ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS DA ILHA DE SÃO LUÍS – MA

Subsídios para o Uso Sustentável dos Recursos Hídricos



VOLUME III

Relatório Final

Hidrogeologia
Avaliação Hidroquímica
Análise Isotópica

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

ANA
AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

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

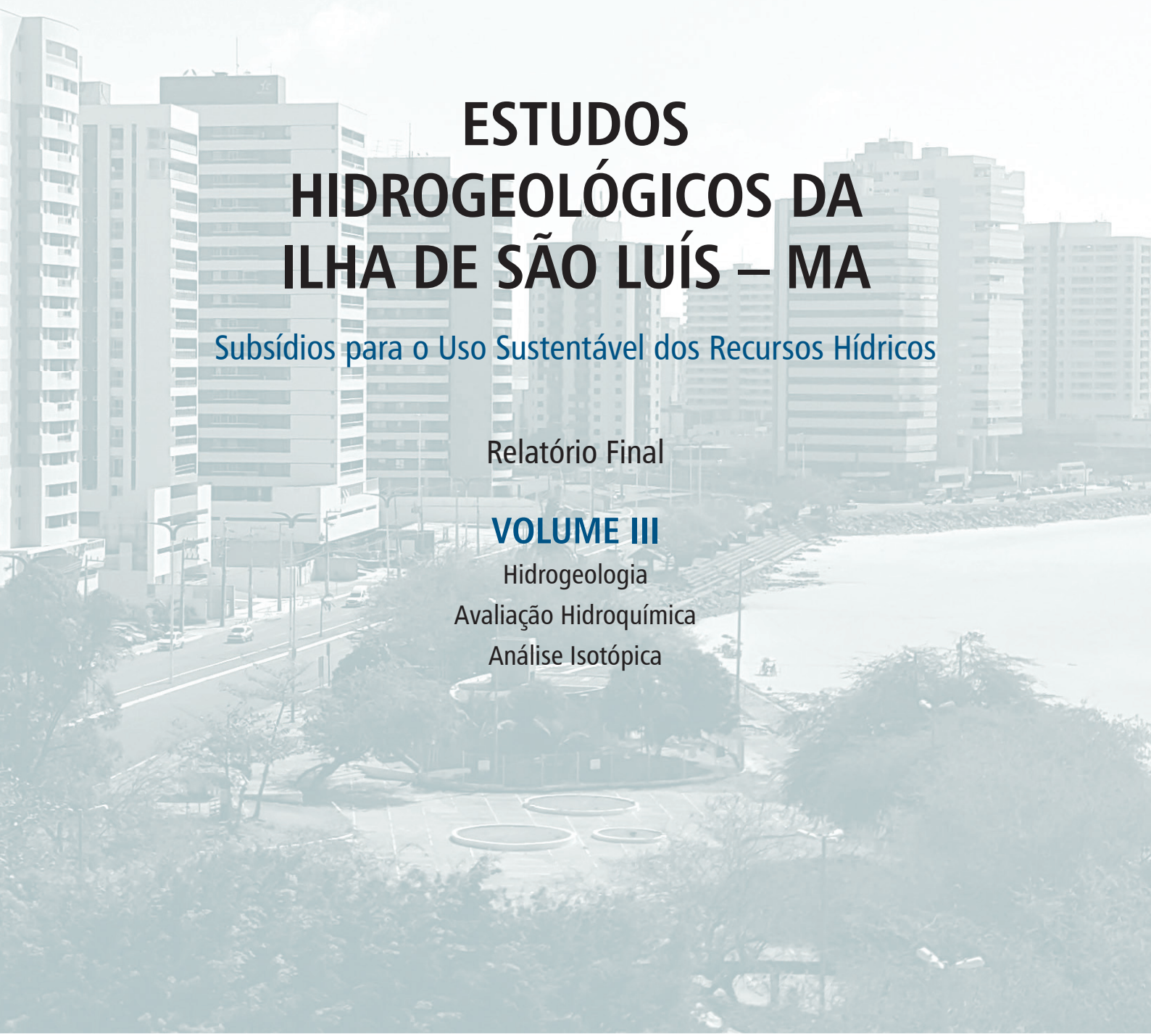
Diretor de Infraestrutura Geocientífica
Fernando Pereira de Carvalho

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 III

Hidrogeologia
Avaliação Hidroquímica
Análise Isotópica

Brasília - DF
ANA I 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 pertecem 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 III / Agência Nacional de Águas, Serviço Geológico do Brasil – CPRM. -- Brasília : ANA; CPRM, 2019.
1 recurso eletrônico : PDF

Nota de conteúdo: hidrogeologia, avaliação hidroquímica, Análise isotópica.
ISBN 978-65-5664-226-0

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

CDD 551.49

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Teresa Rosenhayme CRB 5662

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
Clyvihk 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)

Fabrício 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: Profundidade da interface água doce x água salgada na Ilha do Maranhão 24

Figura 3: Mapa de espessuras do Sistema Aquífero São Luís 25

Figura 4: Mapa Hidrogeológico simplificado da Ilha de São Luís 26

Figura 5: Cadastro de captações de água subterrânea (Poços tubulares, escavados e fontes naturais) 28

Figura 6: Dados estatísticos dos poços e fontes naturais (percentuais aproximados) 30

Figura 7: Produção anual global de água subterrânea na ilha de São Luís. (A) Produção instalada; (B) Produção efetiva 31

Figura 8: Principais áreas de explotação de águas subterrâneas 32

Figura 9: Representação gráfica dos volumes anuais explotados por bacia hidrográfica 33

Figura 10: Bacias hidrográficas e volume anual explotado de água subterrânea na Ilha de São Luís 34

Figura 11: Índice de concentração de poços nas bacias hidrográficas 35

Figura 12: Distribuição geográfica dos pontos de coleta de amostra de água 38

Figura 13: Poços avaliados na primeira etapa 40

Figura 14: Poços avaliados na segunda etapa 41

Figura 15: Mapa de localização dos poços perfilados 43

Figura 16: Perfilagens geofísicas dos Piezômetros 01, 02 e 03 44

Figura 17: Perfilagem geofísica do poço Pz. 04 – Raios gama (Descrição litológica feita pelo geólogo Afonso Braúna da CAEMA) 45

Figura 18: Escoadouro de orifício circular mostrando detalhes construtivos (Modificado de DRISCOLL, 1986 *in* Feitosa *et.al.,* 2008) 47

Figura 19: Perfil construtivo-litológico do poço de bombeamento P3-A 49

Figura 20: Piezômetro Pz 01, croquis e mapa de localização 50

Figura 21: Perfil construtivo piezômetro Pz 01 51

Figura 22: Curva Rebaixamento X Tempo Método de Theis (software AquiferTest) 53

Figura 23: Curvas de campo do Pz 01 54

Figura 24: Aplicação da solução gráfica de Theis para o piezômetro PZ 01 55

Figura 25: Modelo de Hantush (PZ 01) 56

Figura 26: Aplicação do modelo de Walton ao Pz 01 58

Figura 27: Perfil construtivo/litológico do poço de produção P01 (Vila Embratel) 60

Figura 28: Piezômetro Pz 04, croquis e mapa de localização 61
Figura 29: Perfil construtivo piezômetro Pz 04 62
Figura 30: Curva Rebaixamento X Tempo Método de Theis (software *AquiferTest)* 64
Figura 31: Curvas de campo do Pz 04 65
Figura 32: Curva de Theis (Método gráfico) 66
Figura 33: Curva de Hantush Pz 04 68
Figura 34: Curva de Walton Pz 04 69
Figura 35: Piezômetro Pz 02, croquis e mapa de localização 73
Figura 36: Perfil construtivo piezômetro Pz 02 74
Figura 37: Perfil construtivo e litológico do poço P1B Sacavém Bacanga 75
Figura 38: Curva rebaixamento versus tempo e aplicação do método de Neuman no software *AquiferTest* 76
Figura 39: Curvas de campo do Pz 02 77
Figura 40: Aplicação do modelo de Neuman para o Pz-02 78
Figura 41: Piezômetro Pz 03, croquis e mapa de localização 81
Figura 42: Perfil construtivo piezômetro Pz 03 82
Figura 43: Perfil construtivo e litológico do poço de produção P23 – Paciência II 83
Figura 44: Curva Rebaixamento X Tempo Método de Neuman e software *AquiferTest* 84
Figura 45: Curvas de campo piezômetro 03 (PZ 03) 85
Figura 46: Modelo gráfico de Neuman para o Pz 03 86
Figura 47: Nivelamento do poço MJ 114 93
Figura 48: Nivelamento do poço BE 173 94
Figura 49: Superfície do Nível de Água do Aquífero São Luís, avaliada na primeira etapa (período estiagem) 101
Figura 50: Superfície do Nível de Água do Aquífero São Luís, avaliada na segunda etapa (período chuvoso) 102
Figura 51: Espessura saturada calculada pela diferença entre as superfícies de nível de água do período chuvoso e do período seco 103
Figura 52: Direção de Fluxo e Superfície do Nível de Água do Aquífero São Luís com dados da segunda etapa de medição de nível de água nos poços, captando exclusivamente o Aquífero São Luís 104
Figura 53: Superfície piezométrica do Aquífero Itapecuru 106
Figura 54: Espessuras saturadas do Aquífero São Luís 107
Figura 55: Espessuras saturadas do Aquífero Itapecuru, até 100 m abaixo do nível do mar 108

Figura 56: Distribuição dos pontos de amostragem por aquífero e por município 110
Figura 57: Gráficos de correlação entre os principais íons, STD, dureza e nitrato nas duas campanhas de análises 112
Figura 58: Mapa de Zoneamento do Potencial Hidrogeniônico (pH) das águas dos Aquíferos São Luís e Itapecuru e das Águas de Mistura, no período de chuva (fevereiro de 2017) 122
Figura 59: Mapa de Zoneamento do Potencial Hidrogeniônico (pH) das águas dos Aquíferos São Luís e Itapecuru e das Águas de Mistura, no período de estiagem (novembro de 2017) 123
Figura 60: Mapa de Zoneamento do Cálcio (mg/L), das águas dos Aquíferos São Luís e Itapecuru e das Águas de Mistura, no período de chuva (fevereiro de 2017) 125
Figura 61: Mapa de Zoneamento do Cálcio (mg/L), das águas dos Aquíferos São Luís e Itapecuru e das Águas de Mistura, no período de estiagem (novembro de 2017) 126
Figura 62: Mapa de Zoneamento dos Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L) de águas dos Aquíferos São Luís e Itapecuru e das Águas de Mistura, no período de chuva (fevereiro de 2017) 127
Figura 63: Mapa de Zoneamento dos Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L), de águas dos Aquíferos São Luís e Itapecuru e das Águas de Mistura, no período de estiagem (novembro de 2017) 128
Figura 64: Mapa de Zoneamento do Cloreto (mg/L), das águas dos Aquíferos São Luís e Itapecuru e das Águas de Mistura, no período de chuva (fevereiro de 2017) 129
Figura 65: Mapa de Zoneamento do Cloreto (mg/L), das águas dos Aquíferos São Luís e Itapecuru e das Águas de Mistura, no período de estiagem (novembro de 2017) 130
Figura 66: Mapa de Zoneamento do Sódio (mg/L), das águas dos Aquíferos São Luís e Itapecuru e das Águas de Mistura, no período de chuva (fevereiro de 2017) 131
Figura 67: Mapa de Zoneamento do Sódio (mg/L), das águas dos Aquíferos São Luís e Itapecuru e das Águas de Mistura, no período de estiagem (novembro de 2017) 132
Figura 68: Mapa de Zoneamento do Sulfato (mg/L), das águas dos Aquíferos São Luís e Itapecuru e das Águas de Mistura, no período de chuva (fevereiro de 2017) 133
Figura 69: Mapa de Zoneamento do Sulfato (mg/L), das águas dos Aquíferos São Luís e Itapecuru e das Águas de Mistura, no período de estiagem (novembro de 2017) 134
Figura 70: Mapa de Zoneamento do Nitrato (mg/L), das águas dos Aquíferos São Luís e Itapecuru e das Águas de Mistura, no período de chuva (fevereiro de 2017)..... 135

Figura 71: Mapa de Zoneamento do Nitrato (mg/L), das águas dos Aquíferos São Luís e Itapecuru e das Águas de Mistura, no período de estiagem (novembro de 2017) 136

Figura 72: Mapa de Zoneamento do Amônio (mg/L), das águas dos Aquíferos São Luís e Itapecuru e das Águas de Mistura, no período de estiagem (novembro de 2017) 137

Figura 73: Mapa de coliformes totais na Ilha de São Luís no período de estiagem (novembro, 2017)..... 139

Figura 74: Pontos amostrados apresentaram teores acima do VMP para Al, Mn, Pb e Se 141

Figura 75: Classificação das águas dos aquíferos da Ilha de São Luís para fins de irrigação, segundo o diagrama do USSL, com amostragens em fevereiro de 2017 143

Figura 76: Classificação das águas dos aquíferos da Ilha de São Luís para fins de irrigação, segundo o diagrama do USSL, com amostragens em novembro de 2017 144

Figura 77: Dendograma de correlação 147

Figura 78: Distribuição espacial dos grupos 148

Figura 79: Diagrama de Piper com as amostras coletadas na primeira etapa..... 150

Figura 80: Percentual de distribuição da classificação dos tipos de águas de acordo com o Diagrama de Piper. Amostras da primeira etapa de coleta..... 150

Figura 81: Diagrama de Piper com as amostras coletadas na segunda etapa..... 151

Figura 82: Percentual de distribuição da classificação dos tipos de águas de acordo com o Diagrama de Piper. Amostras da segunda etapa de coleta 151

Figura 83: Diagramas Piper por grupos hidroquímicos. (Campanha 2) 153

Figura 84: Diagrama de Stiff da Ilha de São Luís na 1ª Etapa (fevereiro de 2017) 156

Figura 85: Diagrama de Stiff da Ilha de São Luís na 2ª etapa (novembro de 2017) 157

Figura 86: Mapa de pontos de amostragens de $\delta^{18}O$ (‰) e δD (‰) das águas dos Aquíferos São Luís e Itapecuru no período de chuva (fevereiro/2017)..... 162

Figura 87: Mapa de pontos de amostragens de $\delta^{18}O$ (‰) e δD (‰) das águas dos Aquíferos São Luís e Itapecuru no período de estiagem (novembro/2017)..... 163

Figura 88: Gráficos de correlação entre $\delta^{18}O$ e os parâmetros químicos K, Cl e NO_3 com discriminação dos tipos aquíferos (círculos rosas – Aquífero São Luís; losangos azuis – Aquífero Itapecuru; triângulos verdes - Mistura aquíferos São Luís e Itapecuru). Correlações significativas apontadas pelo teste de Pearson..... 166

Figura 89: Gráficos de correlação entre Trítio e os parâmetros químicos K e NO_3 com discriminação dos tipos aquíferos (círculos rosas – Aquífero São Luís; losangos azuis – Aquífero Itapecuru; triângulos verdes - Mistura dos aquíferos São Luís e Itapecuru). Correlações significativas apontadas pelo teste de Pearson 167

Figura 90: Diagrama de δD x $\delta^{18}O$ do conjunto de amostras coletadas no projeto (símbolos preenchidos). Lançadas também as linhas meteóricas Global e da região Nordeste e as análises realizadas por Pereira *et al.* (2002 e 2004), em símbolos não preenchidos 167

Figura 91: Diagrama de $\delta^{18}O$ e Trítio versus Condutividade Elétrica 168

Figura 92: Diagrama de δD e $\delta^{18}O$ para as análises, classificadas por intervalos de condutividade elétrica e por aquífero predominante 168

Figura 93: Mapa com a localização dos pontos d'água com amostragem de Trítio, classificados, conforme Clark e Fritz (1997), de acordo com as concentrações obtidas 179

Figura 94: Concentrações médias de Trítio estimadas para as precipitações em São Luís 186

Figura 95: Curva de tempo de renovação da água subterrânea em função da concentração do Trítio concentração obtida com base no modelo de fluxo exponencial 186

Figura 96: Distribuição dos tempos de residência das águas subterrâneas estimados para os pontos com análise de Trítio, a partir da aplicação do modelo de fluxo exponencial 190

Figura 97: Idades aparentes obtidas com ^{14}C na Ilha de São Luís 195

Figura 98: Idades corrigidas obtidas com ^{14}C na Ilha de São Luís 196

TABELAS

Tabela 1: Área, população e densidade demográfica dos municípios da ilha de São Luís (FONTE: IPEA, 2014) 20

Tabela 2: Produção estimada de água subterrânea na Ilha de São Luís 31

Tabela 3: Volumes anuais explotados por bacia hidrográfica 33

Tabela 4: Distribuição das amostras coletadas para análises físico-químicas nas duas etapas de campo realizadas, por município e por aquífero 37

Tabela 5: Localização dos poços perfilados 42

Tabela 6: Métodos de análise de fluxo para poços em função do tipo de aquífero e regime de bombeamento (Feitosa *et.al.,* 2008) 47

Tabela 7: Dados do teste de bombeamento poço P3A/Pz 01 52

Tabela 8: Quadro resumo dos valores obtidos no Pz 01 59

Tabela 9: Dados do teste de bombeamento poço P01/Pz 04 63
Tabela 10: Quadro-resumo dos dados do Pz 04 70
Tabela 11: Teste de bombeamento Poço P1BI e Piezômetro 02 (PZ 02) 71
Tabela 12: Valores médios para o Pz 02 79
Tabela 13: Teste de bombeamento Poço P 23 – Paciência II e Piezômetro 03 (PZ 03) 79
Tabela 14: Quadro síntese Pz 03 87
Tabela 15: Nivelamento geodésico dos pontos d'água 88
Tabela 16: Valores dos níveis da água subterrânea nivelados em relação ao nível do mar durante as duas campanhas de medição e aquíferos captados 95
Tabela 17: Níveis de água medidos nas duas campanhas e profundidades das captações (Conforme relatórios técnicos existentes) 99
Tabela 18: Balanço Iônico Nº 1 – Erro permitido 111
Tabela 19: Balanço Iônico Nº 2 – Erro permitido 111
Tabela 20: Matriz de correlação entre os íons analisados das amostras de águas subterrâneas em meq/L e condutividade elétrica (μS/cm) da primeira etapa de coleta 113
Tabela 21: Matriz de correlação entre os íons analisados das amostras de águas em meq/L e condutividade elétrica (μS/cm), correspondente da segunda etapa de coleta 114
Tabela 22: Estatísticas por parâmetro e coleta 115
Tabela 23: Número de outliers por coleta 117
Tabela 24: Diferença entre as estatísticas das coletas de fev/17 e nov/17 117
Tabela 25: Comparação com os padrões de potabilidade 118
Tabela 26: Poços com valores maiores que o VMP em pelo menos dois parâmetros 119
Tabela 27: Potabilidade das águas dos Aquíferos São Luís e Itapecuru (de acordo com a PRC n° 5 do Ministério da Saúde) 120
Tabela 28: Parâmetros estatísticos do pH dos Aquíferos São Luís e Itapecuru e Águas de Mistura 121
Tabela 29: Valores de referência de elementos-traço para potabilidade da água de acordo com a PRC n° 5, de 28 de setembro de 2017, ANEXO XX, do Ministério da Saúde 140
Tabela 30: Classes de água para fins de irrigação dos aquíferos da Ilha de São Luís 144
Tabela 31: Agrupamento de pontos de amostragens 146
Tabela 32: Classificação das águas com o diagrama de Piper (Campanha 2) 152
Tabela 33: Valores medianos dos parâmetros por grupo (Campanha 2) 152
Tabela 34: Valores de $\delta^{18}O$ (‰) e δD (‰) das águas do Aquífero Itapecuru nos períodos de chuva (fevereiro/2017) e de estiagem (novembro/2017) 159

Tabela 35: Valores de δ18O (‰) e δD (‰) das águas de mistura dos Aquíferos São Luís e Itapecuru nos períodos de chuva (fevereiro/2017) e de estiagem (novembro/2017)..... 160

Tabela 36: Valores de $\delta^{18}O$ (‰) e δD (‰) das águas do Aquífero São Luís nos períodos de chuva (fevereiro/2017) e de estiagem (novembro/2017)..... 160

Tabela 37: Matriz de correlação entre os parâmetros isotópicos, físico-químicos e químicos 164

Tabela 38: Comparação entre dados isotópicos de 2001 (Pereira *et al.*, 2002 e 2004) e 2017 (Projeto São Luís) 164

Tabela 39: Valores de Excesso de Deutério - *d* (‰) das águas do Aquífero Itapecuru nos períodos de chuva (fevereiro/2017) e de estiagem (novembro/2017)..... 169

Tabela 40: Valores de Excesso de Deutério - *d* (‰) das águas de mistura nos períodos de chuva (fevereiro/2017) e de estiagem (novembro/2017)..... 169

Tabela 41: Valores de Excesso de Deutério - *d* (‰) das águas do Aquífero São Luís nos períodos de chuva (fevereiro/2017) e de estiagem (novembro/2017)..... 170

Tabela 42: Resultados das análises de Trítio de amostras de água subterrânea coletadas na área 176

Tabela 43: Procedimentos de determinação dos valores de ^{3}H na estação de Belém e estimativa para o Aquífero São Luís 181

Tabela 44: Procedimentos de determinação dos valores de ^{3}H na estação de Fortaleza e estimativa para São Luís 183

Tabela 45: Tempos de renovação das águas subterrâneas, calculados a partir do modelo exponencial de fluxo 187

Tabela 46: Resultados finais disponibilizados no laudo do Laboratório de Radiocarbono, do Instituto de Física, da Universidade Fluminense (LAC-UFF) 192

Tabela 47: Resultados finais (idades aparentes e corrigidas) 194

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO 17

1.1. A ÁREA DE ESTUDOS 20

2. CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA 21

2.1. UNIDADES GEOLÓGICAS 21

2.2. UNIDADES HIDROESTRATIGRÁFICAS 21

2.3. CADASTRO DE POÇOS 27

2.4. REDE DE AMOSTRAGEM QUALI-QUANTITATIVA 36

2.4.1. Métodos de coleta de amostras 36

2.4.2. Medições dos níveis de águas subterrâneas 39

2.5. PERFILAGENS GEOFÍSICAS DE POÇOS 42

2.6. TESTES DE AQUÍFEROS 46

2.6.1. Testes realizados no Aquífero Confinado Itapecuru 48

2.6.1.1. Poço P3A e Piezômetro Pz 01 48

2.6.1.1.1. Método de Theis e software *AquiferTest* 52

2.6.1.1.2. Método de Theis 55

2.6.1.1.3. Método de Hantush 56

2.6.1.1.4. Método de Walton 58

2.6.1.1.5. Síntese dos resultados do Pz 01 59

2.6.1.1.6. Poço P01 (Vila Embratel) e Piezômetro Pz 04 59

2.6.1.1.7. Método de Theis e o software *AquiferTest* 63

2.6.1.1.8. Método de Theis 66

2.6.1.1.9. Método de Hantush 67

2.6.1.1.10. Método de Walton 68

2.6.1.2. Síntese dos resultados do Pz 04 70

2.6.2. Testes realizados no Aquífero Livre São Luís 70

2.6.2.1. Poço P1B e Piezômetro Pz 02 70

2.6.2.1.1. Método de Neuman e o software *AquiferTest* 76

2.6.2.1.2. Método de Neuman 78

2.6.2.1.3. Síntese dos resultados do Pz 02 79

2.6.2.2. Poço P23 e Piezômetro Pz 03 79

2.6.2.2.1. Método de Neuman e software *AquiferTest* 84

2.6.2.2.2. Método de Newman 86

2.6.2.2.3. Síntese dos resultados do Pz 03 87

2.7. NÍVEL E FLUXO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS 87

2.7.1. Nivelamento dos pontos da Rede de Amostragem Quantitativa 87

2.7.2. Superfícies dos níveis das águas subterrâneas e direções de fluxo 95

2.7.2.1. Níveis das águas subterrâneas 95
2.7.2.2. Avaliação das superfícies do fluxo das águas subterrâneas 100

3. AVALIAÇÃO HIDROQUÍMICA 109

3.1. VERIFICAÇÃO DO BALANÇO IÔNICO 111
3.2. CORRELAÇÃO DOS RESULTADOS 112
3.3. ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS 114
3.4. COMPARAÇÃO COM OS PADRÕES DE POTABILIDADE (PARÂMETROS ANALISADOS NAS DUAS CAMPANHAS) 118
3.5. ZONEAMENTO HIDROQUÍMICO 121
3.6. PARÂMETROS ESPECÍFICOS 138
3.6.1. Coliformes Totais e Fecais 138
3.6.2. Elementos-Traço 140
3.6.3. BTEX e Fenóis 142
3.7. ADEQUAÇÃO PARA IRRIGAÇÃO 143
3.8. ANÁLISE DE AGRUPAMENTO 145
3.9. CLASSIFICAÇÃO PELOS DIAGRAMAS DE PIPER E DE STIFF 149
3.9.1. O Diagrama de Piper 149
3.9.2. O Diagrama de Stiff 155

4. ANÁLISE ISOTÓPICA 158

4.1. ISÓTOPOS DE OXIGÊNIO E DEUTÉRIO 158
4.1.1. O fracionamento dos isótopos de Oxigênio e Deutério no Ciclo Hidrológico 158
4.1.2. Oxigênio - 18 e Deutério na Ilha de São Luís 159
4.1.3. Discussão dos resultados de Oxigênio e Deutério 170
4.2. TRÍTIO 171
4.2.1. O Emprego do Isótopo radioativo de hidrogênio em estudos hidrogeológicos 172
4.2.2. O Trítio na Ilha de São Luís 175
4.2.3. Discussão dos resultados de Trítio 188
4.3. CARBONO 14 189
4.3.1. Discussão dos resultados de Carbono 14 193

REFERÊNCIAS 198

ANEXO 1
Perfilagens geofísicas dos piezômetros perfurados para realização dos ensaios de bombeamento

ANEXO 2
Nivelamento topográfico da rede quantitava.

ANEXO 3
Parâmetros Físico-Químicos (período seco e chuvoso)

ANEXO 4
Concentrações dos Cátions e Ânions principais nas água dos Aquíferos São Luís e Itapecuru

ANEXO 5
Série Nitrogenada e Componentes Secundários

ANEXO 6
Elementos Terras Raras

ANEXO 7
Balanço Iônico (período seco e chuvoso)

ANEXO 8
Coliformes Fecais e Totais, Btex e Fenóis

ANEXO 9
Elementos Traço

ANEXO 10
Classes de água para fins de irrigação na Ilha de São Luís nos Períodos de Chuva (Fevereiro/2017) e de Estiagem (Novembro/2017)

ANEXO 11
Laudo de análise de materiais por Carbono 14 – AMS


OCEANO ATLÂNTICO
RAPOSA
PAÇO
DO LUMIAR
SÃO LUÍS
SÃO JOSÉ
DE RIBAMAR
BAÍA DE SÃO JOSÉ
BAÍA DO ARRAIAL

1 APRESENTAÇÃO

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, 2010). 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 explotação. 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.

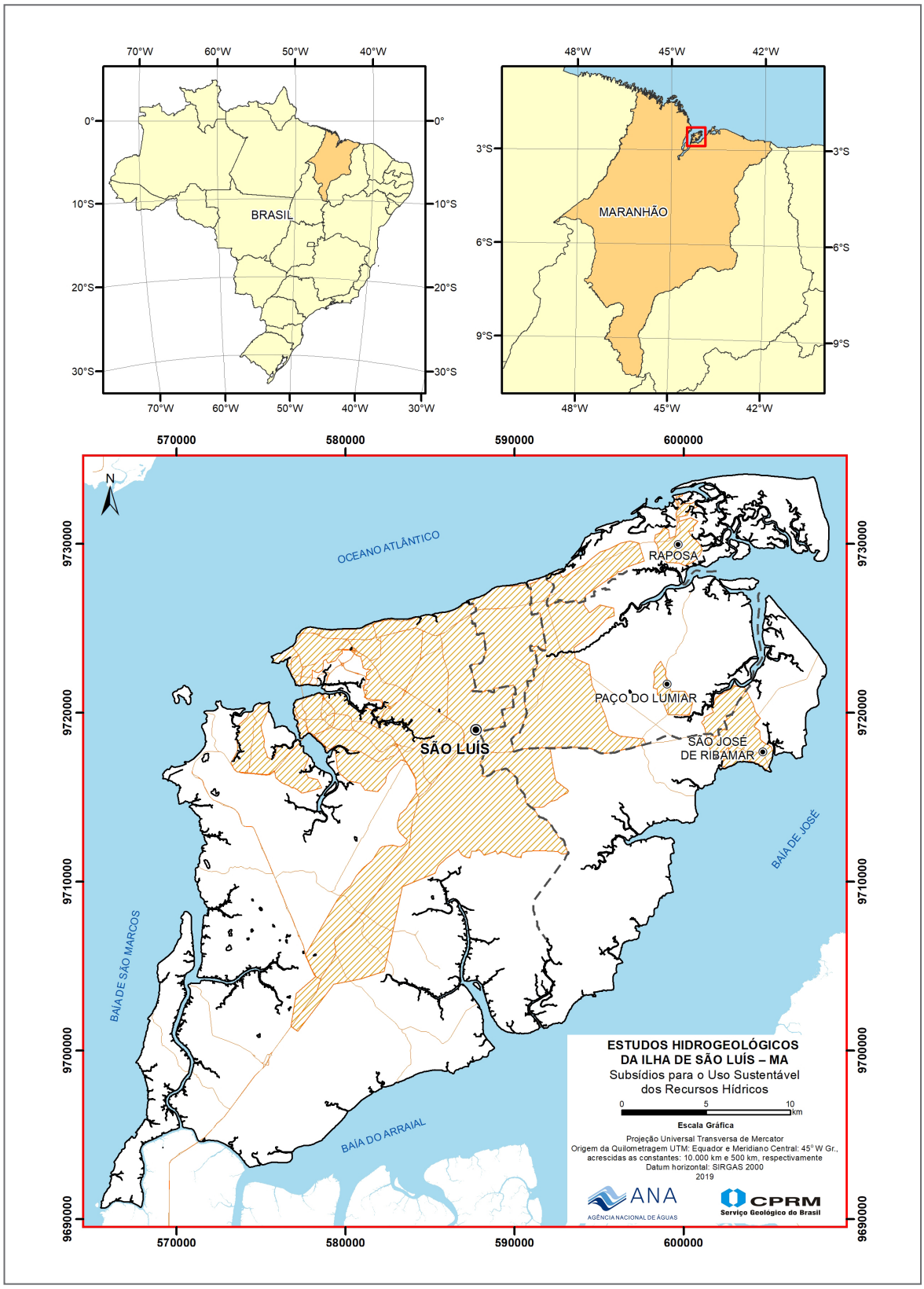


Figura 1: Mapa de localização

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 explotação.

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 174/2015), 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 Baia 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 02º22'23" e 02º51'00" Lat. Sul; 44º26'41" e 43º59'41" 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).

2 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

2.1. UNIDADES GEOLÓGICAS

Os aspectos geomorfológicos, pedológicos, litológicos, estratigráficos e estruturais, dominantes na Ilha, permitem a determinação de três unidades geológicas portadoras de águas subterrâneas, conceitualmente individualizadas do ponto de vista temporal e/ou hidrogeológico, conforme discriminado a seguir:

Unidade Cretácica

Composta pelas rochas do Grupo Itapecuru, unidade Indiscriminada e Formação Alcântara, constituindo o substrato da Ilha. Repousa sobre outra unidade Cretácica, a Formação Codó, e o Embasamento pré-cambriano, não considerados neste trabalho. Constitui-se de siltitos vermelhos, ocre a esbranquiçados, contendo intercalações de arenitos finos a muito finos e argilas carbonáticas. Destaca-se a ocorrência de uma camada superior de calcário e dolomito, creme esbranquiçada, que se constitui em importante guia estratigráfico para o final da sedimentação cretácea.

Unidade Cretácica/Terciária

Formação Cujupe - Unidade superior do Grupo Itapecuru, com idade inferida entre o Turoniano e o Terciário inferior, informalmente conhecida como “Terciário antigo” ou “Sucessão Superior”. É constituída por arenitos caulínicos de coloração branca a amarelada, intercalados com argilitos brancos, cinza a violáceos;

Formação Barreiras - De idade terciária (Mioceno), composta litologicamente por arenitos mal selecionados, finos a grossos, variegados, em geral argilosos, com intercalações de folhelhos, além de fácies conglomeráticas;

Sedimentos Pós-Barreiras - Sucessão estratigráfica sobreposta à Formação Barreiras e/ou à Unidade Cretácica, ocorrendo principalmente nas cotas mais elevadas, formando relevo de topo plano e/ou sem rugosidade. É composta essencialmente por sedimento arenoso, areno-siltoso, avermelhado, alaranjado ou ocre, geralmente maciço, coeso, de granulação fina a média, com clastos subarredondados a arredondados, podendo apresentar porções conglomeráticas.

Unidade Holocênica

Formada pelas Planícies de Maré, Cordões Litorâneos, Pântanos Salinos, Mangues, Depósitos Litorâneos, Depósitos Eólicos e Aluviões.

2.2. UNIDADES HIDROESTRATIGRÁFICAS

Na Ilha de São Luís ocorrem somente aquíferos porosos livres ou confinados/semiconfinados. Os aquíferos livres, freáticos ou não confinados são aqueles cujo limite superior coincide com a

superfície de saturação, na qual todos os pontos estão sujeitos apenas à pressão atmosférica. Aquíferos confinados, ou sob pressão, são aqueles onde a pressão da água no seu topo é maior que a pressão atmosférica.

Utilizando o conceito de taxonomia hidrogeológica (Diniz et al., 2014) e a partir de dados hidrodinâmicos (transmissividade, condutividade hidráulica e vazões específicas), obtidos no cadastro de poços e nos testes de bombeamento realizados, as três unidades geológicas descritas anteriormente são divididas em quatro Unidades Hidroestratigráficas, definidas como "formações geológicas ou partes delas que armazenam e transmitem águas subterrâneas de forma semelhante e com produtividades da mesma ordem de grandeza". Conceitualmente podem ser definidas da seguinte forma:

Sistema Aquífero 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 100 m abaixo do nível do mar, seja aproveitada como aquífero, devido ao aumento no teor em sais em profundidade.

A Figura 2 foi elaborada a partir de informações obtidas na CAEMA, com base na perfuração de alguns poços tubulares, construídos em profundidades maiores do que aquelas usualmente praticadas na Ilha e que posteriormente apresentaram altos teores de sais, evidenciando a ocorrência de águas salinizadas em maiores profundidades. Essas informações são apenas qualitativas (obtidas por meio de relatos de técnicos da companhia), não sendo possível acessar os dados químicos destes poços.

Os poços de 170 m de profundidade (Praça da Misericórdia), 184 m de profundidade (Parque Bom Menino), 200 m de profundidade (Praça Catulo da Paixão Cearense) e 230 m de profundidade (Outeiro da Cruz) têm seções filtrantes iniciadas, respectivamente, em 112 m, 128 m, 124 m e 164 m.

Considerando as cotas de seus locais de perfuração, percebe-se que esses filtros estão verticalmente separados por apenas 30 m, situando-se a 82 m, 98 m, 119 m e 124 m abaixo do nível médio do mar.

Construindo uma linha que represente a interface água doce – água salgada, pode-se observar que ela penetra inicialmente no continente a profundidades da ordem de 82 m (no poço Praça da Misericórdia) e continua por baixo de toda a seção estudada, situando-se a 98 m, 119 m e 124 m, no Parque Bom Menino, Praça Catulo da Paixão Cearense e Outeiro da Cruz, respectivamente.

Como a distância entre os poços analisados é muito pequena com relação à largura total da área, a profundidade desta zona deve se aprofundar cada vez mais no interior da Ilha, voltando a diminuir novamente nas proximidades da zona litorânea.

Em termos de produtividade, nesta unidade as vazões situam-se entre 25 e 50 m^3/h, com vazões específicas entre 1 e 2 $m^3/h/m$. Na região do Parque Estadual do Bacanga, os valores

de vazão se situam entre 50 e 100 m^3/h e as vazões específicas entre 1 e 2 $m^3/h/m$. Devido à conformação estrutural da Ilha, aflora de forma restrita na área, em alguns pontos próximos do litoral como, por exemplo, junto ao farol de São Marcos e nas proximidades do Porto de Itaqui, não sendo representado em mapa na escala deste trabalho. Constitui um sistema semiconfinado e localmente confinado, com recarga por drenança das unidades superiores.

Os coeficientes hidrodinâmicos, obtidos nos testes de bombeamento dos poços cadastrados, são mostrados abaixo:

A transmissividade (T) varia entre 10^{-2} a 10^{-3} m^2/s, nas proximidades do Parque Estadual do Bacanga, região oeste da Ilha, próximo à foz do rio homônimo. Nas demais porções da Ilha esses valores oscilam entre 10^{-3} e 10^{-4} m^2/s. A condutividade hidráulica varia, considerando uma espessura útil média de 100 m para a unidade, entre 10^{-4} a 10^{-6} m/s e o coeficiente de armazenamento é da ordem de 10^{-3} a 10^{-4}.

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 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, que ocorrem. Tem como principais zonas de recarga as áreas planas dos tabuleiros, notadamente onde ocorrem matas de vegetação nativa preservada.

Podem ocorrer as seguintes associações:

- Cujupe + Barreiras + Pós-Barreiras
- Cujupe + Barreiras
- Cujupe + Pós-Barreiras

Apresenta espessuras normalmente inferiores a 100 m, embora, em alguns locais, como nas proximidades das cabeceiras do rio Paciência e na Estrada da Maioba possa atingir valores maiores. Suas características hidráulicas e de produtividade parecem ser condicionadas em parte por estas variações de espessuras. A Figura 3 mostra um mapa de espessuras do aquífero São Luís, enquanto a Figura 4 mostra um Mapa Hidrogeológico simplificado da Ilha, com a localização das principais unidades hidrogeológicas existentes, aflorantes e em subsuperfície.

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. Tem reduzidas espessuras, inferiores aos 10 m, exceto no caso dos Depósitos Eólicos, que podem exceder este valor, como, por exemplo, na Praia do Calhau, onde um poço tubular construído por particulares mostrou espessura de 28 m desta unidade. A recarga é feita diretamente pelas precipitações.

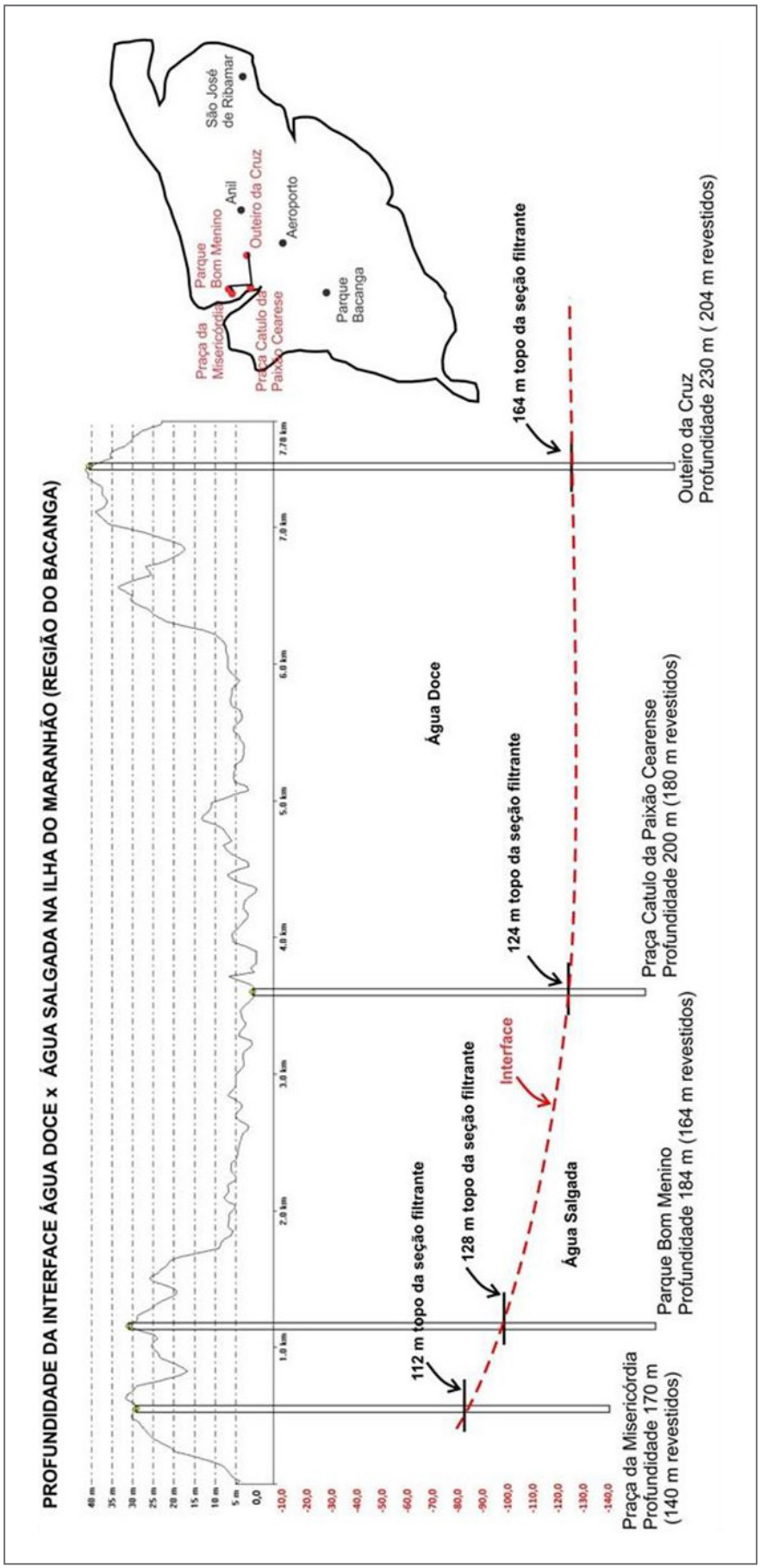


Figura 2: Profundidade da interface água doce x água salgada na Ilha do Maranhão

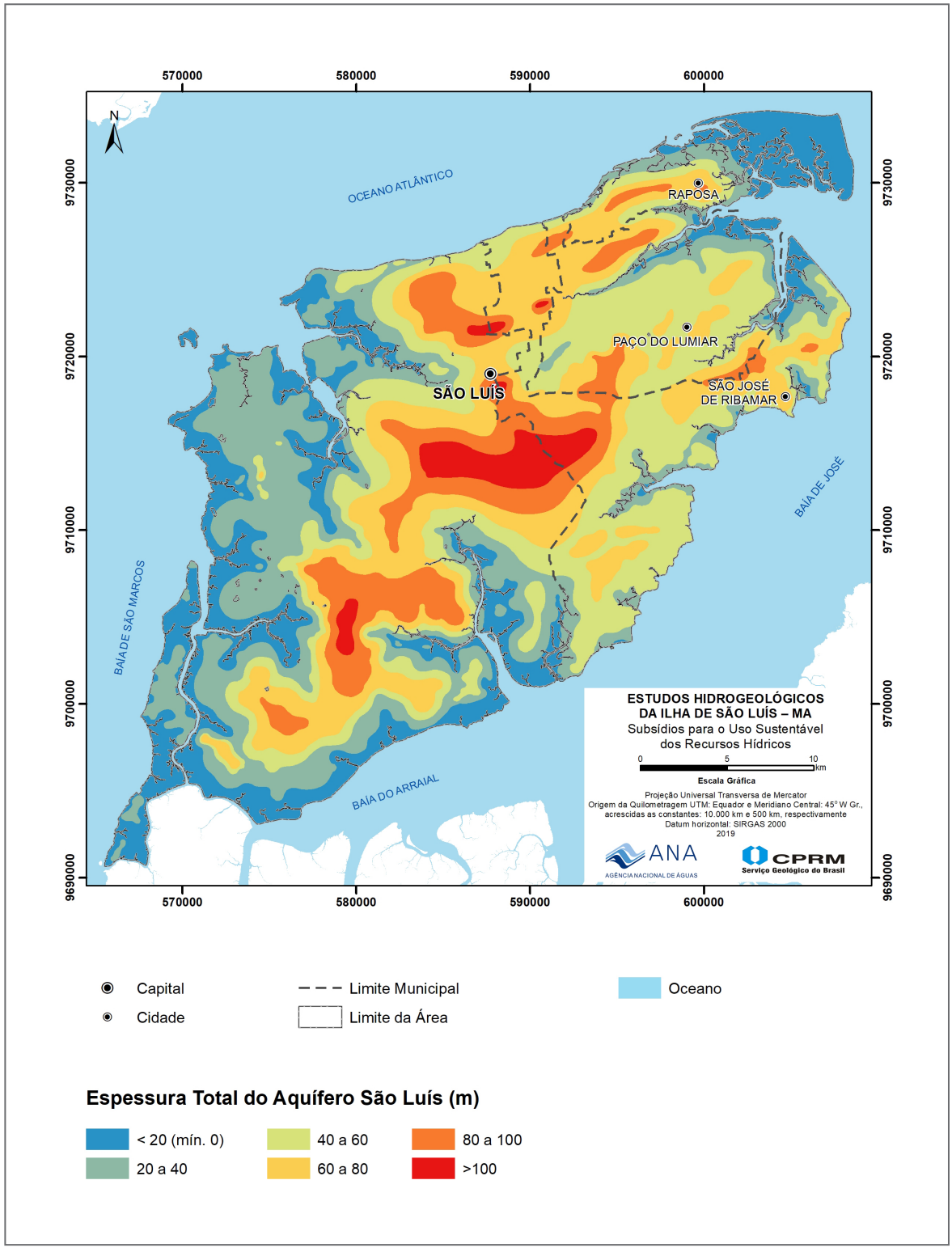


Figura 3: Mapa de espessuras do Sistema Aquífero São Luís

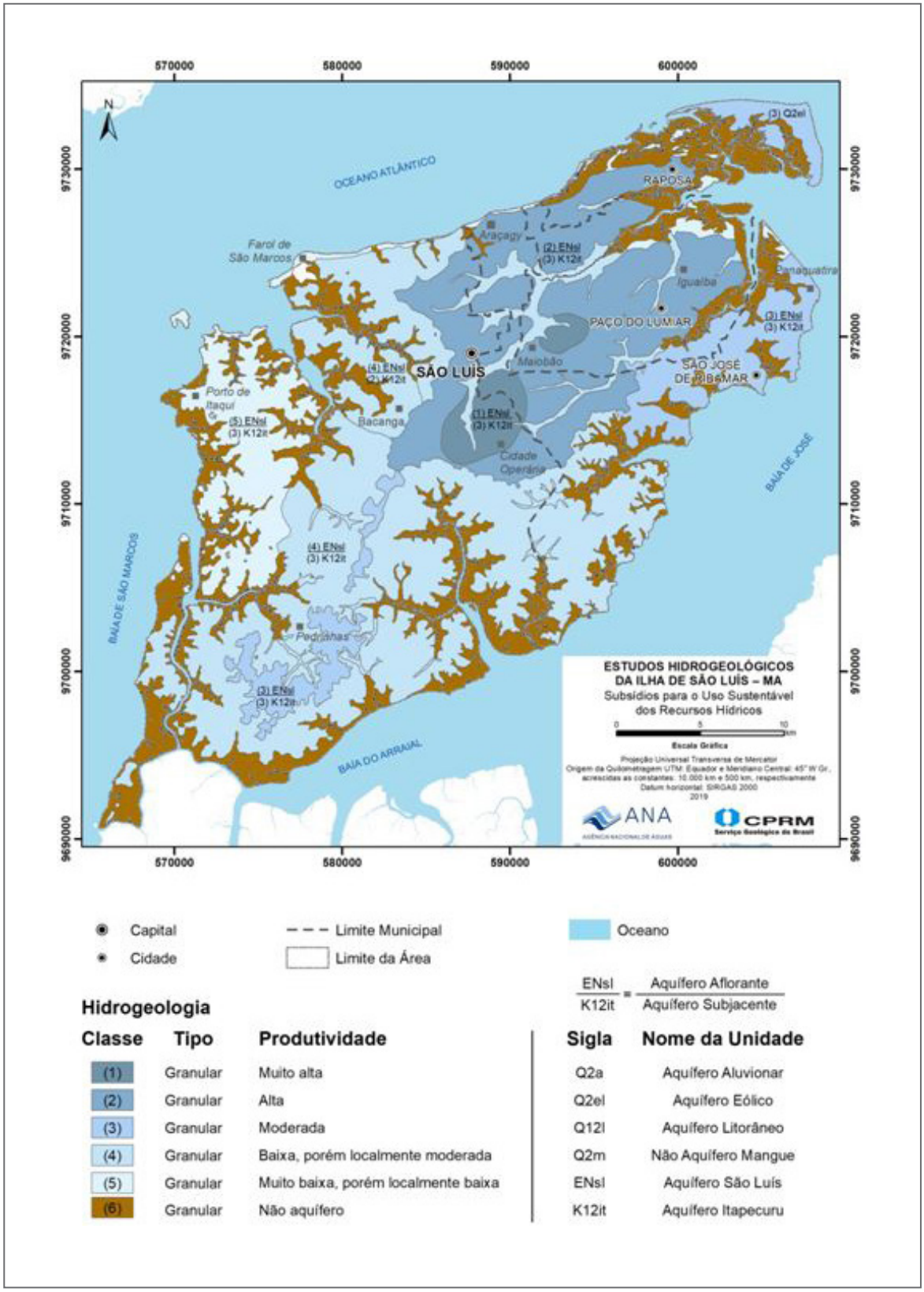


Figura 4: Mapa Hidrogeológico simplificado da Ilha de São Luís

Os Depósitos Eólicos, constituídos por dunas costeiras, praias e cordões litorâneos antigos podem produzir vazões de até 10 m^3/h, eventualmente assumindo valores pouco superiores. As vazões específicas oscilam entre 0,04 e 0,4 $m^3/h/m$, atingindo, em raras ocasiões, valores da ordem de 1 $m^3/h/m$, enquanto as transmissividades se situam entre 10^{-3} e 10^{-6} m^2/s.

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.

2.3. CADASTRO DE POÇOS

No cadastro de usuários de água subterrânea foram levantadas informações de 1.426 pontos (Figura 5), dentre os quais se encontram 1.400 poços tubulares (98,18%); 18 poços amazonas (também chamados escavados ou cacimbas) representando 1,26% e 8 fontes constituindo 0,56% das unidades levantadas.

Desse total, 1288 pontos estavam em operação, sendo 1.276 poços tubulares, 9 poços amazonas e 3 fontes naturais; 31 pontos estavam abandonados, sendo 29 poços tubulares e 2 poços escavados; 68 pontos estavam paralisados, dentre eles 67 poços tubulares e 1 poço escavado; 38 pontos não estavam instalados, sendo 6 poços amazonas, 5 fontes naturais e 27 poços tubulares; e 1 poço se encontrava em perfuração.

No município de São Luís, foram cadastrados 825 pontos, dentre eles 813 poços tubulares, 3 fontes naturais e 9 poços amazonas; São José de Ribamar somou 343 pontos, sendo 329 poços tubulares, 5 fontes naturais e 9 poços amazonas; em Paço do Lumiar foram cadastrados 215 poços tubulares, enquanto em Raposa foram registrados 43 poços tubulares.

Os bombeamentos são feitos com injeção direta nas redes de distribuição, principalmente nos poços da CAEMA, BRK e SAAE's representando aproximadamente 42% do número de poços cadastrados na ilha. A CAEMA é proprietária de 285 poços, ou 20% do total, enquanto a BRK é proprietária de outras 266 captações (19%).

Os sistemas autônomos de abastecimento de água (SAAE's) de Paço do Lumiar e Raposa são responsáveis respectivamente por 16 poços e 26 poços, que conjuntamente correspondem a aproximadamente 3% do total de poços.

Entre as captações por poços, 593 pontos ou aproximadamente 42% do total são considerados poços públicos (pertencentes a CAEMA, BRK ou SAAE's). Os demais registros são 819 poços, que geralmente estão associados a particulares, indústrias, comunitários e algumas instituições públicas, correspondendo a aproximadamente 58% do total de poços.

Das grandes indústrias existentes, a VALE e ALUMAR contam, conjuntamente, com 32 poços, que equivale aproximadamente 2% das captações por poços.

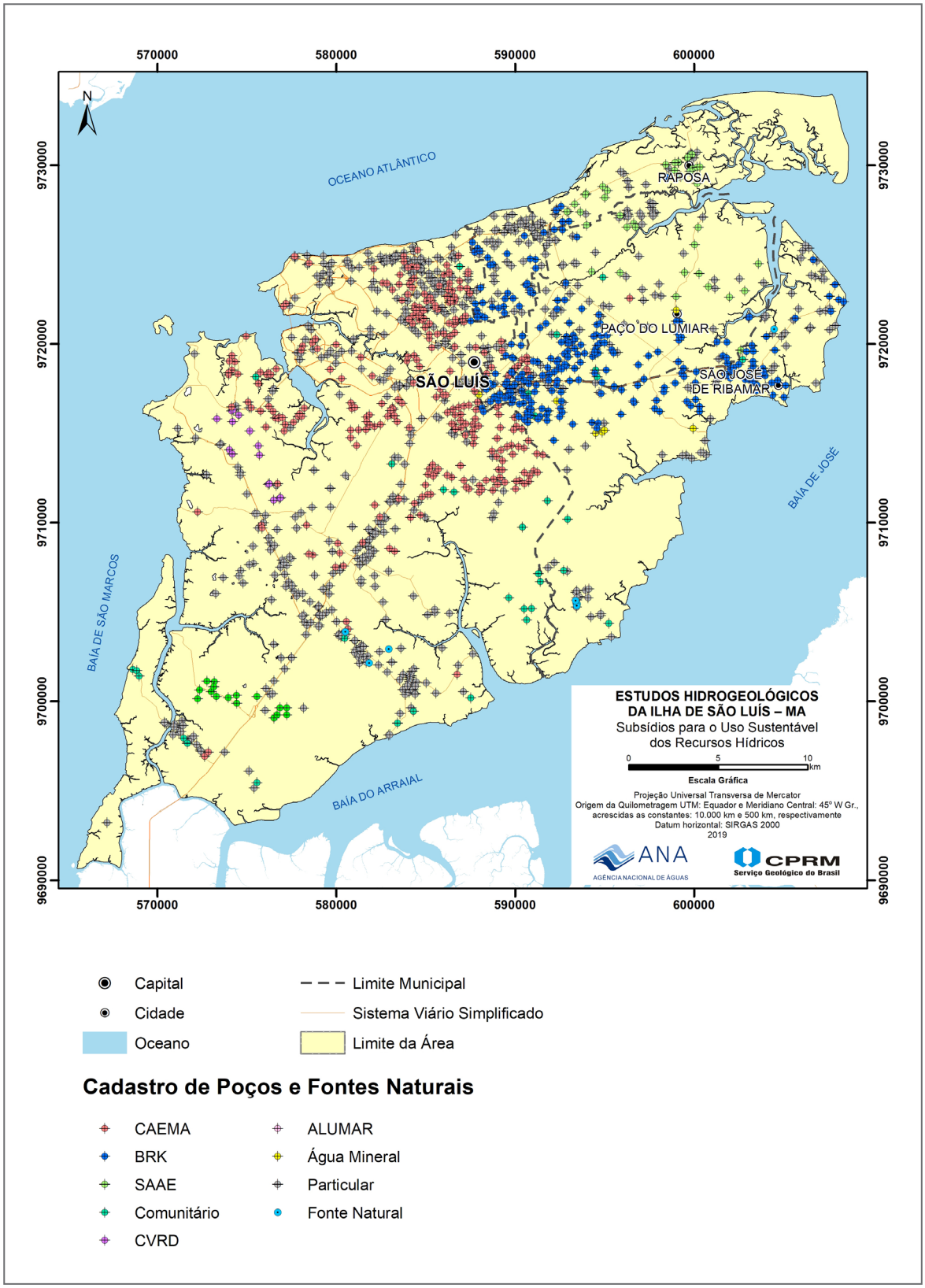


Figura 5: Cadastro de captações de água subterrânea (Poços tubulares, escavados e fontes naturais)

Cerca de 45% das captações subterrâneas do cadastro estão regularizadas, segundo dados de registros coletados junto a SEMA e CNARH. Entre os poços para abastecimento público, apenas 115 (34 da CAEMA e 81 da BRK), ou aproximadamente 19% do total, possuem alguma referência de regularização quanto a outorga.

Entre os registros com informações construtivas (701 poços), a maioria, cerca de 534 poços, ou 76% do total, tem profundidades entre 20 e 100 m, enquanto apenas 43 poços (6%) têm profundidades inferiores aos 20 m. Com mais de 100 m de profundidade, existem 124 poços, representando 18% do universo amostrado.

Em relação aos poços que não possuem informação sobre profundidade, o total é de 717 que, comparado com o total de registros, correspondem a aproximadamente 50% dos poços cadastrados.

A Figura 6 resume os dados estatísticos dessas captações. Ressalta-se que os valores percentuais foram arredondados, para maior clareza da figura.

Em termos de explotação de água subterrânea, considerando-se a produção global (instalada) de água subterrânea, representada por todos os poços existentes no regime efetivo, que considera 24 horas de bombeamento (Tabela 2), destacam-se os poços particulares (sendo alguns outorgados pela SEMA) que utilizariam 45% de toda a produção de água subterrânea com um volume de 84.535.752 m^3/ano. A CAEMA ficaria em segundo lugar com 30% de toda a produção, com volume de 57.025.848 m^3/ano. A BRK Ambiental, concessionária de saneamento do município de São José de Ribamar, consumiria uma parcela de 19% do total de água explotada com 36.810.396 m^3/ano, e em seguida, apareceriam as grandes indústrias ALUMAR e VALE que consumiriam conjuntamente 4% do volume total anual que corresponderia a 7.526.592 m^3/ano. Os Sistemas Autônomos de Abastecimento de Raposa e Paço do Lumiar utilizariam juntas, 2% do total com 4.287.648 m^3/ano. O volume total de água subterrânea produzida seria de 190.189.236 m^3/ano.

Por outro lado, analisando-se a *utilização efetiva*, representada pelo somatório da produção total de água subterrânea, inferida com base nas vazões médias informadas e nos regimes de bombeamento médio admitidos, verificados nos dados do Cadastro de Poços, encontra-se um volume total de 104.034.800 m^3/ano.

Neste caso, a CAEMA aparece como a maior usuária desses recursos, produzindo um volume total de 42.830.749,813 m^3/ano, ou 41,2% do total. A BRK Ambiental passa a ocupar segunda posição no ranking de consumo, produzindo um volume de 27.362.152,006 m^3/ano (26,3% do total), seguida pelo somatório de outros poços particulares (sendo alguns com outorgas emitidas pela SEMA), que totalizam 24% do volume total e equivale a 25.040.866,609 m^3/ano. As indústrias ALUMAR e VALE consumem 6,1% do volume total de água subterrânea (6.374.549,793 m^3/ano) e os Sistemas Autônomos de Abastecimento de Raposa e Paço do Lumiar utilizam conjuntamente o equivalente a 2,3% do total (2.452.762,041 m^3/ano). A Tabela 2 apresenta a síntese desses dados e a Figura 7 mostra graficamente a distribuição das explotações.

