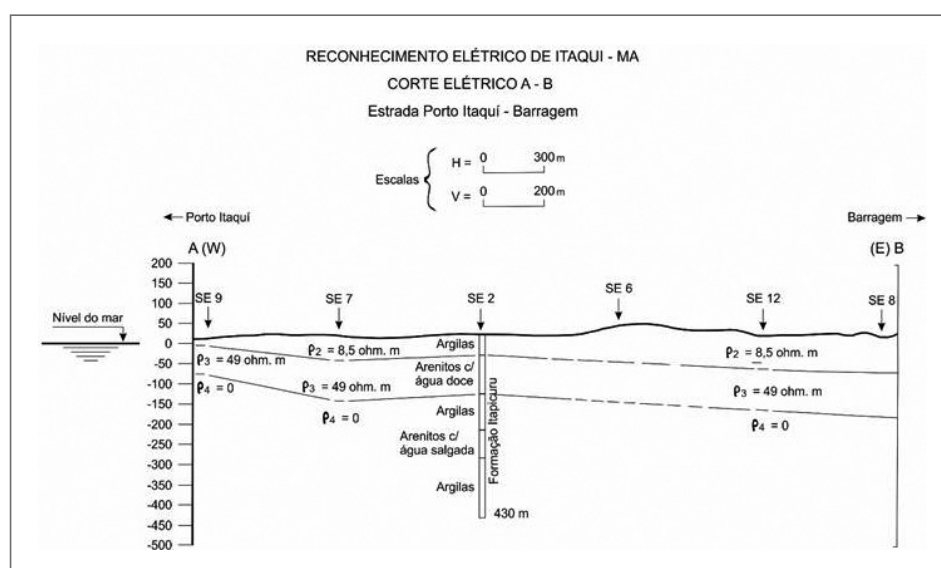


Figura 39: Seção geoeletrica A – B na Ilha de São Luís, evidenciando a existência de águas salinizadas em profundidades próximas a 100 m

TODO AQUÍFERO CONSTITUI UM RESERVATÓRIO SUBTERRÂNEO DE ÁGUA, sendo formado por unidades hidrogeológicas caracterizadas por parâmetros dimensionais (extensão, espessura e geometria), condicionados por suas características geológicas (estratigrafia e estruturas) e parâmetros hidrodinâmicos (transmissividade, permeabilidade e coeficiente de armazenamento/porosidade efetiva). Padrões faciológicos, condições de recarga e descarga e as variáveis de estado, que descrevam a situação do aquífero em cada instante (superfície potenciométrica, reservas, qualidade, condições de exploração, etc.), também desempenham importante papel na sua caracterização. As reservas podem variar no tempo e no espaço em função das condições hidrogeológicas naturais (alterações no regime de fluxo, na recarga), em decorrência das explorações, da disposição e concepção das obras de captação e dos equipamentos de exploração, dentre outros fatores.

3.1. RECARGAS

Em um sentido amplo, a recarga subterrânea pode ser definida como qualquer quantidade de água que alcance um sistema aquífero, independentemente de sua origem (através da zona não saturada do solo, de uma camada confinante inferior ou superior, ou lateralmente, de outro sistema). No entanto, em estudos de quantificação de reservas hídricas subterrâneas o que se procura estimar é o fluxo de água através da zona não saturada do solo, que alcança o nível freático e se adiciona ao reservatório de água subterrânea.

A recarga pode ocorrer naturalmente, através da precipitação ou infiltração em leitos de rios, canais e lagos, ou induzida por atividades antrópicas como irrigação e urbanização (perdas das redes). Sua investigação deve ser considerada como um processo iterativo, com estimativas iniciais sendo refinadas através da comparação com resultados obtidos através de outros métodos e de outros dados.

Em termos gerais, os processos envolvidos na alimentação dos aquíferos são:

- Infiltração direta das águas precipitadas da atmosfera, sobre a superfície do terreno;
- Infiltração de parte das águas escoadas nas calhas fluviais, nos trechos em que o rio é influente;
- Transferência de um aquífero para outro a ele sotoposto – drenança descendente;
- Drenança vertical ascendente de aquíferos inferiores (estratigraficamente), e com maior carga potenciométrica;
- Vazamentos da rede de distribuição de água e na rede coletora de esgotos e galerias pluviais.

A análise dos principais aquíferos da Ilha do Maranhão indica diferentes processos atuantes na sua recarga. Enquanto o Sistema Aquífero São Luís recebe ampla recarga a partir de precipitações e vazamentos de redes de abastecimento de água/esgotamento sanitário, o mesmo parece não ocorrer diretamente no aquífero Itapecuru, tendo em vista sua reduzida área de exposição na Ilha. As drenagens superficiais não parecem ter maiores relacionamentos com a recarga subterrânea, fato comprovado até mesmo pela salinização que apresentam e cujos teores não se repetem nas águas subterrâneas, de boa qualidade química.

Apesar disto, o arcabouço estrutural da Ilha, configurado na forma de *horsts* e *grabens*, faz com que o aquífero Itapecuru ocorra eventualmente em contato direto com formações mais recentes, ou mesmo de forma aflorante. Da mesma forma, os grandes lineamentos estruturais neotectônicos também permitem, em alguns casos, que a infiltração direta das águas das chuvas penetre neste aquífero. Drenanças verticais a partir da unidade superior (São Luís) complementam sua recarga.

3.1.1. No Aquífero São Luís

As estimativas de recarga, realizadas para o sistema aquífero livre superior (São Luís), onde se dispunha de mais dados, foram realizadas utilizando três metodologias distintas:

i. A partir do cálculo do balanço hídrico

Através da equação:

$$R = P - ETR - ES - \Delta S, \text{ onde,}$$

R = Recarga (mm)

P = Precipitação (mm)

ETR = Evapotranspiração real (mm)

ES = Escoamento superficial (mm)

ΔS = Variação de armazenamento de água no solo (mm).

Devido à inexistência de séries históricas de monitoramento de vazões de rios na Ilha, para o cálculo do balanço hídrico e estimativa das recargas, do aquífero São Luís, foi utilizado método do balanço hídrico no solo, conforme metodologia desenvolvida pelo *New Jersey Geological Survey*, detalhadamente descrita no Volume II deste relatório final.

Para a estimativa das recargas naturais foi utilizado intervalo mensal de dados distribuídos entre janeiro de 1972 a dezembro de 2016 e se considerou que toda água infiltrada que se move abaixo da zona das raízes contribui para a recarga.

Adicionalmente, foi calculada a recarga urbana, as chamadas recargas importadas, oriundas de atividades antrópicas, como vazamentos de redes de distribuição de água, de redes de esgotos e lançamentos de esgotos *in natura* (não coletados).



Os resultados obtidos são mostrados na Tabela 12. Os cálculos e demais procedimentos detalhados adotados na sua determinação, podem ser vistos no volume II deste Relatório Final. As recargas foram calculadas para cada bacia hidrográfica existente, sendo ainda apresentadas, no caso das recargas naturais, como um percentual das precipitações.

Os valores obtidos nas estimativas da recarga natural e aqueles provenientes de águas importadas para o ambiente urbano estão resumidos, por bacia hidrográfica, mostram que a recarga média anual é de 228,122 Hm³/ano ou 253 mm em altura equivalente. As recargas procedentes de águas importadas para o ambiente urbano representam um incremento médio de 24% na recarga natural das bacias da Ilha de São Luís. Porém nas bacias mais urbanizadas este incremento chegou a 151%. As bacias que apresentaram maior contribuição das águas importadas para a recarga foram as do Anil, do Paciência e do Bacanga, mais urbanizadas.

Por outro lado, bacias de baixa densidade populacional como Guarapiranga, Ilha, Inhaúma e Jeniparana e Inhaúma, não apresentam recargas urbanas significativas (Figura 40).

Esta constatação reforça o princípio de que a gestão dos recursos hídricos deve ser efetuada observando-se não apenas o lado técnico, hidrogeológico, mas também todo o ambiente da bacia, como sua área, população, características da ocupação e uso da terra.

ii. Pela variação das superfícies potenciométricas

Neste caso teremos:

$$R = A \times \Delta_s \times \mu, \text{ onde}$$

A = Área de recarga do aquífero;

Δ_s = Rebaixamento médio dos níveis da água subterrânea;

μ = Porosidade efetiva

Foram efetuadas tentativas de cálculos para obtenção das recargas nas bacias hidrográficas da Ilha a partir das diferenças dos valores dos níveis das superfícies potenciométricas obtidas nas estações seca e chuvosa, cujos resultados revelaram-se muito inconsistentes, haja vista a grande variação dos níveis de água, que oscilaram desde pouco mais de 1 metro (Bacia de Guarapiranga) a mais de 30 m, no caso da Bacia do Paciência, ficando clara a influência do bombeamento dos poços nos níveis de água obtidos. É importante ressaltar que a grande maioria dos poços visitados para medição dos níveis se encontrava em operação no momento dessas medições, o que originou a grande variação nos valores obtidos.

Foram, então, utilizadas informações obtidas em dois poços da Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas – RIMAS, implantados na Ilha, cujos dados cobrem um período de 8 meses e abrangem parcialmente os períodos úmido e seco, conforme pode ser visto na Figura 41.

Tabela 12: Recargas do Sistema Aquífero São Luís a partir do balanço hídrico no solo

BACIA	A-km²	RECARGA NATURAL	RECARGAS URBANAS										RECARGA TOTAL			RAZÃO TOTAL/ NAT.
		hm³/ano	REDE DE ÁGUA		REDE DE COLETA DE ESGOTOS		ESGOTOS NÃO COLETADOS		URBANAS TOTAIS		TOTAL					
			mm	hm³/ano	mm	hm³/ano	mm	hm³/ano	mm	hm³/ano	mm	hm³/ano				
													mm			
Anil	37,14	6,34	170,7	6,144	165,4	0,435	11,7	2,987	80,4	9,566	257,6	15,906	428	2,51		
Bacanga	96,38	19,584	203,2	4,272	44,3	0,303	3,1	2,077	21,6	6,652	69	26,236	272	1,34		
Cachorros	67,6	13,324	197,1	0,259	3,8	0,019	0,3	0,126	1,9	0,404	6	13,728	203	1,03		
Estiva	34,13	6,348	186	0,223	6,5	0,016	0,5	0,108	3,2	0,347	10,2	6,695	196	1,05		
Guarapiranga	15,83	2,242	141,6	0	0	0	0	0	0	0	0	2,242	142	1		
Ilha	28,31	3,168	111,9	0,015	0,5	0,001	0	0,007	0,2	0,023	0,8	3,191	113	1,01		
Inhaúma	34,42	5,256	152,7	0,009	0,3	0,001	0	0,004	0,1	0,014	0,4	5,27	153	1		
Itaqui	45,25	8,76	193,6	0,644	14,2	0,046	1	0,313	6,9	1,003	22,2	9,763	216	1,12		
Jeniparana	76,83	16,388	213,3	0,804	10,5	0,061	0,8	0,31	4	1,175	15,3	17,563	229	1,07		
Paciência	149,69	36,165	241,6	8,963	59,9	0,617	4,1	4,715	31,5	14,295	95,5	50,46	337	1,39		
Praias	82,6	14,612	176,9	2,037	24,7	0,139	1,7	1,112	13,5	3,288	39,8	17,9	217	1,23		
Santo Antônio	97,08	22,367	230,4	4,29	44,2	0,304	3,1	2,076	21,4	6,67	68,7	29,037	299	1,3		
Tibiri	136,5	28,788	210,9	0,864	6,3	0,061	0,4	0,418	3,1	1,343	9,8	30,131	221	1,05		
TOTALS	901,76	183,342	203,3	28,524		2,003		14,253		44,78	49,7	228,122	253	1,24		

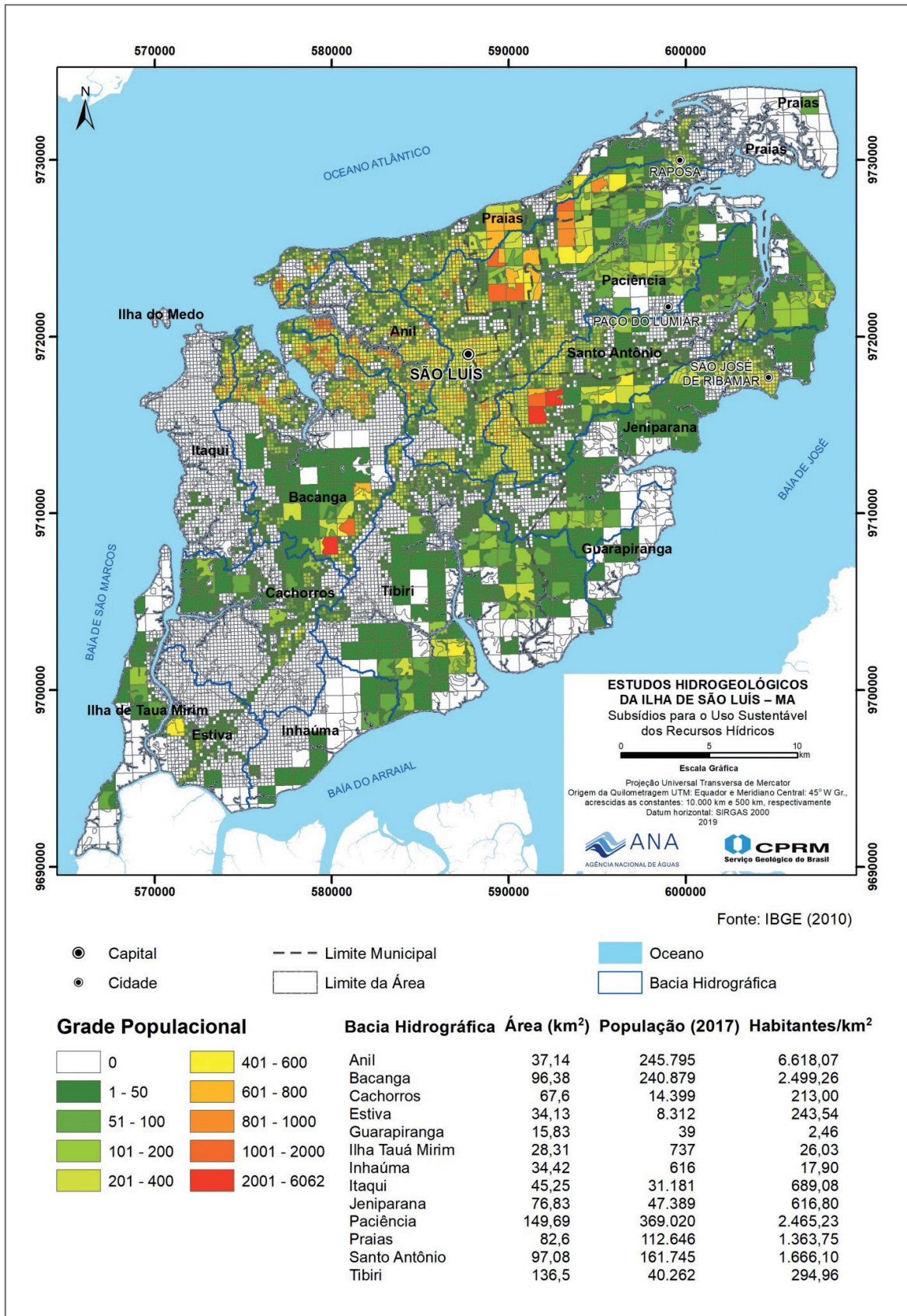


Figura 40: Distribuição da população nas bacias hidrográficas da Ilha do Maranhão (IBGE, 2011)

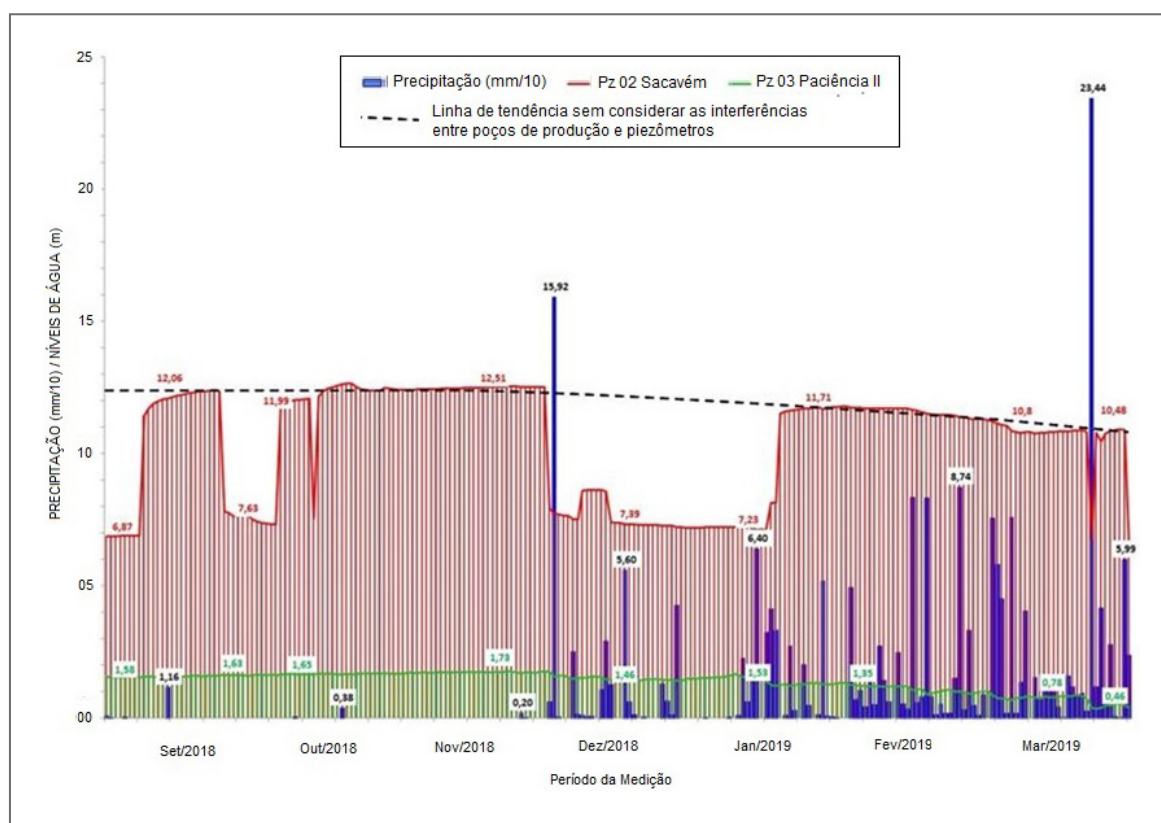


Figura 41: Variações dos níveis de água subterrânea medidos em poços da rede RIMAS, entre agosto/2018 e abril/2019

Pode-se observar que as variações dos níveis de água subterrânea, durante o período considerado são de 1,58m (poço Pz 02 – Sacavém) e 1,10m (poço Pz 03 – Paciência II). No primeiro caso, a existência de um poço de bombeamento ao lado do piezômetro mascara as medições, sendo tomado um valor médio. No caso da bateria do Paciência, o poço de bombeamento se encontra a cerca de 50m do piezômetro e deve ter pequena ou nenhuma influência sobre as medições obtidas.

Assim, adotou-se o valor de 1,10m para os rebaixamentos nas bacias de Paciência e Santo Antônio, situadas nos topos dos tabuleiros preservados e de 1,58m para as demais áreas, que se localizam nas zonas mais dissecadas.

Substituindo esses valores e considerando a porosidade específica como 15%, conforme proposto por Manoel Filho e Castro (2002) foram obtidos os valores mostrados na Tabela 13. O valor de 15% para a porosidade específica representa a média dos valores obtidos pela ANA (2012) para o Aquífero Barreiras na Região Metropolitana de Natal - RN.



Tabela 13: Cálculo das recargas a partir de dados da RIMAS

BACIA	ÁREA (km ²)	VARIAÇÃO DOS NÍVEIS RIMAS (m)	VOLUME DE RECARGA (Hm ³)
Anil	37,14	1,58	8,80
Bacanga	96,38	1,58	22,84
Cachorros	67,6	1,58	16,02
Estiva	34,13	1,58	8,09
Guarapiranga	15,83	1,58	3,75
Ilha	28,31	1,58	6,71
Inhaúma	34,42	1,58	8,16
Itaqui	45,25	1,58	10,72
Jeniparana	76,83	1,58	18,21
Paciência	149,69	1,10	24,70
Praias	82,6	1,58	19,58
Santo Antônio	97,08	1,10	16,02
Tibiri	136,5	1,58	32,35
RECARGA TOTAL (Hc ³)			195,95

iii. A partir da determinação da Vazão de Escoamento Natural (VEN)

Embora tenham sido elaborados mapas potenciométricos para toda a Ilha de São Luís e para cada bacia hidrográfica existente, a estimativa das recargas pelo método da Vazão de Escoamento Natural (VEN), não foi realizada para cada uma dessas bacias, uma vez que os pontos obtidos não permitem uma cobertura homogênea de toda superfície de cada bacia individual. Optou-se por calcular a vazão de escoamento natural para a Ilha como um todo, evitando o detalhamento em áreas com insuficiência de informações.

A vazão de escoamento natural equivale ao volume de água que passa naturalmente pelo aquífero, alimentando os rios e demais cursos d'água e representa a variação anual natural dos níveis de água do aquífero.

O cálculo da vazão de escoamento natural (VEN) foi feito de acordo com a seguinte equação:

$$VEN = T.i.L$$

Onde,

T = Transmissividade do aquífero (m²/s);

i = Gradiente hidráulico, obtido pela razão da variação de carga hidráulica entre duas linhas equipotenciais e a distância entre elas;

L = Comprimento da frente de escoamento considerada.

Foram consideradas quatro frentes principais de escoamento, levando em conta a disposição das superfícies potenciométricas da Ilha, que apresentam um divisor principal de águas subterrâneas, a partir do qual o fluxo ocorre nas direções SE e NW (Figura 42).

Foram adotados os seguintes valores:

- Frentes de fluxo: NW 1 - 32.777,40m; SE 1- 35.476,40m; NW 2 – 4.878,61m; SE 2 - 5.388,33m;
- Distâncias entre as frentes de fluxo consideradas: ln 1 – 782,21m; ln 2 – 821,95m; ln 3 – 1.965,91m; ln 4 – 2.513,17m; ln 5 – 2.178,08; ln 6 – 5.659,61m; ln 7 – 1.169,30m; ln 8 – 1.283,26m.
- Gradientes hidráulicos: i1 – 0,012784; i2 – 0,012166; i3 – 0,005087; i4 – 0,003979; i5 – 0,004591; i6 – 0,001767; i7 – 0,008552; i8 – 0,007793.

Aplicando a fórmula $VEN = T.i.L$, obtemos:

$$VEN_{NW1} = 0,01 \text{ m}^2/\text{s} * 0,012166 * 32.777,40\text{m} = 125.756.059,39\text{m}^3/\text{ano}$$

$$VEN_{SE1} = 0,01 \text{ m}^2/\text{s} * 0,003979 * 35.476,40\text{m} = 44.516.405,43\text{m}^3/\text{ano}$$

$$VEN_{NW2} = 0,005 \text{ m}^2/\text{s} * 0,008552 * 4.878,61\text{m} = 6.578.704,89\text{m}^3/\text{ano}$$

$$VEN_{SE2} = 0,005 \text{ m}^2/\text{s} * 0,007793 * 5.388,33\text{m} = 6.621.181,20\text{m}^3/\text{ano}$$

$$VEN_{TOTAL} = 183.472.350,91\text{m}^3/\text{ano} \text{ ou } 183,47 \text{ hm}^3/\text{ano}$$

As frentes de escoamento utilizadas se situam entre as linhas de 15 e 5m; considerou-se uma transmissividade (T) de $10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ (no topo dos tabuleiros) e $5.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, nas áreas mais rebaixadas, conforme os valores obtidos durante os trabalhos, chegando a um valor final de 183,47 hm^3/ano para a recarga total na Ilha, correspondente ao somatório das frentes de escoamento consideradas.

Os valores de recarga, calculados pelos três métodos são mostrados na Tabela 14. É importante notar o bom ajuste dos resultados obtidos com as diferentes metodologias.

Os valores mais destoantes, quando comparados o balanço no solo e pela variação dos níveis, obtidos nos casos das bacias do Paciência e de Santo Antônio, se devem à adoção dos rebaixamentos de 1,10 m.

Caso se utilizem rebaixamentos de 1,58 m, as recargas totais calculadas pelos dois métodos ficariam bastante próximas.

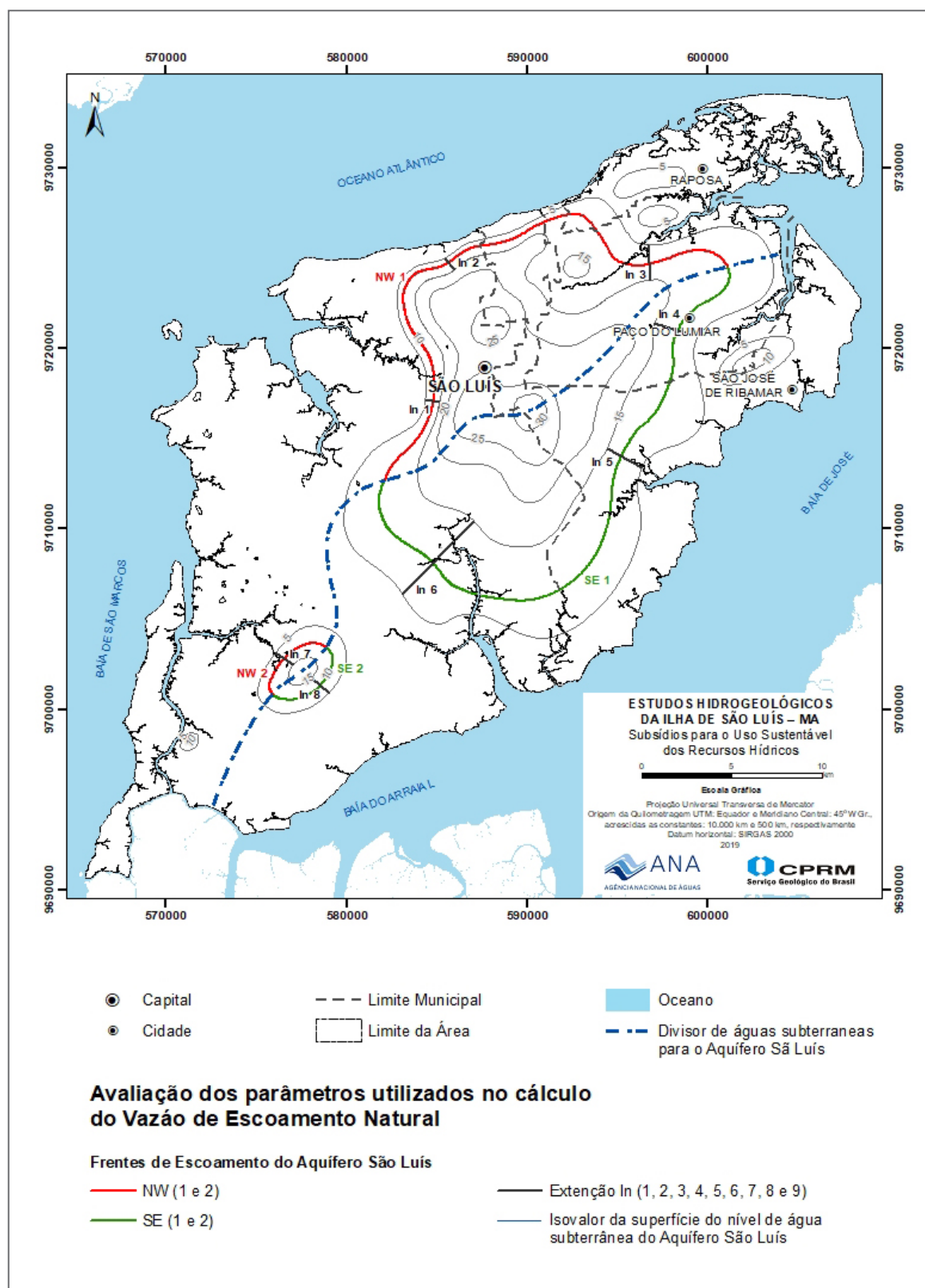


Figura 42: Cálculo da Vazão de Escoamento Natural (VEN)

Tabela 14: Valores da recarga calculados pelos diversos métodos

BACIA	RECARGA NO SOLO (NATURAL) (hm ³ /ano)	RECARGA NO SOLO (TOTAL*) (hm ³ /ano)	RECARGA VARIAÇÃO DOS NÍVEIS (hm ³ /ano)	RECARGA VEN (hm ³ /ano)
Anil	6,34	15,906	8,8	
Bacanga	19,584	26,236	22,84	
Cachorros	13,324	13,728	16,02	
Estiva	6,348	6,695	8,09	
Guarapiranga	2,242	2,242	3,75	
Ilha	3,168	3,191	6,71	
Inhaúma	5,256	5,27	8,16	
Itaqui	8,76	9,763	10,72	
Jeniparana	16,388	17,563	18,21	
Paciência	36,165	50,46	24,7	
Praias	14,612	17,9	19,58	
Santo Antônio	22,367	29,037	16,02	
Tibiri	28,788	30,131	32,35	
TOTAIS	183,342	228,122	195,95	183,18

(*) Inclui as recargas urbanas importadas das perdas nas redes de água, redes coletoras de esgotos e de áreas sem redes de esgotamento sanitário.

3.1.2. No Aquífero Itapecuru

Conforme já referido, o aquífero Itapecuru, confinado/semiconfinado, mostra uma contínua troca de águas com o sistema superior (São Luís), sendo recarregado principalmente através de drenanças verticais advindas do aquífero superior, São Luís.

Para o cálculo de suas recargas é preciso se conhecer a potenciometria do aquífero superior - São Luís (Figura 54 do Volume III deste Relatório Final) e os níveis de água sob pressão na unidade confinada (Itapecuru).

A altura de água sob pressão do Aquífero Itapecuru (Figura 43), conforme considerado neste relatório, corresponde à diferença entre o topo do aquífero confinado e os níveis da água subterrânea, obtidos no período chuvoso (em função da maior quantidade de dados em relação ao período seco), em poços que captam exclusivamente o Aquífero Itapecuru.

No cálculo das alturas de água sob pressão, para cada local representado por um intervalo de altura foi adotado um valor médio, de acordo com o intervalo de variação considerado, p.ex., no intervalo entre 1 e 20 metros, adotou-se o valor médio de 10 metros; 20 a 40 metros, 30 metros; 40 a 60 metros, 50 metros; 60 a 80 metros, 70 metros.

Na mapa de Figura 43 se pode observar, na porção centro oeste da área, uma área em que a altura de água sob pressão é definida como zero em relação ao nível do mar. Essas áreas se

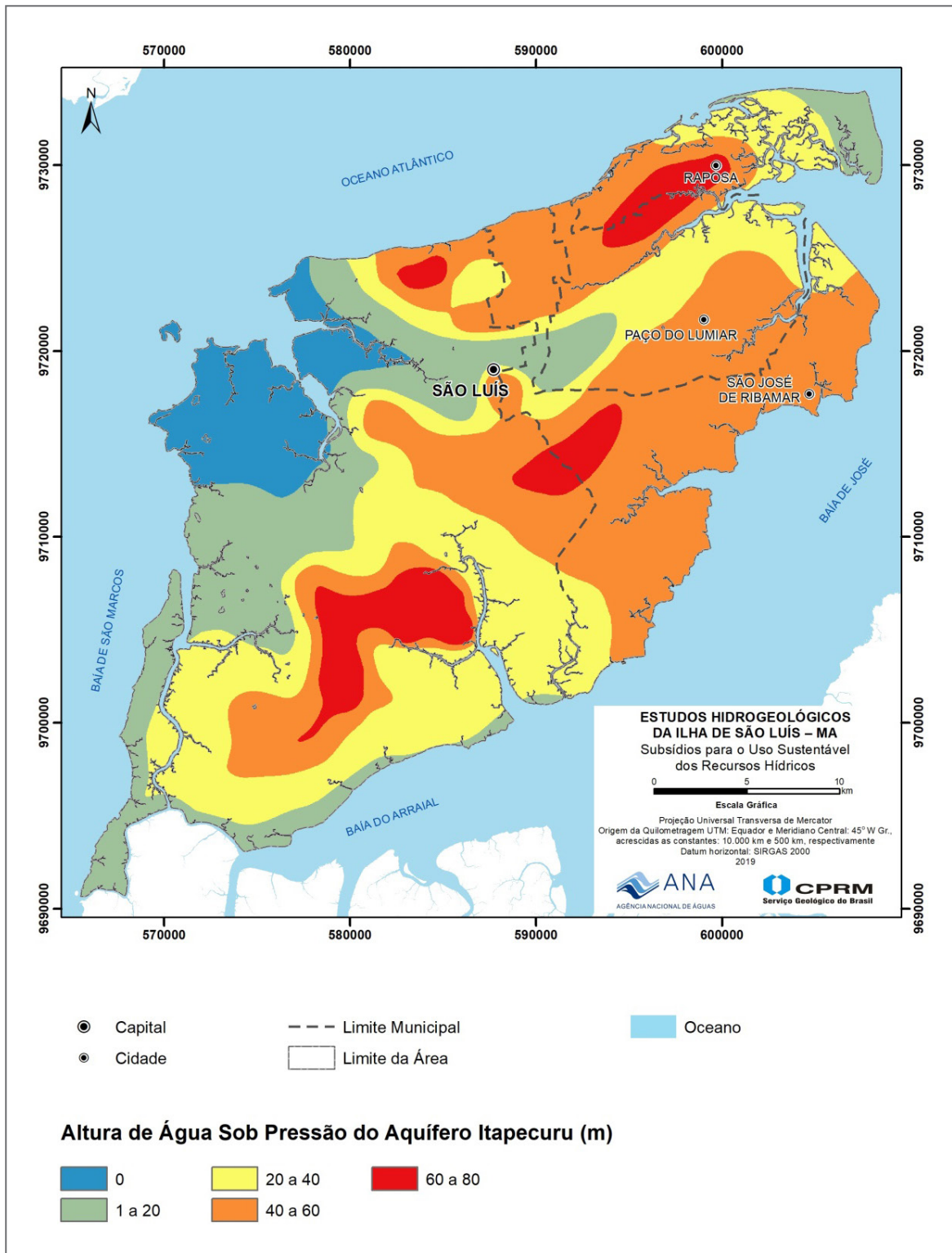


Figura 43: Altura da água sob pressão no aquífero Itapecuru

situam nas bacias hidrográficas dos rios Bacanga, Itaqui e Anil e sugerem uma possível exaustão das reservas sob pressão (uma vez que o Itapecuru aflora em tais locais), sinalizando que nestes pontos as reservas de saturação deste aquífero já podem estar sendo explotadas.

A taxa da filtração vertical entre as duas unidades (São Luís e Itapecuru), pode ser calculada pela utilização da equação abaixo:

$$d_v = K' [(h_1 - h_2)/b']$$

Sendo,

d_v - Taxa de filtração vertical para o aquífero através da camada semipermeável;

K' = Condutividade hidráulica da camada semipermeável;

b' = Espessura da camada semipermeável;

h_1 = Carga piezométrica do aquífero que transfere;

h_2 = Carga piezométrica do aquífero que recebe.

O volume total transmitido de um aquífero a outro será, portanto, o produto da taxa de infiltração pela sua área de ocorrência.

Neste trabalho não foi possível a estimativa da condutividade hidráulica do aquífero (camada semipermeável confinante). Porém, considerando-se a afirmação de Rebouças (*apud* FEITOSA *et al.*, 2008), segundo a qual seu valor deve variar entre 10^{-7} e 10^{-11} m/s foi adotado, para os cálculos da taxa de drenança (d_v), o valor médio de 10^{-9} m/s.

Na Ilha de São Luís, o aquífero Itapecuru é confinado pela Formação Alcântara e outras diversas camadas argilosas, que a separam do aquífero São Luís, situado acima deste. Considerou-se, então, uma espessura média de 45m, obtida em descrições litológicas de poços existentes, que corresponde ao somatório das suas espessuras totais, representadas pela Formação Alcântara (fácies carbonatada) e as camadas argilosas a ela associadas.

Os valores que representam as cargas piezométricas envolvidas (h_1 e h_2), foram obtidos através de operações entre os *rasters* no *software* ArcGIS, utilizando para isso a ferramenta *raster calculator*.

Ocorre intensa troca de águas entre essas duas unidades. Nas porções litorâneas da Ilha, com exceção das áreas cujos níveis já se encontram rebaixados (bacias do Itaqui, Bacanga e Anil), o Itapecuru cede pequenas quantidades de água para o São Luís (drenança vertical ascendente), enquanto que na maior parte da Ilha, a situação se inverte, ocorrendo uma drenança vertical descendente.

Para encontrar os volumes totais de água envolvidos nestas trocas, somente é necessário multiplicar os valores pelas respectivas áreas de ocorrência.

Desta forma, encontramos:

- Volume de drenança (leakage) vertical ascendente: 27.901.580 m³/ano (28 hm³/ano);
- Volume de drenança (leakage) vertical descendente: 89.276.721,8 m³/ano (89 hm³/ano)



Assim, no balanço dessas transferências de águas, o aquífero São Luís perde um volume total de aproximadamente de 61.375.142 m³/ano, cedido para o aquífero Itapecuru. Esta drenança se constitui, portanto, em importante exutório do aquífero São Luís e na principal fonte de recarga para o Sistema Itapecuru.

O mapa com a ilustração das áreas de drenança e os respectivos volumes envolvidos, calculados para a Ilha de São Luís, são mostrados na Figura 44.

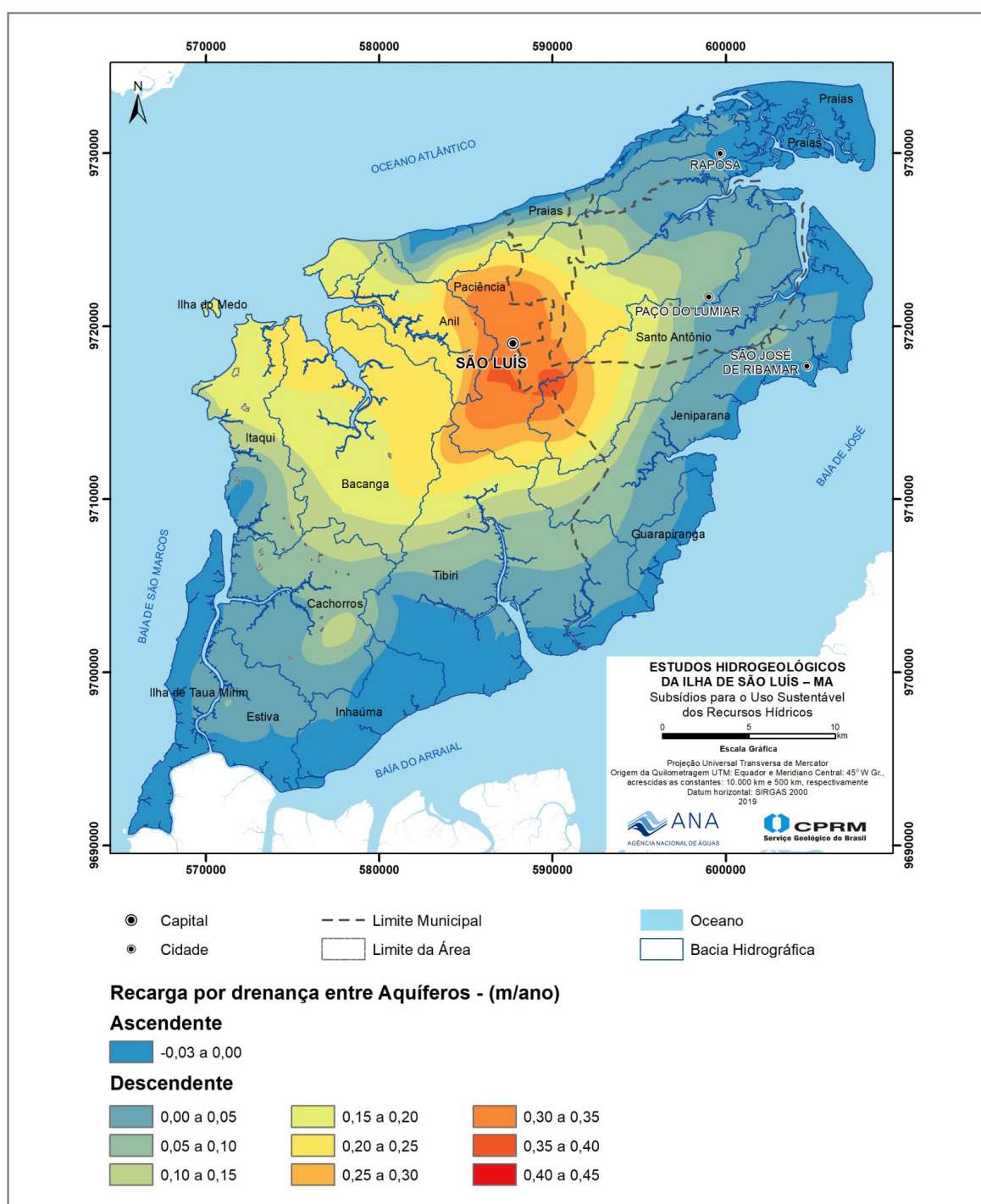


Figura 44: Drenanças verticais entre os aquíferos



3.2. RESERVAS

A quantidade de água contida nos aquíferos pode ser distinguida em armazenamento drenável e armazenamento compressível (MACE *et al.*, 2001). Os referidos autores conceituaram o armazenamento drenável como a quantidade de água que pode ser drenada do aquífero em função da porosidade efetiva da rocha. O armazenamento compressível, por sua vez, representa a quantidade de água armazenada devido aos efeitos elásticos resultantes da compressão do próprio arcabouço físico e da água contida nos poros, em função do coeficiente de armazenamento do aquífero, sendo utilizado no caso dos aquíferos confinados.

São considerados os seguintes tipos de reservas de águas subterrâneas:

- Reservas reguladoras, renováveis ou ativas;
- Reservas permanentes ou seculares;
- Reservas totais ou naturais;
- Reservas exploráveis.

3.3. RESERVAS RENOVÁVEIS OU REGULADORAS – AQUÍFERO SÃO LUÍS

As reservas renováveis ou reguladoras, também chamadas de reservas potenciais diretas representam a quantidade de água armazenada no aquífero e renovada anualmente a cada ciclo hidrológico, correspondendo à recarga sazonal. Essas reservas são determinantes para a manutenção do escoamento de base dos rios e podem variar de um ano para o outro, dependendo das condições de precipitação atmosférica (CUSTÓDIO; LLAMAS, 1996). Nesse sentido, as reservas renováveis correspondem à RPD (Recarga Potencial Direta), conforme definição da Agência Nacional de Águas - ANA (2017), e podem ser estimadas nos estudos hidrológicos pelas vazões de base ou mínimas, como $Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90} , dependendo da disponibilidade de dados. As reservas renováveis fazem parte do armazenamento drenável dos aquíferos livres.

As reservas renováveis do Sistema Aquífero São Luís foram estimadas com base nos valores de recarga no solo, anteriormente calculados.

3.4. RESERVAS PERMANENTES OU SECULARES AQUÍFERO SÃO LUÍS

As reservas permanentes para um aquífero livre correspondem ao volume de água acumulada no mesmo, não variável em decorrência da flutuação sazonal da superfície potenciométrica (CUSTÓDIO; LLAMAS, 1996).

Compreende o volume de água contido no armazenamento drenável permanente, abaixo no nível de oscilação sazonal, e pode ser calculado de acordo com a equação abaixo:

$$R_p = A.E.\mu$$

Onde, A é a área do aquífero, E é a sua espessura saturada e μ a porosidade efetiva, admitida como 15% (MANOEL FILHO; CASTRO, 2002).



Para o aquífero São Luís, foram consideradas as informações de espessuras saturadas, obtidas pela subtração da espessura total pela espessura não saturada, sendo a espessura não saturada obtida pela diferença de cotas da superfície do relevo e as cotas da superfície do nível de água (Figura 45).

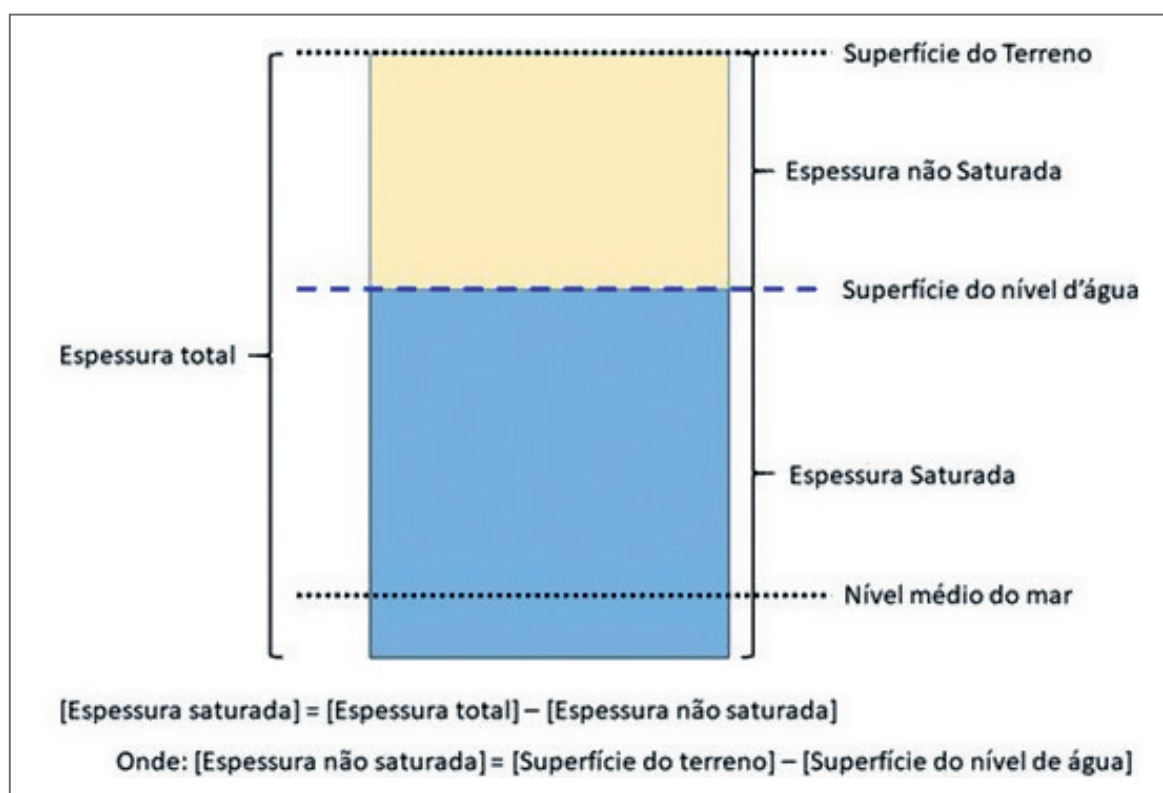


Figura 45: Espessura saturada e total do aquífero São Luís

A elaboração da superfície do nível de água se baseou nos dados de medição de nível de água nos poços do período chuvoso (em função da maior quantidade de dados em relação ao período seco), com captação exclusiva no Aquífero São Luís. Já a superfície do relevo, está relacionada aos dados de SRTM.

Para cada intervalo de espessuras definido, foi considerado o valor central como representativo. Desta forma, no intervalo de 10 a 30 metros, foi adotado o valor de 20 metros; 30 a 50 metros, 40 metros; 50 a 70 metros, 60 metros; 70 a 90 metros, 80 metros; para valores superiores a 90 metros, foi utilizado o valor de 100 metros. Nos locais indicados como áreas de mangue (sem informação), foi inferida uma espessura saturada média de 5 metros (Figura 46).

O valor obtido para as *reservas permanentes* do Aquífero São Luís para toda Ilha do Maranhão foi 4.453.560km³ ou 4.453,56hm³. Como não existe volume sob pressão para esse aquífero, devido a sua forma livre (não confinada) de ocorrência, a reserva permanente corresponde ao valor do volume de saturação, abaixo do intervalo de oscilação anual dos níveis da água subterrânea.

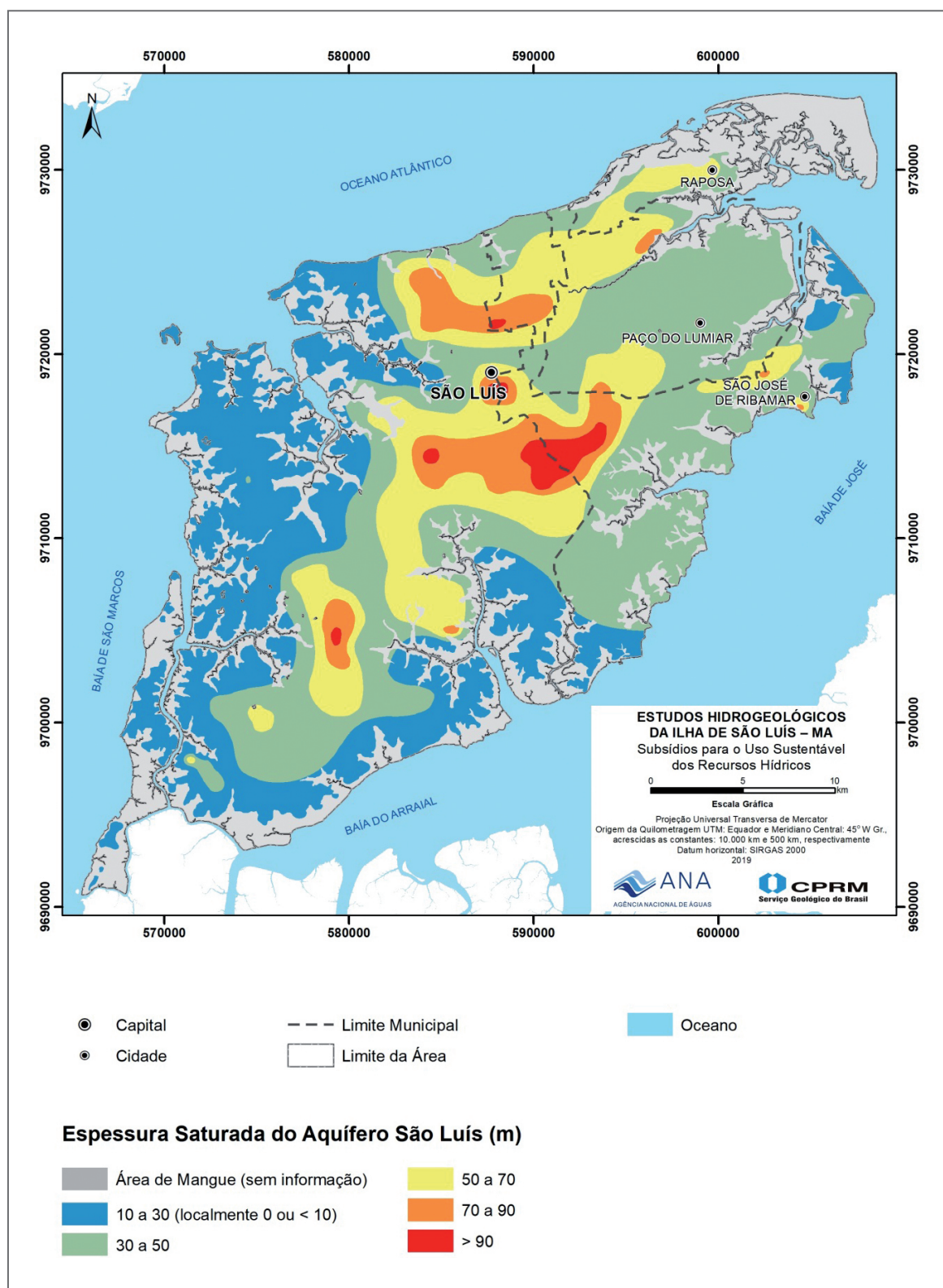


Figura 46: Espessuras saturadas do aquífero São Luís



As reservas totais representam o somatório das reservas renováveis, e permanentes, conforme abaixo:

$$R_t = R_p + R_r$$

A Tabela 15 mostra os valores das reservas totais, permanentes, e renováveis, para o aquífero São Luís, em toda a Ilha e para cada bacia hidrográfica existente.

Tabela 15: Reservas total, permanente e renovável do Sistema Aquífero São Luís

BACIA	ÁREA (km ²)	ESPESSURA SATURADA MÉDIA (m)	RESERVA TOTAL (hm ³)	RESERVA RENOVÁVEL (hm ³ /ano)*	RESERVA PERMANENTE (hm ³)
Anil	37,14	26,3	146,6	10,458	136,142
Bacanga	96,38	26,5	383,1	25,055	358,045
Cachorros	67,6	33,7	341,4	13,711	327,689
Estiva	34,13	20,4	104,5	6,59	97,91
Guarapiranga	15,83	26,9	63,9	2,242	61,658
Ilha	28,31	10,2	43,1	3,181	39,919
Inhaúma	34,42	23,1	119	5,263	113,737
Itaqui	45,25	14,8	100,4	9,585	90,815
Jeniparana	76,83	34,7	400	17,724	382,276
Paciência	149,69	51,6	1.158,30	45,118	1113,182
Praias	82,6	21,8	269,6	15,812	253,788
Santo Antônio	97,08	48,2	702,4	26,255	676,145
Tibiri	136,5	29,5	604,2	30,063	574,137
TOTAL:	901,8	32,8	4.436,53	211,057	4225,443

3.5. RESERVAS PERMANENTES – AQUÍFERO ITAPECURU

As reservas permanentes, no caso dos aquíferos confinados, compreendem a totalidade da água do armazenamento drenável (contida nos poros do aquífero) e compressível (altura de pressão acima do teto do aquífero), sendo expressas pela equação abaixo:

$$R_p = A.E'.S + A.E.\mu_e \text{, onde}$$

R_p representa a reserva permanente (m^3), A é a área do aquífero (m^2), E é a sua espessura (m), μ_e é a porosidade efetiva (%), E' é a distância do topo do aquífero à carga potenciométrica superior e S é o coeficiente de armazenamento. O primeiro termo da equação acima corresponde à reserva compressível (sob pressão) e o segundo termo às reservas drenáveis (ver Figura 47).

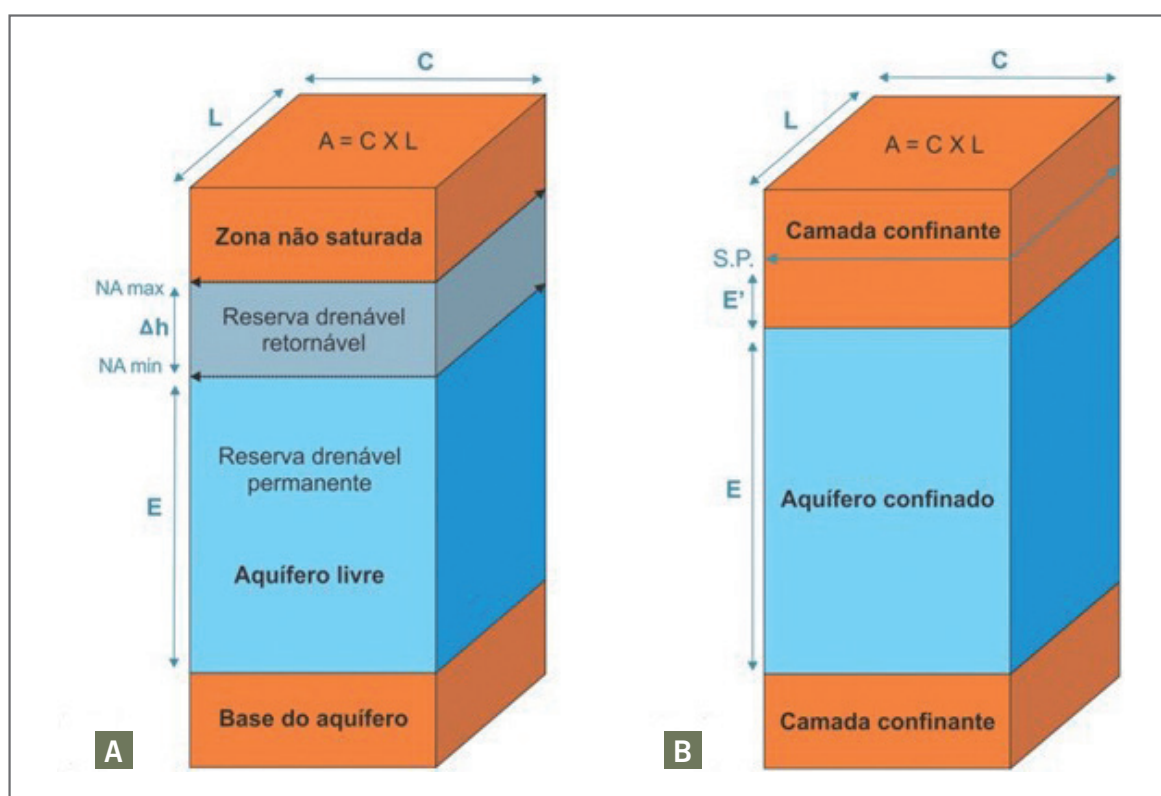


Figura 47: Representação dos parâmetros utilizados no cálculo das reservas de aquíferos porosos.
– Aquíferos não confinados; (B) – Aquíferos confinados

Sendo,

L = Largura do aquífero

C = Comprimento do aquífero

A = Área do aquífero

E = Espessura da zona saturada

μ_e = Porosidade efetiva



NA max= Nível máximo da água

NA min = Nível mínimo da água

E' = Distância do topo do aquífero à linha potenciométrica mais superior

S = Coeficiente de armazenamento

S.P = Superfície potenciométrica

As espessuras saturadas foram estimadas no intervalo entre a base do aquífero, situada a 100 m abaixo do nível médio do mar, e a base da primeira camada confinante. Os cálculos das reservas sob pressão consideram como altura de água a distância compreendida entre o topo da superfície piezométrica e a base da primeira camada confinante do aquífero Itapecuru (Figura 48).

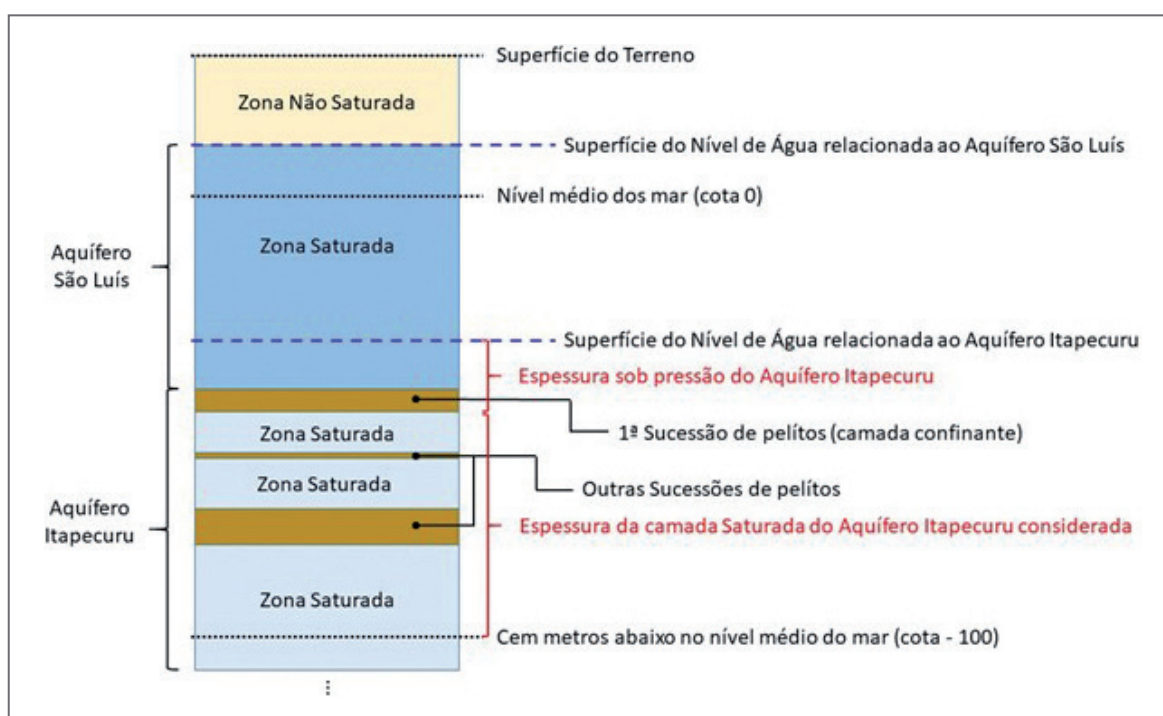


Figura 48: Espessuras drenáveis e sob pressão do aquífero Itapecuru

Para o cálculo das espessuras saturadas, em cada área com determinado intervalo de espessuras, foi considerado um valor médio. As espessuras médias foram definidas conforme o intervalo de variação: 17 a 20 metros, 19 metros; 20 a 40 metros, 30 metros; 40 a 60 metros, 50 metros; 60 a 80 metros, 70 metros; 80 a 88 metros, 84 metros.

Utilizando essas informações e considerando a porosidade efetiva do aquífero Itapecuru em 12% (CPRM, 2012), foi utilizado o segundo termo da equação acima ($R_s = A.E.\mu_e$), para calcular o volume de água de saturação, sendo:

R_s – Volume de saturação

A = Área

E = Espessura média

μ_e = Porosidade efetiva

Os volumes de saturação, calculados para toda a ilha, bem como para cada bacia hidrográfica são mostrados na Tabela 16. Na Figura 49 se mostram as espessuras saturadas.

Tabela 16: Reservas de saturação para o aquífero Itapecuru na Ilha do Maranhão

BACIA	ÁREA (km ²)	ESPESSURA SATURADA MÉDIA (m)	VOLUME DE SATURAÇÃO (m ³)	VOLUME DE SATURAÇÃO (hm ³)
Anil	37,14	53,2	296.468.592,94	296,47
Bacanga	96,38	50,5	730.281.575,77	730,28
Cachorros	67,60	46,9	475.236.778,21	475,24
Estiva	34,13	55,5	284.176.513,00	284,18
Guarapiranga	15,83	43,0	101.988.214,78	101,99
Ilha	28,31	67,3	285.679.952,84	285,68
Inhaúma	34,42	55,7	287.498.438,32	287,50
Itaqui	45,25	65,1	442.150.238,02	442,15
Jeniparana	76,83	40,4	466.148.484,25	466,15
Paciência	149,69	40,8	916.370.589,83	916,37
Praias	82,6	49,1	608.895.831,63	608,90
Santo Antônio	97,08	38,2	556.156.740,21	556,16
Tibiri	136,5	46,5	952.907.260,72	952,91
TOTAL:	901,8	47,3	6.403.959.210,52	6.403,96

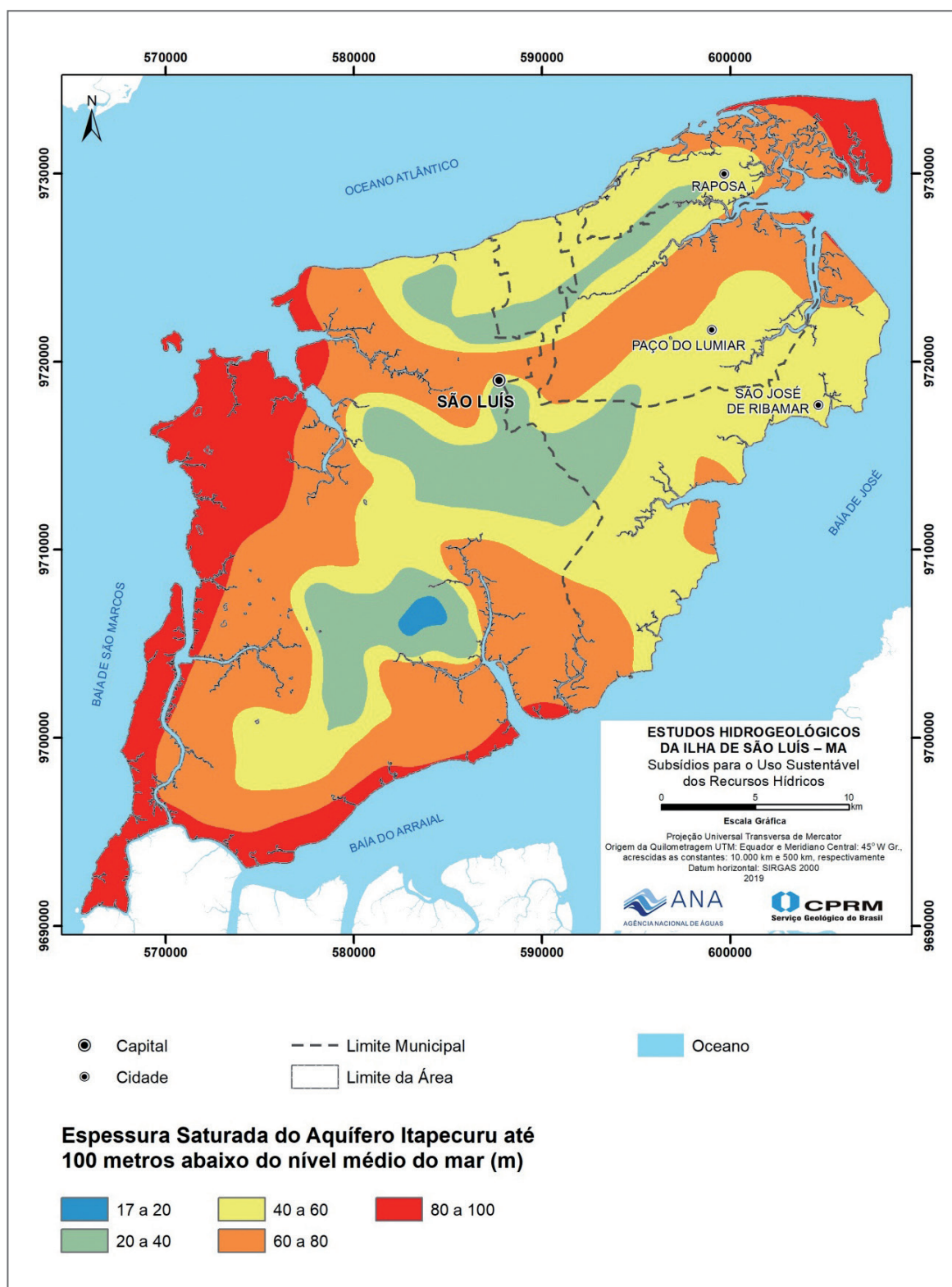


Figura 49: Espessuras saturadas – Aquífero Itapecuru

4 DISPONIBILIDADES

4.1. AQUÍFERO SÃO LUÍS

De acordo com DWR (2003 *apud* Agência Nacional de Águas, 2017), existem vários termos e conceitos associados à quantidade de água subterrânea disponível, e muita controvérsia sobre suas definições. Alguns destes incluem capacidade de armazenamento subterrâneo, capacidade de armazenamento utilizável, balanço hídrico, variações de armazenamento, superexploração e vazão segura.

Para a Agência Nacional de Águas - ANA, a disponibilidade hídrica total representa apenas uma parcela da Recarga Potencial Direta (RPD). Esse percentual, denominado de Coeficiente de Sustentabilidade (Cs), deve ser aplicado ao RPD resultando na Reserva Potencial Explotável (RPE) que equivale à disponibilidade hídrica subterrânea total, conforme abaixo:

$$\text{RPE} = \text{Cs} \cdot \text{RPD}$$

Onde RPE é a Reserva Potencial Explotável, Cs é o coeficiente de sustentabilidade e RPD é a Recarga Potencial Direta. Este conceito é aplicável apenas a aquíferos livres e onde a água subterrânea representa parcela significativa do escoamento total.

O coeficiente de sustentabilidade (Cs), de acordo com a Resolução nº 202, de 28 de junho de 2018, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH (BRASIL, 2018), é o percentual máximo recomendado para se explorar da Recarga Potencial Direta, com vistas a evitar efeitos adversos nos aquíferos e redução significativa das vazões de base dos rios a eles interconectados. Visa evitar o comprometimento da disponibilidade hídrica superficial desses corpos de água nos períodos de estiagem com o uso indiscriminado da água subterrânea.

O valor do coeficiente de sustentabilidade varia entre 0,1 e 1,0, sendo atribuído por aquífero em função de suas características intrínsecas, especialmente sua contribuição por meio do fluxo de base no escoamento superficial total de um rio. De forma geral, para aquíferos que contribuem com percentuais mais elevados no escoamento superficial total recomendam-se valores de Cs relativamente inferiores àqueles onde essa contribuição subterrânea é menor (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2017).

Depreende-se, portanto, que este coeficiente de sustentabilidade assegura uma vazão mínima para o fluxo de base das águas superficiais, visando a manutenção das vazões mínimas, como a vazão ambiental ou ecológica, sendo o restante destinado a outorgas de águas subterrâneas.

As vazões ambiental, ecológica, mínima, residual ou remanescente são utilizadas para descrever a quantidade de água que deve permanecer no leito do rio depois dos múltiplos usos como o



abastecimento público, industrial, irrigação, geração hidrelétrica dentre outros, sendo determinadas por vazões de referência, como a $Q_{90\%}$, a $Q_{95\%}$ ou a $Q_{7,10}$, que não foram definidas na região.

Juntamente com isto, a localização Ilha de São Luís no Golfão Maranhense, onde predominam as planícies fluviomarinhas, na forma de terrenos inundáveis com predomínio absoluto de manguezais, não favorece o aproveitamento de águas superficiais, haja vista o alto grau de salinização que apresentam e o “afogamento” diário das drenagens pelas marés. Não existem outorgas significativas nem aproveitamento substancial de águas superficiais nativas da Ilha.

Nas bacias dos rios Paciência e Santo Antônio, por se situarem nas áreas dos tabuleiros mais elevados, e por isso fora da influência das marés, ocorre algum fluxo de base relacionado com as águas subterrâneas do aquífero São Luís. No entanto, a grande quantidade de lançamentos de despejos de esgotos nos mesmos impede o seu aproveitamento.

A única captação baseada em águas de superfície na Ilha é a barragem do Batatã, com capacidade de 4.600.000 m³, abastecida pelas águas do rio Batatã e da Prata.

Considerando a Recarga Potencial Direta (RPD) obtida para a bacia do Bacanga (25,055 hm³, ou 25.055.000 m³), verifica-se que 20% dela (aproximadamente 5.000.000 m³) já seria suficiente para suprir o volume anual da barragem.

Nas bacias dos rios Paciência e Santo Antônio, por se situarem nas áreas dos tabuleiros mais elevados, e por isso fora da influência das marés, ocorre algum fluxo de base relacionado com as águas subterrâneas do aquífero São Luís. No entanto, a grande quantidade de lançamentos de despejos de esgotos nos mesmos impede o seu aproveitamento.

Assim, ainda que empiricamente, se propõe a adoção de um coeficiente de sustentabilidade de 0,7 para o Sistema Aquífero São Luís, visando à manutenção dos volumes de água da barragem do Batatã e propiciar a manutenção das vazões de base dos rios locais.

Além disso, devem ser consideradas as variações nas reservas a partir do somatório dos volumes que entram e saem em cada unidade aquífera, a partir das drenanças verticais que ocorrem: Conforme visto, podem ser ascendentes (o Itapecuru fornecendo água para o São Luís) ou descendentes, quando o aquífero São Luís libera parte de suas reservas para o Itapecuru, conforme mostrado na Figura 44.

Na Tabela 17 os volumes resultantes dessas trocas de água (leakage) nas bacias hidrográficas da Ilha, obtidos a partir de operações algébricas com *rasters* no aplicativo *ArcGis* (ferramenta *raster calculator*), são mostrados. Os valores negativos, grafados em vermelho, indicam drenanças ascendentes, do Itapecuru para o São Luís.

Após essas considerações foi aplicando o percentual de 0,70 para o coeficiente de sustentabilidade, como definido acima (apenas ao aquífero livre – São Luís) aos valores da recarga, ajustada aos volumes de drenança, obtendo-se aos valores mostrados na Tabela 18.

Tabela 17: Volumes de drenanças verticais entre os aquíferos da Ilha de São Luís

BACIA	VOLUME DE DRENANÇA (m³/ano)	VOLUME DE DRENANÇA (hm³/ano)
Anil	8.365.280,9	8,37
Bacanga	18.537.433,2	18,54
Cachorros	3.833.989,2	3,83
Estiva	454.101,9	0,45
Guarapiranga	23.603,4	0,02
Ilha	-137.392,4	-0,14
Inhaúma	-344.203,5	-0,34
Itaqui	5.515.064,2	5,52
Jeniparana	3.414.026,9	3,41
Paciência	25.981.644,1	25,98
Praias	3.080.458,9	3,08
Santo Antônio	10.219.783,8	10,22
Tibiri	7.923.633,3	7,92

Tabela 18: Reservas Potenciais Explotáveis por Bacia Hidrográfica - Sistema Aquífero São Luís

BACIA	RECARGA TOTAL (hm³/ano)	VOLUME DE DRENANÇA (hm³/ano)	RESERVAS AJUSTADAS PARA A DRENANÇA (hm³/ano)	RESERVAS EXPLOTÁVEIS COM CS DE 0,7 (hm³/ano)
Anil	15,906	8,37	7,536	5,2752
Bacanga	26,236	18,54	7,696	5,3872
Cachorros	13,72	3,83	9,89	6,923
Estiva	6,695	0,45	6,245	4,3715
Guarapiranga	2,242	0,02	2,222	1,5554
Ilhas	3,191	-0,14*	3,331	2,3317
Inhaúma	5,27	-0,34*	5,61	3,927
Itaqui	9,763	5,52	4,243	2,9701
Jeniparana	17,563	3,41	14,153	9,9071
Paciência	50,46	25,98	24,48	17,136
Praias	17,9	3,08	14,82	10,374
Santo Antônio	29,037	10,22	18,817	13,1719
Tibiri	30,131	7,92	22,211	15,5477
Total:	228,12	86,86	141,254	98,88

* Os valores grifados em vermelho representam fluxos do Itapecuru para o São Luís



4.2. AQUÍFERO ITAPECURU

Em aquíferos confinados ou semiconfinados, pode-se calcular as reservas permanentes através da seguinte expressão:

$$R_p = A.E'.S + A.E.\mu_e \text{ onde}$$

Onde, R_p representa a reserva permanente (m^3), A é a área do aquífero (m^2), E é a sua espessura (m), μ_e é a porosidade efetiva (%), E' é a distância do topo do aquífero à carga potenciométrica superior e S é o coeficiente de armazenamento. O primeiro termo da equação acima corresponde à reserva compressível (sob pressão, acima do topo do aquífero) e o segundo termo à reserva drenável, ou de saturação.

No caso das reservas de saturação, normalmente se admite um volume de exploração de 30% do mesmo no período de 50 anos, o que equivale a 6% ao ano. No caso da Ilha de São Luís, considerando a existência de áreas nas quais as reservas sob pressão já se encontram aparentemente exauridas e os riscos daí advindos, foi adotado o percentual de 10% (2% ao ano) como limite de depleção. Desta forma, como pode ser visto na Tabela 19, obtemos o valor de 128,08 hm^3 anuais (6.403,96 hm^3 /ano x 0,02) das reservas permanentes + 41,61 hm^3 /ano das reservas sob pressão.

Por constituir um aquífero confinado, não se leva em conta o coeficiente de sustentabilidade (C_s), definido anteriormente.

Tabela 19: Reservas exploráveis do Aquífero Itapecuru na Ilha de São Luís

BACIA HIDROGRÁFICA	RESERVA DE SATURAÇÃO (hm^3)	RESERVAS EXPLORÁVEIS (hm^3 /ano)		RESERVA POTENCIAL EXPLORÁVEL TOTAL (hm^3 /ano)
		RESERVA DE SATURAÇÃO	RESERVA COMPRESSÍVEL	
Anil	296,47	5,94	0,55	6,49
Bacanga	730,28	14,65	2,09	16,74
Cachorros	475,24	9,57	3,31	12,88
Estiva	284,18	5,71	1,43	7,14
Guarapiranga	101,99	2,06	1,06	3,12
Ilhas	285,68	5,72	0,5	6,22
Inhaúma	287,5	5,78	1,42	7,2
Itaqui	442,15	8,85	0,28	9,13
Jeniparana	466,15	9,43	5,16	14,59
Paciência	916,37	18,49	8,1	26,59
Praias	608,9	12,26	3,92	16,18
Santo Antônio	556,16	11,25	6,49	17,74
Tibiri	952,91	19,20	7,29	26,49
TOTAL:	6.403,96	128,08	41,61	169,69

UM MODELO É UMA FERRAMENTA UTILIZADA PARA REPRESENTAR simplificada e uma situação real. Os modelos matemáticos simulam o fluxo da água subterrânea indiretamente por meio de equações que representam os processos físicos que ocorrem no sistema (ANDERSON; WOESSNER, 1991).

Os modelos matemáticos podem ser resolvidos de forma analítica ou numérica. A solução analítica é usualmente aplicada para meios homogêneos onde é possível assumir uma série de pressupostos que simplificam a solução. Já os modelos numéricos são também aplicáveis para meios heterogêneos e com maior complexidade, como é o caso da Ilha de São Luís.

A principal utilidade de um modelo numérico de fluxo de água subterrânea é prever o comportamento do sistema hidrogeológico a partir de cenários de interesse. No entanto, há também outras duas importantes aplicações, a organização e síntese dos dados de campo e a confirmação ou reavaliação de pontos específicos do modelo conceitual.

Quando se fala de modelos numéricos de fluxo de água subterrânea é fundamental mencionar as incertezas e limitações associadas a este processo, são alguns exemplos: conhecimento insuficiente sobre a geometria e variações hidráulicas/hidrodinâmicas dos aquíferos; escassez de dados de monitoramento hidrometeorológico e simplificações excessivas. É um grande erro considerar que os resultados gerados pelo modelo são verdades absolutas, mas sem dúvida trata-se de uma metodologia de trabalho que muito contribui para o conhecimento de um sistema hidrogeológico. Da mesma forma, para que continuem válidos é preciso cuidar de sua permanente atualização e calibração, com bases em novas informações obtidas, acréscimos ou supressões de dados de exploração e outros possíveis cenários.

O processo de modelagem envolve uma série de etapas, como pode ser visto na Figura 50, começando com a definição dos objetivos e a elaboração do modelo conceitual, o que irá influenciar diretamente na escolha do modelo e consequentemente nas demais fases do trabalho. Nos tópicos a seguir será abordada detalhadamente cada fase do trabalho.

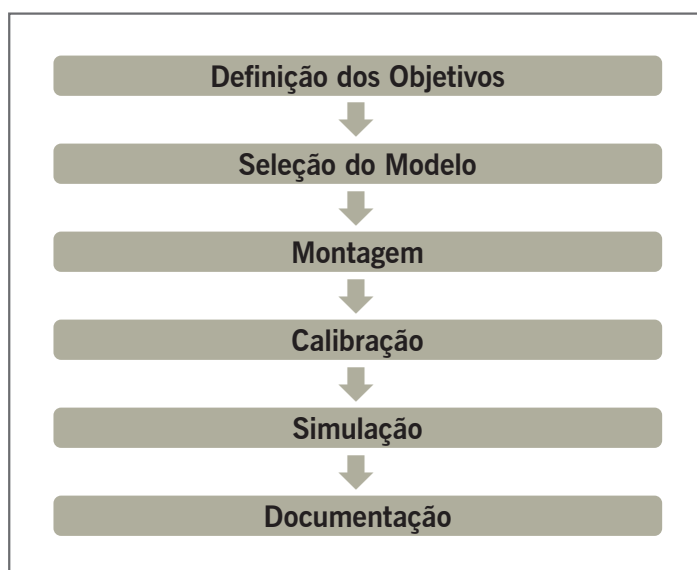


Figura 50: Etapas da modelagem numérica



Quanto ao modelo hidrogeológico numérico da Ilha de São Luís, optou-se por representar as duas unidades hidrogeológicas principais, o Sistema Aquífero São Luís e o Aquífero Itapecuru, no entanto, o atual nível de conhecimento sobre o Aquífero Itapecuru não permitiu a calibração dos níveis nesta unidade. A calibração foi feita para o Aquífero São Luís e os resultados gerados referem-se sempre a este sistema hidrogeológico.

No presente estudo a elaboração do modelo numérico tem como objetivos:

- Sintetizar as informações conceituais e melhorar a compreensão sobre o sistema hidrogeológico da Ilha de São Luís;
- Confirmar ou reavaliar pontos específicos do modelo conceitual;
- Colaborar com a elaboração do plano de monitoramento hidrológico/hidrogeológico quali-quantitativo;
- Simular cenários futuros de interesse para o estudo.

5.1. O MODELO CONCEITUAL DO FLUXO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

5.1.1. Compartimentação geológica e hidrogeológica

Ocorrem unidades geológicas de idade cretácicas atribuídas ao Grupo Itapecuru (formações Alcântara e Cujupe), além da Formação Barreiras (Mioceno/Plioceno), os sedimentos pleistocênicos (Sedimentos Pós-Barreiras) e o quaternário (Tabela 20).

Tabela 20: Unidades geológicas da Ilha de São Luís

ERA	PERÍODO	UNIDADE GEOLÓGICA	LITOLOGIA
CENOZÓICO	Quaternário	Depósitos eólicos, litorâneos e aluviões	Areias, argilas, conglomerados, mangues
	Quaternário / Terciário	Pós-Barreiras	Areias vermelho-claras a alaranjadas, friáveis a endurecidas, maciças, bioturbadas, moderadas a bem selecionadas, de granulometria fina a média, localmente grossas a conglomeráticas.
	Terciário	Formação Barreiras	Arenitos mal selecionados, finos a grossos, variegados, em geral argilosos, com intercalações de folhelhos e fácies conglomeráticas
MESOZÓICO	Paleógeno/Eocretáceo	Formação Cujupe	Arenitos intercalados a argilitos e, subordinadamente, conglomerados
	Cretáceo	Formação Alcântara	Arenitos, pelitos e subordinadamente por calcários e conglomerados
		Grupo Itapecuru Indiferenciado	Arenitos com siltitos e folhelhos intercalados

Estruturalmente se ressalta o comportamento rúptil das rochas, principalmente em função de sua resposta aos esforços em situação próxima à superfície, associada ao quadro evolutivo

mais recente e ao regime neotectônico, sendo possível distinguir dois domínios principais: Domínio I na porção norte-nordeste; e Domínio II, na porção oeste-sudeste (ver Figura 9, vol. I deste relatório).

Os dois domínios se encaixam num modelo de *Horst* e *Graben* sendo que, regionalmente o Domínio I constitui um *graben*, no qual foram preservadas as unidades mais jovens (Pós – Barreiras e Barreiras) com as rochas do Grupo Itapecuru situadas em profundidades bem maiores de ocorrência.

No domínio II, porção tectonicamente mais elevada da Ilha (*Horst*), a erosão atuou de forma mais severa, deixando o relevo mais dissecado e apenas com resquícios das unidades mais jovens.

Desta forma, unidades de idades diferentes ocorrem frequentemente lado a lado, em escala regional e até em escala de afloramentos, interferindo na continuidade lateral das camadas.

Esta forte estruturação permite que em alguns locais a *recarga* dos aquíferos ocorra diretamente através das inúmeras falhas e fraturas existentes, impactando possíveis estratégias de gestão a serem implementadas.

As diferentes unidades geológicas descritas na Tabela 20 se unem, de acordo com suas características hidrodinâmicas e com relação ao estado de pressões aos quais estão submetidas, dando origem a quatro *unidades hidroestratigráficas*:

a) Sistema Aquífero Itapecuru ou Itapecuru-Alcântara

Engloba as unidades cretácicas componentes do Grupo Itapecuru, exceto a Formação Cujupe, cuja sedimentação ocorreu até o Terciário. Apresenta espessuras muito elevadas, superiores a 500 m, embora apenas a sua porção mais superficial, de ocorrência, em até aproximadamente 100m abaixo do nível do mar, seja aproveitada como aquífero, devido ao aumento no teor de sais em profundidade. Embora se comporte geralmente como um aquífero confinado, a forte estruturação neotectônica da Ilha, permite que em alguns locais a sua recarga ocorra diretamente através das inúmeras falhas e fraturas existentes. Também recebe importantes recargas por drenança vertical do aquífero São Luís.

b) Sistema Aquífero São Luís

Formado pela associação das unidades Cujupe, Barreiras e Pós-Barreiras. Ocorre na forma de um empilhamento vertical de toda a sequência, ou através de contatos laterais entre elas, conectados por falhas, o que lhes proporciona continuidade hidráulica no sentido horizontal. Constitui um sistema aquífero livre, aflorante em toda a Ilha, com recarga direta a partir das abundantes precipitações pluviométricas, além de contribuições advindas da urbanização da área. Tem como principais zonas de recarga as áreas planas dos tabuleiros, notadamente onde ocorrem matas de vegetação nativa preservada. Nestes locais, até mesmo a recarga de origem antrópica (vazamentos em redes de água, esgotos, etc.), é mais acentuada, haja vista a intensa urbanização destas áreas.



c) Sistema Aquífero Holocênico

Formado pelos Depósitos Litorâneos, Depósitos Eólicos e Aluviões. Constitui um sistema aquífero livre, aflorante ao longo da faixa litorânea e preenchendo os principais vales fluviais, quando não afogados pelas imensas marés locais.

d) Unidade Não Aquífera

Representada pelos depósitos de mangues, com grande teor de finos, matéria orgânica e argilas expansivas que, saturadas por águas salinizadas, não funcionam como aquíferos. A parte inferior do Grupo Itapecuru, em profundidades maiores que 100 m abaixo do nível do mar, também é considerada como não aquífero, em virtude da salinização de suas águas.

A Figura 51 mostra a configuração dos Sistemas Aquíferos São Luís e Itapecuru, principais unidades hidrogeológicas da área.

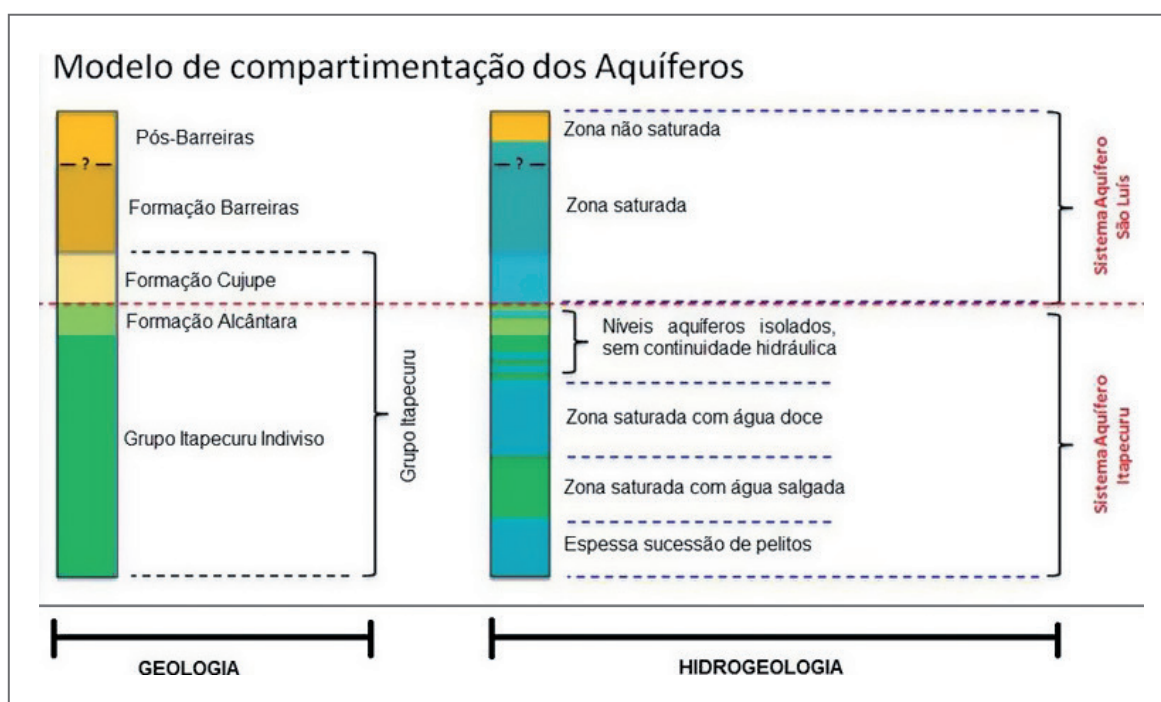


Figura 51: Compartimentação dos aquíferos na Ilha de São Luís

Nessas unidades, o fluxo subterrâneo se dá de forma compartilhada, movendo-se de acordo com as cargas hidráulicas locais, ocorrendo principalmente do Aquífero São Luís para o Itapecuru, embora, como já citado e em menor escala, também de forma ascendente, do Itapecuru para o São Luís.

As espessuras do São Luís são variáveis, sendo limitadas em profundidade pela ocorrência das camadas argilosas e calcíferas da Formação Cujupe, enquanto o Itapecuru limita-se em profundidade a 100 m abaixo do nível do mar, quando suas águas se encontram salinizadas.

As recargas são originadas principalmente das precipitações pluviométricas, no caso do Aquífero São Luís, embora recargas pluviométricas possam ocorrer também localmente no

Itapecuru, devido à forte estruturação da Ilha. No Itapecuru as recargas são principalmente por meio de drenanças verticais a partir do São Luís.

Ocorrem alguns poços com águas salinizadas, oriundas principalmente de infiltrações a partir dos extensos depósitos de mangues existentes.

A Figura 52 mostra, de forma simplificada, o modelo hidrogeológico conceitual da área.

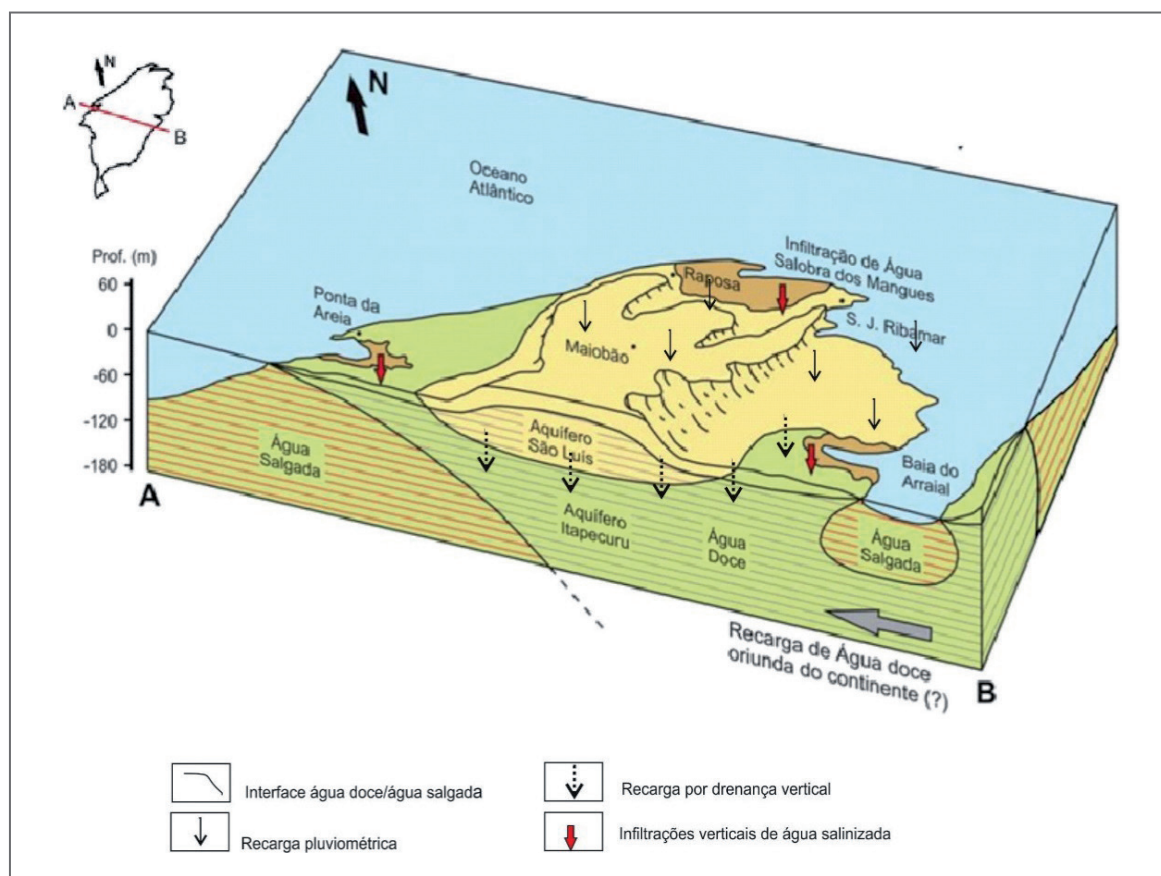


Figura 52: O modelo hidrogeológico conceitual da Ilha de São Luís

5.2. SELEÇÃO E CARACTERÍSTICAS DO MODELO NUMÉRICO

O modelo numérico do fluxo d'água subterrânea da Ilha de São Luís foi elaborado utilizando o software “*Visual MODFLOW Flex*” na versão 4.1.0 da empresa WATERLOO HYDROGEOLOGIC. A seleção deste modelo levou em conta o fato de ele ser atualmente o pacote computacional mais difundido para modelagem de fluxo de água subterrânea.

O código MODFLOW foi originalmente desenvolvido por McDonald e Harbaugh (1988). Na década de 90 várias interfaces gráficas foram desenvolvidas, entre elas o Visual MODFLOW, o qual tornou o processo de modelagem mais fácil e intuitivo.

O código MODFLOW tem estrutura modular, que solucionam os problemas de fluxo em diferenças finitas implícitas, com bloco de nó centrado, possibilitando a construção de modelos



tridimensionais. Cada módulo no MODFLOW contém códigos criados para representação de problemas específicos dentro do modelo.

A equação que governa o fluxo tridimensional da água subterrânea em meios porosos saturados que é aplicada no MODFLOW é:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - W = S_s \frac{\partial h}{\partial t}$$

Onde,

K_{xx} , K_{yy} , K_{zz} = Condutividade hidráulica ao longo dos eixos x, y e z.

h = Carga Hidráulica

W = Volume de entrada de água no sistema por unidade de volume do aquífero, por unidade de tempo. Basicamente representa a recarga.

S_s = Armazenamento Específico

5.3. MONTAGEM DO MODELO

A montagem do modelo numérico envolveu a definição dos limites físicos e do grid do modelo, a alocação das condições de contorno, a distribuição das unidades hidrogeológicas e das respectivas propriedades hidrodinâmicas e a inserção dos poços de bombeamento e monitoramento.

5.3.1. Grid

Anderson e Woessner (1991) sugerem que o tamanho do grid horizontal deve ser uma função da curvatura esperada do nível d'água ou superfície potenciométrica. Similarmente, a mudança de carga na direção vertical irá influenciar a seleção do tamanho do grid na vertical. Outro fator que deve ser levado em consideração é a variabilidade das propriedades dos aquíferos. Os *layers* de um modelo tipicamente correspondem às unidades hidrogeológicas. Entretanto se houver gradientes verticais significativos, dois ou mais *layers* podem ser usados. A variabilidade das áreas de recarga, bombeamento ou descarga também precisam ser consideradas no dimensionamento do Grid.

Durante a montagem do modelo estabeleceu-se que as células teriam a dimensão de 1 km² no plano horizontal. Esta decisão deu-se principalmente em função da distribuição das unidades hidrogeológicas, percebeu-se que com esta dimensão seria possível representar todas as unidades de forma satisfatória. Além disso, a quantidade de informações de monitoramento também fica bem representada por células de 1 km².

Quanto ao limite vertical do modelo, o seu topo refere-se à altitude topográfica e a base à altitude de 135 metros abaixo do nível do mar, conforme o mapa de espessura do Aquífero São Luís e levando em consideração o nível atual de conhecimento que indica que em grandes profundidades o Aquífero Itapecuru apresenta águas salinizadas.

O modelo numérico foi elaborado com uma extensão de 45 km na direção Leste-Oeste e 46 km na direção Norte-Sul, resultando numa área de 2070 km². Adotou-se o sistema de coordenada UTM – WGS84 – Zona 23S, sendo que as coordenadas dos limites do modelo são:

- Direção E-W: 564500, 609500 (45 km)
- Direção N-S: 9689750, 9735750 (46 km)

No plano horizontal o modelo numérico foi discretizado em uma malha regular com células de 1 km². O modelo ficou com 46 linhas e 45 colunas resultando em 2070 células por camada. As células externas à área da Ilha de São Luís foram inativadas, ficando 1163 células ativas, como mostra a Figura 55.

Na direção vertical, o domínio de cálculo foi dividido em 3 camadas de espessura variável conforme a espessura das unidades hidrogeológicas (Aquífero São Luís, Unidade Confinante do topo do Aquífero Itapecuru e Aquífero Itapecuru). O método de interpolação utilizado foi o inverso do quadrado da distância. A definição das 3 camadas baseou-se em 4 superfícies, por ordem de profundidade:

Superfície 1/ Topo do Modelo: Superfície topográfica. A superfície topográfica foi gerada no Visual MODFLOW através da interpolação dos pontos altimétricos extraídos da imagem SRTM no centro e vértices das células de 1km. A Figura 54 ilustra esta etapa;

Superfície 2/ Base do Aquífero São Luís: Para a elaboração da base da primeira camada do modelo foi utilizado o mapa de espessura do Aquífero São Luís. A malha de pontos altimétricos do topo da camada 1 foi subtraída da espessura máxima do intervalo de classes do mapa de espessuras. Por exemplo, as células localizadas no intervalo de classe de 20 a 40 metros de espessura ficaram com o valor de 40 metros. A Figura 55 ilustra este processo;

Superfície 3/ Base da Camada Confinante: A camada 3 foi inserida para representar a unidade confinante que ocorre no topo do Aquífero Itapecuru. Como esta camada tem espessura bastante variável e só é conhecida pontualmente, ela foi inserida com intuito de simular o confinamento do Aquífero Itapecuru e a dificuldade do fluxo entre os Aquíferos São Luís e Itapecuru

Base da Camada 3: Nível médio do mar subtraído de 135m.

A Figura 56 ilustra a discretização vertical do modelo.

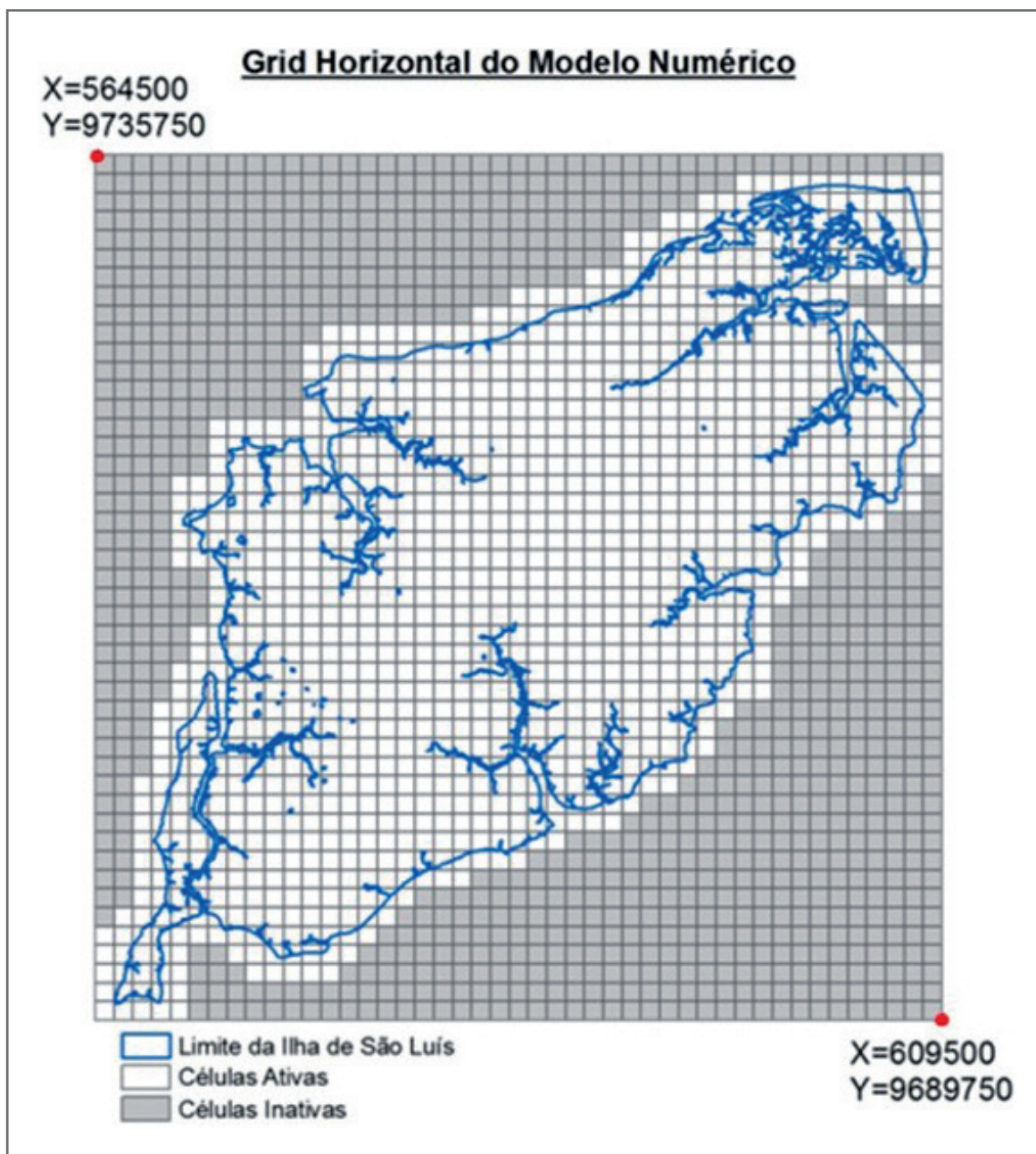


Figura 53: Discretização horizontal do grid

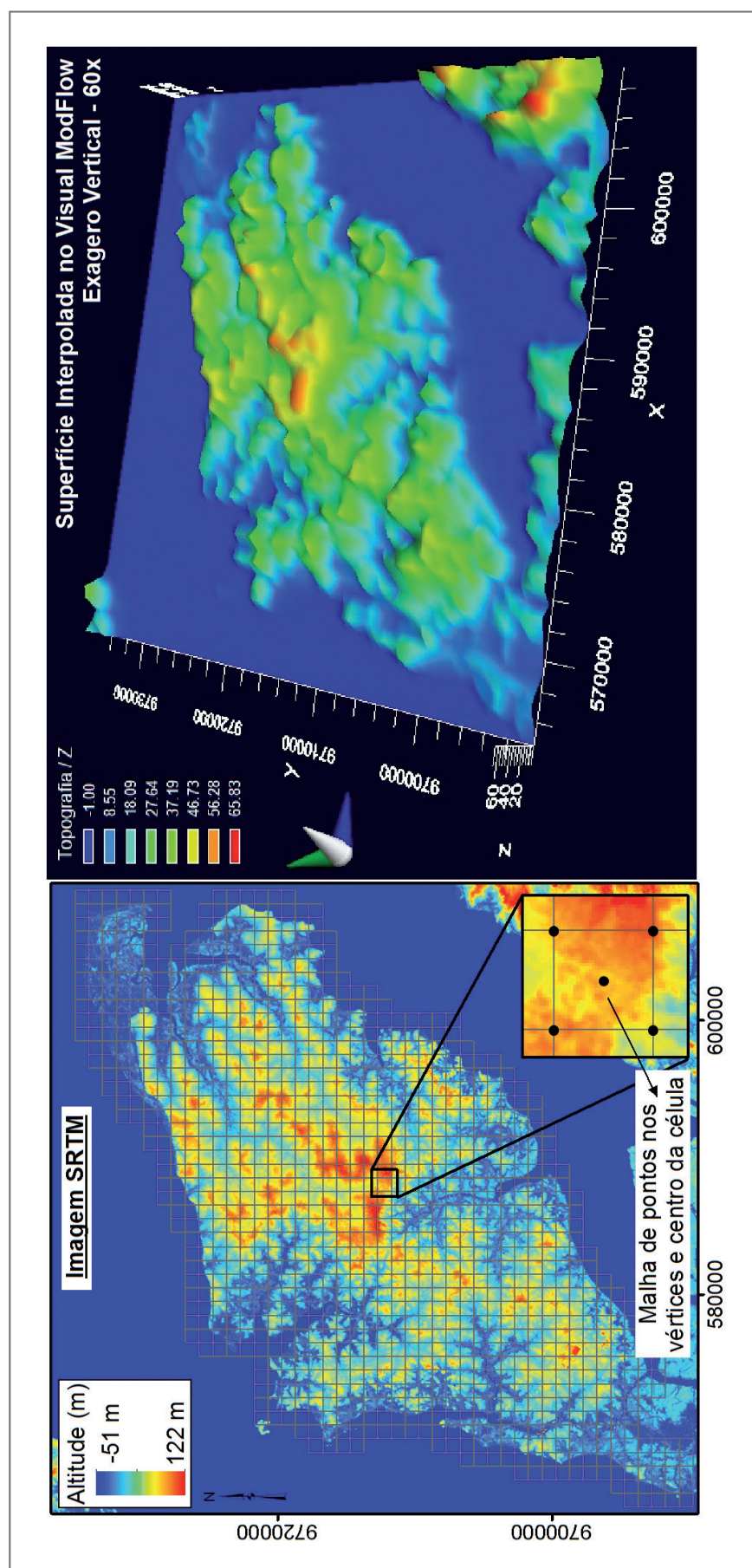


Figura 54: Topo da camada 1 do modelo (baseada na imagem SRTM)

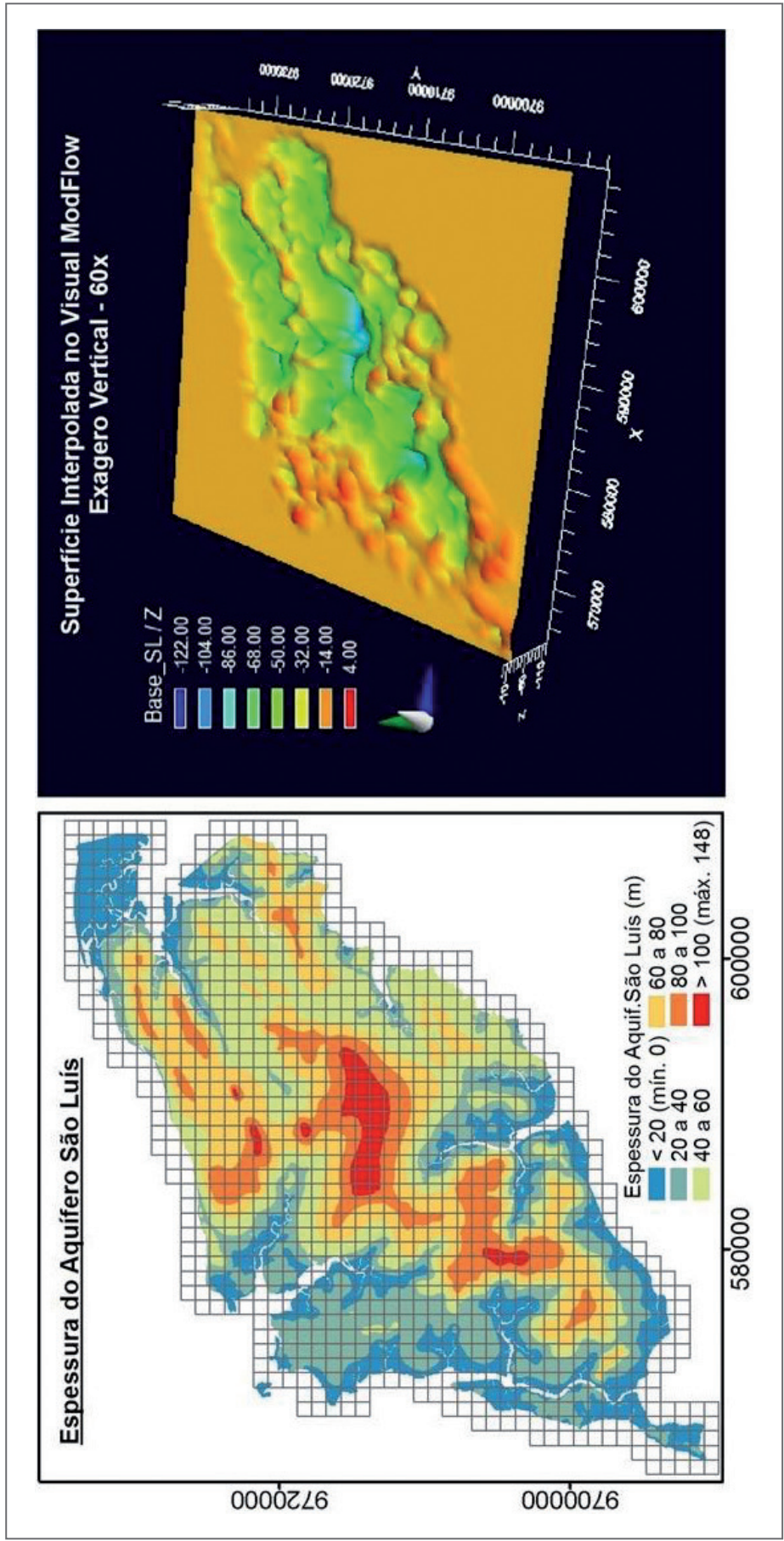


Figura 55: Base da Camada 1 (espessura do Aquífero São Luís)

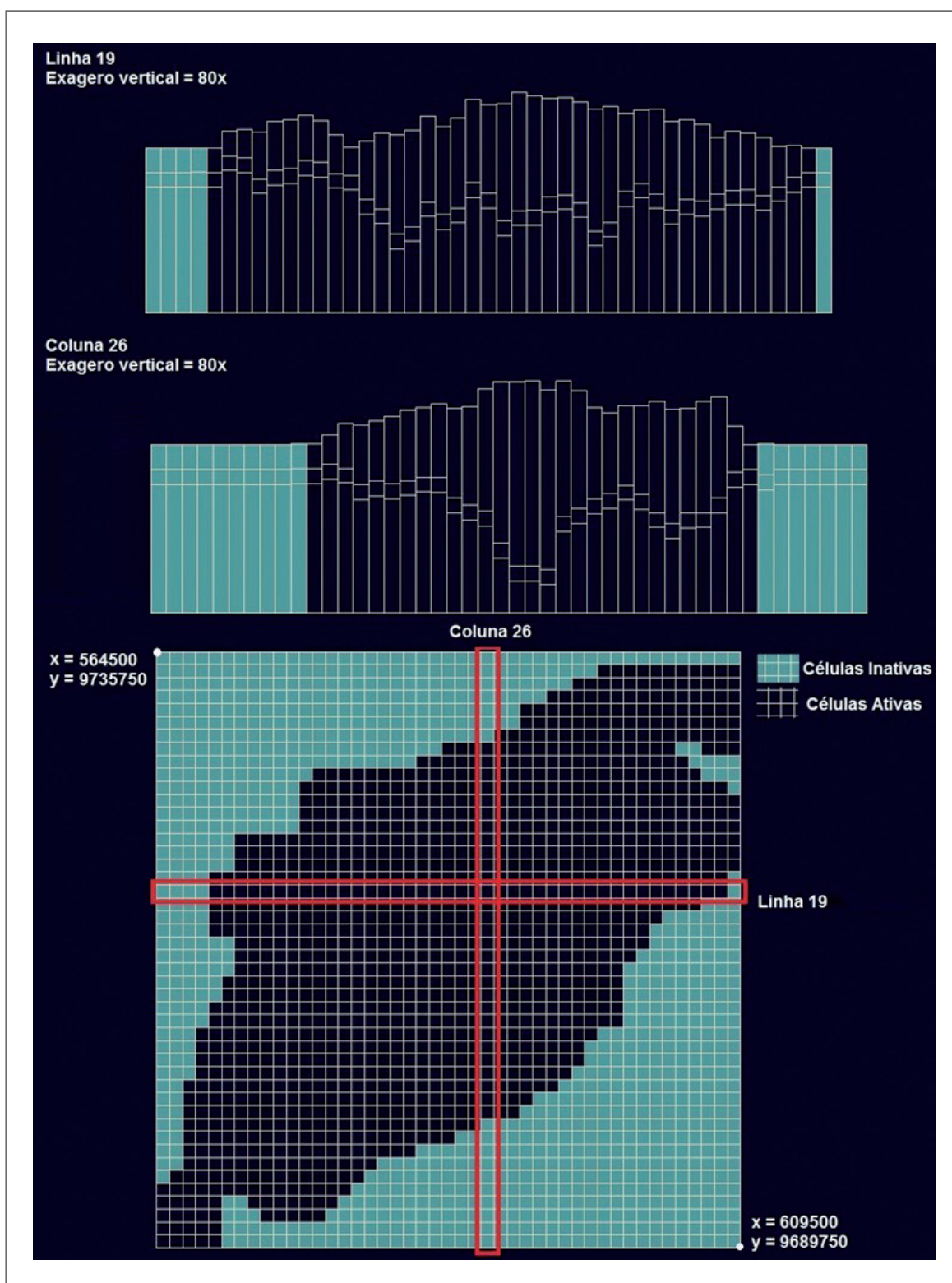


Figura 56: Representação da discretização horizontal e vertical do modelo numérico



5.3.2. Propriedades hidráulicas

Uma das etapas do modelamento numérico hidrogeológico refere-se à distribuição das propriedades hidráulicas que incluem condutividade hidráulica (K), armazenamento (S_s) e porosidade efetiva (S_y). O S_s é um parâmetro válido para aquíferos confinados, portanto, foi atribuído ao Aquífero Itapecuru. Já o S_y é uma propriedade também associada à aquíferos livres e foi atribuído ao Aquífero São Luís e à camada confinante. As transmissividades hidráulicas (T), foram obtidas no mapa de transmissividades. Como no modelo numérico a grandeza requerida para a representação das propriedades hidrodinâmicas é a condutividade hidráulica, foi necessário dividir as transmissividades pelas espessuras, gerando um mapa com 4 faixas de condutividades hidráulicas, conforme mostrado na Figura 57.

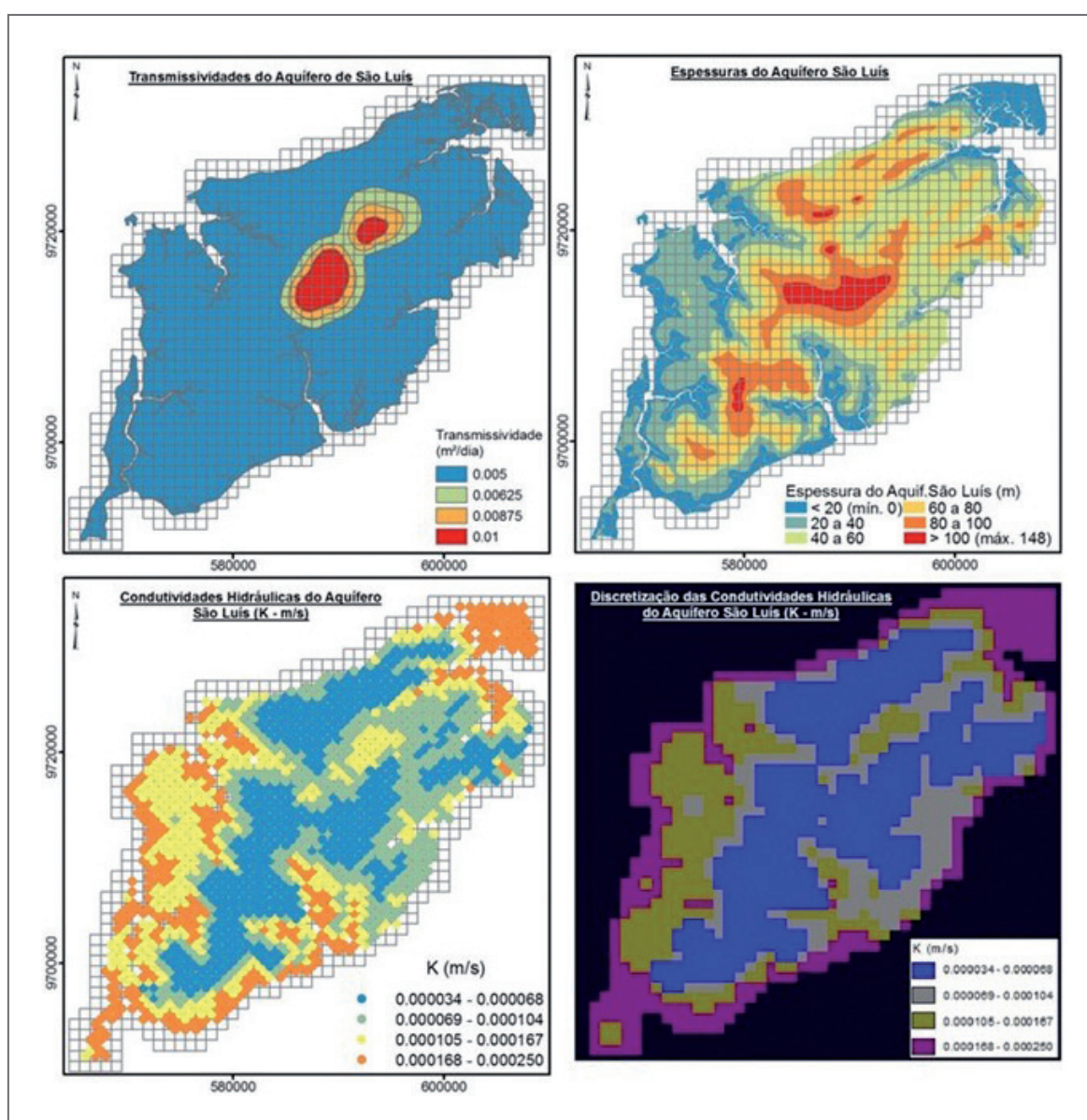


Figura 57: Classes de condutividade hidráulica (m/s) para o Aquífero São Luís

A Figura 58 apresenta a distribuição das propriedades em perfis Norte-Sul e Leste-Oeste do modelo numérico.

Os valores de K e S serão discutidos no item calibração do modelo já que estes são parâmetros de calibração e foram utilizados no retro análise em função dos resultados gerados a cada tentativa de calibração.

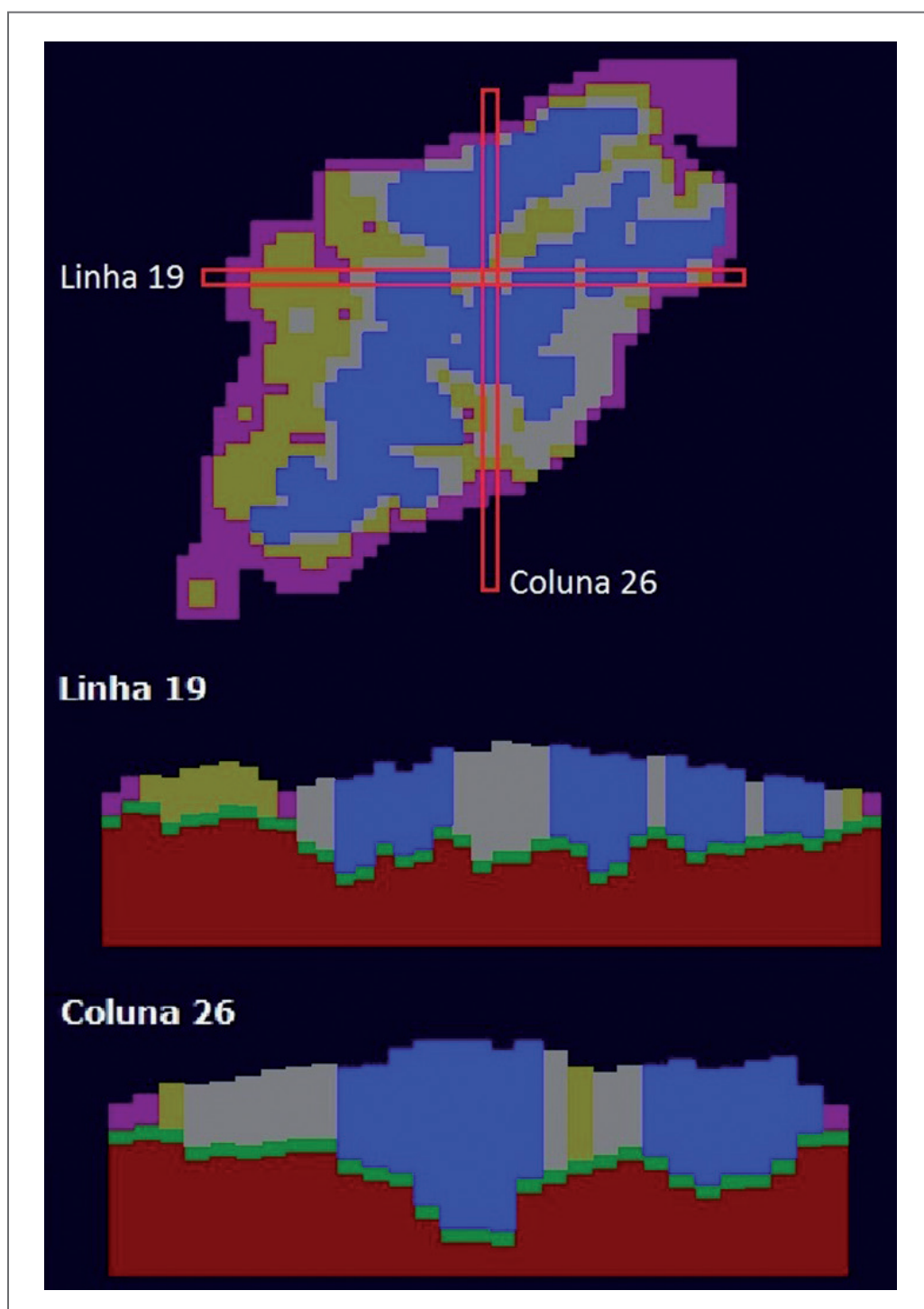


Figura 58: Distribuição das propriedades hidrodinâmicas no modelo numérico



5.3.3. Cargas hidráulicas iniciais

Para a simulação do fluxo d'água subterrânea o Visual Modflow permite a inserção de cargas hidráulicas iniciais (initial head), as quais irão reduzir significativamente o tempo para o programa gerar as cargas calculadas.

As cargas iniciais fornecem um cenário do estado estacionário do aquífero, servindo como referência inicial à evolução das simulações transientes. Como não existem dados de nível d'água subterrânea quando havia o estado de equilíbrio do sistema hidrogeológico, ou seja, anteriores ao início da exploração por meio dos poços de bombeamento, decidiu-se inserir as cargas conforme o Mapa de Nível de Água Subterrânea de São Luís produzido nesse estudo (Figura 59).