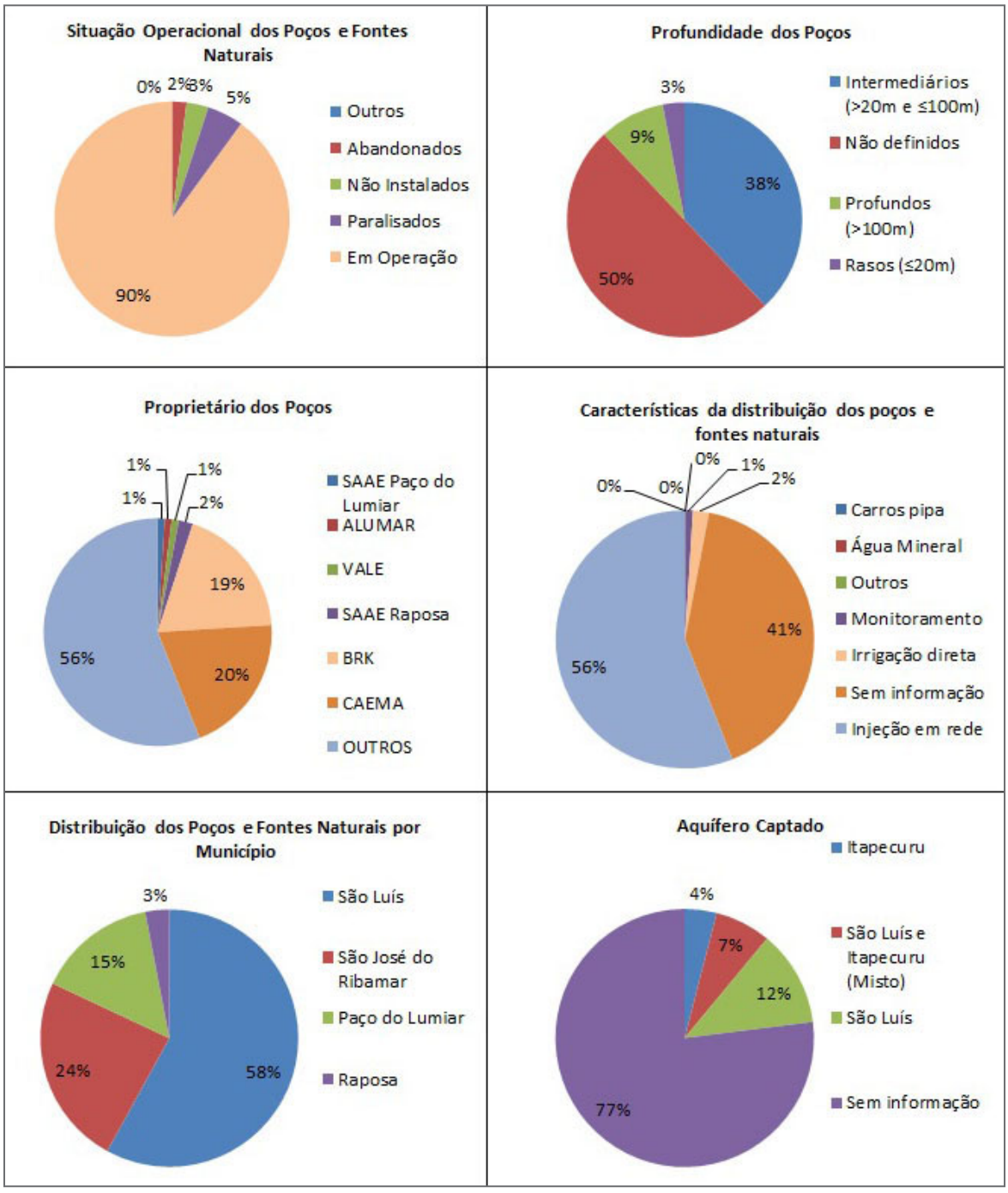


Figura 6: Dados estatísticos dos poços e fontes naturais (percentuais aproximados)

Tabela 2: Produção estimada de água subterrânea na Ilha de São Luís

USUÁRIO	VAZÃO MÉDIA (m^3/h)	Nº TOTAL DE POÇOS EXCETO ABANDONADOS	PRODUÇÃO INSTALADA (m^3/ano)*	PERCENTUAL UTILIZAÇÃO (INSTALADA)	Nº DE POÇOS BOMBEAMENTO	REGIME BOMB. (h/dia)	PRODUÇÃO EFETIVA (m^3/ano)**	PERCENTUAL UTILIZAÇÃO (EFETIVA)
CAEMA	24,2	270	57.237.840,0	30,1%	238	20	42.830.749,813	41,2%
BRK	16,1	260	36.669.360,0	19,3%	244	19	27.362.152,006	26,3%
SAAE PAÇO DO LUMIAR	19,4	16	2.719.104,0	1,4%	16	16	1.699.075,000	1,6%
SAAE RAPOSA	6,9	26	1.571.544,0	0,8%	23	13	753.687,041	0,7%
ALUMAR	25,3	16	3.546.048,0	1,9%	16	20	2.959.785,000	2,8%
VALE	28,4	16	3.980.544,0	2,1%	15	22	3.414.764,793	3,3%
OUTROS	12,2	791	84.535.752,0	44,4%	733	8	25.040.866,609	24,1%
TOTAL:		1.395	190.260.192,0	100%	1.285	TOTAL:	104.034.800,261	100%

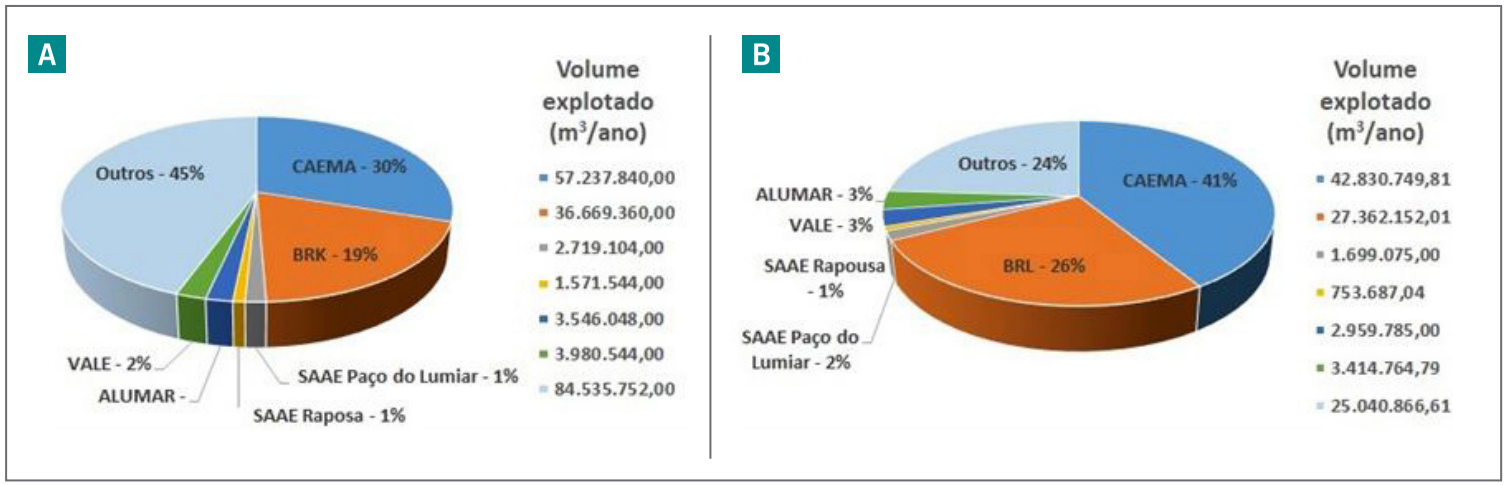


Figura 7: Produção anual global de água subterrânea na ilha de São Luís. (A) Produção instalada; (B) Produção efetiva

As principais áreas de explotação de águas subterrâneas são mostradas na Figura 8. As maiores densidades de captações ocorrem na porção central e norte da Ilha, zona mais populosa e onde também onde se concentram as grandes baterias de poços operadas pela CAEMA.

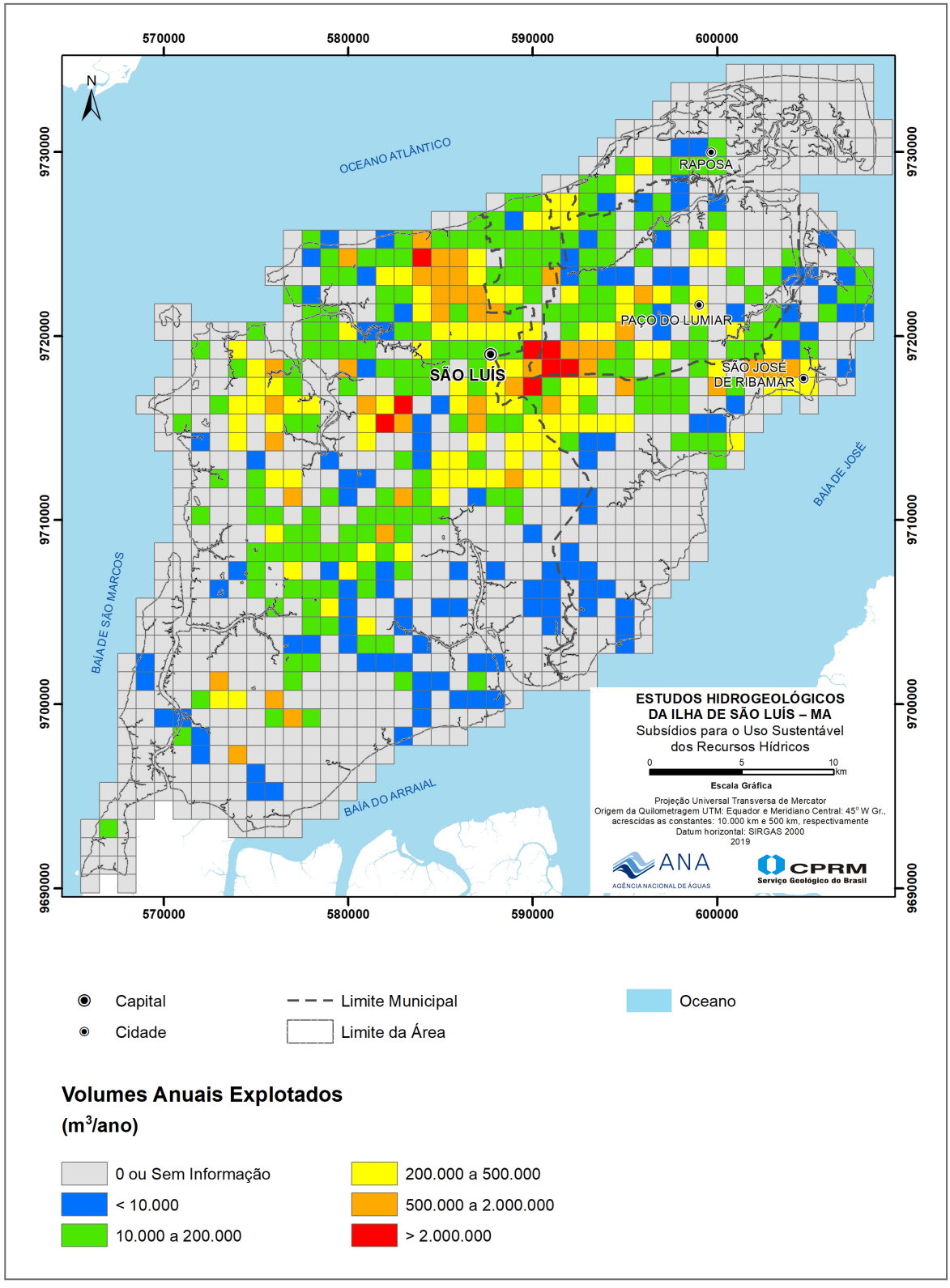


Figura 8: Principais áreas de explotação de águas subterrâneas

Considerando os dados disponíveis, o volume estimado de explotação de água subterrânea ocorre de forma mais acentuada nas Bacias Hidrográficas dos rios Paciência e Bacanga, onde se bombeiam, respectivamente, 36,454% e 18,752% das vazões produzidas na Ilha, principalmente a partir das baterias de poços da CAEMA.

Em ordem de importância na produção de água subterrânea, seguem as bacias dos rios Santo Antônio (12,954%), Praias (10,749%), Jeniparana (8,333%), Cachorros (4,307%), Anil (3,275%) e Tibiri, com 2,635% da produção total de água subterrânea.

A Tabela 3, a Figura 9 e a Figura 10 resumem essas informações.

Tabela 3: Volumes anuais explotados por bacia hidrográfica

BACIA HIDROGRÁFICA	PRODUÇÃO EFETIVA (m^3/ano)	PERCENTAGEM DO TOTAL
Paciência	37.924.774,609	36,454%
Bacanga	19.508.246,233	18,752%
Santo Antônio	13.476.880,399	12,954%
Praias	11.182.194,753	10,749%
Jeniparana	8.669.361,013	8,333%
Cachorros	4.481.013,751	4,307%
Anil	3.407.196,158	3,275%
Tibiri	2.741.343,446	2,635%
Itaqui	1.437.136,400	1,381%
Estiva	1.174.898,500	1,129%
Ilha Tauá-Mirim	24.601,000	0,024%
Inhaúma	5.840,000	0,006%
Guarapiranga	1.314,000	0,001%
Ilha do Medo	0,000	0,000%
TOTAL:	104.034.800,261	100,000%

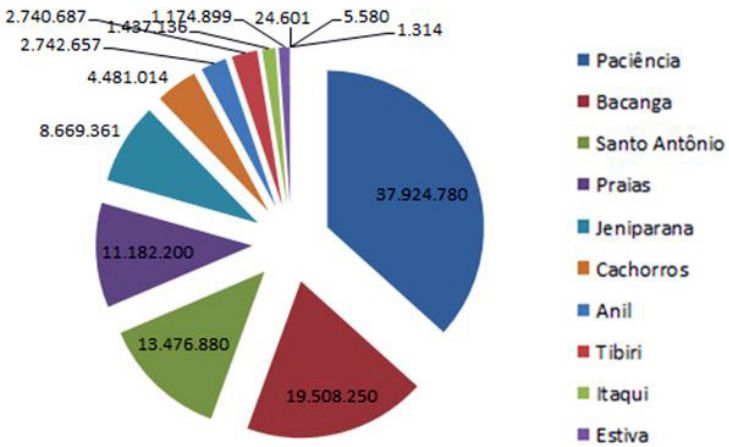


Figura 9: Representação gráfica dos volumes anuais explotados por bacia hidrográfica

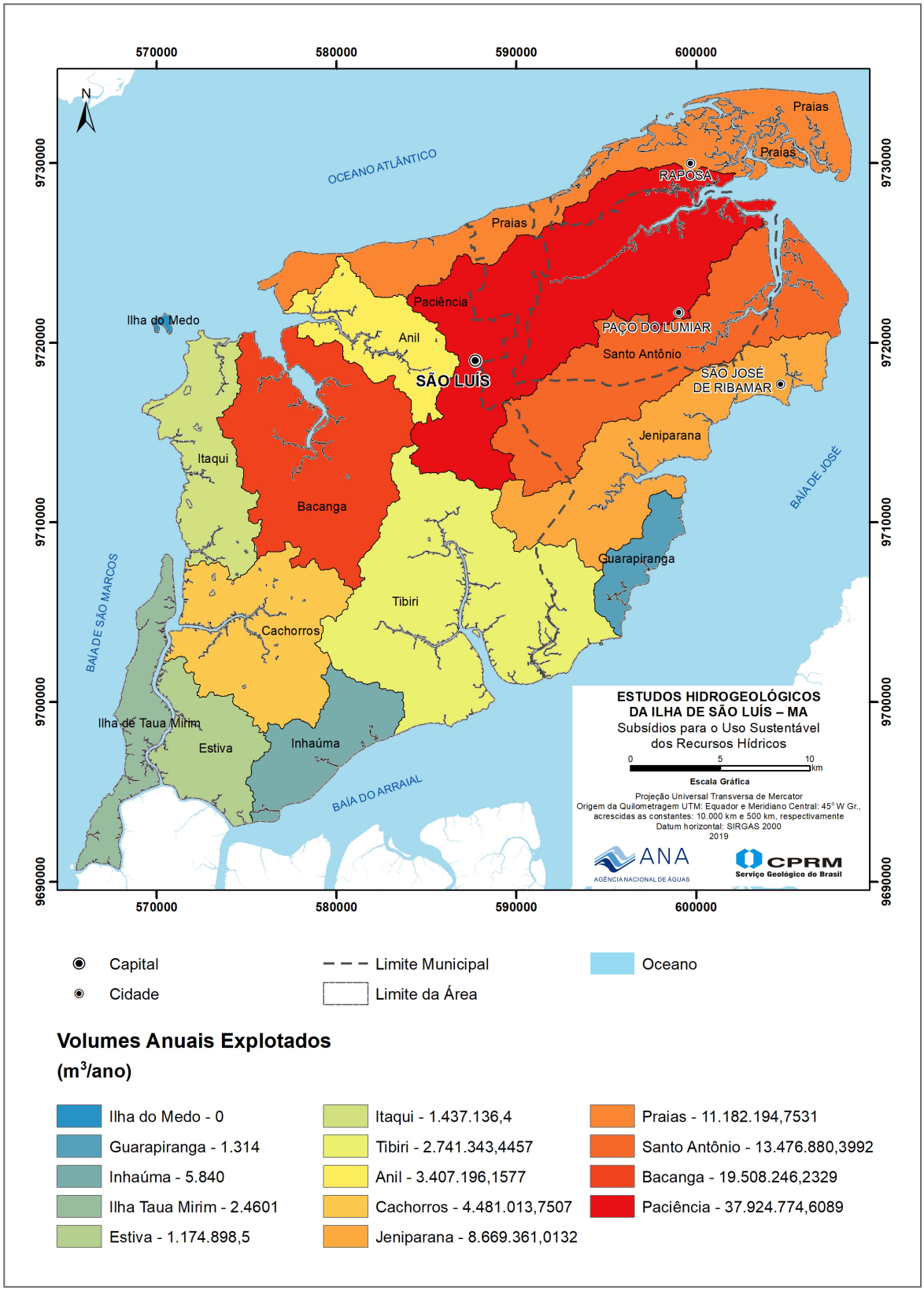


Figura 10: Bacias hidrográficas e volume anual explotado de água subterrânea na Ilha de São Luís

O índice de concentração de poços, representado pela quantidade de poços por km^2, calculado para cada bacia hidrográfica, é apresentado na Figura 11.

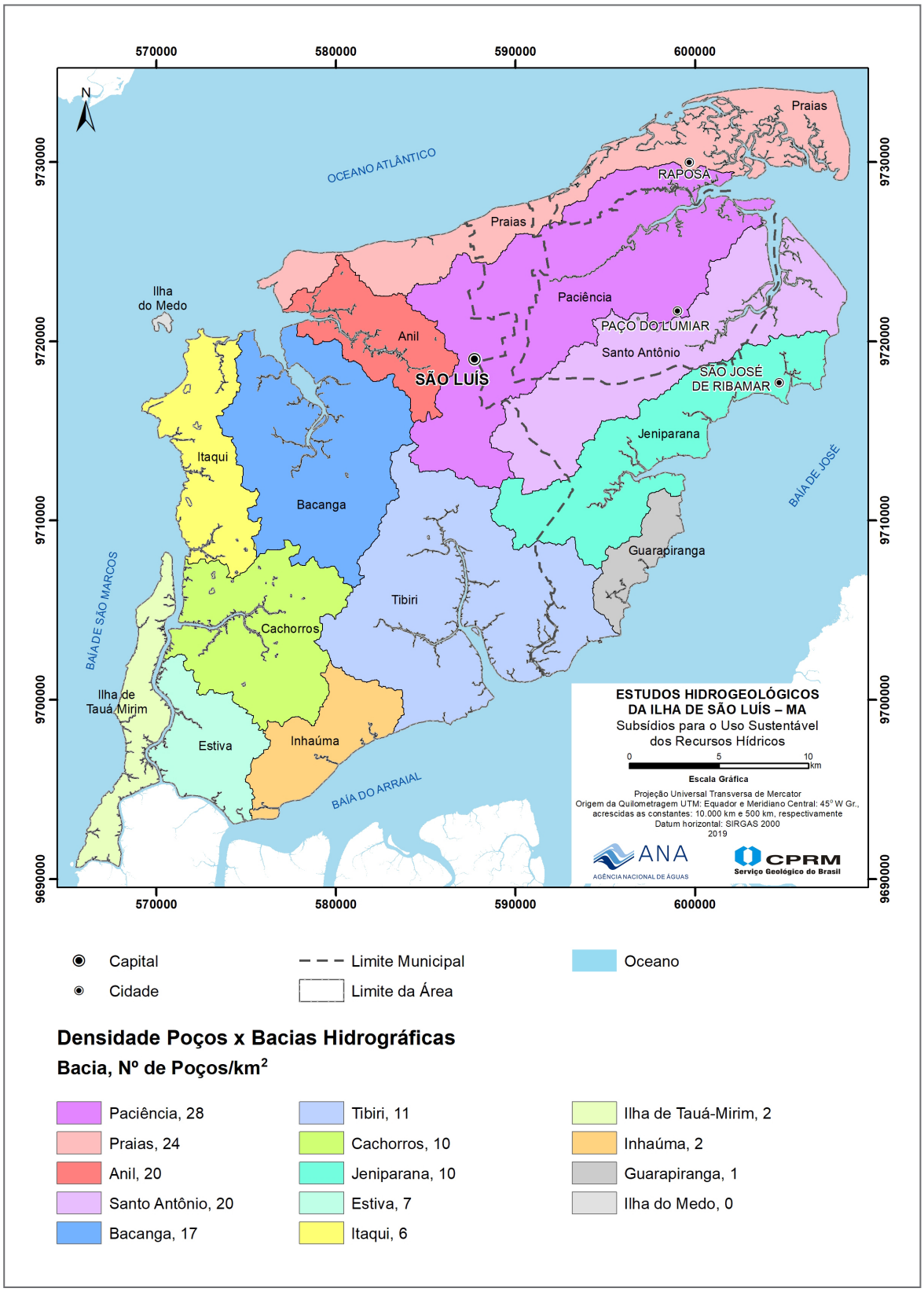


Figura 11: Índice de concentração de poços nas bacias hidrográficas

2.4. REDE DE AMOSTRAGEM QUALI-QUANTITATIVA

Na Ilha de São Luís, foram realizadas duas campanhas de amostragem de águas subterrâneas nos períodos úmido e seco, durante o ano de 2017 (fevereiro e novembro), perfazendo um total de 34 dias de campo e duas campanhas de medição de níveis das águas subterrâneas em novembro de 2017 e fevereiro de 2017, correspondendo ao período de estiagem e de chuvas. Devido à condição peculiar da Ilha de São Luís, onde a maioria dos poços bombeia em regime ininterrupto de 24 h por dia e injetam as águas diretamente nas redes de adução existentes, não foi possível se medir níveis estáticos de água. Desta forma, os níveis medidos nas duas campanhas de campo realizadas, refletem apenas a situação operacional daquele momento, sendo referidos como níveis de água.

Foram coletadas 100 amostras de água em cada período, utilizando extravasor no próprio poço (quando existente), rede ou coletor (tipo bailer). As águas coletadas foram devidamente armazenadas e acondicionadas para preservação das amostras.

As 200 amostras (100 amostras por período de coleta) das águas subterrâneas foram submetidas a análises laboratoriais de parâmetros físicos e químicos. No período de chuva (fevereiro de 2017), foram realizadas 1900 análises (19 parâmetros). Já no período de estiagem (novembro de 2017), foram realizadas 6840 análises (79 parâmetros), incluindo entre estas, análises isotópicas (trítio, oxigênio e deutério, carbono 14), de elementos-traço, elementos terras-raras, análises microbiológicas e de voláteis. Portanto, no total foram realizadas 8740 análises nas águas dos Aquíferos São Luís e Itapecuru.

Através de estudos dos resultados analíticos, juntamente com análises isotópicas, tornou-se possível distinguir as águas coletadas nos aquíferos da Ilha de São Luís, se provenientes do Aquífero São Luís ou do Aquífero Itapecuru, ou águas de mistura dessas duas unidades aquíferas.

2.4.1. Métodos de coleta de amostras

Antes da coleta, os tubos e seringas foram lavados com a água a ser coletada, de forma a ambientar os equipamentos;

Em cada local de coleta foram medidos os parâmetros físico-químicos da água (temperatura, pH, cor, turbidez, Eh, sólidos totais dissolvidos -STD, condutividade elétrica -CE, alcalinidade e dureza), com o uso de uma sonda multiparâmetros, previamente calibrada;

Em cada ponto de amostragem foram coletadas duas alíquotas de amostra, uma para análise de cátions por ICP-OES (Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry) e outra para análise de ânions por cromatografia iônica, utilizando-se tubos para centrífuga de polipropileno de 50 ml, seringas sem agulha e unidades filtrantes com membranas milipore de 0,45μm;

Na amostragem para análise de ânions pelo método de cromatografia iônica, procedeu-se a coleta de 50 ml de água. As amostras foram posteriormente transferidas para tubos de centrífuga de polipropileno com tampa rosqueada de 50 ml, acondicionadas e refrigeradas em caixas de isopor com bolsas de gelo gel e enviadas para o laboratório;

Nas análises a serem efetuadas para os cátions pelo método ICP-OES, coletou-se 50 ml de água, utilizando uma seringa acoplada a um filtro com membrana de celulose 0,45 μm. As amostras foram então transferidas para tubos de centrífuga de polipropileno com tampa rosqueada de 50 ml e acidificadas com 20 gotas de HNO_3 com concentração 1:1, para a preservação dos cátions. As amostras, etiquetadas, acondicionadas e refrigeradas em caixas de isopor com bolsas de gelo gel foram enviadas para o laboratório;

As amostras sempre foram mantidas refrigeradas até o momento da análise. Para isto, durante as atividades no campo, as amostras permaneceram refrigeradas a uma temperatura média de 4ºC. Em seguida, foram acondicionadas com bolsas de gelo gel e enviadas ao laboratório, para o início dos procedimentos analíticos.

As análises foram realizadas no Laboratório de Análises Minerais - LAMIN no escritório da CPRM do Rio de Janeiro, responsável pela execução de uma grande variedade de serviços em amostras de material geológico. Através de portarias ministeriais, é também responsável pelas análises de águas minerais importadas e pelo estudo de fontes hidrominerais, quando da concessão de sua lavra pelo Departamento Nacional da Produção Mineral - DNPM.

Na primeira campanha, executada em fevereiro de 2017, foram amostrados 100 pontos de coleta, entre poços tubulares e amazonas, enquanto na segunda etapa (novembro de 2017) essas análises foram repetidas, sempre que possível, nos mesmos pontos anteriores. Em alguns poços amostrados na primeira campanha não foi possível a coleta na segunda etapa. Esses locais foram então substituídos por outros nas proximidades e com as mesmas características. Assim, foram coletadas amostras de água em 108 pontos no total.

A distribuição dos pontos de amostragem pode ser vista na Tabela 4 e na Figura 12.

A seleção de poços considerou o conhecimento sobre o uso e ocupação do solo; os cadastros de fontes de contaminação; o mapa de zoneamento do risco e vulnerabilidade e o modelo hidrogeológico conceitual.

Tabela 4: Distribuição das amostras coletadas para análises físico-químicas nas duas etapas de campo realizadas, por município e por aquífero

MUNICÍPIO	QUANTIDADE	AQUÍFERO		
		SÃO LUÍS	ITAPECURU	OUTROS (*)
São Luís	60	22	19	19
São José de Ribamar	25	17	07	01
Paço do Lumiar	17	16	00	01
Raposa	06	06	00	00

*Poços que captam conjuntamente os dois aquíferos

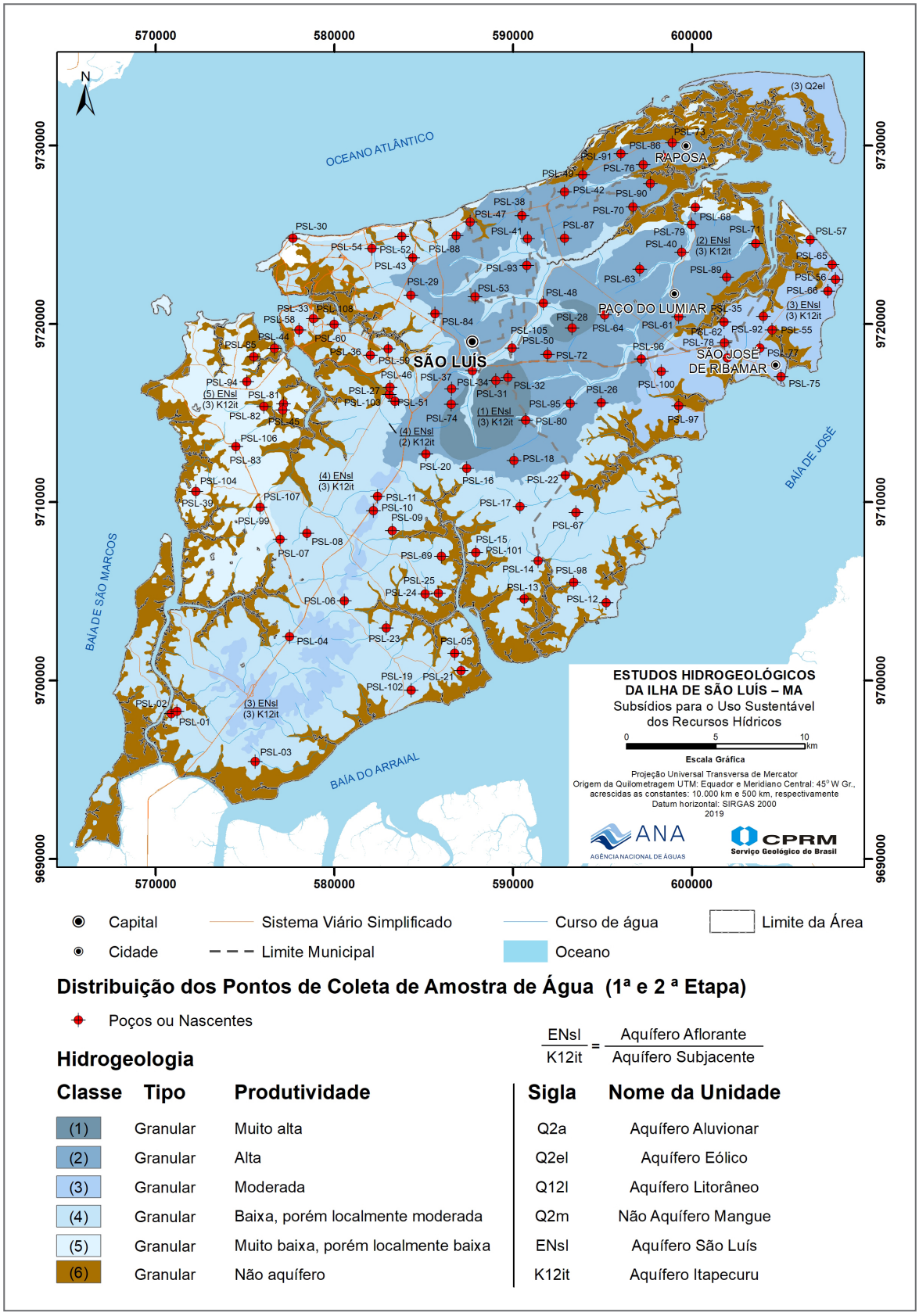


Figura 12: Distribuição geográfica dos pontos de coleta de amostra de água

2.4.2. Medições dos níveis de águas subterrâneas

Com o objetivo de avaliar o comportamento das superfícies das águas subterrâneas, foram realizadas duas etapas de medição de nível de água nos poços da rede representativa. A primeira etapa foi realizada no mês de novembro de 2017, durante o período mais seco; a segunda etapa foi realizada no mês de maio de 2018, correspondendo ao período mais chuvoso.

A forma de explotação das águas subterrâneas na Ilha, com os poços bombeando de forma quase contínua, diretamente nas redes de distribuição, frequentemente impediu o acesso à medição dos níveis de água, dificultando e atrasando a realização dos trabalhos.

Apesar disto, foram realizadas duas campanhas de medição dos níveis da água subterrânea, conforme descrito a seguir:

Já no início dos trabalhos, durante a primeira etapa de medição, foi identificada que boa parte dos poços, aproximadamente 25% do total, não apresentava qualquer acesso ao interior das captações, na tampa ou na parede do tubo, que permitisse a inserção do equipamento de medição de nível. Foram então realizados furos de meia polegada de diâmetro nas tampas desses poços para tornar possível a inserção do equipamento de medição em seu interior. Posteriormente à realização das medições, todos os furos foram fechados com a colocação de bujões de vedação em PVC.

Em decorrência das dificuldades enfrentadas para fazer estes furos, a primeira etapa de medição acabou sendo parcialmente comprometida, não havendo tempo hábil para realizar todas as medidas conforme planejado. Outro problema enfrentado durante os trabalhos de campo foi à dificuldade para interromper o funcionamento dos poços para fazer a medição. Mesmo conseguindo desligar as bombas, na grande maioria dos poços, os curtos períodos sem funcionamento (apenas alguns minutos), não foram suficientes para recuperar em sua totalidade o nível estático do(s) aquífero(s) nos poços.

As medições dos níveis de água, durante a primeira etapa, foram realizadas com a utilização de medidores de nível manual e sônico. Como os resultados obtidos foram muito diferentes nos mesmos pontos com os dois equipamentos, foram desconsiderados os resultados obtidos pelo medidor sônico. Na segunda etapa de medição, foi realizada apenas medições com a utilização de medidor manual.

Na primeira etapa foi medido o nível de água em 32 poços pertencentes à rede de amostragem e na segunda etapa foi medido o nível de água em 79 poços da mesma rede e em outros 05 poços avulsos. (Figura 13 e Figura 14).

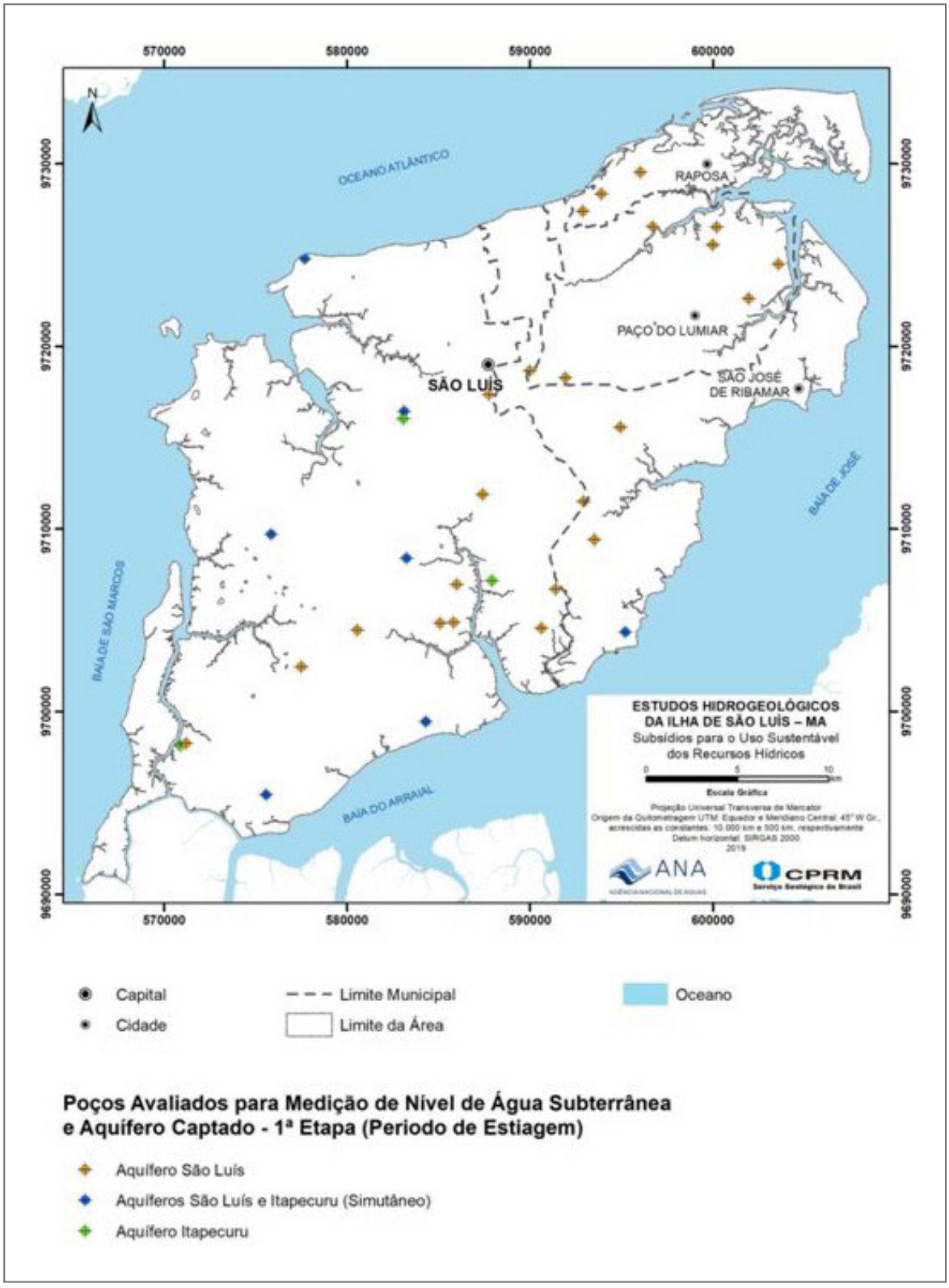


Figura 13: Poços avaliados na primeira etapa

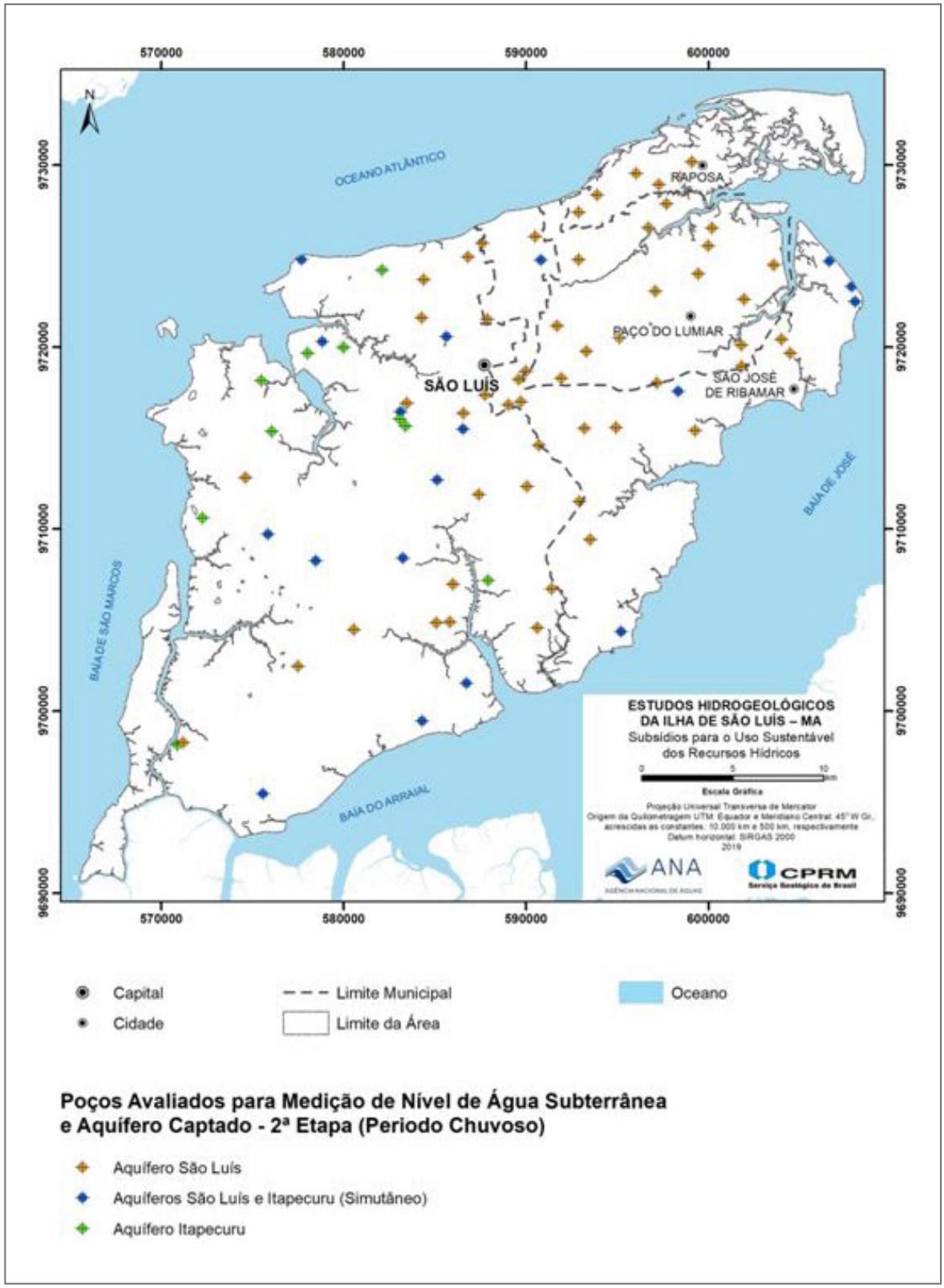


Figura 14: Poços avaliados na segunda etapa

2.5. PERFILAGENS GEOFÍSICAS DE POÇOS

Foram perfurados quatro poços tubulares para funcionar como piezômetros durante a execução dos testes de bombeamento, os quais foram perfilados para auxiliar na interpretação hidrogeológica. A Tabela 5 mostra a localização e as características dos piezômetros perfilados e a Figura 15 sua distribuição na Ilha de São Luís.

Tabela 5: Localização dos poços perfilados

POÇO	COORDENADAS		PROF. (m)	LOCALIZAÇÃO	MUNICÍPIO
Pz 01	-2,569	-44,254	132	Sacavém/Bacanga, próximo poço P3A CAEMA	São Luís
Pz 02	-2,561	-44,249	75	Sacavém/Bacanga, ao lado poço P1B CAEMA.	São Luís
Pz 03	-2,549	-44,194	75	Paciência II	S.J. de Ribamar
Pz 04	-2,570	-44,307	120	Vila Embratel	São Luís

A análise dos perfis obtidos (ANEXO 1) não revela grandes variações nas características analisadas, não sendo possível a distinção entre, por exemplo, zonas de águas mais salinizadas. Contudo, a análise das curvas de raios gama (Figura 16) permite a interpretação litológica e deposicional das camadas atravessadas pelo furo.

Analisando as curvas de raios gama dos poços Pz 01, Pz 02 e Pz 03 é possível visualizar zonas mais arenosas, indicando a presença de arenitos puros, pouco argilosos, demarcados por uma linha tracejada verde, denominada “linha de areias”, com valores da ordem de 15 API. Nos piezômetros Pz 01 e Pz 02, nas profundidades de 18 e 20 m, respectivamente, nota-se forte incremento no teor de argilas/folhelhos (linhas tracejas pretas), enquanto no piezômetro Pz 03 isto ocorre somente a partir dos 38 m. Considerando-se as diferenças de cotas topográficas dos locais onde os furos foram executados, constata-se que estas profundidades estão niveladas, evidenciando uma continuidade lateral da sedimentação e deve representar a base das unidades superiores do Sistema Aquífero São Luís (Pós-Barreiras e/ou Barreiras). O incremento no teor de finos indica o início da ocorrência da unidade inferior deste sistema (Formação Cujupe), mais argiloso.

Ao se observar o mapa de distribuição destes pontos na Ilha (Figura 15), verifica-se que apenas o Pz 03 se localiza na região dos tabuleiros elevados que constituem a área de afloramento das formações Pós-Barreiras e Barreiras. Os piezômetros Pz 01 e Pz 02 localizados na porção centro-norte da Ilha se situam na região baixa, na área dos tabuleiros dissecados, onde aflora preferencialmente a Formação Cujupe, explicando a predominância de sedimentos argilosos em profundidades mais reduzidas.

Nos perfis dos poços Pz 02 e Pz 03 podem ser distinguidas claramente feições tipo “barril” (entre 22 – 26 m e 28 – 38 m, respectivamente) nas curvas geradas, o que, para Nery (2008), indica ausência de gradação, quer no topo quer na base, demonstrando granulometria constante,

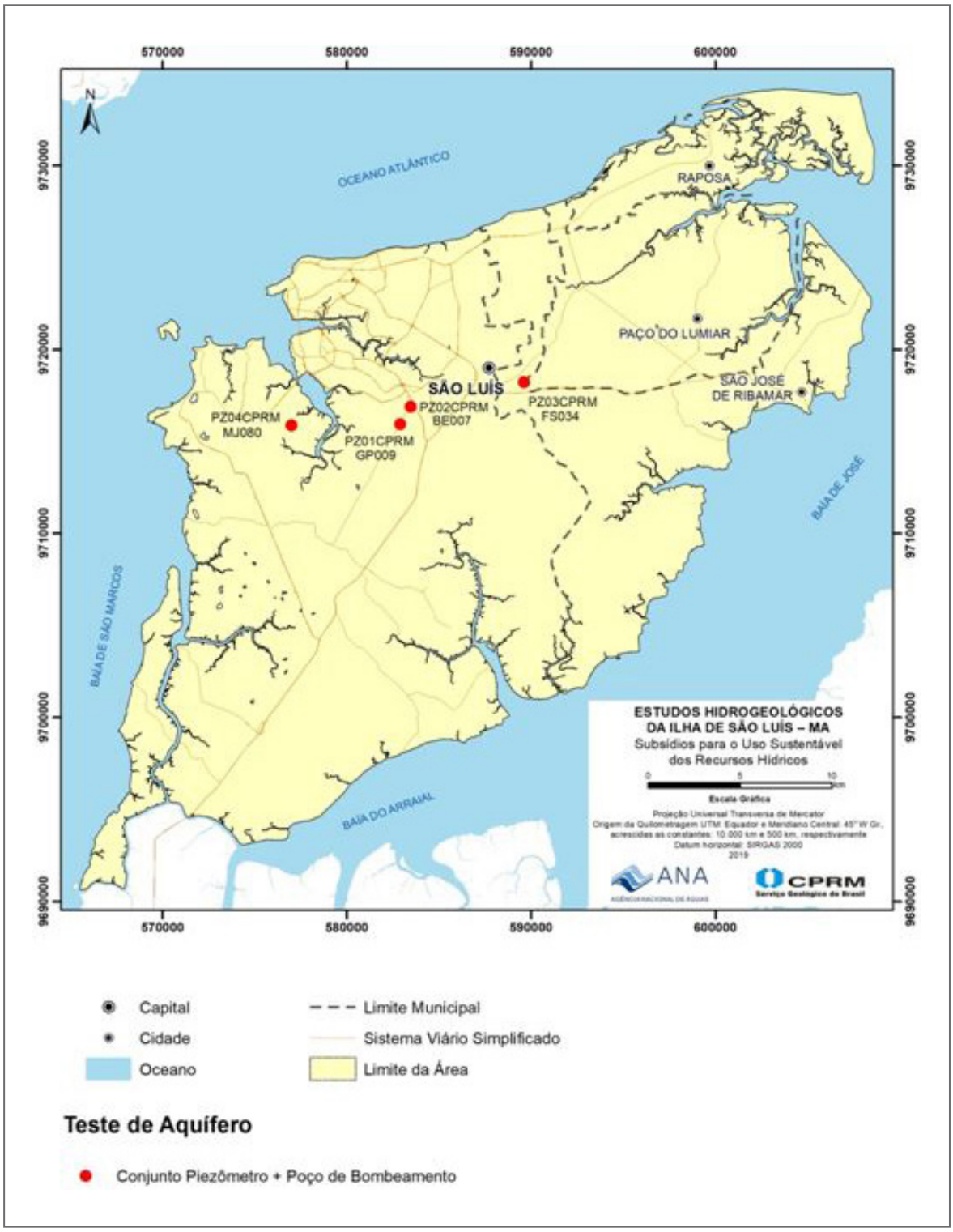


Figura 15: Mapa de localização dos poços perfilados

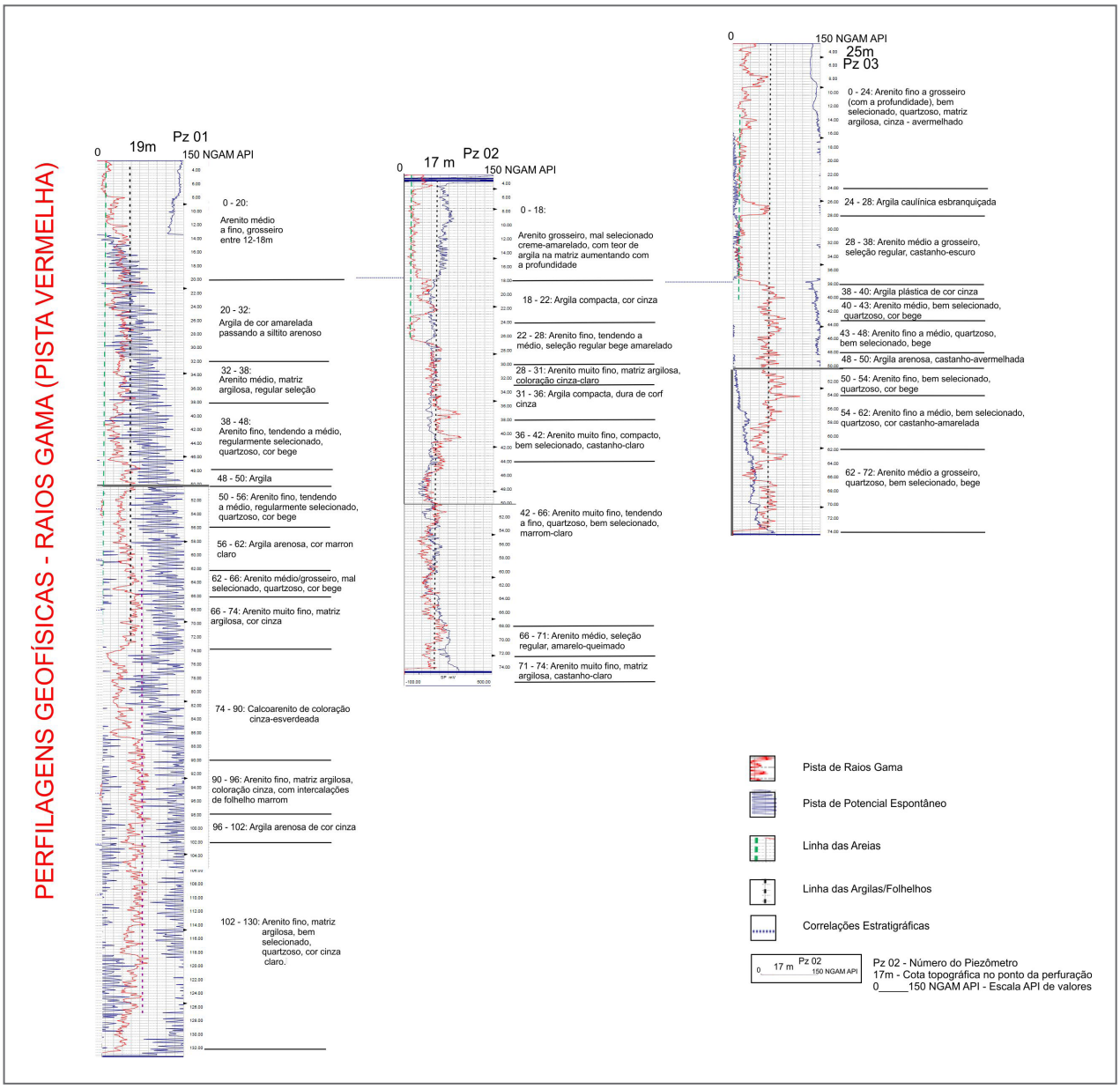


Figura 16: Perfilagens geofísicas dos Piezômetros 01, 02 e 03

limpa e grosseira, típica de depósitos de preenchimento de canais escavados. Rossetti e Góes (2009) e Rossetti (2006) propuseram que a sedimentação da Formação Barreiras ocorreu em sistemas de vales estuarinos encaixados em zonas de falhas.

O piezômetro Pz 04 (Figura 17) se comporta de forma semelhante, sendo visível a interface entre as unidades São Luís e Itapecuru pelo registro de camadas calcíferas a partir dos 40 m de profundidade, acompanhado pelo aumento do teor argiloso do material (ver linha azul contínua).

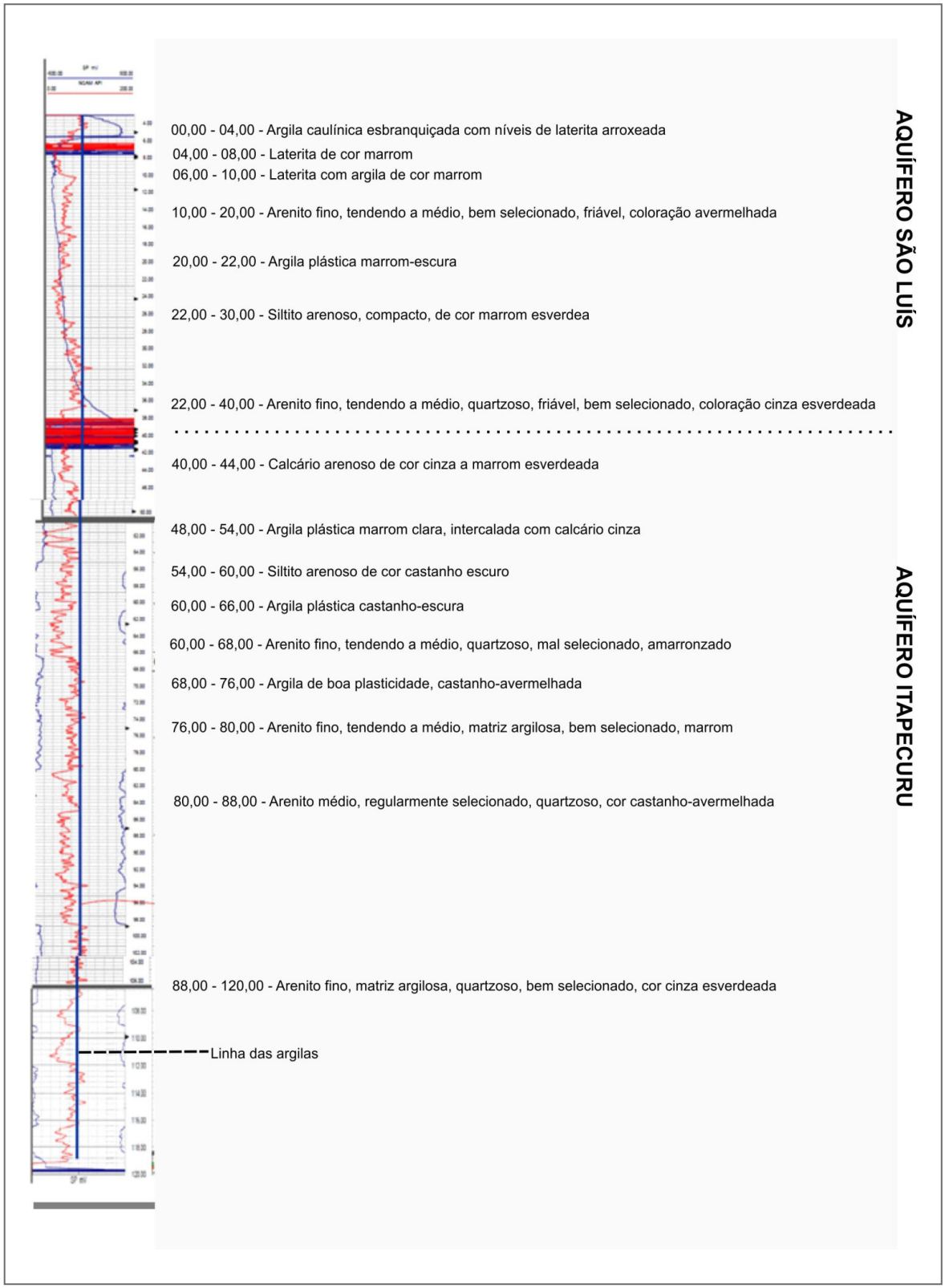


Figura 17: Perfilagem geofísica do poço Pz. 04 – Raios gama
(Descrição litológica feita pelo geólogo Afonso Braúna da CAEMA)

2.6. TESTES DE AQUÍFEROS

Para execução dos testes de aquífero na Ilha de São Luís, foram definidos conjuntos de poços de produção e piezômetros visando a captação das principais unidades hidrogeológicas existentes, a saber, os aquíferos Itapecuru e São Luís.

Em cada um dos quatro testes realizados, os sistemas foram compostos por um poço de produção e um piezômetro, este último perfurado especificamente para o teste, haja vista a inexistência de poços que pudessem ser utilizados para tal fim, principalmente considerando o necessário afastamento do poço de produção. Os piezômetros utilizados para os testes foram os mesmos que foram perfilados e apresentados na Tabela 5.

Foram utilizados os seguintes pares de poços, para cada aquífero:

1. Aquífero Itapecuru (Formações Alcântara e Itapecuru Indiferenciado)
   - Poço P3A (GP 009) – Sacavém Bacanga (produção) e Pz 01 (piezômetro);
   - P 01 (MJ 080) – Vila Embratel (produção) e Pz 04 (piezômetro)
2. Aquífero São Luís (Formações Cujupe, Barreiras e Pós-Barreiras):
   - Poço P1B (BE 007) – Sacavém Bacanga (produção) e Pz 02 (piezômetro);
   - Poço P23 (FS 034) – Paciência II (produção) e Pz 03 (piezômetro)

Os testes de aquífero foram realizados através do bombeamento contínuo no poço de produção, com vazão constante. Embora previstos para ter 48 horas de duração, nem sempre este tempo foi atingido, haja vista a necessidade da CAEMA na reativação dos poços para o abastecimento público local. Para o bombeamento, foram utilizadas bombas submersas já instaladas nos poços, de propriedade da CAEMA. Considerando as elevadas vazões programadas para os testes, para sua aferição foram utilizados escoadouros de orifício circular, considerando a excelente precisão das leituras e a facilidade de assegurar a constância nas vazões produzidas. Neste caso, a vazão é determinada pela equação:

$$Q = 4{,}43.\ Ke.A.\ \sqrt{h}$$

onde Q é a vazão do teste (m^3/h), Ke é uma constante do dispositivo, A é a área da seção transversal do orifício de descarga (m^2) e h é a altura piezométrica em metros (Figura 18).

Os rebaixamentos provocados pelos bombeamentos, medidos nos poços de observação, foram registrados com medidores elétricos com cabo de alta flexibilidade, alma de aço e marcação milimétrica, contendo em uma extremidade um eletrodo sensor e na outra um sistema eletrônico para sinalização sonora e visual simultânea, quando do contato do eletrodo com a água. No teste do poço P 3A/Pz 03, foi também utilizado sensor automático de nível, tipo *Level Logger*, programado para efetuar medições com intervalos de 1 minuto durante toda a duração do teste (bombeamento + recuperação).

Logo depois de encerrados os bombeamentos, a recuperação dos níveis da água nos piezômetros era registrada até quando, por exigências da CAEMA, os poços precisassem ser religados.

Dessa forma, nem sempre foi possível aguardar a recuperação completa dos níveis de água nos poços.

Os testes foram interpretados através dos métodos gráficos tradicionais e com a utilização do software AquiferTest, determinando-se os parâmetros de transmissividade, condutividade hidráulica e coeficiente de armazenamento/porosidade efetiva.

Na análise dos resultados desses testes, são levadas em conta várias hipóteses, considerando as condições de fluxo para cada tipo de aquífero (confinados, livres, drenantes etc.) e a evolução dos rebaixamentos em relação ao tempo (regime permanente ou regime transiente).

Assim, considerando essas variáveis, diversos tipos de métodos de análises foram utilizados para a interpretação dos resultados dos bombeamentos e a determinação dos parâmetros hidráulicos dos sistemas de fluxo subterrâneo, conforme pode ser visto na Tabela 6.

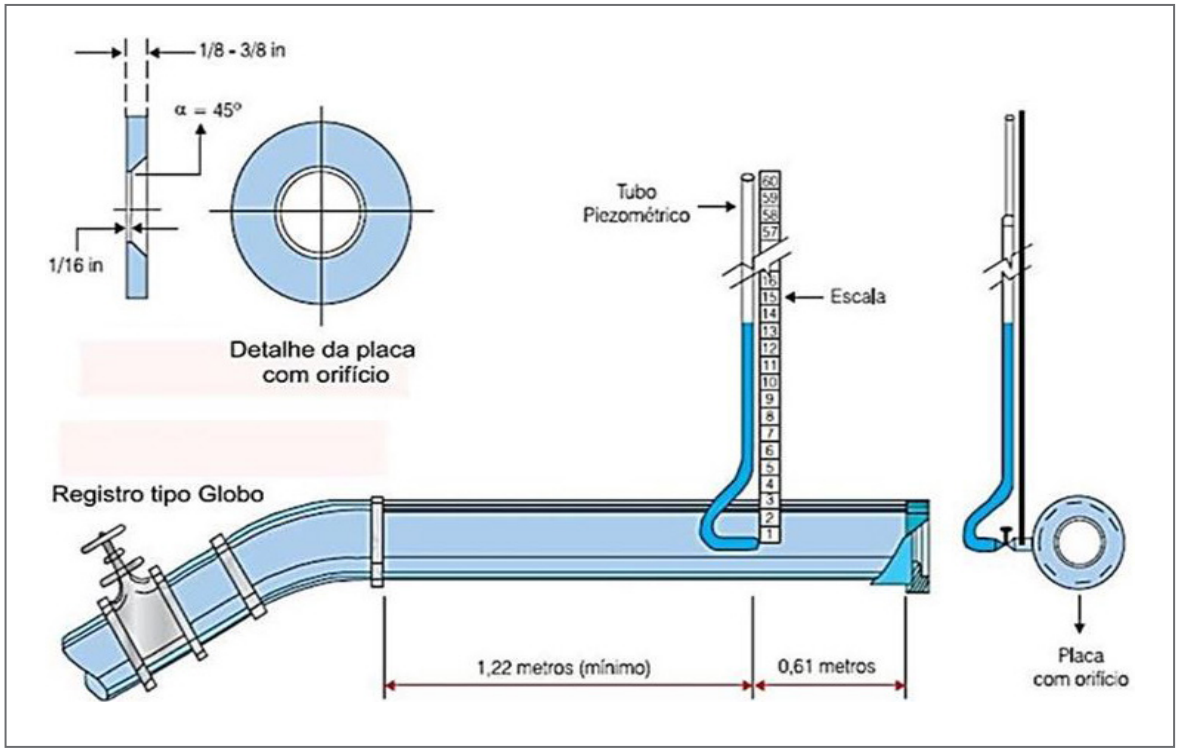


Figura 18: Escoadouro de orifício circular mostrando detalhes construtivos (Modificado de DRISCOLL, 1986 *in* Feitosa *et.al.,* 2008)

Tabela 6: Métodos de análise de fluxo para poços em função do tipo de aquífero e regime de bombeamento (Feitosa *et.al.,* 2008)

REGIME	AQUÍFEROS CONFINADOS		AQUÍFEROS LIVRES
Estacionário	Não drenante	Drenante	Dupuit & Forchheimer
	Thiem	De Glee	
		Hantush & Jacob	
Transiente	Theis Jacob	Walton Hantush	Hantush & Jacob Boulton & Pricket Neuman

2.6.1. Testes realizados no Aquífero Confinado Itapecuru

2.6.1.1. *Poço P3A e Piezômetro Pz 01*

Quando a água é bombeada de um aquífero confinado, o bombeamento induz a formação de gradientes em direção ao poço que criam rebaixamentos na superfície potenciométrica.

A água produzida pelo poço surge de dois mecanismos: expansão da água no aquífero sob redução nas pressões no fluido, e a compactação do aquífero sob aumento das tensões efetivas. O sistema de fluxo no aquífero durante o bombeamento envolve apenas gradientes em direção ao poço e não há componentes verticais de fluxo.

Na interpretação dos testes em aquíferos confinados, foi utilizado o método de Theis (aquífero confinado não drenante e regime transiente) utilizando o software AquiferTest. Adicionalmente, esta interpretação foi refeita com o uso dos métodos gráficos, aplicados aos modelos de Theis, Hantush e Walton (aquífero confinado drenante).

O teste foi executado com o bombeamento do poço P3-A da CAEMA com medições de nível realizadas no piezômetro 01 (Pz-01), durante os dias 29, 30 a 31 de agosto de 2018. Teve uma duração de 4320 minutos (72 horas) e vazão de bombeamento constante de 30m^3/h. A distância total entre o poço de produção e o piezômetro foi de 10m. O nível estático foi de 38,49 m no início do teste e apresentou um rebaixamento máximo de 6,07 m, se estabilizando em 44,56 m.

O perfil construtivo e litológico do poço de bombeamento (P3A – Sacavém/Bacanga) é mostrado na Figura 19. Detalhes da localização do piezômetro Pz 01, croquis de locação, distância ao poço de produção, localização na Ilha de São Luís e perfil construtivo e litológico podem ser vistos na Figura 20 e na Figura 21.

A captação está localizada na CAEMA (na estrada para o Batalhão de Polícia Ambiental do Sacavém), localizada nas coordenadas -2,56973 S e -44,25434 W.

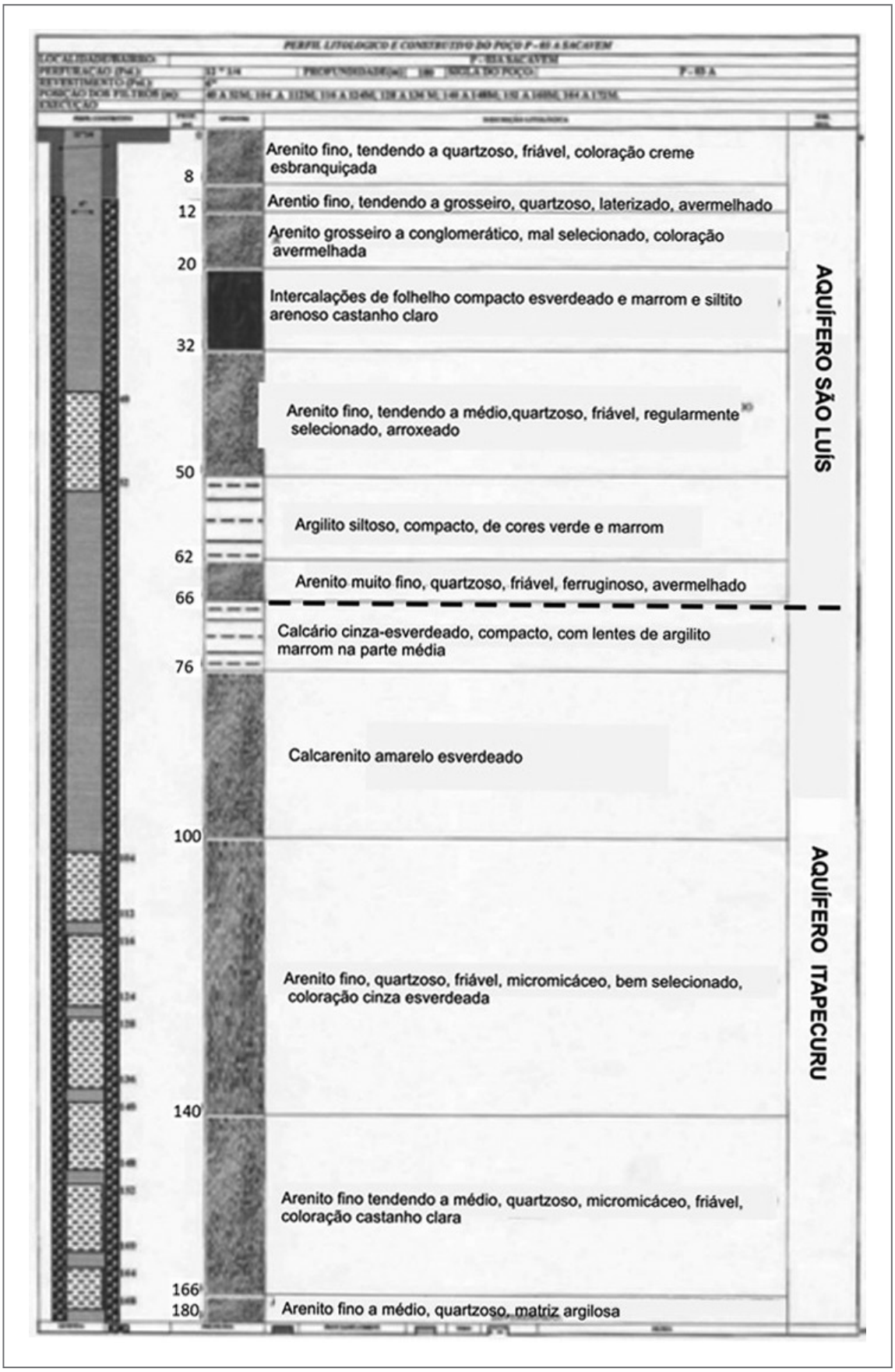


Figura 19: Perfil construtivo-litológico do poço de bombeamento P3-A



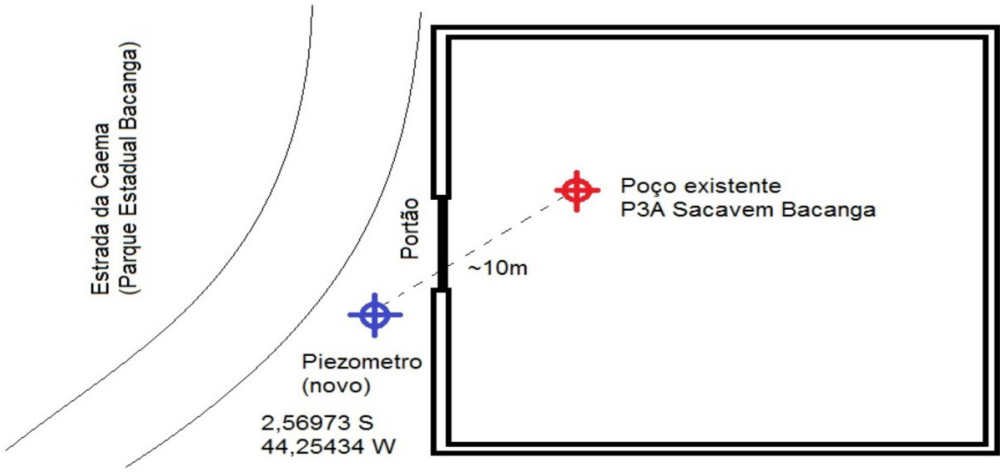




Figura 20: Piezômetro Pz 01, croquis e mapa de localização

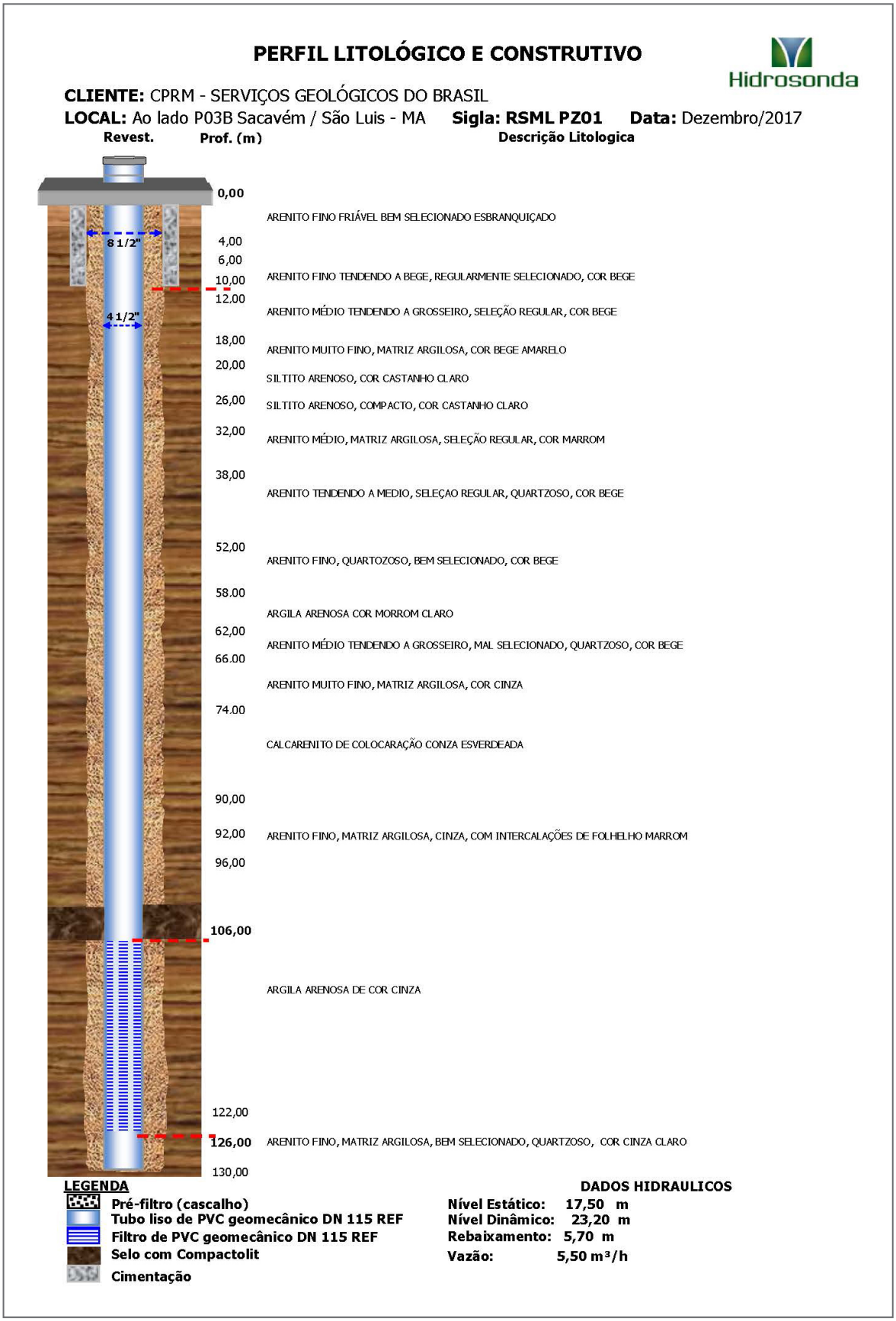


Figura 21: Perfil construtivo piezômetro Pz 01

2.6.1.1.1. *Método de Theis e software AquiferTest*

A Tabela 7 mostra os dados obtidos no teste de bombeamento.

Tabela 7: Dados do teste de bombeamento poço P3A/Pz 01

PIEZÔMETRO Pz-01 – POÇO DE PRODUÇÃO P3A (SACAVÉM/BACANGA)									
NE = 38,49 m			ND = 44,56 m		Δs = 6,07 m			Q = 30m³/h	
REBAIXAMENTO									
Data	t (min)	Hora	ND (m)	s (m)	Data	t (min)	Hora	ND (m)	s (m)
29/08/2018	0	08:00	38,49	0	29/08/2018	600	18:00	43,87	5,38
29/08/2018	1	08:01	38,5	0,01	29/08/2018	660	19:00	43,97	5,48
29/08/2018	2	08:02	38,63	0,14	29/08/2018	720	20:00	44	5,51
29/08/2018	3	08:03	39,35	0,86	29/08/2018	780	21:00	44,05	5,56
29/08/2018	4	08:04	39,41	0,92	29/08/2018	840	22:00	44,1	5,61
29/08/2018	5	08:05	39,63	1,14	29/08/2018	900	23:00	44,14	5,65
29/08/2018	6	08:06	39,85	1,36	30/08/2018	960	00:00	44,17	5,68
29/08/2018	7	08:07	40,1	1,61	30/08/2018	1020	01:00	44,19	5,7
29/08/2018	8	08:08	40,24	1,75	30/08/2018	1080	02:00	44,22	5,73
29/08/2018	9	08:09	40,37	1,88	30/08/2018	1140	03:00	44,25	5,76
29/08/2018	10	08:10	40,48	1,99	30/08/2018	1200	04:00	44,28	5,79
29/08/2018	12	08:12	40,89	2,4	30/08/2018	1260	05:00	44,26	5,77
29/08/2018	14	08:14	40,9	2,41	30/08/2018	1320	06:00	44,28	5,79
29/08/2018	16	08:16	41,06	2,57	30/08/2018	1440	08:00	44,28	5,79
29/08/2018	18	08:18	41,17	2,68	30/08/2018	1560	10:00	44,32	5,83
29/08/2018	21	08:21	41,3	2,81	30/08/2018	1680	12:00	44,34	5,85
29/08/2018	24	08:24	41,43	2,94	30/08/2018	1800	14:00	44,36	5,87
29/08/2018	27	08:27	41,53	3,04	30/08/2018	1920	16:00	44,36	5,87
29/08/2018	30	08:30	41,6	3,11	30/08/2018	2040	18:00	44,39	5,9
29/08/2018	40	08:40	41,97	3,48	30/08/2018	2160	20:00	44,39	5,9
29/08/2018	50	08:50	42,08	3,59	30/08/2018	2280	22:00	44,39	5,9
29/08/2018	60	09:00	42,23	3,74	31/08/2018	2400	00:00	44,41	5,92
29/08/2018	70	09:10	42,34	3,85	31/08/2018	2520	02:00	44,42	5,93
29/08/2018	80	09:20	42,46	3,97	31/08/2018	2640	04:00	44,44	5,95
29/08/2018	90	09:30	42,56	4,07	31/08/2018	2760	06:00	44,44	5,95
29/08/2018	100	09:40	42,65	4,16	31/08/2018	2880	08:00	44,5	6,01
29/08/2018	120	10:00	42,85	4,36	31/08/2018	3000	10:00	44,5	6,01
29/08/2018	140	10:20	42,9	4,41	31/08/2018	3120	12:00	44,51	6,02
29/08/2018	160	10:40	43,02	4,53	31/08/2018	3240	14:00	44,52	6,03
29/08/2018	180	11:00	43,1	4,61	31/08/2018	3360	16:00	44,52	6,03

continua

Tabela 7: Dados do teste de bombeamento poço P3A/Pz 0. (continuação)

PIEZÔMETRO Pz-01 – POÇO DE PRODUÇÃO P3A (SACAVÉM/BACANGA)									
NE = 38,49 m			ND = 44,56 m		Δs = 6,07 m			Q = 30m³/h	
REBAIXAMENTO									
Data	t (min)	Hora	ND (m)	s (m)	Data	t (min)	Hora	ND (m)	s (m)
29/08/2018	210	11:30	43,2	4,71	31/08/2018	3480	18:00	44,54	6,05
29/08/2018	240	12:00	43,29	4,8	31/08/2018	3600	20:00	44,56	6,07
29/08/2018	270	12:30	43,33	4,84	31/08/2018	3720	22:00	44,56	6,07
29/08/2018	300	13:00	43,41	4,92	31/08/2018	3840	00:00	44,56	6,07
29/08/2018	360	14:00	43,56	5,07	31/08/2018	3960	02:00	44,56	6,07
29/08/2018	420	15:00	43,66	5,17	31/08/2018	4080	04:00	44,56	6,07
29/08/2018	480	16:00	43,73	5,24	31/08/2018	4200	06:00	44,56	6,07
29/08/2018	540	17:00	43,82	5,33	31/08/2018	4320	08:00	44,56	6,07

A Figura 22 mostra a curva obtida com a aplicação da solução analítica de Theis, considerando um aquífero confinado, não drenante e em regime transiente.

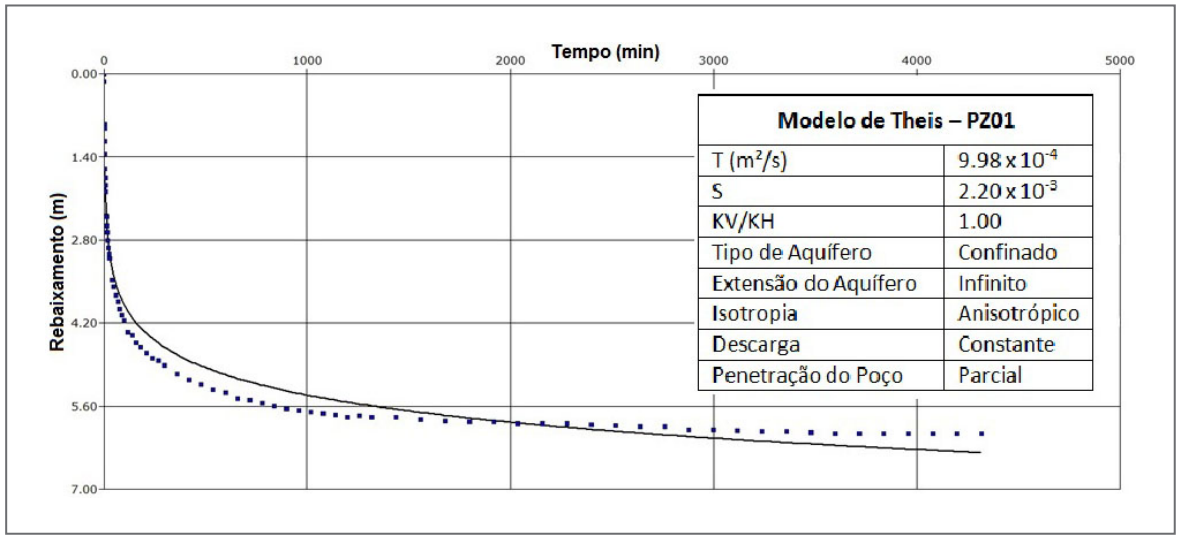


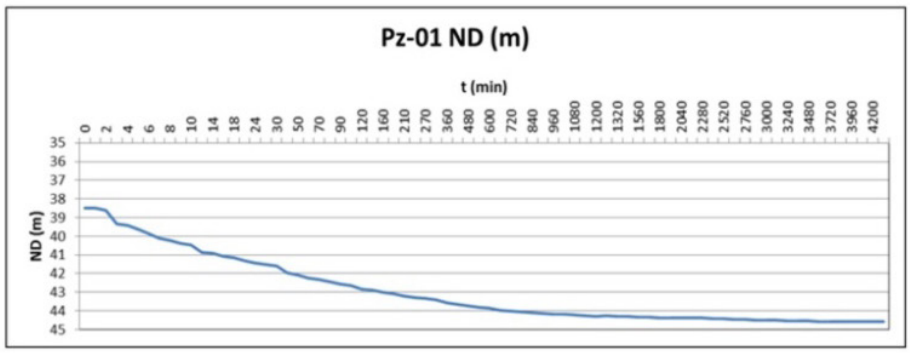
Figura 22: Curva Rebaixamento X Tempo Método de Theis (software AquiferTest)

Foram obtidos os seguintes valores para os parâmetros hidrodinâmicos:

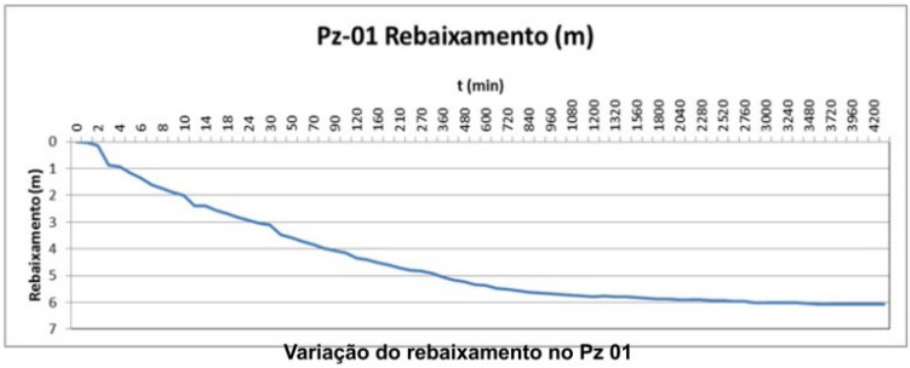
- Transmissividade hidráulica (T): 9,98. 10-4 m2/s
- Coeficiente de armazenamento (S): 2,20. 10-3

Métodos Gráficos

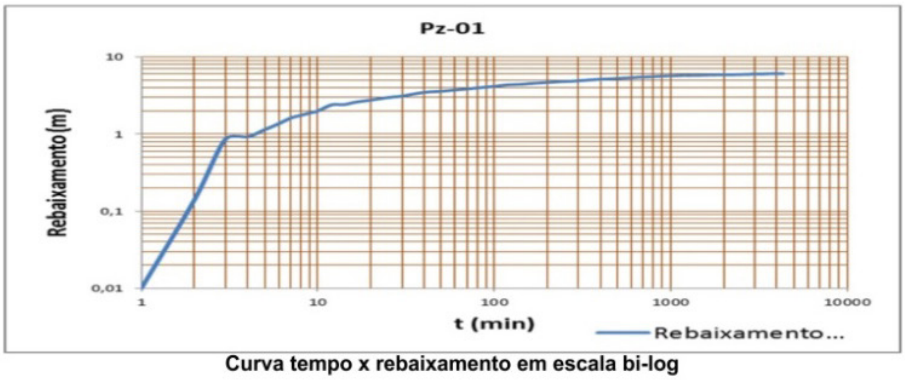
A Figura 23 mostra as variações do nível dinâmico (ND em metros) e do rebaixamento (metros) em função do tempo (minutos) no Pz-01, como também as variações do rebaixamento (metros) em função do tempo (minutos) em gráficos bi-log e mono-log, utilizados para as interpretações gráficas do teste.



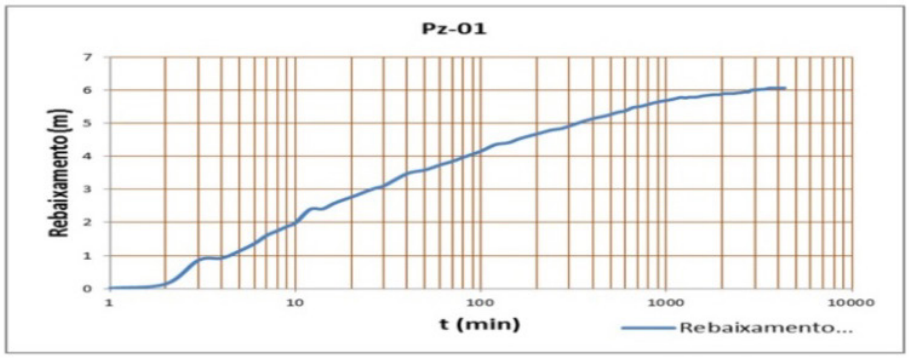
Variação do ND no Pz 01



Variação do rebaixamento no Pz 01



Curva tempo x rebaixamento em escala bi-log



Curva tempo x rebaixamento em escala mono-log

Figura 23: Curvas de campo do Pz 01

2.6.1.1.2. *Método de Theis*

Para a aplicação do método gráfico de Theis foi elaborada a curva com os dados do teste de bombeamento (rebaixamento versus tempo) e feita a sobreposição com a curva padrão (log W(u) versus log 1/u) conforme pode ser visto na Figura 24.

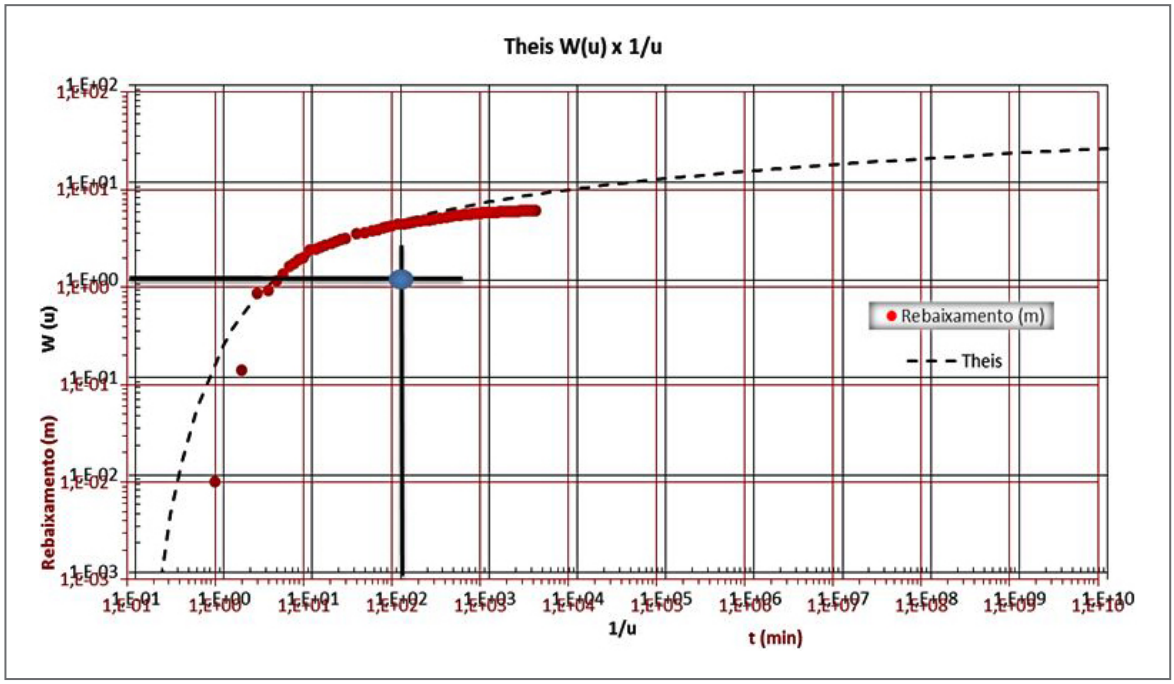


Figura 24: Aplicação da solução gráfica de Theis para o piezômetro PZ 01

A interpretação da Figura 24 fornece os dados para o cálculo da Transmissividade (T) segundo a equação a seguir:

$$T = \frac{Q}{4\pi s} W(u)$$

Onde,

Q = Vazão constante do teste = 30 m^3/h;

s = Rebaixamento, determinado na superposição das curvas (Figura 24) = 1,25 m;

W(u) = Função do poço, determinado na superposição das curvas (Figura 24) = 1.

Logo, $T = \frac{30{,}00}{4 \text{ x } 3{,}14 \text{ x } 1{,}25} \text{x } 1$ = 1,910 m^2/h = 0,031 m^2/min = 5,17. 10^{-4} m^2/s

O valor do armazenamento (S) também pode ser estimado, utilizando a equação a seguir:

$$S = \left(\frac{4\,T\,t}{r^2}\right)u$$

T = Transmissividade = 0,031 m²/min;

t = tempo determinado na superposição das curvas (Figura 24) = 120 min;

r = distância do piezômetro ao poço bombeado (Figura 24) = 10,00 m;

1/u = determinado na superposição das curvas = 100;

Resolvendo a equação, encontramos que S = 0,0015.

2.6.1.1.3. *Método de Hantush*

A Figura 25 exibe a superposição da curva de rabaixamento versus tempo do teste do poço P3A (PZ01) e da curva padrão de Hantush.

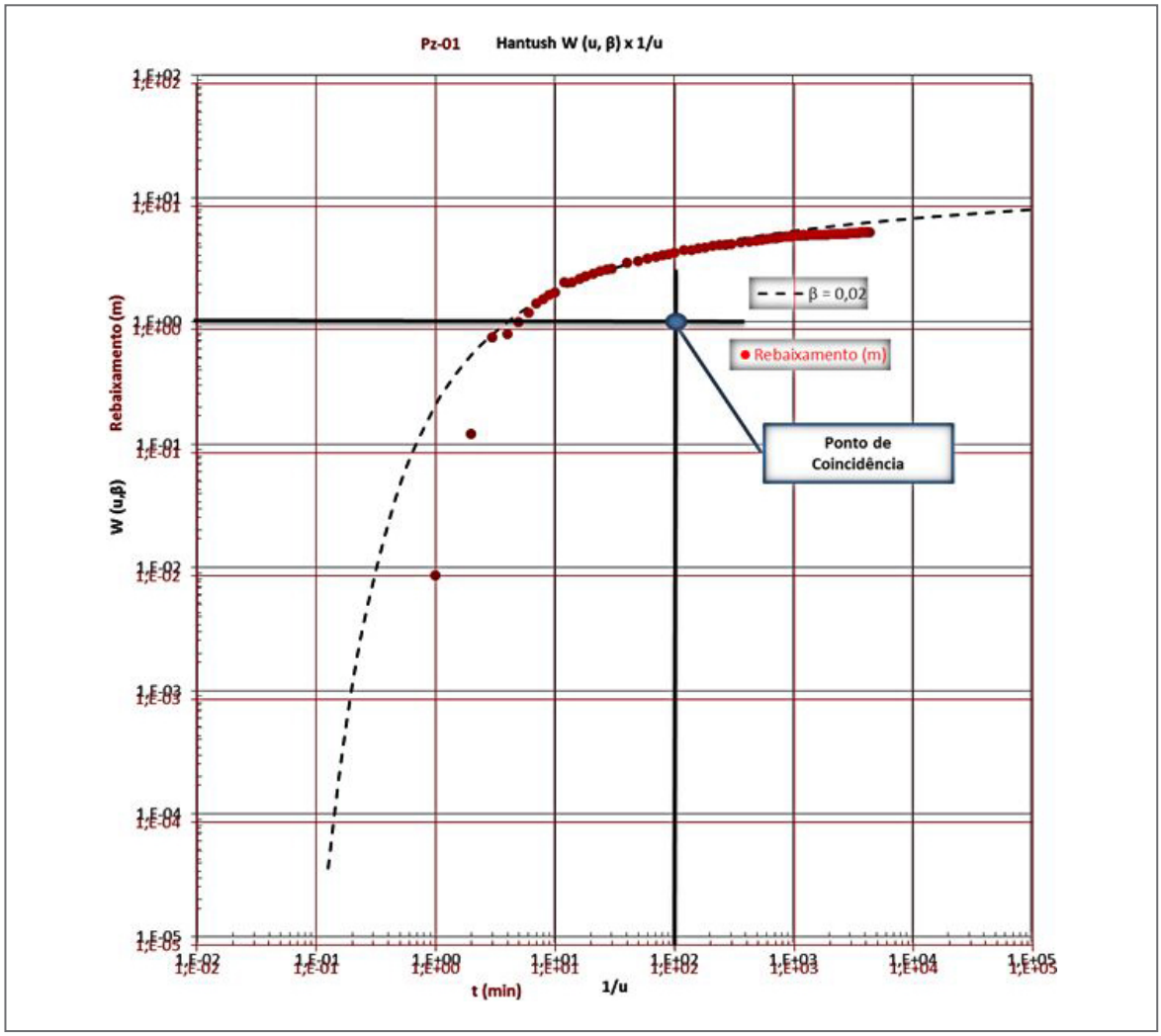


Figura 25: Modelo de Hantush (PZ 01)

As informaçõs obtidas a partir da Figura 25 permitem o cálculo da transmissividade (T):

Sabendo que $T = \frac{Q}{4\pi s} W(u, \beta)$, e que:

Q = vazão constante de teste = 30,00 m^3/h;

s = rebaixamento determinado na superposição das curvas (Figura 25)= 1,14 m;

W(u,β) = função determinada na superposição das curvas (Figura 25) = 1;

Tem-se então que $T = \frac{30,00}{4\ x\ 3,14\ x\ 1,14} x\ 1$= 2,095$m^2/h$ = 0,034m^2/min = 5,67.10^{-4} m^2/s.

Sabendo do valor de T, é possível calcular o armazenamento (S):

$S = \left(\frac{4\ T\ t}{r^2}\right) u$

Onde,

T = Transmissividade = 0,034 m^2/min;

t = tempo determinado na superposição das curvas (Figura 25) = 100 min;

r = distância do piezômetro ao poço bombeado = 10,00 m;

1/u = determinado na superposição das curvas (Figura 25) = 100;

Resolvendo a equação, encontramos que S = 0,0013

2.6.1.1.4. *Método de Walton*

Na Figura 26 exibe-se a superposição da curva de rabaixamento versus tempo do teste do poço P3A (PZ01) e da curva padrão de Walton, que fornece os dados necessários para o Cálculo de T.

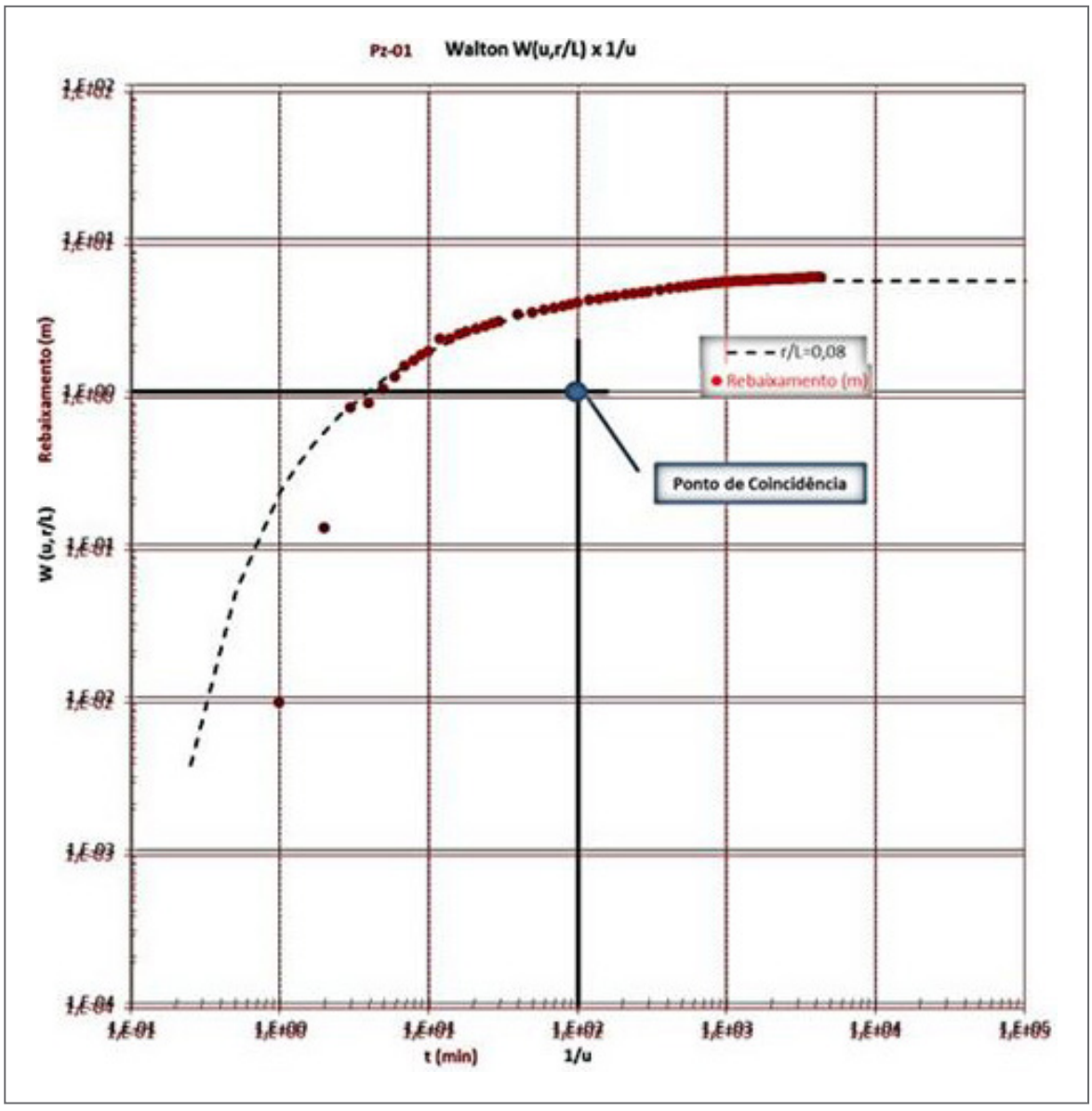


Figura 26: Aplicação do modelo de Walton ao Pz 01

$$T = \frac{Q}{4\pi s} W(u, r/L)$$

Onde,

Q = Vazão constante de teste = 30,00 m^3/h;

s = Rebaixamento na superposição das curvas (Figura 26) = 1,14 m;

W(u,r/L) = Função determinada na superposição das curvas (Figura 26) = 1;

Tem-se então que $T = \frac{30{,}00}{4\ x\ 3{,}14\ x\ 1{,}14} x\ 1$ = 2,095 m^2/h = 0,035 m^2/min = 5,83. 10^{-4} m^2/s.

Com a estimativa do valor de T, é possível avaliar o valor de S:

$$S = \left(\frac{4\ T\ t}{r^2}\right) u$$

Onde,

T = Transmissividade = 0,035 m^2/ min;

t = tempo determinado na superposição das curvas (Figura 24) = 100 min;

r = distância do piezômetro ao poço bombeado = 10,00 m;

1/u = determinado na superposição das curvas (Figura 24) = 100

Resolvendo a equação, encontramos para S o valor de 0,0014

2.6.1.1.5. *Síntese dos resultados do Pz 01*

A Tabela 8 sumariza os resultados obtidos nas interpretações do ensaio de bombemaento no poço P3A com observação no piezômetro Pz 01.

Tabela 8: Quadro resumo dos valores obtidos no Pz 01

TRANSMISSIVIDADE T (m^2/s)	THEIS COM *AQUIFERTEST*	THEIS GRÁFICO	HANTUSH	WALTON	VALOR MÉDIO
	9,98 x. 10^{-4}	5,17 x 10^{-4}	5,67 x 10^{-4}	5,83 x 10^{-4}	6,66 x 10^{-4}
Coeficiente de Armazenamento (S)	2,20 x 10^{-3}	1,5 x 10^{-3}	1,3 x 10^{-3}	1,4 x 10^{-3}	1,56 x 10^{-3}

2.6.1.1.6. *Poço P01 (Vila Embratel) e Piezômetro Pz 04*

O teste foi executado com o bombeamento do poço P 01 – Vila Embratel da CAEMA com medições de nível realizadas no piezômetro 04 (Pz-04), durante os dias 11 e 12 de junho de 2018. Teve uma duração de 1560 minutos (26 horas) e vazão de bombeamento constante de 16,64 m^3/h. A distância total entre o poço de produção e o piezômetro foi de 10, m. O nível estático foi de 54,57 m no início do teste e apresentou um rebaixamento máximo de 6,95 m, se estabilizando em 61,52 m. o teste foi encerrado por solicitação dos moradores locais, haja vista a necessidade da retomada de seu abastecimento de água.

O perfil construtivo e litológico do poço de bombeamento (P01 – Vila Embratel) é mostrado na Figura 27. Detalhes da localização do piezômetro Pz 04, croquis de locação, distância do poço de produção, localização na Ilha de São Luís e perfil construtivo-litológico podem ser vistos na Figura 28 e na Figura 29. A captação está localizada nas dependências da CAEMA, nas coordenadas -2,57035 S e -44,30724 W.

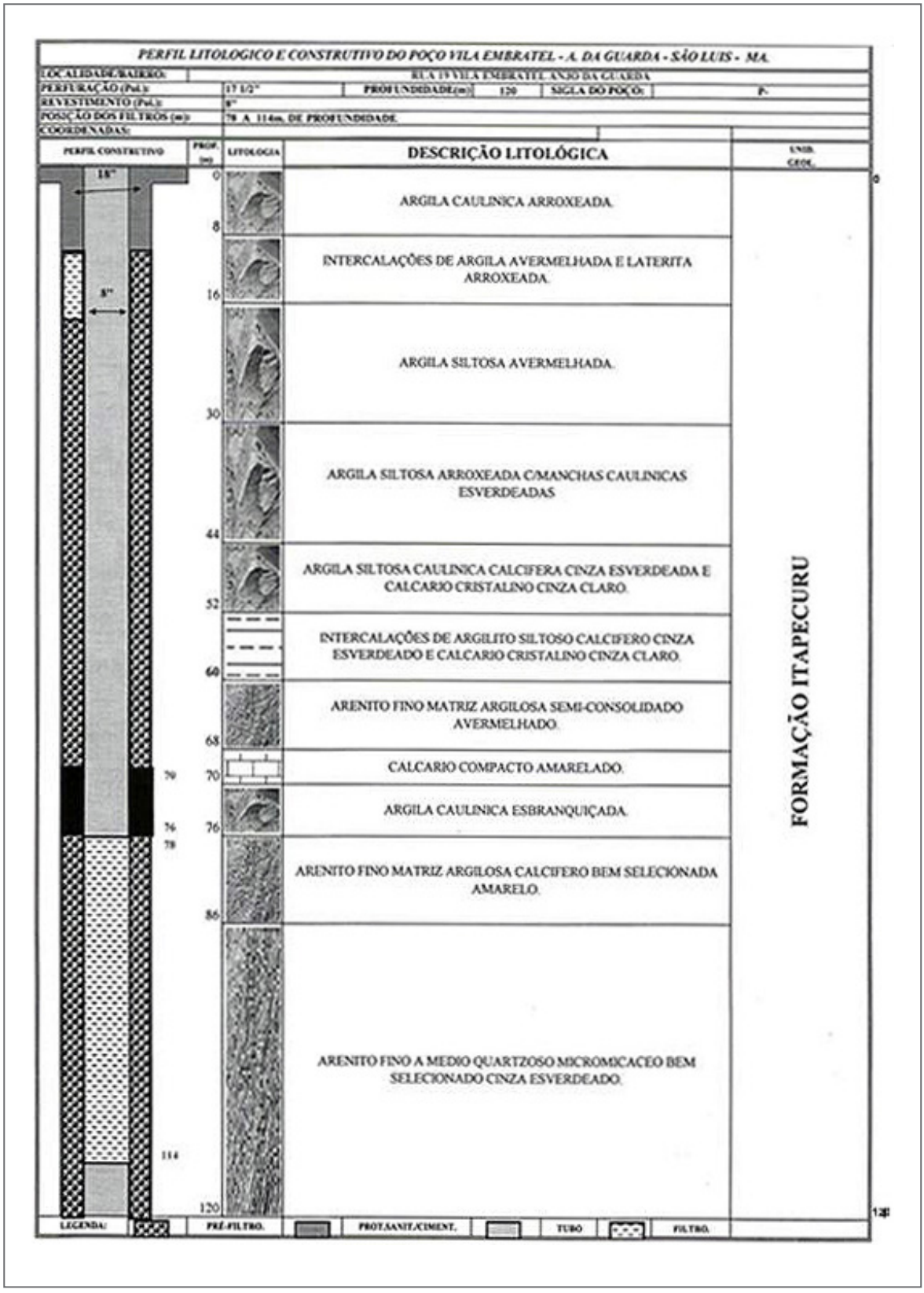


Figura 27: Perfil construtivo/litológico do poço de produção P01 (Vila Embratel)



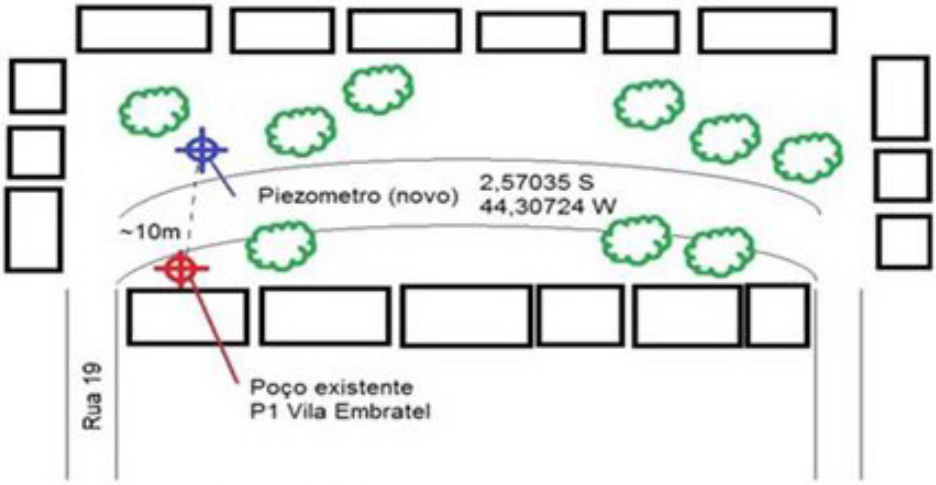




Figura 28: Piezômetro Pz 04, croquis e mapa de localização



Figura 29: Perfil construtivo piezômetro Pz 04

2.6.1.1.7. *Método de Theis e o software AquiferTest*

A Tabela 9 mostra os dados obtidos no teste de bombeamento do poço P01 com observação no piezômetro PZ04.

Tabela 9: Dados do teste de bombeamento poço P01/Pz 04

PIEZÔMETRO Pz 04 - POÇO DE PRODUÇÃO P 01 (VILA EMBRATEL)									
NE (m) = 54,57		ND (m)= 61,52		Δs (m) = 6,95			Q (m^3/h) = 16,64		
REBAIXAMENTO									
Data	t (min)	Hora	ND (m)	s (m)	Data	t (min)	Hora	ND (m)	s (m)
11/07/2018	0	09:00	54,57	0	11/07/2018	140	11:50	59,24	4,67
11/07/2018	1	09:31	54,66	0,09	11/07/2018	160	12:10	59,38	4,81
11/07/2018	2	09:32	54,92	0,35	11/07/2018	180	12:30	59,45	4,88
11/07/2018	3	09:33	54,94	0,37	11/07/2018	210	13:00	59,62	5,05
11/07/2018	4	09:34	55,16	0,59	11/07/2018	240	13:30	59,8	5,23
11/07/2018	5	09:35	55,42	0,85	11/07/2018	270	14:00	59,98	5,41
11/07/2018	6	09:36	55,66	1,09	11/07/2018	300	14:30	60,12	5,55
11/07/2018	7	09:37	55,89	1,32	11/07/2018	360	15:30	60,26	5,69
11/07/2018	8	09:38	56,07	1,5	11/07/2018	420	16:30	60,65	6,08
11/07/2018	9	09:39	56,24	1,67	11/07/2018	480	17:30	60,76	6,19
11/07/2018	10	09:40	56,44	1,87	11/07/2018	540	18:30	60,88	6,31
11/07/2018	12	09:42	57,54	2,97	11/07/2018	600	19:30	60,99	6,42
11/07/2018	14	09:44	57,59	3,02	11/07/2018	660	20:30	61,03	6,46
11/07/2018	16	09:46	57,64	3,07	11/07/2018	720	21:30	61,18	6,61
11/07/2018	18	09:48	57,69	3,12	11/07/2018	780	22:30	61,24	6,67
11/07/2018	21	09:51	57,7	3,13	11/07/2018	840	23:30	61,26	6,69
11/07/2018	24	09:54	57,74	3,17	12/07/2018	900	01:30	61,28	6,71
11/07/2018	27	09:57	57,76	3,19	12/07/2018	960	02:30	61,3	6,73
11/07/2018	30	10:00	57,95	3,38	12/07/2018	1020	03:30	61,34	6,77
11/07/2018	40	10:10	57,98	3,41	12/07/2018	1080	04:30	61,34	6,77
11/07/2018	50	10:20	58,32	3,75	12/07/2018	1140	05:30	61,35	6,78
11/07/2018	60	10:30	58,5	3,93	12/07/2018	1200	06:30	61,36	6,79
11/07/2018	70	10:40	58,55	3,98	12/07/2018	1260	07:30	61,39	6,82
11/07/2018	80	10:50	58,66	4,09	12/07/2018	1320	08:30	61,4	6,83
11/07/2018	90	11:00	58,8	4,23	12/07/2018	1440	10:30	61,46	6,89
11/07/2018	100	11:10	58,97	4,4	12/07/2018	1560	12:30	61,52	6,95
11/07/2018	120	11:30	59,09	4,52					

A Figura 30 mostra a curva para a solução de Theis, considerando um aquífero confinado não drenante e em regime transiente.

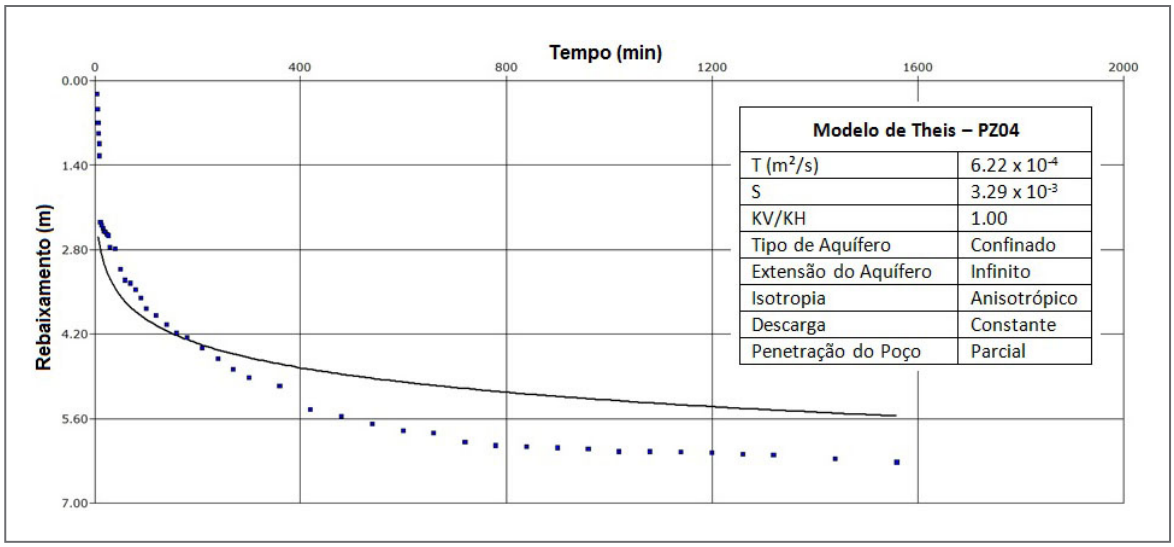


Figura 30: Curva Rebaixamento X Tempo Método de Theis (software *AquiferTest)*

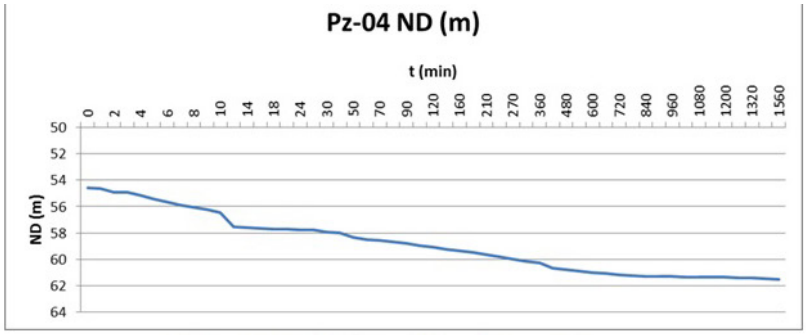
Foram obtidos os seguintes valores para os parâmetros hidrodinâmicos:

Transmissividade hidráulica (T): 6,22. 10-4 m2/s

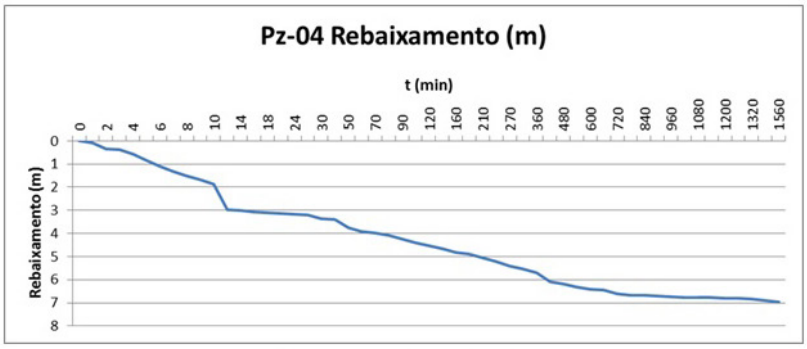
Coeficiente de armazenamento (S): 3,29. 10-3

Métodos gráficos

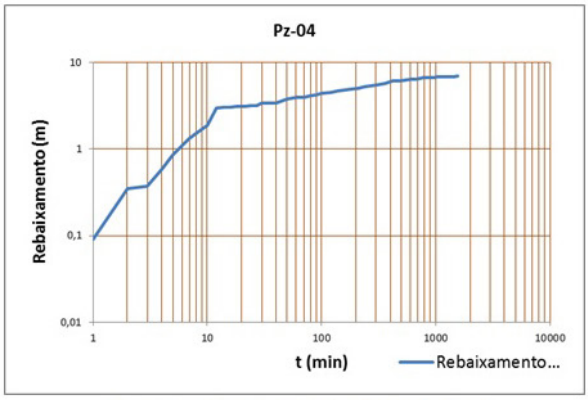
A Figura 31 mostra as variações do nível dinâmico (ND em metros) e do rebaixamento (metros) em função do tempo (minutos) no Pz-04, como também as variações do rebaixamento (metros) em função do tempo (minutos) em gráficos bi-log e mono-log, utilizados para as interpretações do teste.



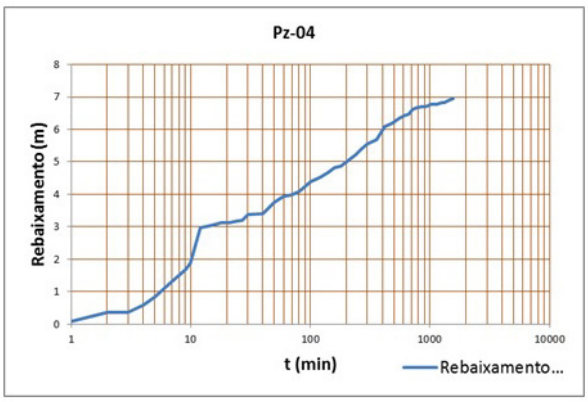
Variação do nível dinâmico (m) no piezômetro 04



Rebaixamento (m) no piezômetro 04



Curva tempo X rebaixamento em papel bi-log



Curva tempo X rebaixamento em papel mono-

Figura 31: Curvas de campo do Pz 04

2.6.1.1.8. *Método de Theis*

Para a aplicação do método gráfico de Theis foi feita a sobreposição da curva de campo com a curva padrão (log W(u) versus log 1/u) conforme pode ser visto na Figura 32.

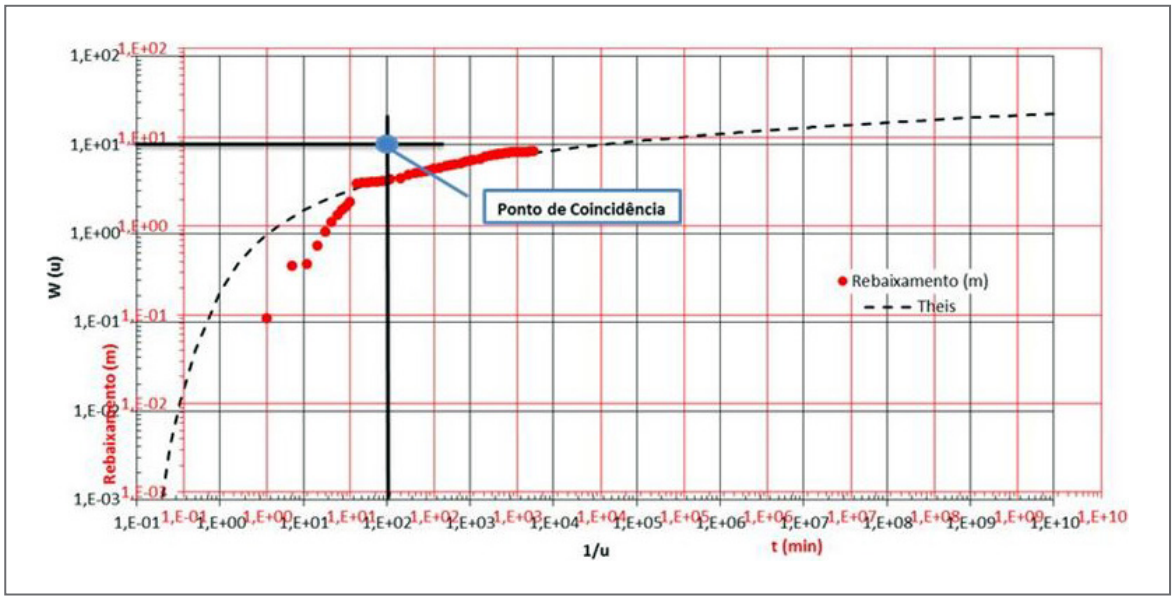


Figura 32: Curva de Theis (Método gráfico)

A interpretação da Figura 32 provê os dados para o cálculo da Transmissividade (T) segundo a equação a seguir:

$$T = \frac{Q}{4\pi s} W(u)$$

Onde

Q = vazão constante de teste = 16,64 m^3/h;

s = rebaixamento determinado na superposição das curvas (Figura 32) = 8,5 m;

W(u) = função do poço determinada superposição das curvas (Figura 32) = 10.

Resolvendo a equação, temos T = 1.56 m^2/h 0,025 m^2/min = 4,17. 10^{-4} m^2/s.

O armazenamento (S) também pode ser calculado, utilizando a equação a seguir:

$$S = \left(\frac{4\,T\,t}{r^2}\right) u' \text{ onde}$$

T = Transmissividade = 0.025 m^2/min;

t = Tempo, determinado na superposição das curvas (Figura 31) = 140 min;

r = Distância do piezômetro ao poço bombeado = 13,20 m;

1/u = Determinado na superposição das curvas (Figura 31) = 10000

Resolvendo a equação, encontramos S = 8,03 . 10^{-6}

2.6.1.1.9. *Método de Hantush*

A Figura 33 exibe a superposição da curva de rabaixamento versus tempo do teste do poço P01 (PZ04) e da curva padrão de Hantush.

As informações obtidas a partir da Figura 33 permitem o cálculo da transmissividade (T):

$$T = \frac{Q}{4\pi s} W(u, \beta)$$

Sendo,

Q = vazão constante de teste = 16,64 m^3/h;

s = rebaixamento na superposição das curvas (Figura 33) = 1,09 m;

W(u,β) = função determinada na superposição das curvas (Figura 33) = 1;

Resolvendo para T, temos T = 1.21 m^2/h = 2 . 10^{-2} m^2/min. = 3,38 . 10^{-4} m^2/s.

Sabendo do valor de T, é possível calcular o armazenamento (S) pela equação:

$$S = \left(\frac{4\,T\,t}{r^2}\right) u$$

Onde,

T = Transmissividade = 0.02 m^2/min;

t = tempo determinado na superposição das curvas (Figura 33) = 140 min;

r = distância do piezômetro ao poço bombeado = 13,20 m;

1/u = determinado na superposição das curvas (Figura 33)= 10000

Resolvendo a equação, encontramos S = 6,51 . 10^{-6}

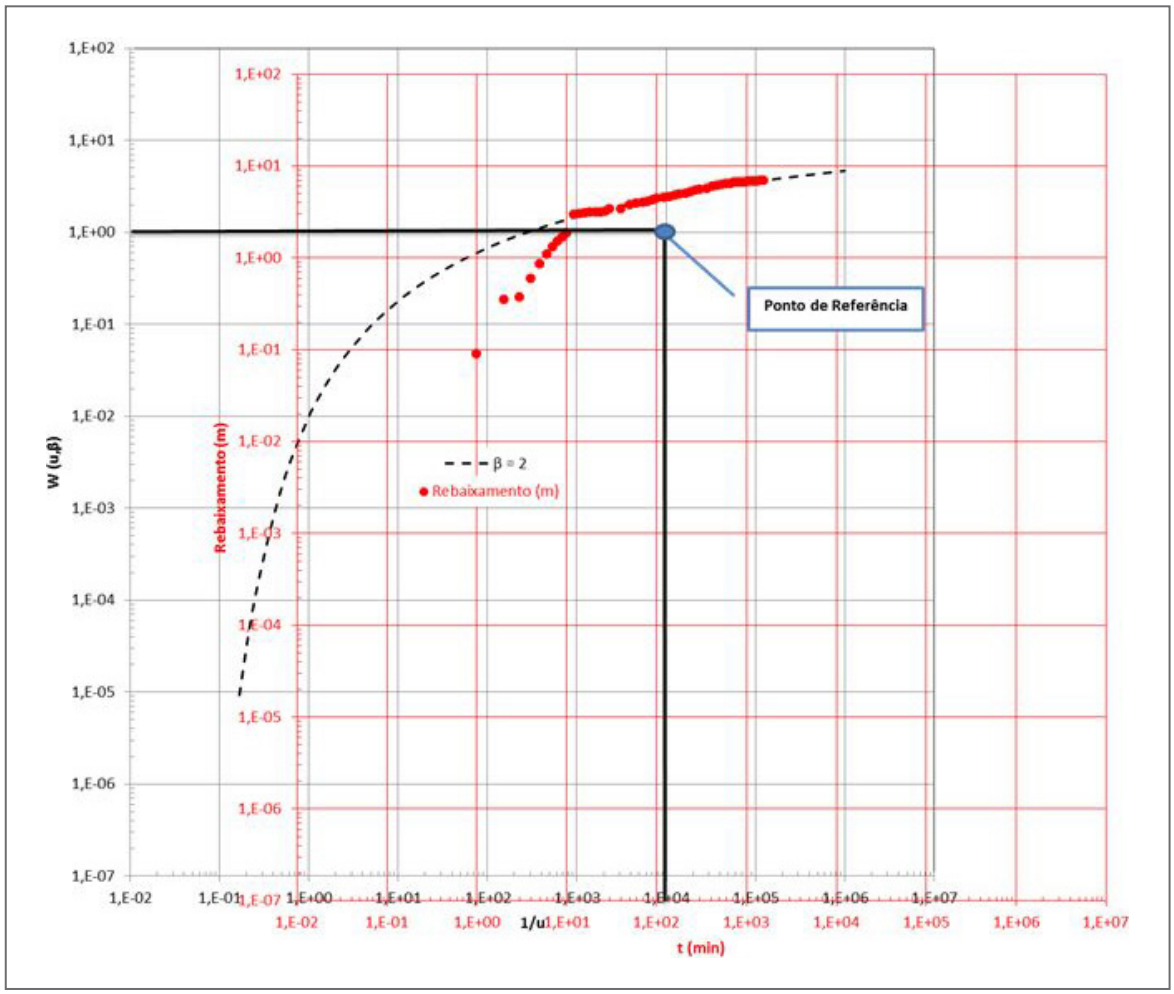


Figura 33: Curva de Hantush Pz 04

2.6.1.1.10. *Método de Walton*

Na Figura 34 exibe-se a superposição da curva de rabaixamento versus tempo do teste do poço P01 (PZ04) e da curva padrão de Walton que permite a obtenção dos dados necessários para ao Cálculo de T:

$$T = \frac{Q}{4\pi s} W\left(u, \frac{r}{L}\right)$$

Onde,

Q = vazão constante de teste = 16,64 m^3/h;

s = rebaixamento na superposição das curvas (Figura 34) = 1,87 m;

W(u,r/L) = função determinada na superposição das curvas (Figura 34) = 1;

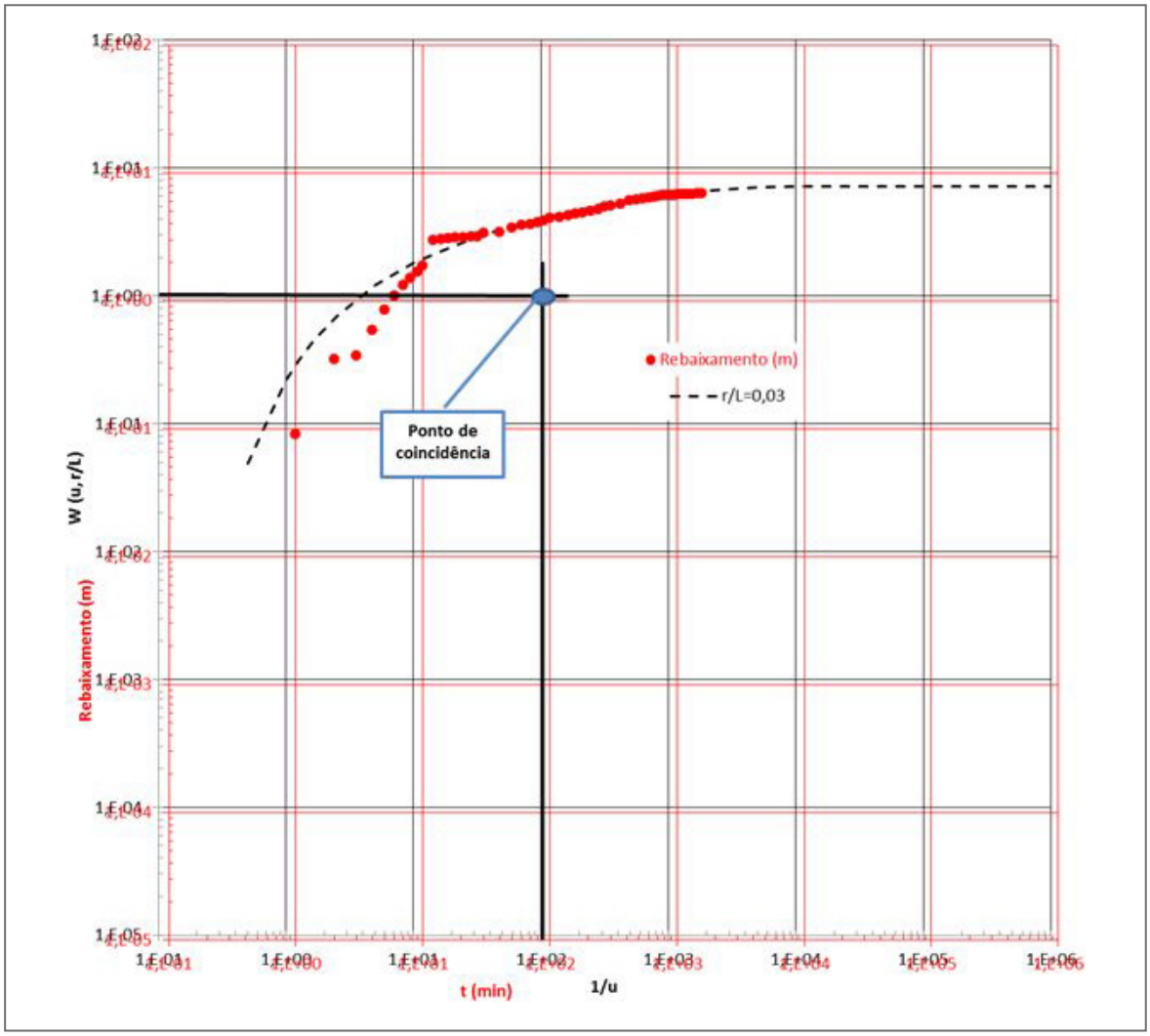


Figura 34: Curva de Walton Pz 04

Encontrou-se que T = 0.71 m^2/h = 0.012 m^2/min = 5,83 . 10^{-4} m^2/s.