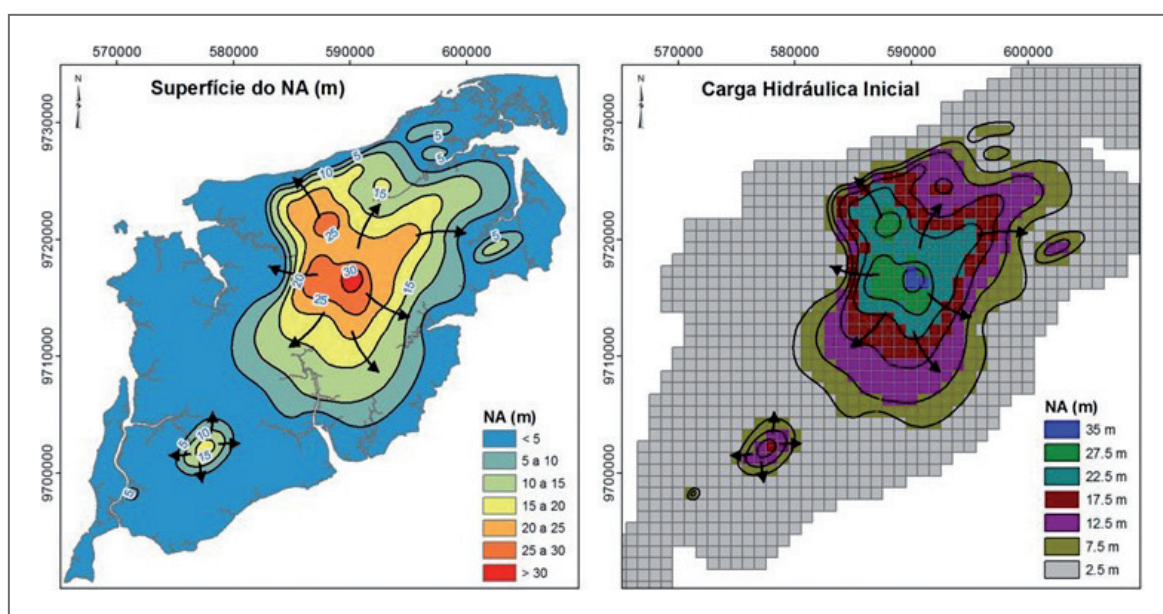


Figura 59: Cargas Hidráulicas iniciais aplicadas no Modelo de São Luís

5.3.4. Condições de contorno

As condições de contorno são elementos numéricos inseridos no modelo que determinam as relações existentes entre as cargas hidráulicas e o fluxo d'água subterrânea na área modelada. Estas relações podem ser de três tipos: fluxo com carga hidráulica especificada (tipo 1), fluxo especificado (tipo 2) ou fluxo dependente da carga hidráulica (tipo 3).

São utilizadas para representar as entradas e saídas de água no modelo numérico bem como seus limites físicos. Representam elementos físicos/hidrogeológicos existentes, tais como rios, mar, poços, recarga, rochas impermeáveis, continuidade do aquífero, etc.

As condições de contorno utilizadas no modelo numérico de São Luís foram:

- Fluxo nulo no entorno da área modelada, representado por células inativas;
- Recarga, representada pelo recurso “recharge”, indicando a porcentagem da chuva, a parcela da rede de distribuição de água, dos esgotos e da drenagem urbana que infiltra e recarrega os aquíferos;
- Continuidade dos aquíferos na porção sudoeste da ilha, representado pelo recurso “GHB”;
- Mar (Carga Constante);
- Poços (Wells) para os poços de bombeamento.
- A seguir serão tratadas de forma mais detalhada cada uma dessas propriedades

Cursos d'água

Os principais cursos d'água presentes na área modelada foram representados pelo recurso dreno, condição de contorno de terceiro tipo, onde o fluxo da água é dependente da carga hidráulica atribuída a cada célula. Além da carga hidráulica, também se atribui o parâmetro condutância a cada célula dos drenos. A condutância é um parâmetro numérico de calibração que representa a resistência do fluxo d'água entre as células do dreno e as células vizinhas. A Figura 60 mostra a localização dos drenos inseridos no modelo.

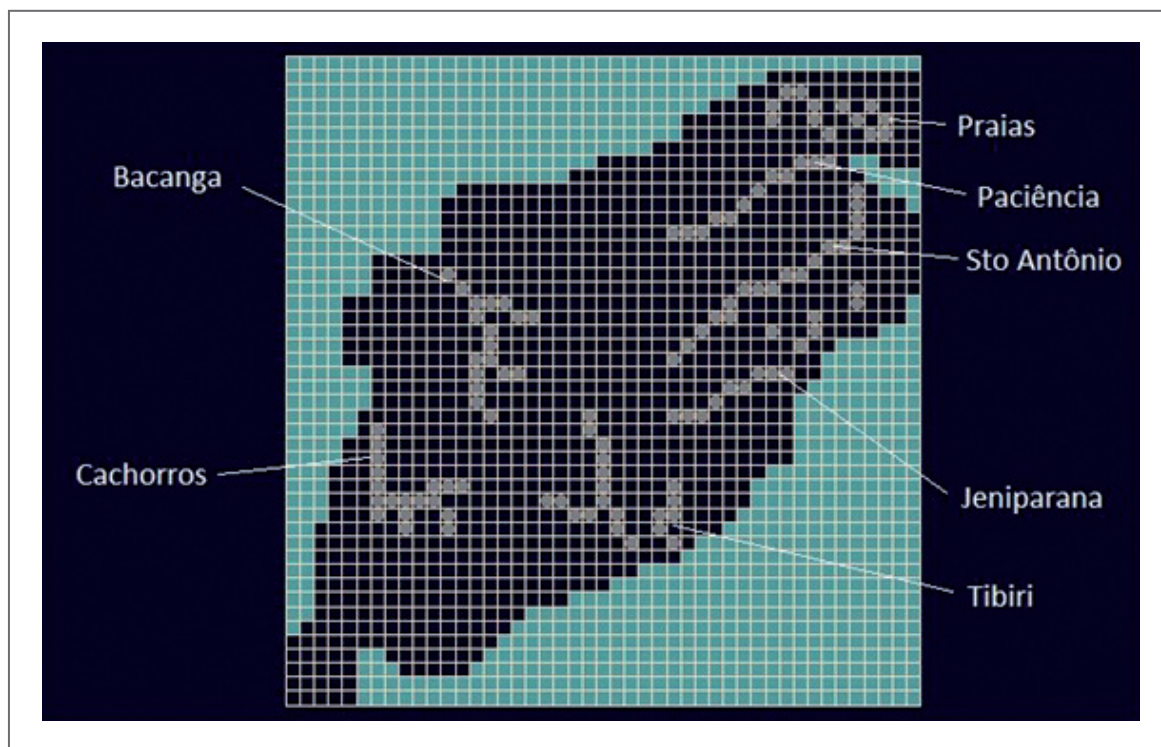


Figura 60: Drenos inseridos no Modelo Numérico



Recarga

A recarga foi inserida não só para representar o percentual da pluviometria que infiltra e chega até os aquíferos como também as perdas de água que ocorrem na rede de distribuição, nas drenagens urbanas e na rede de esgotos, que igualmente recarregam os aquíferos. Esta condição de contorno foi aplicada na primeira camada do modelo com valores que variam em função da bacia hidrográfica. Sendo assim ficaram definidas 13 regiões de recarga conforme especificado na Figura 61.

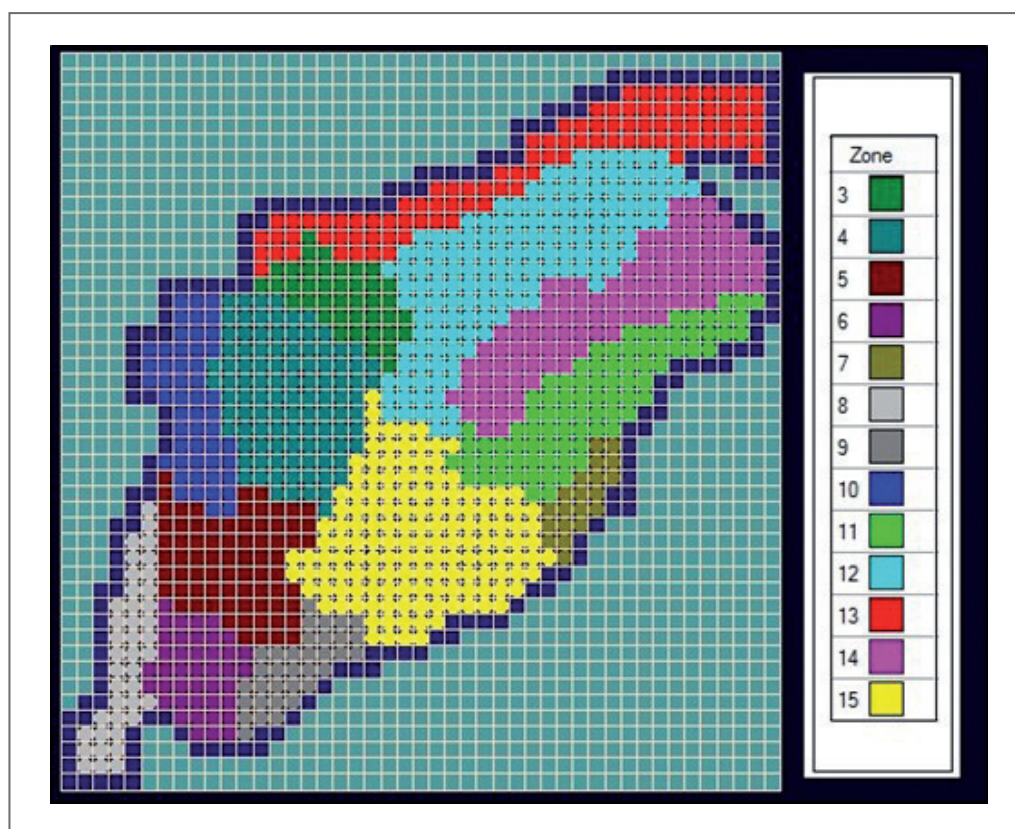


Figura 61: Zonas de distribuição de Recarga no Aquífero São Luís (Camada1)

GHB

A condição de contorno GHB (*General Head Boundary*) foi inserida tanto para representar a continuidade do fluxo d'água subterrânea para o continente na região sudoeste da Ilha de São Luís (Figura 62) como para representar as trocas d'água (drenança) entre os Aquíferos São Luís e Itapecuru. Neste último caso o GHB foi aplicado em toda a primeira camada do modelo. O GHB é uma condição de contorno de terceiro tipo, ou seja, onde a carga hidráulica depende do fluxo d'água. Os parâmetros necessários para sua calibração são carga hidráulica e condutância.

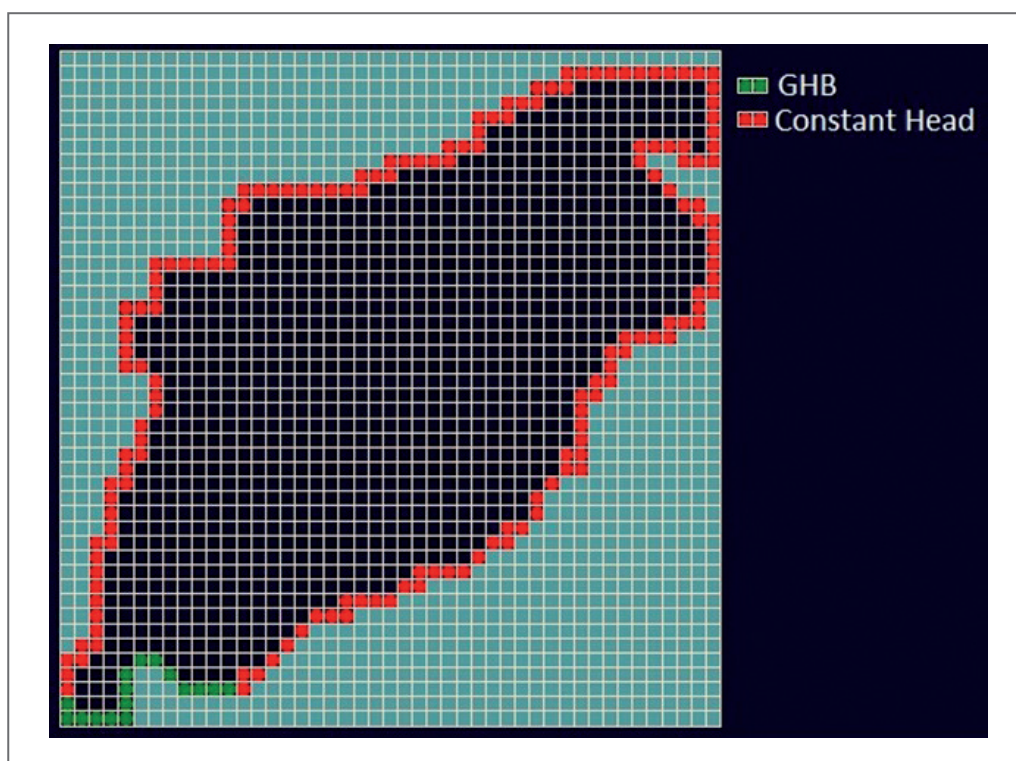


Figura 62: Cargas Constantes e GHB (Camada 1)

Poços de bombeamento

Os poços são uma condição de contorno de tipo 2, fluxo especificado. Eles podem atuar tanto tirando água do modelo, representando poços de bombeamento, ou inserindo água no modelo, representando poços de injeção, ou recarga artificial. No caso do Modelo da Ilha de São Luís, foram inseridos os poços de bombeamento. As informações requeridas para a inserção dos poços são coordenadas, altimetria, profundidade, posição dos filtros e vazão de exploração.

Os poços que foram inseridos no modelo são todos aqueles cadastrados que estão com o status de em operação, que totalizam 1278 como mostra a Figura 63. Para muitos poços não há dados de profundidade, posição dos filtros e vazão de exploração. Neste caso foram usados os valores médios associados àqueles poços que tem essas informações. As informações sobre os poços inseridos no modelo constam no ANEXO 2.

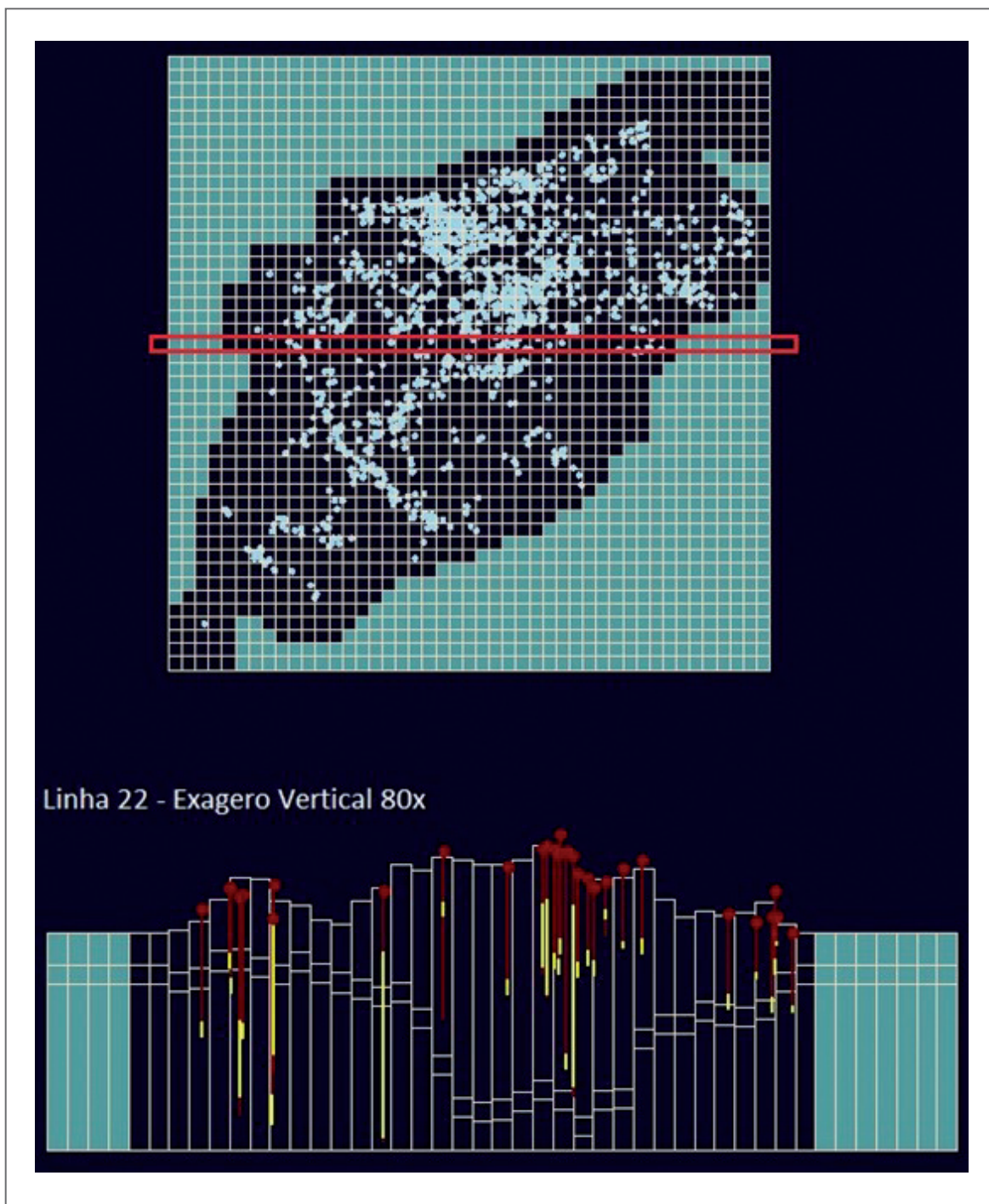


Figura 63: Poços de Bombeamento

5.3.5. Poços de observação

Os dados das duas campanhas de medição de níveis d'água subterrânea unicamente referente ao Aquífero São Luís foram inseridos no modelo com o objetivo de ajustar a calibração dos seus níveis de água. Foram utilizados os dados de 52 poços de observação.

A localização dos poços consta na Figura 64 e as demais informações necessárias à inserção no modelo estão agrupadas na Tabela 21. Para os poços que não continham informação de profundidade, foi considerada a profundidade da primeira camada (representativa do Aquífero São Luís) da célula onde o poço está inserido.

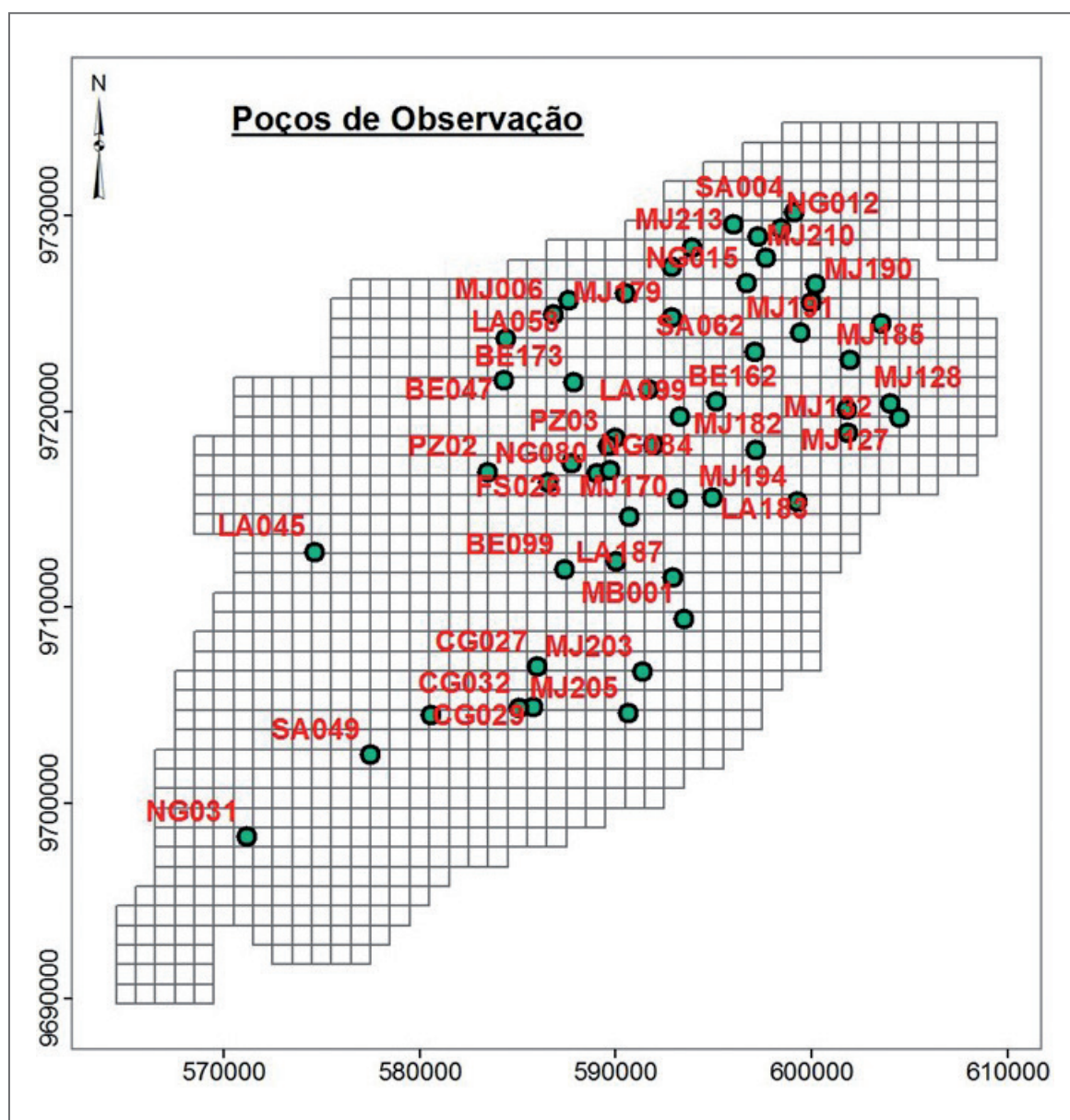


Figura 64: Localização dos poços de observação cujos dados serviram à calibração do modelo numérico



Tabela 21: Dados de cota do nível d'água subterrânea (NA) que foram utilizados para a calibração do modelo numérico

POÇO	COORD. X	COORD. Y	PROF. (m)	DATA SECO	NA (m) SECO	DATA CHUVOSO	NA (m) CHUVOSO
BE037	584401.03	9723690.96	54	17/11/2017	19.93	17/05/2018	17.99
BE047	584291.97	9721589.95	0	20/11/2017	-	17/05/2018	17.09
BE073	590734.01	9714598.05	0	23/11/2017	11.225	17/05/2018	25.445
BE088	590067.96	9712329.02	0	23/11/2017	20.67	17/05/2018	21.43
BE099	587425.03	9711899.02	70	23/11/2017	16.43	17/05/2018	18.56
BE122	586570.97	9716359.95	0	21/11/2017	14.72	21/05/2018	25.42
BE149	580571.05	9704470.01	0	16/11/2017	8.59	16/05/2018	-4.22
BE162	595146.02	9720502.99	0	28/11/2017	-	22/05/2018	20.92
BE171	590523.96	9726051.04	64	13/11/2017	-	22/05/2018	18.05
CG027	586012.99	9706959.97	68	22/11/2017	5.64	16/05/2018	11.94
CG029	585837.05	9704889.95	94	22/11/2017	5.623	16/05/2018	1.933
CG032	585101.00	9704849.96	12	22/11/2017	6.97	16/05/2018	8.63
FS026	587756.38	9717366.71	80	21/11/2017	24.945	21/05/2018	26.355
FS032	590002.05	9718661.99	50	21/11/2017	20.53	17/05/2018	21.87
LA004	593924.96	9728346.02	64.5	13/11/2017	7.19	16/05/2018	7.96
LA007	592899.01	9727393.00	72	13/11/2017	12.215	16/05/2018	12.465
LA045	574639.33	9712816.72	60	-	-	21/05/2018	2.14
LA058	587609.99	9725691.99	60	13/11/2017	-	22/05/2018	14.665
LA091	591727.00	9721146.03	47	08/11/2017	15.15	17/05/2018	16.71
LA099	593325.97	9719749.05	80	-	-	22/05/2018	20.01
LA110	591948.97	9718279.04	77.2	21/11/2017	16.96	21/05/2018	20.82
LA183	594958.97	9715576.03	60	21/11/2017	14.645	18/05/2018	14.645
LA187	592939.00	9711503.04	65	23/11/2017	12.39	17/05/2018	13.15
MB001	593533.04	9709416.01	0	24/11/2017	10.965	17/05/2018	12.085
MJ006	586842.95	9724938.00	0	13/11/2017	13.44	17/05/2018	17.91
MJ127	604514.98	9719659.01	24	28/11/2017	-	21/05/2018	6.39
MJ128	604040.00	9720415.05	43	28/11/2017	-	18/05/2018	8.765
MJ130	601841.04	9720104.99	34.3	-	-	18/05/2018	5.47
MJ132	601860.00	9718924.01	0	-	-	18/05/2018	10.77
MJ150	597721.53	9727859.94	0	-	-	15/05/2018	6.07

continua

Tabela 21: Dados de cota do nível d'água subterrânea (NA) que foram utilizados para a calibração do modelo numérico (continuação)

POÇO	COORD. X	COORD. Y	PROF. (m)	DATA SECO	NA (m) SECO	DATA CHUVOSO	NA (m) CHUVOSO
MJ170	593219.03	9715520.03	130	21/11/2017	-	22/05/2018	21.75
MJ179	592912.05	9724792.01	60	30/11/2017	-	15/05/2018	15.46
MJ182	597196.96	9718032.05	0	28/11/2017	-	21/05/2018	13.96
MJ183	603599.95	9724491.01	60	31/11/17	2.18	15/05/2018	7.08
MJ185	601982.01	9722614.96	60	31/11/17	1.575	15/05/2018	7.705
MJ189	600022.98	9725562.03	42	30/11/2017	-1.97	15/05/2018	6.97
MJ190	600224.99	9726519.00	32	31/11/2017	-5.425	15/05/2018	5.825
MJ191	599463.99	9723999.96	48	30/11/2017	-	16/05/2018	10.55
MJ194	599293.95	9715390.99	0	28/11/2017	-	23/05/2018	7.82
MJ203	591416.01	9706708.99	0	24/11/2017	7.825	17/05/2018	10.065
MJ205	590648.98	9704566.05	0	24/11/2017	6.47	17/05/2018	7.23
MJ210	597303.95	9728924.98	60	13/11/2017	4.41	15/05/2018	6.99
MJ213	596062.05	9729535.00	60	13/11/2017	6.11	16/05/2018	6.47
NG012	598475.01	9729327.04	40	13/11/2017	4.255	16/05/2018	5.215
NG015	596732.00	9726540.02	95	30/11/2017	5.255	16/05/2018	0.405
NG080	589065.02	9716828.00	40	21/11/2017	32.35	22/05/2018	25.09
NG084	589741.96	9716993.05	82	21/11/2017	-	17/05/2018	39.66
PZ02	583470.08	9716898.81	75	-	-	22/05/2018	4.17
PZ03	589628.00	9718217.95	76	-	-	21/05/2018	21.8
SA004	599127.35	9730161.67	64	-	-	16/05/2018	-0.745
SA049	577497.02	9702457.96	30	16/11/2017	13.55	18/05/2018	16.33
SA062	597111.95	9723056.05	12	30/11/2017	-	22/05/2018	16.98

5.4. CALIBRAÇÃO

A calibração refere-se à demonstração de que o modelo é capaz de reproduzir as cargas hidráulicas medidas em campo. Neste processo são feitas análises nos parâmetros hidráulicos e condições de contorno visando obter a melhor representação do sistema real. Este procedimento é chamado de retro análise.

É importante mencionar que o modelo numérico utilizado permite representar o fluxo d'água subterrânea de duas maneiras. A primeira é em regime permanente (*Steady State*) e a segunda em regime transiente (*Transient*). O regime transiente é necessário para analisar problemas



dependentes do tempo, já que produz resultados de cargas hidráulicas para cada período (*time step*). No entanto, a calibração em regime transiente requer maior quantidade de dados, inclusive séries históricas de monitoramento. Já o regime permanente é comumente aplicado para áreas com pouca ação antrópica, onde prevalece o estado de equilíbrio do sistema hidrogeológico. O modelo da Ilha de São Luís foi calibrado somente em regime transiente por não haver dados de monitoramento do nível d'água subterrânea anteriores à instalação de poços de bombeamento.

Todas as informações necessárias para a calibração, como condições de contorno, piezometria e vazão nos poços, foram inseridas no modelo compreendendo o período de julho de 2016 a junho de 2018, totalizando 2 anos. Esse intervalo de tempo foi dividido em 4 períodos, correspondentes ao período chuvoso e seco de cada ano hidrológico, conforme a Tabela 22.

Tabela 22: Períodos de tempo utilizados na calibração em regime transiente

PERÍODO DE TEMPO	DATA INÍCIO	DATA FIM	QTD. DE DIAS	DIA INÍCIO	DIA FIM	PERÍODO
1	01/07/2016	31/12/2016	183	0	183	Seco
2	01/01/2017	30/06/2017	180	184	364	Chuvoso
3	01/07/2017	31/12/2017	183	365	548	Seco
4	01/01/2018	30/06/2018	180	549	729	Chuvoso

As cargas constantes inseridas para representar o mar foram calibradas com valor igual a zero que equivale ao nível do mar.

As condutividades hidráulicas e armazenamentos calibrados constam na Tabela 23, a seguir.

Tabela 23: K (m/s), Ss e Sy calibrados no modelo

		K (m/s)	Ss	Sy
Aquífero São Luís	10	5.10E-05	-	0.15
	9	8.65E-05		
	7	1.41E-04		
	6	2.09E-04		
Camada Confinante	3	4.00E-09	-	0.15
Aquífero Itapecuru	5	5.00E-06	0.00141	0.12

No modelo do Modflow utilizado, para a condição de contorno tipo 3 (*General Head Boundary – GHB*), a equação básica para o cálculo da descarga de água (QD) entre o contorno e o aquífero é

$$QD = cond. (d - h)$$

Onde h é a carga hidráulica na célula com atribuição de condição de contorno, d é uma elevação relativa à condição de contorno e $cond$ é um parâmetro de proporcionalidade chamada de

condutância e que deve ser fornecido ao modelo, sendo definido essencialmente por calibração ou ajuste do modelo aos dados experimentais disponíveis.

No nosso caso, os GHB's foram calibrados com carga zero (nível do mar) e condutâncias 100 m²/dia (continuidade do continente) e 10m²/dia (drenança São Luís/Itapecuru). Todos os Drenos foram calibrados com carga de 20 metros e condutância de 10 m²/dia, visto ser esta a situação que melhor se adequou à sensibilidade do modelo.

A recarga foi calibrada utilizando os valores médios por bacia, calculados para recargas naturais e urbanas conforme discutido no item sobre o balanço hídrico deste estudo. A análise da pluviometria média mensal mostra que nos meses de janeiro a junho, período chuvoso, chove em torno 89% da pluviometria anual. De julho a dezembro, período seco, chove apenas 11% em média. Levando estes dados em consideração, nos períodos secos a recarga calibrada foi igual à metade da recarga urbana anual (perdas na rede de água, rede de coleta de esgotos e esgotos não coletados) somada a 11% da recarga natural. No período chuvoso a recarga calibrada foi de metade da recarga urbana anual mais 89% da recarga natural. A Tabela 24 apresenta os valores de recarga calibrados.

Tabela 24: Recargas calibradas no modelo em regime transiente (Recargas Naturais e Urbanas)

Período de Tempo	Data Inicio	Data Fim	Qtd de dias	Dia Inicio	Dia Fim	Período	Bacia	A-km ²	Recarga Total mm
1	01/07/2016	31/12/2016	183	0	183	Seco	Anil	37,14	73.92
							Bacanga	96,38	49.94
							Cachorros	67,6	24.17
							Estiva	34,13	23.96
							Guarapiranga	15,83	15.62
							Ilha	28,31	12.32
							Inhaúma	34,42	16.83
							Itaqui	45,25	30.34
							Jeniparana	76,83	26.58
							Paciência	149,69	56.62
							Praias	82,6	26.97
							Santo Antônio	97,08	45.3
2	01/01/2017	30/06/2017	180	184	364	Chuvoso	Tibiri	136,5	27.71
							Anil	37,14	208.08
							Bacanga	96,38	209.06
							Cachorros	67,6	177.83
							Estiva	34,13	169.04
							Guarapiranga	15,83	126.38
							Ilha	28,31	99.68
							Inhaúma	34,42	136.17
							Itaqui	45,25	181.66
							Jeniparana	76,83	204.42
							Paciência	149,69	245.38
							Praias	82,6	165.03
							Santo Antônio	97,08	224.7
							Tibiri	136,5	192.29

continua



Tabela 24: Recargas calibradas no modelo em regime transiente (Recargas Naturais e Urbanas)
(continuação)

Período de Tempo	Data Inicio	Data Fim	Qtd de dias	Dia Incio	Dia Fim	Período	Bacia	A-km²	Recarga Total mm
3	01/07/2017	31/12/2017	183	365	548	Seco	Anil	37,14	73.92
							Bacanga	96,38	49.94
							Cachorros	67,6	24.17
							Estiva	34,13	23.96
							Guarapiranga	15,83	15.62
							Ilha	28,31	12.32
							Inhaúma	34,42	16.83
							Itaqui	45,25	30.34
							Jeniparana	76,83	26.58
							Paciência	149,69	56.62
							Praias	82,6	26.97
							Santo Antônio	97,08	45.3
4	01/01/2018	30/06/2018	180	549	729	Chuvoso	Tibiri	136,5	27.71
							Anil	37,14	208.08
							Bacanga	96,38	209.06
							Cachorros	67,6	177.83
							Estiva	34,13	169.04
							Guarapiranga	15,83	126.38
							Ilha	28,31	99.68
							Inhaúma	34,42	136.17
							Itaqui	45,25	181.66
							Jeniparana	76,83	204.42
							Paciência	149,69	245.38
							Praias	82,6	165.03
							Santo Antônio	97,08	224.7
							Tibiri	136,5	192.29

As aproximações dos níveis da água subterrânea, calculados e monitorados, indicam que a calibração do modelo em regime transiente apresentou a média absoluta de diferença entre os valores de 3,14 m para a primeira campanha de medição dos níveis (período seco de 2017) e 3,41 m para a segunda campanha (período chuvoso de 2018). Os coeficientes de correlação foram de 0,83 e 0,88 e os erros normalizados de 11.89% e 14.05%, respectivamente para a primeira e segunda campanha de medições de nível. Os gráficos de calibração dos níveis d'água para o período seco de 2017 e chuvoso de 2018 constam nas Figura 65 e Figura 66.

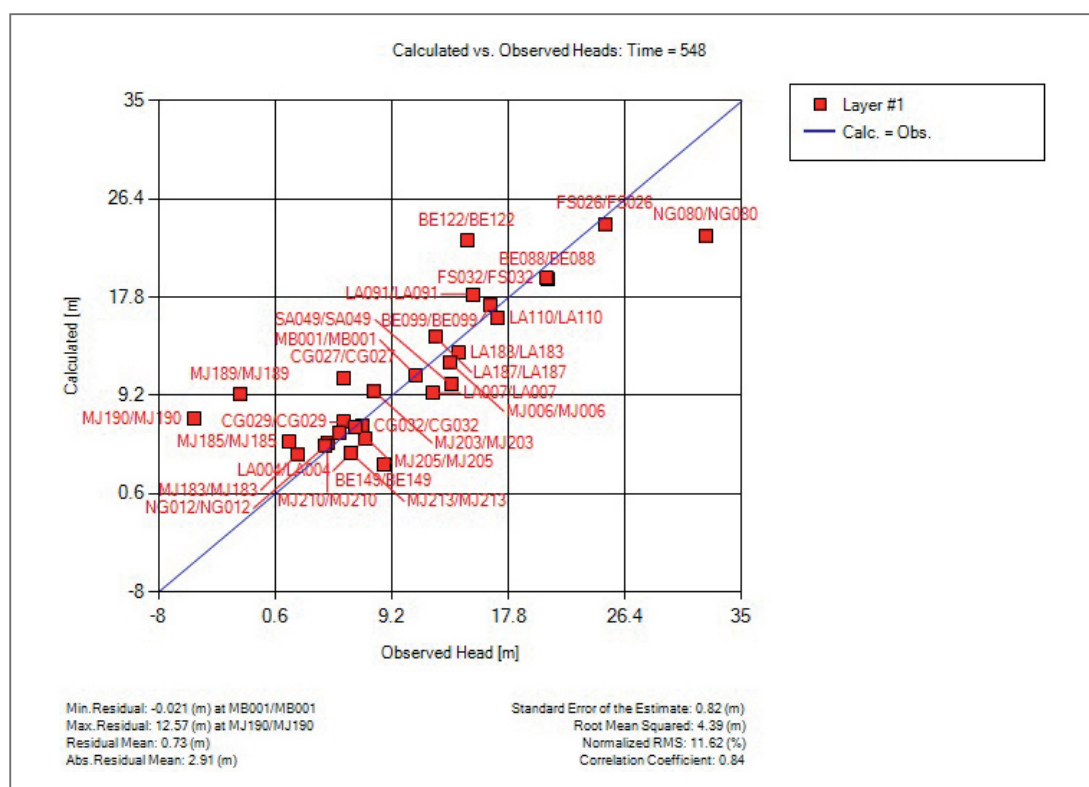


Figura 65: Gráfico de calibração dos níveis d'água em regime transiente no final do período seco de 2017

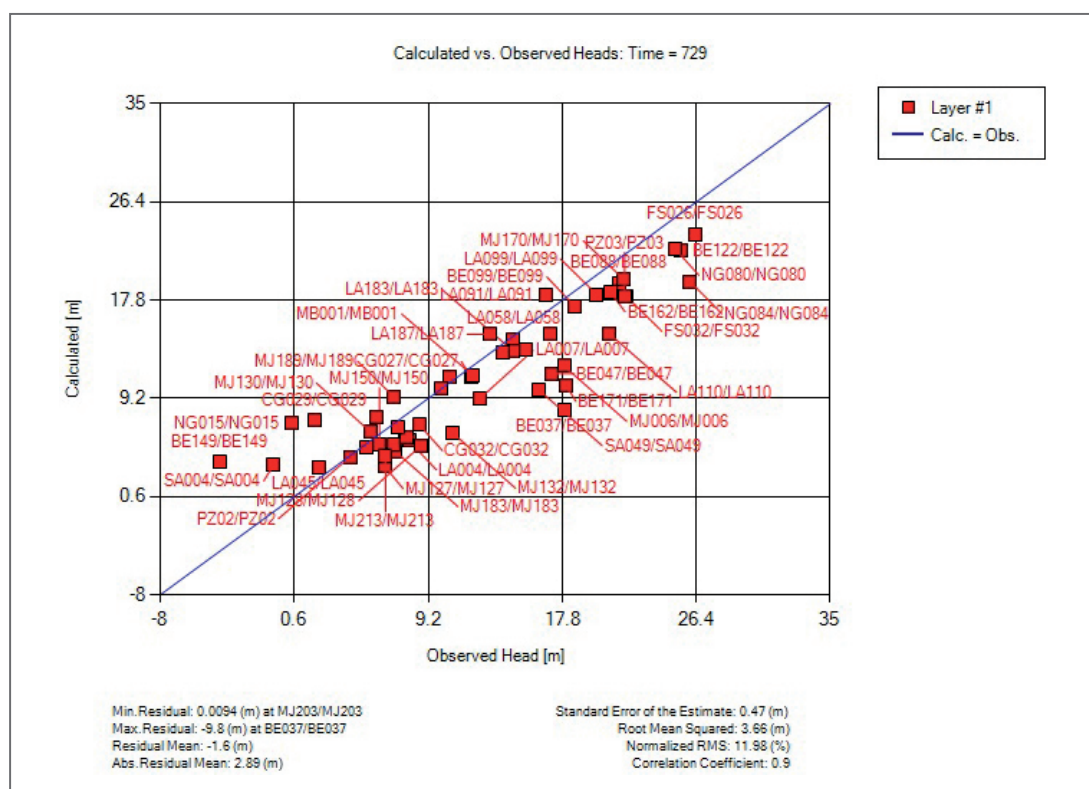


Figura 66: Gráfico de calibração dos níveis d'água em regime transiente no final do período chuvoso de 2018



Os mapas de calibração das cargas hidráulicas para os dois períodos podem ser observados na Figura 67 e na Figura 68. Notam-se algumas discrepâncias entre os níveis calculados e os observados, mesmo mediante o empenho para diminuir estas diferenças através de várias tentativas de calibração. Mesmo assim considera-se o erro encontrado dentro do aceitável para a escala do modelo e o atual nível de conhecimento do sistema hídrico estudado. Com o passar dos anos e a continuidade do monitoramento hídrico seria possível englobar novas informações ao modelo que proporcionem uma calibração cada vez mais próxima da realidade.

É importante ressaltar que é necessário tratar com bastante cautela os dados gerados para o modelo tanto na região Oeste/Sudoeste como na borda Sudeste Ilha. Essas são áreas onde há muitas incertezas atreladas principalmente aos poucos ou ausentes dados de nível d'água subterrânea.

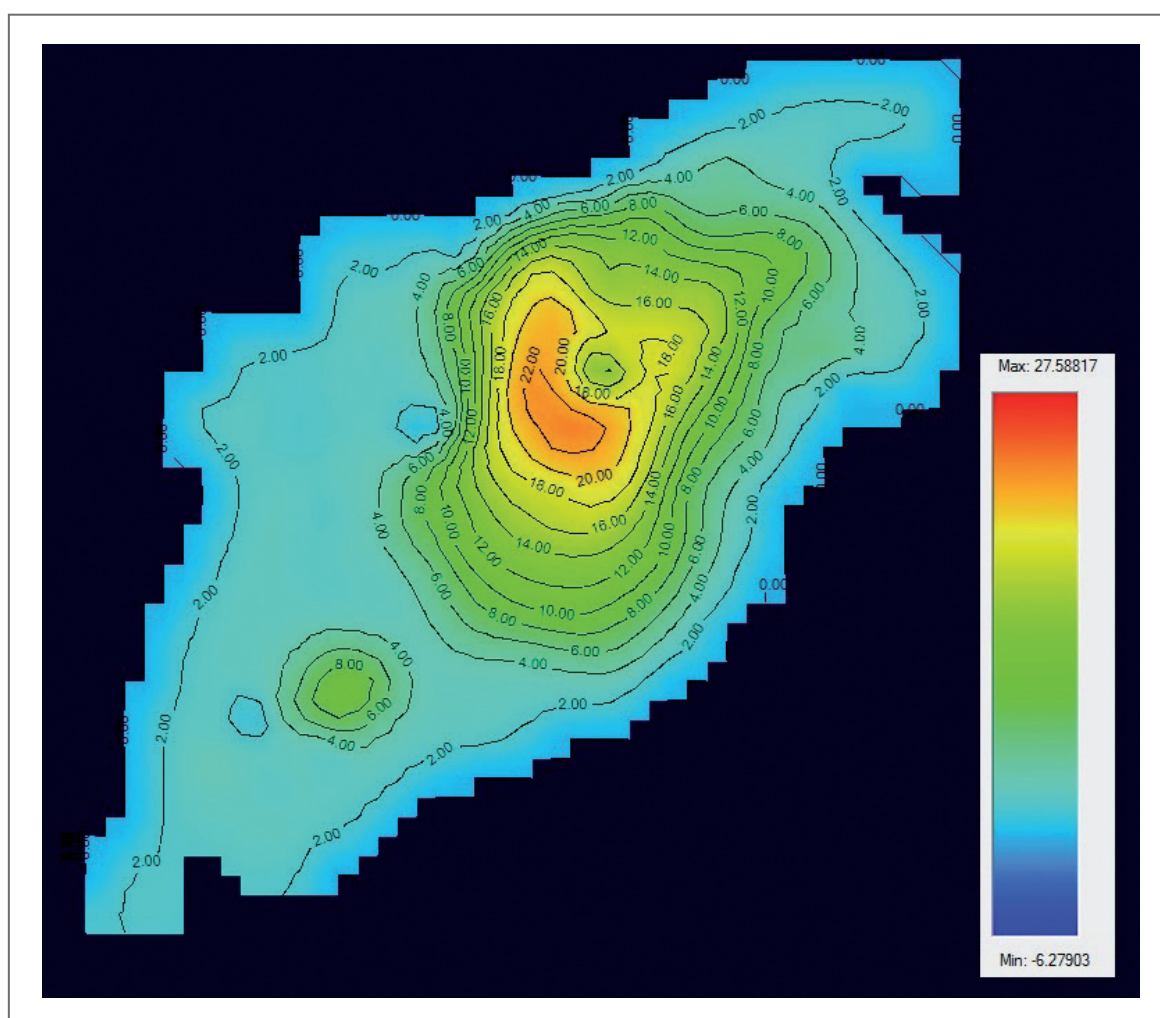


Figura 67: Cargas Hidráulicas (m) calibradas no período seco de 2017

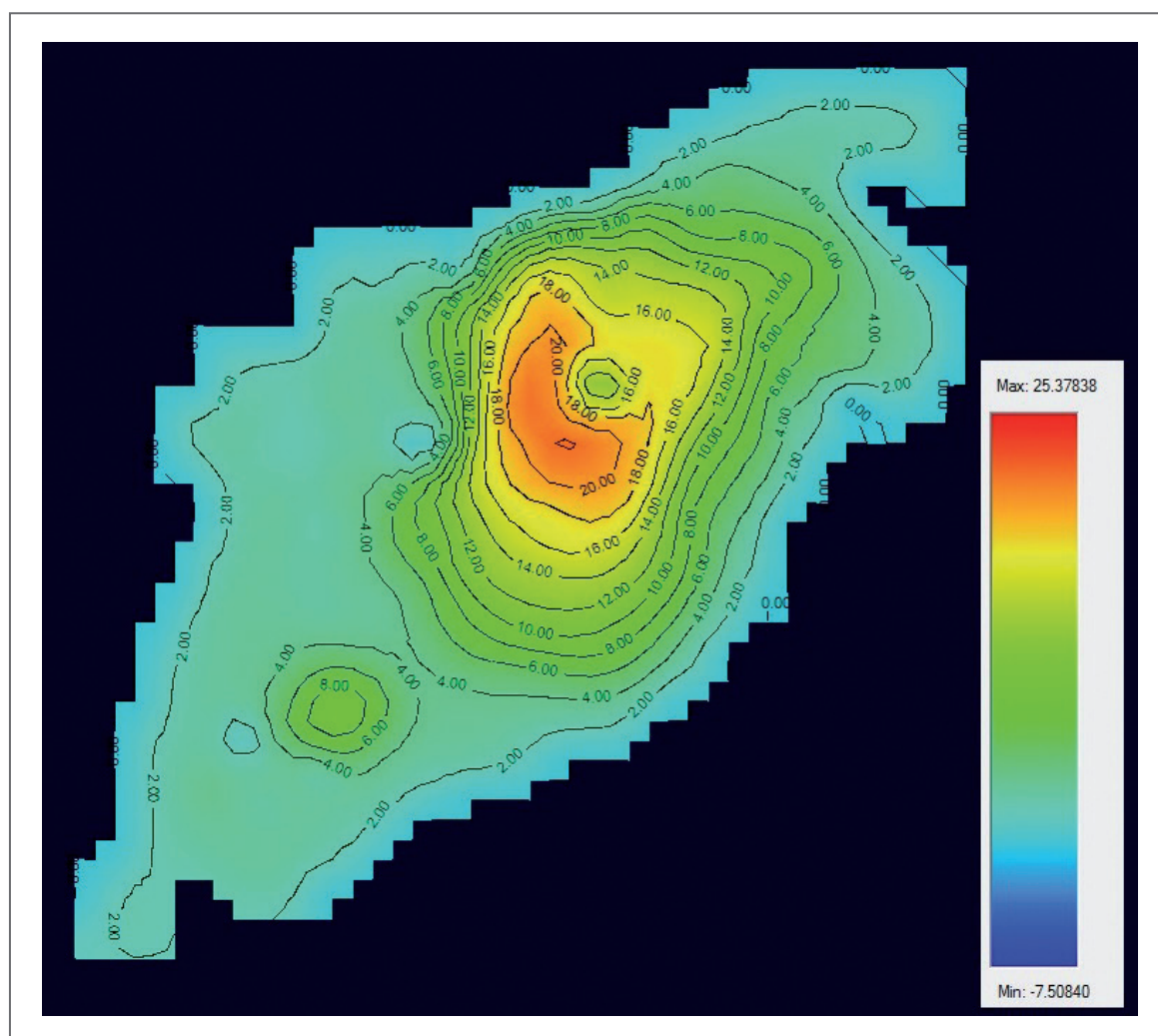


Figura 68: Cargas Hidráulicas (m) calibradas no período chuvoso de 2018

5.5. SIMULAÇÕES

Utilizando o modelo calibrado foi possível simular quatro cenários de interesse para o estudo, a partir dos dados obtidos no final da simulação (Figura 69).

- Cenário 1 – Continuidade do bombeamento nas mesmas condições atuais nos anos de 2028, 2038 e 2050;
- Cenário 2 – Aumento do consumo devido ao crescimento populacional até 2050;
- Cenário 3 – Redução da recarga devido à redução da pluviometria, dos vazamentos de redes de distribuição de água ou coletora de esgotos em 20% a partir de 2016;
- Cenário 4 – Redução de 50% do bombeamento atual dos poços devido à construção da nova adutora de águas superficiais a partir do continente.

Os resultados dessas simulações estão apresentados na forma de mapas de cargas hidráulicas para os tempos 30/06/2018 (final da calibração), 31/12/2028, 31/12/2038 e 30/06/2050.

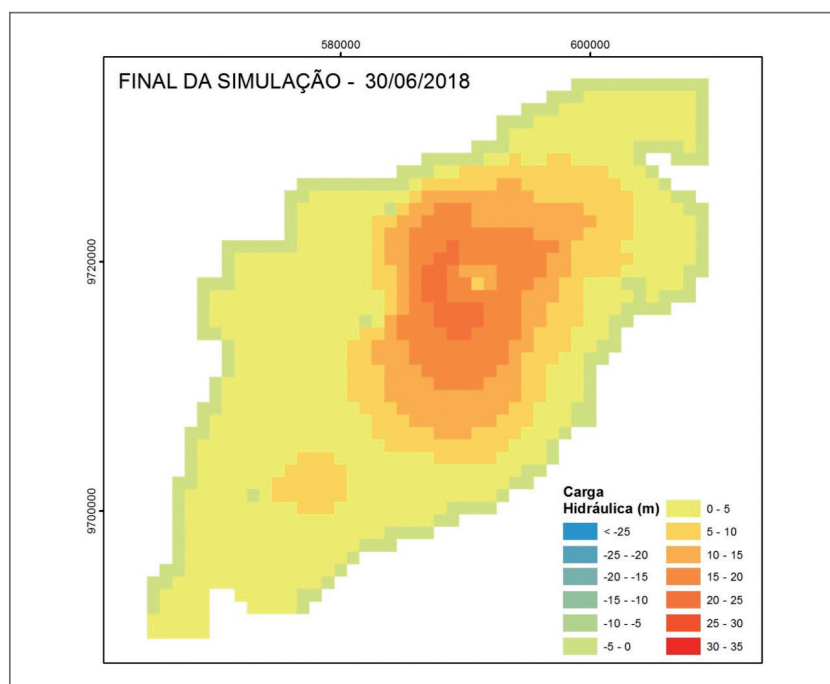


Figura 69: Cargas hidráulicas no final do período de calibração – 30/06/2018

As Figura 70, Figura 71 e Figura 72 mostram as cargas hidráulicas simuladas no cenário 1 com a continuidade do bombeamento no estado atual até 2050. Verificam-se grandes rebaixamentos do nível d'água representados pela cor azul nos mapas a seguir, principalmente onde há maior concentração de poços de bombeamento. O rebaixamento atinge cargas hidráulicas inferiores a -20 m.

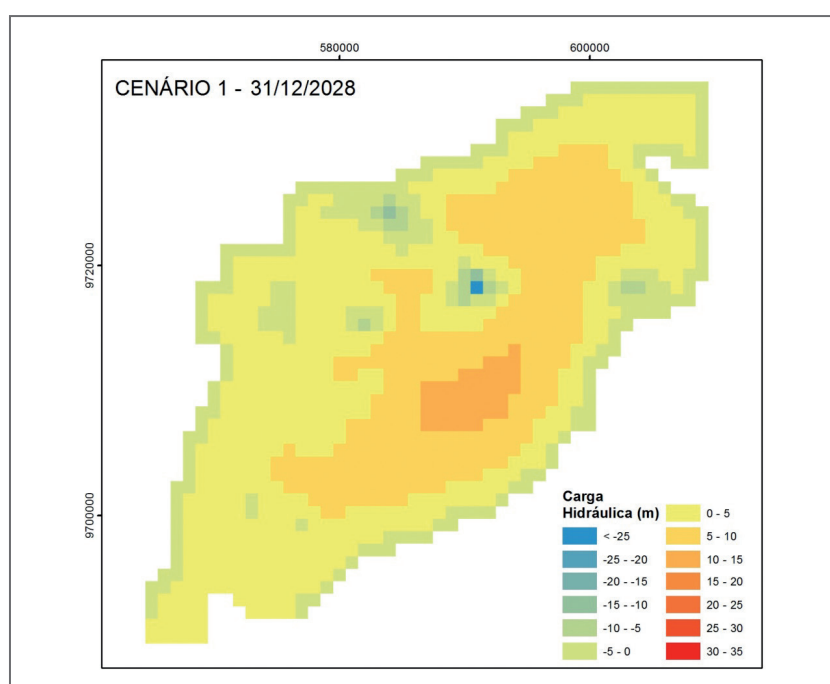


Figura 70: Cargas hidráulicas resultantes do cenário 1 – 31/12/2028

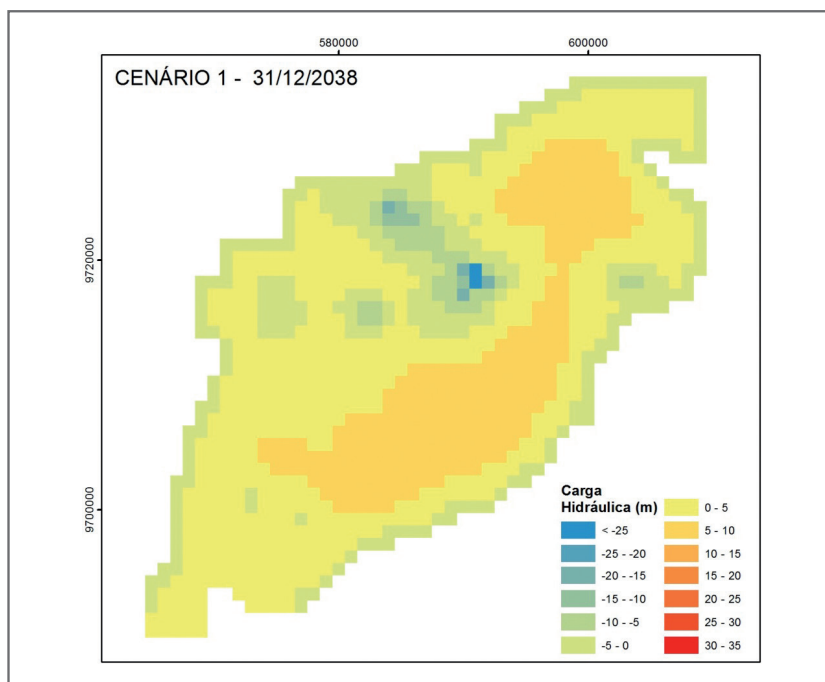


Figura 71: Cargas hidráulicas resultantes do cenário 1 – 31/12/2038

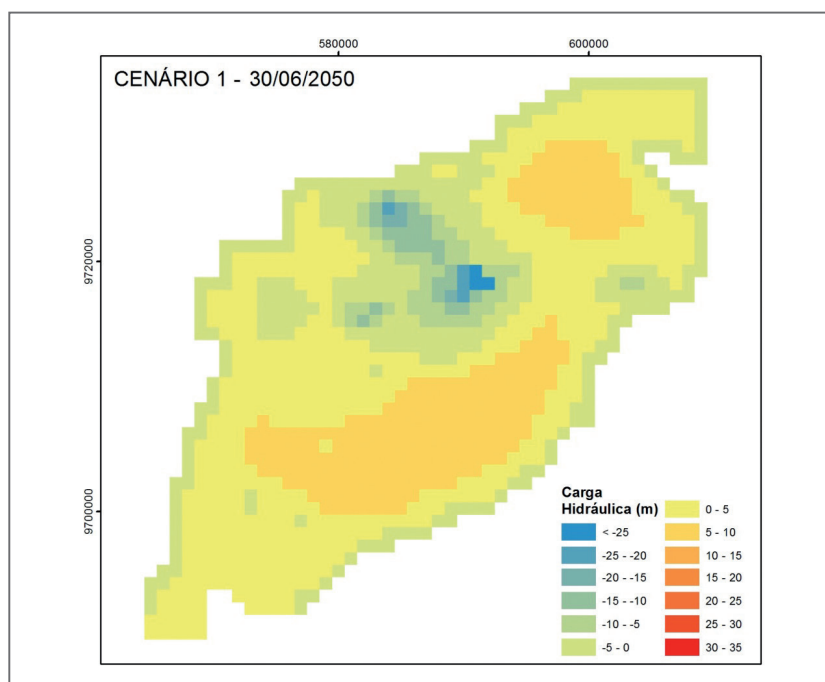


Figura 72: Cargas hidráulicas resultantes do cenário 1 – 30/06/2050



O cenário 2 foi montado a partir da expectativa de aumento do consumo de água e consequente bombeamento de poços em função do aumento da população. Para este cenário foi atribuído um aumento de 6,04% na vazão dos poços de bombeamento de 2018 até 2028 já que esta porcentagem equivale ao aumento populacional do período.

Utilizando o mesmo critério atribuiu-se a ampliação de 8,9% e 9,7% na vazão dos poços nos períodos de 2028 a 2038 e 2038 a 2050, respectivamente. Todos os outros parâmetros foram mantidos como na calibração do cenário1.

O resultado da simulação neste cenário, ilustrado nas Figura 73, Figura 74 e Figura 75, mostra o aumento da mancha de rebaixamento a partir de 2038.

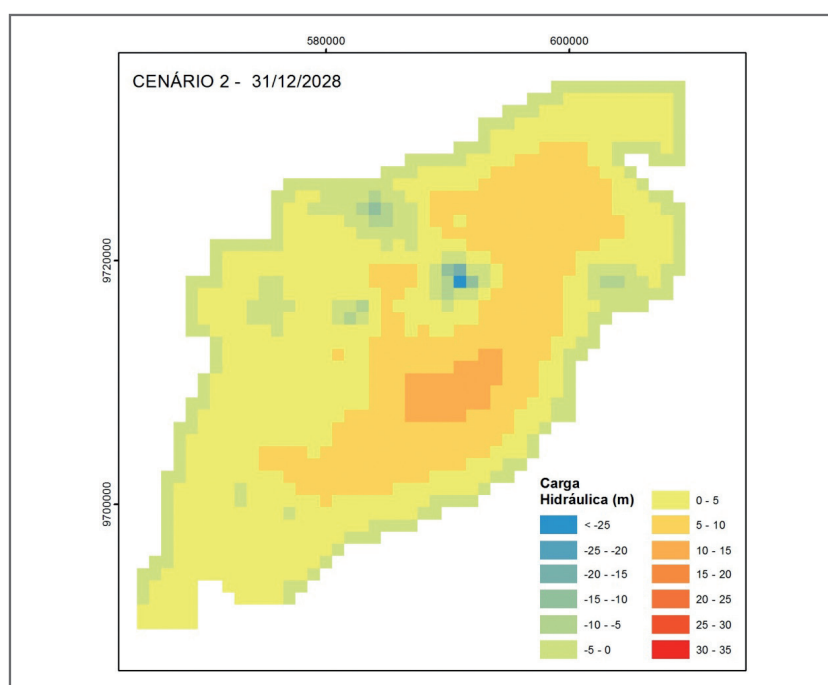


Figura 73: Cargas hidráulicas resultantes do cenário 2 – 31/12/2028

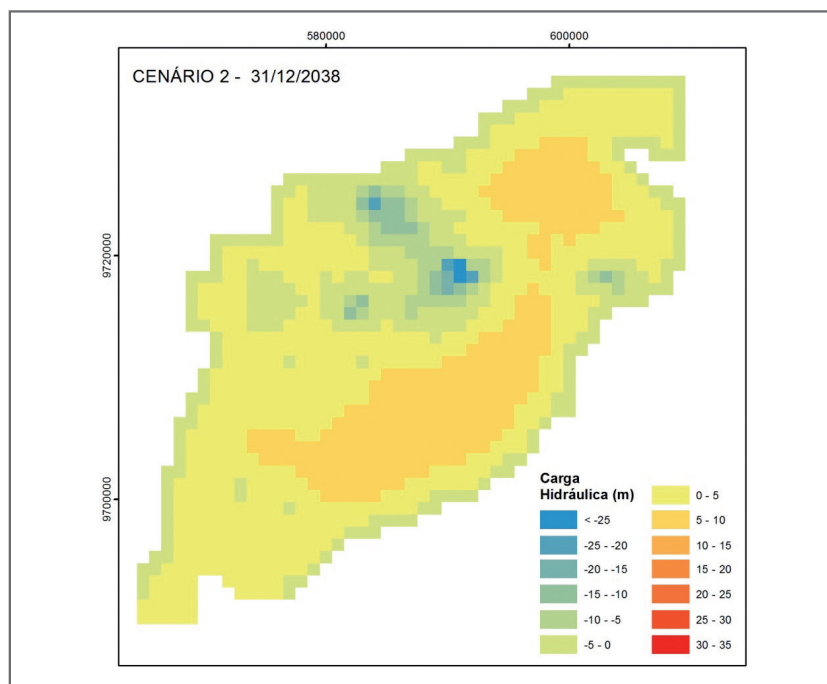


Figura 74: Cargas hidráulicas resultantes do cenário 2 – 31/12/2038

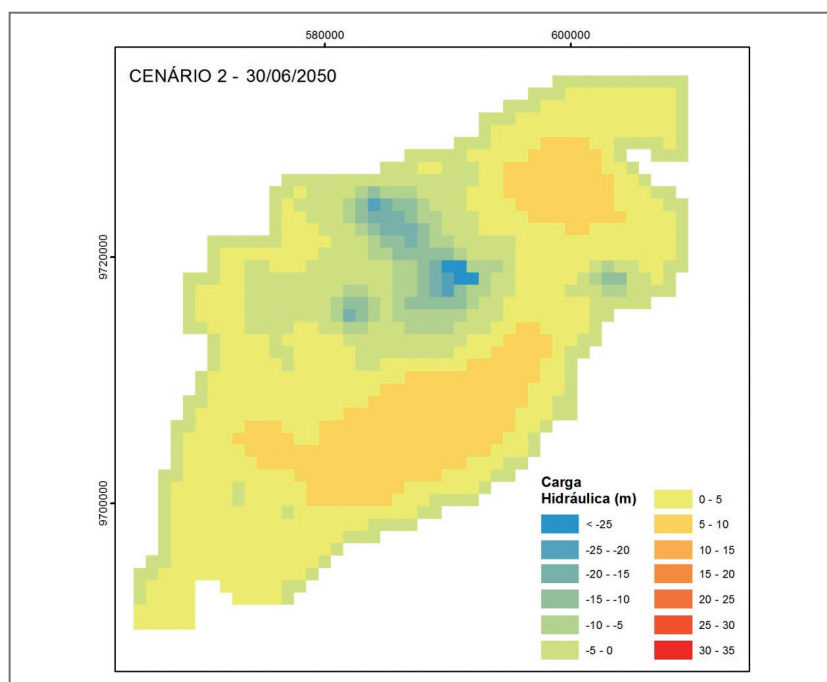


Figura 75: Cargas hidráulicas resultantes do cenário 2 – 30/06/2050



No cenário 3 a recarga tanto do período seco quanto do período chuvoso foi reduzida em 20% devido à diminuição da pluviometria, ou dos vazamentos em redes de distribuição de água ou coletoras de esgotos, a partir de 01/07/2019 até o final do período de simulação (2050). Todos os outros parâmetros foram mantidos como na calibração.