Com a estimativa do valor de T, é possível avaliar o valor de S:

$S = \left(\frac{4\,T\,t}{r^2}\right) u$, Onde

T = Transmissividade = 0.012 m^2/min;

t = tempo determinado na superposição das curvas (Figura 34) = 85 min;

r = distância do piezômetro ao poço bombeado = 13,20 m;

1/u = determinado na superposição das curvas (Figura 34) = 100;

Encontramos então que S = 2,30 . 10^{-4}

2.6.1.2. *Síntese dos resultados do Pz 04*

A Tabela 10 reune os resultados obtidos nas interpretações do ensaio de bombemaento no poço P01 com observação no piezômetro Pz 04

Tabela 10: Quadro-resumo dos dados do Pz 04

TRANSMISSIVIDADE T (m^2/s)	THEIS COM *AQUIFERTEST*	THEIS GRÁFICO	HANTUSH	WALTON	VALOR MÉDIO
	$6,22 . 10^{-4}$	$4,17 . 10^{-4}$	$3,38 . 10^{-4}$	$5,83 . 10^{-4}$	$4.9 . 10^{-4}$
Coeficiente de Armazenamento (S)	$3,29 . 10^{-3}$	$8,03 . 10^{-6}$	$6,51 . 10^{-6}$	$2,30 . 10^{-4}$	$8.84 . 10^{-4}$

2.6.2. Testes realizados no Aquífero Livre São Luís

Quando a água é bombeada de um aquífero não confinado, os gradientes hidráulicos que são induzidos pelo bombeamento criam um cone de rebaixamento no próprio lençol freático e há componentes verticais de fluxo. A água produzida pelo poço surge dos dois mecanismos responsáveis pelo fluxo confinado mais a desidratação real do aquífero não confinado. Desta forma, em aquíferos livres, a função do poço, pode ser utilizada, porém definida em termos de rendimento específico - Sy (responsável pela liberação retardada de água para o poço), e não de coeficiente de armazenamento. A solução analítica para este caso foi desenvolvida originalmente por Boulton, sendo posteriormente aprimorada por Neuman, cujo método será utilizado nesta análise, com a aplicação do software *Aquifer Test* pelo método gráfico.

2.6.2.1. *Poço P1B e Piezômetro Pz 02*

O teste de aquífero foi executado com o bombeamento do poço P1-B (Sacavém/Bacanga) da CAEMA e medições de nível realizadas no piezômetro 02 (Pz-02), durante os dias 15 e 16 de junho de 2018. Teve uma duração de 1920 minutos (32 horas) e vazão de bombeamento constante de 39,61 m^3/h. A distância total entre o poço de produção e o piezômetro foi de 10 m. O nível estático foi de 7,22 m no início do teste e apresentou um rebaixamento máximo de 4,23 m, se estabilizando em 11,45 m. A Tabela 11 mostra os dados obtidos no teste de bombeamento do poço P1B com observação no piezômetro PZ02.

Detalhes da localização do piezômetro Pz 02, croquis de locação, distância ao poço de produção, localização na Ilha de São Luís e perfil construtivo e litológico podem ser vistos na Figura 35 e Figura 36. O perfil construtivo e litológico do poço de bombeamento (P1B – Sacavém/Bacanga) é mostrado na Figura 37.

A captação está localizada nas dependências da CAEMA - Sacavém, nas coordenadas -2,561015 S e -44,24927 W.

A Tabela 11 mostra os dados obtidos no teste de bombeamento do poço P1B com observação no piezômetro PZ02.

Tabela 11: Teste de bombeamento Poço P1BI e Piezômetro 02 (PZ 02)

PZ-02									
NE (m) = 7,22			ND (m) = 11,44		Δs (m) = 4,23		Q (m^3/h) = 39,61		
REBAIXAMENTO									
Data	t (min)	Hora	ND Com Medidor de Nível	Rebaixamento (m)	Data	t (min)	Hora	ND Com Medidor de Nível	Rebaixamento (m)
15/07/2018	0	09:00	7,22	0,00	15/07/2018	160	11:40	11,07	3,85
15/07/2018	1	09:01	7,49	0,27	15/07/2018	180	12:00	11,1	3,88
15/07/2018	2	09:02	7,94	0,72	15/07/2018	210	12:30	11,13	3,91
15/07/2018	3	09:03	8,36	1,14	15/07/2018	240	13:00	11,14	3,92
15/07/2018	4	09:04	8,66	1,44	15/07/2018	270	13:30	11,16	3,94
15/07/2018	5	09:05	8,91	1,69	15/07/2018	300	14:00	11,19	3,97
15/07/2018	6	09:06	9,11	1,89	15/07/2018	360	15:00	11,22	4,00
15/07/2018	7	09:07	9,27	2,05	15/07/2018	420	16:00	11,25	4,03
15/07/2018	8	09:08	9,4	2,18	15/07/2018	480	17:00	11,26	4,04
15/07/2018	9	09:09	9,52	2,30	15/07/2018	540	18:00	11,28	4,06
15/07/2018	10	09:10	9,63	2,41	15/07/2018	600	19:00	11,28	4,06
15/07/2018	12	09:12	9,79	2,57	15/07/2018	660	20:00	11,3	4,08
15/07/2018	14	09:14	9,94	2,72	15/07/2018	720	21:00	11,28	4,06
15/07/2018	16	09:16	10,04	2,82	15/07/2018	780	22:00	11,28	4,06
15/07/2018	18	09:18	10,14	2,92	15/07/2018	840	23:00	11,28	4,06
15/07/2018	21	09:21	10,25	3,03	16/07/2018	900	00:00	11,28	4,06
15/07/2018	24	09:24	10,35	3,13	16/07/2018	960	01:00	11,29	4,07
15/07/2018	27	09:27	10,43	3,21	16/07/2018	1020	02:00	11,27	4,05
15/07/2018	30	09:30	10,49	3,27	16/07/2018	1080	03:00	11,3	4,08

continua

Tabela 11: Teste de bombeamento Poço P1BI e Piezômetro 02 (PZ 02). (continuação)

PZ-02									
NE (m) = 7,22			ND (m) = 11,44		Δs (m) = 4,23		Q (m^3/h) = 39,61		
REBAIXAMENTO									
Data	t (min)	Hora	ND Com Medidor de Nível	Rebaixamento (m)	Data	t (min)	Hora	ND Com Medidor de Nível	Rebaixamento (m)
15/07/2018	40	09:40	10,64	3,42	16/07/2018	1140	04:00	11,3	4,08
15/07/2018	50	09:50	10,75	3,53	16/07/2018	1200	05:00	11,3	4,08
15/07/2018	60	10:00	10,82	3,60	16/07/2018	1260	06:00	11,3	4,08
15/07/2018	70	10:10	10,87	3,65	16/07/2018	1320	07:00	11,3	4,08
15/07/2018	80	10:20	10,91	3,69	16/07/2018	1440	09:00	11,43	4,21
15/07/2018	90	10:30	10,95	3,73	16/07/2018	1560	11:00	11,44	4,22
15/07/2018	100	10:40	10,97	3,75	16/07/2018	1680	13:00	11,445	4,23
15/07/2018	120	11:00	11,01	3,79	16/07/2018	1800	15:00	11,445	4,23
15/07/2018	140	11:20	11,05	3,83	16/07/2018	1920	17:00	11,445	4,23







Figura 35: Piezômetro Pz 02, croquis e mapa de localização

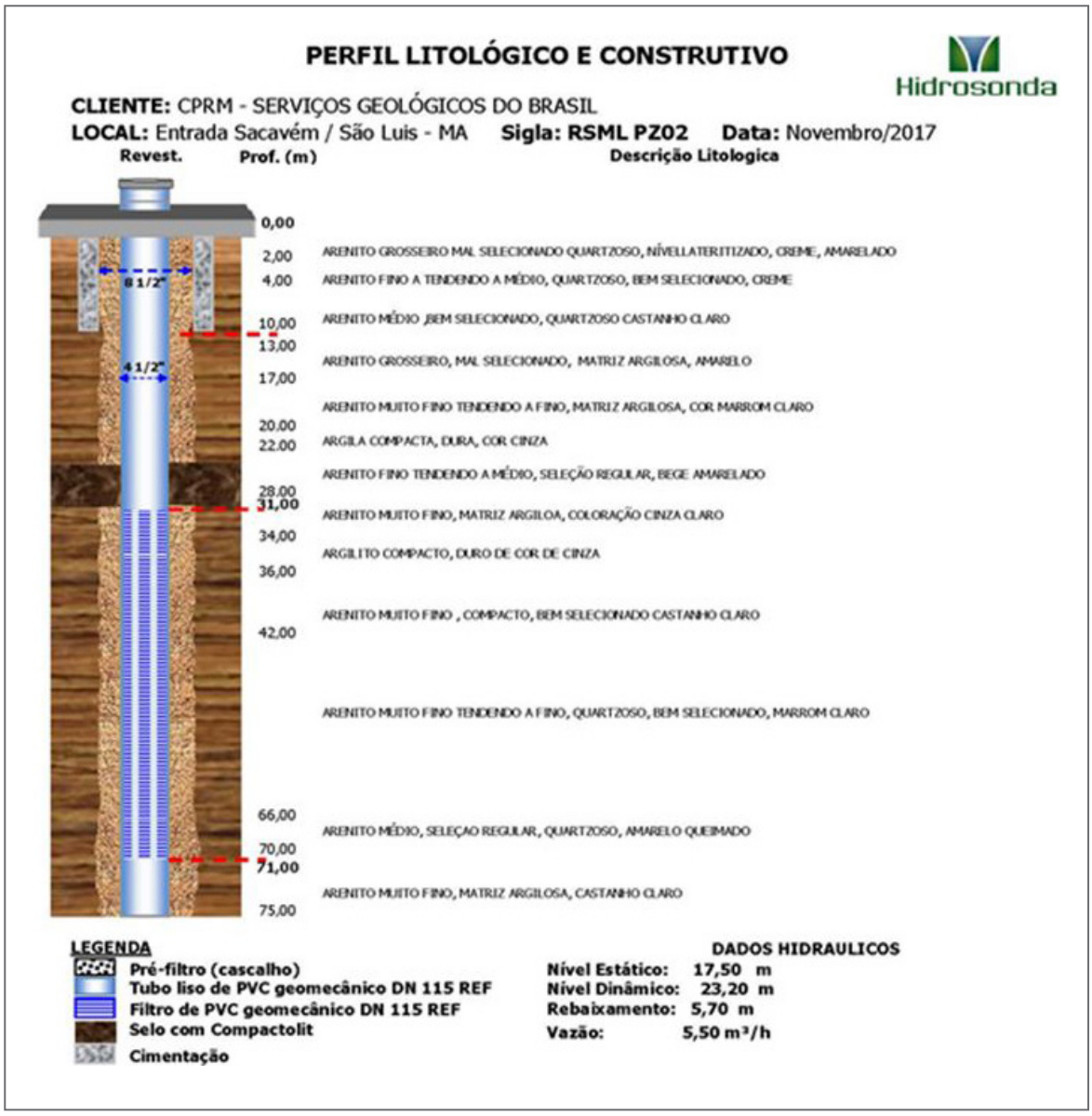


Figura 36: Perfil construtivo piezômetro Pz 02

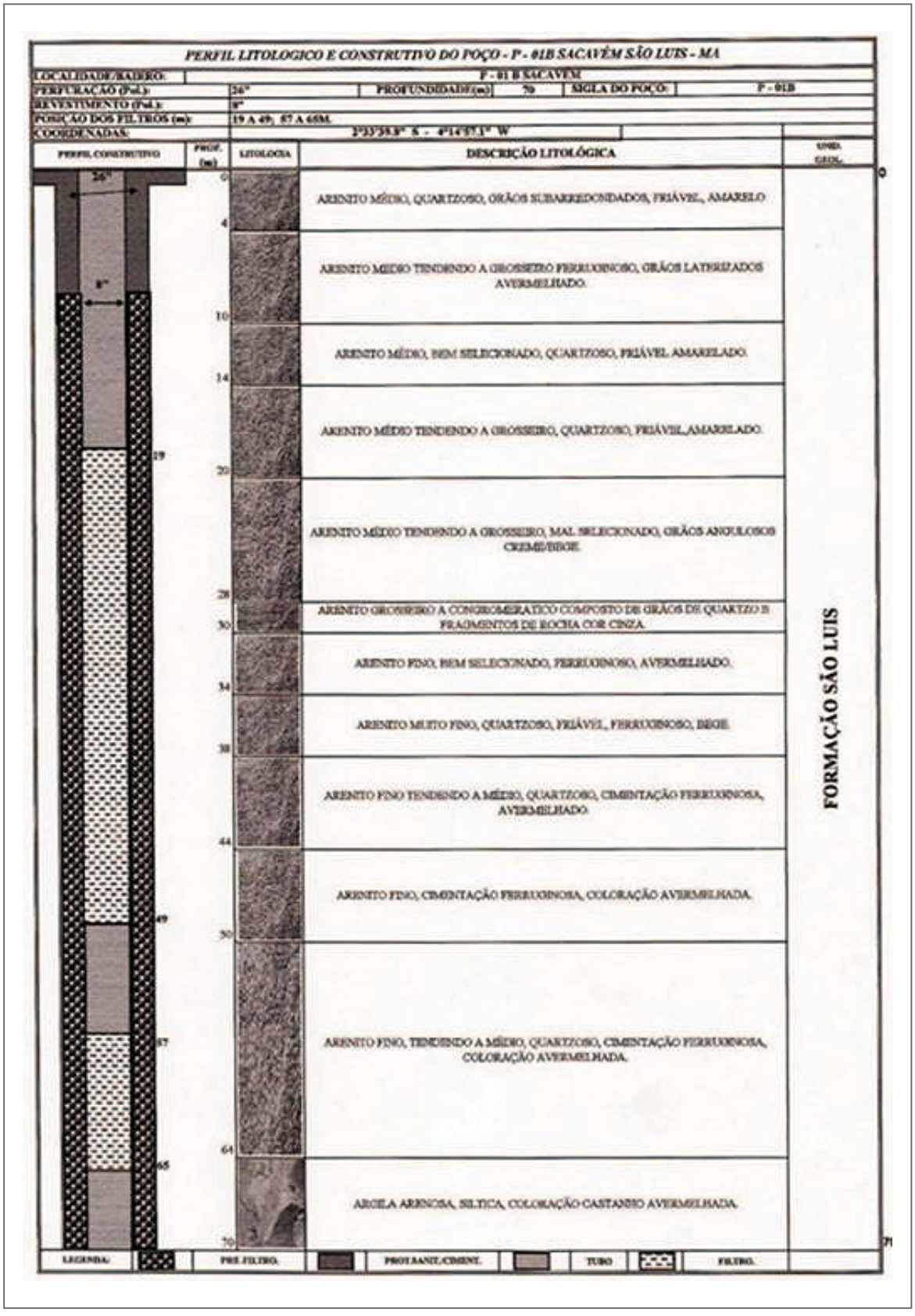


Figura 37: Perfil construtivo e litológico do poço P1B Sacavém Bacanga

2.6.2.1.1. *Método de Neuman e o software AquiferTest*

A Figura 38 mostra a curva rebaixamento versus tempo do teste e a aplicação do método de Neuman no software AquiferTest.

Foram obtidos os seguintes valores para os parâmetros hidrodinâmicos:

Transmissividade hidráulica (T): 8,02. 10^{-4} m^2/s

Rendimento Específico (Sy): 6,02. 10^{-7}

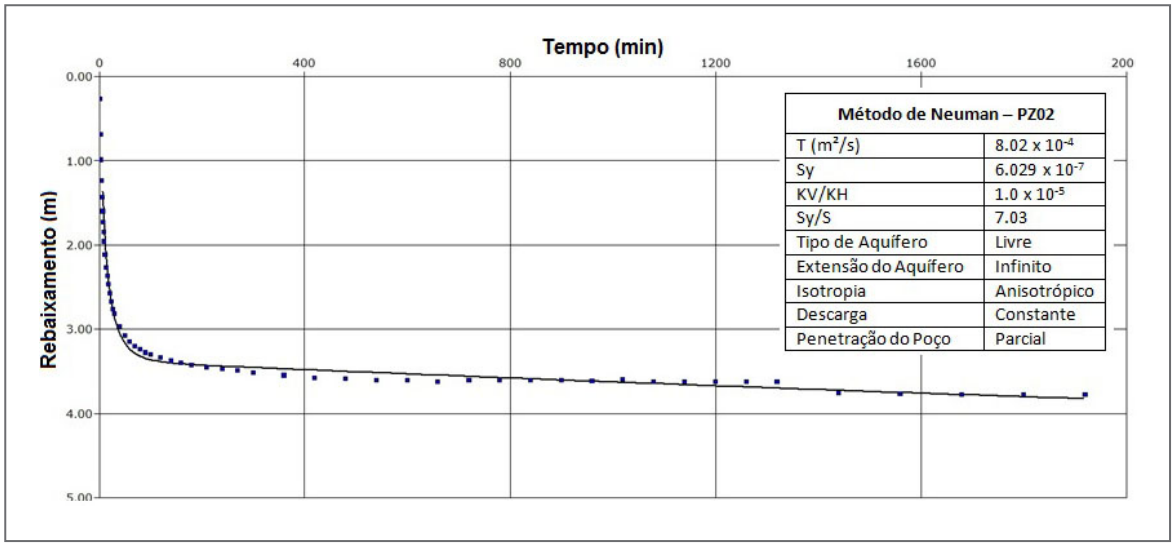


Figura 38: Curva rebaixamento versus tempo e aplicação do método de Neuman no software *AquiferTest*

Métodos Gráficos

A Figura 39 mostra as variações do nível dinâmico (ND em metros) e do rebaixamento (metros) em função do tempo (minutos) no Pz-02, bem como as variações do rebaixamento (metros) em função do tempo (minutos) em gráficos bi-log e mono-log, utilizados para as interpretações gráficas do teste.

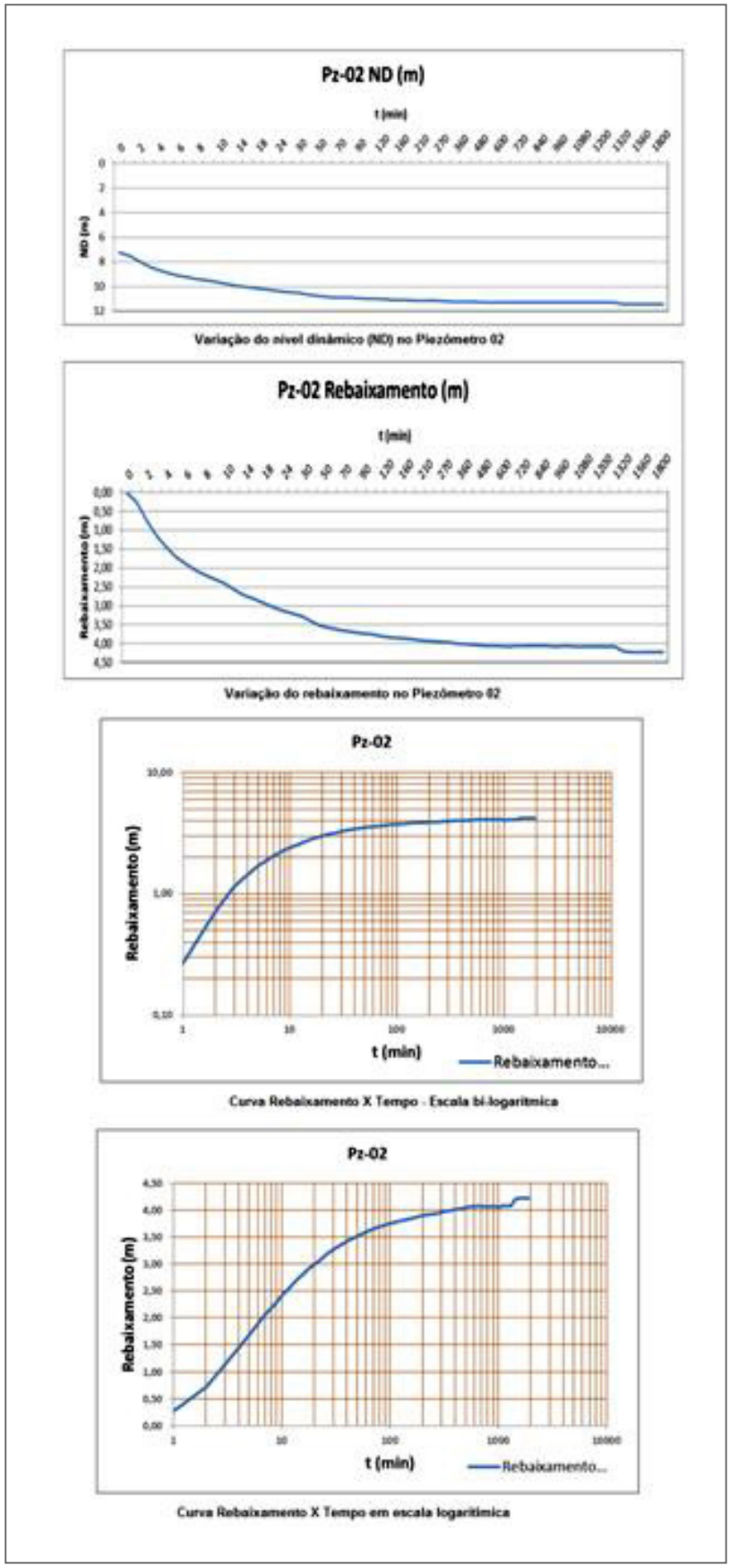


Figura 39: Curvas de campo do Pz 02

2.6.2.1.2. *Método de Neuman*

Para a aplicação do método gráfico de Neuman foi feita a sobreposição da curva de campo com a curva padrão conforme pode ser visto na Figura 40.

$$T = \frac{Q}{4\pi s} W(U_a, \beta), \text{ sendo}$$

Q = vazão constante de teste = 39,61 m^3/h;

s = rebaixamento na superposição das curvas (Figura 40) = 2,82 m;

$W(U_a,\beta)$ = função determinada na superposição das curvas (Figura 40) = 1;

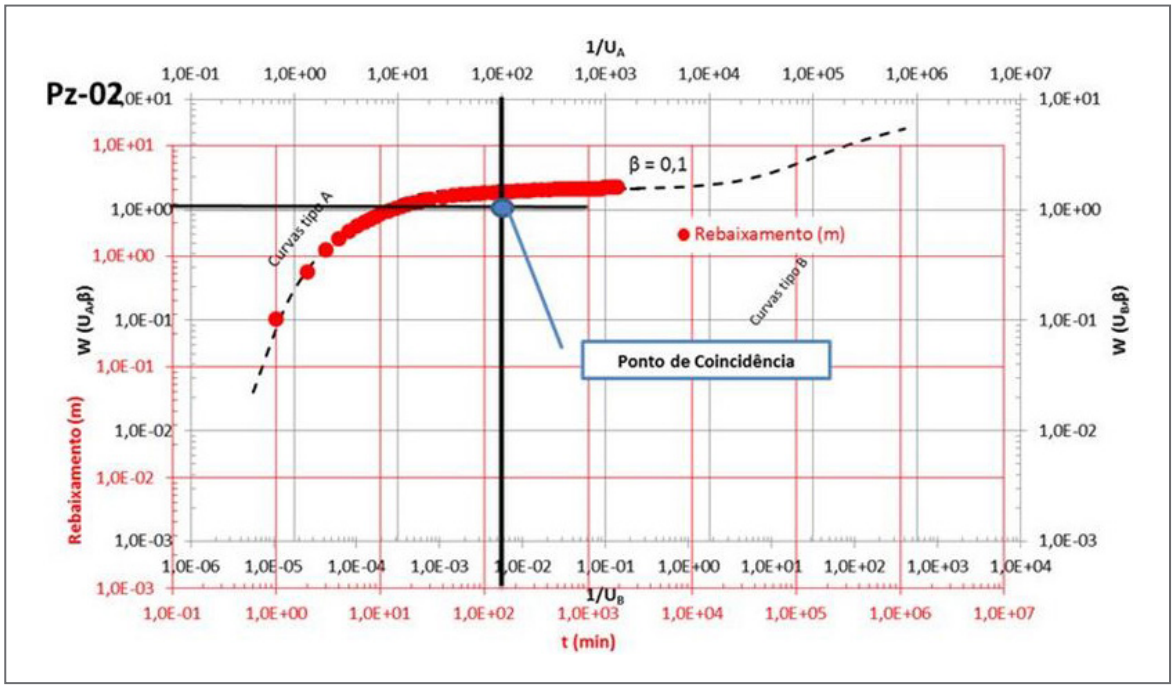


Figura 40: Aplicação do modelo de Neuman para o Pz-02

Resolvendo a equação acima, encontramos um valor da transmissividade hidráulica "T" de 1,118 m^2/h = 0,018 m^2/min = 2,33. 10^{-4} m^2/s.

O valor de Sy pode então ser estimado pela equação a seguir:

$$Sy = \left(\frac{4\,T\,t\,U_a}{r^2}\right), \text{ onde}$$

T = Transmissividade = 0,018 m^2/min;

t = tempo determinado na superposição das curvas (Figura 40)

r = distância do piezômetro ao poço bombeado = 10,70 m;

$1/U_a$ = determinado na superposição das curvas (Figura 40)

Desta forma, encontra-se que Sy = 1. 10^{-3}

2.6.2.1.3. *Síntese dos resultados do Pz 02*

Na Tabela 12 estão reunidos os valores de T e Sy resultantes da interpretação do ensaio de bombeamento do poço P1-B (Sacavém/Bacanga) e medição de níveis no Pz 02.

Tabela 12: Valores médios para o Pz 02

TRANSMISSIVIDADE T (m^2/s)	NEUMAN *AQUIFERTEST*	NEUMAN GRÁFICO	VALOR MÉDIO
Transmissividade (T - m^2/s)	$8{,}02 \cdot 10^{-4}$	$2{,}33 \cdot 10^{-4}$	$5{,}18 \cdot 10^{-4}$
Rendimento específico (S_y)	$6{,}02 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$5{,}0 \cdot 10^{-4}$

2.6.2.2. *Poço P23 e Piezômetro Pz 03*

O teste de aquífero foi executado com o bombeamento do poço P23 - (Paciência II) da CAEMA e medições de nível realizadas no piezômetro 03 (Pz-03), durante os dias 14 e 15 de junho de 2018. Teve uma duração de 1680 minutos (28 horas) e vazão de bombeamento constante de 160 m^3/h. A distância total entre o poço de produção e o piezômetro foi de 14,40 m. O nível estático foi de 4,05 m no início do teste e apresentou um rebaixamento máximo de 2,29 m, se estabilizando em 6,34 m. A Tabela 13 mostra os dados obtidos no teste de bombeamento.

Detalhes da localização do piezômetro Pz 03, croquis de locação, distância ao poço de produção, localização na Ilha de São Luís e perfil construtivo e litológico podem ser vistos na Figura 41 e na Figura 42 O perfil construtivo e litológico do poço de bombeamento (P23 – Paciência II) é mostrado na Figura 43. A captação está localizada nas dependências da CAEMA, nas coordenadas -2,54888 S e -44,19379 W.

Tabela 13: Teste de bombeamento Poço P 23 – Paciência II e Piezômetro 03 (PZ 03)

PZ-03									
NE (m) = 4,05		ND (m) = 6,35		Δs (m) = 2,29				Q (m^3/h) = 160	
REBAIXAMENTO									
Data	t (min)	Hora	ND (m)	s (m)	DATA	t (min)	Hora	ND (m)	s (m)
14/06/2018	0	10:30	4,05	0	14/06/2018	160		6,065	2,02
14/06/2018	1		5,11	1,06	14/06/2018	180		6,08	2,03
14/06/2018	2		5,37	1,32	14/06/2018	210		6,095	2,05
14/06/2018	3		5,49	1,44	14/06/2018	240		6,13	2,08
14/06/2018	4		5,57	1,52	14/06/2018	270		6,17	2,12
14/06/2018	5		5,63	1,58	14/06/2018	300		6,18	2,13
14/06/2018	6		5,68	1,63	14/06/2018	360		6,17	2,12

continua

Tabela 13: Teste de bombeamento Poço P 23 – Paciência II e Piezômetro 03 (PZ 03). (continuação)

PZ-03									
NE (m) = 4,05		ND (m) = 6,35		Δs (m) = 2,29				Q (m³/h) = 160	
REBAIXAMENTO									
Data	t (min)	Hora	ND (m)	s (m)	DATA	t (min)	Hora	ND (m)	s (m)
14/06/2018	7		5,71	1,66	14/06/2018	420		6,17	2,12
14/06/2018	8		5,74	1,69	14/06/2018	480		6,19	2,14
14/06/2018	9		5,76	1,71	14/06/2018	540		6,21	2,16
14/06/2018	10		5,78	1,73	14/06/2018	600		6,23	2,18
14/06/2018	12		5,81	1,76	14/06/2018	660		6,24	2,19
14/06/2018	14		5,83	1,78	14/06/2018	720		6,24	2,19
14/06/2018	16		5,85	1,8	14/06/2018	780		6,24	2,19
14/06/2018	18		5,86	1,81	15/06/2018	840		6,24	2,19
14/06/2018	21		5,88	1,83	15/06/2018	900		6,24	2,19
14/06/2018	24		5,89	1,84	15/06/2018	960		6,23	2,18
14/06/2018	27		5,91	1,86	15/06/2018	1020		6,23	2,18
14/06/2018	30		5,92	1,87	15/06/2018	1080		6,24	2,19
14/06/2018	40		5,99	1,94	15/06/2018	1140		6,25	2,2
14/06/2018	50		6,02	1,97	15/06/2018	1200		6,26	2,21
14/06/2018	60		6,04	1,99	15/06/2018	1260		6,27	2,22
14/06/2018	70		6,03	1,98	15/06/2018	1320		6,34	2,29
14/06/2018	80		6,02	1,97	15/06/2018	1380		6,34	2,29
14/06/2018	90		6,02	1,97	15/06/2018	1440		6,35	2,3
14/06/2018	100		6,03	1,98	15/06/2018	1500		6,34	2,29
14/06/2018	120		6,04	1,99	15/06/2018	1560		6,34	2,29
14/06/2018	140		6,06	2,01	15/06/2018	1620		6,35	2,3
					15/06/2018	1680		6,34	2,29



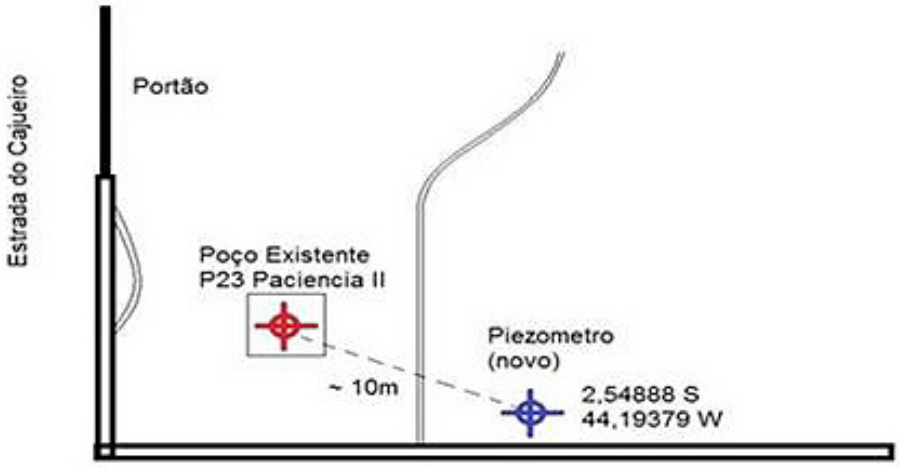




Figura 41: Piezômetro Pz 03, croquis e mapa de localização

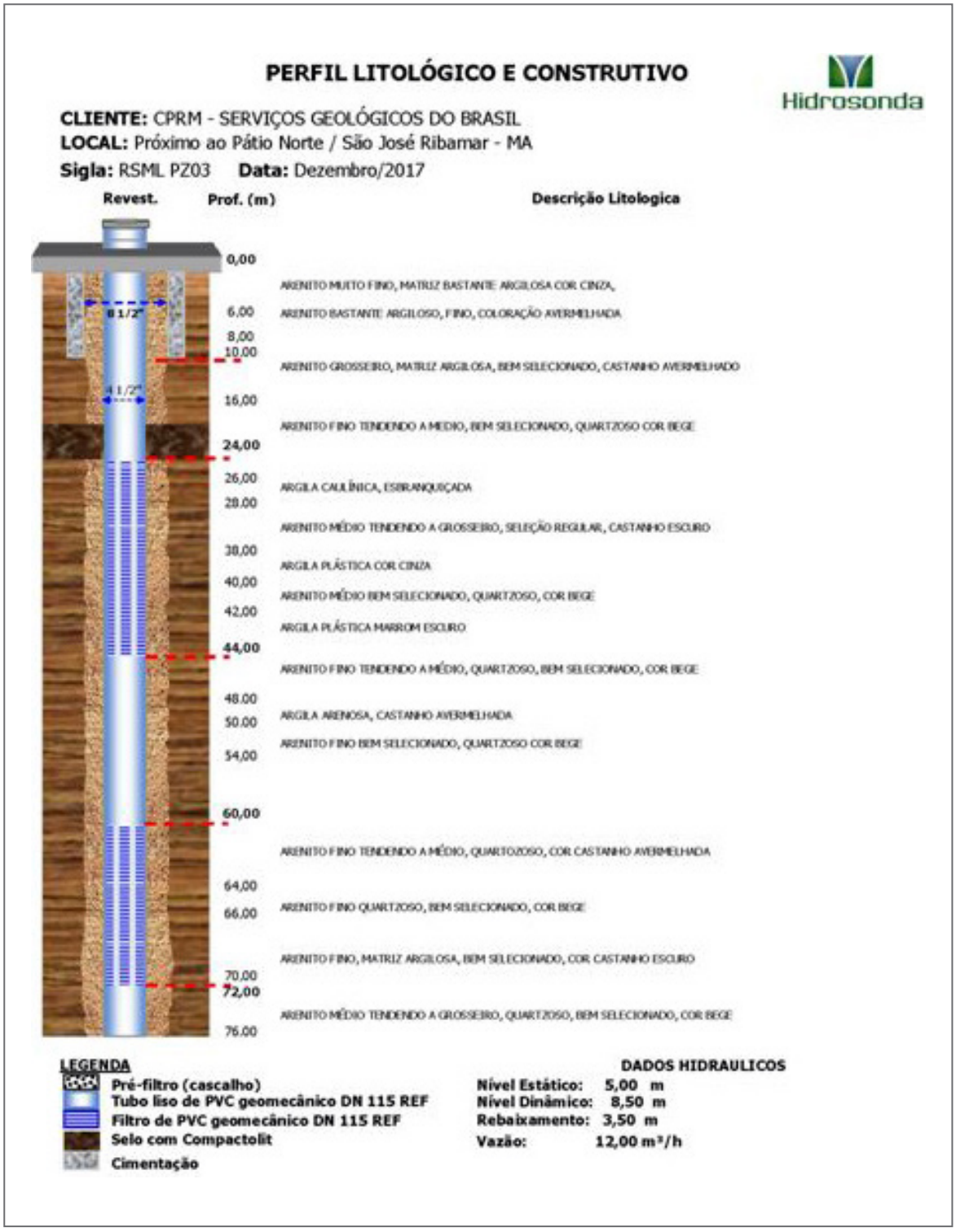


Figura 42: Perfil construtivo piezômetro Pz 03

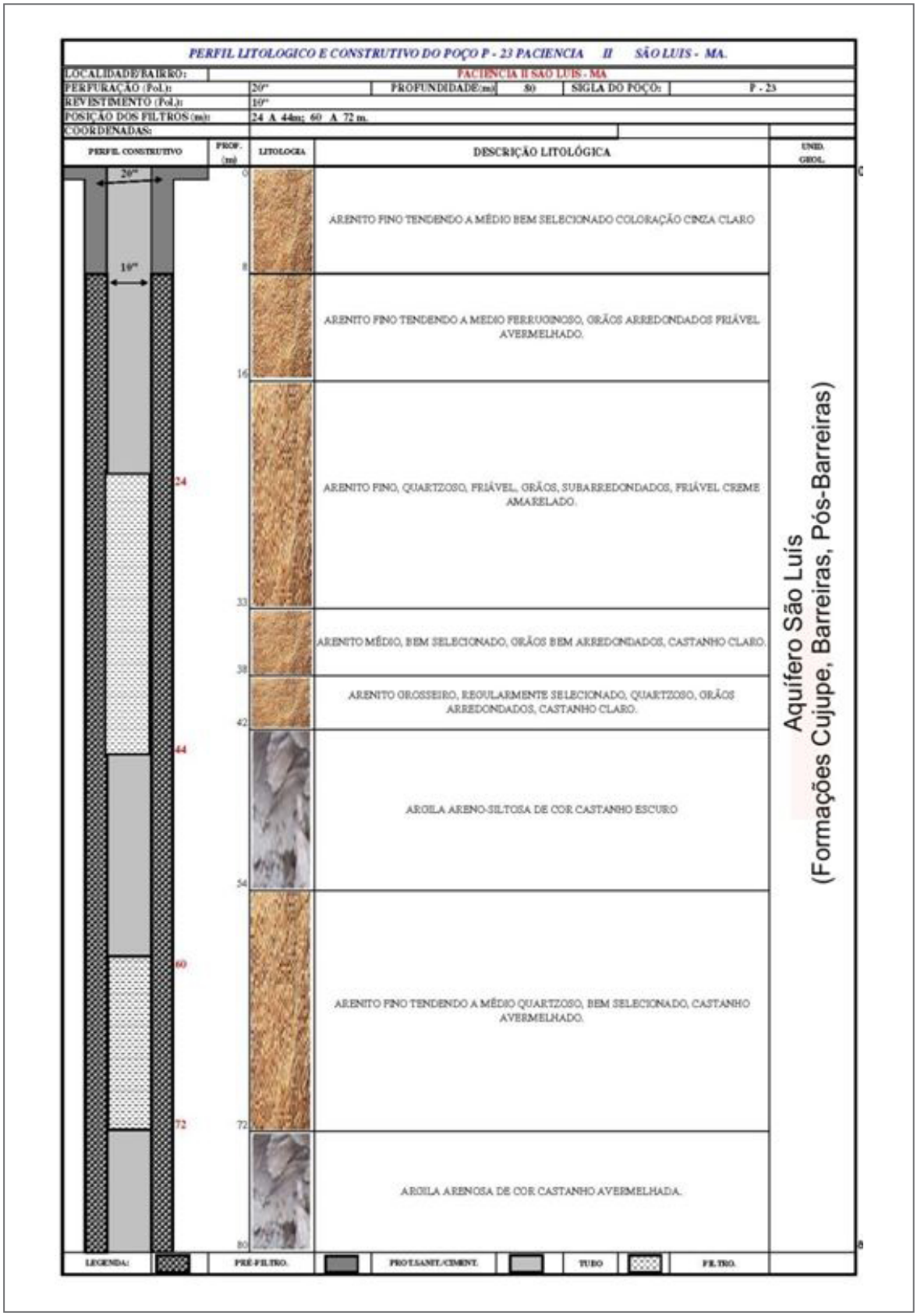


Figura 43: Perfil construtivo e litológico do poço de produção P23 – Paciência II

2.6.2.2.1. *Método de Neuman e software AquiferTest*

A Figura 44 mostra a curva rebaixamento versus tempo do teste e a aplicação do método de Neuman no software AquiferTest.

Foram obtidos os seguintes valores para os parâmetros hidrodinâmicos:

Transmissividade hidráulica (T): 1,79. 10^{-2} m^2/s

Rendimento Específico (Sy): 1.19 . 10^{-2}

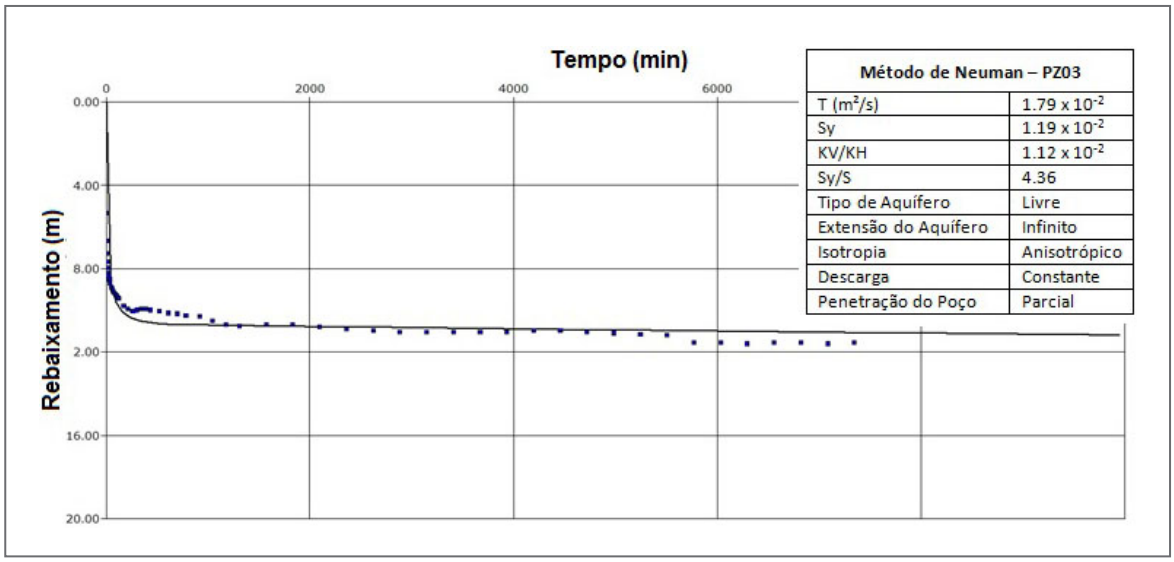


Figura 44: Curva Rebaixamento X Tempo Método de Neuman e software *AquiferTest*

Métodos Gráficos

A Figura 45 mostra as variações do nível dinâmico (ND em metros) e do rebaixamento (metros) em função do tempo (minutos) no Pz-03, bem como as variações do rebaixamento (metros) em função do tempo (minutos) em gráficos bi-log e mono-log, utilizados para as interpretações gráficas do teste.

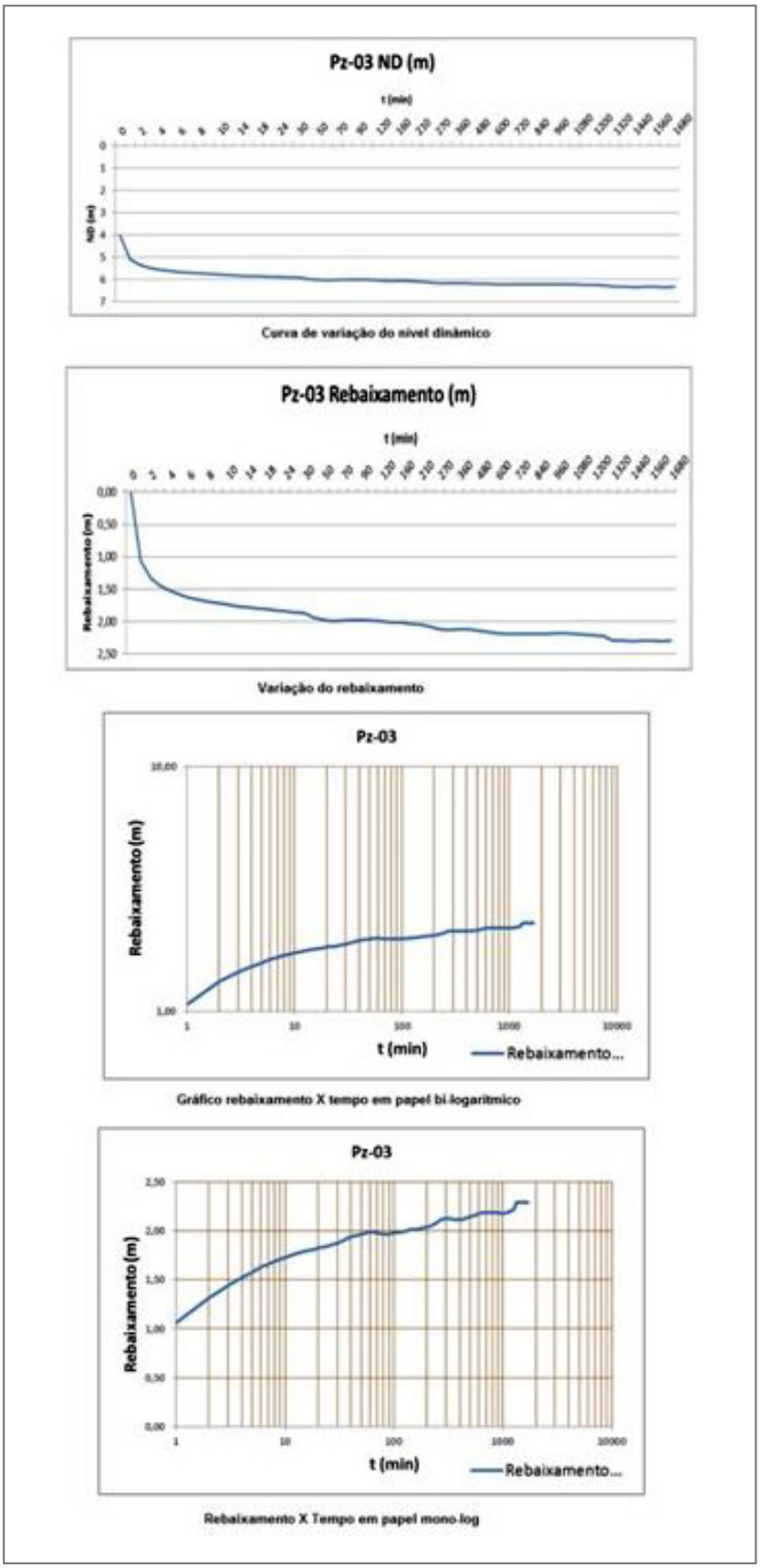


Figura 45: Curvas de campo piezômetro 03 (PZ 03)

2.6.2.2.2. *Método de Newman*

Para a aplicação do método gráfico de Neuman foi feita a sobreposição da curva de campo com a curva padrão conforme pode ser visto na Figura 46.

$$T = \frac{Q}{4\pi s} W(U_a, \beta), \text{ sendo}$$

Q = vazão constante de teste = 160,00 m^3/h;

s = rebaixamento determinado na superposição das curvas (Figura 46) = 0,4 m;

$W(U_a,\beta)$ = função determinada na superposição das curvas (Figura 46) = 1;

Substituindo os valores encontra-se que, T = 31,847 m^2/h = 0,530 m^2/min = 8,83. 10^{-3} m^2/s.

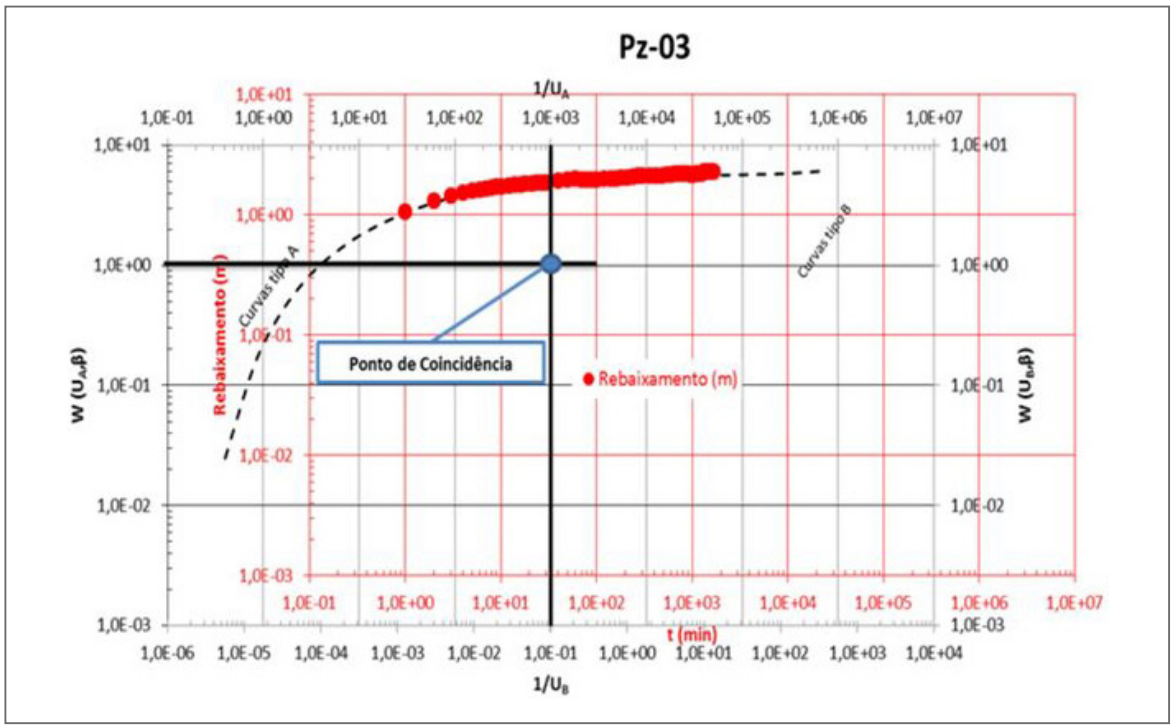


Figura 46: Modelo gráfico de Neuman para o Pz 03

O valor de Sy pode então ser estimado pela equação a seguir:

$$Sy = \left(\frac{4\,T\,t\,U_a}{r^2}\right), \text{ onde}$$

T = Transmissividade = 0,530 m^2/min;

t = tempo determinado na superposição das curvas – 33 min;

r = distância do piezômetro ao poço bombeado - 14,40 m;

$1/U_a$ = determinado na superposição das curvas - 1000;

Resolvendo a equação para S, temos que Sy = 3. 10^{-4}

2.6.2.2.3. *Síntese dos resultados do Pz 03*

Na Tabela 14 estão reunidos os valores de T e Sy resultantes da interpretação do ensaio de bombeamento do poço P23 (Sacavém/Bacanga) e medição de níveis no Pz 03.

Tabela 14: Quadro síntese Pz 03

	NEUMAN (*AQUIFERTEST*)	NEUMAN (GRÁFICO)	VALOR MÉDIO
Transmissividade (T m^2/s)	$1{,}79 \cdot 10^{-2}$	$8{,}83 \cdot 10^{-3}$	$1{,}31 \cdot 10^{-2}$
Rendimento específico (S_y)	$1.19 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$6{,}1 \cdot 10^{-3}$

2.7. NÍVEL E FLUXO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

2.7.1. Nivelamento dos pontos da Rede de Amostragem Quantitativa

Foi realizado durante o período de 15/01/18 a 01/02/2018, o levantamento topográfico altimétrico de 108 (cento e oito) poços distribuídos Ilha de São Luís.

Duas equipes, cada uma delas formada por um analista (engenheiro cartógrafo) e um técnico de nível médio, conduziram os trabalhos, através do emprego de receptores GPS geodésicos de dupla frequência e nivelamento geométrico.

Conforme determinado no Termo de Referência do projeto, a altitude ortométrica (em relação ao nível do mar) foi determinada em corte realizado na parte externa do tubo do poço e, além disso, foram afixadas chapas de alumínio com a logomarca da CPRM, na qual também foi feito o nivelamento.

O tempo de rastreamento GPS foi de no mínimo 1h em local livre de interferências (árvores, paredes, grades, alta tensão) e por isso, nem sempre foi possível ser realizado sobre a chapa de alumínio, ou sobre o poço. Por esse motivo, as coordenadas geográficas (latitude e longitude), não correspondem exatamente à marcação física deixada. Nesses casos foram utilizados pontos auxiliares para o rastreamento, em locais livres de interferências para posteriormente realizar o nivelamento geométrico para a plaqueta e o poço.

Dos 100 (cem) poços inicialmente previstos para levantamento, em apenas 3 (três) não foram realizados o nivelamento. São eles:

- SA061: Não foi encontrado;
- MJ201: Poço em área de uma associação comunitária que não permitiu a realização do serviço;
- MJ125: Poço pertence à rede da BRK e se localiza numa área invadida onde em dias anteriores moradores atearam fogo no carro de empresa.

A Tabela 15, exibida a seguir, mostra os resultados obtidos, e as Figura 47 e Figura 48 ilustram exemplos dos levantamentos realizados. No ANEXO 2 são mostrados detalhes de todos os pontos nivelados.

Tabela 15: Nivelamento geodésico dos pontos d'água

Nº	DATA	CÓDIGO	COORDENADAS SIRGAS 2000)		ALTITUDE		ALTITUDES FINAIS	
		CADASTRO	LATITUDE	LONGITUDE	REFERÊNCIA GPS	ALTITUDE NA REFERÊNCIA GPS (m)	ALTITUDE NA PLAQUETA DA RN	ALTITUDE NA MARCAÇÃO DO POÇO (CORTE)
1	15/01/2018	FS001	-2,565456	-44,251889	Aux	14,27	13,23	13,48
2	15/01/2018	GP004	-2,568745	-44,252694	Aux	12,3	12,52	12,66
3	16/01/2018	MJ182	-2,550752	-44,125683	Chapa	28,8	28,8	29,07
4	16/01/2018	MJ114	-2,555004	-44,115304	Aux	34,37	34,57	34,63
5	16/01/2018	MJ120	-2,490216	-44,040647	Chapa	24,14	24,14	24,28
6	16/01/2018	MJ123	-2,510463	-44,027838	Chapa	28,04	28,04	28,24
7	16/01/2018	MJ166	-2,559816	-44,055226	Aux	27,67	27,67	27,9
8	16/01/2018	MJ121	-2,502870	-44,029738	Aux	15,07	14,94	15,02
9	17/01/2018	MJ163	-2,545267	-44,065961	Chapa	39,68	39,68	39,68
10	17/01/2018	MJ136	-2,550268	-44,082224	Chapa	30,17	30,17	30,38
11	17/01/2018	NG084	-2,560204	-44,192753	Chapa	55,02	55,02	55,16
12	17/01/2018	MJ127	-2,536009	-44,059838	Chapa	11,41	11,41	11,61
13	17/01/2018	MJ132	-2,542636	-44,083863	Aux	DD	DD	DD
14	17/01/2018	NG080	-2,561692	-44,198874	Chapa	49,53	49,53	49,52
15	17/01/2018	MJ128	-2,529101	-44,064080	Aux	23,72	23,59	23,73
16	17/01/2018	MJ130	-2,531966	-44,084086	Aux	11,88	12,43	12,62
17	17/01/2018	MJ170	-2,573564	-44,161526	Aux	24,76	24,15	24,31
18	18/01/2018	LA007	-2,466111	-44,164390	Chapa	50,37	50,37	50,43
19	18/01/2018	BE173	-2,519400	-44,209431	Chapa	40,68	40,68	40,8
20	18/01/2018	BE162	-2,528392	-44,144143	Chapa	41,16	41,16	41,32
21	18/01/2018	BE171	-2,478294	-44,185772	Aux	42,28	42,3	42,4
22	18/01/2018	LA058	-2,481470	-44,211762	Aux	25,58	27,57	27,7

continua

Tabela 15: Nivelamento geodésico dos pontos d'água (continuação)

Nº	DATA	CÓDIGO	COORDENADAS SIRGAS 2000)		ALTITUDE		ALTITUDES FINAIS	
		CADASTRO	LATITUDE	LONGITUDE	REFERÊNCIA GPS	ALTITUDE NA REFERÊNCIA GPS (m)	ALTITUDE NA PLAQUETA DA RN	ALTITUDE NA MARCAÇÃO DO POÇO (CORTE)
23	18/01/2018	MJ099	-2,529431	-44,106791	Chapa	29,09	29,09	S/M
24	18/01/2018	LA050	-2,489805	-44,182907	Chapa	34,73	34,73	34,78
25	18/01/2018	LA099	-2,535230	-44,160479	Chapa	51,91	51,91	52,11
26	19/01/2018	SA021A	-2,440986	-44,108275	Chapa	15,02	15,02	15,25
		SA021B	-2,440986	-44,108275	Chapa	15,02	15,02	14,07
27	19/01/2018	MJ213	-2,446701	-44,136003	Aux	38,48	38,59	38,66
28	19/01/2018	LA004	-2,457424	-44,155212	Aux	20,42	20,19	20,38
29	19/01/2018	MJ006	-2,488381	-44,218831	Chapa	43,38	43,38	43,52
30	19/01/2018	NG012	-2,448489	-44,114225	Aux	14,51	14,07	14,19
31	19/01/2018	NG015	-2,473723	-44,129826	Chapa	18,47	18,47	18,62
32	19/01/2018	BE161	-2,522594	-44,174902	Topo Poço	18,55	SP	18,32
33	19/01/2018	MJ210	-2,452038	-44,124831	Aux	15,95	15,31	15,5
34	19/01/2018	MJ150	-2,461263	-44,122625	Chapa	12,41	12,41	12,64
35	19/01/2018	MJ179	-2,489596	-44,164249	Aux	42,7	43,12	42,76
36	22/01/2018	SA049	-2,691780	-44,302756	Aux	17,04	17,15	17,35
37	22/01/2018	BE174	-2,755151	-44,320095	Chapa	17,1	17,1	17,39
38	22/01/2018	BE149	-2,673602	-44,275301	Aux	24,75	24,69	24,82
39	22/01/2018	SA039	-2,627792	-44,260602	Chapa	48,25	48,25	48,49
40	22/01/2018	BE154	-2,637880	-44,250893	Chapa	36,83	36,83	36,98
41	22/01/2018	NG031	-2,729767	-44,359482	Aux	27,79	28,9	28,9
42	22/01/2018	BE152	-2,700164	-44,219454	Aux	26,88	27,25	27,4
43	22/01/2018	LA118	-2,718948	-44,241437	Chapa	40,13	40,13	40,3

continua

Tabela 15: Nivelamento geodésico dos pontos d'água (continuação)

Nº	DATA	CÓDIGO	COORDENADAS SIRGAS 2000)		ALTITUDE		ALTITUDES FINAIS	
		CADASTRO	LATITUDE	LONGITUDE	REFERÊNCIA GPS	ALTITUDE NA REFERÊNCIA GPS (m)	ALTITUDE NA PLAQUETA DA RN	ALTITUDE NA MARCAÇÃO DO POÇO (CORTE)
44	22/01/2018	NG032	-2,730639	-44,362399	Chapa	17,78	17,78	17,9
45	22/01/2018	LA178	-2,708677	-44,216189	Aux	31,21	31	31,01
46	22/01/2018	LA171	-2,687825	-44,254247	Aux	16,98	13,52	13,72
47	23/01/2018	MJ217A	-2,674445	-44,143368	Chapa	28,28	28,28	28,52
		MJ217B	-2,674445	-44,143368	Chapa	28,28	28,28	28,46
48	23/01/2018	BE192	-2,663880	-44,159535	Aux	12,49	9,34	S/M
49	23/01/2018	MJ205	-2,672540	-44,184510	Aux	18,58	18,77	19,21
50	23/01/2018	MJ203	-2,653204	-44,177561	Aux	17,97	18,23	18,39
51	23/01/2018	MJ214	-2,649119	-44,208877	Chapa	29,69	29,69	29,9
52	23/01/2018	MB001	-2,628707	-44,158607	Chapa	49,33	49,33	49,56
53	23/01/2018	BE099	-2,606306	-44,213581	Aux	37,83	37,84	38,19
54	23/01/2018	BE073	-2,581954	-44,183579	Aux	39,09	38,83	39,26
55	23/01/2018	BE088	-2,602370	-44,189775	Topo Poço	57,59	57,23	57,49
56	23/01/2018	LA187	-2,609710	-44,164008	Aux	19,81	21,07	S/M
57	23/01/2018	BE122	-2,565980	-44,221493	Aux	DD	DD	DD
58	24/01/2018	MJ194	-2,574615	-44,106784	Chapa	9,65	9,65	9,76
59	24/01/2018	LA183	-2,572945	-44,145843	Chapa	40,48	40,48	40,25
60	24/01/2018	PM008	-2,548411	-44,173146	Chapa	58,93	58,93	59,17
61	24/01/2018	FS032	-2,545247	-44,190647	Aux	23,71	23,42	23,88
62	24/01/2018	FS026	-2,556817	-44,210590	Chapa	28,49	28,49	28,73
63	24/01/2018	CG032	-2,670180	-44,234202	Aux	11,64	13,93	13,94
64	24/01/2018	CG027	-2,650961	-44,226268	Aux	28,93	28,58	28,81

continua

Tabela 15: Nivelamento geodésico dos pontos d'água (continuação)

Nº	DATA	CÓDIGO	COORDENADAS SIRGAS 2000)		ALTITUDE		ALTITUDES FINAIS	
		CADASTRO	LATITUDE	LONGITUDE	REFERÊNCIA GPS	ALTITUDE NA REFERÊNCIA GPS (m)	ALTITUDE NA PLAQUETA DA RN	ALTITUDE NA MARCAÇÃO DO POÇO (CORTE)
65	24/01/2018	BE137	-2,620629	-44,258426	Aux	40,16	40,21	40,36
66	24/01/2018	BE110	-2,599001	-44,234153	Aux	63,27	63,32	63,59
67	24/01/2018	CG029	-2,669698	-44,227720	Aux	27,31	27,79	27,97
68	24/01/2018	BE115	-2,573713	-44,221299	Aux	43,55	44,02	S/M
69	25/01/2018	MJ089	-2,618050	-44,349918	Aux	17,11	17,27	17,35
70	25/01/2018	BE144	-2,639393	-44,294085	Aux	33,56	33,7	34,05
71	25/01/2018	LA042	-2,642345	-44,307448	Chapa	27,45	27,45	27,62
72	25/01/2018	MJ056	-2,626151	-44,317636	Aux	24,57	24,76	25,16
74	25/01/2018	LA044	-2,595437	-44,329771	Aux	34,38	34,42	34,16
75	25/01/2018	MJ185	-2,509140	-44,082760	Aux	30,9	30,42	30,67
76	25/01/2018	MJ190	-2,474030	-44,098490	Aux	8,57	8,53	S/M
77	25/01/2018	MJ191	-2,496717	-44,105375	Topo Poço	12,08	11,75	S/M
78	25/01/2018	MJ183	-2,492288	-44,068103	Aux	9,09	8,76	9,17
79	25/01/2018	MJ189	-2,482590	-44,100261	Aux	13,24	13,15	13,42
80	25/01/2018	SA062	-2,504458	-44,126246	Topo Poço	41,44	SP	41,28
81	26/01/2018	MJ061	-2,545655	-44,310534	Aux	20,84	20,77	20,94
82	26/01/2018	BE237	-2,549733	-44,320754	Aux	23,25	23,24	23,33
83	26/01/2018	MJ057	-2,562438	-44,324651	Aux	36,06	36,31	36,6
84	26/01/2018	PB002	-2,488642	-44,246409	Topo Poço	27,63	27,17	27,42
85	26/01/2018	BE031	-2,494925	-44,261399	Chapa	14,26	14,26	14,49
86	26/01/2018	LA028	-2,489622	-44,301090	Aux	10,84	10,9	10,98
87	29/01/2018	BE037	-2,499607	-44,241315	Aux	37,59	38,47	38,71

continua

Tabela 15: Nivelamento geodésico dos pontos d'água (continuação)

Nº	DATA	CÓDIGO	COORDENADAS SIRGAS 2000)		ALTITUDE		ALTITUDES FINAIS	
		CADASTRO	LATITUDE	LONGITUDE	REFERÊNCIA GPS	ALTITUDE NA REFERÊNCIA GPS (m)	ALTITUDE NA PLAQUETA DA RN	ALTITUDE NA MARCAÇÃO DO POÇO (CORTE)
88	29/01/2018	BE062	-2,530451	-44,290381	Aux	26,63	25,94	26,16
89	29/01/2018	BE062B	-2,530451	-44,290381	Aux	26,63	25,07	25,4
90	29/01/2018	BE063	-2,536128	-44,297955	Aux	33,31	32,95	33,18
91	29/01/2018	BE047	-2,518625	-44,241645	Aux	52,36	52,45	52,67
92	29/01/2018	MJ053	-2,527925	-44,229648	Topo Poço	49,08	48,92	48,96
93	29/01/2018	BE060	-2,533265	-44,280294	Aux	14,27	14,3	14,58
94	30/01/2018	MJ089	-2,624078	-44,350911	Chapa	36,68	36,68	36,69
73	30/01/2018	MJ056	-2,626151	-44,317636	Aux	24,57	24,82	24,9
95	30/01/2018	MJ081	-2,573800	-44,305975	Topo Poço	21,14	20,88	21,01
96	30/01/2018	LA041	-2,645275	-44,305296	Aux	33,44	33,92	33,98
97	30/01/2018	MJ074	-2,575077	-44,315707	Chapa	5,44	5,44	5,7
98	30/01/2018	MJ082	-2,576969	-44,306418	Topo Poço	25,84	SP	25,63
99	31/01/2018	BE006	-2,572343	-44,249733	Chapa	22,4	22,4	22,6
100	31/01/2018	MJ097	-2,548879	-44,262313	Aux	15,29	15,24	S/M
101	31/01/2018	PZ 01	-2,569614	-44,254352	Aux	10,29	10,48	10,7
102	31/01/2018	PZ 02	-2,561051	-44,249138	Chapa	18,75	18,75	18,99
103	31/01/2018	GP009	-2,569614	-44,254352	Chapa	10,29	10,29	10,52
104	31/01/2018	LA035	-2,545801	-44,253264	Aux	34,92	34,84	34,94
105	31/01/2018	PZ. 03	-2,548851	-44,193783	Aux	23,57	23,62	23,9
106	01/02/2018	LA123	-2,718948	-44,24437	Aux	40,13	40,13	46,27
107	01/02/2018	LA043	-2,598026	-44,328541	Aux	23,52	23,48	23,63
108	01/02/2018	MJ125	-2,650032	-44,210721	Aux	25,56	25,51	25,73

Poço MJ114

Localização: *Vila dos Passaros* Data Levantaamento: 16/01/2018
Município: *São José de Ribamar*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude -2.55500403 S Local Rastreio*: *Auxiliar*
Longitude -44.11530398 O

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) 34.57
Corte Tubo 34.63

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos



Figura 47: Nivelamento do poço MJ 114

Poço **BE173**

Localização: *Novo Cohatrac* Data Levantamento: 18/01/2018
Município: *São Luís*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude -2.51939972 S Local Rastreio*: *Chapa*
Longitude -44.20943101 O

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) 40.68
Corte Tubo 40.80

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos



Figura 48: Nivelamento do poço BE 173

2.7.2. Superfícies dos níveis das águas subterrâneas e direções de fluxo

2.7.2.1. *Níveis das águas subterrâneas*

Conforme descrito anteriormente, com o objetivo de avaliar o comportamento das superfícies das águas subterrâneas, foram realizadas duas etapas de medição de nível de água nos poços da rede representativa. A primeira etapa foi realizada no mês de fevereiro de 2017, durante o período mais seco; a segunda etapa foi realizada no mês de novembro de 2018, correspondendo ao período mais chuvoso.

As medições dos níveis de água utilizadas e apresentadas aqui foram feitas com a utilização de medidor manual. Os valores obtidos das profundidades dos níveis de água foram posteriormente subtraídos do valor da cota do terreno em relação ao nível médio do mar, conforme os resultados obtidos na campanha de nivelamento da rede poços (Tabela 16). Estes valores corresponderiam à Carga Hidráulica, caso os poços utilizados não estivessem produzindo água por longos períodos de tempo.

Nesta tabela, os campos Data 1 e Data 2 correspondem às datas das campanhas de medição 1 e 2 e os campos Nível 1 e Nível 2 aos valores dos níveis já corrigidos em relação ao nível do mar.

Na primeira etapa foi medido o nível de água em 32 poços pertencentes à rede de amostragem e na segunda etapa foi medido o nível de água em 79 poços da mesma rede e em outros 05 poços avulsos.

Na primeira etapa, 22 poços captavam exclusivamente o Aquífero São Luís, 3 captavam exclusivamente o Aquífero Itapecuru e outros 6 poços explotavam os dois aquíferos de forma simultânea. Já para a segunda etapa, 54 poços captavam exclusivamente o Aquífero São Luís, 11 explotavam exclusivamente o Aquífero Itapecuru e outros 19 poços captavam os dois aquíferos de forma simultânea. A separação dos poços conforme o tipo de aquífero explotado foi baseado principalmente na descrição de seus perfis construtivos e litoestratigráficos e nos resultados da avaliação hidroquímica, para aquelas captações que não tinham informações construtivas e litológicas completas.

Tabela 16: Valores dos níveis da água subterrânea nivelados em relação ao nível do mar durante as duas campanhas de medição e aquíferos captados

COD. CADASTRO	LAT.	LONG	DATA 1	DATA 2	NÍVEL 1	NÍVEL 2	AQUÍFERO CAPTADO
BE006	-2,572337	-44,249731	2017-11-07	2018-05-22		-5,7	Itapecuru
BE031	-2,494907	-44,261423	2017-11-13	2018-05-22		6,505	Itapecuru
BE032	-2,488639	-44,246379	2017-11-13	2018-05-23			São Luís e Itapecuru
BE037	-2,499618	-44,240814	2017-11-17	2018-05-17		17,99	São Luís
BE047	-2,518625	-44,241784	2017-11-20	2018-05-17		17,09	São Luís
BE060	-2,533338	-44,280363	2017-11-14	2018-05-15		-43,18	Itapecuru

continua

Tabela 16: Valores dos níveis da água subterrânea nivelados em relação ao nível do mar durante as duas campanhas de medição e aquíferos captados (continuação)

COD. CADASTRO	LAT.	LONG	DATA 1	DATA 2	NÍVEL 1	NÍVEL 2	AQUÍFERO CAPTADO
BE062	-2,530358	-44,290762	2017-11-14	2018-05-15		10,91	São Luís e Itapecuru
BE063	-2,536152	-44,297964	2017-11-14	2018-05-15		-32,323	Itapecuru
BE073	-2,58184	-44,183801	2017-11-23	2018-05-17		25,445	São Luís
BE088	-2,60237	-44,189779	2017-11-23	2018-05-17		21,43	São Luís
BE099	-2,606275	-44,21355	2017-11-23	2018-05-17	16,430	18,56	São Luís
BE110	-2,599042	-44,234145	2017-11-23	2018-05-28		22,435	São Luís e Itapecuru
BE115	-2,573777	-44,22127	2017-11-21	2018-05-17		9,61	São Luís e Itapecuru
BE122	-2,565925	-44,221257	2017-11-21	2018-05-21		25,42	São Luís
BE137	-2,620523	-44,258392	2017-11-22	2018-05-21			Itapecuru
BE144	-2,639415	-44,294066	2017-11-17	2018-05-22		5,91	São Luís e Itapecuru
BE149	-2,673518	-44,275164	2017-11-16	2018-05-16	8,590	-4,22	São Luís
BE152	-2,700143	-44,219554	2017-11-16	2018-05-16		0,715	São Luís e Itapecuru
BE154	-2,637888	-44,250915	2017-11-22	2018-05-16	-17,690	-15,75	São Luís e Itapecuru
BE162	-2,528397	-44,144151	2017-11-28	2018-05-22		20,92	São Luís
BE171	-2,478235	-44,185755	2017-11-13	2018-05-22		18,05	São Luís
BE173	-2,519392	-44,209457	2017-11-08	2018-05-17		26,975	São Luís
BE174	-2,755161	-44,32008	2017-11-16	2018-05-18	9,020	11,12	São Luís e Itapecuru
BE237	-2,549734	-44,320786		2018-05-25		-35,66	Itapecuru
CG027	-2,650963	-44,226224	2017-11-22	2018-05-16	5,640	11,94	São Luís
CG029	-2,66969	-44,227795	2017-11-22	2018-05-16	5,623	1,933	São Luís
CG032	-2,670056	-44,234416	2017-11-22	2018-05-16	6,970	8,63	São Luís
FS001	-2,565301	-44,252164	2017-11-10	2018-05-15	<Null>	9,635	São Luís e Itapecuru
FS026	-2,556811	-44,2106	2017-11-21	2018-05-21	24,945	26,355	São Luís
FS032	-2,545081	-44,190408	2017-11-21	2018-05-17	20,530	21,87	São Luís
GP004	-2,568883	-44,25262	2017-11-07	2018-05-15	-30,340	-23,04	Itapecuru
LA004	-2,457455	-44,155179	2017-11-13	2018-05-16	7,190	7,96	São Luís
LA007	-2,466082	-44,164401	2017-11-13	2018-05-16	12,215	12,465	São Luís
LA028	-2,489637	-44,30111	2017-11-13	2018-05-23	7,585	9,505	São Luís e Itapecuru
LA035	-2,545816	-44,253155		2018-05-21			São Luís e Itapecuru

continua

Tabela 16: Valores dos níveis da água subterrânea nivelados em relação ao nível do mar durante as duas campanhas de medição e aquíferos captados (continuação)

COD. CADASTRO	LAT.	LONG	DATA 1	DATA 2	NÍVEL 1	NÍVEL 2	AQUÍFERO CAPTADO
LA041	-2,642381	-44,307459		2018-05-21			São Luís
LA044	-2,595387	-44,329784	2017-11-17	2018-05-21			São Luís e Itapecuru
LA045	-2,59804	-44,328565		2018-05-21		2,14	São Luís
LA050	-2,489849	-44,182878		2018-05-22		18,54	São Luís e Itapecuru
LA058	-2,481499	-44,211962	2017-11-13	2018-05-22		14,665	São Luís
LA091	-2,5226	-44,174907	2017-11-08	2018-05-17		16,71	São Luís
LA099	-2,535228	-44,160517		2018-05-22		20,01	São Luís
LA110	-2,548534	-44,172894	2017-11-21	2018-05-21	16,960	20,82	São Luís
LA118	-2,718928	-44,241447	2017-11-16	2018-05-16	11,355	14,255	São Luís e Itapecuru
LA178	-2,708943	-44,216319	2017-11-16	2018-05-16			São Luís
LA183	-2,572968	-44,145804	2017-11-21	2018-05-18	14,645	14,645	São Luís
LA187	-2,609825	-44,163949	2017-11-23	2018-05-17	12,390	13,15	São Luís
MJ006	-2,488324	-44,218857	2017-11-13	2018-05-17		17,91	São Luís
MJ053	-2,527899	-44,229618		2018-05-17		14,53	São Luís e Itapecuru
MJ056	-2,626184	-44,31766	2017-11-17	2018-05-18	9,505	10,865	São Luís e Itapecuru
MJ057	-2,562459	-44,324674		2018-05-25			Itapecuru
MJ061	-2,545575	-44,310586		2018-05-24		-43,39	São Luís e Itapecuru
MJ074	-2,575107	-44,315663	2017-11-14	2018-05-28		-24,796	Itapecuru
MJ081	-2,573781	-44,305859		2018-05-25			Itapecuru
MJ082	-2,576977	-44,306457	2017-11-14	2018-05-25			Itapecuru
MJ089	-2,61806	-44,349958		2018-05-18		6,24	Itapecuru
MJ097	-2,549023	-44,262085		2018-05-23			Itapecuru
MJ099	-2,52943	-44,10677		2018-05-15			São Luís e Itapecuru
MJ114	-2,557217	-44,115673	2017-11-28	2018-05-18			São Luís e Itapecuru
MJ120	-2,490223	-44,040663	2017-11-28	2018-05-21		4,37	São Luís e Itapecuru
MJ121	-2,502852	-44,02961	2017-11-28	2018-05-18		6,6	São Luís e Itapecuru
MJ123	-2,510467	-44,027832	2017-11-28	2018-05-21		6,7	São Luís e Itapecuru
MJ125	-2,516259	-44,031704	2017-11-28	2018-05-21			Itapecuru
MJ127	-2,535973	-44,059878	2017-11-28	2018-05-21		6,39	São Luís

continua

Tabela 16: Valores dos níveis da água subterrânea nivelados em relação ao nível do mar durante as duas campanhas de medição e aquíferos captados (continuação)

COD. CADASTRO	LAT.	LONG	DATA 1	DATA 2	NÍVEL 1	NÍVEL 2	AQUÍFERO CAPTADO
MJ128	-2,529137	-44,064155	2017-11-28	2018-05-18		8,765	São Luís
MJ130	-2,531956	-44,083931		2018-05-18		5,47	São Luís
MJ132	-2,542639	-44,083753		2018-05-18		10,77	São Luís
MJ136	-2,550264	-44,082255		2018-05-18			São Luís
MJ150	-2,46183	-44,12103		2018-05-15		6,07	São Luís
MJ163	-2,545259	-44,065915	2017-11-28	2018-05-18			São Luís
MJ166	-2,559778	-44,05521		2018-05-21			São Luís
MJ170	-2,573485	-44,161454	2017-11-21	2018-05-22		21,75	São Luís
MJ179	-2,489611	-44,164269	2017-11-30	2018-05-15		15,46	São Luís
MJ182	-2,550737	-44,125689	2017-11-28	2018-05-21		13,96	São Luís
MJ183	-2,492269	-44,068139		2018-05-15	2,180	7,08	São Luís
MJ185	-2,50925	-44,082679		2018-05-15	1,575	7,705	São Luís
MJ189	-2,482603	-44,100317	2017-11-30	2018-05-15	-1,970	6,97	São Luís
MJ190	-2,473945	-44,098506		2018-05-15	-5,425	5,825	São Luís
MJ191	-2,496737	-44,105335	2017-11-30	2018-05-16		10,55	São Luís
MJ194	-2,574615	-44,106811	2017-11-28	2018-05-23		7,82	São Luís
MJ203	-2,653202	-44,17762	2017-11-24	2018-05-17	7,825	10,065	São Luís
MJ205	-2,672592	-44,184507	2017-11-24	2018-05-17	6,470	7,23	São Luís
MJ210	-2,452198	-44,124792	2017-11-13	2018-05-15		6,99	São Luís
MJ213	-2,446687	-44,135965	2017-11-13	2018-05-16	6,110	6,47	São Luís
MJ214	-2,649124	-44,208864	2017-11-24	2018-05-17	4,870	3,89	Itapecuru
MJ217	-2,674374	-44,143342	2017-11-24	2018-05-17	2,635	2,775	São Luís e Itapecuru
NG012	-2,448554	-44,114262	2017-11-13	2018-05-16		5,215	São Luís
NG015	-2,473776	-44,129922	2017-11-30	2018-05-16	5,255	0,405	São Luís
NG032	-2,730813	-44,362322	2017-11-16	2018-05-18	6,180	3,96	Itapecuru
NG080	-2,561677	-44,198826	2017-11-21	2018-05-22		25,09	São Luís
NG084	-2,56018	-44,192738	2017-11-21	2018-05-17		39,66	São Luís
SA004	-2,441	-44,1084		2018-05-16		-0,745	São Luís
SA021	-2,441031	-44,109605	2017-11-13				São Luís
SA039	-2,62778	-44,260538		2018-05-16			Itapecuru
SA049	-2,691736	-44,302807	2017-11-16	2018-05-18	13,550	16,33	São Luís
SA062	-2,50529	-44,126484	2017-11-30	2018-05-22		16,98	São Luís
PZ01CPRM	-2,569614	-44,254352		2018-05-15		-28,14	Itapecuru
PZ02CPRM	-2,561067	-44,249152		2018-05-22		4,17	São Luís
PZ03CPRM	-2,5491	-44,19377		2018-05-21		21,8	São Luís

continua

Tabela 16: Valores dos níveis da água subterrânea nivelados em relação ao nível do mar durante as duas campanhas de medição e aquíferos captados (continuação)

COD. CADASTRO	LAT.	LONG	DATA 1	DATA 2	NÍVEL 1	NÍVEL 2	AQUÍFERO CAPTADO
PZ04CPRM	-2,57028	-44,3073		2018-05-26			Itapecuru
LA044B	-2,595523	-44,329637	2017-11-17	2018-05-21			São Luís e Itapecuru
MB001	-2,628701	-44,158593	2017-11-24	2018-05-17	10,965	12,085	São Luís
MJ114B	-2,55496	-44,11524		2018-05-18		-10,105	São Luís e Itapecuru
NG031	-2,729717	-44,359318	2017-11-16	2018-05-18		12,155	São Luís

Devido à condição peculiar da Ilha de São Luís, onde a maioria dos poços bombeia em regime ininterrupto de 24h por dia e injetam as águas diretamente nas redes de adução existentes, não foi possível medir níveis estáticos de água. Desta forma, os níveis medidos nas duas campanhas de campo realizadas, refletem apenas a situação operacional daquele momento, sendo referidos como níveis de água, conforme mostrado na Tabela 17.

Como pode ser visto, os níveis variam bastante em relação à média, com desvios padrões elevados para todos os aquíferos. Apesar disto, as medianas são muito próximas em todas as situações.

Tabela 17: Níveis de água medidos nas duas campanhas e profundidades das captações (Conforme relatórios técnicos existentes)

		ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS	NÍVEL DE ÁGUA 1 (m)	NÍVEL DE ÁGUA 2 (m)	PROFUNDIDADE DO POÇO (m)
AQUÍFERO	SÃO LUÍS	Número de Registros	22	55	41
		Valor Mínimo	3,7	1,1	12
		Valor Máximo	42,31	38,45	130
		Média Aritmética	18,54	16,77	60,56
		Mediana	14,92	15,4	60
		Desvio Padrão	11,87	11,34	24,20
	ITAPECURU	Número de Registros	2	6	6
		Valor Mínimo	11,87	1,10	12
		Valor Máximo	14,92	55,00	130
		Média Aritmética	13,40	23,01	54,63
		Mediana	13,40	16,09	50,5
		Desvio Padrão	2,16	19,87	41,65
	MISTO	Número de Registros	6	12	12
		Valor Mínimo	2,00	1,10	6,00
		Valor Máximo	14,92	55,00	130
		Média Aritmética	9,62	21,59	51,88
		Mediana	12,63	16,43	46,08
		Desvio Padrão	5,92	18,59	41,16

2.7.2.2. *Avaliação das superfícies do fluxo das águas subterrâneas*

A partir das informações obtidas foram elaborados mapas da superfície do nível da água subterrânea. Esses mapas representam a superfície potenciométrica da área, ainda que tenham sido gerados em condições não estáveis. Substituem os mapas potenciométricos previstos, que idealmente deveriam ser elaborados a partir da obtenção de medidas de nível estático em poços não produtores ou que estivessem paralisados por intervalo de tempo apropriado.

Foram produzidos três mapas de superfície potenciométrica de água subterrânea para o aquífero São Luís. O primeiro e o segundo mapa foram produzidos com a utilização apenas dos poços nos quais as medições foram feitas nas duas etapas neste aquífero, sendo descartados aqueles poços que tinham apenas uma medida em uma das etapas (Figura 49 e Figura 50).

Apesar de utilizar uma malha de poços muito reduzida, o objetivo foi de comparar os resultados das superfícies que representavam diferentes períodos, um mais seco e outro mais chuvoso, calcular a diferença entre essas superfícies (Figura 51) e estimar o volume de água subterrânea existente entre elas. Este volume corresponde ao produto da diferença entre as superfícies freáticas, pela área do aquífero São Luís em toda a Ilha do Maranhão, representando o volume da recarga que ocorre durante o período de um ano.

Um quarto mapa potenciométrico, ainda a respeito do Aquífero São Luís, foi produzido, com a utilização de todos os dados obtidos na segunda campanha de medição dos níveis dos poços relacionados à captação exclusiva do Aquífero São Luís (Figura 52).

Este mapa tem como objetivo um melhor detalhamento da superfície e o entendimento das direções e do comportamento do fluxo de água subterrânea, ressaltando onde ocorrem as principais áreas de recarga e de descarga, visto que conta com uma maior quantidade de pontos para interpolação.

Como pode ser visto, pode ser definida a ocorrência de um grande divisor principal de águas subterrâneas e superficiais na Ilha, na direção geral SSEW/NNE (linha azul tracejada na figura), sugerido pela existência de surgências naturais nas suas falésias litorâneas (porções NE e NW) e pela variação simétrica dos níveis de água subterrânea a partir da região central da Ilha. A partir deste divisor se formam as bacias hidrográficas da ilha, com os rios Estiva, Cachorros, Bacanga, Itaqui, Praias e Anil, drenando para oeste e os rios Inhaúma, Tibiri, Guarapiranga, Jeniparana e Santo Antônio drenando para leste. A Bacia do rio Paciência se constitui numa feição à parte, com drenagem predominantemente na direção NE. A bacia de Ilhas não possui rede de drenagem aparente, representando predominantemente um grande manguezal.

Com relação à piezometria do aquífero Itapecuru, a altura de água sob pressão 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), com captação exclusiva no Aquífero Itapecuru. As cotas do topo do aquífero Itapecuru foram obtidas a partir de dados de poços e da geofísica.

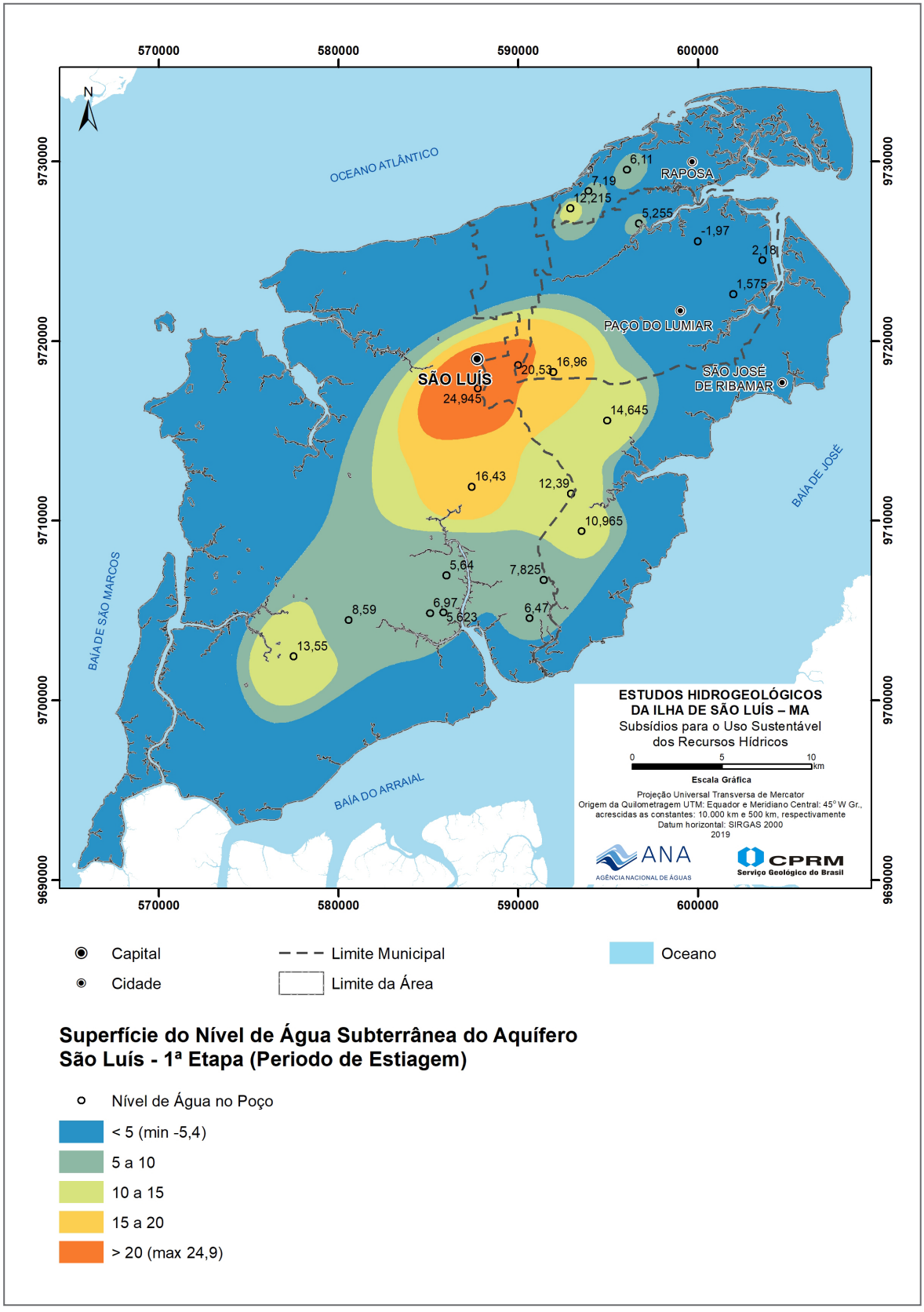


Figura 49: Superfície do Nível de Água do Aquífero São Luís, avaliada na primeira etapa (período estiagem)

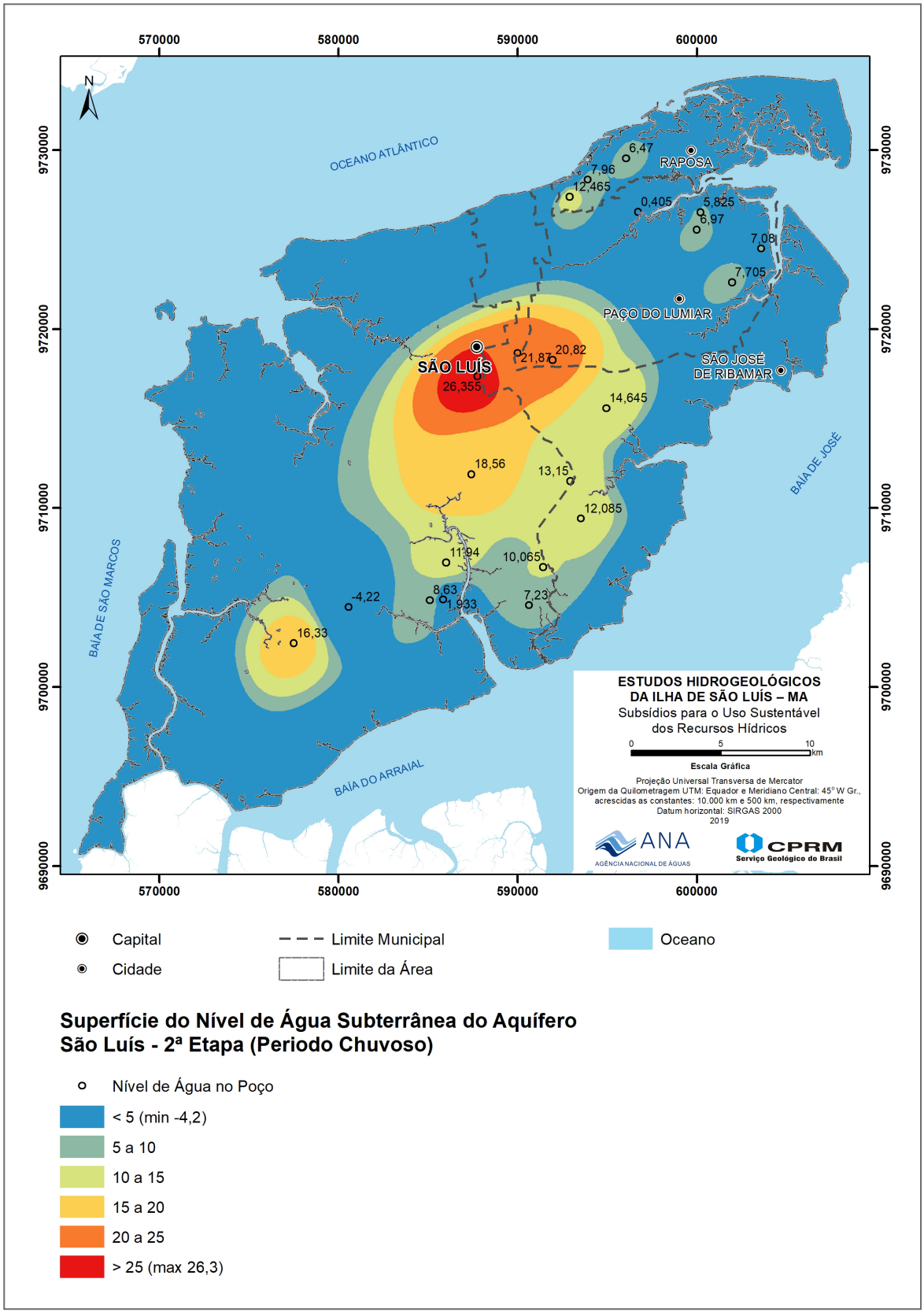


Figura 50: Superfície do Nível de Água do Aquífero São Luís, avaliada na segunda etapa (período chuvoso)

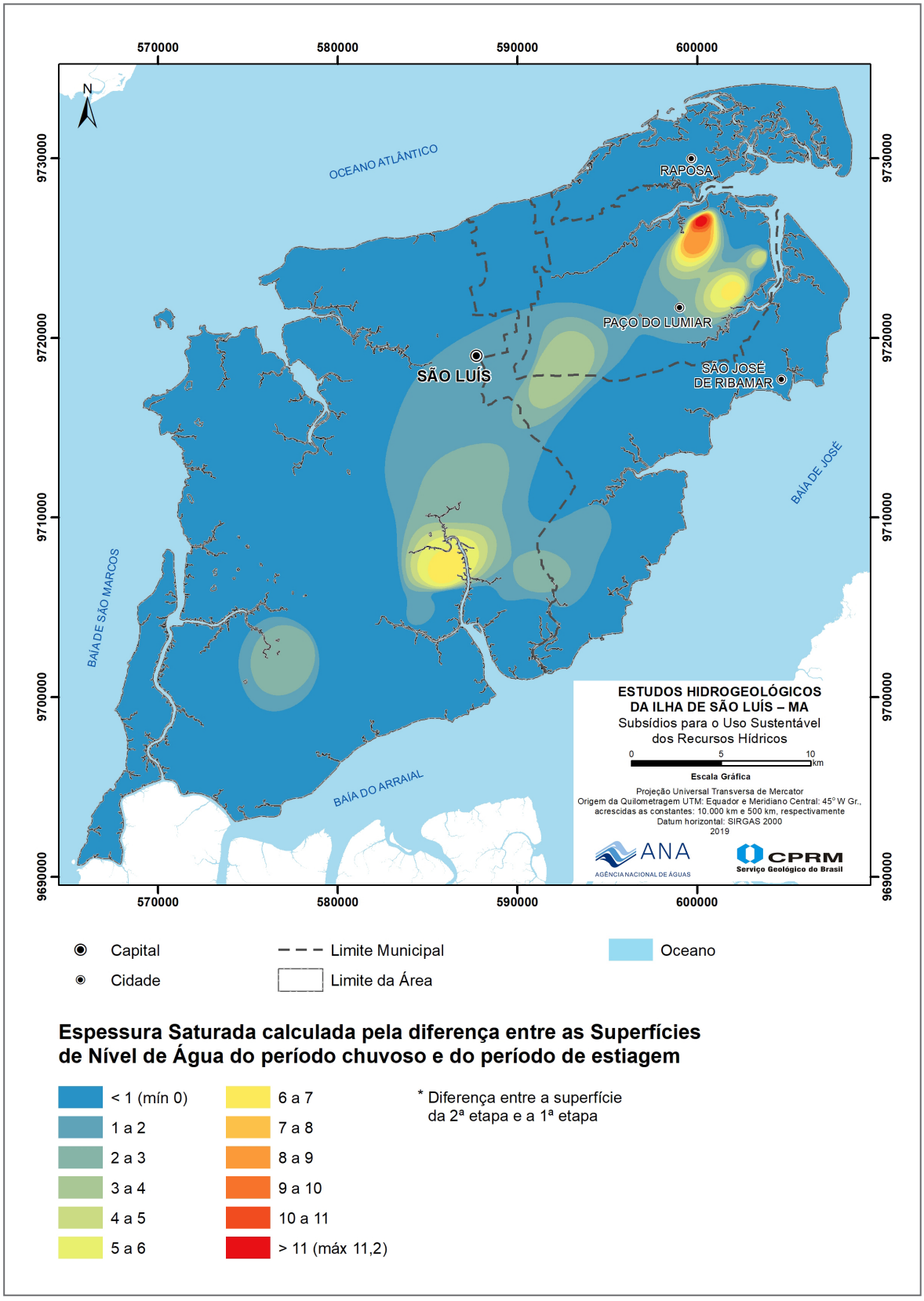


Figura 51: Espessura saturada calculada pela diferença entre as superfícies de nível de água do período chuvoso e do período seco

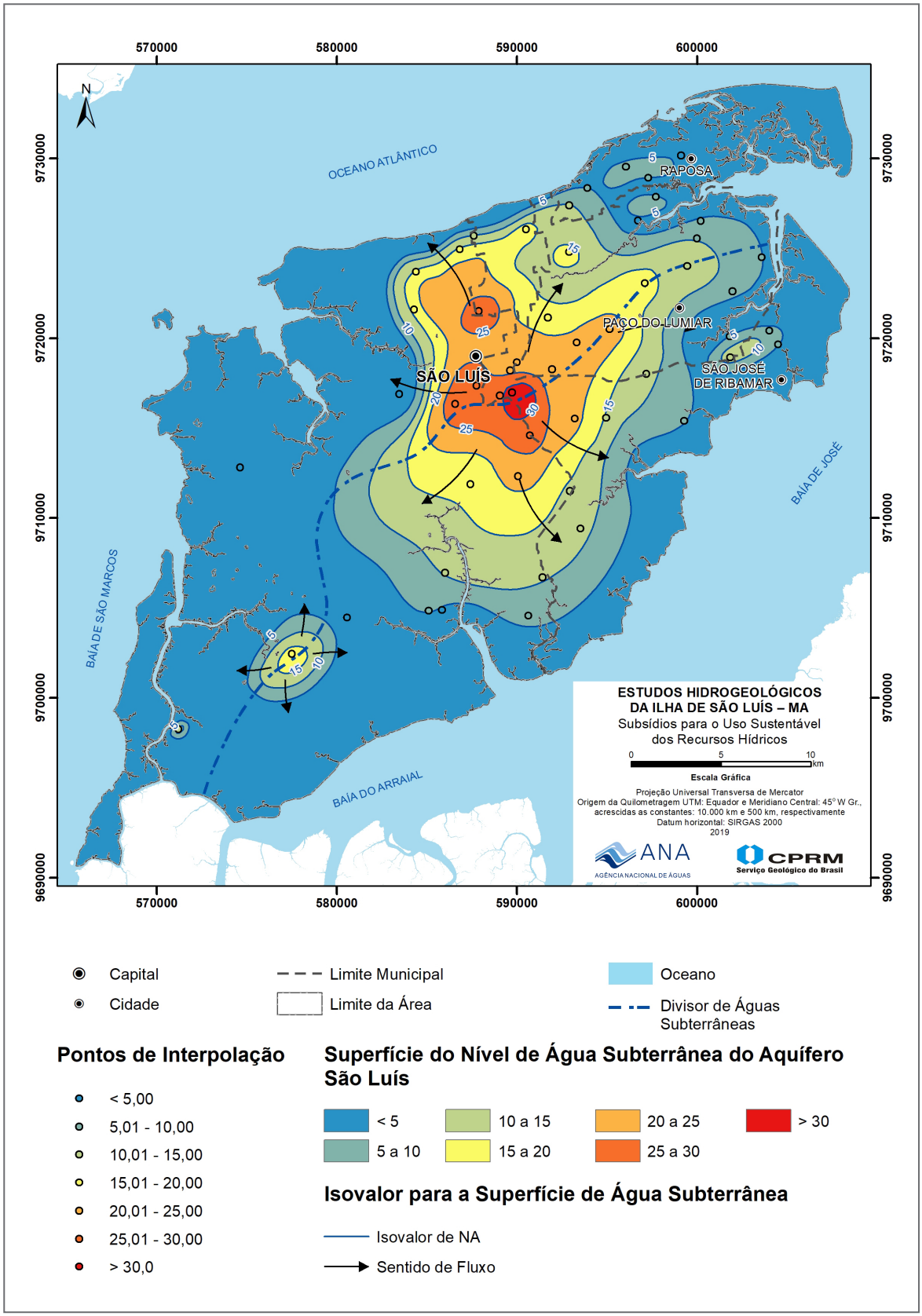


Figura 52: Direção de Fluxo e Superfície do Nível de Água do Aquífero São Luís com dados da segunda etapa de medição de nível de água nos poços, captando exclusivamente o Aquífero São Luís

No cálculo das alturas piezométricas, em cada local representado por um intervalo de altura foi considerado um valor médio. As alturas médias foram definidas conforme os seguintes intervalos de variação: 1 a 20 metros, 10 metros; 20 a 40 metros, 30 metros; 40 a 60 metros, 50 metros; 60 a 80 metros, 70 metros.

Na porção centro oeste da área, destaca-se uma região na qual a altura de água sob pressão é nula em relação ao nível do mar. Essas áreas se situam nas bacias hidrográficas dos rios Bacanga, Itaqui e Anil e, considerando que nessas regiões o Itapecuru ocorre de forma aflorante, sugerem uma possível exaustão das reservas sob pressão, podendo indicar a existência de riscos de salinização do aquífero nesses locais.

O mapa potenciométrico produzido é mostrado na Figura 53.

As informações de níveis e profundidades, juntamente com dados geofísicos e geológicos, permitiram a elaboração dos mapas de espessuras saturadas dos aquíferos São Luís e Itapecuru (admitindo-se uma profundidade máxima de 100 m abaixo do nível do mar). (Figura 54 e Figura 55)

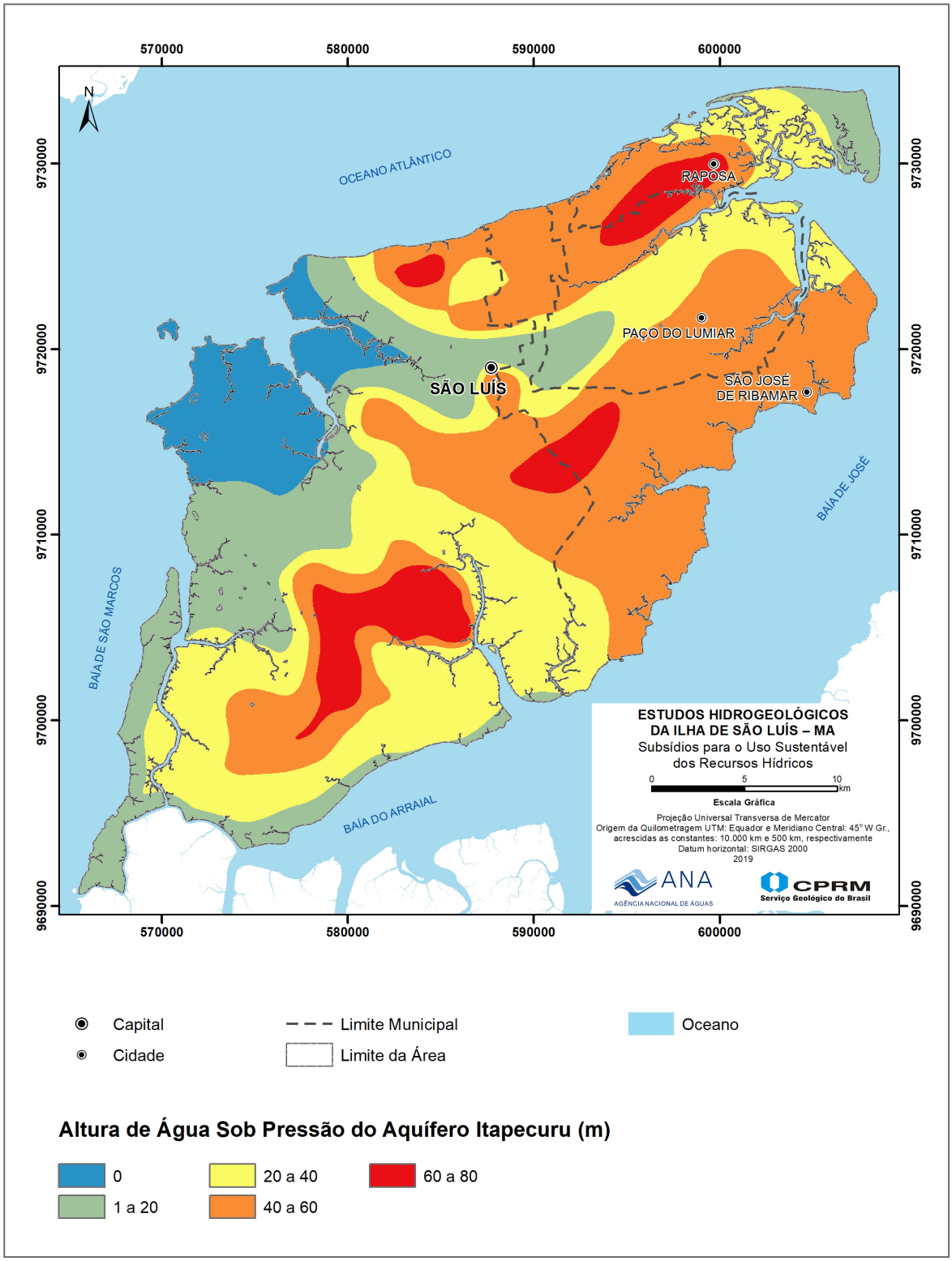


Figura 53: Superfície piezométrica do Aquífero Itapecuru

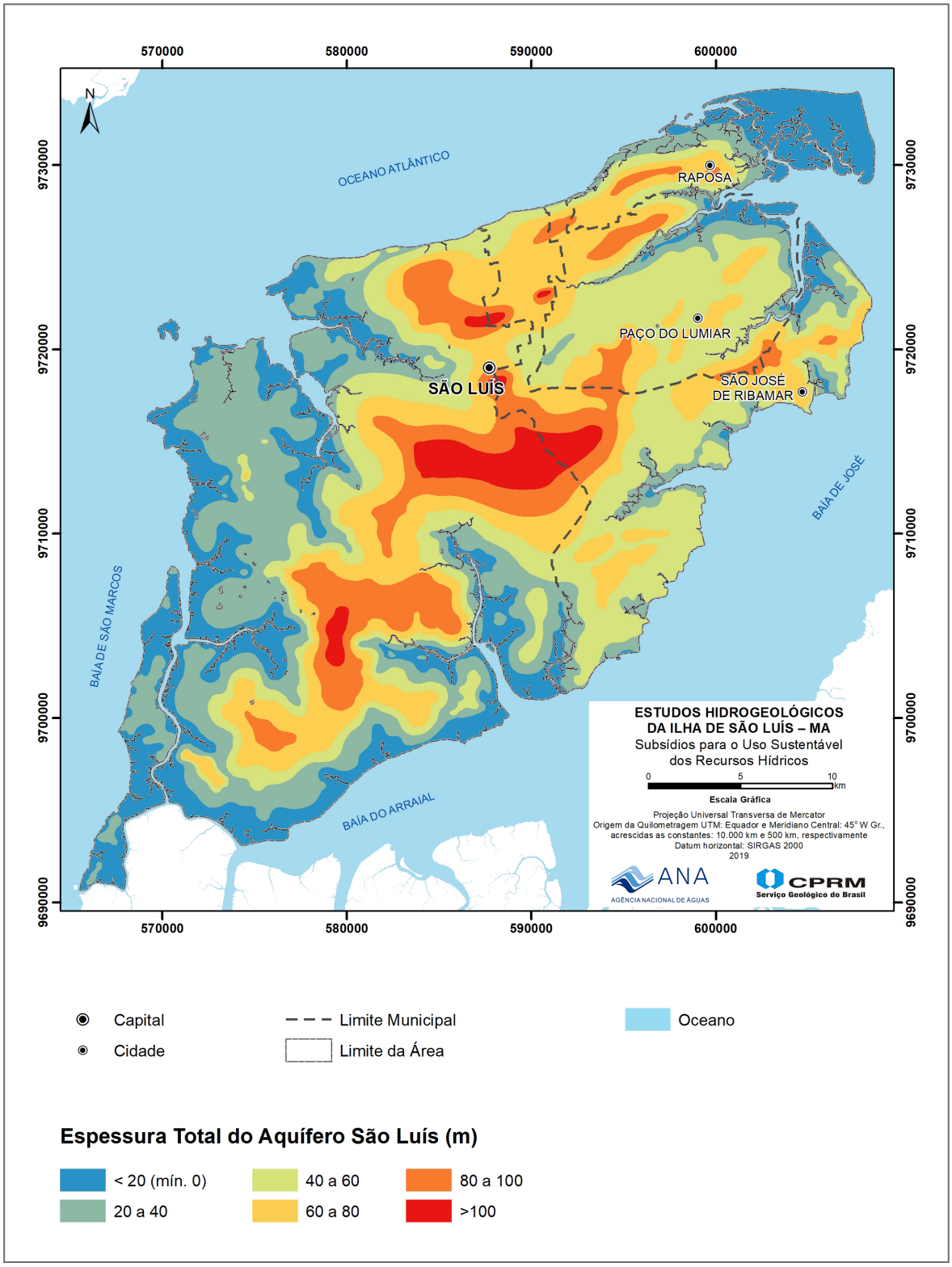


Figura 54: Espessuras saturadas do Aquífero São Luís

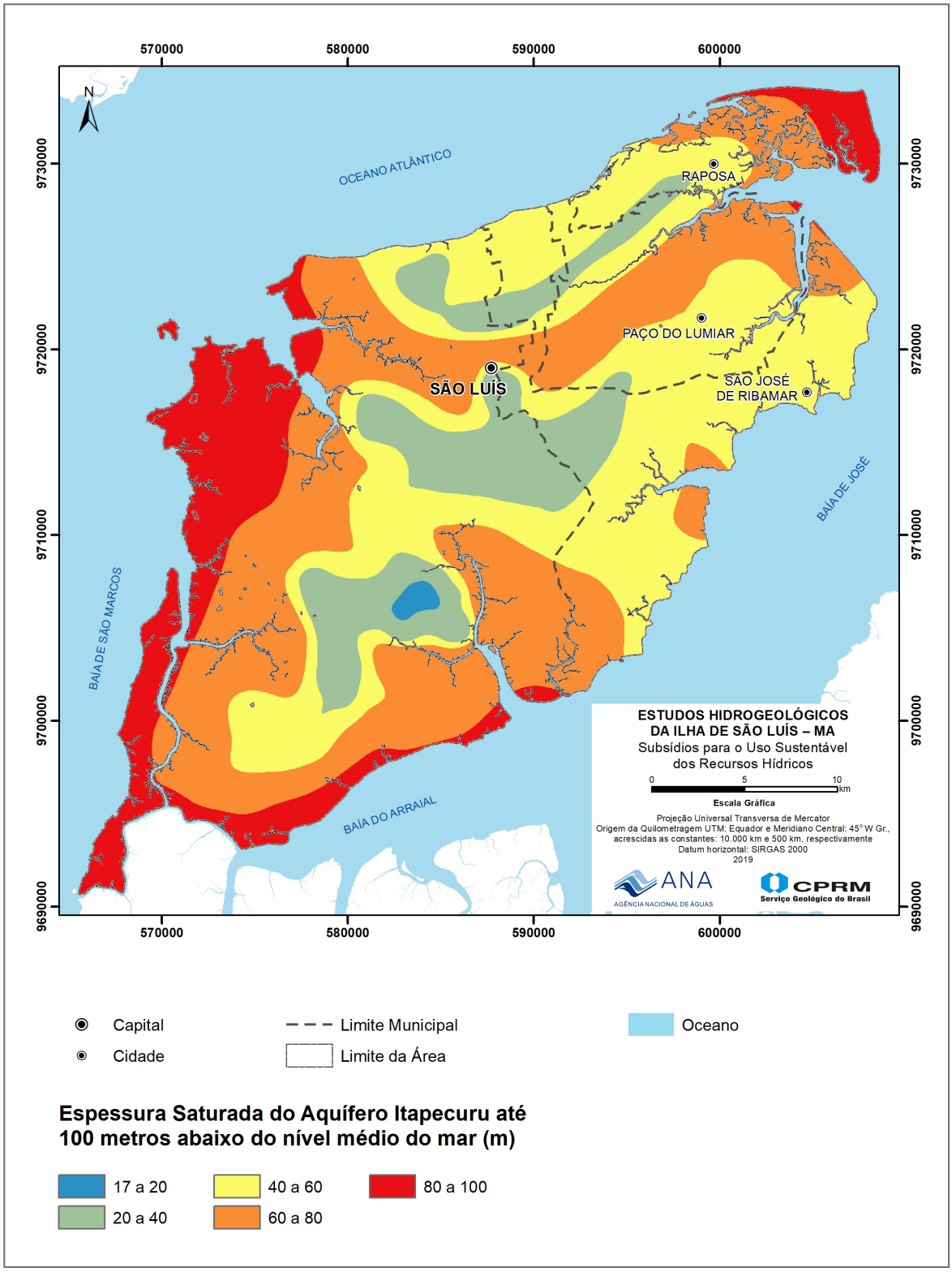


Figura 55: Espessuras saturadas do Aquífero Itapecuru, até 100 m abaixo do nível do mar

3 AVALIAÇÃO HIDROQUÍMICA

O CICLO HIDROLÓGICO É A ORIGEM DE TODOS OS RECURSOS HÍDRICOS de nosso planeta, incluindo as águas subterrâneas. Seus depósitos se formam a partir da infiltração no subsolo, ocupando os vazios das formações rochosas ou dos solos, originando importantes reservas hídricas.

Alguns fatores influenciam na infiltração dessas águas, relacionados diretamente com as formações geológicas que as recebem, como sua litologia, estrutura, porosidade, permeabilidade, fluxo subterrâneo e condutividade hidráulica. Além desses, a cobertura vegetal e a ocupação da superfície, bem como as condições climáticas e topográficas são outros fatores importantes.

A composição química das águas subterrâneas resulta não apenas das interações água/rocha que ocorrem nas zonas insaturada e saturada do solo, como também dos processos de precipitação, dissolução e adsorção/dessorção, que liberam ou imobilizam os solutos, bem como, das condições climáticas que podem ocasionar variações sazonais na sua qualidade. Aliados a isto, as infiltrações a partir de vazamento de tubulações de esgoto, lixões e aterros sanitários, problemas construtivos nas captações, superexplotação de aquíferos costeiros com consequente intrusão marinha etc., também exercem papel decisivo.

Como já referido, na Ilha de São Luís foram realizadas duas campanhas de amostragem de águas nos períodos úmido e seco, durante o ano de 2017 (fevereiro e novembro), perfazendo um total de 34 dias de campo, sendo coletadas 100 amostras de água em cada período. A Figura 56, a seguir, mostra a distribuição de poços por município e por aquífero.

As 200 amostras coletadas (100 amostras por período de coleta) das águas subterrâneas foram submetidas a análises laboratoriais de parâmetros físicos e químicos: Condutividade elétrica, STD, Ph, cor, turbidez, dureza, Na, K, Ca, Mg, Cl, CO3, HCO3, SO4, Fe, Mn, NO3, NO2, NH3. No período de chuva (fevereiro de 2017), foram realizadas 1900 análises (19 parâmetros). Já no período de estiagem (novembro de 2017), foram realizadas 6840 análises (79 parâmetros), incluindo entre estas, análises isotópicas (trítio, carbono 14, oxigênio e deutério), amônio (NH4+), elementos-traço, elementos terras raras, análises microbiológicas e de voláteis. Portanto, no total foram realizadas 8740 análises nas águas dos Aquíferos São Luís e Itapecuru.

Os resultados das análises (parâmetros físicos e químicos, cátions e ânions principais, compostos nitrogenados, componentes químicos secundários e elementos terras raras) obtidos são apresentados em sua totalidade no ANEXO 3 a ANEXO 6 e também são mostrados no texto na forma dos principais parâmetros estatísticos (média, mediana, mínimo, máximo, primeiro e terceiro quartis, variância, desvio padrão e assimetria), agrupados de acordo com o aquífero captado.

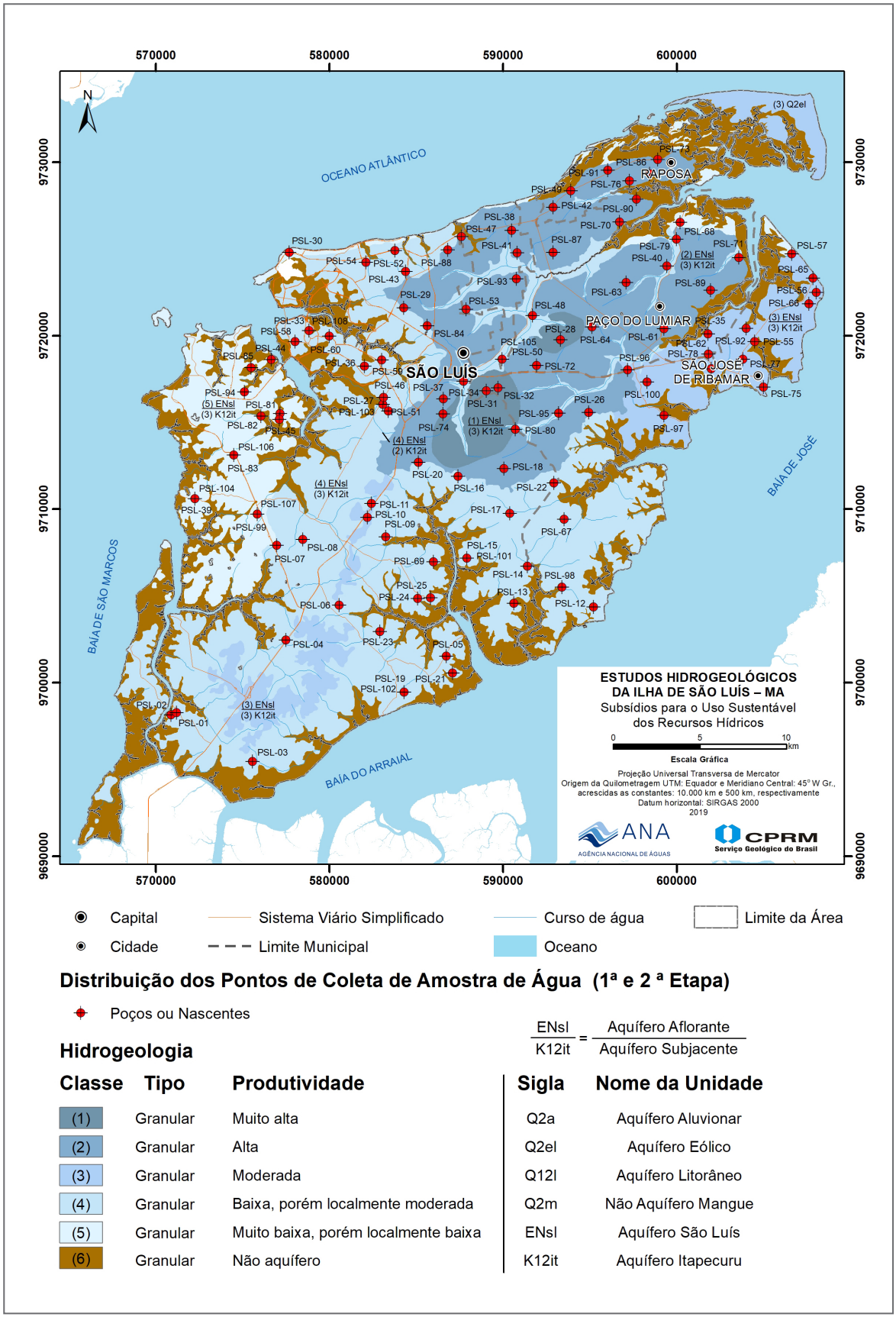


Figura 56: Distribuição dos pontos de amostragem por aquífero e por município

3.1. VERIFICAÇÃO DO BALANÇO IÔNICO

A verificação do fechamento do balanço iônico com os resultados das coletas realizadas em fevereiro e novembro de 2017 buscou avaliar se a concentração total de ânions é próxima à concentração de cátions. O balanço iônico foi efetuado utilizando o programa para análise da qualidade de água, QUALIGRAF, versão 1.1, distribuído gratuitamente pela FUCEME (www.fuceme.br). Os íons considerados no balanço foram, Na + K; Ca; Mg; Cl; NO3; NO2; CO3 + HCO3 e SO4, em meq/L. A identificação de problemas no balanço iônico foi realizada considerando duas estimativas de erro prático (Ep%). A primeira, baseada na estimativa de erro prático definido por Custódio e Llamas (1983), chamado de Balanço Iônico Nº 1, calculado da seguinte forma:

$$Ep(\%) = \left| \frac{r\sum \hat{a}nions - r\sum cations}{r\sum \hat{a}nions + r\sum cations} \right| .200$$

O Erro Prático máximo permitido considerando a condutividade elétrica é mostrado na Tabela 18.

Tabela 18: Balanço Iônico Nº 1 – Erro permitido

COND. ELÉTRICA, CE (μS/cm)	50	200	500	2000	>2000
Erro permitido (%)	30	10	8	4	<4

A segunda estimativa de erro é baseada no erro prático definido por Logan (1965), chamado de Balanço Iônico Nº 2, calculado da seguinte forma:

$$Ep(\%) = \left| \frac{r\sum \hat{a}nions - r\sum cations}{r\sum \hat{a}nions + r\sum cations} \right| .100$$

O Ep máximo permitido é mostrado na

Tabela 19.