O resultado da simulação mostra que os rebaixamentos resultantes da diminuição da pluviometria são ainda maiores que aqueles causados pelo aumento populacional e consequente aumento do consumo de água subterrânea e bombeamento dos poços.

As Figura 76, Figura 77 e Figura 78 mostram os resultados das simulações.

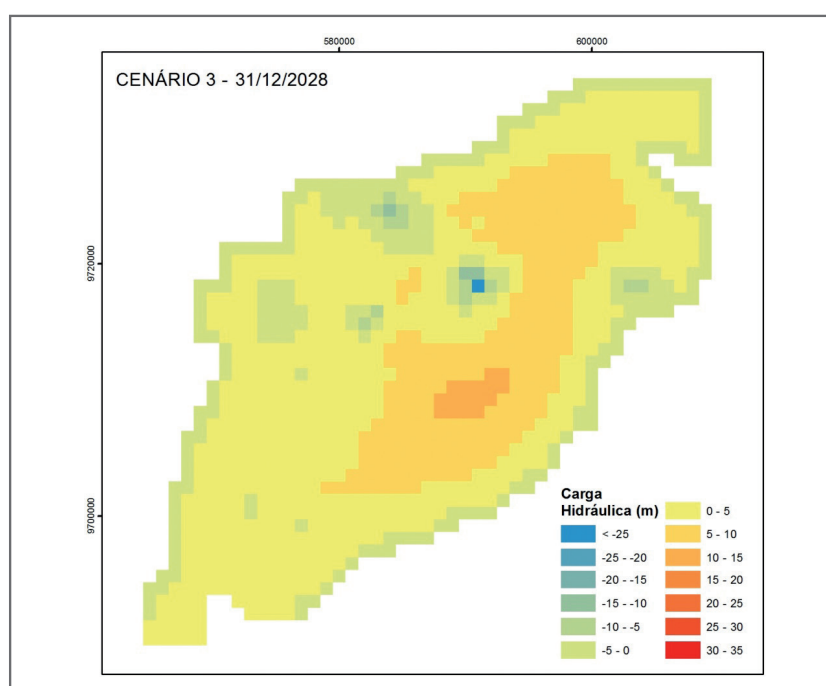


Figura 76: Cargas hidráulicas resultantes do cenário 3 – 31/12/2028

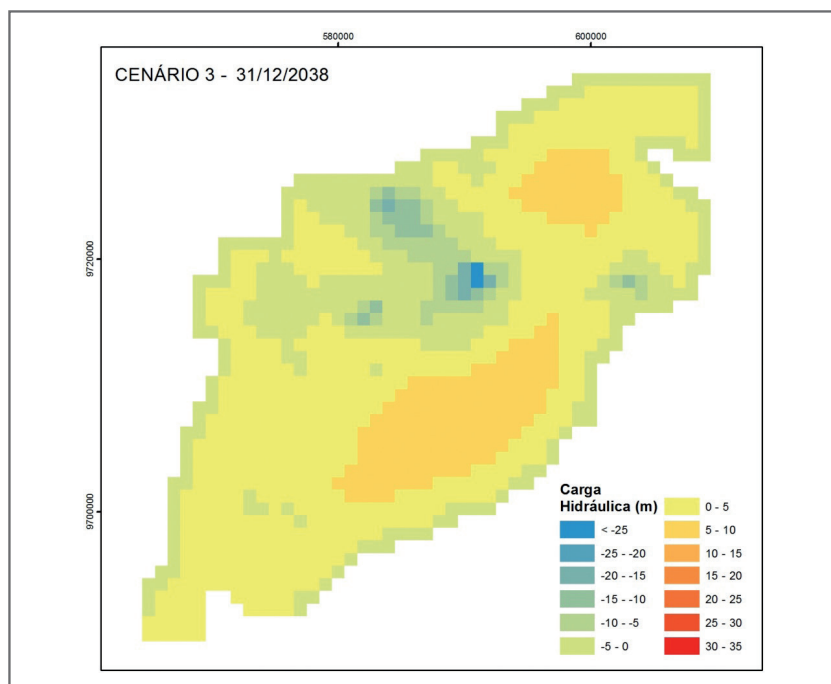


Figura 77: Cargas hidráulicas resultantes do cenário 3 – 31/12/2038

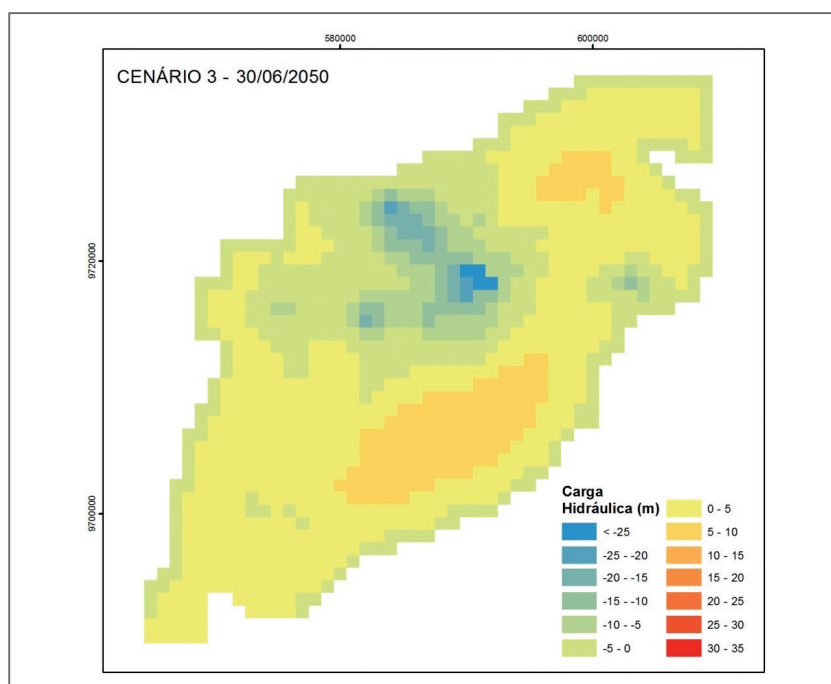


Figura 78: Cargas hidráulicas resultantes do cenário 3 – 30/06/2050



No cenário 4 foi simulada a redução de 50% da vazão de bombeamento dos poços a partir de 2019 devido à suposta instalação de uma nova adutora de águas de superfície (ou ampliação da atual). Neste caso os rebaixamentos continuam a existir, porém de forma mais tênue como mostram os mapas das Figura 79, Figura 80 e Figura 81.

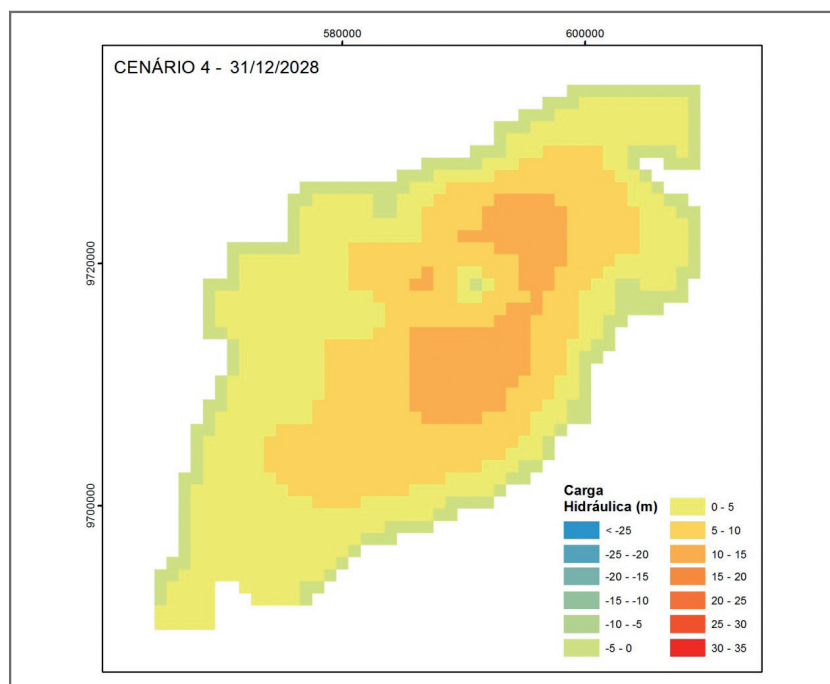


Figura 79: Cargas hidráulicas resultantes do cenário 4 – 31/12/2028

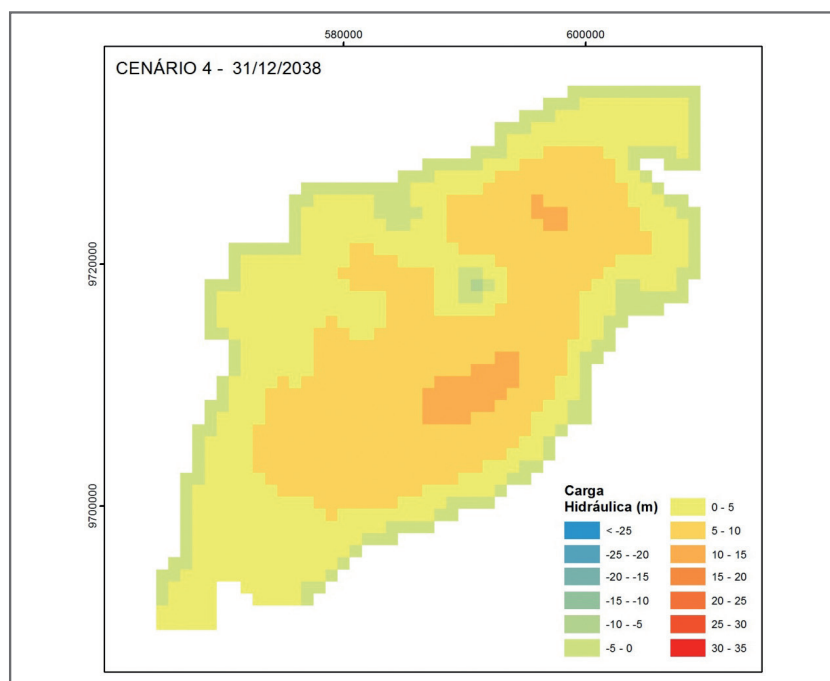


Figura 80: Cargas hidráulicas resultantes do cenário 4 – 31/12/2038

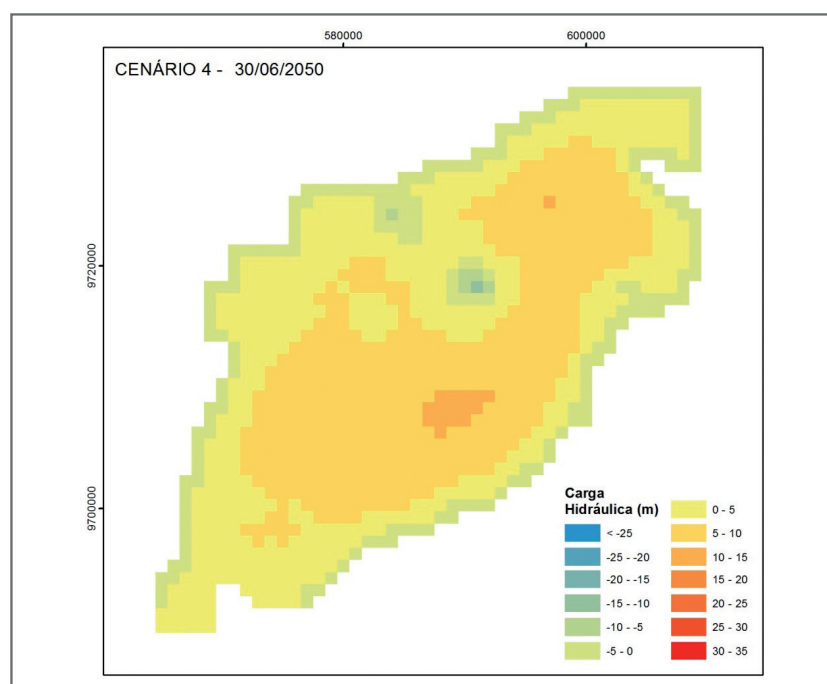


Figura 81: Cargas hidráulicas resultantes do cenário 4 – 30/06/2050

5.6. CONCLUSÕES

O Modelo numérico da Ilha de São Luís é mais uma ferramenta de organização e análise das informações geradas neste estudo, que permite testar o modelo conceitual elaborado a partir dessas informações. As duas principais unidades hidrogeológicas ocorrentes são o Aquífero São Luís e o Aquífero Itapecuru.

O Aquífero São Luís é livre e o Itapecuru confinado por camadas pelíticas e carbonáticas de espessuras variáveis. A geometria dos Aquíferos São Luís e Itapecuru foi interpretada através dos perfis litológicos de poços e de pesquisas geofísicas. Quanto à base do Aquífero Itapecuru considerou-se a cota topográfica máxima de -135 metros como o limite vertical do estudo, já que para além dessa profundidade estima-se que as águas do aquífero sejam salinizadas.

Embora o Aquífero Itapecuru tenha sido representado no modelo, não foi possível proceder a calibração de suas cargas hidráulicas devido à escassez dessas informações.

As entradas de água no sistema modelado foram representadas pelo armazenamento e recarga. As saídas são o fluxo para o mar, o fluxo para o continente, o bombeamento dos poços e o escoamento para os cursos d'água. Além disso, também há o fluxo entre os Aquíferos São Luís e Itapecuru (drenança), sendo que o fluxo do São Luís para o Itapecuru é maior que o inverso.

O modelo foi calibrado em regime transiente utilizando as cargas hidráulicas medidas em campo em duas campanhas de medições que ocorreram no segundo semestre de 2017 e primeiro semestre de 2018. A condutividade hidráulica calibrada no modelo foi de 5×10^{-6} m/s e $5,1 \times 10^{-5}$ a $2,09 \times 10^{-4}$ m/s para os aquíferos Itapecuru e São Luís, respectivamente. O armazenamento do



Itapecuru foi calibrado com 0,00141e a porosidade efetiva do Itapecuru e São Luís, respectivamente, foram calibradas com os valores 0.12% e 0.15%.

Os valores de recarga calibrados referem-se àqueles discutidos no item do balanço hídrico no solo, considerando as recargas totais - urbanas e naturais. O período seco foi definido de julho a dezembro, com 11% da recarga natural e o período chuvoso foi de janeiro a junho, com 89% da recarga natural.

Observam-se algumas discrepâncias entre as cargas hidráulicas calculadas e as observadas, mesmo mediante o empenho para diminuir estas diferenças através de várias tentativas de calibração. Os coeficientes de correlação e os erros normalizados foram de 0.83 e 0.88, e 11.89% e 14.05%, respectivamente para a primeira e segunda campanha de medições de nível. Mesmo assim considera-se o erro encontrado dentro do aceitável para a escala do modelo e o atual nível de conhecimento do sistema hídrico estudado.

Cabe ressaltar a necessidade de cautela na análise dos níveis gerados na borda oeste/sudoeste bem como na borda sudeste Ilha, já que não existem ou são poucos os poços de monitoramento nestas áreas e por isso os níveis são inferidos. Com o modelo calibrado foi possível simular quatro cenários de interesse para o estudo com duração de 32 anos, até 2050.

O resultado da simulação mostra que o rebaixamento resultante do cenário de redução da recarga devido à diminuição de 20% da pluviometria é ainda maior que o causado pelo aumento populacional e consequente aumento do consumo de água subterrânea e bombeamento dos poços. O cenário de simulação desenvolvido para testar a redução do consumo decorrente da construção de uma nova adutora (ou ampliação da atual), mostrou a diminuição dos rebaixamentos em cerca de 10m quando comparado com o cenário de continuidade da situação atual.

Diante das conclusões expostas recomenda-se o adensamento da rede de monitoramento d'água subterrânea em toda à Ilha tanto no Aquífero São Luís como no Aquífero Itapecuru, bem como o monitoramento das vazões dos rios e demais cursos d'água. Sugere-se também que nos estudos futuros seja dada mais ênfase à área oeste/sudoeste bem como à área sudeste da Ilha de São Luís, onde não há muitos dados de medição de nível d'água.

6.1. LEIS, DECRETOS E REGULAMENTOS FEDERAIS E ESTADUAIS

O Capítulo II da Constituição da República Federativa do Brasil, no seu Art. 20 – inciso III, reza que são bens da União “os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a territórios estrangeiros ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais”.

Já no Art. 26, a Carta Magna ressalta, no inciso I que, incluem-se entre os bens dos Estados “as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União”.

Cabe ressaltar que a Constituição atribui à União competência privativa para legislar as regras gerais sobre águas, energia, informática, telecomunicações e radiodifusão (Art. 22, inciso V).

Neste sentido, o poder central estabeleceu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída por meio da Lei nº 9.433, de 08 de Janeiro de 1997, que estabelece em seu artigo 5º os instrumentos que compõem as ações para gestão dos recursos hídricos no território brasileiro, como os Planos de Recursos Hídricos, o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água, a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos, a cobrança pelo uso de recursos hídricos e o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

Posteriormente, a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, cria e regulamenta a Agência Nacional de Águas – ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, integrante do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Figura 82).

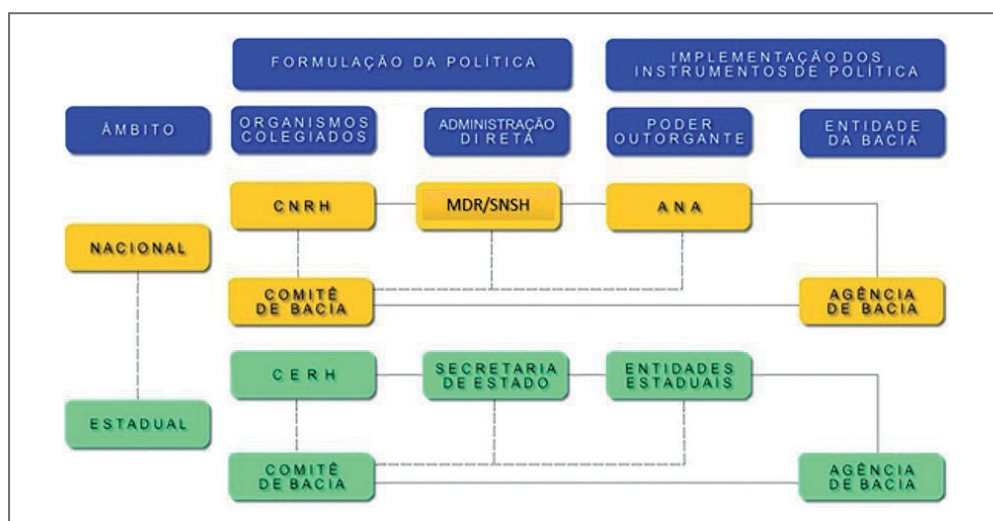


Figura 82: O Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SINGREH)
(FONTE: MDR)



O artigo 32 da Lei das Águas (Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997) apresenta os objetivos do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos.

São objetivos do Sistema:

- coordenar a gestão integrada das águas;
- arbitrar administrativamente os conflitos relacionados com os recursos hídricos;
- planejar, regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos;
- implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos;
- promover a cobrança pelo uso de recursos hídricos.

Embora a dominialidade das águas subterrâneas seja estadual, estas são tratadas em um programa nacional, haja vista a necessidade da gestão integrada deste recurso e o fato dos aquíferos quase sempre extrapolarem os limites das bacias hidrográficas, dos estados e do país, sendo necessários mecanismos de articulação entre os entes envolvidos.

Assim, dentro do Plano Nacional de Recursos Hídricos – PNRH foi criado o Programa Nacional de Águas Subterrâneas – PNAS, com o objetivo de *“ampliar o conhecimento hidrogeológico básico em todo o país, bem como o desenvolvimento da base legal e institucional para a adequada gestão das águas subterrâneas, considerando o princípio da gestão sistêmica, integrada e participativa das águas, além do fomento à ações de educação ambiental, capacitação e mobilização social para a gestão racional e equitativa destes recursos”*.

O PNAS é subdividido em 3 subprogramas, conforme abaixo:

- Subprograma VIII. 1 – Ampliação do conhecimento hidrogeológico
- Subprograma VIII. 2 – Desenvolvimento dos aspectos legais e institucionais
- Subprograma VIII. 3 – Capacitação, comunicação e mobilização social

O **Subprograma VIII. 1** engloba as seguintes ações:

- Estudos e projetos para aquíferos de abrangência transfronteiriça e interestadual;
- Estudos e projetos em escala local;
- Monitoramento qualitativo e quantitativo das águas subterrâneas.

Tem como executores, a nível federal, a Agência Nacional de Águas – ANA, o Serviço Geológico do Brasil – CPRM e a Secretaria Nacional de Segurança Hídrica – SNSH. Em nível estadual participam os órgãos gestores estaduais dos recursos hídricos e, por meio de parcerias, entidades federais, estaduais e municipais, além de membros da sociedade civil.

Destacam-se ainda as resoluções do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, conforme mostrado na Tabela 25.

Em decorrência da competência constitucional suplementar (Art. 26, Inciso I), todas as 27 unidades possuem Políticas Estaduais de Recursos Hídricos (PERH) e em todas elas existem artigos voltados para as águas subterrâneas.

Em algumas dessas unidades da federação (São Paulo, Minas Gerais, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Alagoas, Pernambuco, Maranhão e Pará), foram criadas legislações específicas sobre as águas subterrâneas. Nos demais Estados, são aproveitadas legislações voltadas para as águas de superfície que, juntamente com as PERH's são utilizadas na gestão.

Tabela 25: Resoluções do CNRH relativas às águas subterrâneas

RESOLUÇÃO CNRH Nº 09/2000	Institui a Câmara Técnica Permanente de Águas Subterrâneas – CTAS.
RESOLUÇÃO CNRH Nº 13/2000	Estabelece diretrizes para a implementação do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos.
RESOLUÇÃO CNRH Nº 15/2001	Estabelece diretrizes gerais para a gestão de águas subterrâneas.
RESOLUÇÃO CNRH Nº 16/2001	Estabelece critérios gerais para a outorga de direito de uso de recursos hídricos.
RESOLUÇÃO CNRH Nº 22/2002	Estabelece diretrizes para inserção das águas subterrâneas no instrumento Planos de Recursos Hídricos.
RESOLUÇÃO CNRH Nº 65/2006	Estabelece diretrizes de articulação dos procedimentos para obtenção da outorga de direito de uso de recursos hídricos com os procedimentos de licenciamento ambiental.
RESOLUÇÃO CNRH Nº 76/2007	Estabelece diretrizes gerais para a integração entre a gestão de recursos hídricos e a gestão de águas minerais, termais, gasosas, potáveis de mesa ou destinadas a fins balneários.
RESOLUÇÃO CNRH Nº 91/2008	Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos.
RESOLUÇÃO CNRH Nº 92/2008	Estabelece critérios e procedimentos gerais para proteção e conservação das águas subterrâneas no território brasileiro.
RESOLUÇÃO CNRH Nº 107/2010	Estabelece diretrizes e critérios a serem adotados para o planejamento, a implantação e a operação de Rede Nacional de Monitoramento Integrado Qualitativo e Quantitativo de Águas Subterrâneas.
RESOLUÇÃO CNRH Nº 126/2011	Estabelece diretrizes para o cadastro de usuários de recursos hídricos e para a integração das bases de dados referentes aos usos de recursos hídricos superficiais e subterrâneos.
RESOLUÇÃO CNRH Nº 153/2013	Estabelece critérios e diretrizes para implantação de Recarga Artificial de Aquíferos no território Brasileiro.
RESOLUÇÃO CNRH Nº 184/2016	Estabelece diretrizes e critérios gerais para definição das derivações e captações de recursos hídricos superficiais e subterrâneos, e lançamentos de efluentes em corpos de água e acumulações de volumes de água de pouca expressão, considerados insignificantes, os quais independem de outorga de direito de uso de recursos hídricos, e dá outras providências.
RESOLUÇÃO CNRH Nº 202/2018	Estabelece diretrizes para a gestão integrada de recursos hídricos superficiais e subterrâneos que contemplem a articulação entre a União, os Estados e o Distrito Federal com vistas ao fortalecimento dessa gestão.



O Estado do Maranhão possuía, até 2019, legislação bastante avançada com relação aos recursos hídricos, tendo sido promulgadas as seguintes Leis e Decretos sobre o tema:

- Lei nº 5.405, de 08 de abril de 1992, que “Institui o Código de Proteção de Meio Ambiente e dispõe sobre o Sistema Estadual de Meio Ambiente e o uso adequado dos recursos naturais do Estado do Maranhão”, regulamentada pelo Decreto Estadual nº 13.494, de 12 de novembro de 1993;
- Lei nº 5.405, de 08 de abril de 1992, que “Institui o Código de Proteção de Meio Ambiente e dispõe sobre o Sistema Estadual de Meio Ambiente e o uso adequado dos recursos naturais do Estado do Maranhão”, regulamentada pelo Decreto Estadual nº 13.494, de 12 de novembro de 1993;
- Lei nº 8.149, de 15 de junho de 2004 “Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, o Sistema de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos, e dá outras providências”, regulamentada pelos Decretos nº 27.845, de 18 de novembro de 2011, tratando especificamente das águas superficiais e Decreto nº 28.008, de 30 de janeiro de 2012, que a regulamenta com relação às águas subterrâneas.

Bastante abrangente, o Decreto nº 28.008/2012, parte das definições básicas sobre águas subterrâneas, e atém-se ainda aos seguintes aspectos:

- Especifica as atribuições do órgão gestor dos recursos hídricos do Estado (SEMA);
- Define as ações de gestão, conservação e preservação dos recursos hídricos;
- Estabelece critérios para delimitação de polígonos de proteção de poços e aquíferos, áreas de restrição e controle;
- Estabelece diretrizes para o estabelecimento de um programa permanente de conservação e preservação das águas subterrâneas;
- Prevê a implantação de redes de monitoramento qualiquantitativo e de planejamento para o aproveitamento racional das águas subterrâneas;
- Estabelece critérios para outorga e licenciamento das obras de perfuração de poços;
- Institui a base de dados de águas subterrâneas do Estado;
- Estabelece critérios para o enquadramento das águas subterrâneas, de acordo com as normas estabelecidas pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos – CERH e pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA;
- Propõe a criação do sistema estadual de informações sobre recursos hídricos;
- Reconhece o valor econômico da água e estabelece critérios para a cobrança pelo seu uso.

Em 2019, por meio do Decreto nº 34.847, de 14/05/19, foram revogados os Decretos nº 27.845 e 28.008, acarretando perda das normativas específicas sobre as águas subterrâneas (Decreto nº 28.008, de 30 de janeiro de 2012). Assim, embora este novo Decreto (nº 34.847 de 14/05/19) mencione águas subterrâneas, o faz de forma mais genérica, sem considerar todos os dispositivos legais anteriores.

Pereira (2018), em uma análise comparativa, sugere que a Política Estadual de Recursos Hídricos – PERH do Estado do Maranhão é, em alguns aspectos, mais propositiva que a da União, enumerando as seguintes razões:

- 1) Amplia o entendimento dos aspectos referentes aos fundamentos ao acrescentar ao econômico o valor social da água;
- 2) Nos objetivos, acrescenta a integração das águas superficiais e subterrâneas, a gestão integrada do solo e dos resíduos sólidos e líquidos;
- 3) Nas diretrizes gerais, adiciona o incentivo à formação de consórcios entre os Municípios, com a realização de programas de proteção ambiental integrados com a União, os Estados vizinhos e os Municípios, compatibilização com os diferentes Planos, programas de capacitação profissional, à educação ambiental e à pesquisa na área de recursos hídricos.

Posteriormente, por meio do Decreto nº 34.847, de 14 de maio de 2019, o Governador do Estado do Maranhão regulamentou a Lei nº 8.149, de 15 de junho de 2004, especialmente no que tange ao Sistema Estadual de Informações sobre Recursos Hídricos - SEIRH, ao Cadastro Estadual de Usuários de Recursos Hídricos e à Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos.

Determina que o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos do Estado do Maranhão - SIRH/MA deve ser compatível com o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM, com o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos - SNIRH da Agência Nacional de Águas - ANA, com o Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos - CNARH, e demais sistemas designados pelo Órgão Gestor.

Estabelece a Base de Dados de Águas Subterrâneas do Estado, que *“será parte integrante do SIRH/MA e conterá dados de poços ou outras captações, em operação ou desativados, além de estudos e projetos de água subterrânea em todo o Estado do Maranhão”*.

Determina as competências da SEMA na gestão do Sistema Estadual de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos – SEGRH/MA, institui o Cadastro Estadual de Usuários de Recursos Hídricos – CEURH, define os critérios para Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos, a serem emitidos pela SEMA e define as atribuições e competências do Órgão Gestor no tocante à fiscalização das águas superficiais e subterrâneas, visando *“protegê-las contra a contaminação, uso indevido e superexploração, evitando assim afetar a saúde pública e causar prejuízos à sociedade”*.

6.2. OS PLANOS DIRETORES MUNICIPAIS

De acordo com Pereira (2018), o planejamento urbano, tendo como referência Planos Diretores Municipais, “pode firmar as bases e condições das políticas públicas de desenvolvimento urbano, disciplinando o parcelamento, uso e ocupação do solo e o zoneamento ambiental, determinantes para que ocorra a articulação com a Política Ambiental e com a Política de Recursos Hídricos, notadamente da gestão das águas subterrâneas”.



Em todos os municípios, em maior ou menor grau são abordadas questões relativas às águas subterrâneas que, embora considerando a dominialidade do Estado nesta área, são frequentemente referidas nas legislações ambientais.

6.2.1. O Plano Diretor da cidade de São Luís (Lei nº 4669, de 11 de outubro de 2006)

Pereira (*op cit.*) relata que o Plano Diretor de São Luís elege o Macrozoneamento Ambiental, voltado para a identificação do território, onde a preservação do meio ambiente é prioridade, obrigando-se a manter as características e a qualidade do ambiente natural, dividindo-se em dois grupos: As Áreas de Proteção Integral e as Áreas de Uso Sustentável. Nas primeiras, são elencados espaços que devem ser protegidos e dentre eles estão as Áreas de Proteção Permanentes – APP's, englobando dunas, mananciais e fundos de vales, matas ciliares e áreas de mangue, além de áreas inundáveis.

As Áreas de Uso Sustentável, por visarem a compatibilização da conservação da natureza com o uso sustentável dos recursos naturais, são elencadas tanto de domínio do Município quanto do Estado, destacando-se as Áreas de Recarga dos Aquíferos, como as superfícies que possuem cotas altimétricas de 40 a 60 metros, *reconhecidas como áreas altas e planas, formadas por sedimentos arenosos que apresentam alta permeabilidade, indispensáveis para a manutenção dos recursos hídricos do Município.*

6.2.2. O Plano Diretor de São José de Ribamar (Lei Municipal nº 645 de 10 de outubro de 2006)

Embora não se vislumbrem diretrizes voltadas à gestão das águas subterrâneas, estabelece recomendações voltadas para a preservação e recuperação ambiental de nascentes, exploração sustentável dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, destacando as seguintes ações:

- Manutenção das margens dos cursos d'água para que fiquem livres de ocupação, tratando os mesmos como parques lineares;
- Criação de área de proteção ambiental em região que seja propícia à permeabilidade do solo;
- Orientação à exploração sustentável dos recursos hídricos
- Regulamentação da perfuração de poços com vistas ao controle da exploração de água, em face do potencial dos recursos hídricos minerais.

6.2.3. Plano Diretor de Paço do Lumiar (Lei Municipal 335, de 25 de setembro 2006)

O Plano Diretor elenca um conjunto de ações prioritárias como: garantia da disponibilidade e qualidade da água através da fiscalização; recuperação e proteção de nascentes; conservação e restauração dos mangues e matas ciliares; preservação dos recursos hídricos



com qualidade para fins de abastecimento; adoção de instrumentos de sustentabilidade da oferta de água para o abastecimento e o controle da perfuração de poços para retirada de água do subsolo.

6.2.4. Município de Raposa (Lei nº 113 de 06 de outubro de 2006)

O Plano Diretor do Município de Raposa estabelece as funções sociais da cidade, incluindo a preservação e recuperação dos recursos naturais ou criados. O conteúdo mais próximo voltado à gestão dos recursos hídricos, de acordo com Pereira (*op cit.*), incorpora as ações voltadas para a transformação das unidades de paisagem em unidade de conservação e para o parcelamento e uso do solo, atrelado ao manejo das águas pluviais com o objetivo de equilibrar o sistema de absorção, retenção e escoamento de águas, considerando as bacias hidrográficas do Município e de seus vizinhos.

6.2.5. O Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado – PDDI da Região Metropolitana da Grande São Luís (Lei Estadual Complementar nº 174, de 25 de maio de 2015)

Com a institucionalização da Região Metropolitana da Grande São Luís, composta pelos municípios de Alcântara, Axixá, Bacabeira, Cachoeira Grande, Icatu, Morros, Presidente Juscelino, Paço do Lumiar, Raposa, São José do Ribamar, Rosário, Santa Rita e São Luís, está sendo criado o Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado – PDDI. Este documento pretende se tornar “*o instrumento que estabelece, com base em processo permanente de planejamento, as diretrizes para o desenvolvimento urbano da região metropolitana ou aglomeração urbana*”.

A sua regulamentação em relação ao uso e ocupação do solo se reveste de fundamental importância, repercutindo diretamente com as políticas de mobilidade, saneamento básico, aproveitamento dos recursos hídricos, preservação ambiental e habitação (PEREIRA, 2018).

De acordo com esta autora, a abrangência deste PDDI, encampando todos os municípios integrantes da Região Metropolitana e do colar metropolitano, merece especial atenção, considerando a dicotomia Ilha – continente. Os municípios integrantes da Ilha Upaon Açu (Raposa, Paço do Lumiar, São José de Ribamar e São Luís), possuem, por sua condição insular, características hidrogeológicas particulares, que devem ser levadas em conta na formulação do plano diretor metropolitano.

No tocante ao estabelecimento de políticas eficazes com vistas à gestão dos recursos hídricos subterrâneos, a implantação do PDDI da RMGSL constitui-se em oportunidade única para implantação dos instrumentos de gestão, como os planos, da outorga de direito ao uso da água, da cobrança e do enquadramento dos corpos hídricos.

Neste sentido, o presente estudo adquire substancial importância como fonte de informações e planejamento sobre os recursos hídricos locais, devendo ser encaminhado aos setores de elaboração do documento final do PDDI.



6.3. A SITUAÇÃO ATUAL DA GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

O processo de metropolização da Grande São Luís encontra-se carregado de controvérsias, seja por suas características urbanas ou pela gestão desarticulada, tornando-se problemático tanto no desenvolvimento da capital, quanto para as demais cidades polarizadas. Alguns autores como Ferreira (1999), Pinto (2007), Cordeiro e Diniz (2008 *apud* MOREIRA, 2013), chegam a classificá-lo de metropolização forçada.

Dentro do contexto de urbanização, a área não despertou grande interesse no sentido de efetivar um projeto estratégico de desenvolvimento, até o estabelecimento dos grandes projetos industriais dos consórcios da ALUMAR, da VALE e do porto de Itaqui, no final dos anos 70 do século passado.

A partir desses eventos, ocorreu gigantesco processo de crescimento da população urbana, com gradativo inchaço das cidades que, em termos de infraestrutura, não conseguem atender toda a demanda que se instalou, com evidentes reflexos na gestão dos recursos hídricos da Ilha (Figura 83).

Acrescente demanda populacional tornou-se um problema para o poder público em todos os níveis, a partir do momento em que as cidades não suportaram acolher contingente populacional tão elevado que passou a ocupar áreas desprovidas de qualquer estrutura urbana.

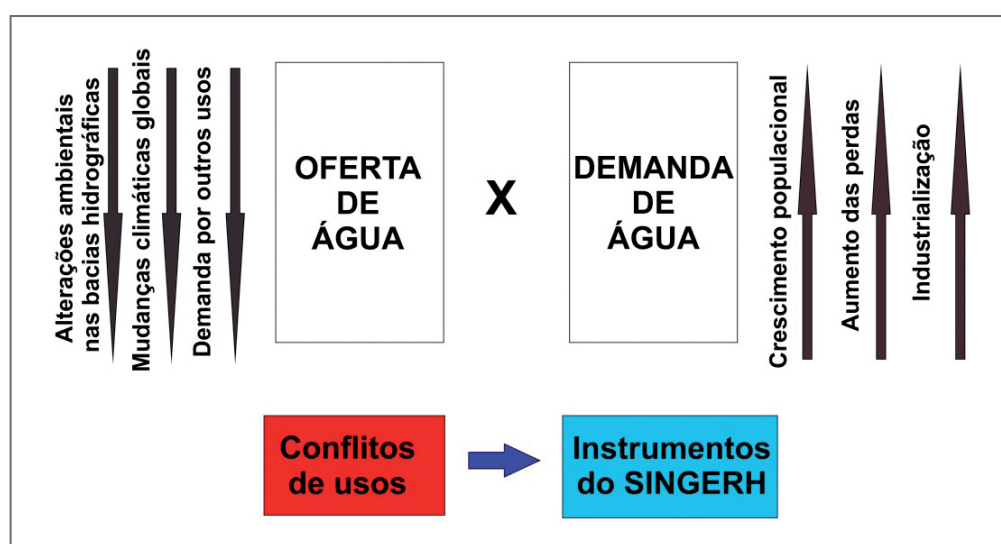


Figura 83: Relação oferta x demanda de água na Ilha de São Luís



Como consequência imediata, denotam-se as áreas municipais indistintas, com os municípios fundindo-se uns aos outros, criando cidades conurbadas (Foto 3) onde os entes, embora autônomos, geram conflitos de interesse e dificultam a execução de suas políticas públicas e sociais.

6.3.1. Atuação dos órgãos/instituições envolvidos na gestão dos recursos hídricos

Durante o mês de maio de 2017, foram realizadas visitas ao órgão gestor de recursos hídricos do Estado, gestores de meio ambiente dos municípios da Ilha, além de órgãos estaduais e entidades envolvidas com o uso dos recursos hídricos. Foram realizadas entrevistas com as seguintes instituições:

- Sistema Autônomo de Água – SAEE do Município de Raposa;
- Secretaria de Meio Ambiente do Município de Raposa;
- Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão – CAEMA;
- Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Maranhão – SEMA;
- Secretaria Municipal de Meio Ambiente de São José de Ribamar;
- Secretaria Municipal de Meio Ambiente de São Luís;
- BRK Ambiental, responsável pelo abastecimento de São José de Ribamar e Paço do Lumiar;
- Secretaria de Meio Ambiente de Paço do Lumiar.

Entre as principais observações deste grupo de trabalho ressaltam-se:

- Imensa fragilidade institucional e técnica. A SEMA, por razões logísticas e operacionais mostra grandes dificuldades em assumir plenamente o seu papel de liderança na condução da política de recursos hídricos na Ilha;
- Nos órgãos gestores ambientais municipais os conceitos de proteção dos recursos hídricos carecem de entendimento e sensibilização;
- Embora contenham artigos sobre uso e preservação dos recursos hídricos, os planos diretores municipais não são aplicados a contento;
- A interferência política nos processos de gestão é muito forte, explicando em grande parte o cenário de desarticulação e debilidade institucional;
- Os grandes usuários de água subterrânea, as empresas concessionárias dos serviços de saneamento na Ilha, não participam ativamente e de forma efetiva na gestão participativa;
- Não existem ações de envolvimento e/ou conscientização da sociedade sobre as águas subterrâneas e elas são consideradas um recurso renovável, infinito e gratuito pela maioria da população.



Foto 3: Limites territoriais imprecisos entre os municípios de Paço do Lumiar e São José de Ribamar (FONTE: MOREIRA, 2013)

7.1. ASPECTOS GERAIS

Embora de fundamental importância, geralmente não se dá o devido valor aos procedimentos para a correta gestão dos recursos hídricos subterrâneos.

Somente quando ocorrem problemas de abastecimento de água, devido à queda no rendimento de poços ou deterioração da qualidade química das águas, se busca remediá-los, ao invés de efetuar o monitoramento e controle prévio do sistema hídrico. Em alguns casos, se o bombeamento aumentar continuamente e sem controle, os danos podem ser maiores ou até mesmo irreversíveis, como invasão de águas salgadas, perdas de sistemas de bombeamento ou subsidências de terrenos.

Para a gestão sustentável das águas subterrâneas, é necessária a compreensão dos seguintes aspectos:

- A susceptibilidade dos sistemas aquíferos frente ao stress causados pela exploração intensiva e superexploração;
- As interações entre águas superficiais e subterrâneas e os efeitos dos bombeamentos nas vazões de base dos rios e nas zonas úmidas como brejos;
- As reduções na recarga subterrânea decorrentes de modificações nos fluxos de águas superficiais, pela impermeabilização das zonas de recarga, ou decorrentes de fenômenos climáticos;
- Os benefícios advindos da rigorosa aplicação das leis, regulamentos e ferramentas econômicas (cobrança pelo uso da água, etc.) existentes.

Tuinhof *et al.* (2006) esboçam um *círculo vicioso* (Figura 84, condição A) na gestão das águas subterrâneas, que ocorre quando a exploração procura simplesmente atender a demanda, de forma descontrolada. Esta condição se assemelha a situação atual na Ilha de São Luís.

Para transformar este *círculo vicioso* em um *círculo virtuoso* (Figura 84, condição B), é essencial reconhecer que a gestão da água subterrânea implica em trabalhar com pessoas (usuários do solo e da água) e com os reservatórios de água (os aquíferos). Em outras palavras, a dimensão socioeconômica (gestão da demanda) é tão importante quanto à dimensão hidrogeológica (gestão da oferta) e as duas precisam estar sempre integradas.

Os procedimentos técnicos por si só, mostram-se insuficientes para assegurar a proteção dos benefícios gerados pelas obras de captação de águas subterrâneas. Para isso, a articulação da técnica com outras áreas de conhecimento, como a geografia, as ciências políticas, a economia e a demografia, mais que desejável, é obrigatória.

Para atingir pleno êxito nessas ações, deve-se evoluir para uma perspectiva a partir de diversas áreas de conhecimento, devidamente integradas, utilizando uma visão multidisciplinar.

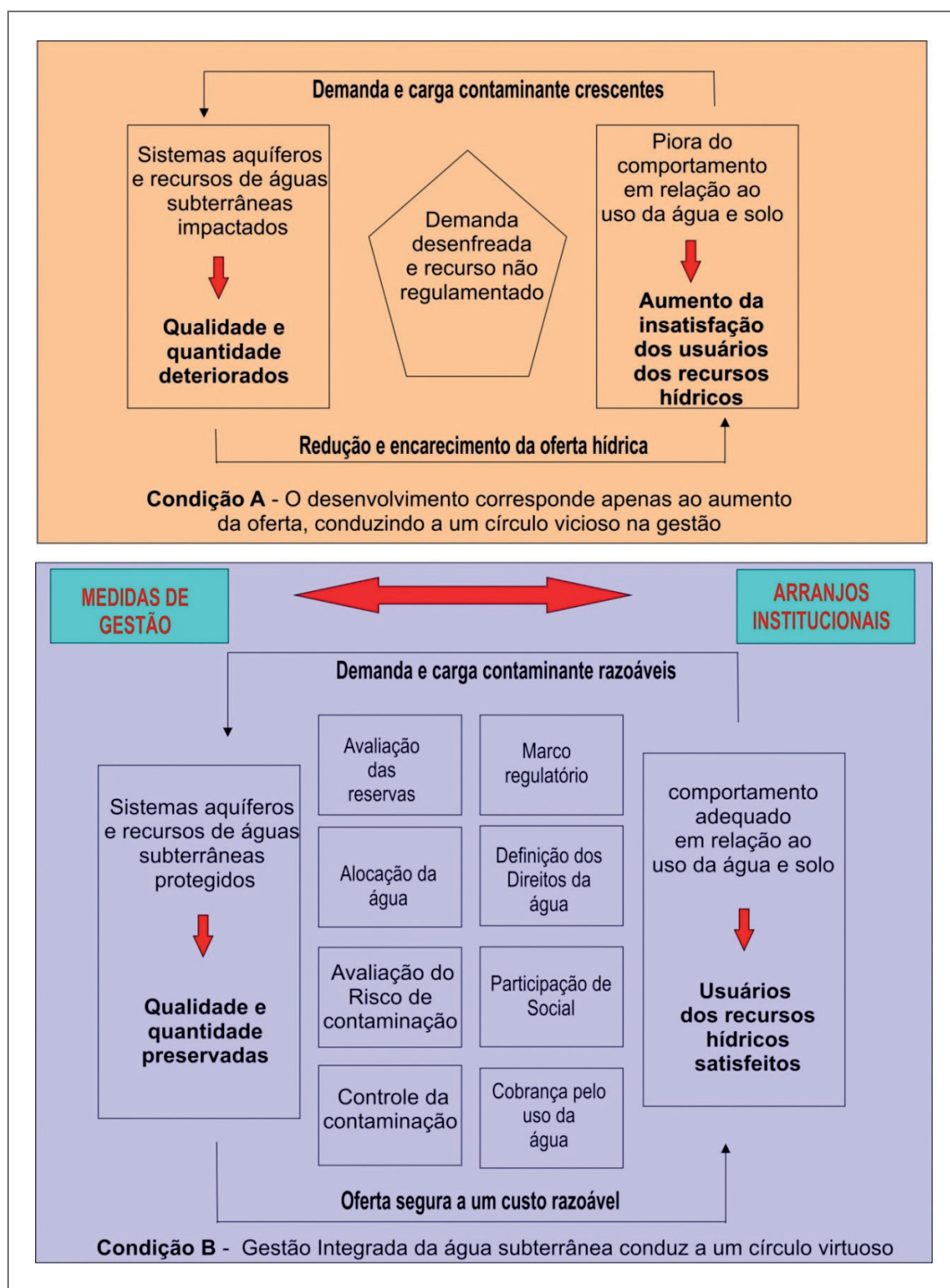


Figura 84: Ciclos vicioso e virtuoso na gestão dos recursos hídricos



Para uma melhor compreensão dos conceitos a serem abordados na gestão, é necessário um conhecimento pleno de todo o sistema hídrico presente, conforme a Figura 85, que exibe um gráfico ontológico discretizando o funcionamento de um sistema hídrico, com todos os subsistemas envolvidos (adaptado de VASCONCELOS *et al.*, 2013).

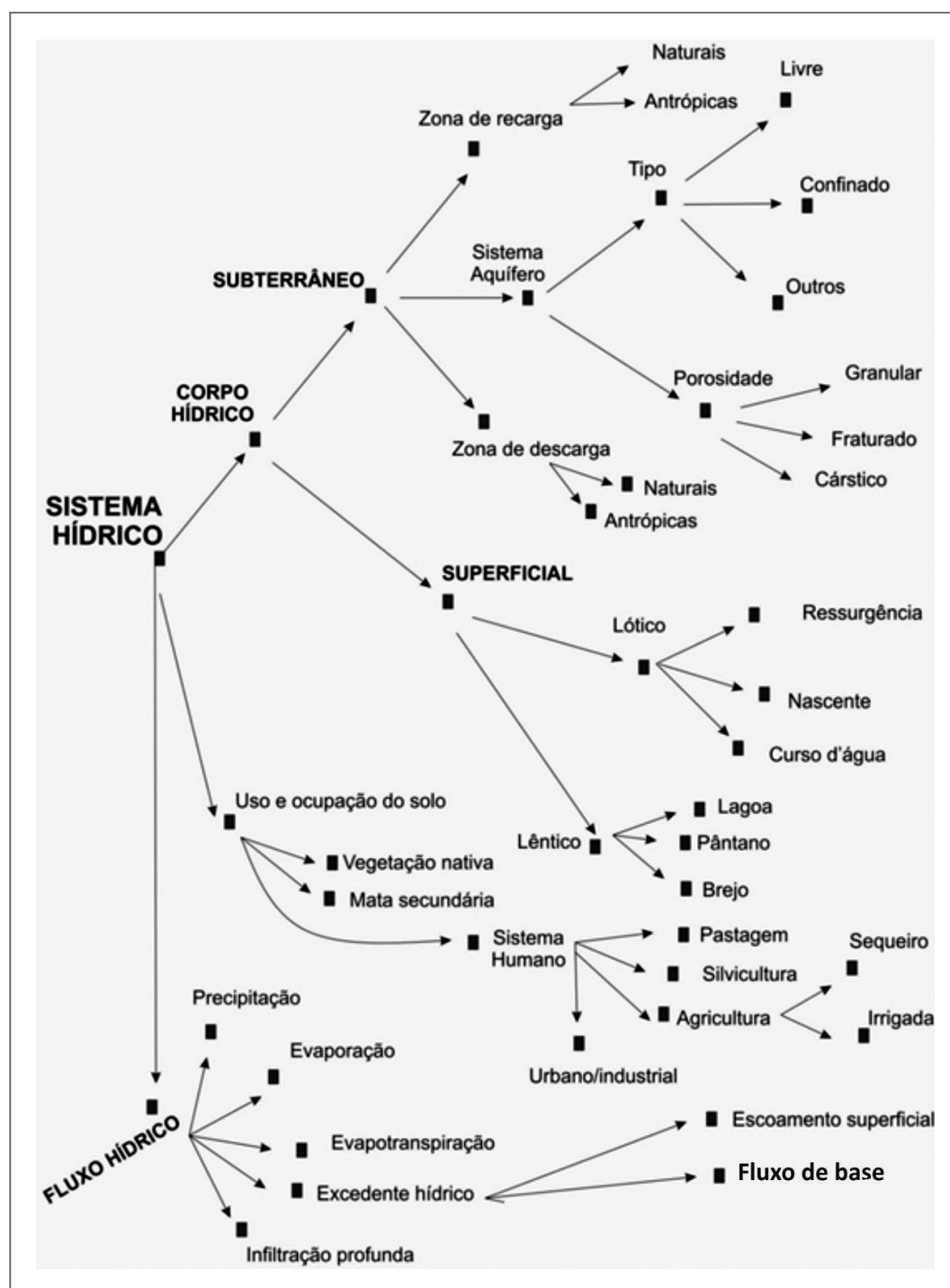


Figura 85: Diagrama ontológico da estrutura do sistema e dos subsistemas para a gestão de águas subterrâneas (Adaptado de VASCONCELOS *et al.*, 2013)

8.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

A gestão integrada de recursos hídricos se constitui atualmente em uma das prioridades das políticas públicas em todo o mundo, face ao crescimento populacional descontrolado, o constante incremento da demanda hídrica para os mais variados fins, e ao surgimento cada vez mais frequente de conflitos sobre o uso da água.

Embora uma grande variedade de investigações venha sendo conduzida para compreender como os recursos hídricos interagem continuamente dentro do ciclo hidrológico, os trabalhos têm sido centrados predominantemente nos sistemas de água de superfície, devido à visibilidade, acessibilidade e fácil reconhecimento de suas reservas e potencialidades. Só recentemente, os gestores de recursos hídricos estão reconhecendo o importante papel desempenhado pelas águas subterrâneas no atendimento das demandas por água potável, atividades agrícolas e industriais, a sustentabilidade dos ecossistemas, bem como na adaptação e mitigação dos impactos das alterações climáticas e atividades humanas.

Na Ilha de São Luís, a questão da gestão integrada dos recursos hídricos assume particular importância e se torna imperativa, haja vista a escassez de recursos de água superficial, provocando sua importação desde o continente e originando grande dependência das águas subterrâneas. Registra-se na região uma contínua luta para atender à multiplicidade das demandas, podendo se constituir em grave empecilho ao desenvolvimento socioeconômico.

No presente estudo, embora tenha se procurado analisar conjuntamente a recarga de águas subterrâneas e o fluxo de base de rios, visando evitar distorções que pudessem provocar erros no cálculo da disponibilidade hídrica total e na conceituação da gestão integrada, isto se mostrou frequentemente inviável, devido à ausência de monitoramento hidrológico nos rios. Além disso, ficou bastante claro que o gerenciamento na escala regional (considerando as bacias hidrográficas como unidades de gestão), necessariamente deve ir além dos aspectos hidrológicos, englobando as ciências sociais e as políticas, aumentando a interação entre ciência e sociedade em geral.

Procurou-se sempre que possível analisar a gestão para cada bacia hidrográfica, embora considerando que as pequenas dimensões ou o baixo índice demográfico de algumas delas (p.ex., Anil, Estiva, Guarapiranga, Ilha, Inhaúma e Itaqui), talvez não aconselhassem tal prática, uma vez que, do ponto de vista prático da gestão (ou da sociedade), a maior necessidade para a integração e, portanto, a pesquisa integrada se dá em grandes escalas (BOUWER, 2002; HOLMAN *et al.*, 2012; REFSGAARD *et al.*, 2010). Quanto maior a área de estudo, ou mais povoada ela seja, mais fatores e processos devem ser considerados (incluindo os aspectos sociais), sendo necessárias soluções integradas. Por outro lado, quanto menor a área, ou menos pessoas nelas



vivam, é mais provável que uma solução não integrativa seja suficiente, proporcionando uma resposta mais rápida, porém sem considerar a grande importância dos aspectos sociais.

Desta forma, se propõe um Programa de Ações Estratégicas – PAE, na temática dos recursos hídricos da Ilha, considerando todas as alternativas existentes, com vistas a mitigar os principais problemas de gestão hoje detectados, relacionados a seguir:

- Ausência de gestão da informação, a partir da inexistência de sistemas que possibilitem à planificação e o gerenciamento dos recursos hídricos em tempo real, considerando os aspectos quantitativos e qualitativos, bem como o estabelecimento de mecanismos de suporte a decisão baseados em sistemas de monitoramento e alerta;
- Manejo dos recursos hídricos ineficiente, sem considerar as bacias hidrográficas como unidade de gestão, sem integração com o ordenamento territorial e desconsiderando os reflexos que a implantação e operação de obras de captação produzem no meio ambiente;
- Baixo nível de investimento em pesquisa e desenvolvimento tecnológico para solução de problemas críticos;
- Baixo nível de educação ambiental sobre os recursos hídricos, seus usos e preservação.

A proposta do Programa de Ações Estratégicas – PAE é resumida na Figura 86. Procurou-se ajustar as áreas estratégicas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), estabelecidos pela ONU (2015) grafados em azul na figura 86.



Figura 86: Programa de Ações Estratégicas – PAE da Ilha de São Luís



8.2. O PROGRAMA DE AÇÕES ESTRATÉGICAS DA ILHA DE SÃO LUÍS

8.2.1. Área Estratégica I – Gestão da Informação

Deve agrupar os seguintes tópicos:

8.2.1.1. Informações relacionadas com o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos, disponibilizadas na forma de um Sistema de Informações Geográficas (SIG SÃO LUÍS)

É necessária a implantação de um Sistema de Informações Geográficas para a Ilha de São Luís, disponibilizada na internet e acessada livremente por todos os atores públicos envolvidos (SEMA e secretarias municipais de meio ambiente), permitindo a integração dos dados e o compartilhamento das informações sobre os recursos hídricos da Ilha.

O SIG elaborado no presente estudo, apresentado na forma de um grande *geodatabase*, englobando todos os aspectos analisados deve ser tomado como ponto de partida neste sentido.

Considerando a necessidade de sua constante atualização, se propõe o treinamento das equipes técnicas envolvidas no uso do software ArcGis, ou QGIS (software livre), definindo as competências para alimentação e consulta, repartida entre a SEMA e os órgãos municipais de meio ambiente.

8.2.1.2. Informações disponíveis em tempo real, permitindo decisões operacionais, com base nos sistemas de monitoramento e alerta

Esta linha de ação deverá tratar de informações vinculadas ao monitoramento hidrológico integrado (abrangendo águas superficiais e subterrâneas), provendo informações sobre a quantidade e qualidade das águas superficiais e subterrâneas existentes, bem como sua dinâmica em relação às variações sazonais e efeitos antrópicos.

O monitoramento integrado dos recursos hídricos é uma das ferramentas mais importantes para garantir a gestão, permitindo se obter as informações necessárias para o estabelecimento dos cenários de sua utilização, inclusive facilitando a implantação de instrumentos de tomadas de decisões. É também de grande importância no fornecimento de subsídios para a formulação de políticas públicas de programas governamentais e como subsídio para o trabalho dos profissionais e estudantes da área de recursos hídricos. Compreende um programa sistemático de obtenção de dados de níveis de água e das características hidroquímicas dos aquíferos da área.

Propõe-se, para a Ilha de São Luís, a implantação de uma rede automática de monitoramento qualitativo, composta, inicialmente, por 12 (doze) poços para o acompanhamento sistemático e permanente dos níveis e da qualidade das águas subterrâneas.

Considerando que no decorrer deste estudo foram implantados 04 poços de observação, todos eles incorporados à Rede Nacional Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas - RIMAS,

sugerimos a complementação da rede de monitoramento da Ilha de São Luís com pelo menos mais 08 poços, captando igualmente os dois principais aquíferos ocorrentes, conforme mostrado na Figura 87 e na Tabela 28.