Tabela 19: Balanço Iônico Nº 2 – Erro permitido

$\sum \hat{a}nions \ ou \sum cations \ (meq/l)$	<1	1	2	6	10	30	>30
Erro permitido (%)	15	10	6	4	3	2	1

Em fevereiro de 2017 (período chuvoso), das 100 amostras, 39 apresentaram problemas no balanço iônico. Em novembro de 2017 (período seco), das 100 amostras, 13 não atenderam pelo menos um dos critérios de balanço iônico.

Apesar do número relativamente elevado de amostras que não atenderam aos critérios do balanço iônico, há de se levar em conta que a ausência da análise de íons importantes (como por exemplo, sílica) ou a presença de colóides menores de 0,45 μm podem afetar os resultados do balanço. Além disso, conforme Pyne (1995), são validadas as amostras com erro superior a 10%, quando

o valor de STD for inferior a 100 mg/l. No caso em tela, na primeira campanha, apenas 20 poços (PSL 09, 11, 15, 27, 28, 31, 32, 33, 34, 37, 44, 47, 53, 65, 72, 74, 75, 81, 88 e 99) apresentam valores de sólidos totais dissolvidos superiores a este limite. Nas águas da segunda campanha de análises, apenas em 07 casos esse limite foi superado (PSL 72, 74, 75, 77, 78, 88 e 95).

No ANEXO 7 são apresentados os resultados das análises realizadas e os cálculos do balanço iônico para cada campanha de coleta (fevereiro e novembro de 2017) e por cada um dos métodos sugeridos (Custódio e Llamas, 1983 e Logan, 1965).

3.2. CORRELAÇÃO DOS RESULTADOS

Numa primeira avaliação dos resultados das análises químicas observou-se uma variação muito pequena entre os valores dos parâmetros obtidos na primeira e segunda campanha. Como demonstração disso, são apresentados os gráficos de correlação de cátions, ânions, e STD dos valores obtidos na primeira e segunda campanha (Figura 57). Os íons apresentaram correlação superior a 90%, com exceção do SO4 que apresentou 82%, e para o STD, foi obtida uma correlação superior a 97%.

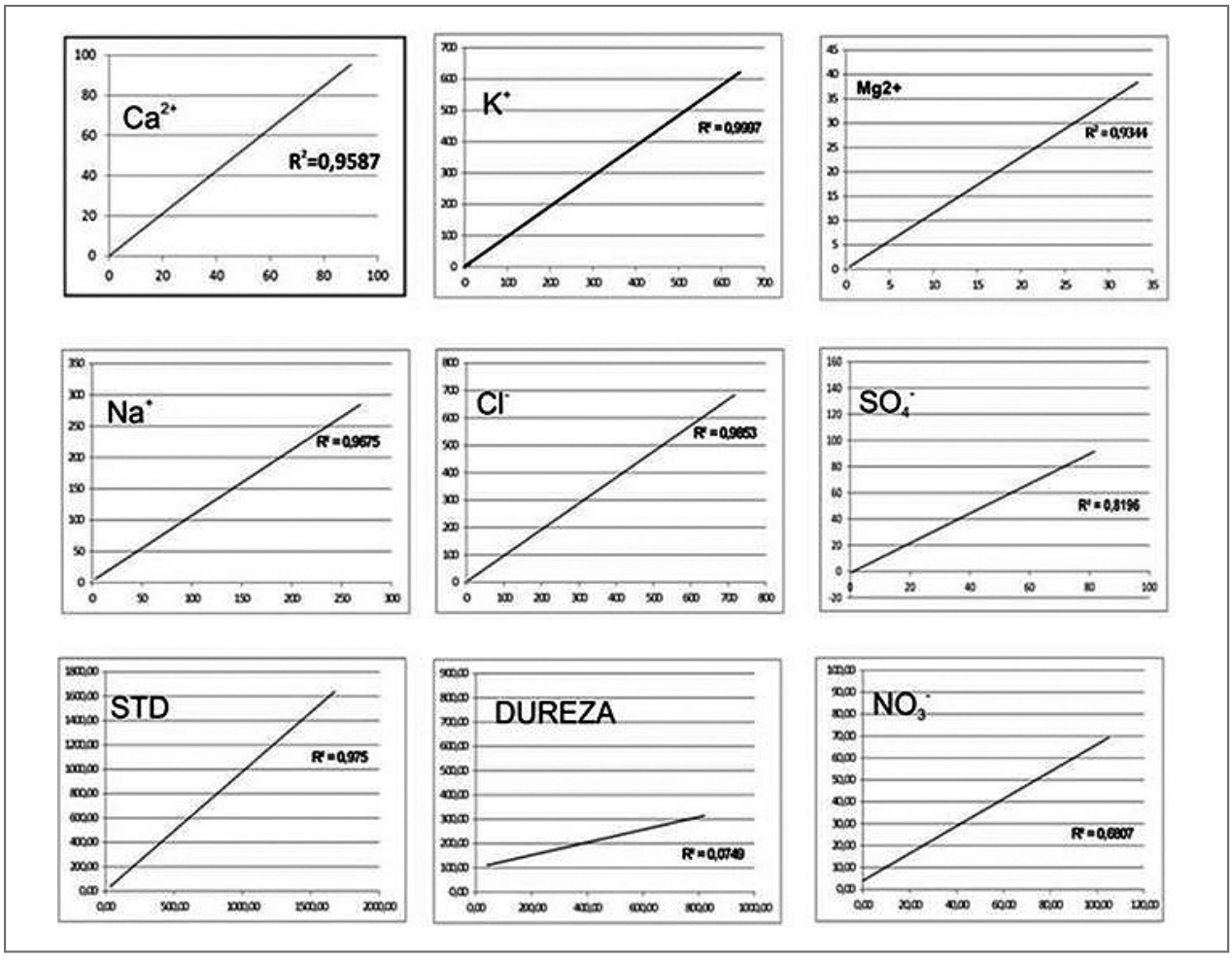


Figura 57: Gráficos de correlação entre os principais íons, STD, dureza e nitrato nas duas campanhas de análises

Apenas os parâmetros de nitrato e dureza mostraram correlações muito pequenas entre as duas campanhas, principalmente no segundo caso, certamente refletindo a influência das variações do lençol freático na composição das águas subterrâneas locais.

Para a determinação do STD foi considerada a somatória de íons analisados, não sendo dosado o teor em sílica, uma vez que não foram previstas análises deste elemento nos trabalhos.

A Tabela 20 mostra a matriz de coeficientes de correlação entre parâmetros hidroquímicos das águas subterrâneas, incluindo condutividade elétrica e pH, além dos cátions e ânions principais, na primeira etapa de coleta de águas.

A condutividade elétrica é, em geral, o parâmetro utilizado na análise da salinidade das águas, tanto pelas facilidades de medição como principalmente pela elevada correlação que este apresenta com os sólidos totais dissolvidos.

Na correlação entre os elementos, se verifica que existe uma maior ligação entre o magnésio e o cálcio, com um coeficiente de correlação de 0,901, seguidos do bicarbonato e o magnésio com uma correlação de 0,809. A condutividade elétrica da água também possui um maior coeficiente de correlação com este elemento, o mesmo ocorrendo com o pH.

Tabela 20: Matriz de correlação entre os íons analisados das amostras de águas subterrâneas em meq/L e condutividade elétrica (μS/cm) da primeira etapa de coleta

	NA^{+}	CA^{2+}	MG^{2+}	CL^{-}	SO_4^{2-}	PH	CONDUTIVIDADE ELÉTRICA	NO_3^{-}	HCO_3	CO_3
Na^{+}	1	0,593	0,579	0,661	0,631	0,466	0,685	-6,30E-02	0,535	0
Ca^{2+}		1	0,901	0,525	0,69	0,64	0,772	-0,123	0,796	0
Mg^{2+}			1	0,432	0,569	0,576	0,821	-7,00E-02	0,809	0
Cl^{-}				1	0,773	0,134	0,475	-4,00E-03	0,263	0
SO_4^{2-}					1	0,329	0,641	3,00E-02	0,401	0
pH						1	0,433	-0,498	0,827	0
Cond. Elétrica							1	8,40E-02	0,562	0
NO_3^{-}								1	-0,306	0
HCO_3^{-}									1	0
CO_3										1

A Tabela 21 apresenta a matriz de correlação entre os elementos para a segunda etapa de coleta. Verifica-se uma maior correlação entre os íons cloreto e sulfato com 0,886 seguidos do cálcio com o magnésio com 0,862. A condutividade elétrica possui uma maior correlação com o cloreto apresentando o valor de 0,965. O pH possui um maior coeficiente de correlação com o bicarbonato, com 0,826.

Tabela 21: Matriz de correlação entre os íons analisados das amostras de águas em meq/L e condutividade elétrica (μS/cm), correspondente da segunda etapa de coleta

	NA^+	CA^{2+}	MG^{2+}	CL^-	SO_4^{2-}	PH	CONDUTIVIDADE ELÉTRICA	NO_3^-	HCO_3^-	CO_3
Na^+	1	0,554	0,559	0,666	0,529	0,477	0,683	-1,80E-02	0,535	-0,293
Ca^{2+}		1	0,862	0,557	0,658	0,602	0,67	-3,90E-02	0,779	0,311
Mg^{2+}			1	0,448	0,462	0,585	0,548	-8,60E-02	0,77	0,717
Cl^-				1	0,886	0,19	0,965	4,10E-02	0,42	-0,142
SO_4^{2-}					1	0,274	0,903	2,50E-02	0,5	-0,175
pH						1	0,28	-0,468	0,826	-0,435
Cond. Elétrica							1	0,104	0,699	-9,10E-02
NO_3^-								1	-0,229	0,678
HCO_3^-									1	0,352
CO_3										1

3.3. ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS

Inicialmente foram calculadas as estatísticas descritivas por parâmetro e por coleta, sendo determinados os Valores Mínimos, do 1º Quartil, Medianos, Médios, do 3º Quartil, da amplitude interquartil (AIQ), máximos, o limite de detecção de outliers (LDO) e o número de outliers (Nº de Out). O limite de detecção de outliers foi calculado pela seguinte equação:

$$\boldsymbol{LDO = 3ºQ + 1,5AIQ}$$

As estatísticas estão apresentadas na Tabela 22. Observa-se que todos os parâmetros apresentam assimetrias positivas variando de 0,469 (pH) a 9,92 (K). Constata-se que valores máximos observados se afastam significativamente dos valores do 3º quartil. A única exceção é o pH. Os parâmetros que apresentam diferenças significativas entre os valores máximos e os do 3º quartil estão com fonte em vermelho. A maior diferença ocorre com o parâmetro K, onde os valores máximos da coleta de fev/17 e de nov/17 são, respectivamente, 148 e 128 vezes maiores que o 3º Quartil. No caso do potássio o poço que apresentou a maior concentração é o PSL-07, 643,78 e 620,94 mg/L nas coletas de fev/17 e nov/17, respectivamente. Os valores máximos das coletas de fev/17 e nov/17 para os parâmetros Condutividade Elétrica (CE) e Sólidos Totais Dissolvidos (STD) também foram observados no poço PSL-07. Analisando as estatísticas de fev/17 e nov/17 do pH, observa-se que ao menos 75% das amostras são ácidas, ou seja, os valores do 3º Quartil são, 6,69 e 6,46, respectivamente.

Tabela 22: Estatísticas por parâmetro e coleta

	NA (mg/L)		K (mg/L)		CA (mg/L)		MG (mg/L)		CL (mg/L)	
	Fev/17	Nov/17	Fev/17	Nov/17	Fev/17	Nov/17	Fev/17	Nov/17	Fev/17	Nov/17
Mín.	3,25	3,94	0,1	0,18	0,5	0,21	0,26	0,21	5,11	4,9
1º Q.	8,03	9,5	0,77	0,97	1,14	1,13	1,31	1,57	11,23	11,1
Mediana	14,07	17,38	1,32	1,42	2,28	2,29	2,07	2,5	16,04	15,66
Média	28,7	32,26	9,6	9,41	8,8	9,52	5,14	5,33	45,1	42,98
3º Q.	**27,98**	**35,25**	**4,34**	**4,85**	**7,61**	**7,33**	**4,92**	**5,15**	**36,71**	**32,07**
Max.	**268,8**	**308,54**	**643,78**	**620,94**	**90,06**	**93,79**	**57,32**	**42,6**	**717,98**	**679,89**
DP	42,4	45,57	64,361	61,94	14,959	16,59	7,922	7,05	93,168	89,44
CV	1,477	1,413	6,704	6,582	1,7	1,743	1,541	1,323	2,066	2,081
AIQ	19,95	25,75	3,57	3,88	6,47	6,2	3,61	3,58	25,48	20,97
Assimetria	3,384	3,591	9,864	9,921	2,926	2,728	3,836	2,758	4,889	4,834
L D O	57,905	73,875	9,695	10,67	17,315	16,63	10,335	10,52	74,93	63,525
Nº de Out	11	9	5	4	19	19	15	14	11	11
	CO_3 (mg/L)		HCO_3 (mg/L)		SO_4 (mg/L)		CE (μS/cm)		PH	
	Fev/17	Nov/17	Fev/17	Nov/17	Fev/17	Nov/17	Fev/17	Nov/17	Fev/17	Nov/17
Mín.	0	0	0	0	0	0,49	1,5	37,8	3,85	3,8
1º Q.	1,5	0	1,5	0	3,63	3,43	77,48	81,73	4,83	4,83
Mediana	1,5	5,6	1,5	5,6	5,93	5,46	142,4	143,3	5,66	5,64
Média	41	38,45	41	38,45	12,06	11,72	250,95	290,29	5,85	5,73
3º Q.	**20,31**	**17,5**	**20,31**	**17,5**	**13,57**	**11,73**	**316,75**	**313,5**	6,69	6,46
Max.	**275,4**	**255,23**	**275,4**	**255,23**	**81,69**	**137,14**	**1414**	**3272**	8,75	8,42
DP	77,586	74,22	77,586	74,22	15,543	18,15	290,559	427,26	1,269	1,26
CV	1,892	1,93	1,892	1,93	1,289	1,549	1,158	1,472	0,217	0,22
AIQ	18,81	17,5	18,81	17,5	9,94	8,3	239,27	231,77	1,86	1,63
Assimetria	1,977	1,996	1,977	1,996	2,522	4,322	2,405	4,264	0,622	0,469
LDO	48,525	43,75	48,525	43,75	28,48	24,18	675,655	661,155	9,48	8,905
Nº de Out	21	20	21	20	12	12	8	9	0	0

continua

Tabela 22: Estatísticas por parâmetro e coleta. (continuação)

	TURBIDEZ (UT)		STD (mg/L)		DUREZA (mg/L)		COR U. HAZEN		FE (mg/L)	
	Fev/17	Nov/17	Fev/17	Nov/17	Fev/17	Nov/17	Fev/17	Nov/17	Fev/17	Nov/17
Mín.	0,02	0,02	33,7	34,33	40	15	0	0	0,01	0
1º Q.	0,02	0,02	61,96	62,13	90	83,75	0	0	0,02	0,01
Mediana	0,14	0,02	103,52	101,11	132,5	110	0,2	0	0,02	0,02
Média	1,65	0,17	185,78	181,62	162,9	140,7	1,95	0,28	0,17	0,06
3º Q.	**0,7**	**0,02**	**226,89**	**208,85**	**205**	**162,5**	**0,8**	**0,2**	**0,05**	**0,05**
Max.	**37,9**	**2,5**	**1675,75**	**1683,62**	**820**	**810**	**53,6**	**3,1**	**3,16**	**0,7**
DP	5,336	0,45	228,19	225,58	110,893	106,54	6,707	0,7	0,548	0,11
CV	3,234	2,647	1,228	1,242	0,681	0,757	3,439	2,5	3,224	1,833
AIQ	0,68	0	164,93	146,72	115	78,75	0,8	0,2	0,03	0,04
Assimetria	5,015	3,794	3,659	3,816	2,919	3,543	6,015	2,916	4,599	4,226
LDO	1,72	0,02	474,285	428,93	377,5	280,625	2	0,5	0,095	0,11
Nº de Out	15	24	8	9	4	6	14	15	16	11
	Mn (mg/L)		NO_3 (mg/L)		NO_2 (mg/L)		NH_4 (mg/L)			
	Fev/17	Nov/17	Fev/17	Nov/17	Fev/17	Nov/17	Fev/17	Nov/17		
Mín.	0,01	0	0,01	0,03	<0,1	0,01	<0,4	0		
1º Q.	0,01	0,01	0,94	1,42	<0,1	0,01	<0,4	0,05		
Mediana	0,02	0,02	9,65	8,94	<0,1	0,01	<0,4	0,05		
Média	0,06	0,05	22,04	18,16	<0,1	0,01	<0,4	0,51		
3º Q.	**0,07**	**0,05**	**26,97**	**23,22**	<0,1	0,01	<0,4	**0,05**		
Max.	**0,67**	**0,56**	**104,88**	**111,47**	<0,1	0,08	<0,4	**10**		
DP	0,103	0,08	28,972	23,2		0,01		1,73		
CV	1,717	1,6	1,315	1,278		1		3,392		
AIQ	0,06	0,04	26,03	21,8		0		0		
Assimetria	4,245	4,244	1,55	1,783		7		4,364		
LDO	0,16	0,11	66,015	55,92		0,01		0,05		
Nº de Out	7	8	12	9		4		24		

DP – Desvio Padrão; CV – Coeficiente de variação; AIQ – Amplitude interquartil; LDO - Limite de detecção de outliers; Nº de Out - Número de outliers.

A Tabela 23 apresenta o número de outliers por campanha de coleta. Os resultados não são totalmente idênticos para as coletas dos períodos úmido (fev/17) e seco (nov/17). Indicando que pode haver uma influência das chuvas nas concentrações dos parâmetros.

Tabela 23: Número de outliers por coleta

	NÚMERO DE OUTLIERS										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL
Nº de Poços-Fev/17	45	17	8	12	5	2	4	2	4	1		100
Nº de Poços-Nov/17	37	17	15	9	5	6	2	1	2	3	3	100

A Tabela 24 apresenta a diferença entre os valores das estatísticas descritivas da coleta de fevereiro/17 e novembro/17. As diferenças maiores que 30 unidades estão com a fonte em vermelho. O sinal negativo indica que as estatísticas de novembro/17 são maiores. Quando se considera as estatísticas descritivas de cada parâmetro, observa-se que não há grandes alterações dos resultados de uma coleta para a outra, com exceção do parâmetro CE, com valores maiores na coleta de novembro17, e dos parâmetros Na, Cl, SO4, Turbidez e Cor nos valores máximos, e da Dureza nos valores do 3º Quartil.

Tabela 24: Diferença entre as estatísticas das coletas de fev/17 e nov/17

	NA (mg/L)	K (mg/L)	CA (mg/L)	MG (mg/L)	CL (mg/L)	CO_3 (mg/L)	HCO_3 (mg/L)	SO_4 (mg/L)	CE (μS/cm)
Min.	-0,69	-0,08	0,29	0,05	0,21	0	0	-0,49	-36,3
1º Quartil	-1,47	-0,2	0,01	-0,26	0,13	0	1,5	0,2	-4,25
Mediana	-3,31	-0,1	-0,01	-0,43	0,38	0	-4,1	0,47	-0,9
Média	-3,56	0,19	-0,72	-0,19	2,12	-1,09	2,55	0,34	-39,34
3º Quartil	-7,27	-0,51	0,28	-0,23	4,64	0	2,81	1,84	3,25
Max.	-39,74	22,84	-3,73	14,72	38,09	-17,8	20,17	-55,45	-1858
	pH	Turbidez UT	STD (mg/L)	Dureza (mg/L)	Cor U.Hazen	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	NO_3 (mg/L)	
Min.	0,05	0	-0,63	25	0	0,01	0,01	-0,02	
1ºQuartil	0	0	-0,17	6,25	0	0,01	0	-0,48	
Mediana	0,02	0,12	2,41	22,5	0,2	0	0	0,71	
Média	0,12	1,48	4,16	22,2	1,67	0,11	0,01	3,88	
3ºQuartil	0,23	0,68	18,04	42,5	0,6	0	0,02	3,75	
Max.	0,33	35,4	-7,87	10	50,5	2,46	0,11	-6,59	

3.4. COMPARAÇÃO COM OS PADRÕES DE POTABILIDADE (PARÂMETROS ANALISADOS NAS DUAS CAMPANHAS)

Os padrões de potabilidade estão descritos na Portaria de Consolidação Nº 5 do Ministério da Saúde de 28/09/2017, no seu ANEXO XX.

Os poços que apresentaram divergências com os padrões estipulados pelo Ministério da Saúde, por parâmetro e data de coleta, estão na Tabela 25. Aqueles cujas concentrações superaram o Valor Máximo Permitido (VMP) apenas em uma coleta estão com fonte em vermelho.

Tabela 25: Comparação com os padrões de potabilidade

PARÂMETRO	VMP	COLETA	POÇOS: PARÂMETRO > VMP	N°
Na (mg/L)	200	fev/17	PSL-60	1
		nov/17	PSL-60	1
Cl (mg/L)	250	fev/17	PSL-07; PSL-57; PSL-60; PSL-66; PSL-94	5
		nov/17	PSL-07; PSL-57; PSL-60; PSL-66; PSL-94	5
SO_4 (mg/L)	250	fev/17	-	0
		nov/17	-	0
Turbidez UT	5	fev/17	PSL-05; **PSL-22**; **PSL-24**; PSL-39; PSL-50; PSL-100	6
		nov/17	-	0
STD (mg/L)	1000	fev/17	PSL-07	1
		nov/17	PSL-07	1
Dureza (mg/L)	500	fev/17	**PSL-34; PSL-46**	2
		nov/17	**PSL-28; PSL-47**	2
Cor U.Hazen	15	fev/17	PSL-05; PSL-39; PSL-100	3
		nov/17	-	0
Fe (mg/L)	0,3	fev/17	PSL-05; **PSL-25; PSL-34; PSL-39; PSL-50; PSL-61; PSL-95**; PSL-100	8
		nov/17	PSL-05; PSL-37; PSL-100; PSL-105	4
Mn (mg/L)	0,1	fev/17	PSL-05; PSL-07; PSL-09; **PSL-19; PSL-39; PSL-57**; PSL-73; **PSL-75**; PSL-78; PSL-79; PSL-82; PSL-95	12
		nov/17	PSL-05; PSL-07; **PSL-08**; PSL-09; **PSL-68**; PSL-73; PSL-78; PSL-79; PSL-82; PSL-95	10
NO_3 (mg/L)	44,26	fev/17	PSL-11; **PSL-16**; PSL-28; PSL-31; PSL-32; **PSL-33**; PSL-37; **PSL-43**; **PSL-46**; PSL-47; PSL-53; PSL-59; **PSL-69**;**PSL-72**; PSL-74; PSL-75; **PSL-77**; PSL-88; **PSL-93**; **PSL-99**	20
		nov/17	PSL-11; PSL-28; PSL-31; PSL-32; PSL-37; PSL-47; PSL-53; PSL-59; **PSL-62; PSL-64**; **PSL-65**; PSL-69; PSL-74; PSL-75; PSL-88; **PSL-107**; **PSL-108**	17
NO_2 (mg/L)	3,28	fev/17	-	0
		nov/17	-	0

Analisando esta tabela observa-se:

- Dos resultados acima do VMP, a maioria se repete nas duas coletas, fev/17 e nov/17.
- Os parâmetros Na, Cl e STD apresentam valores superiores ao VMP nos mesmos poços nas duas coletas.
- Os parâmetros Fe, Mn, NO3 apresentam valores superiores ao VMP nos mesmos poços e, também, em poços diferentes nas duas coletas.
- O parâmetro Dureza apresenta valores superiores ao VMP em poços diferentes nas duas coletas.
- Os parâmetros Turbidez e Cor apresentam valores superiores ao VMP somente na coleta de fev/17, período úmido. Isto ocorre provavelmente devido a influência da chuva, indicando problemas com a proteção desses poços.
- O parâmetro NO3 apresenta um número considerável de poços com valores superiores ao VMP. No período chuvoso foram 20 poços e no período seco 17 poços, resultando em 23 poços no conjunto das duas campanhas de coleta. Indica, provavelmente, a presença de fontes pontuais de contaminação.

A Tabela 26 apresenta os poços nos quais os resultados foram superiores ao VMP em pelo menos dois parâmetros. Aqueles não conformes com os padrões de potabilidade nas duas coletas estão com a fonte em vermelho. Observa-se que o PSL-07 apresenta três não conformidades com a Portaria do Ministério da Saúde, nas duas coletas.

Tabela 26: Poços com valores maiores que o VMP em pelo menos dois parâmetros

COLETA EM FEVEREIRO DE 2017			COLETA EM NOVEMBRO DE 2017		
POÇO	Nº DE PARÂMETROS COM DIVERGÊNCIA	PARÂMETRO > VMP	POÇO	Nº DE PARÂMETROS COM DIVERGÊNCIA	PARÂMETRO > VMP
PSL-05	4	Turbidez; Cor; Fe; Mn	PSL-07	3	Cl; STD; Mn;
PSL-07	3	Cl; STD; Mn;	PSL-28	2	Dureza; NO_3
PSL-34	2	Dureza; Fe	PSL-37	2	Fe; NO_3
PSL-39	4	Turbidez; Cor; Fe; Mn	PSL-47	2	Dureza; NO_3
PSL-46	2	Dureza; NO_3	PSL-60	2	Na; Cl
PSL-50	2	Turbidez; Fe			
PSL-57	2	Cl; Mn			
PSL-60	2	Na; Cl			
PSL-75	2	Mn; NO_3			
PSL-95	**2**	Fe; Mn			
PSL-100	3	Turbidez; Cor; Fe			

A Tabela 27 resume, por aquífero, o quantitativo de amostras conformes ou desconformes com os VMP's estabelecidos pela PRC nº 05. Tais quantitativos representam os dois períodos de

amostragem. Os resultados dessas análises químicas das águas mostram que a maioria absoluta das amostras analisadas (98 e 100%) dos Aquíferos São Luís e Itapecuru apresenta concentração de sólidos totais dissolvidos inferiores ao limite máximo permitido pela PRC n° 5. Sódio, flúor, cloreto, nitrito, amônia, dureza total e sulfato, em mais de 90% das amostras apresentam concentrações dentro do limite de potabilidade (para o cloreto no aquífero Itapecuru, acima de 80%). Portanto, a maioria das águas dos aquíferos da Ilha de São Luís, quanto a estes parâmetros, pode ser usada para indústria, irrigação, consumo humano e animal. O Nitrato se apresenta com teores elevados no Aquífero São Luís (mais raso) em 19% das amostras (e.g., PSL107 – 111,5 mg/l), sendo que algumas alcançaram valores muito acima do permitido.

Tabela 27: Potabilidade das águas dos Aquíferos São Luís e Itapecuru
(de acordo com a PRC n° 5 do Ministério da Saúde)

PARÂMETRO	SÃO LUÍS		ITAPECURU		ÁGUA DE MISTURA	
	QUANT.	%	QUANT.	%	QUANT.	%
Na^+						
*< 200mg/L	118	100	33	97	48	100
> 200mg/L	0	0	1	3	0	0
F^-						
*< 1.5mg/L	65	100	16	100	19	100
> 1.5mg/L	0	0	0	0	0	0
Fe						
*< 0.3mg/L	113	96	33	97	42	87
> 0.3mg/L	5	4	1	3	6	13
Cl^-						
*< 250mg/L	116	98	28	82	46	96
> 250mg/L	2	2	6	18	2	4
SO_4^-						
*< 250mg/L	118	100	34	100	48	100
> 250mg/L	0	0	0	0	0	0
NO_3^-						
*< 44,26mg/L	96	81	31	91	40	83
> 44,26mg/L	22	19	3	9	8	17
NO_2^-						
*< 3,28mg/L	118	100	34	100	48	100
> 3,28mg/L	0	0	0	0	0	0
*NH_3						
*< 1,93mg/L	58	100	18	100	24	100
> 1,93mg/L	0	0	0	0	0	0
DUREZA TOTAL						
*< 500mg/L	114	97	34	100	48	100
> 500mg/L	4	3	0	0	0	0

continua

Tabela 27: Potabilidade das águas dos Aquíferos São Luís e Itapecuru (de acordo com a PRC n° 5 do Ministério da Saúde) (continuação)

PARÂMETRO	SÃO LUÍS		ITAPECURU		ÁGUA DE MISTURA	
	QUANT.	%	QUANT.	%	QUANT.	%
STD						
*< 1000mg/L	116	98	34	100	48	100
> 1000mg/L	2	2	0	0	0	0

* Padrão de aceitação para consumo humano, em mg/L, de acordo com a PRC n° 5, de 28 de setembro de 2017 – Ministério da Saúde.

*Dados de Amônia do primeiro período de coleta (fevereiro de 2017). Não foram realizadas análises de amônia no segundo período (novembro de 2017) devido a problemas legais para contratação do laboratório.

* Este valor apresentado foi transformado para mg NO3-/L (10 mg N/L = 44,26 mg NO3-/L).

* Este valor apresentado foi transformado para mg NO2-/L (1 mg N/L = 3,28 mg NO2-/L).

Quant. = número de amostras por categoria.

(%) = percentual de amostras por categoria.

3.5. ZONEAMENTO HIDROQUÍMICO

Os mapas de zoneamento hidroquímico permitem avaliar a distribuição espacial de contaminantes e as variações hidroquímicas relacionadas com as características naturais dos aquíferos.

Na Ilha de São Luís, as diferenças na composição dos aquíferos São Luís e Itapecuru são claramente refletidas nos valores de pH. As Figura 58 e Figura 59 ilustram as variações do valor do pH nas duas campanhas. Estes mapas mostram que os valores mais elevados de pH se encontram nos municípios de São Luís e São José de Ribamar. Neste estudo, o pH médio das águas do Aquífero São Luís é 5,05 ± 0,63, caracterizando águas de pH ácido. Mostram variações entre 3,85 e 6,85 no período chuvoso (fevereiro/2017), com valor médio de 5,07, e pH entre 3,80 e 7,44 no período de estiagem (novembro/2017), com pH médio de 5,01. Nota-se ainda (Tabela 28) que, para o Aquífero São Luís, a maior parte das águas permaneceram ácidas, com pH entre 4,51 no primeiro quartil (25%) e 5,53 no terceiro quartil (75%).

Tabela 28: Parâmetros estatísticos do pH dos Aquíferos São Luís e Itapecuru e Águas de Mistura

POTENCIAL HIDROGENIÔNICO – PH			
	AQUÍFERO SÃO LUÍS	AQUÍFERO ITAPECURU	ÁGUA DE MISTURA
Média	5,05	7,90	6,41
Mediana	5,15	7,98	6,36
Mínimo	3,83	7,09	6,01
Máximo	6,59	8,59	7,09
Quartil 1 - 25%	4,51	7,62	6,28
Quartil 3 - 75%	5,53	8,13	6,53
Variância	0,39	0,16	0,06
Desv. Padrão	0,63	0,40	0,25
Assimetria	-0,07	-0,29	0,92

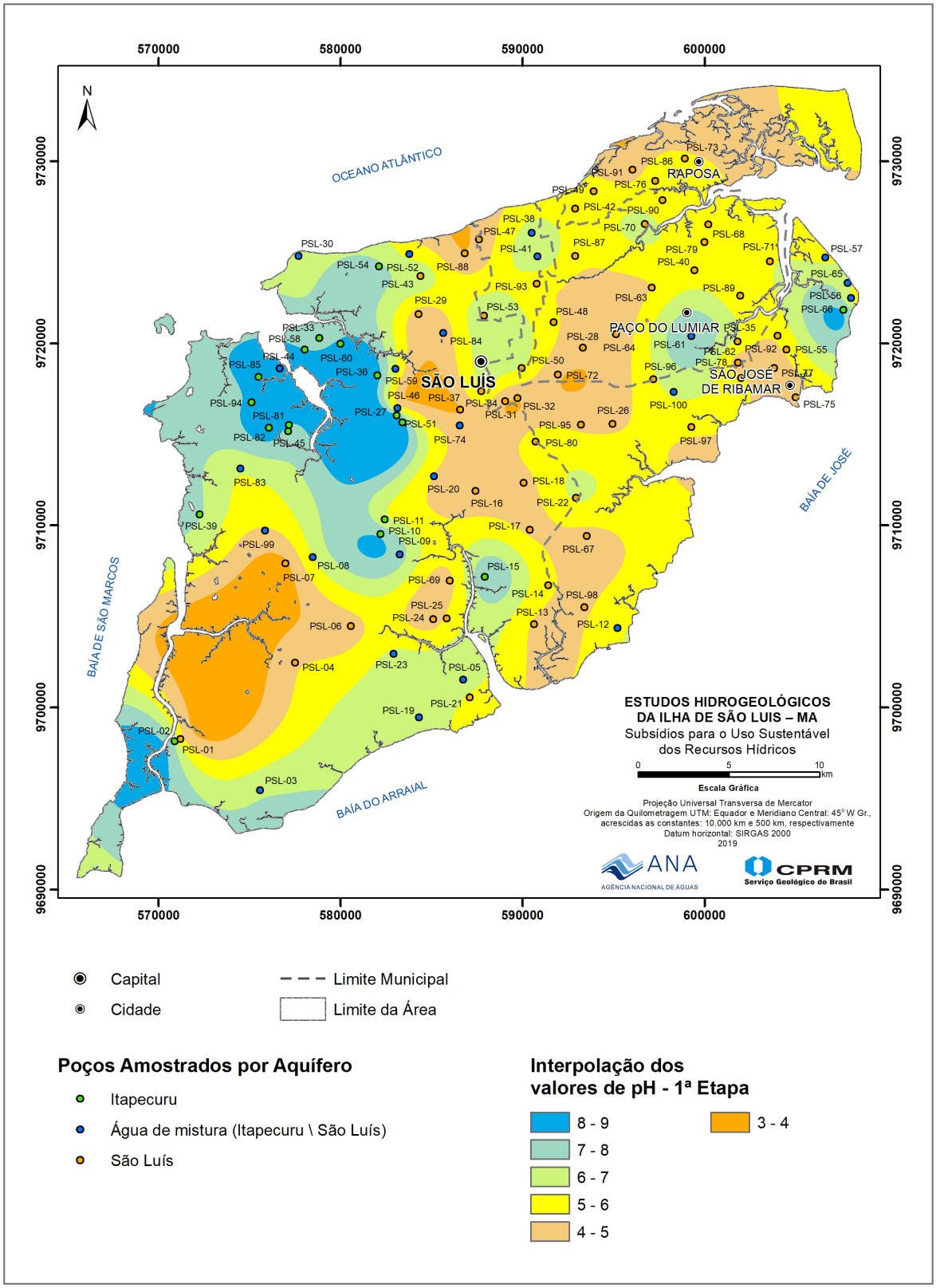


Figura 58: Mapa de Zoneamento do Potencial Hidrogeniônico (pH) das águas dos Aquíferos São Luís e Itapecuru e das Águas de Mistura, no período de chuva (fevereiro de 2017)

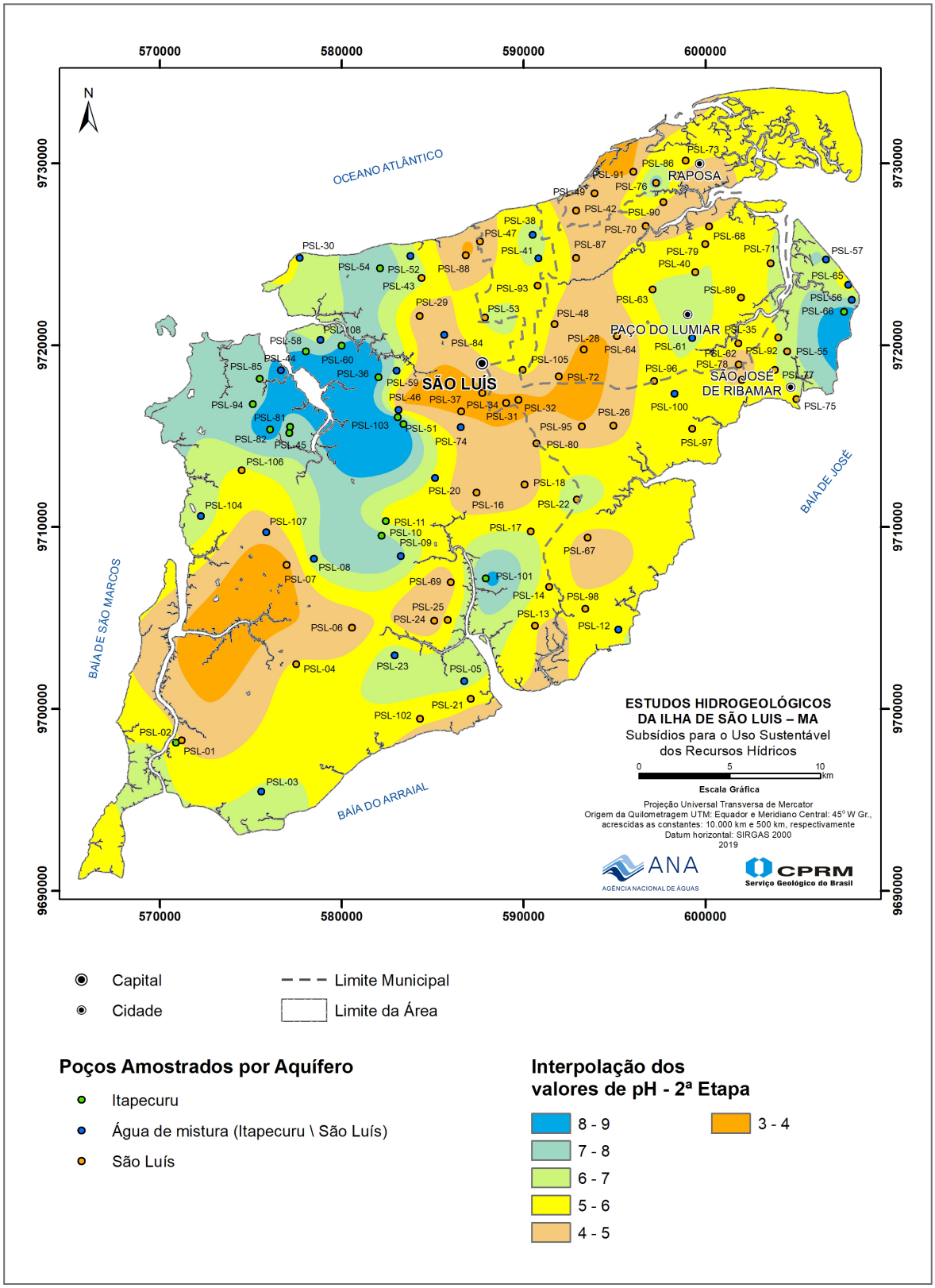


Figura 59: Mapa de Zoneamento do Potencial Hidrogeniônico (pH) das águas dos Aquíferos São Luís e Itapecuru e das Águas de Mistura, no período de estiagem (novembro de 2017)

O pH médio das águas do Aquífero Itapecuru é 7,90 ± 0,40, caracterizando águas neutras a levemente alcalinas. As águas do Aquífero Itapecuru apresentaram pH entre 7,09 e 8,75 no período chuvoso (fevereiro/2017), com média de 7,96, e pH entre 7,17 e 8,42 no período de estiagem (novembro/2017), com pH médio de 7,88. Observa-se na Tabela 26 que, para o Aquífero Itapecuru, a maior parte dos dados permaneceu em torno da neutralidade, com pH 7,62 no primeiro quartil (25%) e da alcalinidade, com pH 8,13 no terceiro quartil (75%).

O pH médio das águas de mistura (Aquíferos São Luís/Itapecuru) é 6,41 ± 0,25, caracterizando águas levemente ácidas. As águas misturadas (Aquíferos São Luís/Itapecuru) apresentaram pH entre 5,68 e 7,99 no período chuvoso (fevereiro/2017) e pH entre 5,93 e 7,24 no período de estiagem (novembro/2017).

Os mapas de zoneamento do cálcio (Figura 60 e Figura 61) também refletem as diferenças entre os aquíferos, sendo que os valores mais elevados ocorrem no Aquífero Itapecuru.

Os mapas de zoneamento do STD (Figura 62 e Figura 63) mostram que apenas a amostra PSL 07 está acima do valor máximo permitido para consumo humano, com concentração média de 1680 mg/L. Os mapas de zoneamento dos elementos cloreto, sódio e sulfato, para a 1ª e 2ª Campanhas, são mostrados nas Figura 64, Figura 65, Figura 66, Figura 67, Figura 68 e Figura 69.

Altos valores de nitrato se encontram principalmente relacionados às áreas mais urbanizadas (bacias de Bacanga, Paciência, Anil e Praias), onde inclusive já existem redes coletoras de esgotos. Mesmo em locais mais ermos (PSL-99 e do PSL-107, por exemplo), este fato se repete. Desta forma, em vários pontos coletados na Ilha, a água não é adequada para consumo humano sem passar por um prévio tratamento para remoção do nitrato. Este fato deve indicar possivelmente deficiências no sistema de saneamento básico na área. Os poços com elevados teores em nitrato no Aquífero São Luís provavelmente estão próximos a fontes pontuais de poluição, que se tornam mais perigosas por se encontrarem na área de um aquífero raso e vulnerável, com características que o deixam mais susceptível a uma propagação rápida do poluente. Os mapas de zoneamento do nitrato (Figura 70 e Figura 71) e do amônio (Figura 72) mostram a distribuição espacial desses valores. O mapa de zoneamento para o amônio foi elaborado apenas para o período de estiagem (novembro de 2017).

O ponto PSL-07 localiza-se em um grande galpão, na área industrial da Ilha, em estrada não pavimentada a aproximadamente 4 km da BR-135 onde são armazenados fertilizantes (NPK) e provavelmente, os valores anômalos indiquem uma contaminação a partir dessas fontes. Os poços PSL-99 e PSL-107, conforme já citado, chamam atenção por apresentarem valores altos de NO_3, NH_4 e K, quando comparados às outras amostras nas áreas urbanas. Ressalta-se ainda que os pontos PSL-07, PSL-99 e PSL-107 possuem os valores mais altos de ETR (Sm, Dy, Tm e Tb) entre todas as amostras, cujos teores elevados podem ter relação direta com o mesmo tipo de fonte de contaminante, visto existir nas suas proximidades uma indústria de fertilizantes (PSL-107 e PSL-99) e um galpão de armazenamento (PSL-07), com distâncias inferiores a 500m das captações. Recomenda-se, portanto, uma investigação detalhada nessas áreas,

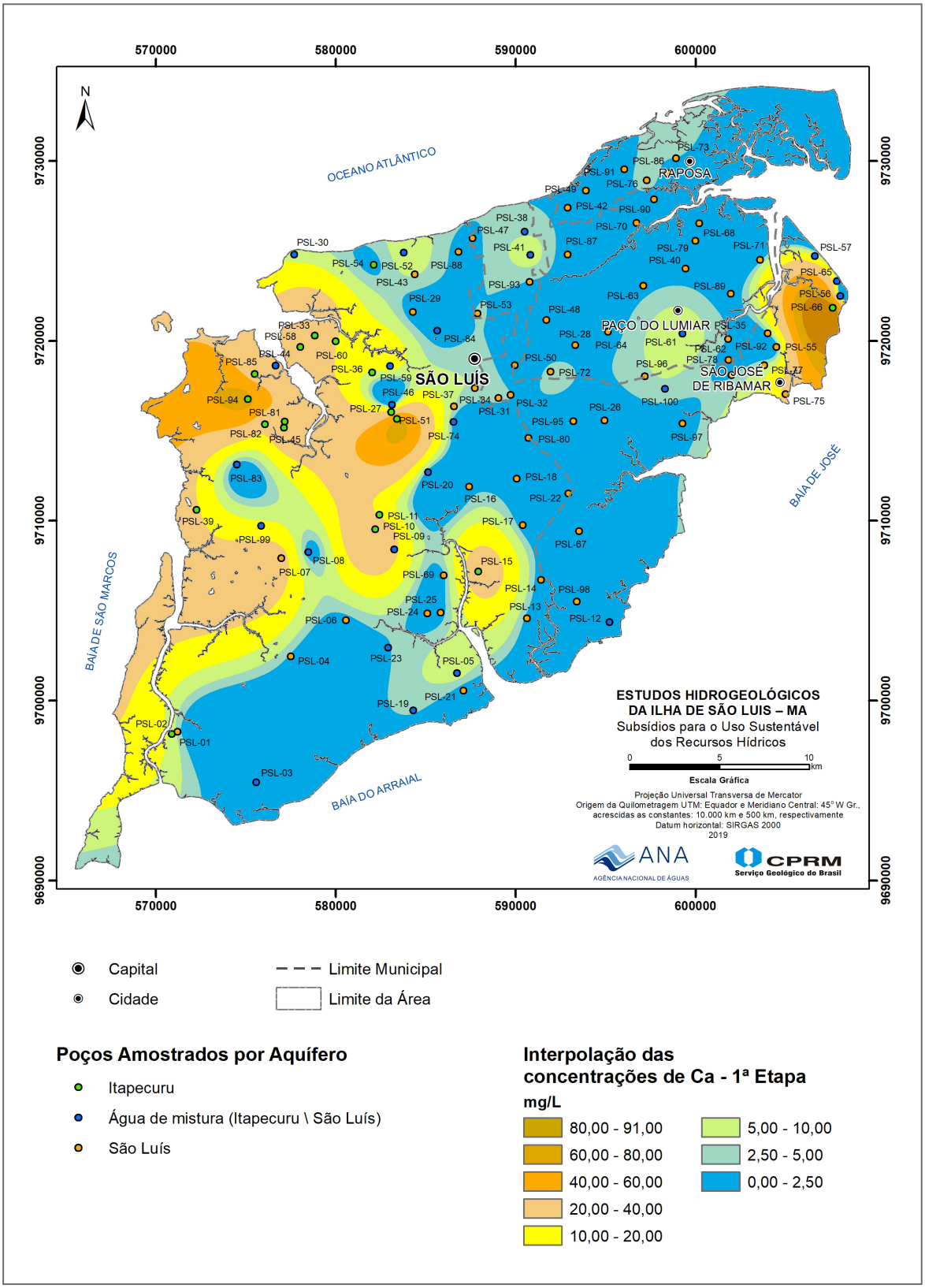


Figura 60: Mapa de Zoneamento do Cálcio (mg/L), das águas dos Aquíferos São Luís e Itapecuru e das Águas de Mistura, no período de chuva (fevereiro de 2017)

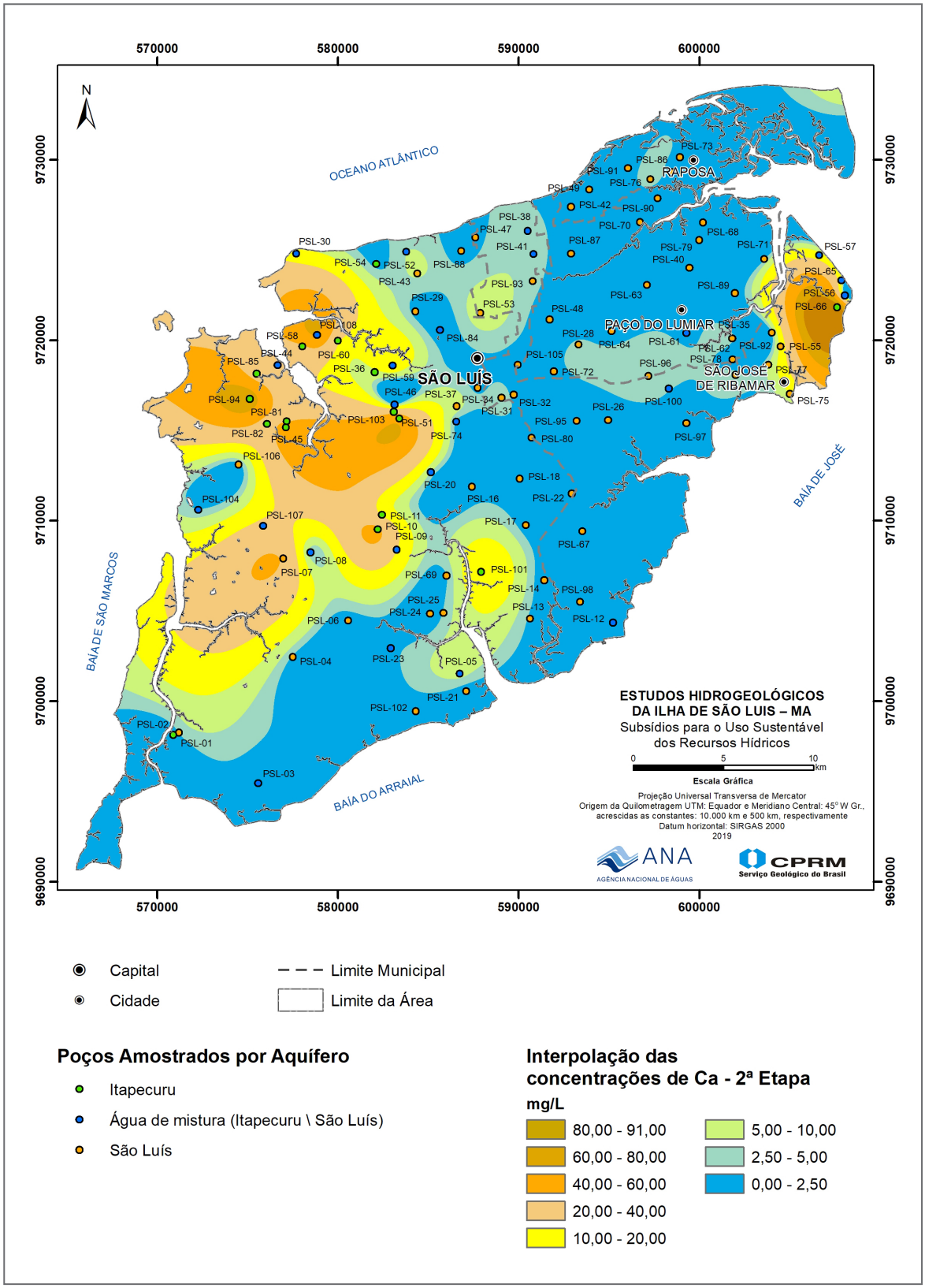


Figura 61: Mapa de Zoneamento do Cálcio (mg/L), das águas dos Aquíferos São Luís e Itapecuru e das Águas de Mistura, no período de estiagem (novembro de 2017)

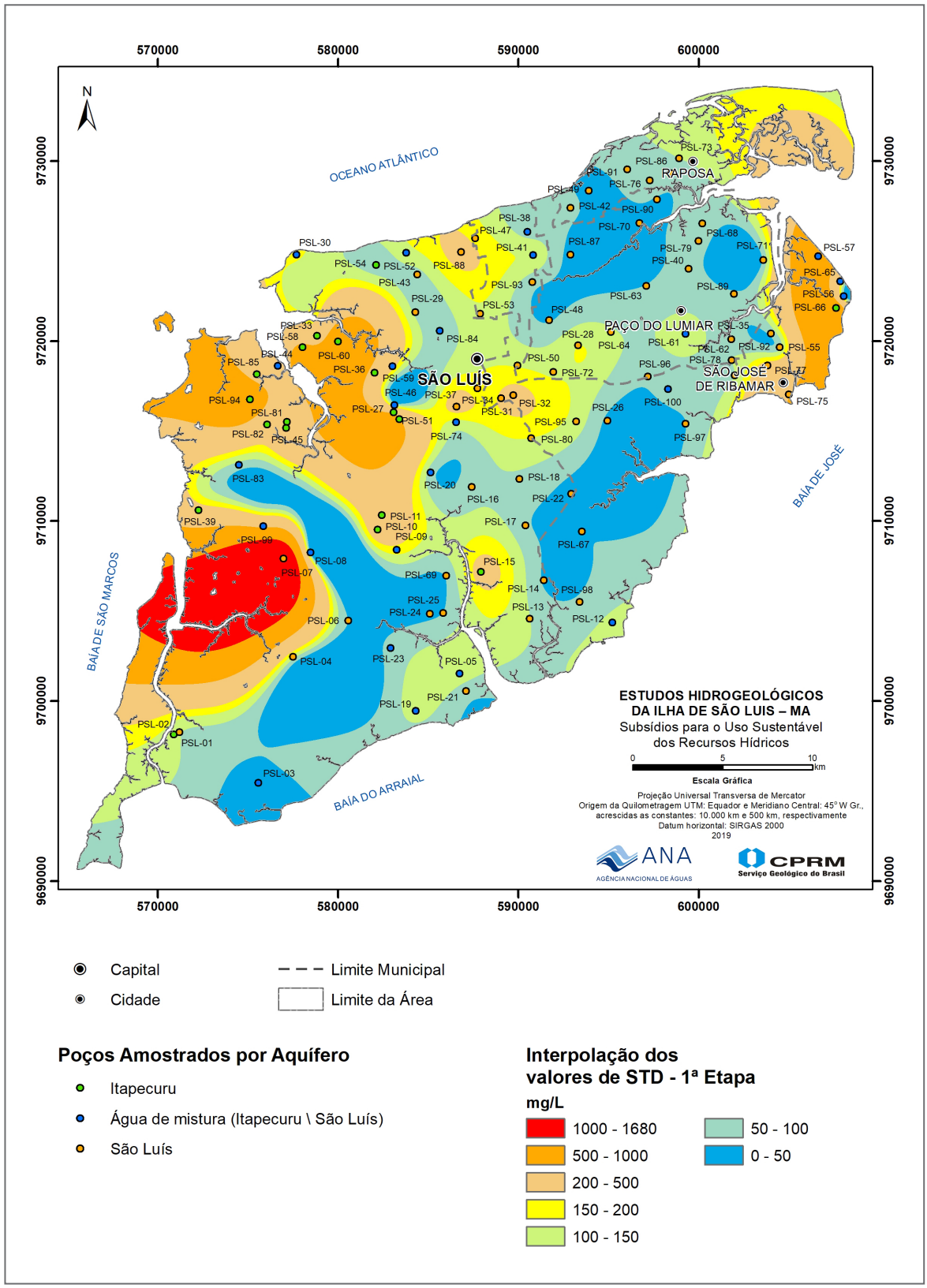


Figura 62: Mapa de Zoneamento dos Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L) de águas dos Aquíferos São Luís e Itapecuru e das Águas de Mistura, no período de chuva (fevereiro de 2017)

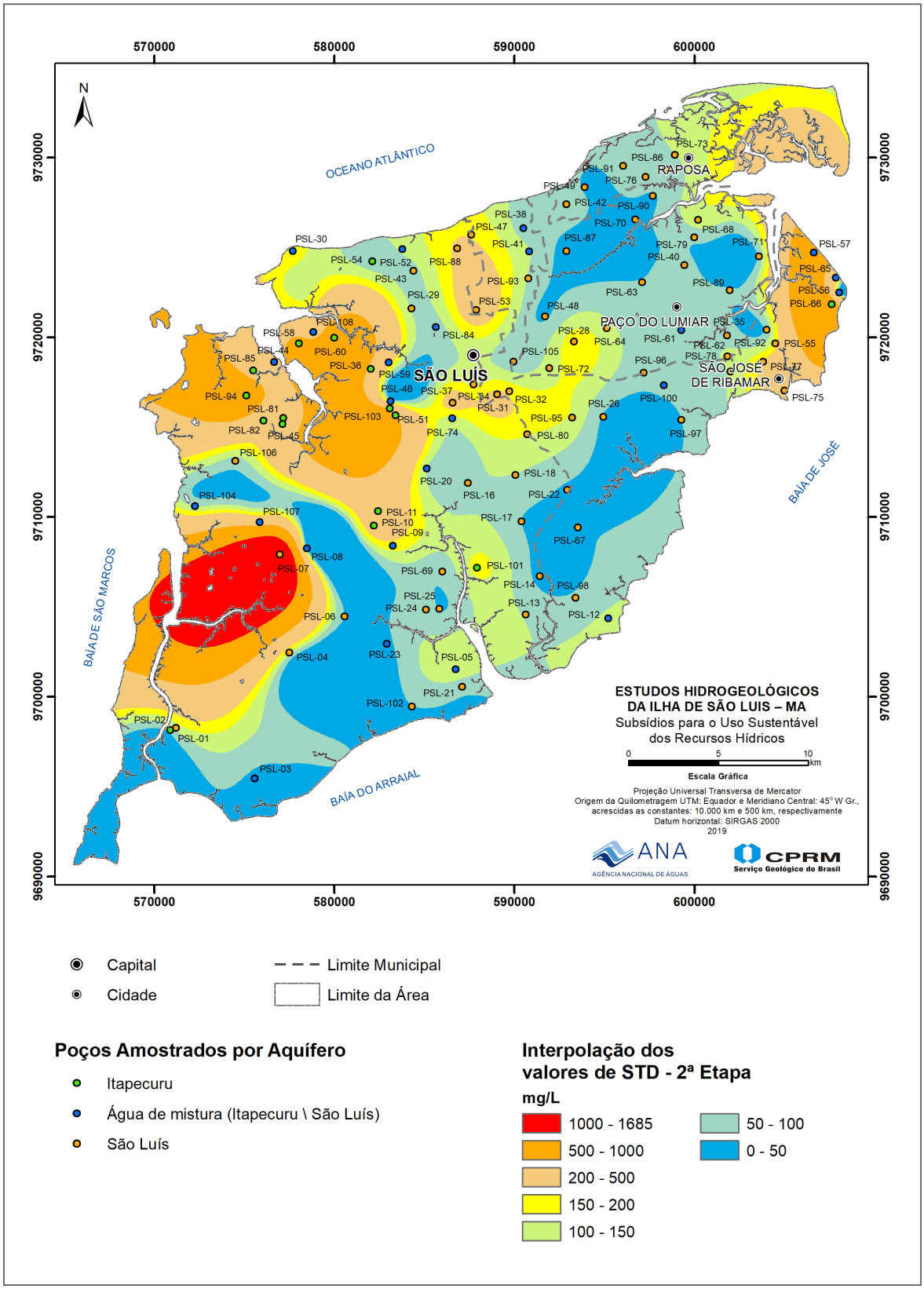


Figura 63: Mapa de Zoneamento dos Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L), de águas dos Aquíferos São Luís e Itapecuru e das Águas de Mistura, no período de estiagem (novembro de 2017)

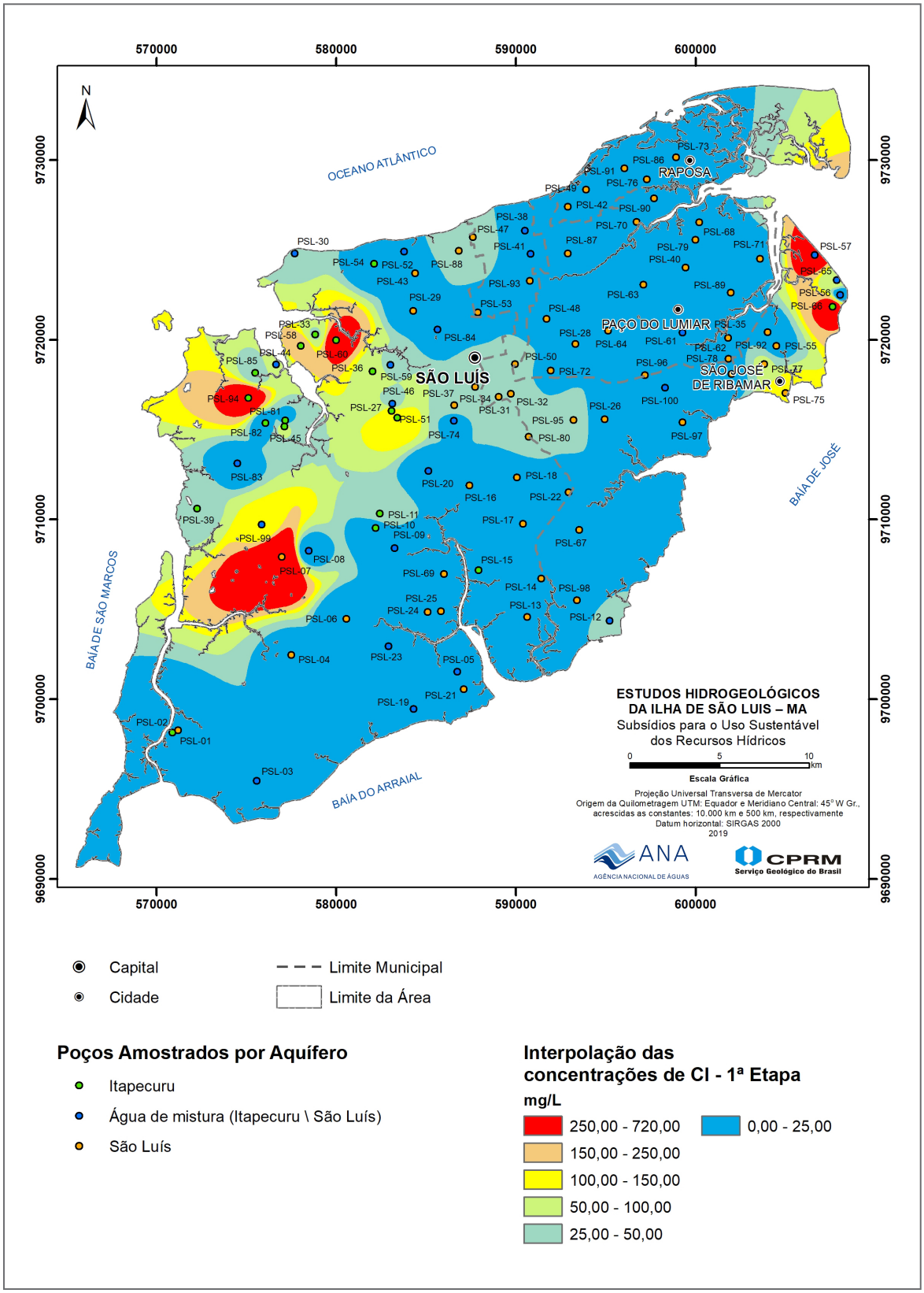


Figura 64: Mapa de Zoneamento do Cloreto (mg/L), das águas dos Aquíferos São Luís e Itapecuru e das Águas de Mistura, no período de chuva (fevereiro de 2017)