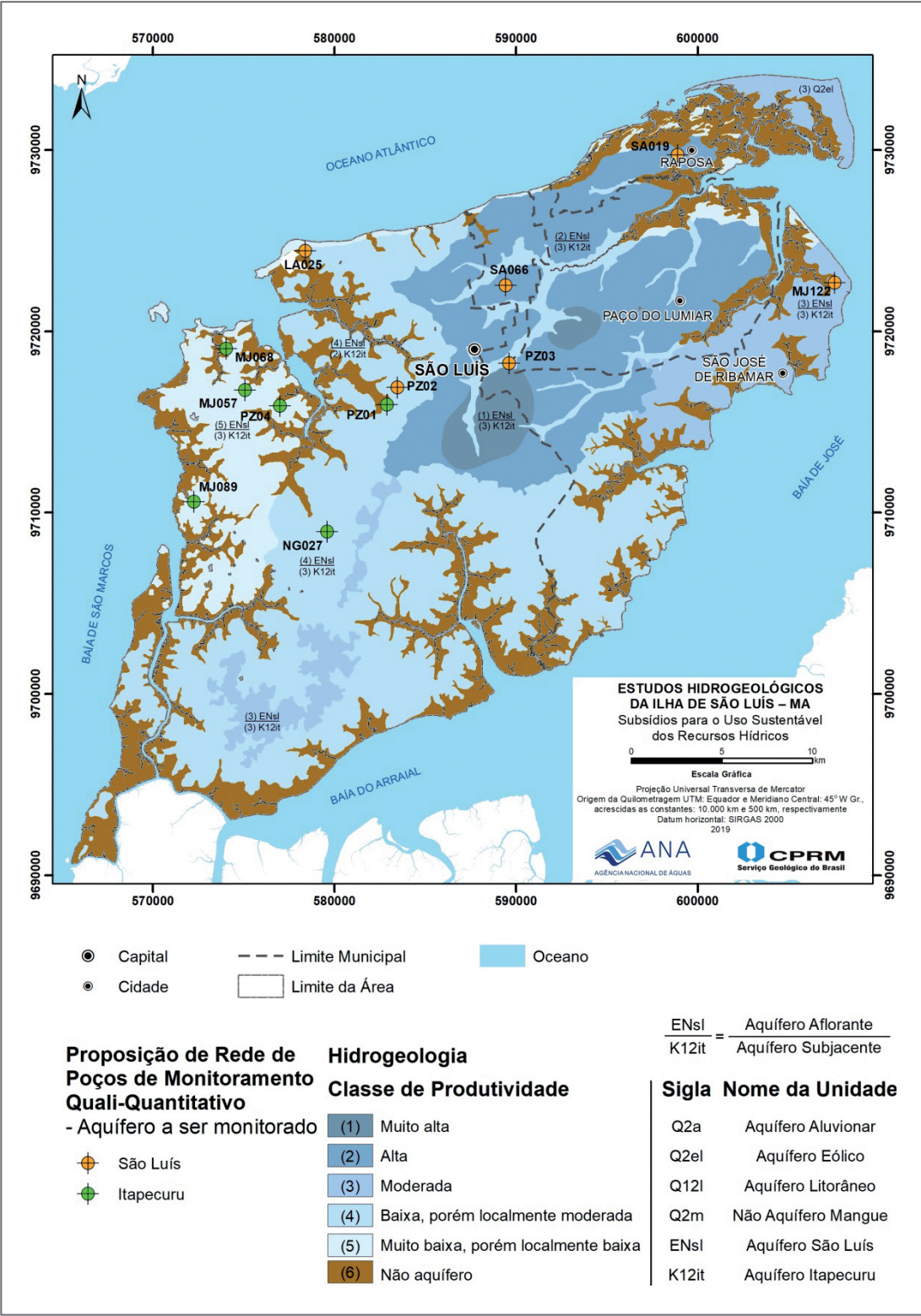


Figura 87: Proposta de implantação de rede de monitoramento na Ilha de São Luís

Tabela 26: Detalhamento dos poços propostos para a rede de monitoramento

CÓDIGO	LAT. E	LONG. N	COTA (m)	AQUÍFERO CAPTADO	PROPRIETÁRIO	MUNICÍPIO	LOCALIDADE	PROF. (m)	HIDROESTRATIGRAFIA	FILTROS (m)
SA019	598921	9729712	16	São Luís	SAAE	Raposa	Vila Nova	77	0 a 76 - Aquífero São Luís; 76 a 77 - Aquífero Itapecuru	52 a 76
SA066	589437	9722525	48	São Luís	BRK Ambiental	São José de Ribamar	Alto do Turu II	84	0 a 80 - Aquífero São Luís	20 a 28; 44 a 48; 56 a 68; 72 a 76
MJ122	607557	9722676	14	São Luís	BRK Ambiental	São José de Ribamar	Panaquatira	46	0 a 46 - Aquífero São Luís	20 a 40
LA025	578389	9724440	6	São Luís	Condomínio Ponta do Farol	São Luís	Ponta do Farol	20,6	0 a 20,6 - Aquífero São Luís	6,6 a 16,6
PZ02	583457	9716905	17	São Luís	CPRM	São Luís	Parque Estadual do Bacanga - Sacavém	75	0 a 75 - Aquífero São Luís	31 a 71
PZ03	589626	9718242	25	São Luís	CPRM	São Luís	Estação Elevatória Paciência II	76	0 a 76 - Aquífero São Luís	24 a 44; 60 a 72
NG027	579598	9708955	23	Itapecuru	Associação dos Moradores	São Luís	Maracanã	132	0 a 11 - Aquífero São Luís; 11 a 132 - Aquífero Itapecuru	100 a 103; 106 a 118
MJ057	575079	9716751	31	Itapecuru	CAEMA	São Luís	Alto da Vitória	150	0 a 40 - Aquífero São Luís; 40 a 150 - Aquífero Itapecuru	98 a 130; 138 a 146

continua



Tabela 26: Detalhamento dos poços propostos para a rede de monitoramento

CÓDIGO	LAT. E	LONG. N	COTA (m)	AQUÍFERO CAPTADO	PROPRIETÁRIO	MUNICÍPIO	LOCALIDADE	PROF. (m)	HIDROESTRATIGRAFIA	FILTROS (m)
MJ068	574038	9719041	22	Itapecuru	CAEMA	São Luís	Vila Mauro Fecury I	100	0 a 23 - Aquífero São Luís; 23 a 100 - Aquífero Itapecuru	76 a 96
MJ089	572260	9710605	20	Itapecuru	CAEMA	São Luís	Cajueiro	80	0 a 80 - Aquífero Itapecuru	40 a 52; 60 a 76
PZ04	577012	9715876	22	Itapecuru	CPRM	São Luís	Vila Embratel	120	0 a 20 - Aquífero São Luís; 20 a 120 - Aquífero Itapecuru	94 a 98; 108 a 114
PZ01	582893	9715941	20	Itapecuru	CPRM	São Luís	Parque Estadual do Bacanga - Sacavém	130	0 a 20 - Aquífero São Luís; 20 a 130 - Aquífero Itapecuru	106 a 126

A seleção de poços para integrar esta rede levou em consideração o cadastramento de poços realizado, bem como os 100 poços tubulares que foram utilizados na rede de amostragem desse estudo. Sua escolha baseou-se nos seguintes critérios:

- Poços outorgados e preferencialmente públicos(CAEMA, BRK, SAAE, CPRM);
- Distribuição representativa na área, considerando as peculiaridades hidrogeológicas;
- Existência de perfis construtivos e litológicos;dados hidrodinâmicos e hidroquímicos;
- Preferencialmente serem poços produtores;
- Captarem um único sistema aquífero;

Na seleção dos pontos de monitoramento se considerou as áreas atualmente mais impactadas, principalmente mostrando evidências de rebaixamentos acentuados ou explorações excessivas, além de outras informações levantadas ao longo do projeto,como o uso e ocupação do solo; a caracterização geológica; a caracterização hidrogeológica; a hidrogeoquímica; a vulnerabilidade natural dos aquíferos, e o risco de poluição das águas subterrâneas. As áreas menos impactadas da Ilha poderão ser instrumentalizadas futuramente com uma possível ampliação desta rede com vistas a caracterização natural das águas subterrâneas.

A exemplo da rede RIMAS, a rede de monitoramento ora proposta é de natureza fundamentalmente quantitativa, ou seja, tem o propósito de registrar as variações de nível d'água. Apesar disto, embora não tenha como objetivo específico a avaliação qualitativa da água, deve considerar um sistema de alerta e controle de qualidade, com medições de periodicidade mínima anual da condutividade elétrica e pH, utilizados como parâmetros indicadores da qualidade das águas.

Na sua implantação deverá ser realizada análise química completa, considerando todos os parâmetros inorgânicos estabelecidos pelo CONAMA. Caso sejam verificados, a partir dos parâmetros indicadores, variação significativa na química da água, serão feitas coletas para análises físico-químicas completas.

Do ponto de vista das águas superficiais, embora tenham sido realizadas campanhas para medição de vazões e níveis na Ilha, conforme descrito no volume II deste relatório, a inexistência de dados históricos, a grande influência das marés, mesmo nos pontos mais interiores da área e o despejo de esgotos sanitários nas drenagens, não permitiram a calibragem de modelos hidrológicos capazes de calcular as vazões dos cursos d'água existentes.

Apesar disso, recomenda-se que seja feita a modelagem hidráulica dos cursos d'água sob a influência da maré a fim de quantificar o seu alcance dentro da ilha e modelar o transporte de contaminantes. Ressalta-se que esta modelagem não estava prevista no escopo do presente trabalho.

Assim, como proposição de futura rede de monitoramento de águas de superfície, sugere-se a recuperação das RNs que foram construídas próximas as seções medidoras e a amarração destas à cota altimétricas, no presente estudo, preservando todas as informações levantadas em 2016 e 2017,vinculadas ao mesmo plano de referência e ao nível do mar, podendo ser utilizadas em qualquer momento futuro.



A Figura 88 mostra a localização das seções de medição implantadas na ilha, cujas características estão relacionadas na Tabela 27.

Detalhes sobre os trabalhos realizados nessa atividade podem ser obtidos no volume II deste relatório.

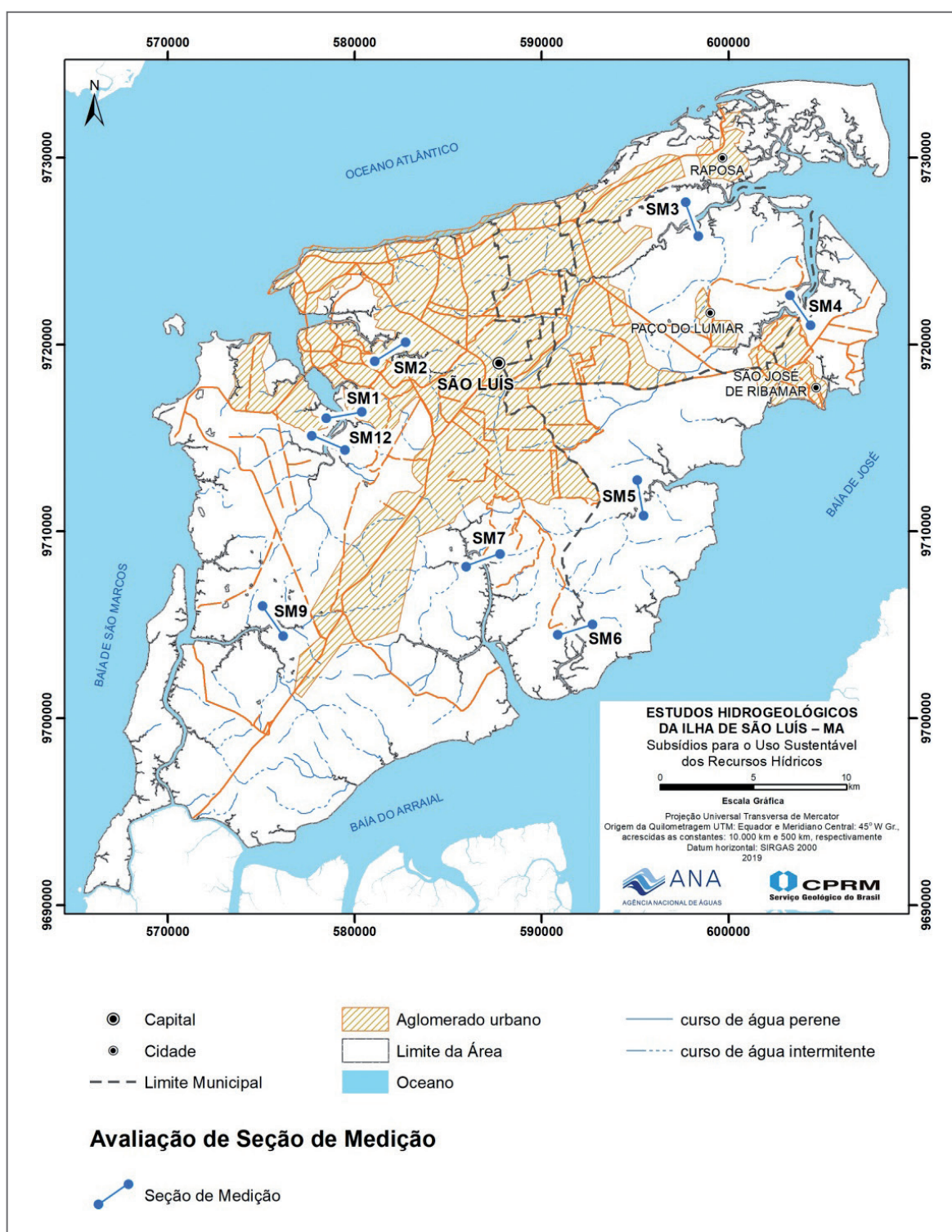


Figura 88: Seções Medidoras localizadas na Ilha do Maranhão

Tabela 27: Características das seções medidoras da Ilha do Maranhão

SEÇÃO	CURSO D'ÁGUA	LAT.	LONG	AD (km ²)
SM1	Bacanga	-2,5658S	-4,2844W	65,4
SM2	Anil	-2,5363 S	-44,2626W	17
SM3	Paciência	-2,4705 S	-44,1191W	104
SM4	Santo Antonio	-2,5188 S	-44,0651W	67,7
SM5	Jeniparana	-2,6073 S	-44,1432W	25,2
SM6	Tijiba	-2,6710 S	-44,1757W	15,3
SM7	Tibiri	-2,6359 S	-44,2188W	38,7
SM9	Cachorros	-2,6668 S	-44,2844W	21,1
SM13	Maracanã	-2,6252 S	-44,2939 W	-
SM14	Itapiracó	-2,5190 S	-44,1784W	-
SM15-1	São João	-2,5592 S	-44,1379 W	-
SM15-2	São João	-2,5533 S	-44,1348 W	-

AD = Área de drenagem

8.2.1.3. Implantação de sistemas de apoio à decisão

Direcionada ao planejamento estratégico e na solução de problemas organizacionais rotineiros, auxiliando no gerenciamento dos dados. Deve funcionar como um sistema de gerenciamento, tornando o trabalho mais eficiente, atuando na redução dos custos operacionais e na otimização da operação do sistema hídrico ao longo do tempo.

Para sua implantação se faz necessária a implantação de sistemas computacionais que, através do uso de informações processadas em modelos matemáticos especializados, apoiem decisões durante o processo de planejamento e gerenciamento.

A implantação de um banco de dados do Estado, permanentemente atualizado, juntamente com a alimentação dos bancos de dados da ANA (CENARH) e da CPRM (SIAGAS), se revestem de grande importância neste contexto e constituem apenas algumas bases para um sistema deste tipo.

8.2.2. Área Estratégica II – Desenvolvimento Sustentável dos Recursos Hídricos (Plano de recursos hídricos articulado com o manejo de bacias e ordenamento territorial)

Área estratégica vinculada aos objetivos específicos deste projeto, composto por duas componentes principais: os planos de recursos hídricos articulado com o manejo de bacias hidrográficas e ordenamento territorial.

Parte do princípio de se considerar a bacia hidrográfica como unidade ambiental de planejamento, uma vez que, ao se gerenciar a água, se gerencia também, ainda que indiretamente, diversos processos ambientais e o planejamento do espaço territorial.



No Estado do Maranhão, conforme já referido, o Decreto nº 34.847, de 14 de maio de 2019, que regulamenta a Lei nº 8.149 de 15 de junho de 2004, “dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e sobre o Sistema Estadual de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos, e dá outras providências”, divide o estado em doze bacias hidrográficas e sistemas hidrográficos, sendo três dessas bacias federais, institui o Sistema Estadual de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos, institui o Cadastro Estadual de Usuários de Recursos Hídricos e estabelece os critérios para outorga de direito de uso dos recursos hídricos e da sua fiscalização. Contudo, a implantação de um Plano Estadual de Recursos Hídricos, pode demorar a acontecer, uma vez que este plano, ainda se encontra em elaboração.

Embora a ação estratégica englobe vários instrumentos de planejamento com significados diferentes, estes apresentam analogias e demandam integração, visto estarem ligados ao território de uma mesma bacia hidrográfica.

Entre seus principais componentes se destacam as atividades relacionadas na Tabela 28.

Tabela 28: Linhas de ação

GESTÃO INTEGRADA DE ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS	Gestão conjunta das águas superficiais, subterrâneas e do uso do solo
	Melhoria no conhecimento sobre as águas subterrâneas
	Proteção das águas subterrâneas (aquíferos)
	Manejo-integrado da bacia hidrográficas com ênfase naquelas prioritárias, do ponto de vista dainteração rio-aquífero
	Gestão da demanda dos recursos hídricos, incluindo seu uso racional, usos múltiplos, reutilização de águas, equipamentos de medição e controle de perdas.
	Instrumentalização de políticas de planejamento territorial e de gestão integrada dos recursos hídricos
	Planos de ordenamento territorial e zoneamento de áreas inundáveis e de interesse agroecológico
	Gestão e monitoramento da qualidade ambiental em empreendimentos em geral (indústria, mineração, comércio, transporte, etc.)
PLANIFICAÇÃO E ORDENAMENTO TERRITORIAL	Zoneamento agroecológico de áreas prioritárias
	Ordenamento territorial de áreas urbanas
	Planos de ordenamento urbano-ambiental considerando os diferentes níveis de risco
	Mapas de vulnerabilidades territoriais e planos locais para implementar medidas de controle e mitigação

A implementação de um plano de recursos hídricos, em especial de bacia hidrográfica, pode implicar em uma série de ações, como construções e operação de obras hídricas, como reservatórios de armazenamento/distribuição (evitando o bombeamento ininterrupto dos poços),

e reservatórios de acumulação/regularização, visando à manutenção de um regime hidrológico adequado para o meio ambiente.

Dentre suas ações se destacam a definição e implantação das áreas de proteção de aquíferos e perímetros de proteção de poços, abrangendo fatores de qualidade, disponibilidade e dependência da população em relação a estes.

O cruzamento de diversos temas analisados neste estudo, como a comparação entre áreas de recarga e de uso e ocupação do solo, mostra que várias regiões da ilha se sobressaem como mais favoráveis à infiltração profunda, como as áreas de mata preservadas, as zonas dos tabuleiros e os parques estaduais, APA's e estações ecológicas, além da região dos tabuleiros elevados, com remanescentes de matas secundárias, são de fundamental importância para proteção dos aquíferos, visto reunirem características ambientais favoráveis à infiltração de água de precipitações atmosféricas.

Os perímetros de proteção de poços (PPP), conforme discutido no item 2.4 deste relatório são igualmente importantes, principalmente em área tão carente de saneamento básico (incluídas a coleta de lixo, o saneamento básico e a drenagem urbana) como a Ilha de São Luís. Devem ser seguidas as orientações constantes na Tabela 9 e Figura 31.

Indicadores de águas subterrâneas foram definidos para qualificar cada trecho dos aquíferos e bacias quanto a potencialidades e problemas relacionados à quantidade e qualidade das águas. Foram sugeridos seis indicadores (Tabela 29) a partir de metodologia adotada pelo DAEE (2005). Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 30.

A dependência das águas subterrâneas na Ilha de São Luís é bastante clara, como denotam os Indicadores 1 e 2 (Tabela 29).

Com referência ao abastecimento público (Indicador 1 = Exploração atual de águas subterrâneas/Demanda para Consumo Humano), observa-se que, de uma maneira geral, as bacias mostram dependências alta (> 50% da população abastecida) a intermediária (49 a 28%), em relação as águas subterrâneas.

Devido ao singular sistema de distribuição de água na Ilha de São Luís, onde as águas bombeadas das captações subterrâneas são injetadas diretamente nas redes de distribuição, algumas bacias (e.g., Bacanga, Cachorros, Estiva e Paciência, entre outras), mostram valores superiores a 100%, ressaltando a transposição de águas subterrâneas entre as bacias hidrográficas existentes.



Tabela 29: Indicadores do uso de águas subterrâneas.

VINCULAÇÃO	Nº	INDICADOR	UNIDADE	INTERPRETAÇÃO
DEPENDÊNCIA	1	Exploração atual/Demanda por consumo humano	%	Importância das águas subterrâneas no abastecimento para consumo humano.
	2	Exploração atual/Demanda total	%	Importância das águas subterrâneas no abastecimento público.
DISPONIBILIDADE	3	Reserva Explotável/ População total	L/hab/dia	Quantidade de águas subterrâneas disponível por habitante por dia.
	4	Exploração atual/ Reserva Explotável	%	Comprometimento das Reservas Explotáveis.
QUALIDADE	5	Área com perigo alto ou extremo à contaminação/ Área total da bacia	%	Proteção da qualidade natural das águas subterrâneas em relação às fontes de contaminação cadastradas.
	6	Área com alta vulnerabilidade à salinização/Área total da bacia	%	Proteção da qualidade das águas subterrâneas em relação à intrusão salina.
<p>O Indicador 1 é obtido dividindo a Exploração atual de águas subterrâneas para atendimento aos usos múltiplos pela Demanda por consumo humano. O Indicador 2 é representado pela relação entre Exploração atual de águas subterrâneas para atendimento aos usos múltiplos e a demanda pelos recursos hídricos totais, ou seja, a demanda total. O indicador 3 é obtido pela divisão entre a Reserva Explotável de águas subterrâneas calculada neste estudo e a população total da bacia. O Indicador 4 é calculado por meio da divisão entre a Exploração atual de águas subterrâneas dividida pela Reserva Explotável de águas subterrâneas. Os indicadores 5 e 6 são orientadores da qualidade das águas subterrâneas. O Indicador 5 é obtido por meio da razão entre o somatório das áreas com perigo alto ou extremo à contaminação na bacia e sua área total. O Indicador 6 é calculado de forma análoga, por meio da razão entre o somatório das áreas com alta vulnerabilidade à intrusão salina, pela área total da bacia. Destacam-se que foram utilizados os valores de consumo médio para abastecimento humano do SNIS (2016) de 136 L/hab/dia para o indicador 1. Já a estimativa do consumo médio total utilizada no indicador 2 foi feita com base em Beeckman (1999) que propõe que este seja calculado como 20 vezes o consumo médio para abastecimento humano.</p>				

Tabela 30: Cálculo dos Indicadores do uso de águas subterrâneas na Ilha de São Luís

Bacia Hidrográfica	População	Demanda para Consumo Humano (m³/ano)	Demanda total (m³/ano)	Reservas totais (m³)	Reserva Explotável (m³/ano)	Explotação atual (m³/ano)	DEPENDÊNCIA		DISPONIBILIDADE		QUALIDADE	
							1	2	3	4	5	6
Anil	245.795	12.201.263,80	244.025.276,00	146.600.000	11.765.200	3.407.000	27,92	1,40	131,14	28,96	13,90	60,60
Bacanga	240.879	11.957.233,56	239.144.671,20	383.100.000	22.127.200	19.508.000	163,15	8,16	251,67	88,16	6,70	36,30
Cachorros	14.399	714.766,36	14.295.327,20	341.400.000	19.803.000	4.481.000	626,92	31,35	3.767,96	22,63	4,70	25,30
Estiva	8.312	412.607,68	8.252.153,60	104.500.000	11.511.500	1.175.000	284,77	14,24	3.794,32	10,21	1,40	32,90
Guarapiranga	39	1.935,96	38.719,20	63.900.000	4.675.400	1.000	51,65	2,58	328.443,98	0,02	0,10	66,30
Ilha	737	36.584,68	731.693,60	43.100.000	8.551.700	25.000	68,33	3,42	31.790,12	0,29	0,20	87,50
Inhaúma	616	30.578,24	611.564,80	119.000.000	11.127.000	6.000	19,62	0,98	49.488,53	0,05	1,40	29,20
Itaqui	31.181	1.547.824,84	30.956.496,80	100.400.000	12.100.100	1.437.000	92,84	4,64	1.063,18	11,88	3,60	56,10
Jeniparana	47.389	2.352.389,96	47.047.799,20	400.000.000	24.497.100	8.669.000	368,52	18,43	1.416,26	35,39	6,40	43,50
Paciência	369.020	18.318.152,80	366.363.056,00	1.158.300.000	43.726.000	37.925.000	207,04	10,35	324,64	86,73	15,70	16,70
Praias	112.646	5.591.747,44	111.834.948,80	269.600.000	26.554.000	11.182.000	199,97	10,00	645,83	42,11	4,70	74,60
Santo Antônio	161.745	8.029.021,80	160.580.436,00	702.400.000	30.911.900	13.477.000	167,85	8,39	523,60	43,60	12,90	30,10
Tibiri	40.262	1.998.605,68	39.972.113,60	604.200.000	42.037.700	2.741.000	137,15	6,86	2.860,56	6,52	2,60	48,40



Considerando o uso da água subterrânea com relação à demanda total (abastecimento, irrigação, indústrias, etc.), Indicador 2, a dependência é expressivamente menor (média de 9,29% para toda a Ilha), denotando o uso preferencial das águas subterrâneas para o abastecimento público.

A disponibilidade das águas subterrâneas pode ser mensurada pelos Indicadores 3 e 4 (Tabela 30). O Indicador 3 (Reserva Explotável de águas subterrâneas/ população total) mostra uma disponibilidade, em regra, bastante superior àquela adotada neste trabalho como consumo média por habitante por dia, de 136 litros. A disponibilidade média encontrada foi de 787 L/hab/dia. Nas bacias de pequena urbanização as disponibilidades assumem valores gigantescos, novamente ressaltando seu pequeno uso e grandes reservas. Apenas na bacia do Anil a disponibilidade por habitante é inferior aos 136 litros diários, situando-se em 131,14 litros.

O Indicador 4 (Exploração atual de águas subterrâneas/Reserva Explotável de águas subterrâneas) mostra que em algumas bacias (Guarapiranga, Ilha e Inhaúma), as águas subterrâneas ainda são praticamente inexploradas, sendo utilizadas menos de 1% de suas disponibilidades, constituindo-se assim em grande reserva estratégica para futuras captações na Ilha.

No entanto, nas bacias do Bacanga e Paciência, as reservas já tendem à exaustão, com o comprometimento de mais de 80% do total. As demais bacias mostram comprometimento de moderado a baixo, sempre inferiores a 50% do total.

Finalmente, os Indicadores 5 e 6, relacionados à qualidade da água subterrânea, destacam as bacias dos rios Paciência, Anil e Santo Antônio em relação ao perigo de contaminação e as bacias Ilha, Praias, Guarapiranga, Anil e Itaqui em relação ao potencial de salinização.

Embora não se tenha uma separação precisa das explorações de cada aquífero por bacia hidrográfica, o conhecimento daquelas áreas onde os mesmos são mais explorados, juntamente com uso dos indicadores, permite a sugestão do estabelecimento de zonas de restrição ao uso de águas subterrâneas, tanto para o aquífero São Luís, quanto para o Itapecuru, representadas na Figura 89

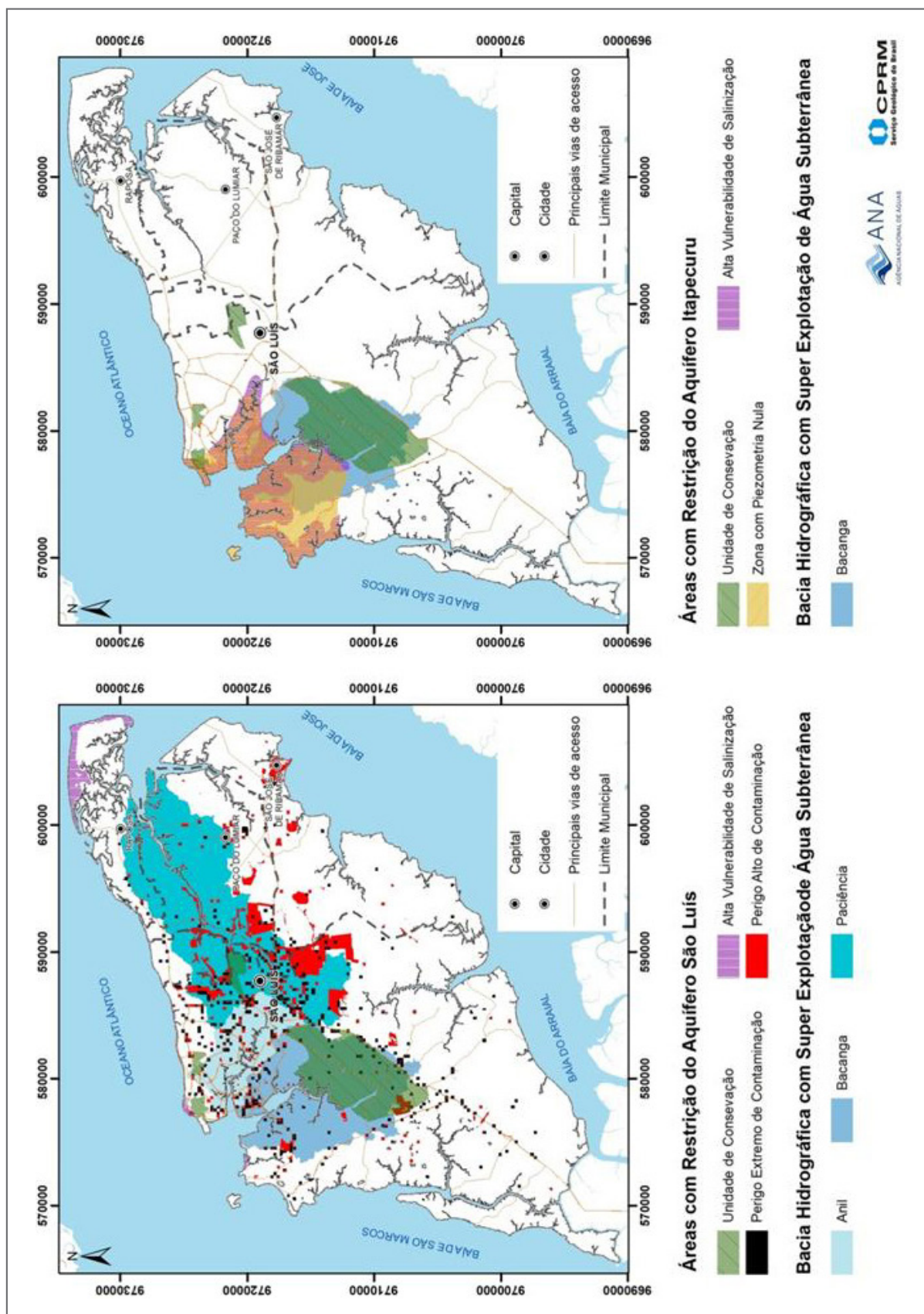


Figura 89: Áreas de restrição de águas subterrâneas na Ilha de São Luís para os aquíferos São Luís e Itapecuru



Existem algumas Áreas de Preservação Ambiental - APAS na Ilha de São Luís - Parque Estadual do Bacanga, com 3.075 Ha; APA do Maracanã, com 18.131 Ha; APA do Itapiracó, com 322 Ha; Estação Ecológica do Rangedor, com 120 Ha e Parque Estadual da Lagoa da Jansen, com 196 Ha, que ocupam área superior a 20% de seu território, tendo grande importância na recarga dos recursos hídricos.

Levando-se em conta as discussões anteriores e considerando-se a importância da preservação dessas áreas, se pode admitir a existência de 05 zonas principais de restrições na Ilha (Figura 90):

- **ZONA 1** – Áreas das bacias nas quais já se registram indícios de superexploração dos aquíferos Itapecuru e São Luís (Bacanga e Paciência) ou há a exploração intensiva de águas subterrâneas do Aquífero São Luís (Santo Antônio e parte de Praias). Parte das reservas sob pressão do aquífero Itapecuru já foram consumidas e mostram alta vulnerabilidade à salinização (Itaqui e Praias);
- **ZONA 2** – Área do Alto Paciência, com indícios de superexploração do aquífero São Luís e parte da área do Santo Antônio, com exploração intensiva e em grande parte sob condições de perigo alto a extremo de contaminação. O alto nível de urbanização, com a consequente impermeabilização de sua área, reduz sensivelmente as condições de recarga;
- **ZONA 3** – Parte da região litorânea da Ilha, de alta vulnerabilidade natural à salinização, principalmente no caso do aquífero Itapecuru, devido à sua condição de ocorrência, geralmente abaixo do nível do mar;
- **ZONA 4** – Área descontínua, abrangendo o Parque Estadual do Bacanga, a APA do Maracanã, a APA do Itapiracó, Parque Estadual do Sítio do Rangedor e APA da Lagoa de Jansen, destinadas, de acordo com os Decretos Estaduais de suas criações, à proteção e garantia da recarga dos recursos hídricos. Quando essas áreas se superpõem a alguma das três zonas anteriores, as restrições devem ser ainda maiores.
- **ZONA 5** – Definida por um grande polígono englobando todas as anteriores e que representa uma região de especial atenção para a gestão das águas subterrâneas na Ilha de São Luís.

Considerando-se o estabelecimento dessas zonas, faz-se necessário propor as seguintes medidas mitigadoras:

- a. Reduzir os volumes anuais explorados, em cada bacia hidrográfica e para cada aquífero, ajustando-os às reservas exploráveis, conforme mostrado na Figura 90.
- b. Nas bacias do Santo Antônio e das Praias, cada aquífero deve ser explorado individualmente dentro do limite de suas reservas exploráveis. As explorações no Aquífero São Luís devem ser reduzidas de imediato na bacia do Paciência. O volume total desta redução somente poderá ser determinado uma vez que se conheça com clareza o aquífero captado em cada poço existente;

- c. Na Bacia de Santo Antônio, as principais áreas de exploração de águas subterrânea ocorrem na região dos tabuleiros, captando o aquífero São Luís. As reservas do Aquífero Itapecuru devem ser exploradas na parte mais rebaixada da área;
- d. Na Bacia do Bacanga, a exploração total do Itapecuru se aproxima das reservas exploráveis e os elevados rebaixamentos dos níveis de águas subterrâneas nessa área alertam para a necessidade urgente de redução das taxas de bombeamento atualmente praticadas. Percentuais de redução de vazão devem ser estabelecidos e novas perfurações devem ser proibidas na região, até que informações mais consistentes sejam coletadas;
- e. A Bacia do Paciência representa, do ponto de vista da equipe que desenvolveu o estudo, a mais problemática da Ilha. Sua exploração total atual se aproxima das reservas exploráveis totais. Considerando-se o balanço na região alta da bacia, com maior densidade dos poços, a situação é ainda mais grave, evidenciando superexploração. Esta superexploração reduz as reservas não apenas nesta bacia, como também em toda porção oeste da Ilha, haja vista que a Bacia do Paciência se constitui em área preferencial de recarga para toda a região. Em princípio se propõe reduzir em 50% as explorações atuais e proibir a perfuração de novos poços na área.
- f. Para atingir essas metas de redução de vazões e conhecimento dos volumes reais de águas subterrâneas explorados na Ilha de São Luís, devem ser implantados hidrômetros nos poços, com as leituras diárias repassadas à SEMA.

Nas considerações acima nem sempre foi possível se estabelecer um percentual para redução dos volumes de águas subterrâneas atualmente produzidos na Ilha, principalmente devido ao desconhecimento dos aquíferos captados na maioria dos casos.

Essas informações, contudo, certamente podem ser adquiridas pelo órgão gestor estadual junto aos principais usuários, como CAEMA e BRK. Além destes, uma campanha de legalização e outorga dos poços, baseadas em fiscalizações efetivas do uso de águas subterrâneas, certamente permitirá acesso aos dados, atualmente escassos.

Um fato que causa extrema apreensão, é a possibilidade de que o número real de poços existentes seja muito superior aos apresentados nesse estudo, representando uma situação ainda mais grave do que a ora descrita.

O SIG anexo a este projeto deverá servir como repositório e instrumento de permanente atualização das novas informações obtidas.

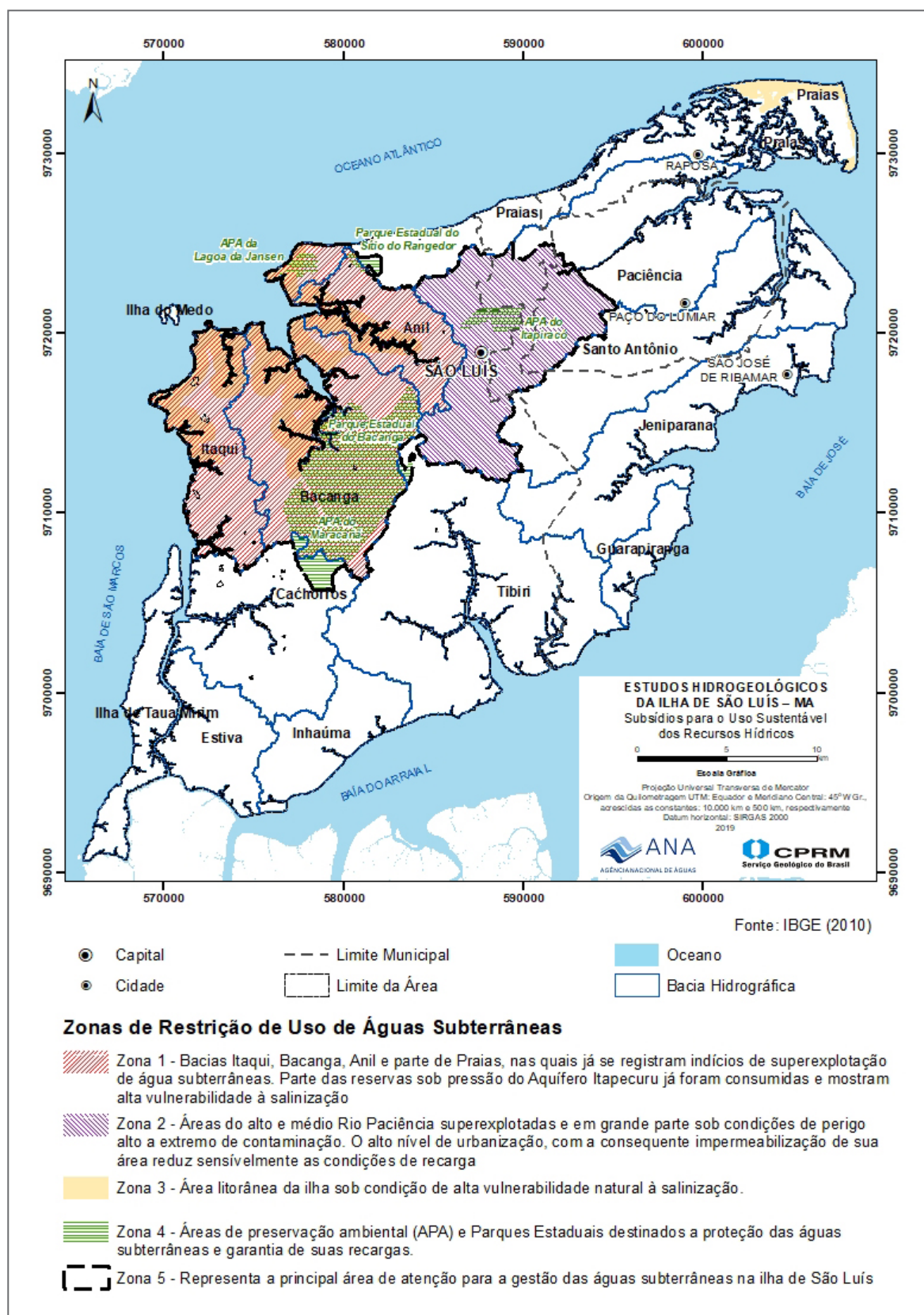


Figura 90: Zona principal de restrição de águas subterrâneas na Ilha de São Luís, determinada pela utilização dos indicadores propostos

8.2.3. Área Estratégica III - Pesquisa e Desenvolvimento

Abrange várias áreas do conhecimento e lida com diversos problemas, como vulnerabilidade à contaminação e a salinização, relações entre águas subterrâneas e superficiais, gestão integrada e participativa das bacias, tecnologias para aumentar a disponibilidade e o uso eficiente da água para os diversos fins, etc.

Para sua implementação e visando o necessário respaldo financeiro, se propõe que seja criado um fundo que pode ser baseado na cobrança pelo uso da água ou nos recursos de compensação financeira (royalties por área inundada do setor elétrico, multas, ou outros recursos), destinado a apoiar a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico. Considerando a complexidade da adoção imediata desta ação, sugere-se inicialmente a captação de recursos via CT-Hidro, multas, etc.

Ademais, pode-se criar uma rede de instituições parceiras para a elaboração de projetos de Reuso e Uso Eficiente da Água, e apoio na busca de financiamento para estes. Destaca-se que os usuários industriais poderiam propor projetos deste tipo, como já ocorre em outros estados. Seminários de trocas de experiência sobre o tema podem ser uma forma de dar início as tratativas no tema.

Existe a clara necessidade da execução de uma série de estudos e pesquisas de natureza técnico-científica, os quais devem envolver instituições de ensino e pesquisa, entre as quais podemos citar:

- Geologia aplicada à hidrogeologia, incluindo geologia estrutural (espacialização 3D das unidades aquíferas, principais estruturas, mapas de isópacas etc.); heterogeneidades e anisotropias, estudos de reservatórios (água); entre outros;
- Entendimento pleno do modelo conceitual e detalhamento da geometria e das condições de fluxo das águas subterrâneas dos principais aquíferos;
- Balanços hídricos mais completos e integrados, com elementos do ciclo hidrológico, interações águas superficiais – subterrâneas – atmosféricas e uso das águas (captações e pontos de lançamento), uso do solo e ações antrópicas;
- Origem das principais ocorrências de maiores concentrações ou valores anômalos de contaminantes ou sais (natural, antrópica, mista);
- Estudos de viabilidade, mapeamento e elenco de novas áreas mais propícias à exploração;
- Detalhamento de mapas de vulnerabilidade, notadamente nas áreas com vulnerabilidade alta ou extrema apresentadas neste trabalho;
- Estudos metodológicos e teórico-experimentais de determinação de zonas de captura de poços, de perímetros de proteção de poços (PPP), de perímetros de alerta e de zoneamento preventivo, e integração com ações de controle e monitoramento de fontes de poluição;
- Áreas contaminadas, incluindo mecanismos de transporte, mobilidade/fixação e persistência de contaminantes no solo/rochas e nas águas subterrâneas;



- Desenvolvimento e aplicação de tecnologias;
- Estabelecimento de indicadores para a temática de águas subterrâneas, sejam quanto a seus aspectos quantitativos ou qualitativos – estes devem associar-se a Planos Estratégicos, como Planos de Recursos Hídricos, Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH), Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) etc.

Entre os atores envolvidos nesta área destacam-se as universidades e centros de pesquisa, agências de fomento à pesquisa, órgãos de estado (CPRM, ANA, SEMA, , empresas de saneamento).

8.2.4. Área Estratégica IV - Fortalecimento Institucional

Ressalta-se a necessidade de melhoria no aspecto organizacional, a partir do fortalecimento técnico e institucional da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais do Maranhão – SEMA, assim como das secretarias de meio ambiente municipais, e pela melhoria na integração e articulação entre todas as secretarias de meio ambiente e de habitação dos municípios locais. Articulações para participação na elaboração do Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da Grande São Luís – PDDI são também de extrema importância, assim como da elaboração e revisão de planos diretores locais.

As principais iniciativas de cunho institucional sugeridas são:

- Fortalecimento e capacitação contínua de quadro técnico dos órgãos de estado, como a SEMA e maior aproximação com órgãos federais como CPRM, IBAMA, ANA, MMA, MME etc.). É particularmente importante aumento dos quadros técnicos de órgãos estaduais (SEMA, etc.) e municipais, extremamente carentes de capacitação;
- Cooperação entre atores, através de termos de compromisso, convênios, cartas de intenção e outros instrumentos de interação;
- Interação e trocas de experiência entre órgãos do estado, dos municípios, de universidades e empresas, como a CAEMA, a BRK e os SAAEs municipais;
- Divulgação e troca de experiência envolvendo estudos de casos, casos bem sucedidos e mal sucedidos.

Os atores envolvidos seriam representantes de diversas instituições, incluindo SEMA, FIEMA, UFMA, UEMA, CAEMA, BRK, CPRM, ANA, IBAMA, etc., além de entidades de classe, CREA, Associação de Geólogos, etc.

8.2.5. Área Estratégica V - Educação, Formação, Mobilização Social

Área estratégica que se refere à preparação das gerações atual e futura para participar de políticas públicas desenvolvidas na implementação da gestão dos recursos hídricos.

As ações devem ser desenvolvidas em todos os níveis educacionais, desde o nível fundamental ao superior, possibilitando a introdução dos conceitos de gestão em todas suas fases de desenvolvimento.

O programa de comunicação visa, por um lado, informar a sociedade sobre as ações desenvolvidas e sobre as formas de sua participação e, por outro, prestar contas sobre os resultados alcançados. Deve promover o desenvolvimento e a difusão de técnicas sustentáveis para aumentar a disponibilidade hídrica e o uso eficiente da água, instituir programas de participação pública para o envolvimento das comunidades locais na gestão da água e saneamento e campanhas de conscientização orientadas para aprofundar o conhecimento sobre possíveis crises hídricas, seus impactos e enfreteamentos.

Em termos de capacitação técnica para diversos públicos destaca-se que a ANA oferece vários cursos de capacitação presenciais, semipresenciais e a distância (<https://capacitacao.ead.unesp.br/>) voltados para a gestão de recursos hídricos para públicos diversos. Ademais, voltado para os gestores, diversas universidades do país têm oferecido vagas para o Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (ProfÁgua), apoiadas pela ANA e pela CAPES (<https://www.feis.unesp.br/#!/pos-graduacao/profagua/>).

Também de grande importância, deve-se ressaltar o interesse da ANA e da CPRM na realização de cursos de nivelamento dos profissionais vinculados aos recursos hídricos no Estado do Maranhão, no uso do Sistema de Informações Geográficas - SIG elaborado para este projeto, bem como no aprofundamento de sua compreensão sobre os temas tratados em cada volume deste relatório.

Deve ter como principais partícipes técnicos da SEMA e das secretarias de meio ambiente municipais, das universidades (UFMA e UEMA, principalmente), dos centros de pesquisa, de órgãos públicos estaduais diversos, companhias de saneamento, ANA e CPRM.

É importante destacar que nem todas as Estratégias de Gestão levantadas e discutidas ao longo deste Estudo estão incluídas nesta síntese do PAE. Neste sentido, no ANEXO 3 do Volume IV do Relatório Final é apresentada uma Tabela com Propostas de Estratégias de Gestão, separadas por grandes temas (saneamento básico, recargas naturais e urbanas, resultados das atividades antrópicas e controle da poluição, etc.), e subtemas, discriminando as ações, atores envolvidos e executores, bem como onde aparecem no Estudo. A maior parte destas estratégias está relacionada à área Estratégica II, mas há outras relacionadas às demais áreas estratégicas, bem como outras transversais a todas.

CONFORME JÁ EXTENSAMENTE REFERIDO, OS PRINCIPAIS SISTEMAS hidrogeológicos da região estudada estão representados pelos Sistemas Aquífero Itapecuru (confinado/semiconfinado) e São Luís (livre), ambos de grande importância local.

No Sistema São Luís ocorrem as unidades Pós-Barreiras, Barreiras e Cujupe, esta última representando a parte superior do Grupo Itapecuru. O Sistema Itapecuru é constituído pelas unidades Formação Alcântara e Grupo Itapecuru Indiviso.

As áreas de recarga do Sistema Aquífero São Luís ocorrem por toda a Ilha, condicionadas principalmente pelo relevo (topo dos tabuleiros) e pela presença de áreas de vegetação nativa preservada, ressaltando-se a região central da Ilha, notadamente sua porção centro norte. Mostra espessuras bastante variáveis, desde valores inferiores aos 20m, nas porções litorâneas da Ilha, até mais de 100m, na região central.

É notável a existência de um divisor principal das águas subterrâneas, com direção aproximadamente NE/SW, a partir do qual a drenagem subterrânea mostra um controle topográfico, com linhas de fluxo divergentes e gradientes hidráulicos em direção as áreas litorâneas dos dois lados da Ilha. Os principais cursos de água, são afogados pelas grandes alturas das marés locais e, aparentemente, não recebem grandes contribuições das águas subterrâneas. Apenas as regiões planas dos topos dos tabuleiros preservados não sofrem influência das oscilações dessas marés.

No caso do Sistema Itapecuru, predominantemente confinado/semiconfinado, há um abrandamento dos gradientes hidráulicos e a circulação das águas tende a anular-se em condições não influenciadas. O escoamento também ocorre para os dois lados da Ilha, com gradientes moderados a altos. Devido às condições do potencial piezométrico e à presença do mar, os fluxos verticais predominam sobre os horizontais, com filtração vertical descendente a partir do aquífero São Luís, constituindo-se em importante fonte de recarga. Embora regionalmente mostre grandes espessuras, na Ilha de São Luís se admite que abaixo de 100m de profundidade em relação ao nível do mar, suas águas se encontrem salinizadas.

Devido à configuração tectônico/estrutural da Ilha, que exhibe um modelo estrutural na forma de *grabens* e *horsts*, esta unidade ocorre também, em alguns locais, de forma aflorante na superfície ou em contato direto com unidades mais recentes.

As águas do aquífero São Luís são predominantemente ácidas, enquanto no Itapecuru os valores do pH normalmente são superiores a 7. De um modo geral, em toda a Ilha as águas são principalmente cloretadas sódicas. Resultados de análises isotópicas corroboram que a recarga de água subterrânea ocorre principalmente na região dos tabuleiros preservados, com o fluxo subterrâneo ocorrendo a partir daí para as regiões litorâneas. São comuns, nas análises efetuadas

nos dois aquíferos, expressiva presença de coliformes totais e nitrato, revelando a presença de fontes de contaminação próximas dos poços, devido à falta de saneamento básico em grande parte da Ilha.

As principais fontes potenciais de poluição são representadas por postos de combustível, indústrias, cemitérios, lixões à céu aberto e descarte de águas servidas (fossas, vazamentos de esgotos, etc.).

Há grande concentração de locais de comércio de combustível, lubrificantes e oficinas mecânicas, principalmente na área do Município do São Luís, onde se localizam 734 locais, dos 1.119 existentes. As indústrias estão concentradas principalmente, ao longo da BR-135, onde também se situam algumas concessões de água mineral.

As áreas onde ocorrem lançamentos de águas servidas se distribuem por toda a Ilha, inclusive nas principais áreas de recarga dos aquíferos. Os poços tubulares sem perímetros de proteção, laje de proteção e tampa de vedação também são de ocorrências generalizadas.

Tanto as águas superficiais quanto as subterrâneas são utilizadas principalmente para abastecimento doméstico particular e público, além de industrial e comercial. As águas subterrâneas são captadas por centenas de poços distribuídos ao longo de toda a Ilha, com grande concentração nas bacias dos rios Paciência e Bacanga onde, além do consumo individual para abastecimento humano, se localizam as grandes baterias de bombeamento da CAEMA, principal usuário local.

Considerando a capacidade máxima possível de extração de águas subterrâneas, na suposição de que todos os poços existentes bombeariam em um regime de 24/24hs, seria produzido um volume total de aproximadamente 200.000.000 m³/ano. Se utilizarmos apenas os poços que se encontravam ativos durante o período de cadastro e as vazões médias então informadas, este volume se reduz a algo no entorno de 104.000.000 m³/ano. Em qualquer situação, o principal usuário é a Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão – CAEMA, seguida pela BRK Ambiental. Em algumas bacias hidrográficas (p.ex., Paciência), as saídas de água dos aquíferos superam as entradas, mostrando evidências de superexploração.

A análise de tendências dos índices climáticos desenvolvida neste projeto revela que, entre os anos de 1972 e 2016 (34 anos de medições), tem ocorrido uma clara tendência de aumento no número de dias secos consecutivos e uma diminuição na quantidade de dias úmidos, conforme a Figura 91.

A análise da pluviometria média mensal mostra que nos meses de janeiro a junho (período chuvoso), as precipitações atingem 89% de sua altura total anual. De julho a dezembro (período seco), chove apenas 11% em média. Levando-se estes dados em consideração, se conclui que nos períodos secos a recarga natural corresponde a apenas 11% de seu valor total no período úmido.

Devido às reduções nas precipitações anuais (e conseqüentemente nas recargas), juntamente com o acelerado crescimento populacional, o sistema como um todo poderá entrar em processo de desaguamento, especialmente entre a zona central dos tabuleiros e o litoral oeste, onde se



localizam as grandes baterias de poços. Ressalte-se que, nas simulações dos cenários, efetuadas no item 8.5 deste relatório, a situação mais grave ocorre a partir de possíveis diminuições na recarga das águas subterrâneas pela redução dos índices pluviométricos.

Os aumentos dos rebaixamentos nos níveis das águas subterrâneas nas áreas litorâneas da Ilha, conforme já referido, podem acarretar graves consequências para toda a região, considerando os riscos de perda da qualidade da água, por aumento da sua dureza e sua salinização por intrusões marinhas. Os cones de rebaixamentos gerados, não poderiam ser compensados por um aumento da recarga a partir da porção elevada da área (zona dos tabuleiros), uma vez que os tempos de trânsito desde entre essas duas áreas devem ser muito longos para compensar as retiradas localizadas. Isto significa que, a continuar o ritmo de crescimento das extrações de água, os rebaixamentos na metade oeste da área tendem a crescer, potencializando os riscos acima referidos.

Na zona dos tabuleiros, os rebaixamentos exagerados dos níveis poderão provocar reduções imediatas nos fluxos de água superficial. Além disso, considerando a possibilidade da ocorrência da inversão dos níveis potenciométricos entre os dois aquíferos, podem ocorrer invasões de águas salinizadas a partir da porção inferior do aquífero Itapecuru, por drenanças verticais ascendentes.

Em termos de perigo de contaminação das águas subterrâneas, considerando apenas o aquífero livre aflorante, se verifica que o Aquífero São Luís se encontra geralmente em condição de alta vulnerabilidade natural à contaminação. A grande concentração de cargas contaminantes dispostas no solo faz com que mais de 5% da área total da Ilha esteja em condição de perigo de contaminação alto à extremo. Em algumas bacias importantes, como é o caso da bacia do Paciência, este percentual atinge quase 16% da área total, concentrando-se principalmente em seu alto curso.

A delimitação de áreas de proteção de captações, embora de grande importância, é quase inexistente atualmente, aumentando potencialmente os riscos de contaminação.

Recomenda-se a adoção de precauções e cuidados especiais durante a construção dos poços, nos processos de cimentação, proteções sanitárias e estabelecimentos de perímetros de proteção, visando evitar essas contaminações.

A porção oriental da Ilha, a leste do principal divisor de águas subterrâneas, além da região sul, mostram explorações ainda incipiente de águas subterrâneas, e devem ser priorizadas no caso da construção de novas captações.

É altamente recomendável a implantação de redes de monitoramento hidrológico, incluindo águas superficiais e subterrâneas.

A Rede de Monitoramento de Águas Superficiais deve contemplar a implantação estações de medição de vazões de rios e estações climatológicas (chuva, temperatura, umidade relativa do ar).

A Rede de Monitoramento de Águas Subterrâneas deverá contemplar o acompanhamento operacional sistemático das captações, com a instalação de mecanismos de medição das vazões, volumes totais produzidos, níveis estáticos e dinâmicos, análises químicas e bacteriológicas.

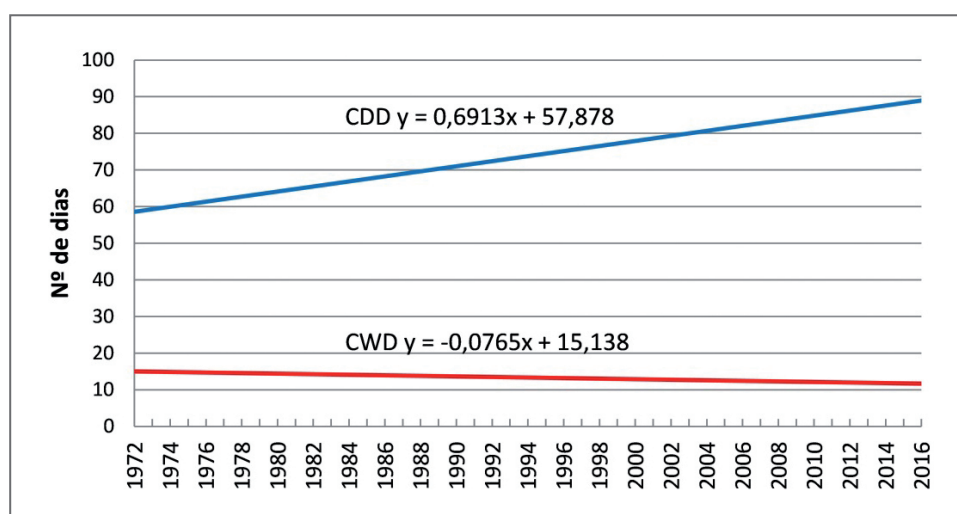


Figura 91: Linhas de tendências significativas (CDD - nº consecutivo de dias secos; CWD - nº consecutivo de dias úmidos)

Recomenda-se uma rede automática, composta por pelo menos 12 poços de monitoramento automático, dispostos ao longo das principais bacias hidrográficas existentes e mais fortemente impactadas pelo uso das águas subterrâneas.

As informações obtidas constituirão, ao longo do tempo, um robusto banco de dados, permitindo a implantação de instrumentos de tomadas de decisões e a correta gestão dos recursos hídricos totais.

Este instrumento de gestão tornará possível o controle e a exploração sustentável de todo o sistema hídrico da Ilha, reduzindo os riscos de colapso no abastecimento e permitindo sua utilização sustentável.

Uma das formas de viabilizar este empreendimento, é a implantação da cobrança pelo uso da água, através da criação de um fundo de recursos hídricos administrado pela Secretária de Meio Ambiente e Recursos Naturais do Maranhão – SEMA, conforme previsto pela Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433/97) e estabelecido, a nível estadual pelo Decreto 20.008, de 30/01/2012 da Lei 8.149 de 15/01/2004. Outras formas podem ser discutidas pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos como a utilização da compensação financeira, recursos de multas, etc.

Os direitos de uso da água devem ficar claros nos documentos de outorga de águas subterrâneas, a serem expedidas pela SEMA, e deverão levar em conta a alocação da água, o consumo previsto (em função da destinação da água) e considerar o sistema aquífero a ser captado, tendo em vista a situação a qual o mesmo está submetido em termos de vazões exploráveis.

Uma ampla campanha de divulgação dessas medidas deve ser implementada, visando conscientizar toda a sociedade local de sua importância e da necessidade de preservação dos recursos hídricos, principalmente subterrâneos, existentes.

REFERENCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Sistemas de Informação na Gestão de Águas:** conhecer para decidir. Brasília: ANA, 2017. E-book. (Cadernos de Capacitação em Recursos Hídricos, v. 8). Disponível em <https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/260>. Acesso em 18 jun. 2021.
- ANDERSON, M.P.; WOESSNER, W.W. **Applied Groundwater Modeling:** Simulation of Flow and Advective Transport. 1. ed. San Diego: Academic Press, 1991. 381 p. e-Book. ISBN: 978-0-0808-8694-7.
- BEEKMAN, G.B. **Gerenciamento integrado dos recursos hídricos.** Brasília: IICA, 1999. 64 p.
- BOUWER, H.: Integrated Water Management for the 21st Century: Problems and Solutions. Journal of Irrigation and Drainage Engineering American Society of Civil Engineersv. 128, n. 4, p. 193–202, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2002\)128:4\(193\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2002)128:4(193)).
- BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução Nº 202, de 28 de junho de 2018. Estabelece diretrizes para a gestão integrada de recursos hídricos superficiais e subterrâneos que contemplem a articulação entre a União, os Estados e o Distrito Federal com vistas ao fortalecimento dessa gestão. **Diário Oficial da União:** seção I, Brasília, DF, ano 244, p. 201, 28 jun. 2018. . Publicado no DOU de 20 de dezembro de 2018. Disponível em: http://www.in.gov.br/web/guest/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/56128847/do1-2018-12-20-resolucao-n-202-de-28-de-junho. Acesso em: 16 jun. 2021.
- BRASIL. Ministério das Cidades. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto - 2016.** Brasília: SNIS-DF, 2018. 220 p. Disponível em: http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2016/Diagnostico_AE2016_Retificado.zip . Acesso em: 16 jun. 2021.
- CHACHADI, A.G; LOBO-FERREIRA, J.P. Seawater intrusion vulnerability mapping of aquifers using GALDIT method. COASTIN A Coastal Policy Research Newsletter. In: PROCESSING Workshop on Modelling in Hydrogeology. Chennai, India: Anna University, 2001. p.143-156. Disponível em: <http://www.teriin.org/teri-wr/coastin/newslett/coastin4.pdf> . Acesso em: 16 jun. 2021.
- CORDEIRO, E.C; DINIZ, J.S. Região Metropolitana da Grande São Luís: além da retórica municipalista, o que serve como entrave para sua “efetivação”?. In ZANNONI, C. (org.). In: **Encontro Humanístico**, 7., São Luís, 2008. **Anais [...]** . Belém: EDUFMA, 2008. ISBN 978-85-85048-97-6.
- COSTA, W.D. **Estudo Hidrogeológico de Recife – Olinda – Camaragibe – Jaboatão dos Guararapes.** Recife: Secretaria de Recursos Hídricos, 2002. 2 v. (Projeto HIDROREC II)
- CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Relatório diagnóstico Aquífero Itapecuru no Estado do Pará, Bacia Sedimentar do Paranaíba.** Belo Horizonte: CPRM, 2012. v. 5, 34 p., il. Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas. 2012. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/22244>. Acesso em: 16 jun. 2021.
- CUSTODIO, E.; LLAMAS, M.R. **Hidrologia Subterrânea.** 2. ed. Barcelona: Omega, 1983. 2 v. ISBN 84-282-0446-2.

FEITOSA, A.C. Relevo do Estado do Maranhão: uma nova proposta de classificação topomorfológica. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 6., Goiânia, 2006.

Anais [...]. Goiânia: UGB, 2006. 1 CD-ROM. Disponível em: <http://lsie.unb.br/ugb/sinageo/6/11/476.pdf>. Acesso em: 31 maio 2021.

FEITOSA, F.A.C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E.C.; DEMÉTRIO, J.G. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. 812 p. ISBN 978-85-7499-061-3. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/14818/3/livro_hidrogeologia_conceitos.pdf. Acesso em: 14 jun. 2021.

FERREIRA, A.F.; MORAES, A.C.R. **O Estado e as políticas do urbano em São Luís**. 1999. 223 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001039013>. Acesso em: 18 jun. 2021.

FOSTER, S.S.D. Fundamental Concepts in Aquifer Vulnerability, Pollution Risk and Protection Strategy. In: VAN DUIJVENBOODEN, W.; VAN WAEGENIGH, H.G. (eds.) **Vulnerability of Soil and Ground Water Pollutants**. Haia: TNO Committee on Hydrological Research Information, 1987. p. 69-86.

FOSTER, S.S.D.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Proteção da Qualidade da Água Subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. São Paulo: Servemar, 2006. 104 p.

FOSTER, S.S.D.; HIRATA, R. Groundwater pollution risk assessment: A methodology using available data. *Pan American Centre for Sanitary Engineering and Environmental* – CEPIS, Lima, p. 81, 1988.

HIRATA, R.C.A. **Fundamentos e estratégias de proteção e controle da qualidade das águas subterrâneas. Estudos de casos no Estado de São Paulo**. 1994. 210 p. Tese (Doutoramento em Recursos Minerais e Hidrogeologia) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia, Universidade de São Paulo – USP, 1994.

HISCOCK, K. **Hydrogeology: principles and practice**. Amsterdam: John Wiley & Sons, 2014. 544 p. ISBN: 978-0-470-65662-4.

HOLMAN, I.P.; ALLEN, D.M.; CUTHBERT, M.O.; GODERNIAUX, P.: Towards best practice for assessing the impacts of climate change on groundwater. **Hydrogeology Journal**, v. 20, n. 1, p. 1-4, 2012.

IBAMA. **Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras**. 2017. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/cadastros/ctf/ctf-app>. Acesso em: 16 jun. 2021.

IBGE. **Grade Estatística**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/recortes_para_fins_estatisticos/grade_estatistica/censo_2010/ Acesso em: 10 nov. 2018.

IBGE. População nos Censos Demográficos, segundo os municípios das capitais – 1972/2010. In: **Sinopse do censo demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv49230.pdf>. Acesso em: 18/06/2018.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Caracterização e quadros de análise comparativa da governança metropolitana no Brasil: arranjos institucionais de gestão metropolitana (componente 1). Região Metropolitana da Grande São Luís**. Rio de Janeiro: IPEA, 2014. p. 8. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/redeipea/images/pdfs/governanca_metropolitana/re1_1_rmgsi.pdf. Acesso em: 27 maio 2021.