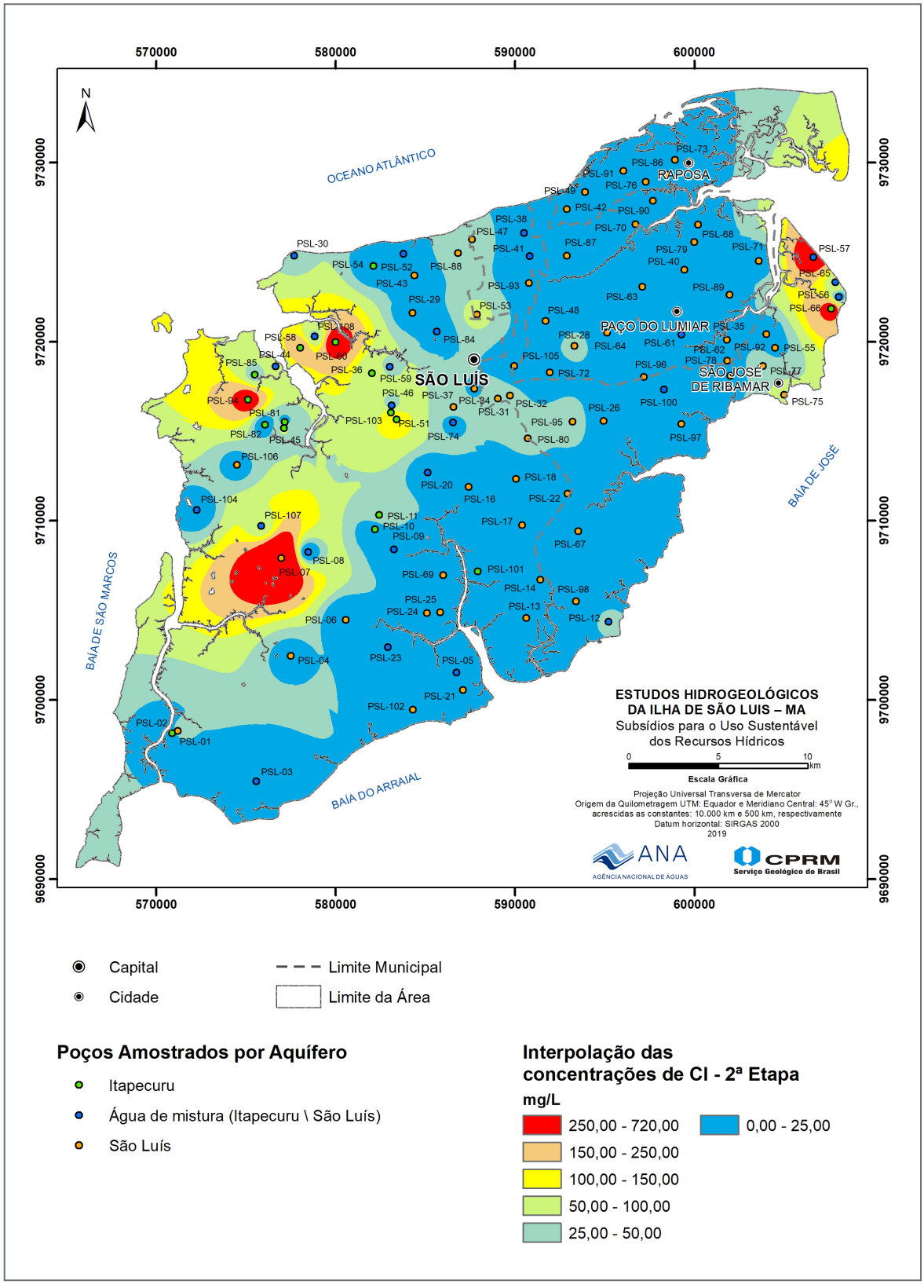


Figura 65: Mapa de Zoneamento do Cloreto (mg/L), das águas dos Aquíferos São Luís e Itapecuru e das Águas de Mistura, no período de estiagem (novembro de 2017)

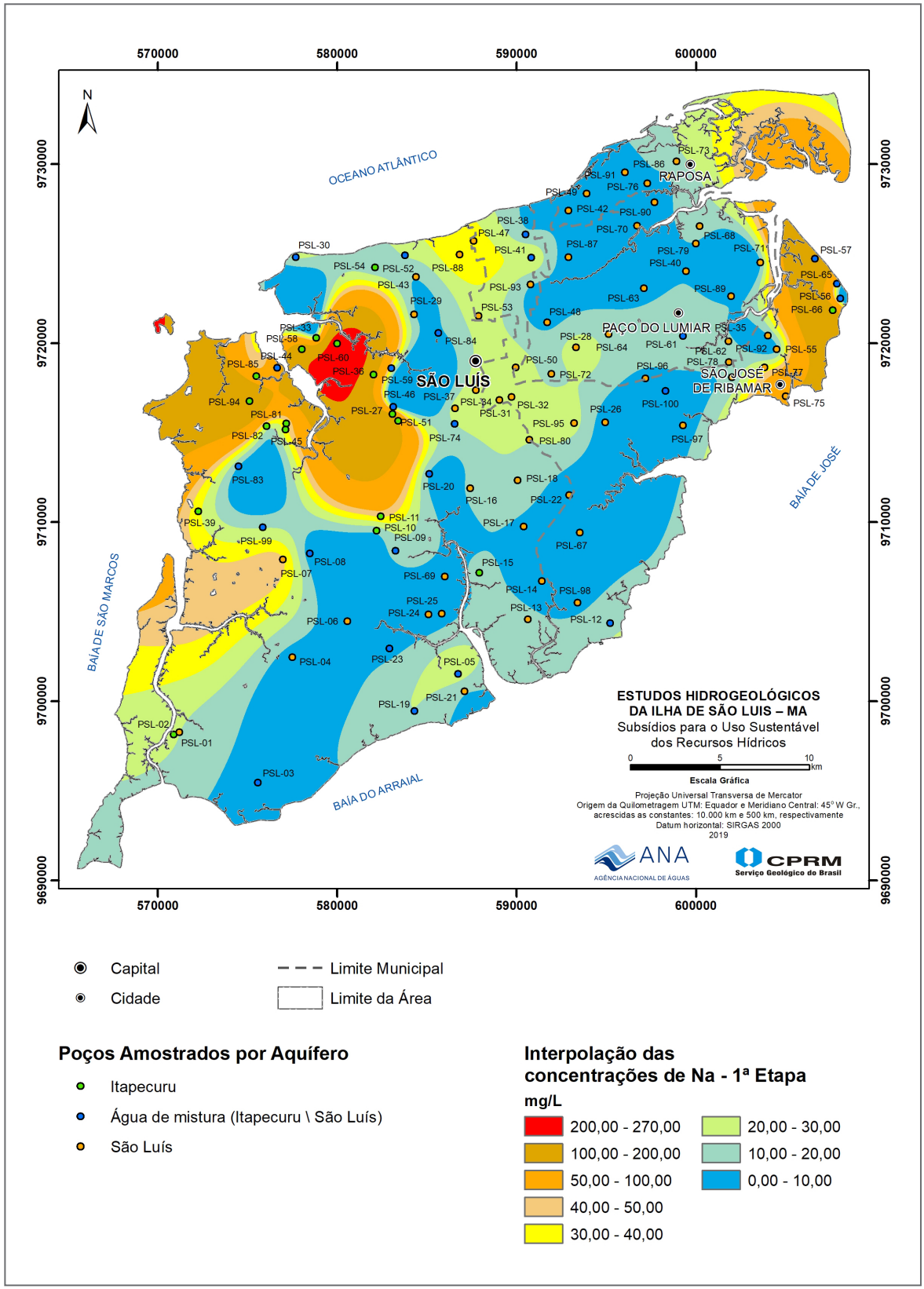


Figura 66: Mapa de Zoneamento do Sódio (mg/L), das águas dos Aquíferos São Luís e Itapecuru e das Águas de Mistura, no período de chuva (fevereiro de 2017)

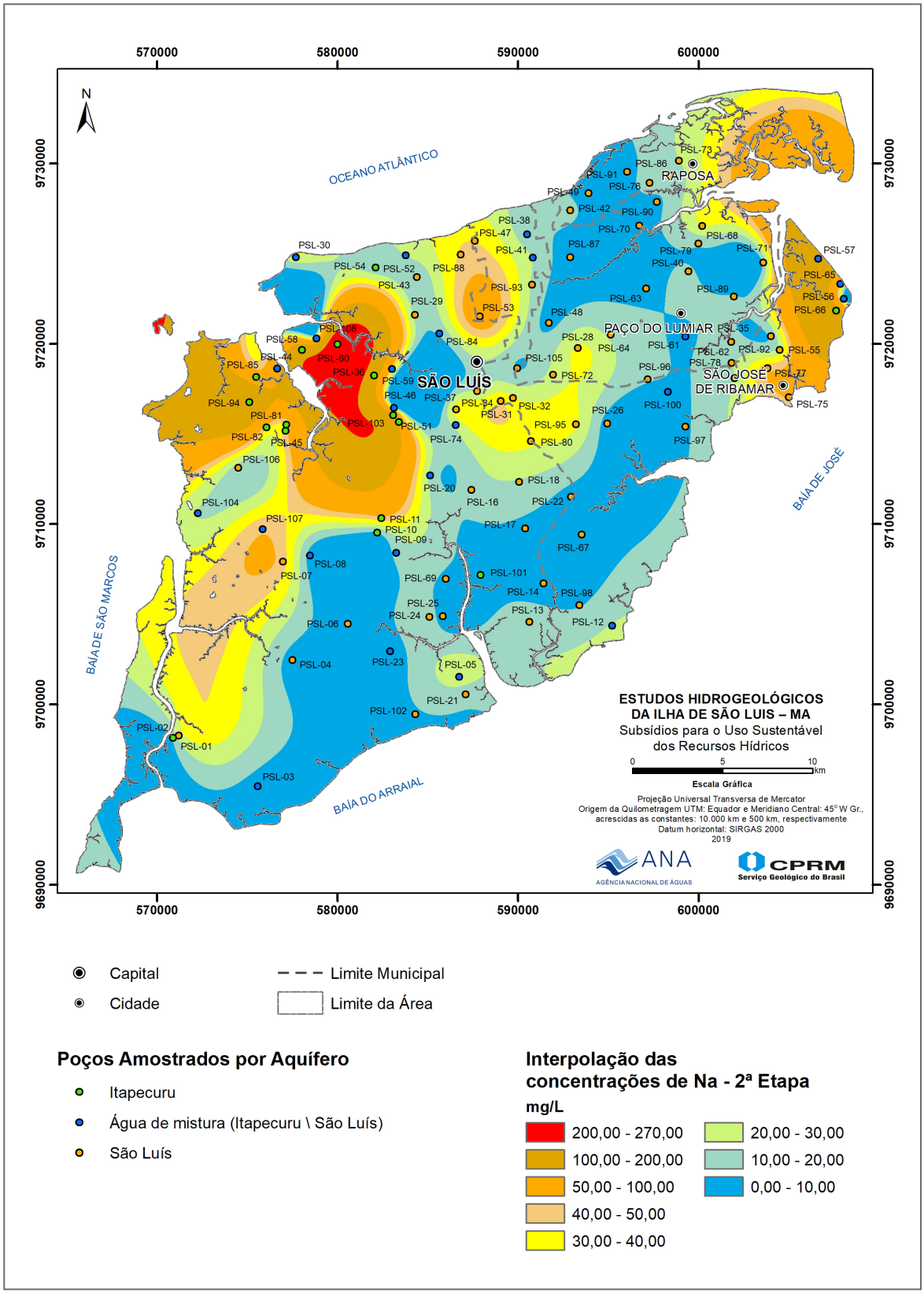


Figura 67: Mapa de Zoneamento do Sódio (mg/L), das águas dos Aquíferos São Luís e Itapecuru e das Águas de Mistura, no período de estiagem (novembro de 2017)

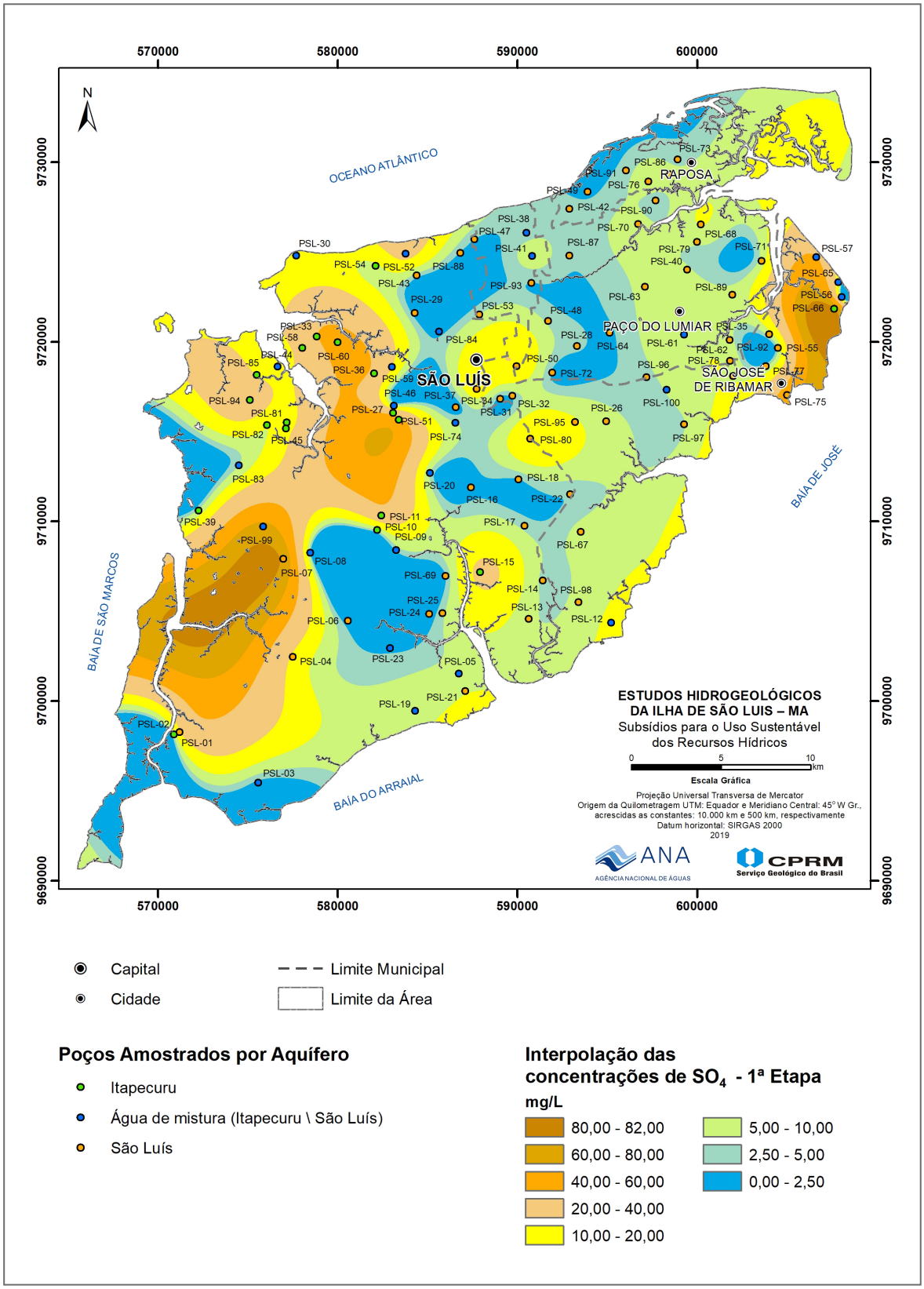


Figura 68: Mapa de Zoneamento do Sulfato (mg/L), das águas dos Aquíferos São Luís e Itapecuru e das Águas de Mistura, no período de chuva (fevereiro de 2017)

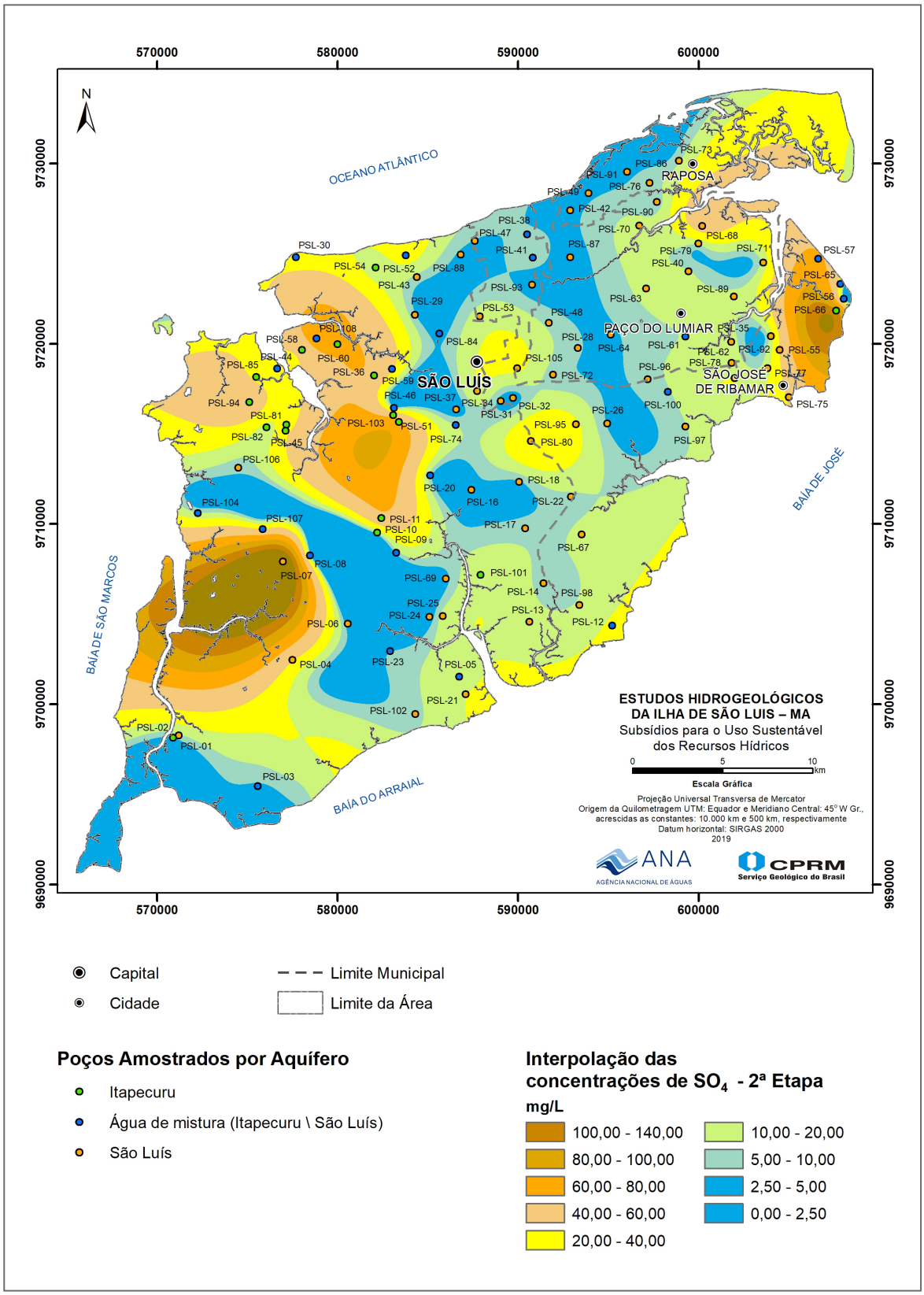


Figura 69: Mapa de Zoneamento do Sulfato (mg/L), das águas dos Aquíferos São Luís e Itapecuru e das Águas de Mistura, no período de estiagem (novembro de 2017)

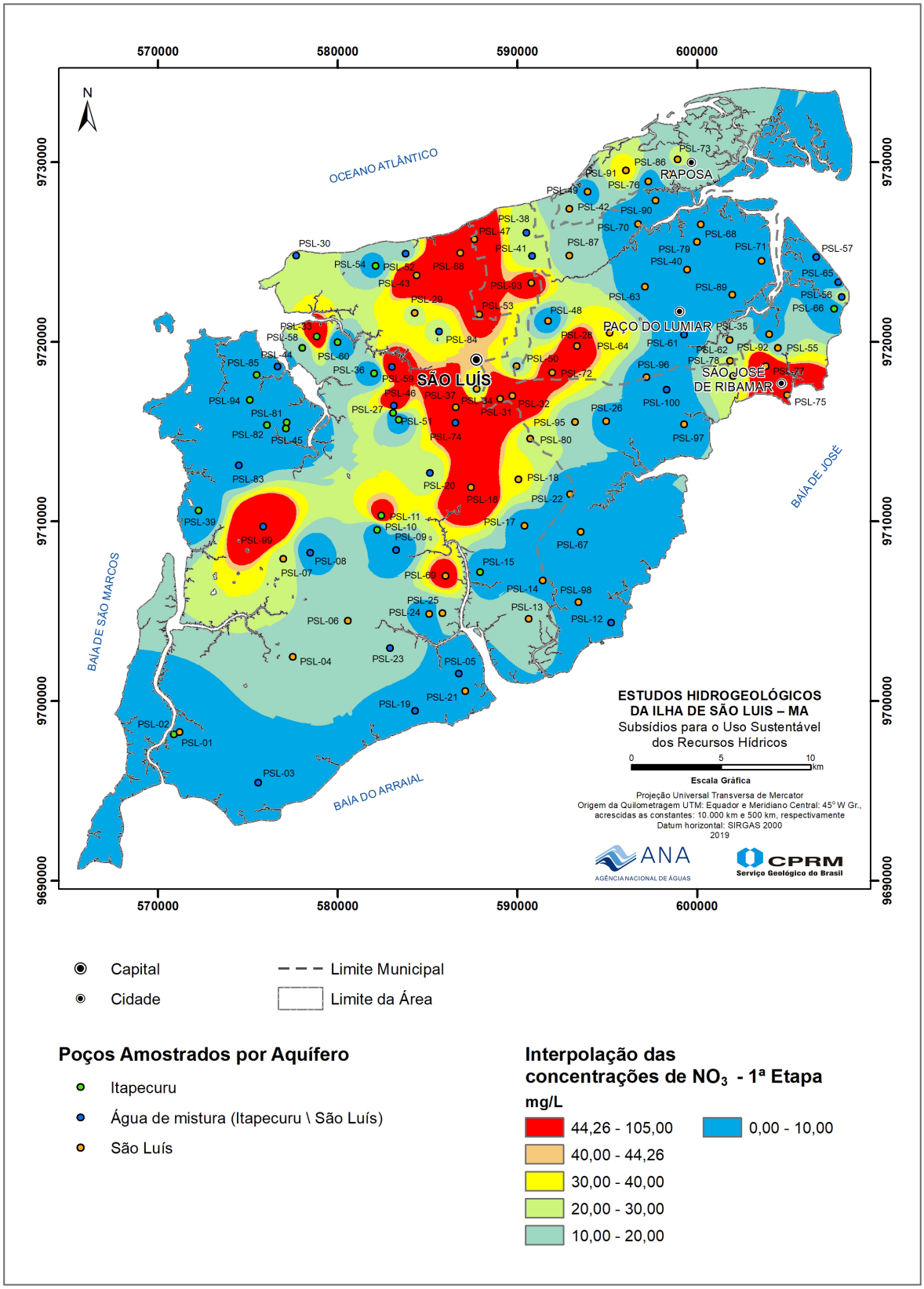


Figura 70: Mapa de Zoneamento do Nitrato (mg/L), das águas dos Aquíferos São Luís e Itapecuru e das Águas de Mistura, no período de chuva (fevereiro de 2017)

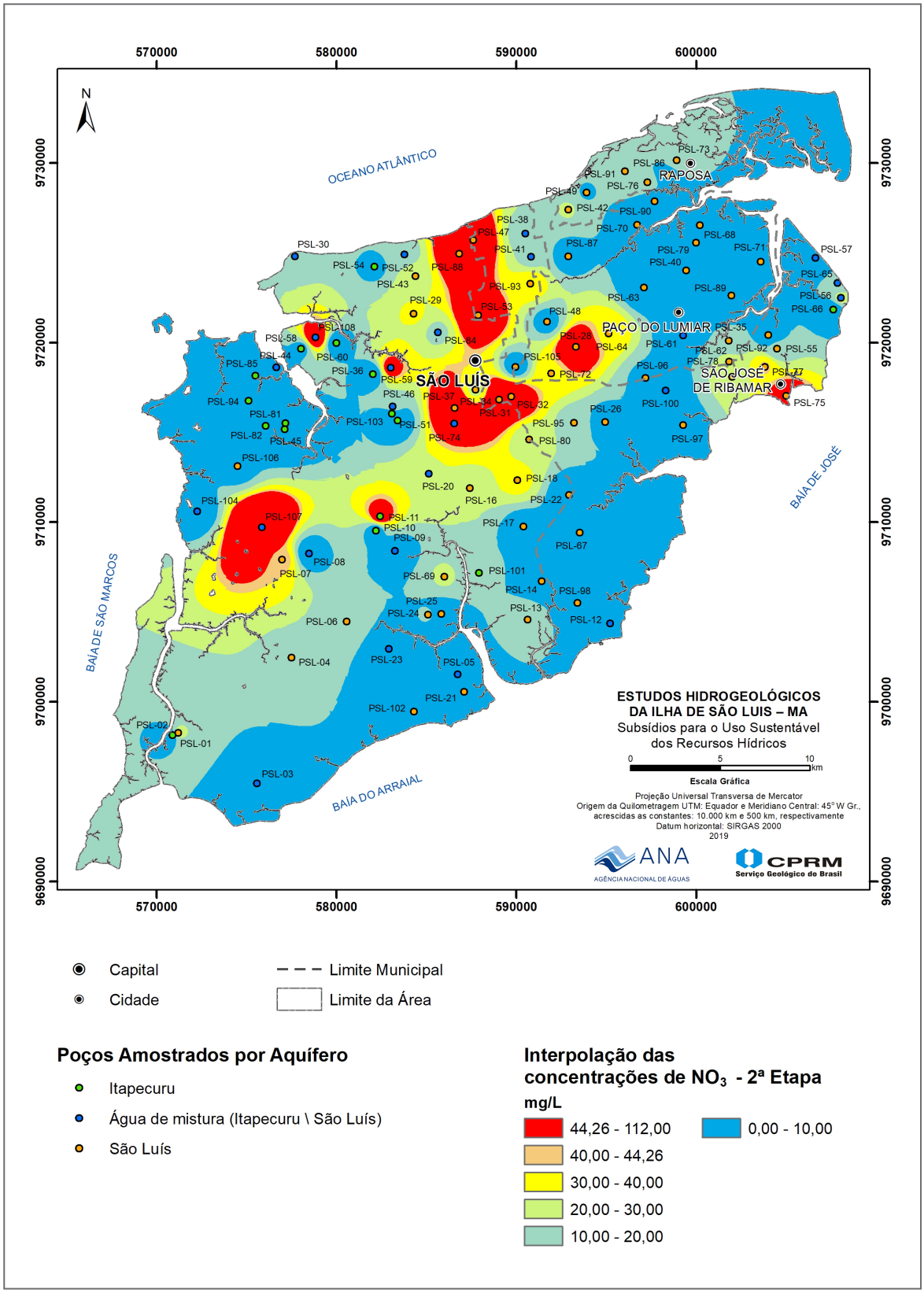


Figura 71: Mapa de Zoneamento do Nitrato (mg/L), das águas dos Aquíferos São Luís e Itapecuru e das Águas de Mistura, no período de estiagem (novembro de 2017)

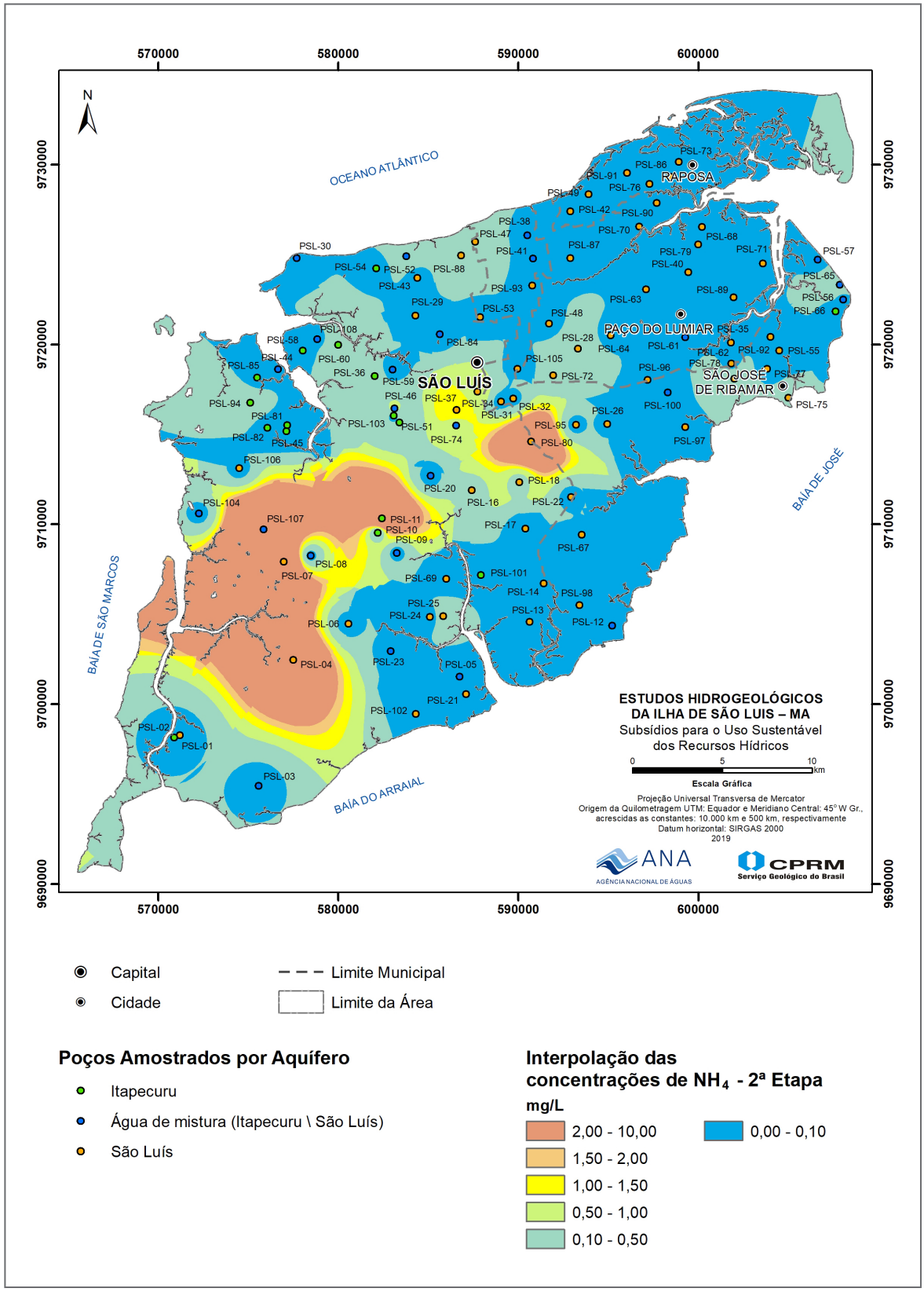


Figura 72: Mapa de Zoneamento do Amônio (mg/L), das águas dos Aquíferos São Luís e Itapecuru e das Águas de Mistura, no período de estiagem (novembro de 2017)

onde foram detectados elevados indícios de contaminação por fontes pontuais de poluição (galpão de armazenamento e indústria de fertilizantes), analisando os mesmos poços citados neste estudo, além de incluir novos poços nos arredores da área.

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, sulfato etc, 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 já relatados anteriormene. 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.

3.6. PARÂMETROS ESPECÍFICOS

3.6.1. Coliformes Totais e Fecais

Os organismos mais comumente utilizados como indicadores de contaminação fecal são as bactérias do grupo coliforme. A determinação da concentração de coliformes assume importância como parâmetro indicador da possibilidade da existência de microrganismos patogênicos, responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica.

Sabe-se que quantidades elevadas de bactérias podem causar risco sério à saúde dos consumidores. Portanto, a presença de coliformes nas águas indica grande risco da presença de microrganismos patogênicos. As análises indicaram a presença de coliformes totais em 11 amostras das 42 analisadas (Figura 73) e coliformes fecais em apenas uma 01 amostra, a PSL-23 (ANEXO 8). Para água potável estes valores excedem o máximo permitido pela PRC n° 5, de 28 de setembro de 2017, que é de ausência de coliformes termotolerantes em 100 mililitros.

Nos resultados obtidos destaca-se a amostra PSL-23, que corresponde a uma nascente, apresentando coliformes fecais e o mais alto valor de coliformes totais (1.978/100 mL), ressaltando assim uma péssima proteção sanitária em seu entorno.

A presença de coliformes nas amostras PSL-59, PSL-64, PSL-69, PSL-73, PSL-88 e PSL-107 está relacionada com elevados teores de nitrato. As amostras PSL-13, PSL-14, PSL-73, PSL-79 e PSL-88 foram extraídas de poços sem proteção sanitária adequada e em precário estado de manutenção e conservação das estruturas construtivas, como calçadas de proteção, bombas, tampas, tubulações etc., condições que favoreceram a disseminação dos coliformes.

A presença de coliformes fecais pode ser utilizada como bioindicador da qualidade da água utilizada para consumo humano. Além disso, é cada vez maior a necessidade de um controle da água para consumo humano, com a finalidade de prevenir a ingestão de agentes microbianos que podem ser potenciais causadores de doenças para a população.

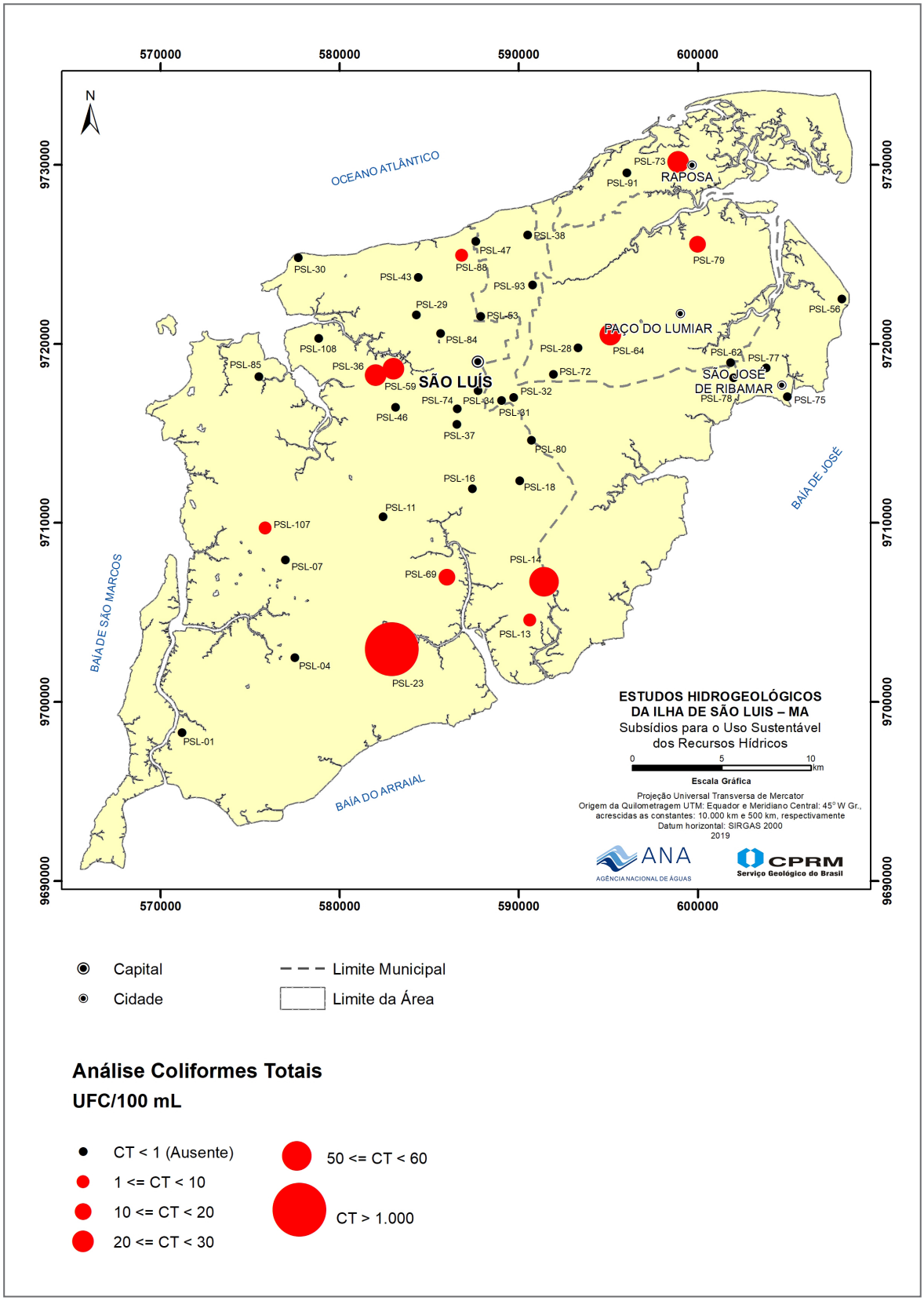


Figura 73: Mapa de coliformes totais na Ilha de São Luís no período de estiagem (novembro, 2017)

3.6.2. Elementos-Traço

Os resultados das análises de elementos-traço nos aquíferos da Ilha de São Luís mostram que eles ocorrem em concentrações muito baixas (em 99 % das amostras). Entre eles incluem-se os metais pesados, termo geralmente empregado para designar tanto os elementos com densidade maior de 5 g/cm^3 como aqueles que também são tóxicos em concentrações muito pequenas, como o arsênio (metaloide), antimônio (metaloide), selênio (não metal), etc.

Elementos-traço já estão presentes naturalmente na composição mineral das rochas e dos solos, sendo liberados pela ação dos processos intempéricos. Suas concentrações geralmente são baixas (exceto em áreas anômalas, como em jazidas), com uma concentração média de 100 mg/kg (Alloway, 1995). Os locais de fixação final destes elementos-traços são os solos, entretanto, dependendo das condições químicas do solo estes podem ser lixiviados e atingirem o lençol freático. Os elementos-traço podem estar presentes nas formas livre, complexada ou precipitada, sendo que sua solubilidade depende de vários fatores, dentre eles: pH, Eh, concentração de agentes complexantes e da força iônica da solução.

Todas as amostras apresentaram teores menores que os valores máximos permitidos para águas potáveis nos seguintes elementos: Ba, Cu, Cr, Ni, Zn, As, Cd, Sb e Hg. Os elementos B, Br, Co, Li, Mo, Sr, Ti, V, Be, Sn e Ag apresentaram teores muito baixos (ANEXO 9).

A Tabela 29 mostra os valores de referência para potabilidade da água de acordo com a PRC n° 5, de 28 de setembro de 2017, ANEXO XX, do Ministério da Saúde.

Tabela 29: Valores de referência de elementos-traço para potabilidade da água de acordo com a PRC n° 5, de 28 de setembro de 2017, ANEXO XX, do Ministério da Saúde

ELEMENTOS	PB	CD	AL	MN	BA	CU	SE	NI	ZN	AS	SB	HG
VMP (mg/L)	0,01	0,005	0,2	0,1	0,7	2	0,01	0,07	5	0,01	0,005	0,001

A Figura 74 mostra o mapa com a localização de todos os pontos que apresentaram teores acima do Valor Máximo Permitido para alumínio, manganês, chumbo e selênio.

Os teores de alumínio variaram de um mínimo de 0 a um máximo de 10,42 mg/L (PSL-07). Este elemento ficou em 18% das amostras acima do estabelecido (0,2 mg/L) para águas potáveis. Segundo Pohling (2009), o consumo de alimentos que estiveram em contato com alumínio, sob o ponto de vista toxicológico, não causa maiores problemas à saúde, no entanto, a ingestão em concentrações excessivas é muito perigosa.

Os teores de manganês variaram de 0 a 0,561 mg/L (PSL-05). Este elemento ficou com 12% das amostras acima do estabelecido (0,1 mg/L) para águas potáveis. De acordo com Pohling (2009), o manganês está presente em muitos solos e sedimentos, geralmente é associado aos minerais de ferro, e sua ocorrência em abastecimento público é mais um problema econômico do que um perigo a saúde, pois como o ferro, deixa manchas escuras nas roupas, louças e tende a se depositar em tubulações de sistemas de distribuição de água e em instalações sanitárias.

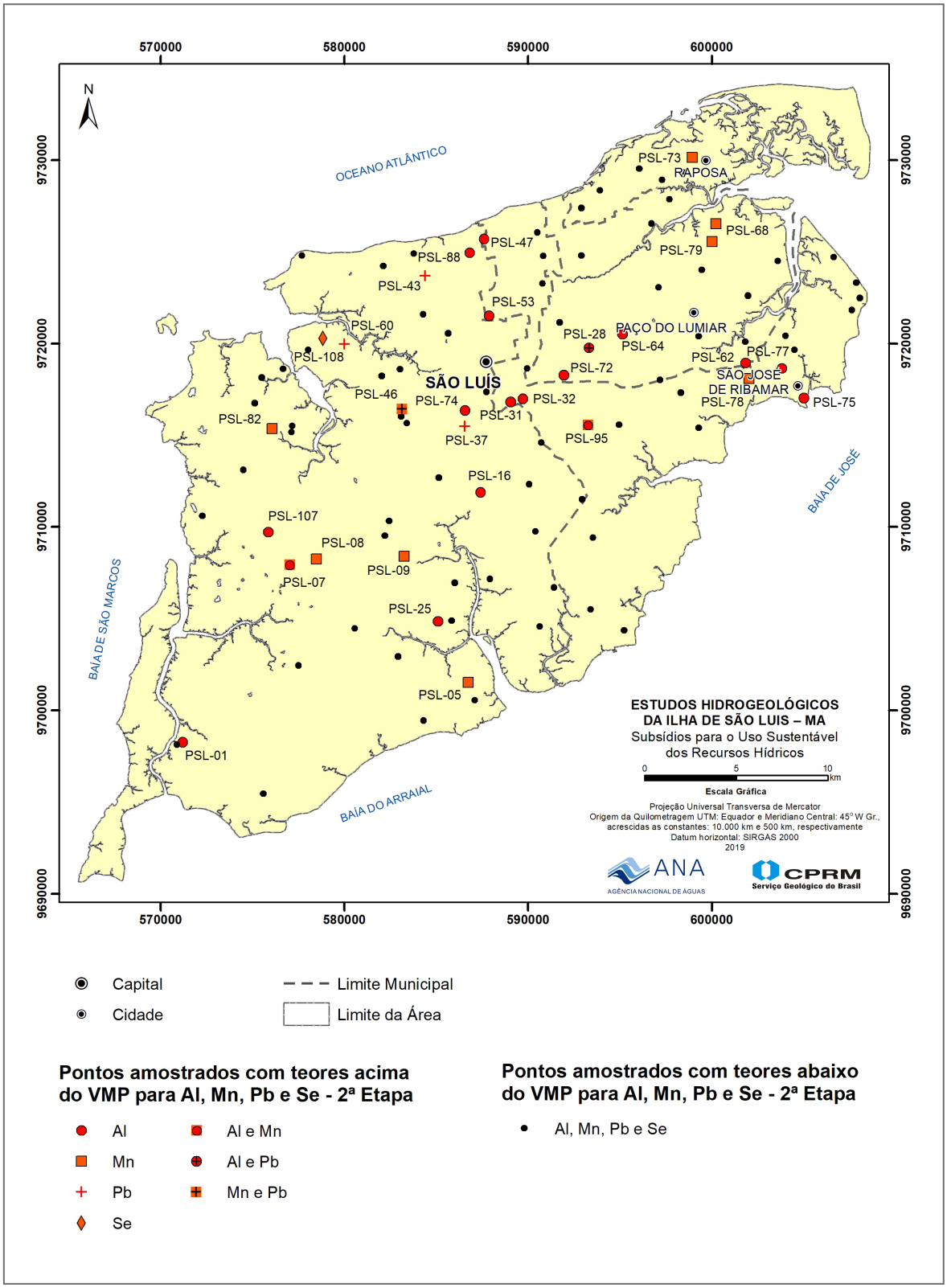


Figura 74: Pontos amostrados apresentaram teores acima do VMP para Al, Mn, Pb e Se

Os teores de chumbo variaram de um mínimo de 0 a um máximo de 0,026 mg/L. Este elemento ficou com 5% das amostras acima do estabelecido (0,01 mg/L) para águas potáveis. Fenzl (1986) analisa que devido à pequena mobilidade geoquímica do chumbo, suas concentrações nas águas naturais são baixas. A ingestão deste elemento pode provocar a morte.

O selênio apresentou valores que variaram de 0 a 0,015 mg/L. Este elemento ficou, em 1% das amostras, acima do estabelecido (0,01 mg/L) para águas potáveis. Segundo Feitosa *et al.* (2008), o excesso de selênio provoca aumento de incidência de cárie dentária, atrofia muscular e é carcinógeno.

As atividades industriais e municipais das grandes cidades produzem diariamente grandes quantidades de resíduos sólidos urbanos (RSU), sendo um dos grandes problemas da atualidade, não só por seu alto potencial poluidor, como também pelo agravamento que representam à questão de esgotamento dos recursos naturais.

Dentre as fontes de contaminação de aquíferos, esses resíduos sólidos urbanos desempenham um papel da mais alta importância, pois a carga contaminante produzida (lixiviado) traz consigo elementos nocivos, destacando-se os elementos traços.

Considerando-se a disposição indiscriminada de lixo a céu aberto na Ilha e São Luís, é possível que o lixiviado produzido a partir dos resíduos sólidos seja a fonte dos elementos-traço presente nas águas subterrâneas, principalmente os casos de alumínio e chumbo, cujas amostras com concentrações mais elevadas encontram-se sempre em áreas urbanizadas.

Alerta-se que os aquíferos são muito menos vulneráveis à poluição do que as águas superficiais, mas, uma vez contaminados, a recuperação, dependendo do tipo de contaminante, pode levar muitos anos e até mesmo tornar-se economicamente inviável. Pesquisas mais detalhadas sobre sua ocorrência, aliados a erradicações dos lixões urbanos urgem de serem implementadas, visando evitar essas ocorrências.

3.6.3. BTEX e Fenóis

Segundo Feitosa *et al.* (2008), os BTEX, representados por benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos etc., são substâncias tóxicas perigosas, e quando presentes nas águas, as tornam impróprias para consumo humano. Os efeitos à saúde humana, causados por estes hidrocarbonetos são geralmente nocivos e graves.

Ainda de acordo com Feitosa *et al.* (2008), os fenóis são substâncias bastante tóxicas, que são rapidamente degradadas no subsolo. Os compostos fenólicos mais frequentemente encontrados nas águas subterrâneas são os hidróxidos derivados do benzeno. Estes agentes poluentes geralmente são provenientes de rejeitos de águas industriais, oxidação de pesticidas etc.

Os resultados das análises de BTEX e fenóis nos aquíferos da Ilha de São Luís mostram que essas substâncias se apresentaram com teores abaixo dos valores de limites de quantificação para todas as amostras analisadas.

3.7. ADEQUAÇÃO PARA IRRIGAÇÃO

Na classificação das águas para irrigação, determinada nos diagramas da Figura 75 e da Figura 76 é mostrado que a maioria das amostras (97 %) se enquadra na categoria S1, águas com baixa concentração de sódio, que podem ser usadas para irrigação em quase todos os tipos de solo. Quanto ao risco de salinidade, este vai de nulo (C0) a muito alto (C4) (Tabela 30), com 91 % das amostras apresentando risco de salinidade abaixo do risco médio (C2). O ANEXO 10 apresenta a classificação individual dos pontos de coleta por período de amostragem.

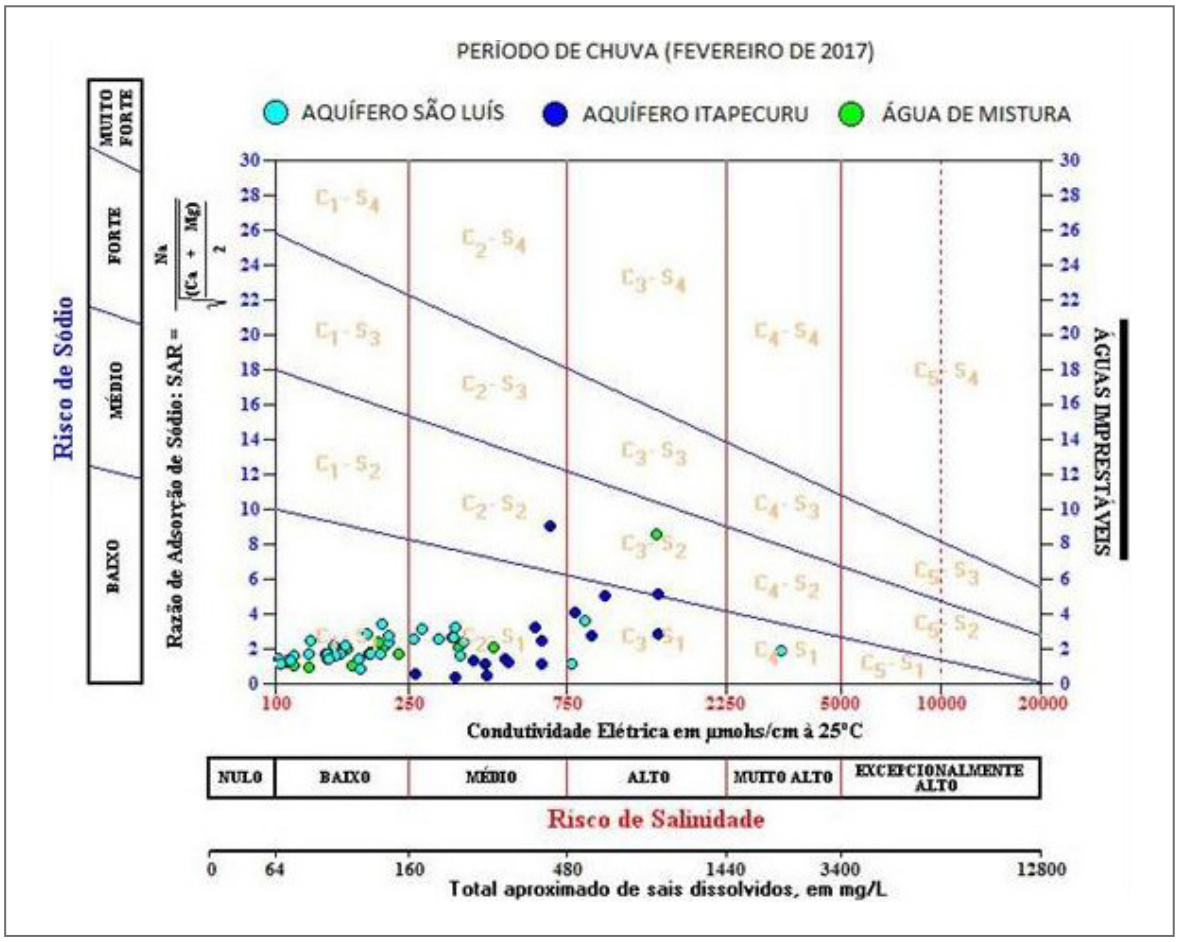


Figura 75: Classificação das águas dos aquíferos da Ilha de São Luís para fins de irrigação, segundo o diagrama do USSL, com amostragens em fevereiro de 2017

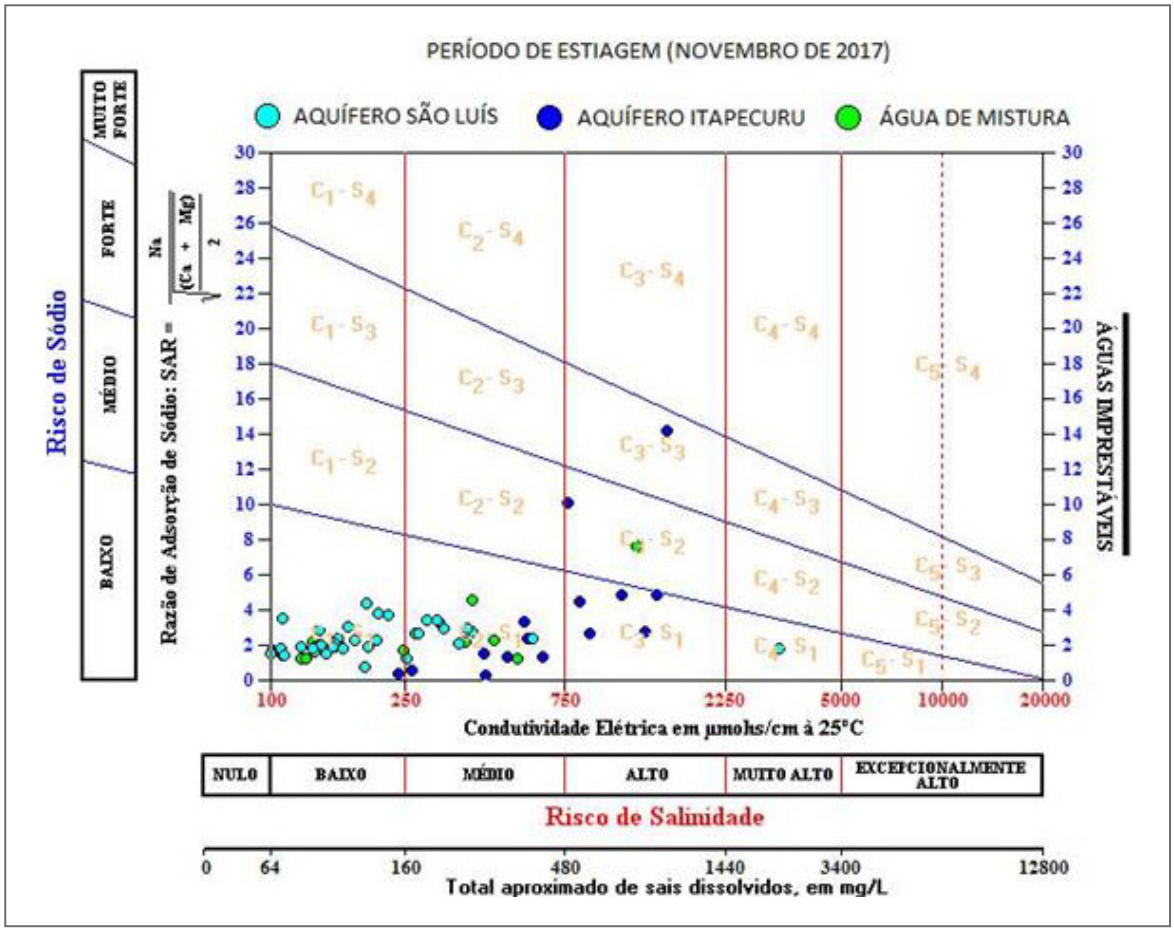


Figura 76: Classificação das águas dos aquíferos da Ilha de São Luís para fins de irrigação, segundo o diagrama do USSL, com amostragens em novembro de 2017

Tabela 30: Classes de água para fins de irrigação dos aquíferos da Ilha de São Luís

PERÍODO DE CHUVA (FEVEREIRO/2017)			PERÍODO DE ESTIAGEM (NOVEMBRO/2017)		
CLASSE	NÚMERO DE AMOSTRAS	%	CLASSE	NÚMERO DE AMOSTRAS	%
$C_0 - S_1$	36	36	$C_0 - S_1$	35	35
$C_1 - S_1$	34	34	$C_1 - S_1$	34	34
$C_2 - S_1$	20	20	$C_2 - S_1$	22	22
$C_2 - S_2$	1	1	$C_3 - S_1$	5	5
$C_3 - S_1$	6	6	$C_3 - S_2$	2	2
$C_3 - S_2$	2	2	$C_3 - S_3$	1	1
$C_4 - S_1$	1	1	$C_4 - S_1$	1	1
TOTAL	100	100	TOTAL	100	100

3.8. ANÁLISE DE AGRUPAMENTO

A identificação de similaridade na qualidade das águas subterrâneas da Ilha de São Luís foi realizada aplicando técnicas de análise de agrupamento. A análise de agrupamento ou Cluster tem por objetivo a divisão de um conjunto de dados em grupos que tenham coesão interna e sejam heterogêneos entre si. Assim, é necessário o uso de medidas de similaridade entre os elementos amostrais empregando as características que foram medidas. No presente caso, cada poço é um elemento amostral e os resultados das análises de qualidade da água são as características medidas. Dentre as medidas de similaridade/dissimilaridade mais utilizadas destacam-se a distância Euclidiana, a distância generalizada ou ponderada e a distância de Minkowsky. Na realização deste estudo foi empregada a distância Euclidiana como medida de similaridade/dissimilaridade.

As técnicas para construção de conglomerados, grupos ou clusters podem ser hierárquicas ou não hierárquicas. A propriedade de hierarquia se refere ao fato de que em cada estágio do algoritmo o novo conglomerado é o agrupamento dos conglomerados formados nos estágios anteriores e que os elementos amostrais agrupados não poderão ser separados. Os métodos não hierárquicos permitem a permuta dos elementos amostrais entre os conglomerados a cada passo do algoritmo. Neste estudo foi utilizado um algoritmo hierárquico.

A propriedade de hierarquia permite a elaboração de um gráfico que representa a árvore ou a história dos agrupamentos. Este gráfico é o Dendograma. No eixo Vertical tem-se a distância do agrupamento ou o nível de similaridade, enquanto no eixo horizontal são marcados os elementos amostrais numa ordem conveniente relacionada a história de agrupamento.

As técnicas hierárquicas mais aplicadas são as aglomerativas, ou seja, o processo se inicia considerando cada elemento amostral como um grupo e, em seguida, os elementos amostrais são agrupados para formar novos conglomerados até que ao final do processo é formado um único grupo com todos os elementos. Dentre os vários métodos hierárquicos aglomerativos foi empregado o Método de Ward (mínima variância).

Como não houve grandes diferenças entre as estatísticas descritivas das coletas de fevereiro e novembro de 2017, a análise de agrupamento foi efetuada com os resultados das análises de qualidade da água (QA) das amostras coletadas no período seco, em nov/17, sendo realizadas as seguintes etapas:

a) Os parâmetros que compuseram o vetor de variáveis/características do poço foram: Na (mg/L); K (mg/L); Ca (mg/L); Mg (mg/L); Cl (mg/L); CO_3 (mg/L); HCO_3 (mg/L); SO_4 (mg/L); CE (μS/cm); pH; Turbidez (UT); STD (mg/L); Dureza (mg/L); Cor U. Hazen; Fe (mg/L); Mn (mg/L); NO_3 (mg/L); NO_2 (mg/L); NH_4 (mg/L);

b) As variáveis que representam o vetor de características do poço são medidas em unidades diferentes, ou seja, os resultados da análise de QA com diferentes unidades de medida. Sendo assim, para não impor distorções à análise de cluster, os dados foram escalonados pela seguinte relação: [(Valor medido – Média) /Desvio padrão];

c) Os valores escalonados permitiram a montagem da matriz de similaridade entre os poços. A similaridade foi calculada entre os poços, dois de cada vez, por meio da distância Euclidiana:

$$d_{x,y} = \sqrt{\sum (x_i - y_i)^2}$$

d) Um algoritmo hierárquico empregando o método de Ward (Ward, 1963) foi aplicado a matriz de similaridade obtida no item anterior com o objetivo de agrupar os elementos amostrais de maior similaridade. Os resultados podem ser visualizados no dendograma da Figura 77.

e) A definição do número de grupos foi realizada considerando a distância de corte associada à formação do primeiro grupo com um grande número de elementos. Neste caso, aquela associada ao aglomeramento dos poços PSL-73 até o PSL-93, ou seja, distância igual a 14,1 no dendograma com 62 elementos. Esta distância permite a identificação de 8 grupos distintos, como apresentado no dendograma. No agrupamento adotado, o poço PSL-07 forma um único grupo, refletindo as constatações descritas nos itens anteriores. A Tabela 31 apresenta os grupos formados. A distribuição espacial dos grupos pode ser visualizada na Figura 78.

Tabela 31: Agrupamento de pontos de amostragens

GRUPO	N	PONTOS DE AMOSTRAGEM
01	62	PSL-01; PSL-06; PSL-08; PSL-12; PSL-13; PSL-14; PSL-16; PSL-17; PSL-18; PSL-20; PSL-21; PSL-22; PSL-23; PSL-25; PSL-26; PSL-29; PSL-30; PSL-34; PSL-35; PSL-38; PSL-40; PSL-41; PSL-42; PSL-43; PSL-46; PSL-48; PSL-49; PSL-52; PSL-54; PSL-55; PSL-56; PSL-61; PSL-62; PSL-63; PSL-64; PSL-65; PSL-67; PSL-68; PSL-69; PSL-70; PSL-71; PSL-72; PSL-73; PSL-76; PSL-78; PSL-79; PSL-84; PSL-86; PSL-87; PSL-89; PSL-90; PSL-91; PSL-92; PSL-93; PSL-95; PSL-96; PSL-97; PSL-98; PSL-100; PSL-102; PSL-104; PSL-106.
02	4	PSL-02; PSL-03; PSL-05; PSL-24
03	4	PSL-04; PSL-11; PSL-80; PSL-107
04	1	PSL-07
05	4	PSL-09; PSL-37; PSL-101; PSL-105
06	9	PSL-10; PSL-36; PSL-44; PSL-45; PSL-51; PSL-81; PSL-82; PSL-85; PSL-103
07	11	PSL-28; PSL-31; PSL-32; PSL-47; PSL-53; PSL-59; PSL-74; PSL-75; PSL-77; PSL-88; PSL-108
08	5	PSL-57; PSL-58; PSL-60; PSL-66; PSL-94

Sem Destaque - Aquífero São Luís; Destaque em amarelo- Captação Mista; Destaque em verde - Aquífero Itapecuru.