IRITANI, M.A.; EZAKI, S. **Roteiro orientativo para delimitação de área de proteção de poço**. 2. ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2012. 60 p. ISBN 978-85-87235-13-8. (Cadernos do Projeto Ambiental Estratégico Aquíferos, 2). Disponível em: https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/233/2015/06/roteiro-orientativo_2edicao_2012.pdf. Acesso em: 16 jun. 2021.

MANOEL FILHO, J.; CASTRO, V.L.L. Avaliação e Exploração do Aquífero Dunas-Barreiras na Região do Subsistema Lacustre do Bonfim – RN. **Águas Subterrâneas**, [S. l.], n. 1, 2002. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22572>. Acesso em: 18 jun. 2021.

MARANHÃO (estado). Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Naturais. Unidades de Conservação do Maranhão. São Luís: SEMA, 2019. Disponível em: <http://www.sema.ma.gov.br/unidades-de-conservacao/>. Acesso em: 16 jun. 2021.

MCDONALD, M.G.; HARBAUGH, A.W. **A Modular Three-dimensional Finite-difference Ground-water Flow Model**. [S. l.]: U.S. Geological Survey, 1988. (Série *Techniques of Water-Resources Investigations*, Book 6). DOI: <https://doi.org/10.3133/twri06A1>.

MERINO, L.M.; NAVARRETE, C.M. **Guía metodológica para la elaboración de perímetros de protección de captaciones de aguas subterráneas**. Madrid: IGME, 1991. 289 p. ISBN 84-7840-091-5.

MOREIRA, T. S. **Gestão Metropolitana: a região metropolitana da grande São Luís e os desafios das políticas urbanas**. 2013. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Socioespacial e Regional) - Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2013.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2015. disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em: 20 abr. 2021.

PAÇO DO LUMIAR (MA). **Lei Complementar nº 452, de 23 de Maio de 2011**: Modifica dispositivos da Lei Municipal nº 335, de 09 de outubro de 2006 e dá outras providências. Disponível em: <https://www.cmpacodolumiar.ma.gov.br/legislacao/tema/plano-diretor>. Acesso em: 16 jun. 2021. (Elaborada a partir de confirmação de dados, porém a Lei citada sofreu modificações. Favor informar qual fonte foi consultada e, se possível repassá-la para elaboração real da referência).

PAÇO DO LUMIAR (MA). Lei nº 335, de 10 de outubro de 2006. Dispõe sobre o Plano Diretor de Paço do Lumiar e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado do Maranhão**, Município de Paço do Lumiar, 1 out. 2013. (Referência copiada de outra publicação).

PEREIRA, L.S. **Gestão de águas subterrâneas no contexto metropolitano: viabilidade para implementação de novas áreas de recarga de aquíferos na Ilha de São Luís/MA**. 2018. 96 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente) – Universidade CEUMA, São Luís, 2007. Disponível em: http://www.ceuma.br/mestrado meio ambiente/images/Dissertacoes/2018_LIENE_SOARES_PEREIRA.pdf. Acesso em: 27 maio 2021.

PINTO, S.G.B. **Regiões metropolitanas: obstáculos institucionais à cooperação em políticas urbanas**. 2007. 391 f. Tese (Doutorado em Planejamento Urbano e Regional) – Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/cp124206.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2021.

RAPOSA (MA). **Lei no 113, de 6 de outubro de 2006**. Dispõe sobre a política e diretrizes de desenvolvimento urbano do município, institui o Plano Diretor do município de Raposa e dá outras providências.

REBOUÇAS, A. da C.; SILVA, A.B. da. **Estudo Hidrogeológico do Distrito Industrial de Itaqui, Maranhão**. Recife: SUDENE, 1972. 83 p., il. (Hidrogeologia, 39).

REFSGAARD, J.C.; HOJBERG, A.L.; MOLLER, I.; HANSEN, M.; SONDERGAARD, V. Groundwater modeling in integrated water resources management–visions for 2020. **Ground Water**, v. 48, n. 5, p. 633– 648, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-6584.2009.00634.x>.

SÃO JOSÉ DO RIBAMAR (MA). **Lei Nº 645 de 10 de outubro de 2006**. Dispõe sobre o plano diretor do município de São José de Ribamar, estado Maranhão e trata de outras providências. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNPU/RedeAvaliacao/SaoJoseRibamar_PlanoDiretorMA.pdf. Acesso em: 16 jun. 2021.

SÃO LUIS (MA). **Lei nº 4.669 de 11 de outubro de 2006**. Dispõe sobre o plano diretor do município de São Luís e dá outras providências. Disponível em: https://www.mpma.mp.br/arquivos/COCOM/arquivos/centros_de_apoio/cao_meio_ambiente/legislacao/legislacao_municipal/Noticia1221A967.zip. Acesso em: 16 jun. 2021.

TUINHOLF, A.; DUMARS, C.; FOSTER, S.; KEMPER, K.; GARDUÑO, H.; NANNI, M. **Gestión de Recurso de Agua Subterránea**: Una introducción a su alcance y práctica.[S.l.]: Banco Mundial, 2003. Disponível em: [World Bank Document](#). Acesso em: 16 jun. 2021.



VASCONCELOS, V.; MARTINS JUNIOR, P. P.; HADAD, R. M.; KOONTANAKULVONG, S. Recarga de aquíferos: Epistemologia e interdisciplinaridade. **Revista INTERthesis**, v. 10, n. 2, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/277712925_Recarga_de_Aquiferos_epistemologia_e_interdisciplinaridade. Acesso em: 16 jun 2021.

ANEXO 1

Ficha de Cadastro
de Fontes de Poluição



Anexo 1: Ficha de Cadastro de Fontes de Poluição

ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS DA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO LUIS - MA		
 CPRM Serviço Geológico do Brasil	Cadastro de Fontes Potenciais de Poluição	 ANA AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS
DADOS GERAIS		
CÓDIGO DA FONTE DE POLUIÇÃO	ASSOCIAÇÃO COM FONTE DE ABASTECIMENTO	FOTOGRAFIAS
		<input type="checkbox"/> SIM N° _____ <input type="checkbox"/> NÃO
NATUREZA DA FONTE POLUIDORA:		
<input type="checkbox"/> Postos de Combustíveis <input type="checkbox"/> Lavajatos e Trocas de óleo <input type="checkbox"/> Concessionárias de Veículos / Oficinas Mecânicas <input type="checkbox"/> Transportadoras de Cargas <input type="checkbox"/> Empr. de Transportes Coletivos/ Turismo <input type="checkbox"/> Empresas de Mineração <input type="checkbox"/> Indústrias e Empresas Afins <input type="checkbox"/> Comércio e Serviços <input type="checkbox"/> Curtumes <input type="checkbox"/> Matadouros e Frigoríficos Industriais <input type="checkbox"/> Criatórios <input type="checkbox"/> Hospitais, Clínicas, UPAS 24h, Análises Clínicas <input type="checkbox"/> Hotéis, Motéis, Lavanderias e Tinturarias <input type="checkbox"/> Cemitérios, Crematórios e IML <input type="checkbox"/> ETE - Estação de Tratam. de Efluentes e Esgotos <input type="checkbox"/> Empresas de Constr. Civil <input type="checkbox"/> Rejeitos de Mineração <input type="checkbox"/> Bares e Restaurantes <input type="checkbox"/> Clubes e Áreas de Lazer <input type="checkbox"/> Lixões, Aterros Sanitários e Lixões Clandestinos <input type="checkbox"/> Outros _____		
IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DO PONTO		
NOME: _____ UF: _____ MUNICÍPIO: _____ LOCALIDADE: _____ ENDEREÇO: _____ EM TERRENO: <input type="checkbox"/> PARTICULAR <input type="checkbox"/> PÚBLICO COORDENADAS UTM: ZONA: 23 S _____ UTM E; _____ UTM N; INÍCIO DAS ATIVIDADES: _____ / _____ / _____		
FONTES DE ABASTECIMENTO / MANANCIAIS PRÓXIMOS		
<input type="checkbox"/> POÇO TUBULAR <input type="checkbox"/> POÇO ESCAVADO <input type="checkbox"/> FONTE NATURAL <input type="checkbox"/> RIO/RIACHO _____ <input type="checkbox"/> LAGOA _____		
1. Código: _____ / _____ ; UTM 23S: _____ UTM E _____ UTM N; Distância: _____ m 2. Código: _____ / _____ ; UTM 23S: _____ UTM E _____ UTM N; Distância: _____ m 3. Código: _____ / _____ ; UTM 23S: _____ UTM E _____ UTM N; Distância: _____ m 4. Código: _____ / _____ ; UTM 23S: _____ UTM E _____ UTM N; Distância: _____ m 5. Código: _____ / _____ ; UTM 23S: _____ UTM E _____ UTM N; Distância: _____ m 6. Código: _____ / _____ ; UTM 23S: _____ UTM E _____ UTM N; Distância: _____ m 7. Código: _____ / _____ ; UTM 23S: _____ UTM E _____ UTM N; Distância: _____ m		
SITUAÇÃO SANITÁRIA DO LOCAL		
<input type="checkbox"/> REDE DE SANEAMENTO - OPERADORA: <input type="checkbox"/> CAEMA; <input type="checkbox"/> ODEBRECHT AMBIENTAL; <input type="checkbox"/> OUTRA _____ <input type="checkbox"/> LOCALIDADE NÃO SANEADA: <input type="checkbox"/> FOSSA SÉPTICA; <input type="checkbox"/> FOSSA RUDIMENTAR; <input type="checkbox"/> LANÇAMENTO NO SOLO OBSERVAÇÕES DO ENTORNO: _____ _____		
IDENTIFICAÇÃO DO(S) AGENTE(S) POLUENTE(S)		
<input type="checkbox"/> HIDROCARBONETOS; <input type="checkbox"/> ESGOTOS SANITÁRIOS; <input type="checkbox"/> EFLUENTES INDUSTRIAIS; <input type="checkbox"/> COLIFORMES FECAIS; <input type="checkbox"/> AGROTÓXICOS; <input type="checkbox"/> FERTILIZANTES QUÍMICOS; <input type="checkbox"/> ÓLEOS E GRAXAS DE ORIGEM VEGETAL; <input type="checkbox"/> ÓLEOS E GRAXAS DE ORIGEM ANIMAL; <input type="checkbox"/> DETERGENTES E SAPONÁCEOS; <input type="checkbox"/> CHORUME; <input type="checkbox"/> NECROCHORUME; <input type="checkbox"/> NITRATOS; <input type="checkbox"/> FERRO <input type="checkbox"/> OUTROS _____		



ATIVIDADES INDUSTRIAIS - TIPOLOGIA
<input type="checkbox"/> Indústria Química; <input type="checkbox"/> Indústria Petroquímica; <input type="checkbox"/> Produção e Remanufatura de Óleos Vegetais; <input type="checkbox"/> Farmacêutica; <input type="checkbox"/> Plásticos; <input type="checkbox"/> Alimentos; <input type="checkbox"/> Cerâmica; <input type="checkbox"/> Frigorífico Industrial; <input type="checkbox"/> Metalúrgica / Siderúrgica; <input type="checkbox"/> Usina Termoelétrica; <input type="checkbox"/> Baterias - Fabricação e Remanufatura; <input type="checkbox"/> Confeções (Tinturaria); Outros _____ <small>Principais Agentes Contaminantes: Produtos Químicos, Óleos Vegetais e Sintéticos, Rejeitos de Produção, Combustíveis.</small>
USO DA ÁGUA NA ATIVIDADE INDUSTRIAL
<input type="checkbox"/> Insumo Básico na Produção; <input type="checkbox"/> Lavagem/ Higienização; <input type="checkbox"/> Caldeiraria Industrial; <input type="checkbox"/> Refrigeração; <input type="checkbox"/> Diluição; <input type="checkbox"/> Outros Usos _____ Volume Diário Consumido _____ m³ Descarte: <input type="checkbox"/> Rede de Esgotos; <input type="checkbox"/> Lagoa de Rejeitos; <input type="checkbox"/> Irrigação; <input type="checkbox"/> Solo; <input type="checkbox"/> Fossa Séptica; <input type="checkbox"/> Fossa Rudimentar; <input type="checkbox"/> Estação de Tratamento e Reuso; Dimensão da Indústria: <input type="checkbox"/> Pequena/Artesanal; <input type="checkbox"/> Médio Porte; <input type="checkbox"/> Grande Porte; <input type="checkbox"/> Muito Grande/ Multinacional/ Estatal;
RESÍDUOS SÓLIDOS
Local de Descarte: <input type="checkbox"/> Aterro Sanitário; <input type="checkbox"/> Lixão Urbano; <input type="checkbox"/> Lixão Periurbano/ Rural; <input type="checkbox"/> Lixão Clandestino; Origem do Lixo: <input type="checkbox"/> Residencial; <input type="checkbox"/> Comercial; <input type="checkbox"/> Industrial; <input type="checkbox"/> Hospitalar; <input type="checkbox"/> Curtume / Matadouro; <input type="checkbox"/> CEASA/ Feiras Livres; <input type="checkbox"/> Atividade Agropecuária; <input type="checkbox"/> Outros _____ Município Atendido: _____; Localidade: _____ Detalhes Construtivos: <input type="checkbox"/> Direto sobre o Solo; <input type="checkbox"/> Impermeabilização do terreno; <input type="checkbox"/> Drenagem de Fluidos / Chorume; <input type="checkbox"/> Lagoa de Estabilização Associada. Localização Sobre Terreno: <input type="checkbox"/> Cristalino; <input type="checkbox"/> Sedimentar; <input type="checkbox"/> Cárstico; <input type="checkbox"/> Aluvionar; Características do Terreno: <input type="checkbox"/> Altiplano; <input type="checkbox"/> Alto Estrutural; <input type="checkbox"/> Baixada/ Várzea/ Áreas Úmidas; <input type="checkbox"/> Drenagem; Características Hidrológicas: Nível Freático _____ m; Condutividade Hidráulica do Meio Poroso Insaturado (K): _____ m/s <small>Principal Agente Contaminante: Chorume</small>
LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO / ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE EFLUENTES - ETEs
Capacidade de Acumulação: _____ m³; População Atendida: _____ habitantes; Vazão Média Diária: _____ m³; Origem dos Efluentes: <input type="checkbox"/> Residenciais; <input type="checkbox"/> Comerciais; <input type="checkbox"/> Industriais; <input type="checkbox"/> Atividades Agropecuárias; <input type="checkbox"/> Hospitalares; Descrição do Processo de Tratamento: _____ _____ _____ Corpo d'Água Receptor: _____ Localização: UTM 23S _____ UTM E; _____ UTM N. <small>Principais Agentes Poluentes: Esgotos Sanitários e Efluentes Industriais.</small>
UNIDADES DE SAÚDE
<input type="checkbox"/> Hospitais Públicos; <input type="checkbox"/> Hospitais Particulares; <input type="checkbox"/> Postos de Saúde; <input type="checkbox"/> UPAs 24h; <input type="checkbox"/> Clínicas Médicas; <input type="checkbox"/> Clínicas Veterinárias; <input type="checkbox"/> Laboratórios de Análises Clínicas; <input type="checkbox"/> Outros _____ Destinação do Lixo Hospitalar: <input type="checkbox"/> Usina de Tratamento Própria; <input type="checkbox"/> Coleta Regular de Lixo Comum; <input type="checkbox"/> Aterro Sanitário; <input type="checkbox"/> Empresa de Coleta e Tratamento de Resíduos Hospitalares _____ Endereço: _____ Destinação das Águas Servidas e Esgotos Sanitários: <input type="checkbox"/> Rede de Coleta; <input type="checkbox"/> Fossa Séptica; <input type="checkbox"/> Fossa Rudimentar; <input type="checkbox"/> Outras _____ Capacidade Diária de Atendimento: _____ Pacientes. Observações Importantes sobre o Local: _____ _____ _____ _____ <small>Principais Agentes Contaminantes: Detergentes, Produtos Químicos e Contaminantes Biológicos</small>

CEMITÉRIOS, CREMATÓRIOS e IML	
Disposição dos Cadáveres: <input type="checkbox"/> Covas Rasas; <input type="checkbox"/> Covas Verticais (Gavetas superpostas); <input type="checkbox"/> Jazigos Perpétuos sobre o Solo; Descarte de Restos de Caixões, Roupas e Flores: <input type="checkbox"/> Incinerador; <input type="checkbox"/> Aterro Sanitário; <input type="checkbox"/> Lixão; <input type="checkbox"/> Triturador; <input type="checkbox"/> Outros _____	
Cemitério Implantado em Solo: <input type="checkbox"/> Arenoso; <input type="checkbox"/> Argiloso; <input type="checkbox"/> Argilo-arenoso; <input type="checkbox"/> Outros _____	
Descarte das Águas Utilizadas em Autópsias e Higienização de Corpos: <input type="checkbox"/> Rede de Esgotos; <input type="checkbox"/> Fossas Sépticas; <input type="checkbox"/> Fossas Rudimentares; <input type="checkbox"/> Drenagem; <input type="checkbox"/> Solo; <input type="checkbox"/> Outros _____	
Abastecimento d'Água: <input type="checkbox"/> CAEMA; <input type="checkbox"/> Odebrecht; <input type="checkbox"/> Prefeitura; <input type="checkbox"/> Poço Tubular; <input type="checkbox"/> Outros _____	
Principal Agente Poluente: Necrochorume	
POSTOS E DISTRIBUIDORAS DE COMBUSTÍVEIS, LAVAJATOS, OFICINAS MECÂNICAS, TROCAS DE ÓLEO	
Armazenamento dos Combustíveis -Tipologia dos Tanques: <input type="checkbox"/> Subterrâneo; <input type="checkbox"/> De Superfície; <input type="checkbox"/> Elevado; Formato: <input type="checkbox"/> Horizontal; <input type="checkbox"/> Vertical; Material Construtivo: <input type="checkbox"/> Aço com Soldas; <input type="checkbox"/> Plástico Reforçado com Fibra; <input type="checkbox"/> Aço Revestido com Acrílico Termoplástico;	
Capacidade de Armazenamento _____ m ³ (Total); Data de Instalação dos Tanques:	
1. <input type="checkbox"/> Gasolina Comum: _____ m ³ . ____/____/____; 2. <input type="checkbox"/> Gasolina Aditivada: _____ m ³ . ____/____/____; 3. <input type="checkbox"/> Gasolina Premium: _____ m ³ . ____/____/____; 4. <input type="checkbox"/> Etanol: _____ m ³ . ____/____/____; 5. <input type="checkbox"/> Diesel Comum - S500: _____ m ³ . ____/____/____; 6. <input type="checkbox"/> Diesel Comum - S10: _____ m ³ . ____/____/____;	
Atividades do Posto: <input type="checkbox"/> Combustíveis; <input type="checkbox"/> Venda/Troca de Óleos Lubrificantes; <input type="checkbox"/> Lavagem de Veículos; <input type="checkbox"/> Conveniência; <input type="checkbox"/> Restaurante/Churrascaria; <input type="checkbox"/> Hotel, Pousada ou Dormitório; <input type="checkbox"/> Venda de GLP; <input type="checkbox"/> Outros _____	
Destinação das Águas Servidas e Esgotos Sanitários: <input type="checkbox"/> Rede de Saneamento com ETE; <input type="checkbox"/> Rede de Saneamento sem ETE; <input type="checkbox"/> ETE Individual; <input type="checkbox"/> Fossa Séptica; <input type="checkbox"/> Fossa Rudimentar; <input type="checkbox"/> Solo; <input type="checkbox"/> Drenagem; <input type="checkbox"/> Outra _____	
Destinação de Óleos e Graxas Usados: <input type="checkbox"/> Indústria de Reciclagem; <input type="checkbox"/> Combustível em Fornos Industriais; <input type="checkbox"/> Descarte em Reservatórios de Acumulação Fracionada (Tambores); <input type="checkbox"/> Descarte em Rede de Esgotos; <input type="checkbox"/> Outra _____	
Destinação das Embalagens e Filtros de Óleo Automotivo: <input type="checkbox"/> Lixo Comum; <input type="checkbox"/> Empresa de Reciclagem Especializada em Tratamento de Resíduos Contaminados por Hidrocarbonetos; <input type="checkbox"/> Venda para Empresas de Reciclagem de Plásticos em Geral; Abastecimento d'Água: <input type="checkbox"/> Poço Tubular; <input type="checkbox"/> CAEMA; <input type="checkbox"/> Odebrecht Ambiental; <input type="checkbox"/> Prefeitura; <input type="checkbox"/> Outros _____	
Principais Agentes Poluentes: Hidrocarbonetos e derivados	
BARES, RESTAURANTES, LANCHONETES, SHOPPINGS E AFINS	
Localização: <input type="checkbox"/> Área com Rede de Esgotos + ETE; <input type="checkbox"/> Área com Rede de Esgotos, sem ETE; <input type="checkbox"/> Área Não Saneada; <input type="checkbox"/> Próxima a Rio, Riacho, Lagoa, Drenagem _____;	
Local de Descarte de Óleos Vegetais: <input type="checkbox"/> INDAMA*; <input type="checkbox"/> Rede de Esgotos; <input type="checkbox"/> Fossa Séptica; <input type="checkbox"/> Fossa Rudimentar; <input type="checkbox"/> Solo;	
Tipo da Atividade: <input type="checkbox"/> Bar; <input type="checkbox"/> Restaurante; <input type="checkbox"/> Lanchonete; <input type="checkbox"/> Shopping; <input type="checkbox"/> Supermercado; <input type="checkbox"/> Cozinha Hospitalar; <input type="checkbox"/> Hotel; <input type="checkbox"/> Pousada; <input type="checkbox"/> Motel; <input type="checkbox"/> Buffet; <input type="checkbox"/> Cozinha Industrial; <input type="checkbox"/> Clube; <input type="checkbox"/> Escola; <input type="checkbox"/> Creche; <input type="checkbox"/> Universidade;	
* INDAMA - Coleta de Óleos Saturados	
Principais Agentes Poluentes: Óleos Vegetais Saturados e Detergentes;	
EMPRESAS DE TRANSPORTES / FROTISTAS/ OFICINAS e CONCESSIONÁRIAS	
Tipologia: <input type="checkbox"/> Ônibus; <input type="checkbox"/> Rodoviário de Cargas; <input type="checkbox"/> Turismo; <input type="checkbox"/> Ferroviário; <input type="checkbox"/> Marítimo; <input type="checkbox"/> Aéreo; <input type="checkbox"/> Concessionárias; <input type="checkbox"/> Oficinas Mecânicas; <input type="checkbox"/> Polícia Civil; <input type="checkbox"/> Polícia Militar; <input type="checkbox"/> Guarda Municipal; <input type="checkbox"/> Corpo de Bombeiros; <input type="checkbox"/> Exército; <input type="checkbox"/> Marinha; <input type="checkbox"/> Aeronáutica; <input type="checkbox"/> Governo Federal; <input type="checkbox"/> Governo do Estado; <input type="checkbox"/> Prefeituras; <input type="checkbox"/> Construtoras; <input type="checkbox"/> Aeroclube;	
Atividades Poluentes: <input type="checkbox"/> Posto de Abastecimento; <input type="checkbox"/> Lavagem de Veículos; <input type="checkbox"/> Oficina Mecânica; <input type="checkbox"/> Troca de Óleo;	
Combustíveis: Volume Armazenado: _____ m ³ ; <input type="checkbox"/> Gasolina; <input type="checkbox"/> Óleo Diesel; <input type="checkbox"/> Etanol; <input type="checkbox"/> Querosene de Aviação;	
Descarte das Águas de Lavagem de Veículos: <input type="checkbox"/> Estação de Tratamento; <input type="checkbox"/> Rede de Esgotos; <input type="checkbox"/> Drenagem; <input type="checkbox"/> Rios, Riachos <input type="checkbox"/> Lagoas, Mar, outros Corpos Hídricos; <input type="checkbox"/> Solo;	
Descarte de Óleos Lubrificantes: <input type="checkbox"/> Empresa de Reciclagem;	
Descarte de Solventes e Combustíveis usados na Lavagem de Peças: <input type="checkbox"/> Rede de Esgotos; <input type="checkbox"/> Fossa; <input type="checkbox"/> Corpo Hídrico; <input type="checkbox"/> Drenagem; <input type="checkbox"/> Solo; <input type="checkbox"/> Outros _____	
Principais Agentes Poluentes: Hidrocarbonetos e derivados	

**Observações Importantes****CRÉDITOS**

Recenseador: _____ / Assinatura _____

Informante: _____ / Empresa/Órgão _____

Coordenador: Breno Augusto Beltrão - CPRM - SUREG-RE - Matr. 80.362.641 / Assinatura: _____

Data do Cadastro: ____/____/____

ANEXO 2

Dados dos poços inseridos
no Modelo Numérico

ANEXO 2: Dados dos poços inseridos no Modelo Numérico

Poço	X	Y	Z (m)	Prof. (m)	Q (m ³ /h)	Situação	Prof. dos Filtros
BE003	583192	9716337	16	80	97.5	Em Operação	43 a 63; 75 a 81
BE006	583405	9715653	29	160	102.85	Em Operação	62,02 a 72,67; 79,02 a 81,19; 85,45 a 104,62; 111 a 123,79; 130,18 a 153,61
BE007	583461	9716898	17	70	6.6	Em Operação	19 a 49; 57 a 65
BE008	583685	9716687	20	80	0	Paralisado	16 a 32; 40 a 44; 52 a 68; 72 a 76
BE010	582475	9715497	15	152	66	Em Operação	32 a 36; 40 a 44; 56 a 60; 64 a 72; 80 a 104; 112 a 148
BE011	582139	9715384	14	160	102	Em Operação	41 a 49; 61 a 65; 95 a 119; 125 a 149
BE012	588674	9718699	38	88	31	Em Operação	30 a 38; 50 a 58; 66 a 70; 74 a 86
BE013	588401	9718347	35	116	31	Em Operação	32 a 60; 72 a 76; 92 a 108
BE014	589261	9719629	35	70	31	Em Operação	23 a 41; 52 a 58; 64 a 70
BE021	586145	9717141	35	55	31	Em Operação	45 a 55 (estimado)
BE022	585978	9717155	41	65	31	Em Operação	55 a 65 (estimado)
BE023	585814	9717481	42	65	31	Em Operação	55 a 65 (estimado)
BE024	584307	9717821	21	135	31	Em Operação	125 a 135 (estimado)
BE026	584005	9719289	13	135	31	Em Operação	61,19 a 67,19; 79,59 a 85,59; 97,59 a 103,59; 109,59 a 121,59
BE027	584360	9719360	31	135	31	Em Operação	125 a 135 (estimado)
BE028	584503	9719121	37	135	31	Em Operação	125 a 135 (estimado)
BE029	584671	9718739	16	135	31	Em Operação	125 a 135 (estimado)
BE030	585347	9719790	25	114	31	Em Operação	34 a 42; 78 a 90; 94 a 106
BE031	582110	9724213	14	90	31	Em Operação	80 a 90 (estimado)
BE032	583781	9724905	26	73.9	27.31	Em Operação	27,40 a 31,40; 35,40 a 39,40; 43,40 a 59,40; 63,40 a 67,40
BE033	583787	9724613	24	44	31	Em Operação	15,50 a 23,50; 27,50 a 39,50
BE034	584236	9724335	32	101	31	Em Operação	26 a 30; 34 a 42; 48 a 52; 54 a 58; 64 a 68
BE035	584511	9724307	27	55	11	Em Operação	26 a 42
BE036	584193	9723540	31	135	31	Em Operação	125 a 135 (estimado)
BE037	584367	9723687	38	54	10.56	Em Operação	18 a 22; 26 a 34; 38 a 46
BE038	582597	9723418	22	80	31	Em Operação	28 a 32; 40 a 44; 52 a 64; 68 a 76
BE039	583144	9723034	29	135	31	Em Operação	125 a 135 (estimado)
BE040	583514	9723330	24	135	31	Em Operação	125 a 135 (estimado)
BE041	584094	9723334	38	135	31	Em Operação	125 a 135 (estimado)
BE042	584016	9722781	49	80	31	Em Operação	33 a 38; 50 a 74
BE043	584384	9721982	45	65	31	Em Operação	55 a 65 (estimado)
BE044	584388	9722131	45	75	31	Em Operação	65 a 75 (estimado)
BE045	584652	9722073	43	65	31	Em Operação	55 a 65 (estimado)
BE046	584454	9721704	52	75	31	Em Operação	65 a 75 (estimado)
BE047	584292	9721590	49	75	31	Em Operação	65 a 75 (estimado)
BE048	585043	9722393	39	65	31	Em Operação	55 a 65 (estimado)
BE049	586618	9722371	45	75	31	Em Operação	65 a 75 (estimado)
BE050	586662	9722524	47	75	31	Em Operação	65 a 75 (estimado)
BE051	586621	9722633	47	75	31	Em Operação	65 a 75 (estimado)
BE052	586492	9722985	45	61	31	Em Operação	34,90 a 44,11; 49,81 a 55,95
BE053	586331	9723399	40	144	31	Em Operação	57,50 a 83,50
BE054	586026	9723869	40	39	31	Em Operação	15 a 37
BE055	586318	9723938	47	80	31	Em Operação	26,40 a 34,40; 38 a 46,40; 58,40 a 62,40; 66,40 a 74,40
BE056	585205	9720313	44	65	31	Em Operação	55 a 65 (estimado)
BE057	578667	9720065	25	184	40	Em Operação	128 a 164
BE058	578121	9719888	30	170	45	Paralisado	68 a 80; 112 a 136
BE059	578948	9719734	19	200	18	Em Operação	124 a 136; 144 a 176
BE060	580002	9719966	16	200	35	Em Operação	136 a 160; 164 a 196
BE061	579661	9718568	20	181	60	Em Operação	105 a 125; 129 a 149
BE062	578846	9720296	27	135	31	Em Operação	125 a 135 (estimado)
BE063	578045	9719656	31	135	31	Em Operação	125 a 135 (estimado)
BE064	589163	9715322	59	180	31	Em Operação	60 a 76; 84 a 100; 128 a 176
BE065	588994	9714715	52	78	31	Em Operação	34 a 54; 64 a 66; 72 a 74
BE066	589086	9716058	49	75	0	Paralisado	65 a 75 (estimado)
BE067	588979	9716470	52	62	31	Em Operação	40 a 44; 52 a 60
BE068	589081	9716581	55	75	31	Em Operação	65 a 75 (estimado)
BE069	589972	9715878	49	60	0	Paralisado	22 a 52
BE070	590068	9715398	54	58	31	Em Operação	30 a 34; 38 a 54
BE071	589912	9715196	54	120	31	Em Operação	42 a 50; 54 a 66; 74 a 86; 90 a 98
BE072	590370	9715240	44	65	31	Em Operação	55 a 65 (estimado)
BE073	590734	9714598	37	65	31	Em Operação	55 a 65 (estimado)
BE074	591557	9713798	28	55	31	Em Operação	45 a 55 (estimado)
BE075	591219	9713864	34	55	31	Em Operação	45 a 55 (estimado)
BE076	589783	9714342	49	75	31	Em Operação	65 a 75 (estimado)
BE077	589549	9714251	52	75	31	Em Operação	65 a 75 (estimado)
BE078	589199	9714058	54	95	31	Em Operação	33 a 37; 41 a 45; 57 a 69; 77 a 93
BE079	590505	9714185	48	150	31	Em Operação	31 a 35; 43 a 72; 87 a 99; 111 a 119; 138 a 144
BE080	590193	9714254	51	136	31	Em Operação	126 a 136 (estimado)



Poço	X	Y	Z (m)	Prof. (m)	Q (m ³ /h)	Situação	Prof. dos Filtros
BE081	590825	9712631	55	150	31	Em Operação	42 a 62; 70 a 102; 134 a 145
BE082	590752	9712313	53	90	31	Em Operação	38 a 50; 70 a 86
BE083	590515	9712173	51	90	31	Em Operação	30,40 a 42,40; 50,40 a 54,40; 62,40 a 74,40; 78,40 a 84,40
BE084	590524	9712800	49	150	31	Em Operação	30 a 48; 66 a 84; 92 a 104
BE085	591048	9712908	49	75	31	Em Operação	65 a 75 (estimado)
BE086	591252	9712807	50	150	31	Em Operação	40 a 56; 72 a 84; 100 a 104; 112 a 116; 128 a 140
BE087	590247	9712354	55	75	31	Em Operação	65 a 75 (estimado)
BE088	590068	9712329	54	75	31	Em Operação	65 a 75 (estimado)
BE089	590031	9711893	48	75	31	Em Operação	65 a 75 (estimado)
BE090	589425	9712254	55	62	31	Em Operação	32 a 40; 44 a 56
BE091	588959	9713705	54	101	31	Em Operação	33-37; 41-45; 57-69; 77-93.
BE092	589083	9712976	47	72	31	Em Operação	34 a 46; 56 a 68
BE093	589302	9713464	54	75	31	Em Operação	65 a 75 (estimado)
BE094	589865	9713827	61	75	31	Em Operação	65 a 75 (estimado)
BE095	589275	9712952	49	90	31	Em Operação	30 a 34; 38 a 46; 50 a 58; 62 a 74
BE096	589155	9712530	54	75	31	Em Operação	65 a 75 (estimado)
BE097	588795	9712436	54	75	31	Em Operação	65 a 75 (estimado)
BE098	588013	9712082	46	75	31	Em Operação	65 a 75 (estimado)
BE099	587425	9711899	36	70	31	Em Operação	17 a 19; 27 a 35; 39 a 51; 55 a 57
BE100	588378	9712372	49	72	31	Em Operação	48 a 60
BE101	588757	9711819	58	79	31	Em Operação	39 a 43; 55 a 71
BE102	587992	9711699	45	75	31	Em Operação	65 a 75 (estimado)
BE103	588140	9711865	50	75	31	Em Operação	65 a 75 (estimado)
BE104	587140	9712366	52	92	31	Em Operação	24 a 28; 44 a 64; 72 a 88
BE105	586454	9712551	56	198	31	Em Operação	62 a 74; 78 a 86; 134 a 138; 142 a 154; 170 a 190
BE106	586205	9712660	61	111,5	31	Em Operação	39,50 a 51,50; 63,50 a 87,50; 95,50 a 99,50
BE107	585509	9712772	61	100	31	Em Operação	90 a 100 (estimado)
BE108	585399	9713250	52	203	31	Em Operação	79 a 91; 95 a 103; 119 a 127; 143 a 151; 159 a 163; 179 a 183; 191 a 195
BE109	585205	9713010	56	120	31	Em Operação	48 a 56; 64 a 88; 92 a 97
BE110	585136	9712700	59	112,5	31	Em Operação	38,5 a 54,5; 62,5 a 90,50; 106,5 a 110,5
BE111	585429	9712606	52	112	10,58	Em Operação	56 a 80; 84 a 112.
BE112	585717	9713003	59	75	31	Em Operação	65 a 75 (estimado)
BE113	586943	9713201	54	90	31	Em Operação	34 a 42; 46 a 54; 62 a 70; 78 a 86
BE114	586977	9715301	31	78	16,5	Em Operação	34 a 54; 64 a 66; 68 a 70; 72 a 74
BE115	586569	9715492	40	80	31	Em Operação	32 a 56; 60 a 64; 72 a 76
BE116	586460	9715521	42	65	0	Paralisado	55 a 65 (estimado)
BE117	586656	9715226	34	73,5	31	Em Operação	32 a 50; 58 a 70
BE118	586942	9715712	40	71	90	Em Operação	42 a 66
BE119	586959	9716068	43	65	31	Em Operação	55 a 65 (estimado)
BE120	586650	9716039	50	75	31	Em Operação	65 a 75 (estimado)
BE121	586211	9716167	53	80	31	Em Operação	70 a 80 (estimado)
BE122	586542	9716353	49	75	31	Em Operação	65 a 75 (estimado)
BE123	586849	9716467	53	65	31	Em Operação	34 a 42; 46 a 54
BE124	587143	9716530	44	84	31	Em Operação	28 a 34; 38 a 64
BE125	587417	9716577	35	76	31	Em Operação	20 a 48; 52 a 56; 68 a 72
BE126	584992	9712119	50	100	5,49	Em Operação	28 a 36; 56 a 80
BE127	585277	9711589	43	123	31	Em Operação	44 a 52; 56 a 64; 72 a 76; 84 a 92; 104 a 116
BE128	585104	9711575	32	90	31	Em Operação	40,44 a 44,44; 48,44 a 56,44; 64,44 a 68,44; 76,44 a 84,44
BE129	583499	9711338	51	68	0	Paralisado	28 a 40; 44 a 48; 64 a 66
BE130	584159	9710292	25	110	31	Em Operação	36 a 40; 56 a 60; 72 a 76; 88 a 106
BE131	584712	9710441	18	135	31	Em Operação	125 a 135 (estimado)
BE132	584382	9711092	11	78	31	Em Operação	16 a 20; 40 a 58; 66 a 70
BE134	585594	9717043	48	60	31	Em Operação	16,02 a 19,24; 36,24 a 45,02
BE135	584099	9715320	51	120	50	Não Instalado	27 a 39; 51 a 57
BE136	582159	9710983	42	80	31	Em Operação	70 a 80 (estimado)
BE137	582439	9710327	40	80	31	Em Operação	57,64 a 72,93
BE138	581373	9719256	21	60	31	Em Operação	28 a 40
BE139	581476	9708892	34	53	31	Em Operação	29 a 47
BE140	580403	9707577	38	80	31	Em Operação	24 a 44; 56 a 72
BE141	580093	9708853	29	135	31	Em Operação	125 a 135 (estimado)
BE142	578343	9709860	18	135	0	Paralisado	125 a 135 (estimado)
BE143	578696	9708193	42	135	31	Em Operação	125 a 135 (estimado)
BE144	578472	9708241	29	90	31	Em Operação	80 a 90 (estimado)
BE145	580208	9708303	28	57	31	Em Operação	21 a 33; 45 a 51
BE146	579971	9707520	41	90	31	Em Operação	40 a 50; 66 a 86
BE147	572648	9696927	27	96	0	Paralisado	22 a 30; 38 a 50; 54 a 66; 70 a 78
BE148	572860	9697169	23	90	0	Paralisado	14 a 22; 46 a 50; 58 a 74; 78 a 86
BE149	580571	9704470	25	45	31	Em Operação	40 a 45 (estimado)
BE150	580671	9704061	15	135	31	Em Operação	125 a 135 (estimado)
BE151	587266	9711985	35	108	31	Em Operação	12 a 18; 24 a 36; 42 a 60
BE152	586751	9701523	25	80	31	Em Operação	20 a 28; 32 a 40; 48 a 56; 68 a 76

Poço	X	Y	Z (m)	Prof. (m)	Q (m3/h)	Situação	Prof. dos Filtros
BE153	582986	9708560	35	100	40	Paralisado	75 a 87; 91 a 107
BE154	583269	9708407	34	108	50	Em Operação	39 a 47; 51 a 55; 67 a 75; 79 a 91; 95 a 99
BE155	587215	9714889	37	100	31	Em Operação	39 a 43; 47 a 51; 63 a 79; 91 a 95
BE156	588710	9714001	55	75	0	Paralisado	65 a 75 (estimado)
BE157	589835	9719243	31	63	9	Em Operação	53 a 63 (estimado)
BE158	589770	9717277	43	43.9	17.2	Em Operação	38.809 a 43.809 (estimado)
BE159	589488	9719353	30	32	0	Não Instalado	27 a 32 (estimado)
BE160	589007	9712128	61	75	9	Em Operação	65 a 75 (estimado)
BE161	594433	9719539	56	96.6	30.6	Em Operação	86.509 a 96.509 (estimado)
BE162	595146	9720503	38	87.5	9	Em Operação	77.5 a 87.5 (estimado)
BE163	590869	9716001	51	77	9	Em Operação	67 a 77 (estimado)
BE164	591530	9718246	51	75	9	Em Operação	65 a 75 (estimado)
BE165	590709	9716035	46	75	9	Em Operação	65 a 75 (estimado)
BE166	590525	9715770	51	70	26.8	Em Operação	34,40 a 69,80
BE167	594812	9717234	34	80	34.6	Em Operação	70 a 80 (estimado)
BE168	588778	9717719	27	44	9	Em Operação	39 a 44 (estimado)
BE169	588575	9717819	26	76	9	Em Operação	66 a 76 (estimado)
BE170	589559	9725053	42	60	0	Paralisado	50 a 60 (estimado)
BE171	590524	9726051	42	64	9	Em Operação	54 a 64 (estimado)
BE172	587778	9722259	31	95	16.2	Em Operação	85 a 95 (estimado)
BE173	587886	9721503	38	120	14.3	Em Operação	36 a 48; 60 a 64; 70 a 74; 80 a 94
BE174	575573	9695448	21	80	4.5	Em Operação	70 a 80 (estimado)
BE175	594140	9722386	40	60	7.5	Em Operação	50 a 60 (estimado)
BE176	594682	9721636	37	65	0	Paralisado	55 a 65 (estimado)
BE177	594503	9718536	36	73	7.5	Em Operação	63 a 73 (estimado)
BE179	594582	9718165	42	90	7.5	Em Operação	80 a 90 (estimado)
BE180	588902	9718337	29	55	35	Em Operação	45 a 55 (estimado)
BE181	588348	9718104	31	55	9	Em Operação	45 a 55 (estimado)
BE182	595376	9703609	12	49	4.5	Em Operação	44 a 49 (estimado)
BE183	593425	9705272	13	40	4.5	Em Operação	35 a 40 (estimado)
BE184	593447	9705668	17	45	4.5	Em Operação	40 a 45 (estimado)
BE185	593391	9706101	21	18	4.5	Em Operação	15 a 18 (estimado)
BE186	593442	9706195	26	24	1		19 a 24 (estimado)
BE187	593930	9706223	40	50	4	Em Operação	45 a 50 (estimado)
BE188	594120	9706295	44	66	4.5	Em Operação	56 a 66 (estimado)
BE189	594069	9705793	29	28	4.5	Em Operação	23 a 28 (estimado)
BE190	593588	9705865	20	16.5	27	Em Operação	13.5 a 16.5 (estimado)
BE191	593460	9705801	16	80	0	Não Instalado	70 a 80 (estimado)
BE192	593407	9705496	12	45	4.5	Em Operação	40 a 45 (estimado)
BE193	593458	9705457	16	45	4.5	Em Operação	40 a 45 (estimado)
BE194	593439	9705360	13	45	0	Não Instalado	40 a 45 (estimado)
BE195	594237	9704731	44	60	0	Paralisado	50 a 60 (estimado)
BE197	594784	9704912	33	13	4.5	Em Operação	11 a 13 (estimado)
BE198	593376	9705649	17	45	0	Não Instalado	40 a 45 (estimado)
BE199	592914	9707298	22	42	4.5	Em Operação	37 a 42 (estimado)
BE200	592187	9707761	34	42	6	Em Operação	37 a 42 (estimado)
BE201	591831	9707489	24	35	4.5	Em Operação	30 a 35 (estimado)
BE202	592929	9710190	14	60	4.5	Em Operação	50 a 60 (estimado)
BE203	575509	9718157	21	107	4.5	Em Operação	97 a 107 (estimado)
BE204	603920	9721563	12	21	7.5	Em Operação	16 a 21 (estimado)
BE205	603967	9721459	15	30	7.5	Em Operação	25 a 30 (estimado)
BE207	603049	9721485	15	40	7.5	Em Operação	16 a 24; 28 a 36
BE208	605978	9724809	4	18	7.5	Em Operação	15 a 18 (estimado)
BE209	606076	9725229	2	12	7.5	Em Operação	10 a 12 (estimado)
BE210	604878	9720399	28	58	0	Paralisado	48 a 58 (estimado)
BE211	605091	9720621	20	28	7.5	Em Operação	23 a 28 (estimado)
BE212	605543	9721352	27	45	7.5	Em Operação	40 a 45 (estimado)
BE213	605656	9721451	26	45	7.5	Em Operação	40 a 45 (estimado)
BE214	607037	9721832	12	3	7.5	Em Operação	2 a 3 (estimado)
BE216	606507	9720920	31	45	7.5	Em Operação	40 a 45 (estimado)
BE217	607577	9720791	31	44	3	Em Operação	39 a 44 (estimado)
BE218	607894	9721040	29	51	2.5	Em Operação	41 a 51 (estimado)
BE219	605225	9720358	28	43	7.5	Em Operação	38 a 43 (estimado)
BE220	605159	9719897	13	17	7.5	Em Operação	14 a 17 (estimado)
BE221	607202	9724063	22	45	7.5	Em Operação	40 a 45 (estimado)
BE222	606764	9723767	7	7	7.5	Em Operação	6 a 7 (estimado)
BE223	606549	9723847	6	8	7.5	Em Operação	7 a 8 (estimado)
BE224	607134	9723664	13	8.7	7.5	Em Operação	7.6099 a 8.6099 (estimado)
BE225	607272	9723638	17	36	7.5	Em Operação	31 a 36 (estimado)
BE226	607559	9722673	14	45	7.5	Em Operação	40 a 45 (estimado)
BE227	606417	9725362	2	4.8	0	Paralisado	3.8 a 4.8 (estimado)



Poço	X	Y	Z (m)	Prof. (m)	Q (m3/h)	Situação	Prof. dos Filtros
BE228	606225	9725533	2	16	0	Paralisado	13 a 16 (estimado)
BE229	606656	9724716	21	45	9	Em Operação	40 a 45 (estimado)
BE230	605826	9721965	23	52	7.5	Em Operação	42 a 52 (estimado)
BE231	605454	9722823	5	18	7.5	Em Operação	15 a 18 (estimado)
BE232	606825	9717810	39	80	7.5	Em Operação	70 a 80 (estimado)
BE233	578850	9720219	29	45	4.5	Em Operação	40 a 45 (estimado)
BE234	604384	9720580	20	21	7.5	Em Operação	16 a 21 (estimado)
BE235	604465	9720835	8	45	0	Não Instalado	40 a 45 (estimado)
BE236	606871	9724641	10	60	7.5	Em Operação	50 a 60 (estimado)
BE237	575514	9718157	21	107	4.5	Em Operação	59 a 71; 79 a 103
BE238	584188	9707530	31	30	0	Não Instalado	25 a 30 (estimado)
BE239	584189	9707533	28	30	0	Não Instalado	25 a 30 (estimado)
BE240	584307	9707719	14	30	0	Não Instalado	25 a 30 (estimado)
BE241	584305	9707723	14	30	0	Não Instalado	25 a 30 (estimado)
BE242	584276	9707723	18	30	0	Não Instalado	25 a 30 (estimado)
BE243	584276	9707873	12	30	0	Não Instalado	25 a 30 (estimado)
BE244	584691	9707602	25	30	0	Não Instalado	25 a 30 (estimado)
BE245	584692	9707599	25	30	0	Não Instalado	25 a 30 (estimado)
BE246	584643	9707182	34	30	0	Não Instalado	25 a 30 (estimado)
CG001	575123	9696102	37	34	4.5	Em Operação	29 a 34 (estimado)
CG002	575416	9695148	18	12	4.5	Em Operação	10 a 12 (estimado)
CG003	572405	9697285	31	23	4.5	Em Operação	18 a 23 (estimado)
CG004	572207	9697575	22	8	0	Não Instalado	7 a 8 (estimado)
CG005	571780	9697819	24	15	4.5	Em Operação	13 a 15 (estimado)
CG006	571475	9697947	21	72	3.05	Em Operação	16 a 24; 28 a 32; 40 a 44; 48 a 64
CG007	571675	9697652	23	74	2.5	Em Operação	64 a 74 (estimado)
CG008	572446	9697219	32	40	4.5	Em Operação	35 a 40 (estimado)
CG009	571696	9697835	23	48	3	Em Operação	43 a 48 (estimado)
CG010	570970	9698741	10	7	0	Não Instalado	6 a 7 (estimado)
CG011	571316	9698315	27	54	4.5	Em Operação	44 a 54 (estimado)
CG012	570529	9698748	21	19.5	4.5	Em Operação	16.5 a 19.5 (estimado)
CG013	570437	9698773	21	22	0	Não Instalado	17 a 22 (estimado)
CG014	570397	9698826	23	23	4.5	Em Operação	18 a 23 (estimado)
CG015	568641	9701778	26	60	4.5	Em Operação	50 a 60 (estimado)
CG016	568855	9701724	30	45	4.5	Em Operação	40 a 45 (estimado)
CG017	568988	9701426	29	60	4.5	Em Operação	50 a 60 (estimado)
CG018	571936	9697935	24	30	4.5	Em Operação	25 a 30 (estimado)
CG019	572035	9698056	19	24	4.5	Em Operação	19 a 24 (estimado)
CG020	583750	9701510	26	24	4.5	Em Operação	19 a 24 (estimado)
CG021	584077	9701471	21	24	0	Não Instalado	19 a 24 (estimado)
CG022	584351	9701835	28	87	0	Não Instalado	77 a 87 (estimado)
CG023	584234	9701692	21	15	0	Não Instalado	13 a 15 (estimado)
CG024	584184	9701442	21	11	4.5	Em Operação	9 a 11 (estimado)
CG025	584130	9701334	25	25	4.5	Em Operação	20 a 25 (estimado)
CG026	585021	9701032	36	33	4.5	Em Operação	28 a 33 (estimado)
CG027	586013	9706960	27	68	4.5	Em Operação	58 a 68 (estimado)
CG028	585849	9707721	27	69	1	Em Operação	59 a 69 (estimado)
CG029	585837	9704890	24	94	2	Paralisado	84 a 94 (estimado)
CG030	585527	9704983	18	18	4.5	Em Operação	15 a 18 (estimado)
CG031	585498	9705145	24	18	4.5	Em Operação	15 a 18 (estimado)
CG032	585101	9704850	11	12	4.5	Em Operação	10 a 12 (estimado)
CG033	582165	9706431	27	25	4.5	Em Operação	20 a 25 (estimado)
CG034	582623	9705567	27	30	4.5	Em Operação	25 a 30 (estimado)
CG035	582655	9705160	22	150	4.5	Em Operação	140 a 150 (estimado)
CG036	582776	9704592	17	25	4.5	Em Operação	20 a 25 (estimado)
CG037	584311	9705902	22	24	0	Não Instalado	19 a 24 (estimado)
CG038	586332	9704921	22	30	0	Não Instalado	25 a 30 (estimado)
CG039	594900	9723738	13	60	7.5	Em Operação	50 a 60 (estimado)
CG040	596202	9723765	19	18	7.5	Em Operação	15 a 18 (estimado)
CG041	595860	9723994	21	85	15	Em Operação	75 a 85 (estimado)
CG042	598035	9723360	18	18	7.5	Em Operação	15 a 18 (estimado)
CG043	596919	9724906	9	18	7.5	Em Operação	15 a 18 (estimado)
CG044	597405	9720951	40	54	7.5	Em Operação	44 a 54 (estimado)
CG045	597364	9719783	29	45	7.5	Em Operação	40 a 45 (estimado)
CG046	601068	9720848	11	18	7.5	Em Operação	15 a 18 (estimado)
CG049	603879	9723427	12	17	7.5	Em Operação	14 a 17 (estimado)
FS001	583135	9716431	18	66.3	102	Em Operação	11,28 a 27,28; 31,28 a 35,28; 39,28 a 51,28; 59,28 a 63,28
FS012	581148	9714325	26	156	39.6	Em Operação	38 a 46; 50 a 58; 82 a 86; 94 a 98; 114 a 134; 138 a 154
FS014	580801	9715174	17	142.51	15	Paralisado	64 a 68; 78 a 90; 114 a 136; 140 a 160; 168 a 172
FS015	581257	9715193	15	160	31.6	Em Operação	50 a 54; 68 a 74; 84 a 90; 104 a 112; 116 a 132; 136 a 152
FS016	581670	9715204	22	180	90	Em Operação	103 a 111; 119 a 159; 167 a 179



Poço	X	Y	Z (m)	Prof. (m)	Q (m3/h)	Situação	Prof. dos Filtros
FS017	587900	9716749	28	37	20.84	Em Operação	14 a 18 ; 24 a 30; 32 a 36
FS018	587826	9716316	30	54	24	Não Instalado	32 a 44
FS019	587773	9715809	32	49	31	Em Operação	30 a 46
FS020	587641	9715517	31	80	90	Paralisado	24 a 44; 48 a 52; 72 a 76
FS021	587656	9714419	34	46	22.63	Paralisado	28 a 40
FS022	587712	9714770	34	81	31	Em Operação	21 a 37; 45 a 57; 61 a 73
FS023	587618	9715081	31	49	31	Em Operação	30 a 46
FS024	587748	9715354	34	80	150	Não Instalado	70 a 80 (estimado)
FS025	587963	9715415	35	79.55	150	Não Instalado	69.540 a 79.540 (estimado)
FS026	587755	9717361	29	80	27.31	Em Operação	16 a 32; 44 a 52; 64 a 72
FS027	587708	9717544	33	55	0	Paralisado	45 a 55 (estimado)
FS028	587243	9715527	28	58	0	Paralisado	32,60 a 51,50
FS029	590639	9719251	23	52	87.8	Em Operação	29,55 a 41,55
FS030	590373	9719115	26	50	240	Em Operação	29,93 a 41,93
FS031	590170	9718775	23	50	150	Paralisado	15,93 a 18,93; 26,95 a 29,95; 38 a 44
FS032	589971	9718643	24	50	31	Em Operação	29 a 41
FS033	589596	9718157	26	46	31	Em Operação	19 a 42
FS034	589632	9718240	25	80	31	Em Operação	24 a 44; 60 a 72
GP004	583084	9716035	21	166.67	2.8	Paralisado	50 a 52; 78 a 82; 95 a 103; 107 a 118; 120 a 140; 146 a 162
GP009	582890	9715955	20	180	11	Em Operação	44 a 52; 76 a 80; 104 a 112; 116 a 124; 128 a 136; 140 a 148; 152 a 160; 164 a 172
GP016	589224	9720152	46	93	31	Em Operação	28 a 46; 54 a 58; 70 a 74; 78 a 88
GP017	588274	9719505	50	68	31	Em Operação	31 a 51
GP018	587802	9719812	42	100	35	Em Operação	90 a 100 (estimado)
GP019	586624	9719840	44	162	31	Em Operação	28 a 36; 44 a 56; 78 a 80; 94 a 100; 134 a 158
JA001	575643	9714301	9	128	44	Em Operação	135 a 167
JA002	576211	9712142	23	123	22	Em Operação	78 a 94; 102 a 122,6
JA003	576831	9711360	15	151	39.66	Em Operação	76 a 82; 91 a 103; 124 a 138
JA004	574556	9716014	29	131.4	9.54	Em Operação	45,40 a 51,40; 63,40 a 69,40; 73,40 a 85,40; 89,40 a 95,40; 111,40 a 117,40; 121,40 a 127,40
JA005	574029	9714082	22	136	30	Em Operação	76 a 83; 87 a 95; 99 a 11; 115 a 124
JA006	575721	9713778	30	118	28.85	Em Operação	24 a 30; 58 a 62; 74 a 82; 98 a 106
JA007	574203	9715654	22	150	34.6	Em Operação	139,38 a 140
JA008	574556	9716014	29	170	42.55	Em Operação	134 a 167
JA009	573329	9715818	42	85	6.38	Em Operação	42 a 85
JA010	574155	9716265	34	130	30	Em Operação	120 a 130 (estimado)
JA011	594498	9715000	43	68	20	Em Operação	32 a 48; 58 a 64
JA012	599006	9721889	30	75	19.8	Em Operação	42 a 46; 50 a 56; 64 a 72
JA013	592331	9716806	35	60	16	Em Operação	29,60 a 53,60
JA014	594860	9715072	35	57	24.95	Em Operação	22,70 a 57
JA015	595002	9715186	27	50	20	Em Operação	13 a 29; 41 a 47
JA016	573018	9700542	30	66	38.35	Em Operação	17,50 a 29,50; 32,50 a 38,50; 50,50 a 56,50
JA017	573182	9701099	20	50	53.5	Em Operação	11 a 17; 20 a 32
JA018	572251	9700148	26	50	7.76	Em Operação	13 a 29; 41 a 47
JA019	572773	9701130	24	47	30.5	Em Operação	15 a 23; 24 a 29; 34 a 39
JA020	572361	9700641	30	198	35	Em Operação	19 a 31; 35 a 41; 53 a 59
JA021	573151	9700817	32	53	50.94	Em Operação	19 a 31,50; 35,50 a 41,50; 45,50 a 47,50
JA022	573308	9700276	40	50	35	Em Operação	45 a 50 (estimado)
JA023	573966	9700219	33	50	35	Em Operação	45 a 50 (estimado)
JA024	575568	9700277	27	50	35	Em Operação	45 a 50 (estimado)
JA025	574447	9699890	40	50	35	Em Operação	45 a 50 (estimado)
JA026	574420	9700345	32	50	35	Em Operação	45 a 50 (estimado)
JA027	576516	9699073	31	50	35	Em Operação	45 a 50 (estimado)
JA028	577240	9699242	40	38	35	Em Operação	30,10 a 34,10
JA029	577241	9699641	38	26	35	Em Operação	12,44 a 21,44
JA030	575176	9715136	25	140	50.42	Em Operação	91,02 a 103,29; 115,45 a 133,95
LA001	592292	9727470	46	75	0	Paralisado	65 a 75 (estimado)
LA002	592302	9727472	46	67	9	Em Operação	57 a 67 (estimado)
LA003	593959	9728411	17	49	17	Em Operação	44 a 49 (estimado)
LA004	593925	9728346	19	64.5	8.6	Em Operação	54.5 a 64.5 (estimado)
LA005	593321	9727826	39	80	20	Em Operação	70 a 80 (estimado)
LA006	593946	9727277	22	28	3.5	Em Operação	23 a 28 (estimado)
LA007	592899	9727393	48	72	9	Em Operação	62 a 72 (estimado)
LA008	593645	9727378	29	60	10	Não Instalado	50 a 60 (estimado)
LA009	593992	9726645	41	60	10	Em Operação	50 a 60 (estimado)
LA010	593458	9725984	43	55	7.5	Em Operação	45 a 55 (estimado)
LA011	593212	9726035	40	60	7.5	Em Operação	50 a 60 (estimado)
LA012	593007	9726860	39	80	9	Em Operação	70 a 80 (estimado)
LA013	592649	9726836	50	75	9	Em Operação	65 a 75 (estimado)
LA014	592642	9726391	44	74	9	Em Operação	64 a 74 (estimado)
LA015	591349	9726628	48	73	7.5	Em Operação	63 a 73 (estimado)
LA016	591408	9726600	49	96	4.8	Em Operação	32 a 44; 48 a 60; 68 a 80; 88 a 92

Poço	X	Y	Z (m)	Prof. (m)	Q (m ³ /h)	Situação	Prof. dos Filtros
LA017	591530	9726771	49	76	7.33	Em Operação	39 a 43; 47 a 55; 59 a 63; 71 a 75
LA018	577398	9722142	14	50	0	Paralisado	32,5 a 44,5
LA019	579634	9723394	11	32	2.6	Em Operação	8 a 12; 16 a 20; 24 a 28
LA021	579566	9723413	14	60	0	Paralisado	50 a 60 (estimado)
LA022	579635	9723586	13	80	64	Em Operação	70 a 80 (estimado)
LA023	579601	9723945	16	72	7.5	Em Operação	62 a 72 (estimado)
LA025	578389	9724440	6	20.6	4.5	Em Operação	6,60 a 16,60
LA026	579749	9724552	35	85	4.8	Em Operação	75 a 85 (estimado)
LA028	577698	9724798	11	48	1.6	Em Operação	43 a 48 (estimado)
LA029	583930	9717634	20	215.5	4.5	Em Operação	119 a 127; 131 a 135; 139 a 147; 159 a 179; 195 a 215
LA030	584107	9717995	15	30	4.5	Em Operação	25 a 30 (estimado)
LA031	583356	9717700	21	60	4.5	Em Operação	50 a 60 (estimado)
LA032	583499	9717626	19	61	2.13	Em Operação	35 a 57
LA033	582438	9718004	38	60	7	Em Operação	50 a 60 (estimado)
LA034	582554	9716667	21	112	4.5	Em Operação	10 a 15; 34 a 48; 76,60 a 89,60
LA035	583026	9718585	35	45	4.5	Em Operação	40 a 45 (estimado)
LA036	577656	9706172	23	90	7	Em Operação	24 a 64
LA037	577488	9706437	19	86	15	Em Operação	20 a 60
LA038	573263	9706031	16	46	1.7	Em Operação	41 a 46 (estimado)
LA039	577340	9706686	24	38	7.2	Em Operação	33 a 38 (estimado)
LA040	577047	9707737	30	60	9	Em Operação	26 a 34; 46 a 54; 66 a 74; 82 a 86
LA041	576983	9707914	24	60	2.87	Em Operação	50 a 60 (estimado)
LA042	577236	9707607	26	60	8.91	Em Operação	15 a 27; 31 a 39; 47 a 51
LA043	576325	9708476	38	68	12	Em Operação	58 a 68 (estimado)
LA044	574504	9713110	31	64	4.5	Em Operação	54 a 64 (estimado)
LA045	574646	9712818	24	60	4.5	Em Operação	50 a 60 (estimado)
LA046	576306	9708865	22	59	7	Em Operação	49 a 59 (estimado)
LA047	591595	9726242	47	78.8	38.9	Em Operação	24 a 32; 44 a 60; 72 a 76
LA048	591431	9725879	42	82	12	Em Operação	72 a 82 (estimado)
LA049	591136	9724740	30	67	12.5	Em Operação	41 a 49; 53 a 61; 77 a 85; 89 a 97; 101 a 109
LA050	590843	9724767	33	55	9	Em Operação	45 a 55 (estimado)
LA051	591156	9724246	20	80	9	Em Operação	70 a 80 (estimado)
LA052	591622	9723952	14	45	5	Em Operação	40 a 45 (estimado)
LA053	589516	9725052	43	76.2	0	Paralisado	66.2 a 76.2 (estimado)
LA054	588663	9723583	26	128	9	Em Operação	118 a 128 (estimado)
LA055	588081	9723141	33	55	9	Em Operação	45 a 55 (estimado)
LA056	588761	9724463	34	60	9	Em Operação	50 a 60 (estimado)
LA057	587900	9725366	25	55	8	Em Operação	45 a 55 (estimado)
LA058	587610	9725692	24	60	9	Em Operação	50 a 60 (estimado)
LA059	587748	9725131	39	65	9	Em Operação	55 a 65 (estimado)
LA060	588040	9725194	26	55	9	Em Operação	45 a 55 (estimado)
LA061	588479	9724832	24	55	0	Paralisado	45 a 55 (estimado)
LA062	588580	9724412	42	76	9	Em Operação	66 a 76 (estimado)
LA063	588633	9724415	40	100	9	Em Operação	16 a 32
LA064	586903	9724333	39	92	30	Em Operação	82 a 92 (estimado)
LA065	588971	9726389	52	60	7.5	Em Operação	50 a 60 (estimado)
LA066	588870	9726359	50	80	8.3	Paralisado	70 a 80 (estimado)
LA067	589601	9726485	46	65	7.5	Em Operação	55 a 65 (estimado)
LA068	589590	9726616	41	55	7.5	Em Operação	45 a 55 (estimado)
LA069	590516	9726618	41	60	6	Em Operação	50 a 60 (estimado)
LA070	590352	9726776	36	54	9	Em Operação	44 a 54 (estimado)
LA071	590336	9726911	26	100	10	Em Operação	90 a 100 (estimado)
LA072	589496	9717694	37	101	16.5	Em Operação	91 a 101 (estimado)
LA073	589455	9717738	35	75.8	37	Em Operação	65.709 a 75.709 (estimado)
LA074	580295	9718072	12	80	9	Em Operação	70 a 80 (estimado)
LA075	589558	9717886	33	56.6	22.2	Em Operação	34 a 62; 70 a 78
LA076	589978	9717726	34	60	220	Em Operação	50 a 60 (estimado)
LA077	590486	9717970	33	55	9	Em Operação	45 a 55 (estimado)
LA078	590387	9718320	37	81	9	Em Operação	71 a 81 (estimado)
LA079	590173	9718087	34	66	9	Em Operação	56 a 66 (estimado)
LA080	589846	9718380	25	90	10	Em Operação	80 a 90 (estimado)
LA081	589809	9718428	25	94.2	10.4	Em Operação	84.2 a 94.2 (estimado)
LA082	592838	9723409	13	45	9	Em Operação	40 a 45 (estimado)
LA083	592369	9722452	36	59.4	27	Em Operação	49.309 a 59.309 (estimado)
LA084	592768	9722464	36	65	9	Em Operação	55 a 65 (estimado)
LA085	592352	9721960	41	65	9	Em Operação	55 a 65 (estimado)
LA086	593724	9721977	43	65	9	Em Operação	55 a 65 (estimado)
LA087	593031	9721171	36	65	9	Em Operação	55 a 65 (estimado)
LA088	593242	9720489	33	55	9	Em Operação	45 a 55 (estimado)
LA089	593351	9720289	36	66.5	9	Em Operação	56.5 a 66.5 (estimado)
LA090	593222	9720153	43	66	10.5	Em Operação	56 a 66 (estimado)

Poço	X	Y	Z (m)	Prof. (m)	Q (m3/h)	Situação	Prof. dos Filtros
LA091	591729	9721148	18	47	7.5	Em Operação	42 a 47 (estimado)
LA092	592043	9720545	20	60	4.5	Em Operação	50 a 60 (estimado)
LA093	592335	9720521	26	60	11	Em Operação	50 a 60 (estimado)
LA094	592867	9720416	35	55	9	Em Operação	45 a 55 (estimado)
LA095	592896	9720237	43	65	9	Em Operação	55 a 65 (estimado)
LA096	592843	9720149	43	65	0	Paralisado	55 a 65 (estimado)
LA097	592978	9720052	48	60	9	Em Operação	28 a 36; 40 a 52
LA098	593056	9719907	50	74	7.5	Em Operação	64 a 74 (estimado)
LA099	593326	9719749	51	80	9	Em Operação	32 a 34; 38 a 60
LA100	593685	9719951	47	78.1	29	Em Operação	36 a 40; 48 a 58; 60 a 68; 72 a 80
LA101	592955	9719608	48	83	9	Em Operação	40 a 56; 60 a 62; 70 a 72
LA102	592759	9719446	44	72	9	Em Operação	23,7 a 37,1; 36,2 a 44,1; 51,8 a 60,2; 64,2 a 68
LA103	592948	9719282	47	60	9.42	Em Operação	50 a 60 (estimado)
LA104	592869	9718783	43	80	31.2	Em Operação	40 a 48; 56 a 76
LA105	592767	9718866	47	73	30	Em Operação	34,7 a a 46,4; 54,3 a 66
LA106	592403	9719115	42	128	61.2	Em Operação	46 a 65,4; 77,8 a 93,5
LA107	592436	9718675	51	65.2	30.4	Em Operação	31 a 55; 63 a 71
LA108	592601	9718589	45	64.2	9	Em Operação	14,9 a 46,6
LA109	592203	9718451	53	84	142.8	Em Operação	47,8 a 61,1; 69,2 a 74,8
LA110	591923	9718293	56	77.2	35.7	Em Operação	29,4 a 38,3; 49,8 a 57,8; 72,8 a 77,2
LA111	591878	9717966	52	73	9	Em Operação	63 a 73 (estimado)
LA112	592362	9717959	47	140	40.8	Em Operação	41,3 a 43,5; 49,5 a 53,6; 59,6 a 65,6; 71,8 a 83,8; 88 a 96; 98 a 110
LA113	591819	9718686	42	128	9	Em Operação	118 a 128 (estimado)
LA114	591992	9719201	40	130	17.5	Em Operação	43,7 a 59,2; 67 a 69,7; 75 a 76,9; 80,7 a 92,6
LA114-A	584557	9725259	11	135	31	Em Operação	125 a 135 (estimado)
LA115	587628	9702663	14	34	3	Em Operação	29 a 34 (estimado)
LA116	583218	9698424	15	58	12	Paralisado	48 a 58 (estimado)
LA117	583425	9698781	24	85	26	Paralisado	75 a 85 (estimado)
LA118	584316	9699448	36	94	4.5		84 a 94 (estimado)
LA119	584180	9699638	24	7	0	Não Instalado	6 a 7 (estimado)
LA120	583732	9700651	49	60	4.5		50 a 60 (estimado)
LA121	582932	9698125	8	40	8.5	Em Operação	35 a 40 (estimado)
LA122	583002	9698132	10	45	4.5		40 a 45 (estimado)
LA123	583574	9699329	28	70	4.5	Em Operação	60 a 70 (estimado)
LA124	583849	9700385	49	30	4.5	Em Operação	25 a 30 (estimado)
LA125	580025	9704469	35	50	4.5	Em Operação	45 a 50 (estimado)
LA126	580079	9704416	34	76	4.5	Em Operação	66 a 76 (estimado)
LA127	582743	9701156	34	70	20	Em Operação	60 a 70 (estimado)
LA128	582875	9701279	32	70	7.5	Em Operação	60 a 70 (estimado)
LA129	582861	9701636	22	25	4.5	Em Operação	20 a 25 (estimado)
LA130	582364	9702036	28	30	4.5	Em Operação	25 a 30 (estimado)
LA131	581293	9702133	29	18	4.5	Em Operação	15 a 18 (estimado)
LA132	581754	9702547	22	70	8	Em Operação	60 a 70 (estimado)
LA133	581517	9702523	29	70	4.5	Em Operação	60 a 70 (estimado)
LA134	581250	9702490	29	58	4.5	Em Operação	48 a 58 (estimado)
LA135	581680	9702193	22	56	30	Paralisado	46 a 56 (estimado)
LA136	581841	9702155	19	45	0	Não Instalado	40 a 45 (estimado)
LA137	581305	9702664	21	5.1	0	Não Instalado	4.1 a 5.1 (estimado)
LA138	581420	9703131	30	52	7.5	Em Operação	42 a 52 (estimado)
LA139	581027	9702738	28	30	0	Paralisado	25 a 30 (estimado)
LA140	581416	9703123	30	35	4.5	Em Operação	30 a 35 (estimado)
LA141	581045	9703390	33	60	18	Em Operação	50 a 60 (estimado)
LA142	581042	9703422	30	30	4.5	Em Operação	25 a 30 (estimado)
LA143	580468	9703531	26	64	4.5	Em Operação	54 a 64 (estimado)
LA144	580302	9703719	22	42	8	Em Operação	37 a 42 (estimado)
LA145	580169	9703783	18	20	4.5	Em Operação	17 a 20 (estimado)
LA146	580134	9703693	18	20	4.5	Em Operação	17 a 20 (estimado)
LA147	580262	9703627	24	40	3.3	Em Operação	35 a 40 (estimado)
LA148	580559	9703750	21	14	1.5	Em Operação	12 a 14 (estimado)
LA149	580309	9703671	25	46	3.3	Em Operação	41 a 46 (estimado)
LA150	580506	9703891	18	45	0	Não Instalado	40 a 45 (estimado)
LA151	579836	9704687	32	120	6.25	Em Operação	110 a 120 (estimado)
LA152	579555	9704742	33	120	0	Paralisado	110 a 120 (estimado)
LA153	580159	9704790	34	48	5	Em Operação	43 a 48 (estimado)
LA154	581111	9702914	27	24	2	Em Operação	19 a 24 (estimado)
LA155	581371	9702795	20	18	4.5	Em Operação	15 a 18 (estimado)
LA156	581327	9703001	25	30	4.5	Em Operação	25 a 30 (estimado)
LA157	584126	9701247	28	48	4.5	Em Operação	43 a 48 (estimado)
LA158	584144	9701212	28	50	4.5	Em Operação	45 a 50 (estimado)
LA159	584115	9701116	29	36	4.5	Em Operação	31 a 36 (estimado)



Poço	X	Y	Z (m)	Prof. (m)	Q (m ³ /h)	Situação	Prof. dos Filtros
LA160	584124	9701033	35	55	4.5	Em Operação	45 a 55 (estimado)
LA161	583557	9701219	32	30	2	Em Operação	25 a 30 (estimado)
LA162	584033	9700965	32	36	1	Em Operação	31 a 36 (estimado)
LA163	583984	9700849	35	35	1.5	Em Operação	30 a 35 (estimado)
LA164	584069	9700497	40	50	3.5	Em Operação	45 a 50 (estimado)
LA165	584295	9700659	30	24	4.5	Em Operação	19 a 24 (estimado)
LA166	584472	9701085	40	45	2.3	Em Operação	40 a 45 (estimado)
LA167	584429	9700842	30	30	1	Em Operação	25 a 30 (estimado)
LA168	584408	9700459	36	30	4.1	Em Operação	25 a 30 (estimado)
LA169	584407	9700406	39	36	4.5	Em Operação	31 a 36 (estimado)
LA170	582420	9702787	21	51	12	Em Operação	41 a 51 (estimado)
LA171	582936	9702933	22	45	4.5	Em Operação	40 a 45 (estimado)
LA172	583610	9702977	24	26	4.5	Em Operação	21 a 26 (estimado)
LA173	583109	9702199	21	70	4.5	Em Operação	60 a 70 (estimado)
LA174	585561	9700467	25	22	4.5	Em Operação	17 a 22 (estimado)
LA175	586824	9702026	25	18	1.5	Em Operação	15 a 18 (estimado)
LA176	585913	9702991	11	45	0	Não Instalado	40 a 45 (estimado)
LA177	587517	9700201	6	50	2.75	Em Operação	45 a 50 (estimado)
LA178	587110	9700550	24	42	2	Em Operação	37 a 42 (estimado)
LA179	579675	9710872	29	80	15	Em Operação	70 a 80 (estimado)
LA180	579657	9711920	20	80	7.5	Em Operação	70 a 80 (estimado)
LA181	580523	9712661	13	19	1.25	Em Operação	16 a 19 (estimado)
LA182	578759	9712942	20	45	4.5	Em Operação	40 a 45 (estimado)
LA183	594959	9715576	41	60	12	Em Operação	50 a 60 (estimado)
LA184	593938	9714295	45	59	7.5	Em Operação	49 a 59 (estimado)
LA185	592907	9712965	37	55	3.5	Em Operação	45 a 55 (estimado)
LA186	591804	9711223	37	76	2.3	Em Operação	66 a 76 (estimado)
LA187	592939	9711503	24	65	1.5	Em Operação	55 a 65 (estimado)
LA188	602837	9717402	22	60	0	Paralisado	50 a 60 (estimado)
LA189	601255	9717912	14	8	0	Não Instalado	7 a 8 (estimado)
LA190	600908	9715824	15	4	1.2	Em Operação	3 a 4 (estimado)
LA191	600619	9714591	10	18	1.7	Em Operação	15 a 18 (estimado)
LA192	599567	9713786	7	36	7.5	Em Operação	31 a 36 (estimado)
LA193	604481	9718773	25	46	2	Em Operação	41 a 46 (estimado)
MI043	577063	9722102	8	114	9.23	Em Operação	104 a 114 (estimado)
MJ001	583256	9715991	25	58	20.31	Em Operação	23 a 35; 39 a 54
MJ003	583576	9723868	21	135	31	Em Operação	125 a 135 (estimado)
MJ004	584256	9723141	45	76	20	Em Operação	66 a 76 (estimado)
MJ005	584937	9722802	36	66	31	Em Operação	36 a 42
MJ006	586843	9724938	43	65	31	Em Operação	55 a 65 (estimado)
MJ007	586908	9723526	29	80	31	Em Operação	36 a 56; 60 a 72
MJ008	587369	9723922	32	66	28	Em Operação	18 a 24; 42 a 64
MJ010	586316	9724040	48	80	34.43	Em Operação	70 a 80 (estimado)
MJ011	586186	9724416	34	135	13		125 a 135 (estimado)
MJ012	586196	9722672	52	75	31	Em Operação	65 a 75 (estimado)
MJ013	586685	9721180	38	82	21	Em Operação	18 a 22; 26 a 42; 50 a 54; 62 a 66; 74 a 78
MJ014	586566	9721084	43	65	31	Em Operação	55 a 65 (estimado)
MJ015	586624	9720640	48	60	19.8	Em Operação	20 a 28; 44 a 52
MJ016	587232	9721570	38	120	20	Em Operação	36 a 48; 52 a 60; 88 a 100; 104 a 118
MJ017	587134	9721228	44	57	31	Em Operação	21 a 24; 36 a 39; 54 a 57
MJ018	587055	9721418	40	65	31	Em Operação	55 a 65 (estimado)
MJ019	586361	9720428	49	60	31	Em Operação	20 a 28; 44 a 52
MJ020	585223	9721140	48	74	20	Em Operação	22 a 34; 42 a 66
MJ021	585322	9722426	38	65	31	Em Operação	55 a 65 (estimado)
MJ022	586928	9723134	41	65	31	Em Operação	55 a 65 (estimado)
MJ023	587307	9723112	44	65	31	Em Operação	55 a 65 (estimado)
MJ024	586262	9723044	42	36	31	Em Operação	20 a 30
MJ025	584625	9721350	43	65	31	Em Operação	55 a 65 (estimado)
MJ026	584987	9720926	36	135	31	Em Operação	125 a 135 (estimado)
MJ027	584838	9721318	42	65	31	Em Operação	55 a 65 (estimado)
MJ028	584908	9721426	46	75	31	Em Operação	65 a 75 (estimado)
MJ029	584697	9721598	50	61	4	Em Operação	17 a 19; 27 a 36; 39 a 51; 55 a 57
MJ031	584260	9721146	38	70	17	Em Operação	13 a 18; 23 a 28; 33 a 43; 63 a 69
MJ033	583672	9722450	47	64	8.79	Em Operação	30 a 42; 46 a 58
MJ034	586007	9720578	49	75	0	Paralisado	65 a 75 (estimado)
MJ035	586326	9722324	44	65	31	Em Operação	55 a 65 (estimado)
MJ036	586409	9722355	46	75	0	Paralisado	65 a 75 (estimado)
MJ037	586395	9722434	49	75	0	Paralisado	65 a 75 (estimado)
MJ038	584893	9721880	45	75	31	Em Operação	65 a 75 (estimado)
MJ040	585683	9721944	43	65	31	Em Operação	55 a 65 (estimado)
MJ041	585537	9722052	42	80	15	Em Operação	70 a 80 (estimado)

Poço	X	Y	Z (m)	Prof. (m)	Q (m3/h)	Situação	Prof. dos Filtros
MJ044	577718	9724898	17	135	0	Paralisado	125 a 135 (estimado)
MJ045	577670	9724907	19	35	31	Em Operação	30 a 35 (estimado)
MJ046	584017	9724274	28	96	12	Em Operação	20 a 36; 48 a 64; 72 a 84
MJ047	587474	9722836	37	65	31	Em Operação	55 a 65 (estimado)
MJ048	586656	9721382	38	65	31	Em Operação	55 a 65 (estimado)
MJ049	586307	9721157	40	65	31	Em Operação	55 a 65 (estimado)
MJ050	585543	9722161	44	65	31	Em Operação	55 a 65 (estimado)
MJ051	585264	9722586	41	65	0	Paralisado	55 a 65 (estimado)
MJ052	585200	9720542	45	75	31	Em Operação	65 a 75 (estimado)
MJ053	585644	9720564	44	92	12	Em Operação	21,05 a 24; 31,08 a 40; 48 a 56; 60 a 68; 76 a 84
MJ054	574165	9716487	40	150	12	Em Operação	101 a 150
MJ055	575822	9709861	24	75	13.58	Paralisado	22 a 27; 39 a 70
MJ056	575850	9709705	24	78	10	Em Operação	14 a 18; 52 a 54; 66 a 74
MJ057	575079	9716751	31	150	40	Em Operação	98 a 130; 138 a 146
MJ057	575079	9716751	31	150	40	Em Operação	140 a 150 (estimado)
MJ058	575652	9717786	16	25	25	Em Operação	20 a 25 (estimado)
MJ059	576221	9718392	22	110	8.69	Em Operação	100 a 110 (estimado)
MJ060	576130	9718285	19	108	10.03	Em Operação	98 a 108 (estimado)
MJ061	576648	9718605	17	103	31	Em Operação	63 a 71; 83 a 99
MJ062	575761	9718420	13	110	31	Em Operação	56 a 66; 70 a 82; 86 a 102
MJ063	574505	9718326	24	160	32	Em Operação	74,50 a 102,50; 106,50 a 118,50; 138,50 a 158,50
MJ064	574967	9720430	27	120	20	Em Operação	110 a 120 (estimado)
MJ066	574179	9719357	15	120	25	Em Operação	26 a 32; 68 a 72; 76 a 92; 96 a 112
MJ068	574038	9719041	22	100	4.66	Paralisado	76 a 96
MJ069	574006	9718270	23	122	11	Em Operação	112 a 122 (estimado)
MJ070	573982	9718382	23	90	11	Em Operação	80 a 90 (estimado)
MJ072	575783	9716243	32	104	20	Em Operação	68 a 104
MJ073	576725	9712177	31	140	30	Em Operação	68 a 80; 96 a 108; 120 a 136
MJ074	576075	9715351	2	120	40	Em Operação	78 a 86; 90 a 102; 106 a 118
MJ075	576599	9715862	33	104	18	Em Operação	60 a 64; 72 a 100
MJ076	576232	9716507	35	151	40	Em Operação	63 a 67; 75 a 79; 83 a 103; 107 a 115; 127 a 131; 135 a 143
MJ077	576482	9716230	27	100	20	Paralisado	68 a 72; 76 a 96
MJ078	576829	9715907	27	122	5.6	Em Operação	70 a 86; 90 a 98
MJ079	576759	9715827	30	102	10	Paralisado	56 a 68; 76 a 96
MJ080	577000	9715871	22	120	20	Em Operação	78 a 114
MJ081	577165	9715497	21	112	7.5	Em Operação	64 a 72; 80 a 108
MJ082	577099	9715138	22	80	14	Em Operação	44 a 76
MJ083	577618	9715626	31	126	20	Em Operação	116 a 126 (estimado)
MJ084	577906	9715925	28	110	8	Em Operação	30 a 42; 50 a 54; 58 a 62; 82 a 86; 90 a 102
MJ086	578227	9716417	14	135	31	Em Operação	125 a 135 (estimado)
MJ087	578084	9715960	14	135	31	Em Operação	125 a 135 (estimado)
MJ088	577962	9716098	23	135	31	Em Operação	125 a 135 (estimado)
MJ089	572260	9710605	20	80	10.29	Em Operação	40 a 52; 60 a 76
MJ090	581859	9716040	24	118	25	Em Operação	50 a 54; 62 a 66; 82 a 86; 94 a 110
MJ091	581699	9715915	34	131	31	Em Operação	95 a 131
MJ092	581718	9715656	35	90	18	Paralisado	36 a 50; 54 a 62; 74 a 86
MJ093	581887	9715471	21	150	16	Em Operação	33 a 49; 65 a 69; 101 a 117; 125 a 149
MJ094	580824	9716710	29	60	18	Em Operação	18 a 48
MJ095	580876	9716409	27	129	20	Em Operação	47 a 51; 59 a 67; 87 a 99; 103 a 123
MJ096	581047	9716452	19	82	25	Em Operação	19,80 a 237,80; 39,80 a 43,80; 59,80 a 71,80
MJ097	582019	9718208	18	156	20	Em Operação	51,74 a 58,02; 117,97 a 149,37
MJ098	599145	9720207	18	78	9	Em Operação	68 a 78 (estimado)
MJ099	599302	9720386	29	75	9	Em Operação	65 a 75 (estimado)
MJ100	599196	9721263	46	81.7	15.8	Em Operação	71.7 a 81.7 (estimado)
MJ101	599064	9721121	42	95	9	Em Operação	85 a 95 (estimado)
MJ102	599007	9721270	41	65	16.5	Em Operação	55 a 65 (estimado)
MJ103	597896	9716849	42	65	9	Em Operação	55 a 65 (estimado)
MJ104	597809	9716378	33	55	9	Em Operação	45 a 55 (estimado)
MJ105	598074	9716232	22	45	9	Em Operação	40 a 45 (estimado)
MJ106	599120	9719005	11	48	9	Em Operação	12 a 18; 26 a 44
MJ107	599408	9718634	27	100	9	Em Operação	40 a 72
MJ108	600117	9718444	48	94	8.57	Em Operação	30 a 42; 74 a 82; 86 a 90
MJ109	599305	9718372	35	55	9	Em Operação	45 a 55 (estimado)
MJ110	599436	9718179	41	80	9	Em Operação	34 a 38; 42 a 54; 58 a 74
MJ111	598954	9717808	35	100	10.5	Em Operação	16 a 28; 54 a 66
MJ112	600079	9717828	27	67.7	15	Em Operação	18 a 34; 47 a 67,70
MJ113	598348	9717559	36	100	32	Em Operação	90 a 100 (estimado)
MJ114	598310	9717315	31	55	9	Em Operação	45 a 55 (estimado)
MJ115	600086	9716901	26	112	120	Em Operação	102 a 112 (estimado)
MJ116	599601	9716787	11	113	0	Paralisado	103 a 113 (estimado)
MJ117	599816	9716544	28	106	0	Paralisado	96 a 106 (estimado)



Poço	X	Y	Z (m)	Prof. (m)	Q (m3/h)	Situação	Prof. dos Filtros
MJ118	600309	9716500	32	55	0	Não Instalado	45 a 55 (estimado)
MJ120	606655	9724715	21	45	9	Em Operação	40 a 45 (estimado)
MJ121	607883	9723318	16	46	6.8	Em Operação	41 a 46 (estimado)
MJ122	607557	9722676	14	49	15	Em Operação	20 a 40
MJ123	608080	9722476	28	55	9	Em Operação	45 a 55 (estimado)
MJ124	608359	9722372	31	55	0	Paralisado	45 a 55 (estimado)
MJ125	607649	9721836	27	55	9	Em Operação	45 a 55 (estimado)
MJ126	605666	9721451	27	55	9	Em Operação	45 a 55 (estimado)
MJ127	604515	9719659	15	50	20.9	Em Operação	8 a 18
MJ128	604040	9720415	26	43	20	Em Operação	20 a 28; 30 a 42
MJ129	603046	9721483	15	40	10	Em Operação	16 a 24; 28 a 36
MJ130	601841	9720105	14	34.3	9	Em Operação	29.209 a 34.209 (estimado)
MJ131	601609	9719339	34	55	9	Em Operação	45 a 55 (estimado)
MJ132	601860	9718924	45	65	9	Em Operação	55 a 65 (estimado)
MJ134	601767	9718288	31	84	25	Em Operação	36 a 64
MJ135	601707	9718335	34	66	7.3	Em Operação	36 a 48; 52 a 64
MJ136	602026	9718081	30	74	40	Em Operação	34 a 54; 66 a 70
MJ137	602110	9718482	42	88	9	Em Operação	26 a 32; 40 a 50; 60 a 66
MJ138	602025	9718594	43	64	7.8	Em Operação	26 a 38; 42 a 50; 54 a 58
MJ139	602218	9718694	32	55.5	9	Em Operação	27,50 a 51,50
MJ140	602495	9718864	20	88	14.8	Em Operação	28,60 a 52,30
MJ141	603784	9718300	42	155	100	Em Operação	145 a 155 (estimado)
MJ142	603146	9718515	20	120	26	Em Operação	110 a 120 (estimado)
MJ143	597576	9727634	22	45	0	Em Perfuração	40 a 45 (estimado)
MJ144	597096	9726708	20	45	7.5	Em Operação	40 a 45 (estimado)
MJ145	597835	9727353	35	80	7.5	Em Operação	70 a 80 (estimado)
MJ147	597669	9727268	32	43	0	Paralisado	38 a 43 (estimado)
MJ148	597709	9727154	28	50	7.5	Em Operação	45 a 50 (estimado)
MJ149	597548	9727921	10	60	15	Em Operação	50 a 60 (estimado)
MJ150	597716	9727857	13	45	7.5	Em Operação	40 a 45 (estimado)
MJ151	602844	9718019	11	70	21.4	Em Operação	19,6 a 27,3; 45,7 a 53,7
MJ152	603038	9718362	17	45	9	Em Operação	40 a 45 (estimado)
MJ153	603315	9718770	22	45	40.8	Em Operação	19 a 27; 35 a 41
MJ154	603287	9719021	31	63	9	Em Operação	15 a 19; 23 a 27; 39 a 43; 49 a 59
MJ155	603070	9718003	17	37.5	85.7	Em Operação	17,1 a 32,1
MJ156	602931	9719572	37	65	9	Em Operação	55 a 65 (estimado)
MJ157	602611	9719659	46	75	9	Em Operação	65 a 75 (estimado)
MJ158	603243	9719895	42	65	9	Em Operação	55 a 65 (estimado)
MJ160	603316	9719597	41	70	9	Em Operação	60 a 70 (estimado)
MJ161	602730	9719128	34	103	0	Paralisado	93 a 103 (estimado)
MJ162	603851	9718459	45	76	16.8	Em Operação	30 a 50; 54 a 66
MJ163	603843	9718633	42	49.3	9.5	Em Operação	21,2 a 33,2; 37,2 a 46,2
MJ165	603993	9717627	18	60	22.5	Em Operação	50 a 60 (estimado)
MJ166	605032	9717027	27	48	13.4	Em Operação	16 a 24; 32 a 40
MJ167	605124	9717684	18	49.4	27.6	Em Operação	20,5 a 44,50
MJ168	604670	9717978	13	31	23.2	Em Operação	13 a 21; 26 a 30
MJ169	592153	9714612	32	35	8.1	Em Operação	17,8 a 23,8;
MJ170	593219	9715520	24	65.3	33.6	Em Operação	55.209 a 65.209 (estimado)
MJ171	594304	9715612	34	78.3	33.6	Em Operação	68.209 a 78.209 (estimado)
MJ172	594641	9715578	35	76	9	Em Operação	66 a 76 (estimado)
MJ173	594565	9715285	41	65	9	Em Operação	55 a 65 (estimado)
MJ174	595920	9716065	38	65	9	Em Operação	55 a 65 (estimado)
MJ175	595951	9717434	21	45	0	Paralisado	40 a 45 (estimado)
MJ176	596855	9717687	40	110	9	Em Operação	33,50 a 55,50; 63,50 a 67,50
MJ177	596643	9716719	33	77	9	Em Operação	67 a 77 (estimado)
MJ178	592617	9724387	38	55	0	Paralisado	45 a 55 (estimado)
MJ179	592912	9724792	41	60	7.5	Em Operação	50 a 60 (estimado)
MJ180	604413	9717142	10	80	9.4	Em Operação	26 a 30; 47 a 54; 66 a 74; 78 a 80
MJ181	604337	9717824	22	78.96	9	Em Operação	20 a 40; 56 a 64; 72 a 76
MJ182	597197	9718032	31	45	7.5	Em Operação	40 a 45 (estimado)
MJ183	603600	9724491	6	60	10	Em Operação	50 a 60 (estimado)
MJ184	602830	9722966	16	56	15	Em Operação	46 a 56 (estimado)
MJ185	601982	9722615	27	60	10	Em Operação	50 a 60 (estimado)
MJ186	598991	9722654	26	60	20	Em Operação	50 a 60 (estimado)
MJ187	600803	9723206	30	60	12	Em Operação	50 a 60 (estimado)
MJ188	600275	9723946	34	70	30	Em Operação	60 a 70 (estimado)
MJ189	600023	9725562	14	42	35	Em Operação	37 a 42 (estimado)
MJ190	600225	9726519	10	32	10	Em Operação	27 a 32 (estimado)
MJ191	599464	9724000	16	48	40	Em Operação	43 a 48 (estimado)
MJ192	600489	9727091	8	32	7.5	Em Operação	27 a 32 (estimado)

Poço	X	Y	Z (m)	Prof. (m)	Q (m3/h)	Situação	Prof. dos Filtros
MJ193	599946	9715271	5	21	6.947	Em Operação	9 a 17
MJ194	599294	9715391	8	45	7.5	Em Operação	40 a 45 (estimado)
MJ195	600267	9726909	6	28	0	Não Instalado	23 a 28 (estimado)
MJ196	588619	9717639	30	70	80	Em Operação	60 a 70 (estimado)
MJ197	588492	9716746	48	52	10		9 a 18
MJ198	587987	9717167	34	45	7.5	Em Operação	40 a 45 (estimado)
MJ199	586590	9711715	38	55	7.5	Em Operação	45 a 55 (estimado)
MJ200	585998	9711846	42	135	31	Em Operação	125 a 135 (estimado)
MJ201	590415	9709748	23	45	4.5	Em Operação	40 a 45 (estimado)
MJ202	591298	9707142	12	45	4.5	Em Operação	40 a 45 (estimado)
MJ203	591416	9706709	17	45	4.5	Em Operação	40 a 45 (estimado)
MJ204	590508	9705183	28	45	4.5	Em Operação	40 a 45 (estimado)
MJ205	590649	9704566	18	45	4.5	Em Operação	40 a 45 (estimado)
MJ206	589647	9705795	15	45	4.5	Em Operação	40 a 45 (estimado)
MJ207	590919	9705196	30	45	0	Paralisado	40 a 45 (estimado)
MJ208	590351	9705419	19	45	4.5	Em Operação	40 a 45 (estimado)
MJ209	590077	9709726	29	45	4.5	Em Operação	40 a 45 (estimado)
MJ210	597304	9728925	16	60	10	Em Operação	50 a 60 (estimado)
MJ211	596366	9728771	14	60	15	Em Operação	50 a 60 (estimado)
MJ212	596275	9729126	28	60	25	Em Operação	50 a 60 (estimado)
MJ213	596062	9729535	37	60	8	Em Operação	50 a 60 (estimado)
MJ214	587943	9707162	29	45	4.5	Em Operação	40 a 45 (estimado)
MJ215	587737	9707063	25	45	4.5	Em Operação	40 a 45 (estimado)
MJ216	592711	9707327	21	135	0	Paralisado	125 a 135 (estimado)
MJ217	595225	9704366	27	50	4.5	Em Operação	12 a 18; 38 a 48
NG001	596327	9727152	33	42	7.5	Em Operação	37 a 42 (estimado)
NG002	596299	9727254	34	54	7.5	Em Operação	44 a 54 (estimado)
NG003	596262	9727322	35	56	7.5	Em Operação	46 a 56 (estimado)
NG004	596263	9727475	32	60	7.5	Em Operação	50 a 60 (estimado)
NG005	596252	9727144	32	42	7.5	Em Operação	37 a 42 (estimado)
NG006	594894	9728814	45	90	7.54	Em Operação	50 a 68; 74 a 90
NG007	595151	9728583	39	78	20	Em Operação	30 a 54; 58 a 74
NG008	595015	9728200	25	60	45	Em Operação	50 a 60 (estimado)
NG009	595807	9727051	43	55	7.5	Em Operação	45 a 55 (estimado)
NG011	597050	9727149	38	100	0	Não Instalado	90 a 100 (estimado)
NG012	598475	9729327	17	40	12	Em Operação	35 a 40 (estimado)
NG013	595861	9727200	37	60	7.5	Em Operação	50 a 60 (estimado)
NG014	596632	9726741	26	60	10	Em Operação	50 a 60 (estimado)
NG015	596732	9726540	17	95	35	Em Operação	85 a 95 (estimado)
NG016	596243	9726540	24	48	10	Em Operação	43 a 48 (estimado)
NG017	594485	9725137	34	60	15	Em Operação	50 a 60 (estimado)
NG018	586140	9721687	35	50	7.5	Em Operação	45 a 50 (estimado)
NG019	584710	9724583	19	57	6.5	Em Operação	47 a 57 (estimado)
NG020	584259	9721113	37	80	9	Em Operação	22 a 30; 34 a 54
NG021	584495	9722723	45	90	30	Em Operação	24 a 56; 64 a 80
NG022	585824	9724748	24	50	8	Em Operação	22,50 a 33,50; 37,50 a 45,50
NG023	586440	9724824	39	48	6	Em Operação	43 a 48 (estimado)
NG024	586515	9719765	41	80	14.88	Em Operação	70 a 80 (estimado)
NG025	579992	9719333	9	3	4.5	Em Operação	2 a 3 (estimado)
NG026	594284	9724056	11	48	40	Em Operação	43 a 48 (estimado)
NG027	579598	9708955	23	132	4.5	Em Operação	100 a 103; 106 a 118
NG028	579793	9708392	34	30	4.5	Em Operação	25 a 30 (estimado)
NG029	580253	9707459	39	42	7.5	Em Operação	37 a 42 (estimado)
NG030	571204	9698545	26	65	4.5	Em Operação	55 a 65 (estimado)
NG031	571213	9698263	28	58	4.5	Em Operação	48 a 58 (estimado)
NG032	570879	9698142	22	73	2.5	Em Operação	63 a 73 (estimado)
NG033	578320	9703743	20	50	4.5	Em Operação	45 a 50 (estimado)
NG034	584790	9723995	31	60	4.5	Em Operação	50 a 60 (estimado)
NG035	591397	9720910	22	51.5	16.5	Em Operação	29,6 a 51,50
NG036	590421	9720447	45	80	10	Em Operação	70 a 80 (estimado)
NG037	590391	9720452	44	65	0	Não Instalado	55 a 65 (estimado)
NG038	589915	9719192	29	78	9	Em Operação	68 a 78 (estimado)
NG039	589875	9719144	28	100	9.3	Em Operação	90 a 100 (estimado)
NG040	588488	9719790	45	70	4.36	Em Operação	60 a 70 (estimado)
NG041	590322	9719930	29	63	9	Em Operação	53 a 63 (estimado)
NG042	589785	9719986	34	101	30	Em Operação	91 a 101 (estimado)
NG043	592941	9719279	47	60	9.42	Em Operação	50 a 60 (estimado)
NG044	587518	9721289	42	55	9	Em Operação	45 a 55 (estimado)
NG045	588216	9719759	49	50	5	Em Operação	45 a 50 (estimado)
NG046	594559	9721079	52	73.6	10.2	Em Operação	63.509 a 73.509 (estimado)
NG047	594764	9721139	51	62.7	22.5	Em Operação	14 a 29,6; 37,5 a 54,4



Poço	X	Y	Z (m)	Prof. (m)	Q (m ³ /h)	Situação	Prof. dos Filtros
NG048	594541	9720513	54	88	9	Em Operação	78 a 88 (estimado)
NG049	594398	9720426	47	54	9	Em Operação	20 a 26; 30 a 50
NG050	594813	9720461	49	75	9	Em Operação	65 a 75 (estimado)
NG051	595407	9719665	36	65	9	Em Operação	55 a 65 (estimado)
NG052	595495	9719492	38	65	9	Em Operação	55 a 65 (estimado)
NG053	594742	9720035	45	65	9	Em Operação	55 a 65 (estimado)
NG054	594999	9720063	40	84.8	22.4	Em Operação	24,8 a 28,7; 48,5 a 53,3; 62,3 a 70,2; 75 a 82,80
NG055	592589	9720103	38	65	9	Em Operação	55 a 65 (estimado)
NG056	594598	9719921	54	65	9	Em Operação	55 a 65 (estimado)
NG057	594507	9719723	55	96.6	9	Em Operação	86.509 a 96.509 (estimado)
NG058	594328	9719306	53	80	9	Em Operação	70 a 80 (estimado)
NG059	594479	9719419	55	75	9	Em Operação	65 a 75 (estimado)
NG060	594644	9719503	51	75	0	Paralisado	65 a 75 (estimado)
NG061	593889	9719473	48	75	9	Em Operação	65 a 75 (estimado)
NG062	593652	9718973	42	110	47.2	Em Operação	32 a 44; 48 a 68
NG063	593496	9719412	42	65	9	Em Operação	55 a 65 (estimado)
NG064	593328	9718646	35	55	9	Em Operação	45 a 55 (estimado)
NG065	593328	9718646	35	55	9		45 a 55 (estimado)
NG066	593065	9717948	30	121	100	Em Operação	111 a 121 (estimado)
NG067	593547	9717996	34	108	9	Em Operação	98 a 108 (estimado)
NG068	594850	9717847	45	65	0	Paralisado	55 a 65 (estimado)
NG069	595083	9718547	37	77	10.8	Em Operação	18 a 22; 26 a 42; 46 a 50; 68 a 72
NG070	597200	9718035	31	55	9	Em Operação	45 a 55 (estimado)
NG071	595537	9717620	34	58.7	9	Em Operação	48.7 a 58.7 (estimado)
NG072	596878	9718833	15	45	9		40 a 45 (estimado)
NG073	597982	9719563	37	65	9	Em Operação	55 a 65 (estimado)
NG074	597458	9719339	30	96.8	39	Em Operação	86.709 a 96.709 (estimado)
NG075	588396	9717459	33	55	9		45 a 55 (estimado)
NG076	588626	9716787	48	48	9		43 a 48 (estimado)
NG077	588148	9716415	39	80	9	Em Operação	70 a 80 (estimado)
NG078	588228	9716215	42	63.3	9	Em Operação	22,2 a 30; 49,8 a 61,7
NG079	588842	9717052	42	60	9	Em Operação	50 a 60 (estimado)
NG080	589065	9716828	49	40	10	Em Operação	35 a 40 (estimado)
NG081	590205	9715934	45	60	9	Em Operação	32 a 56
NG082	589815	9716711	50	104	9	Em Operação	45 a 61; 65 a 81; 85 a 97
NG083	589880	9716915	52	65	20.4	Em Operação	55 a 65 (estimado)
NG084	589742	9716993	53	74.1	17.4	Em Operação	38 a 66
NG085	589448	9716970	53	66.5	22.4	Em Operação	32 a 44; 48,10 a 64
NG086	589150	9717181	44	80	9	Em Operação	70 a 80 (estimado)
NG087	589623	9717232	46	80	40	Em Operação	70 a 80 (estimado)
NG088	589715	9717517	38	65	9	Em Operação	55 a 65 (estimado)
SA001	599843	9730614	24	80	7.5	Em Operação	70 a 80 (estimado)
SA002	599894	9730598	26	76	7.5	Em Operação	66 a 76 (estimado)
SA003	599823	9730667	19	30	2	Em Operação	25 a 30 (estimado)
SA004	599142	9730163	14	64	7.5	Em Operação	54 a 64 (estimado)
SA005	599120	9730178	13	80	14	Em Operação	70 a 80 (estimado)
SA006	599636	9730391	22	64	31	Em Operação	54 a 64 (estimado)
SA007	599647	9730441	21	80	7.5	Em Operação	30 a 34; 38 a 42; 46 a 50; 54 a 58; 66 a 70; 74 a 78
SA008	599926	9729806	36	80	0	Paralisado	32 a 36; 40 a 48; 52 a 64
SA009	599921	9729804	35	80	31	Em Operação	70 a 80 (estimado)
SA010	599905	9729805	35	37	14	Em Operação	32 a 37 (estimado)
SA011	599647	9730408	22	40	0	Paralisado	35 a 40 (estimado)
SA012	600172	9728991	20	100	10	Em Operação	32 a 36; 40 a 44; 48 a 60; 64 a 72; 84 a 92
SA013	600167	9729891	37	96	8	Em Operação	32 a 44; 56 a 60; 72 a 76
SA014	600326	9729900	41	60	10	Em Operação	50 a 60 (estimado)
SA015	599779	9729665	40	98	70	Em Operação	28 a 48; 56 a 64; 88 a 92
SA016	600168	9730739	22	30	3	Em Operação	25 a 30 (estimado)
SA017	599268	9729361	27	60	20	Em Operação	50 a 60 (estimado)
SA018	599971	9730408	29	45	7.5	Em Operação	40 a 45 (estimado)
SA019	598921	9729712	16	77	10	Paralisado	52 a 76
SA020	598426	9730037	30	95	14.94	Em Operação	40 a 44; 60 a 72; 76 a 94
SA021	598937	9730146	14	75	4.5	Em Operação	65 a 75 (estimado)
SA022	581780	9725075	16	90	4.5	Em Operação	80 a 90 (estimado)
SA023	582517	9724742	11	100	3	Em Operação	90 a 100 (estimado)
SA024	582669	9724559	8	59	5	Em Operação	22 a 58
SA025	584329	9725182	11	60	26	Em Operação	50 a 60 (estimado)
SA026	584668	9724591	17	52	7.5	Em Operação	42 a 52 (estimado)
SA027	583875	9721203	21	80	11	Em Operação	16 a 20; 24 a 36; 44 a 52; 60 a 64; 72 a 76
SA028	584040	9724492	26	48	4.5	Em Operação	43 a 48 (estimado)
SA029	583113	9724630	18	60	4.5	Em Operação	50 a 60 (estimado)
SA030	583123	9724618	19	62	15.8	Em Operação	18 a 30

Poço	X	Y	Z (m)	Prof. (m)	Q (m ³ /h)	Situação	Prof. dos Filtros
SA031	583105	9713289	44	120	30	Em Operação	110 a 120 (estimado)
SA032	583268	9713655	45	62	8.5	Em Operação	52 a 62 (estimado)
SA033	584115	9714428	51	105	7.5	Em Operação	32 a 41
SA034	584193	9715172	51	60	10	Em Operação	50 a 60 (estimado)
SA035	584169	9714908	53	68	5	Em Operação	18 a 22; 30 a 42; 48 a 52; 60 a 64
SA036	584774	9715829	42	49	2.48	Em Operação	44 a 49 (estimado)
SA037	586812	9717800	41	60	10	Em Operação	50 a 60 (estimado)
SA038	581813	9708614	43	90	20	Em Operação	80 a 90 (estimado)
SA039	582200	9709525	46	148	10	Em Operação	58 a 62; 90 a 94; 114 a 120; 128 a 132
SA040	582095	9709351	45	64	10	Em Operação	54 a 64 (estimado)
SA041	582967	9711190	48	119	6	Em Operação	82 a 86; 90 a 96; 100 a 118
SA042	583389	9711198	50	120	10	Em Operação	110 a 120 (estimado)
SA043	584353	9710702	25	101	0	Paralisado	91 a 101 (estimado)
SA044	584597	9711129	16	150	4.5	Em Operação	140 a 150 (estimado)
SA045	578531	9705577	12	38	7.5	Em Operação	33 a 38 (estimado)
SA046	578981	9705295	24	42	7.5	Em Operação	37 a 42 (estimado)
SA047	578237	9704447	22	50	6	Em Operação	45 a 50 (estimado)
SA048	578357	9704262	15	28	5	Em Operação	23 a 28 (estimado)
SA049	577497	9702458	20	28	30	Em Operação	23 a 28 (estimado)
SA050	578982	9705273	24	45	0	Paralisado	40 a 45 (estimado)
SA051	579046	9704284	30	120	14	Em Operação	110 a 120 (estimado)
SA053	579146	9704785	30	120	26	Não Instalado	14 a 38; 50 a 54; 58 a 68; 84 a 88; 100 a 104; 112 a 116
SA054	579011	9704837	25	106	19.48	Em Operação	96 a 106 (estimado)
SA056	590855	9722880	39	108	85.7	Em Operação	98 a 108 (estimado)
SA057	590842	9723001	43	120	22.2	Em Operação	33,50 a 45,40; 49,40 a 95,40
SA058	590954	9723212	40	180	30	Em Operação	170 a 180 (estimado)
SA059	590608	9723306	36	80	9	Em Operação	70 a 80 (estimado)
SA060	590602	9723312	36	57	14	Em Operação	47 a 57 (estimado)
SA061	590780	9723268	39	36	6	Em Operação	31 a 36 (estimado)
SA062	597112	9723056	39	12	6	Em Operação	10 a 12 (estimado)
SA063	590239	9722111	42	64	9	Em Operação	54 a 64 (estimado)
SA064	589881	9722561	47	75	9	Em Operação	65 a 75 (estimado)
SA065	589582	9722843	46	130	9	Em Operação	120 a 130 (estimado)
SA066	589437	9722525	48	80	34.43	Em Operação	20 a 28; 44 a 48; 56 a 68; 72 a 76
SA067	589353	9722094	41	120	36.2	Em Operação	110 a 120 (estimado)
SA068	589415	9721727	32	63	9	Em Operação	53 a 63 (estimado)
SA069	588726	9722066	45	60	9.37	Em Operação	50 a 60 (estimado)
SA070	588191	9722299	37	76.5	14	Em Operação	66.5 a 76.5 (estimado)
SA071	587872	9721889	36	86.8	14.3	Em Operação	76.709 a 86.709 (estimado)
SA072	587935	9721670	42	120	11.9	Em Operação	39,1 a 47,10; 59,10 a 60,5; 87 a 100; 104 a 118
SA073	589083	9722025	47	77.7	9	Em Operação	67.7 a 77.7 (estimado)
SA074	588158	9721536	38	180	90	Em Operação	170 a 180 (estimado)
SA075	588307	9721485	36	92.4	11.5	Em Operação	82.4 a 92.4 (estimado)
SA076	592573	9727699	52	48	9	Em Operação	43 a 48 (estimado)
SA077	592311	9717702	49	72	36.8	Em Operação	32 a 64
SA078	592560	9717309	37	78.1	24.6	Em Operação	40 a 60
SA079	592575	9716791	35	69.6	11	Em Operação	59.509 a 69.509 (estimado)
SA080	592537	9716397	43	65	9	Em Operação	55 a 65 (estimado)
SA081	592630	9716183	46	84	7.5	Em Operação	32 a 44; 48 a 60; 64 a 76
SA082	592487	9715919	47	65.3	13.5	Em Operação	32,4 a 36,50; 44,10 a 51,8; 55,9 a 65,3
SA083	592063	9717391	43	65	9	Em Operação	55 a 65 (estimado)
SA084	591188	9717701	48	59.4	9	Em Operação	19 a 28; 32 a 44; 52 a 56
SA085	591849	9716259	48	60	15.6	Em Operação	28 a 36; 40 a 52
SA086	591768	9716029	53	59	9	Em Operação	49 a 59 (estimado)
SA087	591503	9716392	45	82	19.4	Em Operação	72 a 82 (estimado)
SA088	591395	9715946	55	80	9	Em Operação	70 a 80 (estimado)
SA090	590872	9716005	51	77.6	17.2	Em Operação	67.509 a 77.509 (estimado)
SA091	590710	9716015	47	80	0	Paralisado	70 a 80 (estimado)
SA092	590660	9716156	47	74	34.2	Em Operação	40,4 a 52,4; 56,3 a 72
SA093	590768	9716408	42	82	9	Em Operação	72 a 82 (estimado)
SA094	590898	9716331	45	65	9	Em Operação	55 a 65 (estimado)
SA095	590920	9716722	41	80	0	Paralisado	16 a 22; 40 a 52; 56 a 72
SA096	590478	9716692	48	60	9	Em Operação	50 a 60 (estimado)
SA097	591793	9715714	51	75.5	36	Em Operação	29,2 a 32,7; 42,1 a 57,7; 71,4 a 75,2
SA098	591277	9715792	54	73	9	Em Operação	63 a 73 (estimado)
SA099	590708	9715607	50	67.4	33	Em Operação	34,1 a 45,8; 49,9 a 65,4
SA100	590206	9715937	45	80	9	Em Operação	70 a 80 (estimado)
SA101	590238	9716644	49	60	9	Em Operação	50 a 60 (estimado)
SA102	590742	9716968	49	62.5	40	Em Operação	52.5 a 62.5 (estimado)
SA103	591083	9717329	43	77.1	9	Em Operação	67.009 a 77.009 (estimado)
SA104	590757	9717772	38	60	40.4	Em Operação	50 a 60 (estimado)



Poço	X	Y	Z (m)	Prof. (m)	Q (m ³ /h)	Situação	Prof. dos Filtros
SA105	590377	9717363	44	80	9	Em Operação	70 a 80 (estimado)
SA106	590735	9717241	46	65	7.5	Em Operação	55 a 65 (estimado)
SA107	590467	9717105	53	90	9	Em Operação	42 a 54; 70 a 86
SA108	591530	9718244	51	94.6	31.5	Em Operação	30,5 a 48,9; 56,9 a 72,4; 92,5 a 94,6
SA109	590856	9718118	46	60	9	Em Operação	50 a 60 (estimado)
SA110	591254	9719009	35	55	9	Em Operação	45 a 55 (estimado)
SA111	591015	9719042	25	55	9	Em Operação	45 a 55 (estimado)
TP001	589557	9724598	35	50	5.76	Em Operação	45 a 50 (estimado)
TP002	583294	9709650	19	64	5	Em Operação	54 a 64 (estimado)
TP003	588203	9717890	36	52	40	Em Operação	42 a 52 (estimado)
TP004	592149	9721587	37	60	2.57	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP005	578603	9720805	13	130	12	Em Operação	120 a 130 (estimado)
TP006	582701	9724602	7	80	5	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP007	582510	9709897	48	30	5	Em Operação	25 a 30 (estimado)
TP008	592152	9721716	39	80	6	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP009	583869	9724775	20	60	10	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP010	580615	9724590	27	90	2	Em Operação	80 a 90 (estimado)
TP011	585624	9721821	43	60	3	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP012	582979	9724816	21	60	5	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP013	586960	9719401	36	70	10	Em Operação	60 a 70 (estimado)
TP014	574244	9716307	33	150	11	Em Operação	140 a 150 (estimado)
TP015	580886	9724249	25	50	3	Em Operação	45 a 50 (estimado)
TP016	592679	9717510	41	60	12	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP017	576044	9710413	16	22	6	Em Operação	17 a 22 (estimado)
TP018	584179	9717999	18	30	10	Em Operação	25 a 30 (estimado)
TP019	585942	9721855	41	42	3	Em Operação	37 a 42 (estimado)
TP020	584739	9724812	29	191	5	Em Operação	181 a 191 (estimado)
TP021	585666	9724846	17	60	7.5	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP022	570940	9698582	17	40	3	Em Operação	35 a 40 (estimado)
TP023	601281	9720119	12	34.4	38.9	Em Operação	29.309 a 34.309 (estimado)
TP024	575467	9710512	20	60	14	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP025	583876	9721960	39	80	7	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP026	586562	9725029	37	80	3	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP027	583981	9722415	49	60	10	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP028	576508	9717512	26	98	6	Em Operação	88 a 98 (estimado)
TP029	607573	9722003	25	60	5	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP030	583786	9725120	24	60	4	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP031	583562	9717692	17	64	5	Em Operação	54 a 64 (estimado)
TP032	578027	9710559	17	80	6.5	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP033	594926	9722135	28	76	20	Em Operação	66 a 76 (estimado)
TP034	588657	9717689	28	70	80	Em Operação	60 a 70 (estimado)
TP035	588697	9722396	37	102	12	Em Operação	92 a 102 (estimado)
TP036	583534	9717668	14	50	1.55	Em Operação	45 a 50 (estimado)
TP037	592956	9727420	47	60	1.44	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP038	582469	9724903	13	110	3	Em Operação	100 a 110 (estimado)
TP039	583966	9722759	47	48	10	Em Operação	43 a 48 (estimado)
TP040	587899	9726403	13	60	3	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP041	573754	9697161	26	80	81.6	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP042	585232	9722758	45	116	15	Em Operação	106 a 116 (estimado)
TP043	587666	9717911	31	50	1	Em Operação	45 a 50 (estimado)
TP044	592347	9719011	48	120	61.2	Em Operação	110 a 120 (estimado)
TP045	581993	9724647	9	77	10	Em Operação	67 a 77 (estimado)
TP046	576696	9699242	36	38.1	45	Em Operação	33.1 a 38.1 (estimado)
TP047	585541	9722758	45	58	5.33	Em Operação	48 a 58 (estimado)
TP048	588677	9725768	27	50	5	Em Operação	45 a 50 (estimado)
TP049	590599	9726719	42	50	0.9	Em Operação	45 a 50 (estimado)
TP050	585435	9720950	42	80	20	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP051	576350	9718288	9	50	10	Em Operação	45 a 50 (estimado)
TP052	576029	9699500	35	80	22	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP053	593077	9722814	20	61.5	15	Em Operação	51.5 a 61.5 (estimado)
TP054	592291	9725790	33	80	5	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP055	591931	9718424	54	80	6	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP056	578178	9699631	28	50	5	Em Operação	45 a 50 (estimado)
TP057	589048	9722824	37	54	3	Em Operação	44 a 54 (estimado)
TP058	592232	9725809	35	54	2	Em Operação	44 a 54 (estimado)
TP059	581404	9718607	36	70	2.75	Em Operação	60 a 70 (estimado)
TP060	576850	9699641	31	40	53.4	Em Operação	35 a 40 (estimado)
TP061	591010	9726347	46	43	2.5	Em Operação	38 a 43 (estimado)
TP062	591428	9718805	43	70	17	Em Operação	60 a 70 (estimado)
TP063	589957	9726532	36	40	3	Em Operação	35 a 40 (estimado)
TP064	601168	9723116	33	60	8	Em Operação	50 a 60 (estimado)

Poço	X	Y	Z (m)	Prof. (m)	Q (m3/h)	Situação	Prof. dos Filtros
TP065	585757	9723065	52	150	25	Em Operação	140 a 150 (estimado)
TP066	591427	9726813	47	75	4.5	Em Operação	65 a 75 (estimado)
TP067	585491	9723221	55	80	10	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP068	603522	9717695	36	55	28.6	Em Operação	45 a 55 (estimado)
TP069	585751	9723258	51	135	10	Em Operação	125 a 135 (estimado)
TP070	589528	9727131	44	50	5.11	Em Operação	45 a 50 (estimado)
TP071	599408	9725069	23	56	6	Em Operação	46 a 56 (estimado)
TP072	588342	9719582	48	60	4	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP073	592800	9723266	15	36	8	Em Operação	31 a 36 (estimado)
TP074	571378	9698919	13	65	2	Em Operação	55 a 65 (estimado)
TP075	582852	9718337	36	70	5.8	Em Operação	60 a 70 (estimado)
TP076	576521	9701149	26	54	8	Em Operação	44 a 54 (estimado)
TP077	593506	9723272	14	36	5	Em Operação	31 a 36 (estimado)
TP078	571446	9698661	16	65	20	Em Operação	55 a 65 (estimado)
TP079	586005	9723341	49	63	3.2	Em Operação	53 a 63 (estimado)
TP080	593294	9724534	41	60	11.25	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP081	574636	9712655	26	120	7.6	Em Operação	110 a 120 (estimado)
TP082	582873	9723306	24	60	16	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP083	592308	9727550	46	40	6	Em Operação	35 a 40 (estimado)
TP084	576914	9702435	25	60	10	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP085	590671	9723390	33	120	40	Em Operação	110 a 120 (estimado)
TP086	591688	9725026	25	100	15.6	Em Operação	90 a 100 (estimado)
TP087	579978	9718925	11	30	5	Em Operação	25 a 30 (estimado)
TP088	590247	9717492	35	40	1.5	Em Operação	35 a 40 (estimado)
TP089	581524	9703075	30	52	19	Em Operação	42 a 52 (estimado)
TP090	584723	9723409	39	59	5	Em Operação	49 a 59 (estimado)
TP091	580687	9724406	35	117	6	Em Operação	107 a 117 (estimado)
TP092	591684	9717994	50	66	7	Em Operação	56 a 66 (estimado)
TP093	576513	9703203	18	18	2	Em Operação	15 a 18 (estimado)
TP094	588843	9723493	28	60	40	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP095	595891	9729660	28	60	20	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP096	578579	9704424	21	9	2.5	Em Operação	8 a 9 (estimado)
TP097	585974	9723507	52	60	5	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP098	576307	9700385	30	58	24.85	Em Operação	48 a 58 (estimado)
TP099	579062	9704836	22	120	50	Em Operação	110 a 120 (estimado)
TP100	579438	9704979	37	50	3	Em Operação	45 a 50 (estimado)
TP101	602534	9723649	17	60	10	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP102	580898	9709787	35	60	10	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP103	585188	9723958	32	80	20	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP104	579753	9705114	23	42	5	Em Operação	37 a 42 (estimado)
TP105	579087	9723682	18	92	30	Em Operação	82 a 92 (estimado)
TP106	589397	9726222	43	56	1.2	Em Operação	46 a 56 (estimado)
TP107	588726	9713710	50	72	10	Em Operação	62 a 72 (estimado)
TP108	599862	9713610	4	72	20	Em Operação	62 a 72 (estimado)
TP109	576378	9705693	11	59	6.8	Em Operação	49 a 59 (estimado)
TP110	585356	9723710	38	80	20	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP111	580969	9720273	7	42	3	Em Operação	37 a 42 (estimado)
TP112	582031	9709396	45	70	10	Em Operação	60 a 70 (estimado)
TP113	577194	9706430	30	80	12.5	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP114	584337	9724017	31	52	16	Em Operação	42 a 52 (estimado)
TP115	574186	9713844	24	90	40	Em Operação	80 a 90 (estimado)
TP116	577533	9706488	24	86	8	Em Operação	76 a 86 (estimado)
TP117	584563	9724229	26	64	12	Em Operação	54 a 64 (estimado)
TP118	581375	9706603	52	70	5	Em Operação	60 a 70 (estimado)
TP119	579633	9706487	32	26	5	Em Operação	21 a 26 (estimado)
TP120	583816	9724251	20	92	160	Em Operação	82 a 92 (estimado)
TP121	592180	9726401	47	69.6	20.4	Em Operação	59.509 a 69.509 (estimado)
TP122	577902	9706036	16	50	2.5	Em Operação	45 a 50 (estimado)
TP123	592680	9716716	38	50	3	Em Operação	45 a 50 (estimado)
TP124	582805	9721696	29	80	7	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP125	582138	9707035	34	60	12	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP126	579581	9724327	31	110	3	Em Operação	100 a 110 (estimado)
TP127	573677	9706923	18	62	4	Em Operação	52 a 62 (estimado)
TP128	589627	9717480	39	46	4.5	Em Operação	41 a 46 (estimado)
TP129	591838	9717681	44	52	1	Em Operação	42 a 52 (estimado)
TP130	587269	9714992	35	100	10	Em Operação	90 a 100 (estimado)
TP131	578787	9707049	42	18	1	Em Operação	15 a 18 (estimado)
TP132	592692	9724430	34	78	12	Em Operação	68 a 78 (estimado)
TP133	585094	9721981	39	128	80	Em Operação	118 a 128 (estimado)
TP134	577963	9719129	20	60	3	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP135	584677	9724447	17	60	20	Em Operação	50 a 60 (estimado)



Poço	X	Y	Z (m)	Prof. (m)	Q (m ³ /h)	Situação	Prof. dos Filtros
TP136	584937	9723133	46	116	15	Em Operação	106 a 116 (estimado)
TP137	579819	9707162	30	56	5	Em Operação	46 a 56 (estimado)
TP138	584616	9724478	18	60	4	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP139	581332	9707653	36	50	5	Em Operação	45 a 50 (estimado)
TP140	579024	9705336	24	42	6.71	Em Operação	37 a 42 (estimado)
TP141	575652	9709707	23	120	23	Em Operação	110 a 120 (estimado)
TP142	574662	9707319	14	76	4	Em Operação	66 a 76 (estimado)
TP143	584833	9724549	23	63	12	Em Operação	53 a 63 (estimado)
TP144	579511	9719390	5	68	5	Em Operação	58 a 68 (estimado)
TP145	576886	9707510	22	60	18	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP146	581805	9708672	40	46	4.42	Em Operação	41 a 46 (estimado)
TP147	581394	9706824	49	46	1	Em Operação	41 a 46 (estimado)
TP148	580293	9719594	22	86	15	Em Operação	76 a 86 (estimado)
TP149	584788	9724624	27	96	12	Em Operação	86 a 96 (estimado)
TP150	577792	9709706	25	120	12	Em Operação	110 a 120 (estimado)
TP151	599133	9720541	28	69.7	6.4	Em Operação	59.7 a 69.7 (estimado)
TP152	580851	9719604	6	60	6	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP153	575382	9707727	25	30	4.56	Em Operação	25 a 30 (estimado)
TP154	584136	9724631	17	60	12	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP155	576647	9712089	24	72	6	Em Operação	62 a 72 (estimado)
TP156	582935	9707299	30	54	5	Em Operação	44 a 54 (estimado)
TP157	586979	9721286	41	120	25	Em Operação	110 a 120 (estimado)
TP158	589417	9719879	42	117	20	Em Operação	107 a 117 (estimado)
TP159	583164	9724663	22	60	25.1	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP160	581209	9707991	30	22	1	Em Operação	17 a 22 (estimado)
TP161	584399	9724723	16	70	11	Em Operação	60 a 70 (estimado)
TP162	583821	9713267	50	80	4.5	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP163	577473	9707993	30	60	9	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP164	584195	9723956	26	60	13	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP165	581924	9708127	30	60	3	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP166	584708	9724723	25	110	17.76	Em Operação	100 a 110 (estimado)
TP167	583467	9713639	39	60	8	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP168	590959	9727132	40	80	22	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP169	591673	9721952	21	11	1.86	Em Operação	9 a 11 (estimado)
TP170	582105	9708420	40	80	8	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP171	583312	9724742	23	60	6.6	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP172	601384	9713799	0	50	12	Em Operação	45 a 50 (estimado)
TP173	587208	9722081	34	70	18	Em Operação	60 a 70 (estimado)
TP174	575348	9708684	28	51	8	Em Operação	41 a 51 (estimado)
TP175	581283	9724286	16	76	5	Em Operação	66 a 76 (estimado)
TP176	577786	9705899	17	81	8	Em Operação	71 a 81 (estimado)
TP177	590387	9717780	31	100	20	Em Operação	90 a 100 (estimado)
TP178	595272	9722094	35	70	55	Em Operação	60 a 70 (estimado)
TP179	581870	9709068	34	60	75	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP180	573554	9714412	28	66	10	Em Operação	56 a 66 (estimado)
TP181	587286	9722612	34	110	40	Em Operação	100 a 110 (estimado)
TP182	582158	9709393	42	60	15	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP183	581657	9708862	33	60	6.5	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP184	587907	9723103	33	120	30	Em Operação	110 a 120 (estimado)
TP185	583997	9722421	49	60	6	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP186	582732	9724786	19	60	5.54	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP187	586609	9714925	31	60	1.5	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP188	582664	9709460	43	65	5.5	Em Operação	55 a 65 (estimado)
TP189	578184	9704839	32	61	18	Em Operação	51 a 61 (estimado)
TP190	596400	9722557	44	80	150	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP191	582664	9709460	43	44	6	Em Operação	39 a 44 (estimado)
TP192	582809	9724798	19	60	3.5	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP193	576701	9709630	24	60	21.6	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP194	587548	9722572	31	30	3	Em Operação	25 a 30 (estimado)
TP195	588730	9710277	43	80	5.2	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP196	583207	9724902	34	64	15	Em Operação	54 a 64 (estimado)
TP197	582325	9710099	37	44	8	Em Operação	39 a 44 (estimado)
TP198	577715	9710326	26	100	20	Em Operação	90 a 100 (estimado)
TP199	583380	9724970	28	80	1.4	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP200	584962	9710322	17	60	10	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP201	588801	9710525	46	80	5.2	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP202	589837	9727238	44	60	2	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP203	589079	9711127	47	80	4.4	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP204	578651	9710866	15	60	60	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP205	588141	9716490	37	86	25	Em Operação	76 a 86 (estimado)
TP206	587297	9715019	33	100	10	Em Operação	90 a 100 (estimado)

Poço	X	Y	Z (m)	Prof. (m)	Q (m ³ /h)	Situação	Prof. dos Filtros
TP207	583033	9711152	51	102	5.7	Em Operação	92 a 102 (estimado)
TP208	586436	9725412	44	48	15	Em Operação	43 a 48 (estimado)
TP209	579293	9706272	19	52	10	Em Operação	42 a 52 (estimado)
TP210	588565	9719225	49	52	2	Em Operação	42 a 52 (estimado)
TP211	578421	9721023	20	150	18.86	Em Operação	140 a 150 (estimado)
TP212	584261	9725413	8	72	90	Em Operação	62 a 72 (estimado)
TP213	575136	9716429	29	40	2.5	Em Operação	35 a 40 (estimado)
TP214	583434	9711367	50	120	180	Em Operação	110 a 120 (estimado)
TP215	588939	9724251	30	58	5.33	Em Operação	48 a 58 (estimado)
TP216	583790	9711317	43	96	3	Em Operação	86 a 96 (estimado)
TP217	579276	9723949	21	132	5	Em Operação	122 a 132 (estimado)
TP218	576514	9711257	28	100	39.6	Em Operação	90 a 100 (estimado)
TP219	588832	9725436	20	120	7	Em Operação	110 a 120 (estimado)
TP220	576887	9711398	14	100	39.4	Em Operação	90 a 100 (estimado)
TP221	589063	9725703	23	64	12	Em Operação	54 a 64 (estimado)
TP222	583624	9712153	40	65	16	Em Operação	55 a 65 (estimado)
TP223	588431	9725710	22	63	6	Em Operação	53 a 63 (estimado)
TP224	589135	9717241	45	70	2.66	Em Operação	60 a 70 (estimado)
TP225	583172	9711484	43	119	5	Em Operação	109 a 119 (estimado)
TP226	601390	9719168	41	60	10	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP227	584770	9724232	21	59	10	Em Operação	49 a 59 (estimado)
TP228	576265	9712182	23	100	41.65	Em Operação	90 a 100 (estimado)
TP229	588752	9725716	28	62	0.21	Em Operação	52 a 62 (estimado)
TP230	576446	9717377	27	100	4	Em Operação	90 a 100 (estimado)
TP231	591721	9722981	19	16	0.6	Em Operação	13 a 16 (estimado)
TP232	583667	9721393	22	117.93	4.2	Em Operação	107.93 a 117.93 (estimado)
TP233	583284	9717570	33	60	10	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP234	582770	9710225	41	60	10	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP235	593417	9724503	35	80	12	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP236	600523	9713910	26	52	40	Em Operação	42 a 52 (estimado)
TP237	586674	9726098	9	30	12	Em Operação	25 a 30 (estimado)
TP238	588246	9717581	29	76	40	Em Operação	66 a 76 (estimado)
TP239	585671	9723256	54	56	3.6	Em Operação	46 a 56 (estimado)
TP240	581824	9724595	10	117	10	Em Operação	107 a 117 (estimado)
TP241	593009	9714094	40	50	2.88	Em Operação	45 a 50 (estimado)
TP242	591099	9726132	45	56	2	Em Operação	46 a 56 (estimado)
TP243	601197	9717735	13	94	25	Em Operação	84 a 94 (estimado)
TP244	599355	9713549	0	100	4.5	Em Operação	90 a 100 (estimado)
TP245	591130	9726175	46	53	3	Em Operação	43 a 53 (estimado)
TP246	590170	9717934	30	100	15	Em Operação	90 a 100 (estimado)
TP247	572766	9712681	4	149	18	Em Operação	139 a 149 (estimado)
TP248	590453	9724628	25	72	5	Em Operação	62 a 72 (estimado)
TP249	591130	9726184	46	53	3	Em Operação	43 a 53 (estimado)
TP250	583353	9724954	30	80	8	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP251	582648	9710292	45	60	15	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP252	583303	9724927	32	60	3.5	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP253	589879	9726486	38	40	2.5	Em Operação	35 a 40 (estimado)
TP254	598213	9713802	12	60	13	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP255	593606	9720797	35	78	5.5	Em Operação	68 a 78 (estimado)
TP256	579276	9724963	0	80	2.5	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP257	589904	9726492	39	50	2	Em Operação	45 a 50 (estimado)
TP258	600371	9713926	10	60	6.25	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP260	590775	9726580	43	80	1	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP261	571146	9715273	8	120	5.6	Em Operação	110 a 120 (estimado)
TP262	590380	9726826	31	80	16	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP263	573506	9714347	28	51	1	Em Operação	41 a 51 (estimado)
TP264	590206	9725733	37	80	15	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP265	590615	9726937	40	80	40	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP266	587295	9714527	41	80	40	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP267	589784	9724370	26	60	10	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP268	579178	9719244	7	70	4	Em Operação	60 a 70 (estimado)
TP270	588817	9727159	45	50	4.7	Em Operação	45 a 50 (estimado)
TP271	585741	9715859	48	69	20	Em Operação	59 a 69 (estimado)
TP272	591240	9726058	47	52	4.9	Em Operação	42 a 52 (estimado)
TP274	592242	9727254	43	112	25	Em Operação	102 a 112 (estimado)
TP275	577823	9719513	15	122	5	Em Operação	112 a 122 (estimado)
TP276	590229	9717486	37	40	1.5	Em Operação	35 a 40 (estimado)
TP277	596983	9727313	38	76	5	Em Operação	66 a 76 (estimado)
TP278	578714	9719694	21	72	10	Em Operação	62 a 72 (estimado)
TP279	585186	9723704	33	60	6	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP280	591843	9726162	44	70	3	Em Operação	60 a 70 (estimado)



Poço	X	Y	Z (m)	Prof. (m)	Q (m ³ /h)	Situação	Prof. dos Filtros
TP281	588951	9719839	41	70	10	Em Operação	60 a 70 (estimado)
TP282	585599	9715920	47	80	12	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP283	589339	9711773	52	100	40	Em Operação	90 a 100 (estimado)
TP284	588014	9726284	26	62	10	Em Operação	52 a 62 (estimado)
TP285	576442	9700438	30	60	50	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP286	579601	9706017	21	81	7	Em Operação	71 a 81 (estimado)
TP287	590052	9715972	46	80	7.36	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP288	586126	9719994	54	80	15	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP289	574398	9716543	30	115	12	Em Operação	105 a 115 (estimado)
TP290	582690	9710322	43	60	10	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP291	589907	9726388	40	60	3	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP292	574386	9716365	33	50	4.5	Em Operação	45 a 50 (estimado)
TP293	580187	9717166	22	88	4	Em Operação	78 a 88 (estimado)
TP294	589759	9726391	41	45	1.84	Em Operação	40 a 45 (estimado)
TP295	576210	9716923	27	70	100	Em Operação	60 a 70 (estimado)
TP296	583595	9721343	23	60	2.5	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP297	589960	9726532	36	40	3	Em Operação	35 a 40 (estimado)
TP298	586062	9716831	36	40	5	Em Operação	35 a 40 (estimado)
TP299	590010	9726300	41	60	1.5	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP300	589972	9726538	36	40	3	Em Operação	35 a 40 (estimado)
TP301	582852	9717060	39	80	8	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP302	579063	9723299	7	150	9	Em Operação	140 a 150 (estimado)
TP303	586035	9721805	37	50	10	Em Operação	45 a 50 (estimado)
TP304	586705	9717743	41	80	10	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP305	578101	9704765	24	52	21.62	Em Operação	42 a 52 (estimado)
TP306	589941	9721834	27	60	1.5	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP307	594701	9717292	33	62	30	Em Operação	52 a 62 (estimado)
TP308	591838	9717672	43	52	1	Em Operação	42 a 52 (estimado)
TP309	591930	9718400	55	80	5	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP310	579244	9704811	31	60	0.25	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP311	576446	9717377	27	100	4	Em Operação	90 a 100 (estimado)
TP312	579265	9706269	19	52	11	Em Operação	42 a 52 (estimado)
TP313	585139	9722021	33	80	10	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP314	591570	9718092	52	51	2	Em Operação	41 a 51 (estimado)
TP315	588472	9718795	37	50	3.6	Em Operação	45 a 50 (estimado)
TP316	592149	9721556	35	42	2.5	Em Operação	37 a 42 (estimado)
TP317	599812	9717507	20	60	5	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP318	576079	9700716	28	60	5	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP319	591841	9717696	44	52	1	Em Operação	42 a 52 (estimado)
TP320	576238	9709160	19	53	10	Em Operação	43 a 53 (estimado)
TP321	598151	9722682	38	80	25	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP322	595482	9717531	35	80	7	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP323	586654	9724768	46	70	3	Em Operação	60 a 70 (estimado)
TP324	577132	9701815	29	60	15	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP325	599664	9717556	23	60	5	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP326	581816	9709624	47	90	5	Em Operação	80 a 90 (estimado)
TP327	587370	9723586	38	60	5	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP328	586866	9717721	40	33	5	Em Operação	28 a 33 (estimado)
TP329	579675	9719629	7	60	10	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP330	586484	9723737	47	56	10.8	Em Operação	46 a 56 (estimado)
TP331	578933	9723805	22	84	1.2	Em Operação	74 a 84 (estimado)
TP332	587383	9717770	29	62	7	Em Operação	52 a 62 (estimado)
TP333	574569	9707030	23	48	15	Em Operação	43 a 48 (estimado)
TP334	594485	9717836	47	94	10	Em Operação	84 a 94 (estimado)
TP335	583413	9722541	45	56	5	Em Operação	46 a 56 (estimado)
TP336	584337	9724014	31	60	30	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP337	582652	9717974	43	100	6.6	Em Operação	90 a 100 (estimado)
TP338	577132	9707115	25	87	20	Em Operação	77 a 87 (estimado)
TP339	585651	9724066	34	80	4.5	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP340	588342	9718190	32	48.86	26	Em Operação	43.850 a 48.850 (estimado)
TP341	603490	9717391	24	48	39.9	Em Operação	43 a 48 (estimado)
TP342	580220	9707346	37	40	10	Em Operação	35 a 40 (estimado)
TP343	586095	9720178	58	64	10	Em Operação	54 a 64 (estimado)
TP344	587364	9723770	27	60	12	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP345	581680	9707866	28	50	9.54	Em Operação	45 a 50 (estimado)
TP346	587497	9722901	39	60	3	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP347	577510	9720367	30	30	2.3	Em Operação	25 a 30 (estimado)
TP348	575015	9711612	29	63	10	Em Operação	53 a 63 (estimado)
TP349	585171	9724600	33	60	2	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP350	590739	9718388	43	46	211.76	Em Operação	41 a 46 (estimado)
TP351	585819	9723543	53	60	2	Em Operação	50 a 60 (estimado)

Poço	X	Y	Z (m)	Prof. (m)	Q (m3/h)	Situação	Prof. dos Filtros
TP352	583435	9724935	26	56	3.6	Em Operação	46 a 56 (estimado)
TP353	596607	9716819	31	52.9	7	Em Operação	42.89 a 52.89 (estimado)
TP354	581591	9708125	41	36	6	Em Operação	31 a 36 (estimado)
TP355	582840	9724641	13	60	16	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP356	590646	9718591	42	50	225	Em Operação	45 a 50 (estimado)
TP357	588121	9720440	39	78	20	Em Operação	68 a 78 (estimado)
TP358	574785	9706628	18	48	15	Em Operação	43 a 48 (estimado)
TP359	586575	9721909	38	100	13.2	Em Operação	90 a 100 (estimado)
TP360	581837	9708289	39	60	5	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP361	590024	9717305	39	48	5	Em Operação	43 a 48 (estimado)
TP362	587995	9725025	29	42	1.5	Em Operação	37 a 42 (estimado)
TP363	601144	9723586	28	60	8	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP364	584443	9720712	19	22	22.8	Em Operação	17 a 22 (estimado)
TP365	603098	9721514	13	40	11.1	Em Operação	35 a 40 (estimado)
TP366	587021	9718920	34	80	8	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP367	589650	9726524	47	80	12	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP368	582044	9709403	45	60	5	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP369	590386	9717473	41	100	10	Em Operação	90 a 100 (estimado)
TP370	590690	9718996	33	50	240	Em Operação	45 a 50 (estimado)
TP371	587855	9722985	37	60	5.53	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP372	585194	9723958	32	80	20	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP373	581828	9709648	46	90	7	Em Operação	80 a 90 (estimado)
TP374	589268	9712373	57	100	5	Em Operação	90 a 100 (estimado)
TP375	577792	9709706	25	120	0.67	Em Operação	110 a 120 (estimado)
TP376	591778	9725533	24	80	5	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP377	576559	9708730	24	116	18	Em Operação	106 a 116 (estimado)
TP378	575932	9710014	19	40	20	Em Operação	35 a 40 (estimado)
TP379	588364	9717662	26	60	16	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP380	586499	9719223	42	120	28	Em Operação	110 a 120 (estimado)
TP381	579307	9724505	26	153.5	14.14	Em Operação	143.5 a 153.5 (estimado)
TP382	583907	9721721	30	60	5	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP383	580615	9724682	26	81	6	Em Operação	71 a 81 (estimado)
TP384	590370	9721765	27	60	4.8	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP385	591023	9718259	43	42	2	Em Operação	37 a 42 (estimado)
TP386	590762	9725641	44	30	2	Em Operação	25 a 30 (estimado)
TP387	572071	9719452	24	100	11.04	Em Operação	90 a 100 (estimado)
TP388	582267	9721838	26	80	5	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP389	591916	9725803	34	70	4	Em Operação	60 a 70 (estimado)
TP390	587160	9718040	38	40	8	Em Operação	35 a 40 (estimado)
TP391	584155	9717996	18	30	2	Em Operação	25 a 30 (estimado)
TP392	578032	9719492	26	60	12	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP393	595730	9719527	34	80	35	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP394	607351	9721863	19	64	17.5	Em Operação	54 a 64 (estimado)
TP395	579036	9704181	27	115	18	Em Operação	105 a 115 (estimado)
TP396	582198	9709372	43	60	10	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP397	585139	9722021	33	80	8	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP398	586434	9715028	37	30	5	Em Operação	25 a 30 (estimado)
TP399	581896	9720846	23	42	10	Em Operação	37 a 42 (estimado)
TP400	585912	9722057	46	48	6.5	Em Operação	43 a 48 (estimado)
TP401	567186	9693223	19	68	7.3	Em Operação	58 a 68 (estimado)
TP402	580211	9707346	37	40	5	Em Operação	35 a 40 (estimado)
TP403	589771	9726391	41	45	1.88	Em Operação	40 a 45 (estimado)
TP404	598600	9729801	24	60	4	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP405	587042	9722189	36	119.35	20	Em Operação	109.34 a 119.34 (estimado)
TP406	586344	9722911	46	60	7	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP407	580823	9723503	19	50	5	Em Operação	45 a 50 (estimado)
TP408	590949	9726524	47	80	60	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP409	587454	9719809	44	28	3	Em Operação	23 a 28 (estimado)
TP410	597172	9722446	20	80	40	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP411	585881	9722911	47	60	10	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP412	582680	9720527	9	100	15	Em Operação	90 a 100 (estimado)
TP413	587645	9712401	48	63	5	Em Operação	53 a 63 (estimado)
TP414	591251	9726630	49	75	6	Em Operação	65 a 75 (estimado)
TP415	585695	9719906	40	80	10	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP416	577700	9722575	20	72	10	Em Operação	62 a 72 (estimado)
TP417	591257	9726685	49	80	5	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP418	595284	9719974	32	80	35	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP419	590016	9717780	32	100	15	Em Operação	90 a 100 (estimado)
TP420	597823	9722728	29	70	4.5	Em Operação	60 a 70 (estimado)
TP421	603577	9718209	29	63	17.5	Em Operação	53 a 63 (estimado)
TP422	590304	9726723	35	55	5.1	Em Operação	45 a 55 (estimado)



Poço	X	Y	Z (m)	Prof. (m)	Q (m ³ /h)	Situação	Prof. dos Filtros
TP423	586095	9720000	54	50	5.1	Em Operação	45 a 50 (estimado)
TP424	584522	9722789	46	90	20	Em Operação	80 a 90 (estimado)
TP425	575572	9710511	18	60	5	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP426	582308	9723008	24	136	64	Em Operação	126 a 136 (estimado)
TP427	589643	9726641	40	80	12	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP428	582090	9723495	16	70	2	Em Operação	60 a 70 (estimado)
TP429	576577	9707072	6	70	5	Em Operação	60 a 70 (estimado)
TP430	592239	9727254	43	120	16	Em Operação	110 a 120 (estimado)
TP431	586092	9720164	58	64	5	Em Operação	54 a 64 (estimado)
TP432	581990	9723159	21	80	5	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP433	578291	9720254	34	80	1.3	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP434	572140	9714738	15	80	10	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP435	585276	9723507	45	60	15	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP436	599181	9729422	28	50	4.5	Em Operação	45 a 50 (estimado)
TP437	581323	9707647	36	60	6	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP438	580816	9723528	19	50	6	Em Operação	45 a 50 (estimado)
TP439	577443	9715328	22	32	5	Em Operação	27 a 32 (estimado)
TP440	575135	9707663	19	8	0.5	Em Operação	7 a 8 (estimado)
TP441	581896	9720518	8	40	2	Em Operação	35 a 40 (estimado)
TP442	585541	9723525	49	44	5	Em Operação	39 a 44 (estimado)
TP443	583303	9724928	34	60	3.5	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP444	603279	9717923	27	35	37.3	Em Operação	30 a 35 (estimado)
TP445	592560	9721894	40	52	3	Em Operação	42 a 52 (estimado)
TP446	590370	9721765	27	60	4.66	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP447	581468	9708036	37	100	14	Em Operação	90 a 100 (estimado)
TP448	578120	9706046	16	40	2	Em Operação	35 a 40 (estimado)
TP449	577402	9708079	26	59	5	Em Operação	49 a 59 (estimado)
TP450	584582	9720569	24	64	1.5	Em Operação	54 a 64 (estimado)
TP451	588803	9723830	31	60	12	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP453	586003	9720731	44	60	16	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP454	579646	9723998	20	72	144	Em Operação	62 a 72 (estimado)
TP455	581095	9708442	37	100	80	Em Operação	90 a 100 (estimado)
TP456	584218	9720914	30	80	10	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP457	584337	9724014	31	55	162	Em Operação	45 a 55 (estimado)
TP458	604334	9718511	38	40	10	Em Operação	35 a 40 (estimado)
TP459	596085	9721104	41	76	20	Em Operação	66 a 76 (estimado)
TP460	581333	9708666	36	42	3	Em Operação	37 a 42 (estimado)
TP461	590340	9717750	31	54	5	Em Operação	44 a 54 (estimado)
TP462	587026	9721335	41	100	4.5	Em Operação	90 a 100 (estimado)
TP463	584743	9724231	21	60	5	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP464	588884	9717791	24	91	19	Em Operação	81 a 91 (estimado)
TP465	591838	9717687	44	52	1	Em Operação	42 a 52 (estimado)
TP466	586094	9717077	34	30	10	Em Operação	25 a 30 (estimado)
TP467	576238	9709151	19	55	25	Em Operação	45 a 55 (estimado)
TP468	594790	9721545	39	70	10	Em Operação	60 a 70 (estimado)
TP469	591472	9724381	24	60	5	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP470	584323	9725170	10	60	26	Em Operação	50 a 60 (estimado)
TP471	577510	9702447	19	55	7.2	Em Operação	45 a 55 (estimado)
TP472	603893	9718433	44	157.73	45	Em Operação	147.72a 157.72 (estimado)
TP473	577071	9707778	32	90	5	Em Operação	80 a 90 (estimado)
TP474	576333	9708475	38	80	12	Em Operação	70 a 80 (estimado)
TP475	591395	9725880	43	60	5	Em Operação	50 a 60 (estimado)

ANEXO 3

Estratégias Gestão

PROPOSTAS DE AÇÕES ESTRATÉGICAS DE GESTÃO

SANEAMENTO BÁSICO			
AÇÕES PROPOSTAS			
SUBTEMA	MEDIDAS NÃO ESTRUTURAIS	RESPONSÁVEIS	
DRENAGEM URBANA	Elaborar um “Plano Diretor de Drenagem Urbana” a partir do zoneamento de todo meio ambiente físico, inclusive com previsão de cenários futuros, e criação mecanismos sustentáveis e imprescindíveis à gestão eficiente da infraestrutura urbana. Um estudo prévio deverá envolver todas as características peculiares à Ilha de São Luís, tanto do ponto de vista fisiográfico, ambiental, político-administrativo e socioeconômico, quanto especificamente da micro e macrodrenagem existente, e de tudo mais que possa contemplar uma relação legal e harmoniosa com os outros serviços públicos, considerando como imprescindível requisito, a utilização de estudos atualizados e técnicas modernas de engenharia	Secretarias de Obras dos Municípios de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa; Secretaria Estadual de Obras Agência; Reguladora de Serviços Públicos do Maranhão (ARSEMA).	
	Manter sempre a inseparabilidade do sistema de drenagem urbana e os serviços de esgotamento sanitário, coleta de resíduos sólidos e abastecimento d’água, respeitando, sobretudo o sistema separador absoluto entre a drenagem pluvial e o esgoto.	Secretarias de Obras dos Municípios de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa; Secretaria Estadual de Obras; Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos; Agência Reguladora de Serviços Públicos do Maranhão (ARSEMA)	
	Criar séries históricas de medições hidrológicas, a partir da implantação de redes hidrométricas de monitoramento pluviométrico, fluviométrico (nível e vazão) e piezométrico, de modo a permitir a quantificação dos escoamentos superficiais, de base e diretos, principalmente durante os mais extremos regimes sazonais de precipitação e marés	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos com apoio da ANA e CPRM	
	A partir do monitoramento dos dados hidrológicos, implantar redes de alerta de risco às inundações, consorciadas com a Defesa Civil e os meios de comunicação e de acesso à sociedade	Prefeituras Municipais; Defesas Civil Estadual e Municipal; Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos com apoio da ANA e CPRM, e articulados com o CENAD e CEMADEN	
	Educar a sociedade residente nas bacias hidrográficas, por meio de capacitações oferecidas pelos profissionais afins, sobre a responsabilidade individual e coletiva do uso adequado do solo urbano, do meio ambiente, e das estruturas públicas projetadas para reduzir o risco de inundação e melhorar a qualidade de vida da população	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos; Secretarias municipais de Meio Ambiente e Educação	



	<p>Para gerir melhor os serviços pertinentes, sugere-se que sejam mapeadas as diversas situações em que se encontra atualmente operando o sistema de drenagem urbana da Ilha de São Luís, delineando-as nas seguintes áreas específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Correspondente ao pleno desempenho técnico-funcional do sistema de drenagem sem necessidade de intervenções; • Com necessidade de instalação/ampliação da rede de drenagem em áreas desprovidas de projetos executivos, cujas carências foram comprovadas pelos pontos de alagamentos; • Com deficiência funcional por conta da falta de manutenção dos equipamentos avariados, eliminados, sem tampas, soterrados e/ou reutilizados para outros fins; • Com deficiência funcional por conta do aumento dos volumes escoados, por conta do acréscimo das águas servidas dos esgotamentos sanitários nas redes de águas pluviais; • Com deficiência funcional por conta dos processos difusos de lançamento do esgoto sobre os rios e córregos em ocupações ribeirinhas; • Contendo indicação de pontos críticos em corredores viários, considerados principais, como as avenidas Colares Moreira, Jerônimo Albuquerque, Guajajaras, Africanos, e outras de iguais importância, que demandem soluções de implantação de técnicas de armazenamento em reservatórios de retenção ou retenção. • Com necessidade de desapropriação remoção da população ribeirinha para o melhor aproveitamento técnico e social das margens, incluindo o revestimento dos canais, sem prejuízos decorrentes de artificialização dos mananciais, respeitando sempre os meandros naturais característicos da Ilha de São Luís; • Por fim, indicar as áreas onde a sociedade beneficiada pelo sistema de drenagem urbana necessita de capacitação ou de ações de conscientização, visando a melhor convivência com o meio ambiente e utilização adequada dos equipamentos desse sistema. 	<p>Secretarias de Obras dos Municípios de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa</p>
--	--	--

MEDIDAS ESTRUTURAIS		RESPONSÁVEIS
Sistema de Drenagem Convencional		
	Aproveitamento e recuperação da rede existente - Por motivos econômicos deve-se tentar recuperar e aproveitar o sistema de micro e macrodrenagem existente, mesmo considerando que esta tenha sido projetada para fins de afastamento rápido dos deflúvios para jusante, postergando com isso a sua modernização por um tempo indeterminado. Tais medidas não impedem que obras baseadas em técnicas compensatórias sejam indicadas, após estudos prévios de viabilidade técnica e econômica. Nesse mesmo contexto, será incluída a recuperação dos equipamentos avariados, como: sarjetas, bocas de lobo, galerias, caixas coletoras, valetas, descida d'água, dissipadores de energia, etc.	Secretarias de Obras dos Municípios de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa/ Empresas de Consultoria contratadas para esta finalidade
	Implantação ou ampliação da rede existente – Esse item refere-se às áreas ainda não contempladas com projetos de drenagem, embora suas necessidades tenham sido reveladas no diagnóstico. Nesse caso será efetivada a utilização de projetos atualizados, baseados em técnicas de armazenamentos contidas no “Sistema de Drenagem Não Convencional”. Evitar nos aglomerados urbanos, a continuidade de execução de canalizações que visem artificializar os córregos e rios, podendo ser esses a céu aberto, lajeados ou não, tubulares, cujos traçados sejam retificados. Nesses casos acompanhar o traçado natural, respeitando os meandros peculiares à hidrografia natural da Ilha de São Luís;	Secretarias de Obras dos Municípios de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa/ Empresas de Consultoria contratadas para esta finalidade
Sistema de Drenagem não Convencional: alternativas (literatura)		
	Disposição no Local - Reservação das águas precipitadas tipicamente voltado ao controle em lotes residenciais e vias de circulação. É constituído por obras ou dispositivos que promovam ou incrementem a infiltração e percolação das águas coletadas. Seus tipos são conhecidos como: Superfícies de infiltração; Valetas de infiltração abertas; Lagoas de infiltração; Bacias de percolação; Pavimentos porosos. Poços de infiltração secos; e Poços de infiltração úmidos;	Secretarias de Obras dos Municípios de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa/ Empresas de Consultoria contratadas para esta finalidade
	Detenção no local - Obras de detenção que compreendem os reservatórios implantados para controlar áreas urbanizadas restritas, como condomínios, loteamentos e distritos industriais;	Secretarias de Obras dos Municípios de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa/ Empresas de Consultoria contratadas para esta finalidade
	Detenção a jusante - Obras de detenção dos deflúvios situadas a jusante, os quais visam controlar os escoamentos no âmbito das bacias ou sub-bacias de drenagem, sendo, portanto, de maior importância.	Secretarias de Obras dos Municípios de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa/ Empresas de Consultoria contratadas para esta finalidade



	Bacias de Retenção - São reservatórios de superfície que sempre contêm um volume substancial de água permanente para servir a finalidades recreativas, paisagísticas, ou até para abastecimento de água ou outras funções;	Secretarias de Obras dos Municípios de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa/ Empresas de Consultoria contratadas para esta finalidade
	Bacias de Detenção - áreas normalmente secas durante as estiagens, mas projetadas para reter as águas superficiais apenas durante e após as chuvas;	Secretarias de Obras dos Municípios de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa/ Empresas de Consultoria contratadas para esta finalidade
	Bacias de Sedimentação - reservatórios que possuem a função principal de reter sólidos em suspensão ou absorver poluentes que são carregados pelos escoamentos superficiais.	Secretarias de Obras dos Municípios de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa/ Empresas de Consultoria contratadas para esta finalidade
RESÍDUOS SÓLIDOS	AMPLIAÇÃO E MODERNIZAÇÃO DO SISTEMA DE COLETA DE RESÍDUOS	Prefeituras municipais de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa
	Levantar e mapear as áreas dos municípios que ainda não estão sendo assistidas pela coleta domiciliar e suas fases sucessivas, ou com assistência precária;	Prefeituras municipais de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa
	Elaborar projetos e orçamentos que envolvam a ampliação e modernização dos métodos e equipamentos utilizados, de modo que contemplem as áreas ainda não assistidas, ou pouco atendidas;	Prefeituras municipais de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa
	Considerando que os resíduos sólidos de todos os municípios da ilha convergem para a mesma destinação (Ribeira e Rosário), promover a regionalização das metodologias e tecnologias utilizadas de forma consorciadas;	Prefeituras municipais de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa
	Priorizar a eliminação dos pontos de depósito de lixo nas áreas de recarga de aquíferos com o objetivo de minimizar a possibilidade de contaminação das águas subterrâneas;	Prefeituras municipais de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa
	Exigir do empreendedor a impermeabilização das áreas onde houver existência de Tanques de rejeito industriais	Prefeituras municipais de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa
	Angariar investimentos para que as ações acima descritas sejam executadas.	Prefeituras municipais de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa

	INTENSIFICAÇÃO DA EDUCAÇÃO E FISCALIZAÇÃO AMBIENTAL QUANTO À DESTINAÇÃO CORRETA DE RESÍDUOS	Efetuar medidas que visem intensificar a conscientização da população quanto ao comportamento sustentável requerente, diante de sua participação no processo de descarte dos resíduos sólidos de todas as naturezas, principalmente quanto aos locais de disposição não permitidos; Ampliar e capacitar equipes terceirizadas para efetuar a fiscalização sobre a própria população, principalmente no flagrante à disposição inadequada dos resíduos sólidos, com ênfase prioritária para o aspecto educativo; Aplicar em caráter irrevogável e exemplar as medidas punitivas de constam às Leis e Planos específicos; Angariar investimentos para que as ações acima descritas sejam executadas.	Prefeituras municipais de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa; Secretarias municipais de Meio Ambiente e Educação;
		DETALHAMENTOS	Governo do Estado; Secretaria de Obras; Secretarias de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado e do Município de São Luís
		A superfície cimeira da Ilha do Maranhão, onde se localizam bairros como Cidade Operária, Cidade Olímpica, Santa Clara, Jardim São Cristóvão, Jardim América, Jardim Tropical, Maiobão, dentre outros, representa o principal vetor de expansão urbana da periferia de São Luís nas últimas décadas; O cenário de risco, acarretado pela pobreza crônica observada na região e pelo baixo nível de desenvolvimento social e educacional assume proporções dramáticas com relação à degradação ambiental e, mais especificamente, à contaminação dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos: o lançamento indiscriminado de resíduos sólidos urbanos em centenas de lixões clandestinos sobre os topos dos tabuleiros polui a pequena malha de rede de canais existentes na Ilha do Maranhão, colocando em risco a qualidade da água dos aquíferos Barreiras e Itapecuru, com possíveis reflexos no abastecimento de água de uma expressiva parte da população da Ilha de São Luís.	
ESGOTAMENTO SANITÁRIO	RECUPERAÇÃO DAS ÁREAS ATENDIDAS	Políticas Públicas concatenadas à programas socioeconômicos e sanitários, com vistas à obtenção de recursos financeiros, priorizando áreas críticas; Possibilidade de obtenção de recursos junto à ANA pelo PRODES;	Governo do Estado; Secretaria de Obras, de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado e dos Municípios de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa; CAEMA, BRK e SAEES.
		Avaliar os locais mais críticos e elaborar um cronograma de prioridade de atendimento, tendo em vista as condições de precariedade, do ponto de vista sanitário;	Secretaria de Obras do Estado, de Meio Ambiente e Recursos Hídricos e dos Municípios de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa, CAEMA, BRK e SAEES.



	Recuperação física e funcional dos equipamentos que compõe os sistemas de esgotamento sanitário existentes, atualmente com partes avariadas e sem a funcionalidade para qual foram projetados	Secretaria de Obras do Estado e dos Municípios de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa, CAEMA, BRK e SAEES
	Desenvolver mecanismos que possam combater a poluição das águas superficiais e subterrâneas, evitando com isso as vulnerabilidades patogênicas e epidemiológicas à saúde pública, quando decorrentes das más condições sanitárias;	Secretaria de Obras do Estado e dos Municípios de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa, CAEMA, BRK e SAEES. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, de Saúde e Vigilância Sanitária do Estado e dos município
	PLANEJAMENTO DAS ÁREAS NÃO ATENDIDAS	
	Levantamento <i>in loco</i> para indicação de todas as áreas desprovidas de sistemas projetados de coletas de esgoto, seguido dos seu devido mapeamento.	Secretaria de Obras do Estado e dos Municípios de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa, CAEMA, BRK e SAEES.
	Estudos mais aprofundados do ponto de vista sanitário devem ser desenvolvidos em toda a ilha, de modo a sugerir que os projetos decorrentes sejam específicos para cada localidade, respeitando as suas peculiares exigências, através dos indicadores obtidos na fase do levantamento.	Secretaria de Obras do Estado e dos Municípios de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa, CAEMA, BRK e SAEES
	Estes estudos deverão manter consonantes os sistemas de habitação existentes, em execução ou previstos para o futuro nos programas de melhorias habitacionais, de modo a tornar eficientes as definições dos tipos de coleta até os tratamentos finais, cujos resultados possam resolver ou mitigar os problemas ambientais e de saúde públicas, não permitindo que lhes faltem o saneamento básico, nem tolerando mais a prática dos lançamentos a céu aberto.	Secretaria de Obras do Estado e dos Municípios de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa, CAEMA, BRK e SAEES. Secretaria de Habitação e Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
	Os projetos específicos de que trata o parágrafo anterior deverão ser abrangentes, eficientes, e priorizar as áreas ribeirinhas, de modo a preservar os ecossistemas aquáticos, como os rios, córregos, lagoas, praias e manguezais, além do próprio oceano Atlântico.	Secretaria de Obras do Estado e dos Municípios de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa, CAEMA, BRK e SAEES. Secretaria de Habitação e Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos.
	DETALHAMENTOS	
	O problema mais grave associado ao primeiro vetor de crescimento da Ilha (para além do estuário do rio Anil) é a poluição das praias, o que interfere sensivelmente na redução do potencial turístico de São Luís. Sendo assim, toda esta zona costeira consiste numa área prioritária para execução de obras de saneamento ambiental, o que atende também as camadas sociais mais privilegiadas da metrópole.	Governo do Estado; Secretaria de Obras Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado e do Município de São Luís; CAEMA

	<ul style="list-style-type: none"> • O porto de Itaquí e a usina da Alumar, voltados para exportação, são grandes consumidores de água, o que pressiona, decisivamente, por uma competição pelo uso da água. Neste sentido foi inaugurado o Sistema Italuís, em 1982, assim como o incremento do sistema pela perfuração de poços tubulares Desenha-se, portanto, um cenário de possível superexploração dos aquíferos, o que exige uma eficiente gestão da demanda e alternativas de redução da quantidade de água por estas indústrias, e/ou em projetos de reuso da água ou na busca de outras alternativas de Abastecimento; • Projeto de Reuso de Água por estas Indústrias (possibilidade de apoio técnico da ANA). 	Governo do Estado; Secretaria de Obras Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado e do Município de São Luís; Conselho Estadual de Recursos Hídricos; CAEMA
	<ul style="list-style-type: none"> • A superfície cimeira da Ilha do Maranhão, onde se localizam bairros como Cidade Operária, Cidade Olímpica, Santa Clara, Jardim São Cristóvão, Jardim América, Jardim Tropical, Maiobão, dentre outros, representa o principal vetor de expansão urbana da periferia de São Luís nas últimas décadas. • Todos esses bairros periféricos apresentam infraestrutura urbana e sanitária muito precária, com ênfase na carência de coleta e tratamento de resíduos sólidos urbanos e efluentes domésticos. Ou seja, atualmente, em São Luís, uma das principais áreas de descarte irregular de lixo e despejo de esgoto <i>in natura</i> consiste, justamente, numa das principais zonas de recarga dos aquíferos sedimentares Barreiras e Itapecuru. • Neste sentido, o saneamento ambiental desses loteamentos proletários implantados no topo dos tabuleiros cimeiros é de crucial importância para a preservação da qualidade de água dos aquíferos Barreiras e Itapecuru. Trata-se de uma área prioritária para investimentos de infraestrutura urbana. 	Governo do Estado; Secretaria de Obras Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado e do Município de São Luís; Conselho Estadual de Recursos Hídricos; CAEMA
ABASTECIMENTO DE ÁGUA		
	PLANEJAMENTO DAS ÁREAS NÃO ATENDIDAS	
	Levantamento <i>in loco</i> das áreas onde houve expansão da urbanização sem controle acompanhado do mapeamento, quantificando as populações residentes nessas áreas e avaliando as alternativas para inseri-las como usuários do sistema de abastecimento d'água;	Secretaria de Obras do Estado e dos Municípios de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa, CAEMA, BRK e SAEs. Secretaria de Habitação e Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
	Desenvolver projetos detalhados, orçados e enquadrados dentro das políticas públicas, podendo ser voltados à todas as esferas governamentais, como também as parcerias público privadas. Esses projetos específicos deverão ser abrangentes e eficazes, mantendo sempre que possível uma correlação direta com os estudos associados aos programas da melhoria habitacional na Ilha de São Luís.	Secretaria de Obras do Estado e dos Municípios de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa, CAEMA, BRK e SAEs. Secretaria de Habitação.



ESTUDOS AVANÇADOS SOBRE CENÁRIOS FUTUROS	
Estudos sobre exploração do potencial hídrico subterrâneo na Ilha de São Luís deverão continuar a serem intensificados, principalmente nas regiões de expansão das áreas urbanas atuais e futuras, mesmo sem previsão de crescimento abrupto da densidade demográfica. Sugere-se que sejam munidos de toda estrutura de adução, tratamento e distribuição, cientificamente e tecnologicamente atualizadas, de modo a garantir a qualidade e quantidade desejadas, como também a erradicação dos racionamentos e rodízios.	Secretaria de Obras do Estado e dos Municípios de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa, CAEMA, BRK e SAEs. Secretaria de Habitação e Secretaria
Quanto ao potencial hídrico de superfície, como a SEMA já anunciou a saturação da disponibilidade hídrica da bacia do rio Itapecuru, para efeito de direito de uso e concessão de outorga, sugere-se que os pesquisadores e os órgãos de competência, intensifiquem estudos no sentido de melhor conhecer as alternativas futuras de outros mananciais para o abastecimento de água que o tempo poderá requerer.	Plano Diretor de Águas da Ilha São Luís (CAEMA, BRK, SAAE de Paço do Lumiar e Raposa). Secretaria de Obras do Estado e dos Municípios de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa.
Campanha extensiva de cadastro de usuários com a consequente regularização dos usos passíveis de outorga dos recursos hídrica bacia do rio Itapecuru; Campanhas de fiscalização periódicas na bacia do rio Itapecuru.	Secretaria de Habitação e Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidades
Caso não seja mais possível a duplicação da adutora do Sistema Italuís, inclusive para contribuir com o Sistema Sacavém (Reservatório de Batatã), a exploração do potencial hídrico da bacia do rio Mearim deverá ser sem dúvida a sugestão mais viável para o momento, mas deve ser verificada; Campanha extensiva de cadastro de usuários com a consequente regularização dos usos passíveis de outorga dos recursos hídrica bacia do rio Mearim; Campanhas de fiscalização periódicas na bacia do rio Mearim.	Plano Diretor de Águas da Ilha São Luís (CAEMA, BRK, SAAE de Paço do Lumiar e Raposa); Secretaria de Obras do Estado e dos Municípios de São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa; Secretaria de Habitação Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos; Universidades
RECARGAS NATURAIS E URBANAS	
MONITORAMENTO	
É muito importante que o Estado, nos processos de licenciamento ambiental e concessão de outorgas na ilha, persista na solicitação aos empreendedores para que, instalem, monitorem continuamente e mantenham o acervo organizado e atualizado de monitoramento de estações fluviométricas nos cursos d'água da ilha, como forma não só de fornecer dados para a avaliação dos impactos dos próprios empreendimentos como também para a gestão de recursos hídricos pelo Estado.	Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos; CONERH. Empreendedores privado
É muito importante a implementação de uma rede de monitoramento hidrometeorológico na Ilha de São Luís.	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Maranhão; (SEMA) com apoio da ANA e CPRM.

	<p>USO E OCUPAÇÃO DO SOLO</p> <p>Nas treze bacias da ilha observou-se que as tipologias de uso e ocupação, mata secundária, mata secundária fragmentada, área agrícolas, urbano de baixa densidade e solo exposto são aquelas em que são registrados os maiores valores de recarga. Entre as tipologias de maior área superficial a mata secundária fragmentada é a que apresentou a maior recarga. Sendo áreas potencialmente mais favoráveis a recarga, deve-se procurar implementar instrumentos através da política de gerenciamento de recursos hídricos / uso e ocupação do solo da ilha que possibilitem a preservação dessas áreas.</p> <p>Algumas alternativas para ajudar na preservação destas áreas podem ser estudadas, como a implantação de Projetos do tipo PSA (Pagamento por Serviços Ambientais) nas áreas agrícolas, ou a criação e implantação de parques urbanos de uso múltiplo, nas áreas que apresentaram maiores valores de recarga, em especial, nas áreas de tabuleiro com mata nativa preservada;</p> <p>No caso das áreas urbanas de baixa densidade, além de dever se procurar manter restrições de incrementos no uso e ocupação do solo por meio da aplicação da lei, também são necessários cuidados para evitar a contaminação dos recursos hídricos subterrâneos pela infiltração de esgotos ou efluentes industriais.</p>	Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos; CONERH. Planos de recursos hídricos (PERH, PBH); Planos Diretores Municipais; Secretarias de Meio Ambiente dos Municípios Prefeituras municipais
	<p>CENÁRIOS E INCERTEZAS</p> <p>As incertezas dos cenários de evapotranspiração, devido ao aumento da temperatura, associadas a possível repetição das ocorrências no passado de déficits em relação a precipitação anual média, como observado na caracterização hidroclimática, poderão ampliar as incertezas dos cenários de recarga. Esta situação realça a importância da adoção do controle da drenagem urbana na fonte, da implementação de técnicas de infiltração e de medidas para a preservação de áreas de recarga.</p>	Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. CONERH.



CONTRIBUIÇÕES DA RECARGA URBANA	
	<ul style="list-style-type: none"> • O maior volume anual médio de recarga oriundo das águas importadas ocorre pela contribuição pela recarga procedentes das perdas nas redes de distribuição de água (28,524 Hm³) seguido dos esgotos não coletados (14,253 Hm³) e da recarga a partir das redes de esgotos coletados (2,003 Hm³). Somando as três parcelas obtém-se o volume total de recarga urbana de 44,78 Hm³. Além dos esgotos domésticos há os efluentes industriais. Os resultados dos estudos hidroquímicos indicaram a não conformidade de alguns parâmetros com a legislação, relacionadas aos problemas observados, principalmente, com a coleta de esgotos e a disposição inadequada dos resíduos sólidos. • Neste sentido, torna-se necessário diminuir as perdas da rede de distribuição de água, mas de forma combinada com a diminuição das perdas da rede de esgotos coletados e, principalmente, com a ampliação da coleta e tratamento de esgotos domésticos e industriais, bem como com a melhoria de todo o sistema de drenagem pluvial e de coleta e destinação de resíduos (PROPOSTA).
SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. CONERH. Planos Diretores de Águas Planos Diretores de Saneamento	
RESULTADOS DAS ATIVIDADES ANTRÓPICAS E CONTROLE DA POLUIÇÃO	
COMPOSTOS NITROGENADOS	<p>O ponto PSL-07 (4 km da BR-135) é um galpão de armazenagem de fertilizantes (N,P, K) e provavelmente, os valores anômalos indicam a contaminação a partir dessas fontes. Os poços PSL-99 e PSL-107 chamam atenção por apresentarem valores altos de NO₃, NH₄ e K. Os pontos PSL-07, PSL-99 e PSL-107 possuem os valores mais altos de ETR (Sm, Dy, Tm e Tb);</p> <p>Recomenda-se, portanto, uma investigação detalhada nessas áreas, onde foram detectados elevados índices de contaminação por fontes pontuais de poluição (galpão de armazenamento e indústria de fertilizantes), analisando os mesmos poços citados neste estudo, além de incluir a análise da água de novos poços nos arredores da área.</p>
	Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. CONERH; Planos de recursos hídricos (PERH, PBH); Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado – PDDI da Região Metropolitana da Grande São Luís; Planos Diretores Municipais; Secretarias de Meio Ambiente dos Municípios



SALINIZAÇÃO	<p>Águas de mistura (PSL-57) e águas dos Sistemas Aquíferos São Luís (PSL-07) e Itapecuru (PSL- 60, PSL-94, PSL-66, PSL-58 e PSL-51), localizadas nas regiões das bacias hidrográficas Bacanga, Santo Antônio, Cachorros e Anil, apresentaram valores mais elevados dos sais em geral, como cloreto e sulfato, indicando uma possível fonte de salinização próxima. As condições de salinização na área estão relacionadas sobretudo ao Sistema Aquífero Itapecuru, e possivelmente se relacionam com os rebaixamentos excessivos dos níveis de água. Nos poços PSL-57 e PSL-66, extremo leste da bacia de Santo Antônio, também são observados poços com águas com maiores teores de sais, embora a causa pareça ser oriunda de problemas construtivos e da grande presença de mangues no local; Solicitação/Exigência aos empreendedores para que, instalem, monitorem continuamente e mantenham o acervo organizado e atualizado de monitoramento de poços com indícios de salinização nas bacias hidrográficas Bacanga, Santo Antônio, Cachorros e Anil (PROPOSTA).</p>	<p>Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. CONERH; Planos de recursos hídricos (PERH, PBH) Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado – PDDI da Região Metropolitana da Grande São Luís; Planos Diretores Municipais (Secretarias de Meio Ambiente dos Municípios Empreendedores; Universidades</p>
COLIFORMES TOTAIS E FECALIS	<p>Fiscalização de poços utilizados para abastecimento humano, e daqueles com análises positivas de coliformes, quanto ao atendimento das condições sanitárias e estruturais, com o tamponamento de poços que não atenderem às normas. (PROPOSTA)</p>	<p>Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos; CONERH. Secretaria de Saúde Vigilância Sanitária</p>
FONTES DE CONTAMINAÇÃO DIFUSA	<p>Fiscalização do lançamento irregular de esgotos em vias públicas, em especial nas áreas de tabuleiros, e cursos de água, verificação das condições de manutenção das estruturas de drenagem pluvial, bem como fiscalização da aplicação de agroquímicos na porção nordeste da Ilha, onde se concentram as atividades agrícolas (PROPOSTA); Implantação de Projetos do tipo Produtor de Água na região NE da Ilha;</p>	<p>Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos; Secretaria de Obras; Secretaria de Agricultura Universidades; ANA</p>



<p>FONTES DE CONTAMINAÇÃO PONTUAIS – Lixão de Paço do Lumiar</p>	<p>Lixão de grande porte que se situa nas bordas de planalto dos depósitos do aquífero São Luís, com grande produção de chorume, e drenando diretamente para afluente do Rio Paciência, a aproximadamente 1.000 m deste rio. As drenagens que descem desse planalto em direção aos vales mais baixos, constituem afluentes do rio Paciência, importante corpo hídrico local e em cuja bacia hidrográfica se situa duas baterias de poços de bombeamento de águas subterrâneas da CAEMA; Desativação imediata do lixão, locação e instalação de um aterro sanitário em local apropriado, bem, como contratação de um Estudo de medidas de mitigação da contaminação causadas pelo seu funcionamento e de um plano para sua implantação (PROPOSTA). Aumentar a frequência das coletas de amostras para monitoramento da qualidade da água subterrâneas nos poços da CAEMA na região do Paciência (PROPOSTA)</p>	<p>Prefeitura de Paço do Lumiar; Secretaria de Obras; Secretaria de Meio Ambiente; Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos; Secretaria Estadual de Obras; Universidades</p>
<p>FONTES DE CONTAMINAÇÃO PONTUAIS – Depósitos clandestinos de lixo + captações irregulares</p>	<p>São comuns descartes clandestinos de lixo por toda a área da Ilha que, associados a existência de inúmeras captações construídas sem qualquer preocupação com proteção sanitária, formam verdadeiros caminhos para a penetração dos poluentes; Fiscalização de depósitos clandestinos de lixo e tamponamento de poços clandestinos (poços, cacimbas, etc.) próximos à lixões ou depósitos de lixo (PROPOSTA).</p>	<p>Prefeituras Municipais; Secretaria Municipais de Meio Ambiente; Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos</p>

PERIGO DE CONTAMINAÇÃO	<p>As bacias hidrográficas dos rios Anil, Paciência e Santo Antônio são, juntamente com a bacia do Bacanga e das Praias, as mais densamente povoadas da Ilha, com mais de 1000 hab./km².</p> <p>Suas nascentes se situam nas áreas dos tabuleiros elevados, representando importantes áreas de recarga dos aquíferos. Nesses locais também se localizam as maiores concentrações das classes de perigo elevado e extremo, destacando-se entre elas a bacia do Anil, devido à sua pequena área geográfica (40,94 km²) e alta densidade populacional, acima de 6.500 hab./km²;</p> <p>No caso da Bacia das Praias, ressalta-se a ocorrência das unidades mais recentes (dunas, depósitos litorâneos, etc.) que, devido à sua pequena profundidade de ocorrência e elevada permeabilidade, tem sua vulnerabilidade natural mais acentuada;</p> <p>Importância da preservação das áreas de tabuleiros restantes nas bacias Anil, Paciência e Santo Antônio, proibindo de todas as formas novas ocupações. Controle mais rigoroso no licenciamento de atividades potencialmente poluidoras nestas bacias, e na Praias.</p>	<p>Prefeituras Municipais; Secretaria Municipais de Meio Ambiente e Recursos Hídricos; Secretarias Municipais de Meio Ambiente e Recursos Hídricos; Conselho Municipal de Meio Ambiente</p> <p>Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado – PDDI da Região Metropolitana da Grande São Luís</p> <p>Planos de Recursos Hídricos</p>
VULNERABILIDADE A SALINIZAÇÃO (Método (GALDI))	<p>No caso dos aquíferos livres (aflorantes), as vulnerabilidades distribuem-se nas classes de vulnerabilidade baixa e média (no Sistema Aquífero São Luís) e alta, no Sistema Holocênico.</p> <p>O Sistema Itapecuru/Alcântara, confinado, apresenta classes de vulnerabilidade mais elevadas nas áreas costeiras do Itaqui/Bacanga, e baixa no resto da ilha, principalmente em função da grande profundidade de seus níveis de água</p>	<p>Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos; Conselho Estadual de Recursos Hídricos</p> <p>Planos de Recursos Hídricos</p>
RESERVAS E DISPONIBILIDADES HÍDRICAS - SASL	<p>Se propõe a adoção de um coeficiente de sustentabilidade de 0,7 para o Sistema Aquífero São Luís, visando à manutenção dos volumes de água da barragem do Batatã e propiciar a manutenção das vazões de base dos rios Paciência e Santo Antônio;</p> <p>Além disso, devem ser consideradas as variações nas reservas a partir do somatório dos volumes que entram e saem em cada unidade aquífera, a partir das drenanças verticais que ocorrem: Conforme visto, podem ser ascendentes (o Itapecuru fornecendo água para o São Luís) ou descendentes, quando o aquífero São Luís libera parte de suas reservas para o Itapecuru.</p>	<p>Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos; Conselho Estadual de Recursos Hídricos; Planos de Recursos Hídricos</p>



RESERVAS E DISPONIBILIDADES HÍDRICAS - SAIT	No caso do Itapecuru para as reservas de saturação, normalmente se admite um volume de exploração de 30% de seu volume no período de 50 anos, o que equivale a 6% ao ano. Na Ilha de São Luís, considerando a existência de áreas nas quais as reservas sob pressão já se encontram aparentemente exauridas e os riscos daí advindos, foi adotado o percentual de 10% (2% ao ano) como limite de depleção	Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos; Conselho Estadual de Recursos Hídricos; Planos de Recursos Hídricos
MODELO NUMÉRICO E DE FLUXO SUBTERRÂNEO	Após a elaboração do Modelo foi recomendado o adensamento da rede de monitoramento d'água subterrânea em toda à Ilha tanto no Aquífero São Luís como no Aquífero Itapecuru, bem como o monitoramento das vazões dos rios e demais cursos d'água. Sugeriu-se, também, que nos estudos futuros seja dada mais ênfase à área oeste/sudoeste bem como à área sudeste da Ilha de São Luís, onde não havia muitos dados de medição de nível d'água	Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos; Conselho Estadual de Recursos Hídricos; Planos de Recursos Hídricos
MODELO NUMÉRICO E DE FLUXO SUBTERRÂNEO - Cenários	Com o modelo calibrado foi possível simular quatro cenários de interesse para o estudo com duração de 32 anos, até 2050. O resultado da simulação mostra que o rebaixamento resultante do cenário de redução da recarga devido à diminuição de 20% da pluviometria é ainda maior que o causado pelo aumento populacional e consequente aumento do consumo de água subterrânea e bombeamento dos poços. O cenário de simulação desenvolvido para testar a redução do consumo decorrente da construção de uma nova adutora (ou ampliação da atual), mostrou a diminuição dos rebaixamentos em cerca de 10 m quando comparado com o cenário de continuidade da situação atual.	Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos; Conselho Estadual de Recursos Hídricos Planos de Recursos Hídricos

ASPECTOS LEGAIS E INSTITUCIONAIS		
ÁREAS DE PROTEÇÃO PARA A RECARGA DE AQUIFEROS - Tabuleiros	Sobre os topos dos tabuleiros é comum a ocorrência de solos bem drenados a fortemente drenados e de alta permeabilidade (Neossolos Quartzarênicos - RQ), provavelmente associados a uma fácies arenosa do Grupo Barreiras. Tais solos apresentam alta transmissividade e consistem em excelentes ambientes de recarga para os aquíferos Barreiras e Itapecuru, subjacentes; Importância de políticas públicas para a preservação de áreas de tabuleiros com vegetação preservada, onde orem solos de alta permeabilidade, constituindo áreas de recarga de aquíferos (Proposta).	Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos; Conselho Estadual de Recursos Hídricos; Prefeituras Municipais; Secretaria Municipais de Meio Ambiente; Conselhos Municipais de Meio Ambiente; Plano Diretor Desenvolvimento Integrado – PDDI da Região Metropolitana Grande São Luís
ÁREAS DE PROTEÇÃO PARA A RECARGA DE AQUIFEROS – Campos de Dunas	A expansão imobiliária recente ao longo da costa atlântica da Ilha do Maranhão tem promovido o progressivo arrasamento do campo de dunas original (e a consequente impermeabilização dos terrenos decorrente da implantação da malha urbana), gerando degradação ambiental e podendo representar o colapso das áreas de recarga do aquífero dunar com reflexos na recarga dos aquíferos Barreiras e Itapecuru; Normas que reforcem a importância da preservação da vegetação das dunas para a sua fixação, e para a recarga dos aquíferos.	Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos; Conselho Estadual de Recursos Hídricos Prefeituras Municipais; Secretaria Municipais de Meio Ambiente Conselhos Municipais de Meio Ambiente; Plano Diretor Desenvolvimento Integrado – PDDI da Região Metropolitana da Grande São Luís
PERÍMETROS DE PROTEÇÃO DE POÇOS	A adoção desses procedimentos em muito melhoraria a gestão das águas subterrâneas locais, haja vista o estado atual de quase abandono em que se encontra a maioria das captações existentes, de propriedade das concessionárias de água (CAEMA e BRK AMBIENTAL), de outros órgãos públicos ou de propriedade privada.	Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos; Conselho Estadual de Recursos Hídrico



PLANO DIRETOR DE DESENVOLVIMENTO INTEGRADO DA GRANDE SÃO LUÍS	Neste sentido, o presente estudo adquire substancial importância como fonte de informações e planejamento sobre os recursos hídricos locais, devendo ser encaminhado aos setores de elaboração do documento final do PDDI.	Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos; Conselho Estadual de Recursos Hídricos; Prefeituras Municipais; Secretaria Municipais de Meio Ambiente; Conselhos Municipais de Meio Ambiente; Plano Diretor Desenvolvimento Integrado – PDDI da Região Metropolitana Grande São Luís
APLICAÇÃO DA LEGISLAÇÃO AMBIENTAL E DE RECURSOS HÍDRICOS	Verifica-se a ocorrência de sucessivos registros de invasões empreendidos pela população de baixa renda em busca de moradia próximo ao centro urbano, como observado no interior de uma unidade de conservação: o Parque Estadual do Bacanga. Na realidade, o processo de invasão se manifesta em toda a franja periurbana da Região Metropolitana de São Luís; Fiscalização e aplicação da legislação e das multas e penas previstas, em especial nas áreas de UC que impactam na qualidade dos recursos hídricos (PROPOSTA	Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos; Conselho Estadual de Recursos Hídricos; Prefeituras Municipais; Secretaria Municipais de Meio Ambiente; Conselhos Municipais de Meio Ambiente; Plano Diretor Desenvolvimento Integrado – PDDI da Região Metropolitana Grande São Luís
ESTUDOS DE DETALHE / FUTUROS		
EFLUENTES URBANOS	Algumas SEVs detectaram a possibilidade de poluição urbana nos primeiros metros abaixo do solo. A SEV 29, no Parque São Luís próximo à BR-135, possui um intervalo pouco resistivo (20 e 40 Omh.m) entre 3 e 10 m da superfície, que pode indicar água misturada com efluentes urbanos.	Universidades

DEPÓSITOS IRREGULARES DE RESÍDUOS SÓLIDOS	Na SEV 08 ocorre um horizonte pouco resistivo a 9 m de profundidade do solo, sobreposto a um horizonte aparentemente não saturado. Há um lixão comunitário no local e existe a possibilidade do chorume se infiltrar até o aquífero São Luís. Por estar em alto topográfico (cota 38 m), parte da carga contaminante pode atingir o aquífero, a 57 m abaixo da superfície, na cota -20m	Universidades
SALINIZAÇÃO POR FALHAS CONSTRUTIVAS (PROXIMIDADES DE MANGUES OU ATÉ 2KM DO LITORAL)	Há risco de entrada de águas mais salgadas em poços distantes até 2 km do litoral ou principalmente àqueles localizados próximos a mangues. Testemunhos de proprietários em Panaquatira, Cumbique, Av. Litorânea e os modelos gerados apontam essa possibilidade quando há seção filtrante entre o nível do mar e cota -15 m; Regulamentar diretriz para a concessão de outorga de direito de uso da água subterrânea que não permita a instalação de seção filtrante entre o nível do mar e a cota de 20 metros em poços com distância de até 2 km do litoral ou a menos de 1 km de mangues (Proposta). Ou Pode criar um GT para discutir uma proposta.	Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos; Conselho Estadual de Recursos Hídricos
GEOFÍSICA/SALINIZA ÇÃO POR FALHAS CONSTRUTIVAS (CENTRO DA ILHA)	Outros levantamentos apontam para camadas muito condutivas no centro da Ilha, mas que necessitam maiores investigações e correlações com poços; Futuras investigações/estudos geofísicos no centro da Ilha (PROPOSTA).	Universidades

ISBN
978-65-5664-224-6



SECRETARIA DE
GEOLOGIA, MINERAÇÃO
E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE