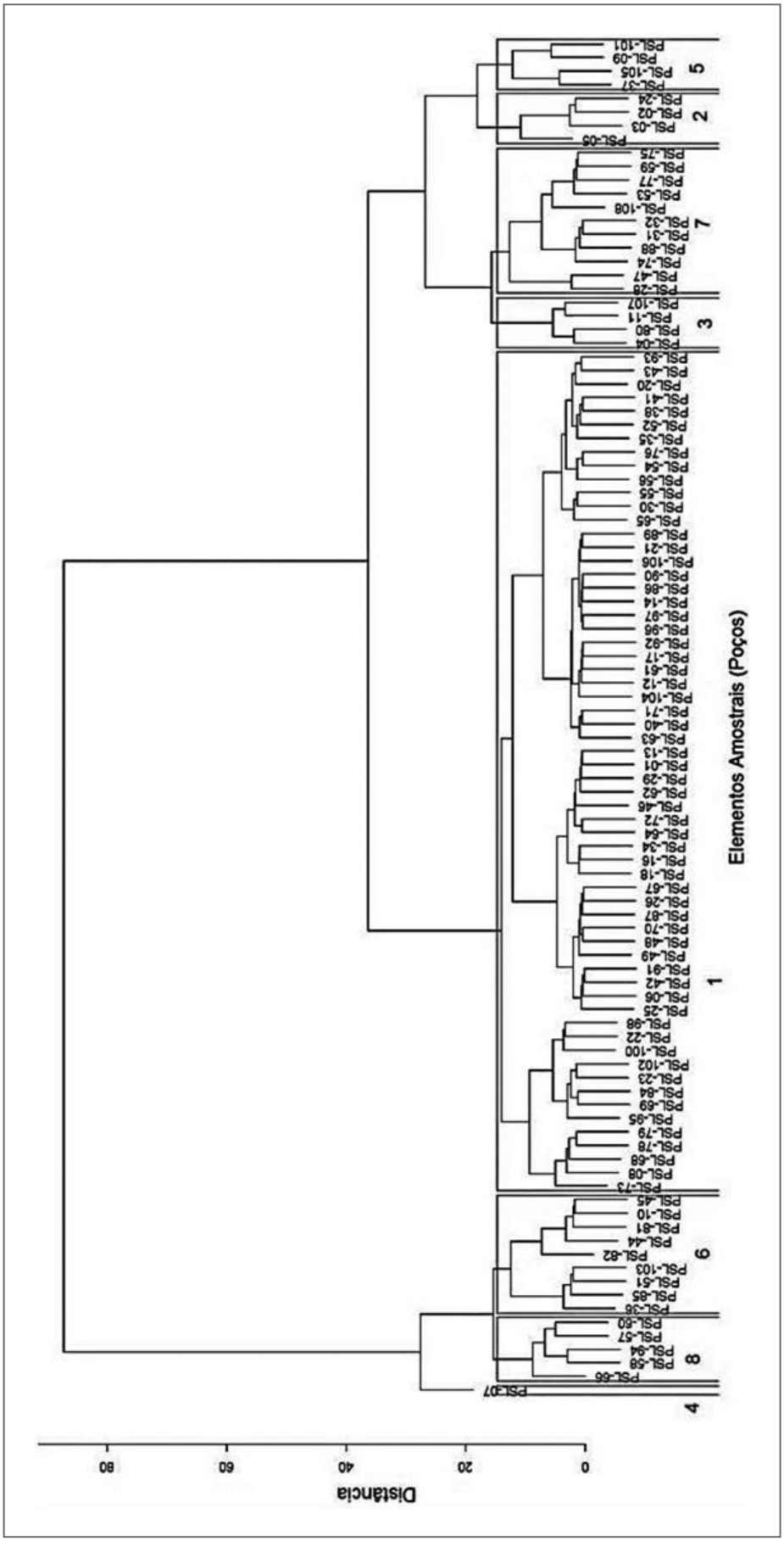


Figura 77: Dendograma de correlação

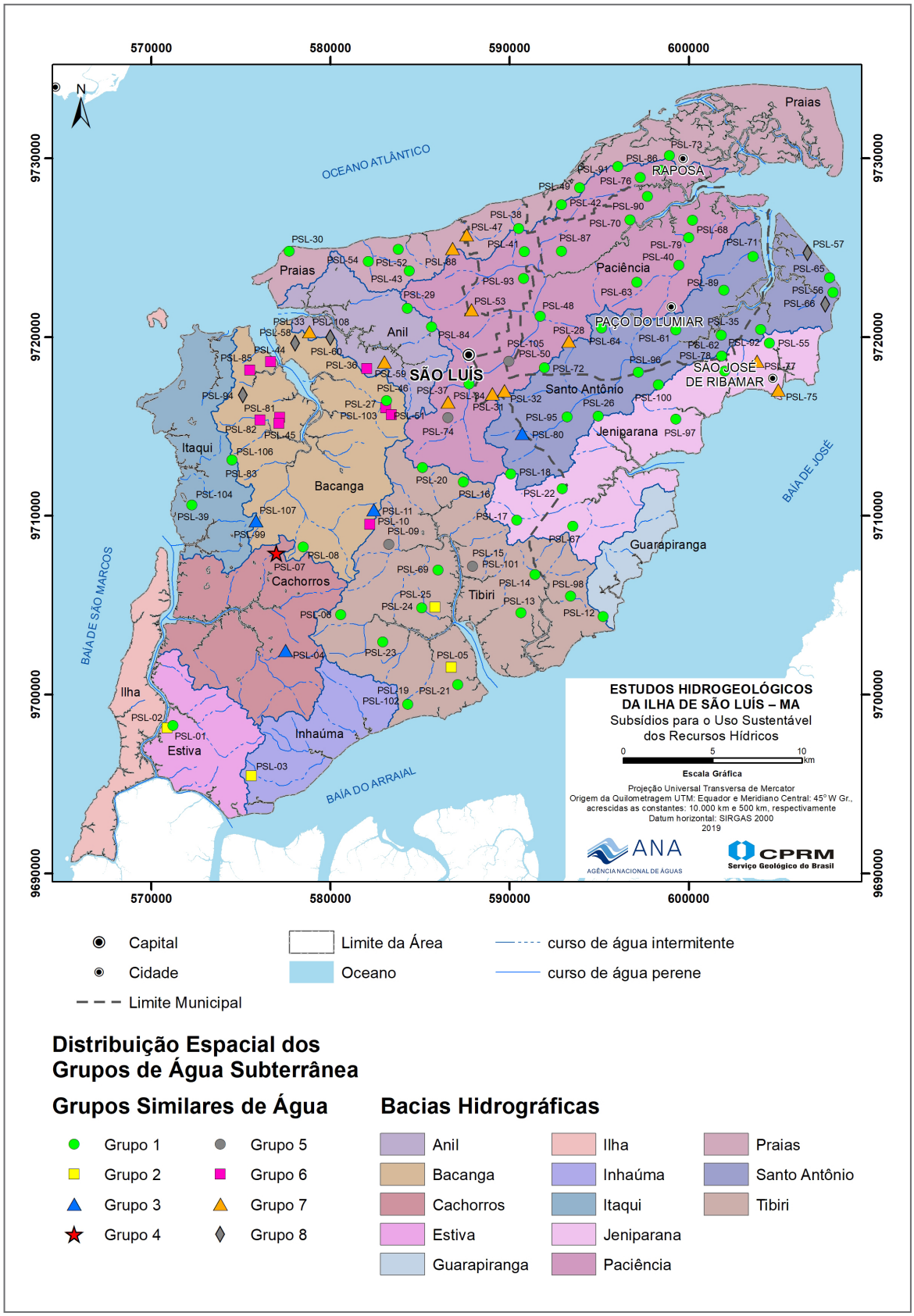


Figura 78: Distribuição espacial dos grupos

O principal agrupamento obtido na análise de Cluster, em termos de coeficiente de distância das similaridades, se encontra reunido no grupo 01, composto por 62 análises, na sua maioria, captadas do Sistema Aquífero São Luís, representadas por 45 amostras. As águas de captações mistas (São Luís + Itapecuru) representam 16 análises, enquanto somente 01 amostra foi classificada como sendo do Sistema Aquífero Itapecuru.

No grupo 07 também predominam águas do Sistema São Luís, com nove análises, e restando duas outras representativas de captações mistas.

Nos grupos 02, 03 e 05, também predominam águas do Sistema São Luís, embora não de forma tão preponderante como nos anteriores.

No grupo 06, onde se encontram agrupadas nove análises químicas, predomina águas do aquífero Itapecuru, com oito pontos. O único resultado que não é associado a esta unidade, parece ser resultado de uma captação mista.

O grupo 04, composto por uma única amostra, poço PSL 07 que, embora classificada como do Sistema São Luís, se constitui no grande outlier encontrado.

3.9. CLASSIFICAÇÃO PELOS DIAGRAMAS DE PIPER E DE STIFF

3.9.1. O Diagrama de Piper

Foram elaborados os diagramas de Piper de acordo com os grupos obtidos na análise de Cluster e no total das amostras. A Figura 79 e a Figura 80 mostram o diagrama de Piper e os percentuais de tipos de água, considerando o intervalo amostral da primeira campanha de análises e, nas Figura 81 e Figura 82 se apresentam os resultados da segunda campanha.

Nota-se que nos ânions, ocorre uma predominância de águas cloretadas, enquanto nos cátions as amostras são sódicas. As águas, em termos gerais, são classificadas como cloretadas sódicas, em 73% dos casos na primeira campanha e 72% na segunda campanha.

No caso dos cátions, as amostras se diferenciam da seguinte forma: as águas de mistura e do aquífero São Luís estão inseridas no campo de classificação das águas sódicas, e as águas consideradas como do aquífero Itapecuru estão inseridas, em sua maior parte, no campo das águas mistas.

No campo dos ânions, as águas consideradas do Aquífero São Luís são quase que em sua totalidade cloretadas, enquanto as águas consideradas do aquífero Itapecuru possuem três tipos básicos de águas: cloretadas, bicarbonatadas e mistas, não existindo efetivamente uma característica definida. Dentre as especificidades a amostra do poço PSL-108 foi classificada como mista cálcica, estando diferenciada do padrão apresentado pelas demais.

Os resultados da classificação das águas, organizados por grupo (somente segunda campanha), estão apresentados na Tabela 32. Observa-se que 75 poços mostraram águas cloretadas sódicas. Em ilhas, as águas tendem a ter mais sódio e cloretos em função da água da chuva com

presença de aerossóis de sal marinho. A Tabela 33 apresenta os valores medianos dos parâmetros por grupo. As fontes em azul realçam os menores valores medianos e as fontes em vermelho as maiores medianas que se destacam entre os grupos.

Os diagramas e os resultados detalhados da classificação são mostrados na Figura 83

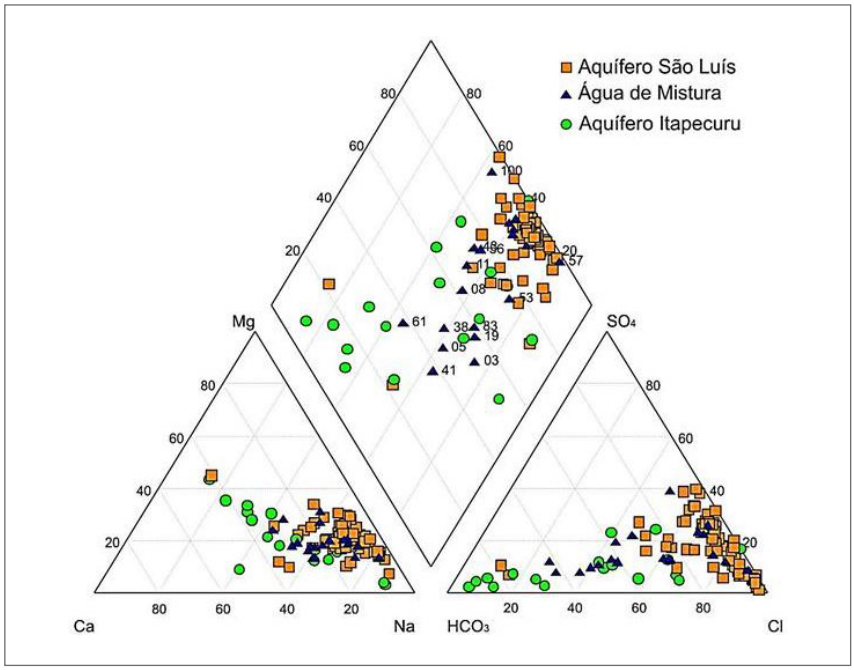


Figura 79: Diagrama de Piper com as amostras coletadas na primeira etapa

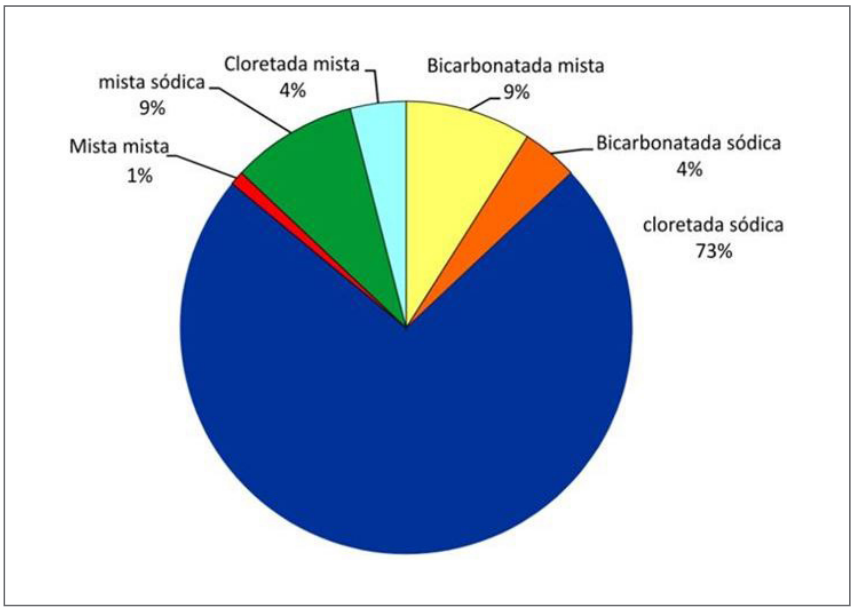


Figura 80: Percentual de distribuição da classificação dos tipos de águas de acordo com o Diagrama de Piper. Amostras da primeira etapa de coleta

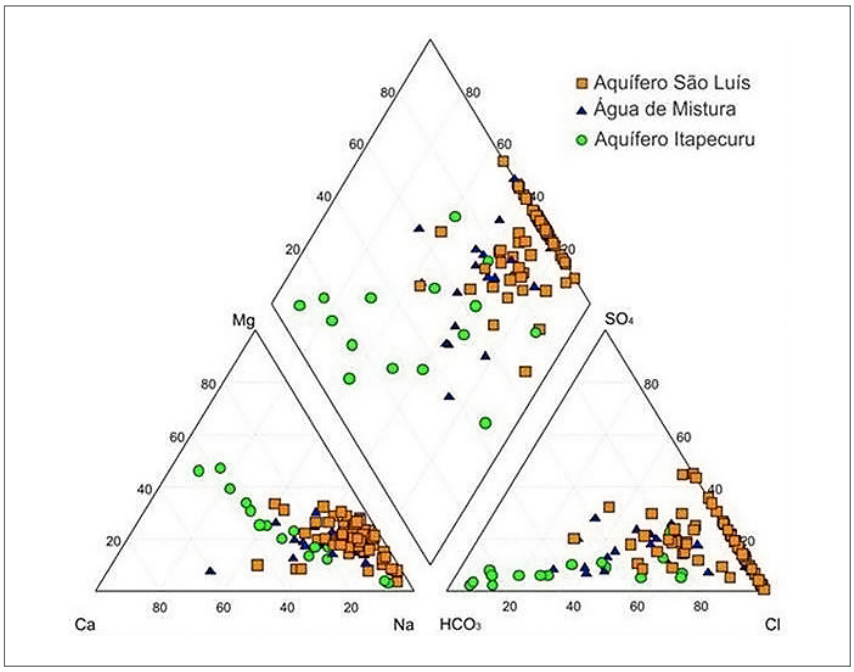


Figura 81: Diagrama de Piper com as amostras coletadas na segunda etapa

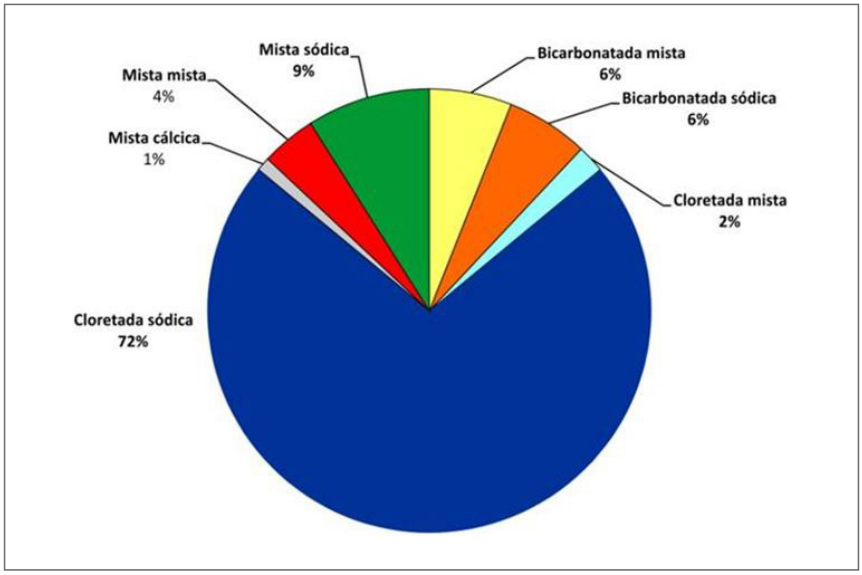


Figura 82: Percentual de distribuição da classificação dos tipos de águas de acordo com o Diagrama de Piper. Amostras da segunda etapa de coleta

Tabela 32: Classificação das águas com o diagrama de Piper (Campanha 2)

CLASSIFICAÇÃO	GRUPO								TOTAL GERAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Cálcica Mista							1		1
Mista Bicarbonatada					2	4			6
Mista Cloretada								1	1
Mista Mista	1	1				1			3
Sódica Bicarbonatada	2	1				3			6
Sódica Cloretada	54	1	3	1	2		10	4	75
Sódica Mista	5	1	1			1			8
Total Geral	62	4	4	1	4	9	11	5	100

Tabela 33: Valores medianos dos parâmetros por grupo (Campanha 2)

	GRUPO							
PARÂMETRO	1	2	3	4	5	6	7	8
Na (mg/L)	13,217	8,37	39,5135	44,363	11,4475	65,952	39,792	180,74
K (mg/L)	1,115	3,7055	13,4	620,94	2,313	5,689	2,85	7,943
Ca (mg/L)	1,7425	1,6395	10,385	37,695	10,195	34,211	4,929	38,166
Mg (mg/L)	1,962	1,411	3,189	5,309	9,062	16,265	5,097	22,073
Cl (mg/L)	13,57	12,04	39,36	679,89	11,45	54,74	36,16	302,04
CO_3 (mg/L)	0	0	0	0	0	11,5	0	10,6
HCO_3 (mg/L)	2,57	8,495	4,71	0	55,11	229,05	0	178,54
SO_4 (mg/L)	4,515	4,295	21,025	137,14	6,845	17,52	2,78	43,94
CE (microS/cm)	99,3	72,6	341,5	3272	218,1	582	327	1298
pH	5,304	5,785	5	3,8	6,2095	7,93	4,19	7,969
STD	73,26	56,355	225,84	1683,62	148,455	360,14	217,39	712,42
Dureza (mg/L)	95	95	125	170	155	225	155	250
Fe (mg/L)	0,023	0,016	0,0165	0,036	0,3445	0,012	0,02	0,022
Mn (mg/L)	0,022	0,031	0,0155	0,127	0,07	0,018	0,014	0,035
NO_3 (mg/L)	9,82	1,36	38,04	43,07	7,11	0,8	67,04	0,89

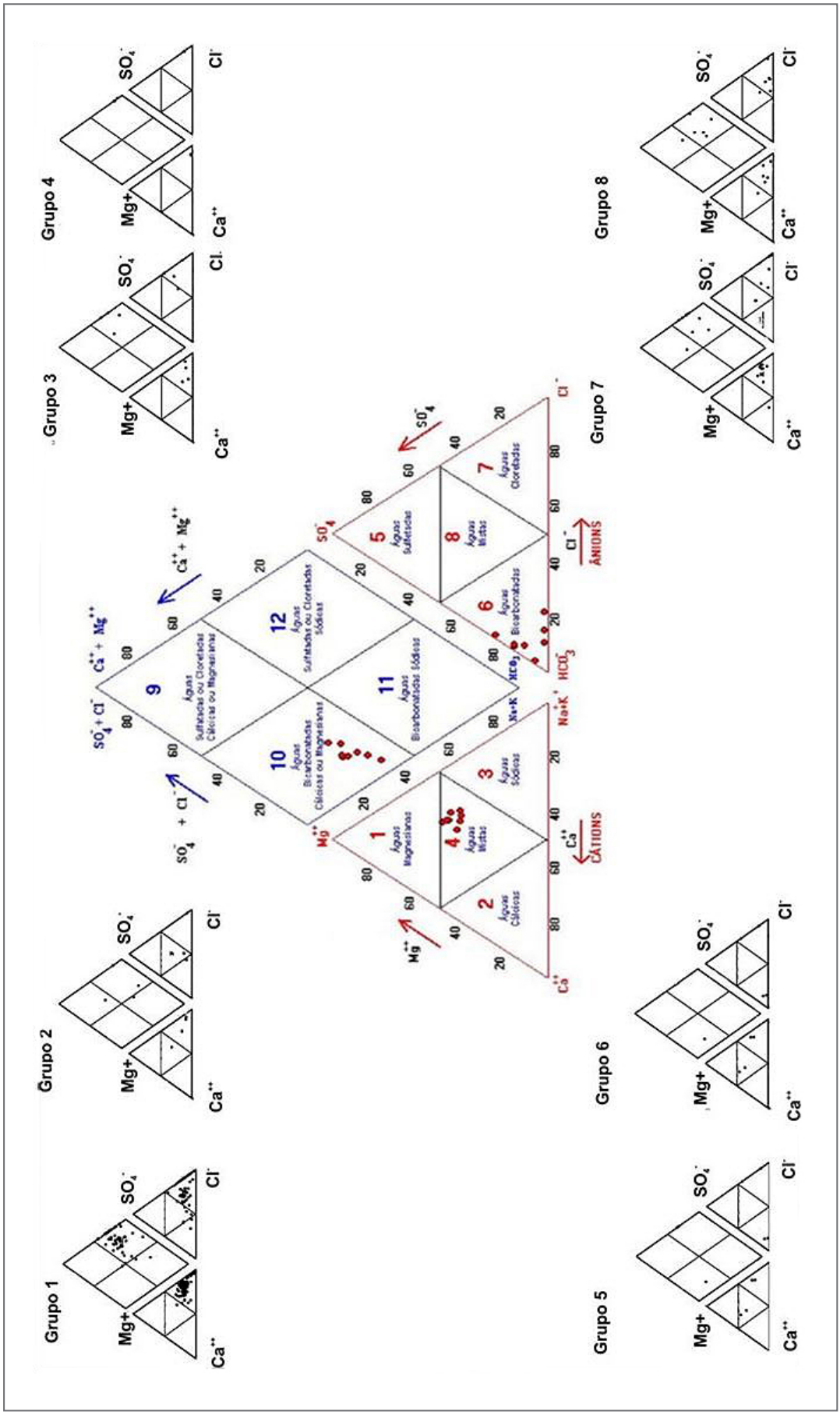


Figura 83: Diagramas Piper por grupos hidroquímicos. (Campanha 2)

Analisando essas tabelas, várias inferências podem ser efetuadas:

No **grupo 1**, observa-se uma predominância de águas ácidas, com pH variando de 3,88 a 7,6. Duas amostras apresentaram pH superior a 7,0 (PSL-054 e 056) e 15% das amostras pH inferior a 4,7. O parâmetro Mn superou o VMP, em 6 amostras. O VMP do parâmetro Fe foi superado apenas no PSL-98. Apenas 6 amostras apresentaram valores de NO_3 superiores ao VMP (44,26 mg/L), indicando uma possível contaminação por cargas orgânicas. Águas cloretadas sódicas foram observadas em 54 amostras. Além disso, 61 amostras foram classificadas como sódicas. O parâmetro CO_3 não foi detectado em nenhumas das amostras. Os valores medianos dos parâmetros K, HCO_3 e dureza deste grupo são menores que os dos outros grupos.

Quatro amostras formam o **grupo 2**, que apresenta a predominância de águas sódicas. Em uma das amostras, o PSL-05, o parâmetro Mn com concentração de 0,561 mg/L superou o VMP (0,1 mg/L). As águas deste grupo também são ácidas, com o pH variando de 5,41 a 6,31. O parâmetro CO_3 não foi detectado em nenhuma das amostras. O VMP do parâmetro Fe foi superado em uma amostra (PSL-05). Quando se compara os valores medianos dos parâmetros, observa-se que Na, Ca, Mg, CE, STD e Dureza são inferiores aos dos demais grupos.

No **grupo 3** as águas são ácidas com pH variando 4,44 a 5,93 com predominância de águas cloretadas sódicas. Neste grupo 03 amostras (75% do total) apresentam NO_3 superiores ao VMP. O parâmetro CO_3 não foi detectado em nenhumas das amostras.

O **grupo 4** é composto pela amostra PSL-07, que apresentou diversas não conformidades em relação ao VMP e a presença de outliers como mencionado nos itens anteriores.

No **grupo 5** as águas foram classificadas como bicarbonatadas mistas e cloretadas sódicas com pH ácido em duas amostras, PSL-37 e PSL-105 e, básico nas outras duas amostras, PSL-101 e PSL-09. No PSL-09, o parâmetro Mn com concentração de 0,242 mg/L superou o VMP (0,1 mg/L). Neste grupo, apenas uma amostra apresentou NO_3 superior ao VMP. O parâmetro CO_3 não foi detectado em nenhumas das amostras. O VMP do parâmetro Fe foi superado em duas amostras, PSL-37 e PSL-105, com a mediana do grupo sendo a maior. O valor mediano de Cl é o menor entre todos os grupos.

O **grupo 6** é formado por 9 amostras. Em uma das amostras, o PSL-82, o parâmetro Mn com concentração de 0,211 mg/L, superou o VMP, 0,1 mg/L. Neste grupo todas as águas são básicas com o pH variando de 7,26 a 8,42. Quatro amostras foram classificadas como bicarbonatadas mistas, três como bicarbonatadas sódicas, uma como sódica mista e outra como mista. O parâmetro CO_3 foi detectado em 5 amostras. Neste grupo todas as amostras apresentam NO_3 menores que o VMP, com a mediana, 0,8 mg/L, inferior à dos outros grupos. A mediana do Fe também é inferior à dos outros grupos. Os parâmetros Na e Mg apresentam os segundos maiores valores de mediana. A mediana do HCO_3, 229,05 mg/L, supera a dos outros grupos.

Onze amostras formam o **grupo 7**, que mostra predominância de águas cloretadas sódicas. Apenas uma amostra foi classificada como cálcica mista. O parâmetro CO_3 não foi detectado em

nenhumas das amostras. Observa-se uma predominância de águas ácidas, com pH variando de 3,8 a 6,8. Neste grupo todas as amostras apresentam NO_3 superiores ao VMP, com valor mediano de 67,04 mg/L, indicando possível contaminação por cargas orgânicas. Os valores medianos dos parâmetros SO_4 e Mn são inferiores aos dos outros grupos.

No **grupo 8** as águas são predominantemente básicas com pH variando 6,9 a 8,37. Apenas uma amostra apresentou pH inferior a 7,77. As amostras foram classificadas em sua maioria como águas cloretadas sódicas. Apenas uma amostra foi classificada como cloretada mista. O parâmetro CO_3 foi detectado em 3 amostras. Quatro amostras apresentam Cl superiores ao VMP. O parâmetro Na foi maior que VMP apenas na amostra PSL-60 com 308,5 mg/L. O valor mediano da dureza deste grupo é o mais elevado. Os valores medianos de Na, Cl, CE e STD também se destacam em relação aos outros grupos.

3.9.2. O Diagrama de Stiff

A Figura 84 e a Figura 85 mostram a distribuição dos diagramas de Stiff nas duas campanhas de coleta, e corroboram, conforme observado nos diagramas de Piper, que as águas são predominantemente do tipo cloretadas sódicas, ocorrentes principalmente na região das bacias Anil e Bacanga,e no extremo leste da bacia de Santo Antônio, próximo à praia de Panaquatira. Águas bicarbonatadas (bicarbonatadas mistas e bicarbonatadas sódicas), ocorrem em menor proporção na Ilha de São Luís.

Esta configuração reflete os diferentes regimes de circulação de água. As águas do aquífero Itapecuru são as que predominantemente se apresentam com as maiores variações quantitativas de íons, principalmente na região das bacias Anil, Bacanga, Cachorros e Santo Antônio. Estas variações indicam uma maior influência de condicionantes geológicas, hidrogeológicas, hidrodinâmicas e climáticas específicas relacionadas a este sistema aquífero, atreladas às recargas dos aquíferos.

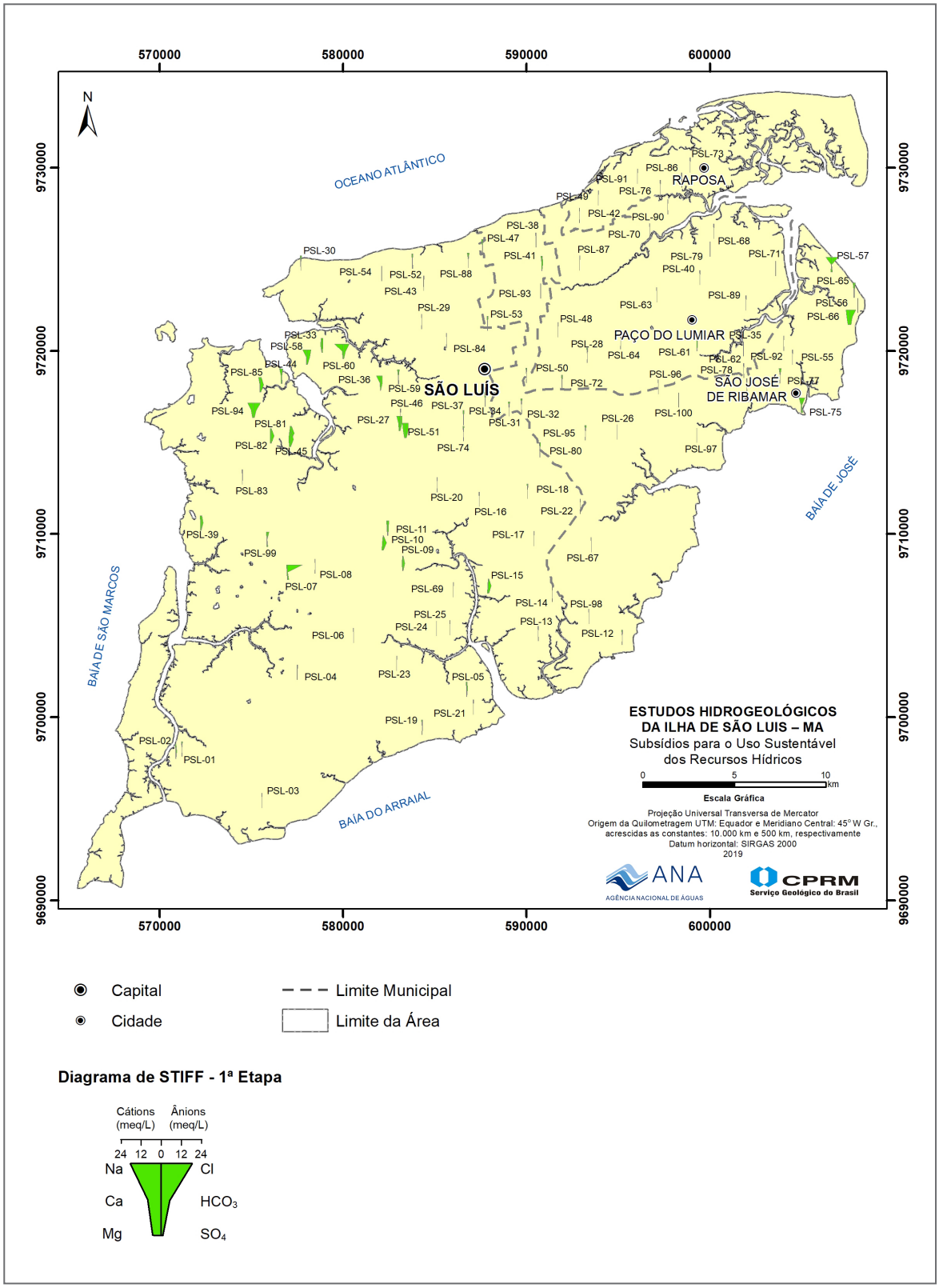


Figura 84: Diagrama de Stiff da Ilha de São Luís na 1ª Etapa (fevereiro de 2017)

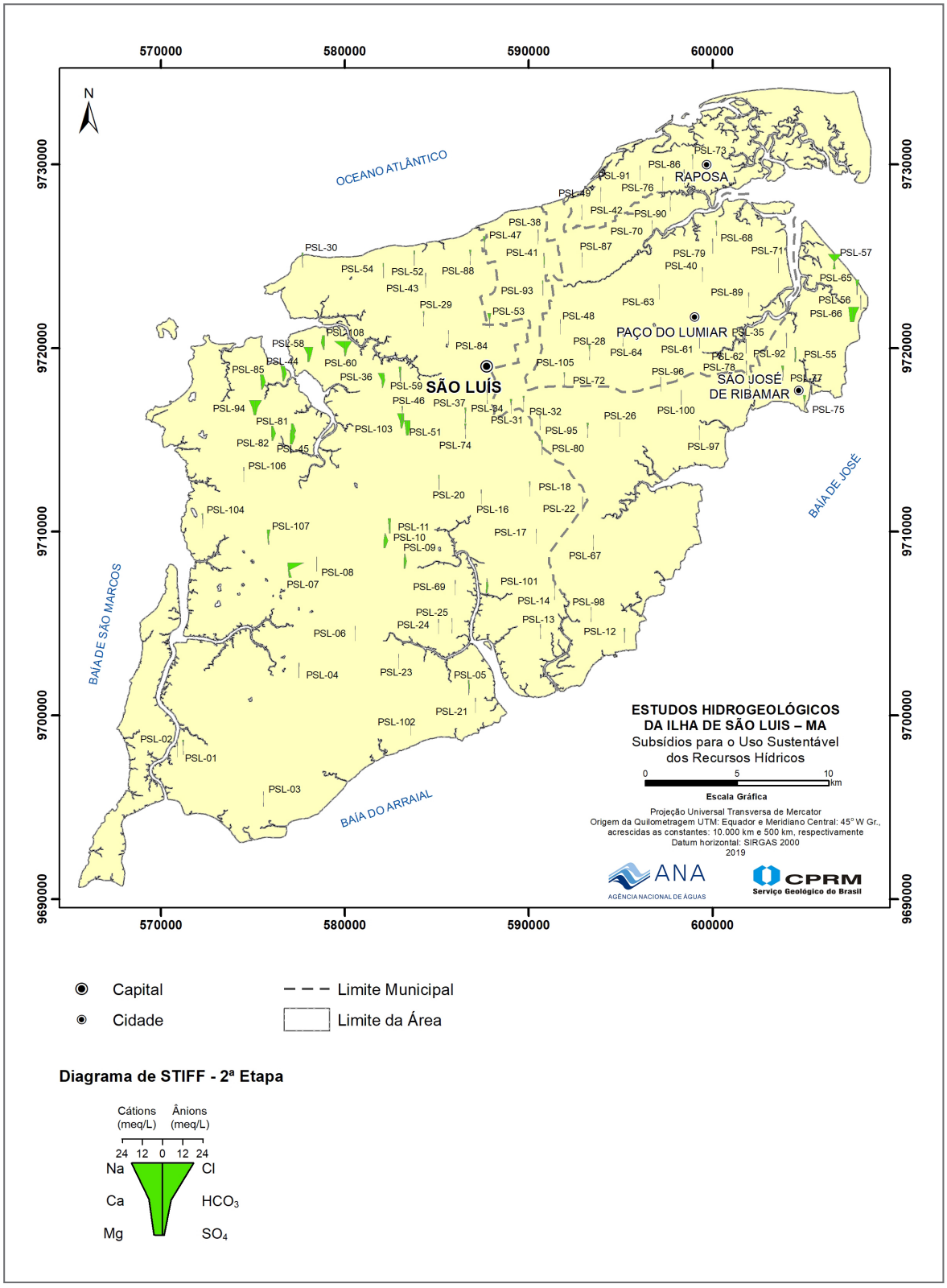


Figura 85: Diagrama de Stiff da Ilha de São Luís na 2ª etapa (novembro de 2017)

4 ANÁLISE ISOTÓPICA

4.1. ISÓTOPOS DE OXIGÊNIO E DEUTÉRIO

O ^{18}O (oxigênio-18) e o D (deutério) são os isótopos estáveis mais pesados do oxigênio e do hidrogênio. As diferenças nos limites da variação do D podem ser superiores a uma ordem de grandeza às do oxigênio pesado, o que se deve à separação mais eficaz de D e H em processos naturais do que qualquer outro par de isótopos estáveis, devido à grande diferença em seus pesos atômicos. Por esta razão, D pode ser considerado como um dos isótopos mais interessantes do ponto de vista geoquímico, sendo que desde o final da década de 1950, os pesquisadores que estudam a composição isotópica das águas naturais preferem determinar simultaneamente os isótopos de hidrogênio e oxigênio da água (Ferronsky& Polyakov, 2012).

São traçadores perfeitos, pois não "acompanham" a água, como acontece com um corante, mas são constituintes da própria água, tendo as mesmas propriedades químicas da água "comum". A abundância relativa destes isótopos na água varia levemente em função de sua história no ciclo hidrológico (Santiago *et al. in* Feitosa *et al*. 2008).

4.1.1. O fracionamento dos isótopos de Oxigênio e Deutério no Ciclo Hidrológico

Em comparação com as águas do oceano, as águas meteóricas (ou seja, água presente na atmosfera) bem como as águas subterrâneas e superficiais derivadas delas são, na sua maioria, deplecionadas nas espécies isotópicas pesadas: ^{18}O, ^{17}O e ^{2}H.

De modo geral, a quantidade relativa de um determinado isótopo em uma amostra é representada pela razão entre este isótopo e outro isótopo estável do mesmo elemento, sendo este último o isótopo leve mais abundante do elemento em questão. As análises são reportadas na forma da razão isótopo pesado/isótopo leve e assim, a ênfase das análises é na diferença relativa entre amostras analisadas sob as mesmas condições, e não no valor absoluto de cada determinação.

As razões isotópicas são normalmente representadas pela notação δ, em valores de ‰ (per mil), através da fórmula:

$$\delta = [(R_{amostra} - R_{padrão}) / R_{padrão}] * 1000$$

Onde $R_{amostra}$ equivale à razão isotópica medida na amostra e $R_{padrão}$ corresponde à mesma razão de um padrão, geralmente um material de referência de laboratório que por sua vez é calibrado a partir de um padrão internacional (antigamente SMOW - *Standard Mean Ocean Water* e atualmente VSMOW - *Viena Standard Mean Ocean Water*).

A composição oceânica média é aceita como padrão de referência para estes isótopos, de modo que δSMOW = 0 ‰, por definição (Gat *et al*. 2001). Os valores δ das águas meteóricas são, portanto, números negativos. A média ponderada de 18 δ de toda a água na hidrosfera pode ser

estimada em cerca de –0,64 ‰, assumindo 18 $\delta \sim$ -30 ‰ como a média do acúmulo de gelo e 18 $\delta = -7$ ‰ como o valor médio da água subterrânea (Gat *et al.*, 2000). O grau de empobrecimento está relacionado a parâmetros geográficos, tais como latitude, altitude e distância da costa, e à fração precipitada de um conteúdo de massa de vapor.

De acordo com Custodio e Llamas (1983), a razão isotópica R = $^{18}O/^{16}O$ nas precipitações, decresce com o aumento da altitude, com a distância à costa, com a diminuição da temperatura e com a quantidade de chuva. Além disso, podem ser observadas variações sazonais.

4.1.2. Oxigênio - 18 e Deutério na Ilha de São Luís

Foram efetuadas coletas de amostras para análise de isótopos estáveis (^{18}O e ^{2}H) em 44 pontos d'água, selecionados em função da representatividade dos tipos de aquífero e distribuição na área. As amostragens ocorreram em dois períodos sazonais, fevereiro e novembro de 2017, visando identificar variações associadas aos aspectos climáticos e as análises foram realizadas no Laboratório de Trítio Ambiental do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN.

A justificativa para a coleta sazonal reside no fato de que o clima da região litorânea do estado do Maranhão e da região oceânica contígua é regido e influenciado por vários fenômenos tal como a Zona de Convergência Intertropical (Silva et al., 2003; Apud Oliveira *et al.*, 2016) e as linhas de Instabilidade Tropical (IT) (Silva et al., 2003; apud Oliveira *et al.*, 2016; Nimer, 1989). Assim sendo, de modo geral, as precipitações apresentam índices elevados (média acima de 2000 mm/ano) quando comparados aos outros estados da região nordeste, sendo o regime qualificado de clima tropical, marcado pela divisão em dois grandes períodos: período chuvoso, que se inicia entre os meses de novembro e dezembro e se prolonga até o mês de abril ou maio, e o período de estiagem, quando as precipitações são geralmente muito esparsas.

Os resultados de Oxigênio-18 (Erro de ±0.09‰) e Deutério (Erro de ±0.90‰) das águas dos Aquíferos São Luís e Itapecuru são apresentados na Tabela 34, Tabela 35, na Tabela 36, nas Figura 86 e Figura 87.

Tabela 34: Valores de $\delta^{18}O$ (‰) e δD (‰) das águas do Aquífero Itapecuru nos períodos de chuva (fevereiro/2017) e de estiagem (novembro/2017)

CÓDIGO DA AMOSTRA	COORDENADAS		AQUÍFERO	PERÍODO DE CHUVA (FEV/17)		PERÍODO DE ESTIAGEM (NOV/17)	
	UTM E	UTM N		$\delta^{18}O$(‰)	δD (‰)	$\delta^{18}O$(‰)	δD (‰)
PSL – 02	570879	9698142	Itapecuru	-3.69	-18.00	-3.05	-13.60
PSL – 10	582200	9709525	Itapecuru	-3.86	-19.60	-3.57	-17.50
PSL – 36	582033	9718231	Itapecuru	-3.81	-19.40	-3.73	-19.10
PSL – 39	572260	9710605	Itapecuru	-3.68	-17.50	NC	NC
PSL – 45	577165	9715497	Itapecuru	-3.86	-23.40	-4.52	-25.20
			Média geral	-3.78	-19.58	-3.72	-18.85
			Mediana geral	-3.81	-19.40	-3.65	-18.30

Tabela 35: Valores de δ18O (‰) e δD (‰) das águas de mistura dos Aquíferos São Luís e Itapecuru nos períodos de chuva (fevereiro/2017) e de estiagem (novembro/2017)

CÓDIGO DA AMOSTRA	COORDENADAS		AQUÍFERO	PERÍODO DE CHUVA (FEV/17)		PERÍODO DE ESTIAGEM (NOV/17)	
	UTM E	UTM N		$\delta^{18}O$(‰)	δD (‰)	$\delta^{18}O$(‰)	δD (‰)
PSL - 03	575573	9695448	Mistura	-3.50	-17.10	-3.54	-17.40
PSL - 20	585136	9712700	Mistura	-3.50	-16.90	-3.59	-17.80
PSL - 23	582927	9702945	Mistura	-4.06	-22.80	-3.35	-16.90
PSL - 38	590524	9726051	Mistura	-3.80	-19.30	-3.74	-19.00
PSL - 44	576667	9718624	Mistura	-2.28	-14.80	-3.62	-17.90
PSL - 46	583135	9716431	Mistura	-3.18	-15.50	-3.20	-15.50
PSL - 65	607883	9723318	Mistura	-3.67	-18.60	-3.46	-17.00
PSL - 83	574504	9713110	Mistura	-3.49	-16.20	NC	NC
PSL - 84	585644	9720564	Mistura	-3.69	-18.20	-3.58	-17.70
PSL - 99	575850	9709705	Mistura	-3.13	-14.10	NC	NC
PSL - 104	572153	9710010	Mistura	NC	NC	-3.63	-17.20
PSL - 107	575839	9709710	Mistura	NC	NC	-2.83	-12.30
			Média geral	-3.43	-17.35	-3.45	-16.87
			Mediana geral	-3.50	-17.00	-3.56	-17.30

Tabela 36: Valores de $\delta^{18}O$ (‰) e δD (‰) das águas do Aquífero São Luís nos períodos de chuva (fevereiro/2017) e de estiagem (novembro/2017)

CÓDIGO DA AMOSTRA	COORDENADAS		AQUÍFERO	PERÍODO DE CHUVA (FEV/17)		PERÍODO DE ESTIAGEM (NOV/17)	
	UTM E	UTM N		$\delta^{18}O$(‰)	δD (‰)	$\delta^{18}O$(‰)	δD (‰)
PSL – 04	577497	9702458	São Luís	-2.85	-13.90	-2.99	-14.50
PSL – 17	590415	9709748	São Luís	-3.52	-18.20	-3.62	-18.80
PSL – 21	587110	9700550	São Luís	-3.54	-17.60	-3.47	-17.40
PSL – 22	592939	9711503	São Luís	-3.78	-19.10	-3.77	-18.90
PSL – 24	585837	9704890	São Luís	-4.22	-23.60	-3.63	-19.20
PSL – 26	594959	9715576	São Luís	-4.14	-22.10	-4.09	-21.80
PSL – 40	599464	9724000	São Luís	-3.92	-20.20	-3.94	-20.50
PSL – 43	584401	9723691	São Luís	-3.56	-17.60	-3.46	-17.20
PSL – 49	593925	9728346	São Luís	-3.80	-19.30	-3.76	-19.20
PSL – 50	590002	9718662	São Luís	-3.34	16.30	NC	NC
PSL – 55	604515	9719659	São Luís	-3.80	19.30	-3.85	-19.80
PSL – 64	595146	9720503	São Luís	-3.73	-19.00	-3.73	-19.00
PSL – 67	593533	9709416	São Luís	-3.45	-16.80	-3.47	-17.10
PSL – 68	600225	9726519	São Luís	-3.40	-18.10	-3.63	-19.00
PSL – 69	586013	9706960	São Luís	-3.66	-18.50	-3.45	-17.10
PSL – 70	596732	9726540	São Luís	-4.10	-21.10	-4.13	-21.40

continua

Tabela 36: Valores de $\delta^{18}O$ (‰) e δD (‰) das águas do Aquífero São Luís nos períodos de chuva (fevereiro/2017) e de estiagem (novembro/2017) (continuação)

CÓDIGO DA AMOSTRA	COORDENADAS		AQUÍFERO	PERÍODO DE CHUVA (FEV/17)		PERÍODO DE ESTIAGEM (NOV/17)	
	UTM E	UTM N		$\delta^{18}O$(‰)	δD (‰)	$\delta^{18}O$(‰)	δD (‰)
PSL – 71	603600	9724491	São Luís	-3.91	-19.70	-3.81	-19.10
PSL – 72	591949	9718279	São Luís	-3.66	-18.60	-3.71	-18.60
PSL – 73	598937	9730146	São Luís	-4.03	-21.00	-3.99	-20.50
PSL – 74	586571	9716360	São Luís	-3.17	-15.90	-3.14	-16.00
PSL – 78	602026	9718081	São Luís	-3.82	-19.50	-3.78	-19.20
PSL – 80	590734	9714598	São Luís	-3.51	-17.60	-3.46	-17.30
PSL – 93	590780	9723268	São Luís	-3.89	-20.00	-3.66	-18.90
PSL – 96	597197	9718032	São Luís	-3.93	-20.30	-3.84	-20.00
PSL – 98	593407	9705496	São Luís	-3.77	-19.30	-3.01	-13.30
PSL – 105	590625	9715943	São Luís	NC	NC	-3.76	-19.40
PSL – 106	574616	9712857	São Luís	NC	NC	-3.22	-14.70
			Média geral	-3.70	-16.06	-3.63	-18.38
			Mediana geral	-3.77	-19.00	-3.69	-18.95

Uma análise global dos resultados indica que os valores de $\delta^{18}O$, para o período chuvoso, encontram-se entre -3,86 a -3,68‰ para o Aquífero Itapecuru, entre -4,06 a -2,28‰ para as águas de mistura e entre -4,22 a -2,85‰ para o Aquífero São Luís. Para o período de estiagem, a distribuição de $\delta\ ^{18}O$ no período de chuva mostrou valores entre -4,52 a -3,05‰ para o Aquífero Itapecuru, entre -3,74 a -2,83‰ para as águas de mistura e entre -4,13 a -2,99‰ para o Aquífero São Luís. Quanto à distribuição de δ^2H, no período de chuva, os intervalos de variação foram de -23,40 a -17,50‰ para o Aquífero Itapecuru, de -22,80 a -14,10‰ para as águas de mistura e de -23,60 a -13,90‰ para o Aquífero São Luís. Para o período de estiagem, a distribuição de δ^2H apresentou-se entre -25,20 a -13,60‰ para o Aquífero Itapecuru, entre -19,00 a -12,30‰ para as águas de mistura e entre -21,80 a -13,30‰ para o Aquífero São Luís.

Considerando o erro de laboratório de ± 0.09‰ para Oxigênio -18 e de ± 0.90‰ para Deutério, os valores médios sazonais de $\delta^{18}O$ e δ^2H das águas de mistura e dos Aquíferos Itapecuru e São Luís (de forma mais marcante) mostraram grande semelhança para os períodos de estiagem e de chuva (Tabelas 32, 33 e 34). Individualmente, contudo, a maioria das amostras apresentou valores levemente maiores no período de estiagem, indicando uma pequena variação sazonal e espacial. Estes resultados revelam a condição de equilíbrio sazonal entre estas águas nos aquíferos estudados.

Para auxiliar na interpretação dos resultados foi efetuada a análise conjunta com os parâmetros químicos (cátions e ânions), incluindo o isótopo radioativo de trítio (^3H), a partir de uma matriz de correlação (Tabela 37). Os coeficientes indicam correlações positivas fracas a moderadas entre as variáveis $\delta^{18}O$ e K, $\delta^{18}O$ e Cl, $\delta^{18}O$ e NO_3, igualmente acompanhadas pelo δD em função da

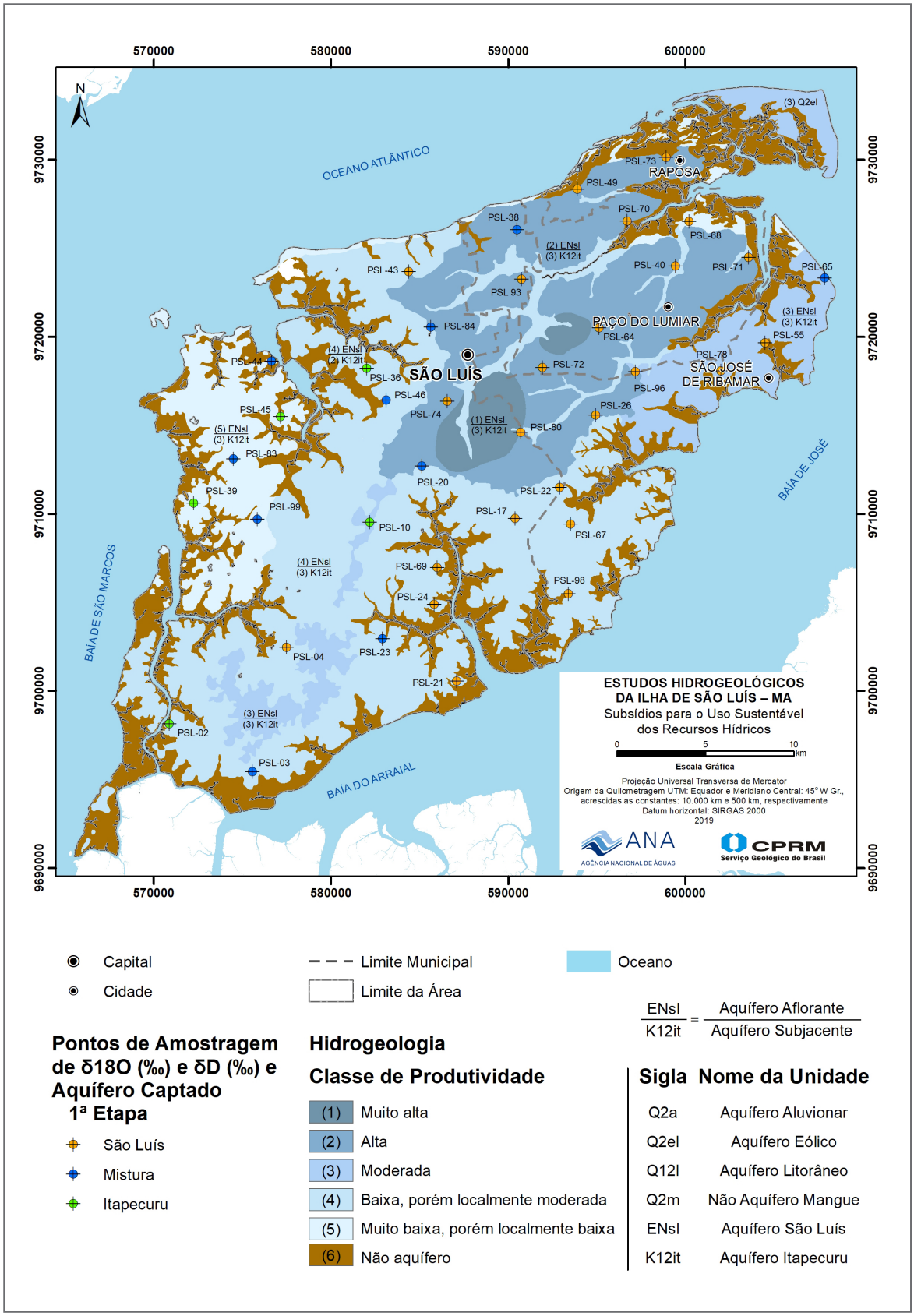


Figura 86: Mapa de pontos de amostragens de $\delta^{18}O$ (‰) e δD (‰) das águas dos Aquíferos São Luís e Itapecuru no período de chuva (fevereiro/2017)

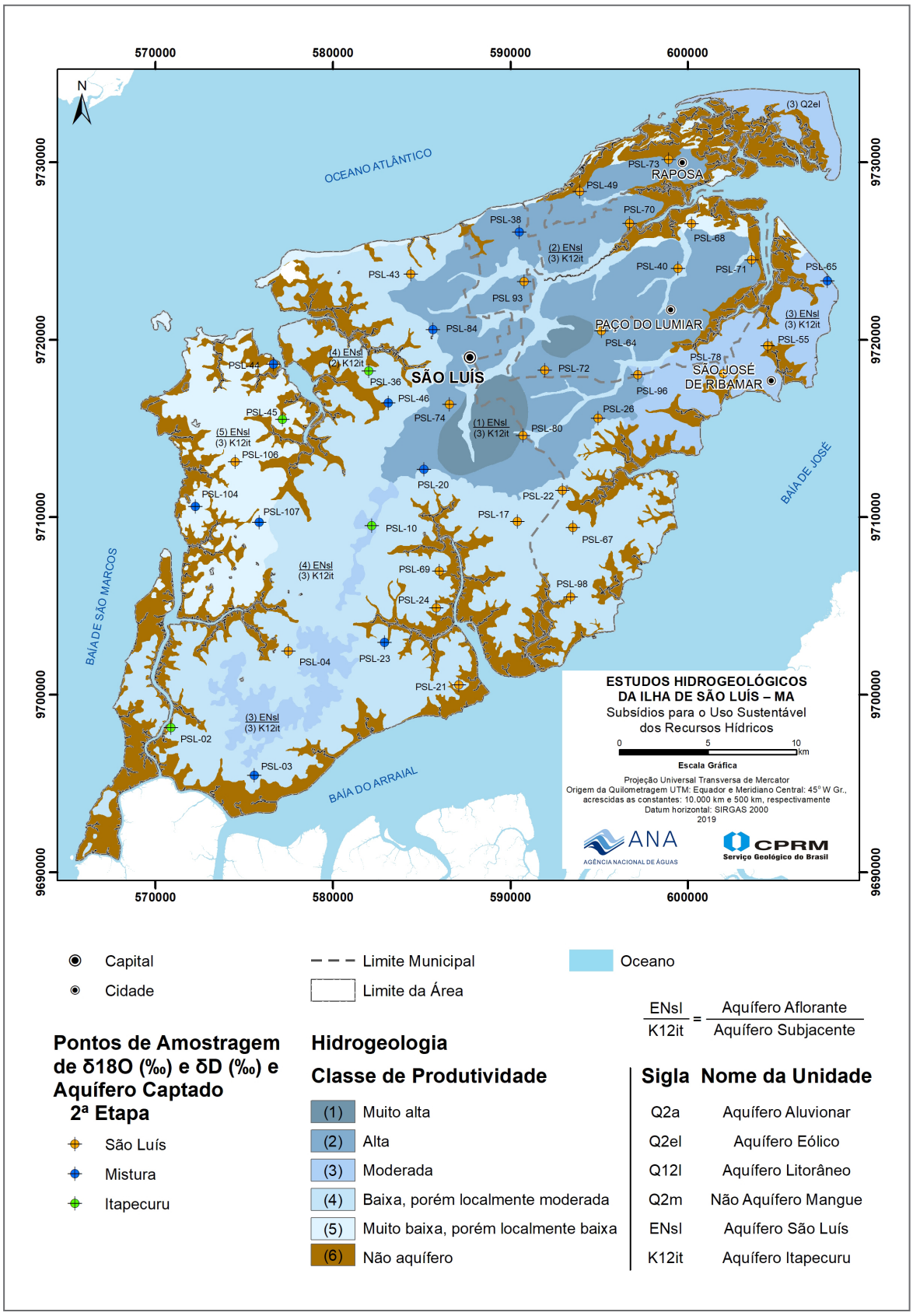


Figura 87: Mapa de pontos de amostragens de $\delta^{18}O$ (‰) e δD (‰) das águas dos Aquíferos São Luís e Itapecuru no período de estiagem (novembro/2017)

forte relação entre os dois isótopos. Ressalta-se o comportamento inverso apresentado pelo Trítio, com correlações negativas com potássio e o nitrato. Com base nos resultados obtidos, foram elaborados gráficos de dispersão para visualização das relações e aplicado o teste de Pearson, em que o valor de p, com 5% de significância, aponta a existência de correlação significativa entre as variáveis testadas (Figura 88 e Figura 89).

Tabela 37: Matriz de correlação entre os parâmetros isotópicos, físico-químicos e químicos

	pH	turb	Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	Condutividade Elétrica (µS/cm)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	Ca (mg/L)	Mn (mg/L)	Fe (mg/L)	Cl (mg/L)	SO4 (mg/L)	NO3 (mg/L)	HCO3 (mg/L)	$\delta^{18}O$ (‰)	δD (‰)	Tritio (UT)
HCO3 (mg/L)	0,74	0,04	0,69	0,67	0,60	0,08	0,54	0,75	0,05	0,08	0,38	0,39	-0,25	1,00			
δ18O (‰)	-0,09	-0,14	0,25	0,25	0,15	0,42	0,11	0,02	-0,11	0,04	0,34	0,23	0,31	-0,23	1,00		
δD (‰)	-0,17	-0,15	0,16	0,16	0,06	0,45	0,08	-0,09	-0,05	0,08	0,32	0,20	0,33	-0,26	0,92	1,00	
Tritio (UT)	0,21	0,02	-0,26	-0,27	-0,18	-0,57	0,10	-0,11	-0,40	0,02	-0,22	-0,25	-0,44	0,17	-0,05	-0,05	1,00

As análises de $\delta^{18}O$ e δD foram lançadas em um gráfico juntamente com a reta meteórica global (Rozansky *et al*., 1993) e com a reta meteórica para a região nordeste elaborada por Salati *et al*. (1979; *Apud* Silveira e Silva Junior, 2002). As análises foram discriminadas por aquífero (São Luís, Itapecuru ou Mistura de águas) e por período de coleta (chuvoso e de estiagem). Adicionalmente foram incluídas, para comparação, análises realizadas, por Pereira *et al*. (2002 e 2004), em 31 poços distribuídos pela Ilha.

A distribuição das análises, em especial para as amostras do aquífero São Luís, mostra grande proximidade com a reta meteórica mundial (Rozansky, 1993). Verifica-se também que as amostras do Aquífero Itapecuru se distinguem daquelas do Aquífero São Luís, apresentando maior enriquecimento em $\delta^{18}O$ e δD. Curiosamente, os resultados obtidos se afastam da reta gerada por Salati *et al*. (1979; *Apud* Silveira e Silva Junior, 2002) como também não mostram concordância com análises efetuadas por Pereira *et al*. (2002 e 2004). Como houve coincidência entre os poços amostrados por estes autores e aqueles referentes ao presente estudo, a comparação dos dados revelou um leve aumento nos valores isotópicos no decorrer de 16 anos (Tabela 38) o que condiz com a diminuição da precipitação verificada no Volume II. Entretanto, devem ser considerados prováveis erros analíticos ou a influência de fenômenos climáticos que atuam na região - Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e as linhas de Instabilidade Tropical (IT) - conforme anteriormente descrito.

Tabela 38: Comparação entre dados isotópicos de 2001 (Pereira ***et al***., 2002 e 2004) e 2017 (Projeto São Luís)

PEREIRA *et al*. (2004)	ABR./01		NOV/01		PROJETO SÃO LUÍS	FEV/17		NOV/17	
	δ18O(‰)	**δD** (‰)	**δ18O**(‰)	**δD** (‰)		**δ18O**(‰)	**δD** (‰)	**δ18O**(‰)	**δD** (‰)
PI-07	-4.18	-29.9	-4.46	-27.14	PSL – 45	-3.86	-23.40	-4.52	-25.20
PI-08	NC	NC	-3.6	-18.86	PSL – 44	-2.28	-14.80	-3.62	-17.90

continua

Tabela 38: Comparação entre dados isotópicos de 2001 (Pereira ***et al***., 2002 e 2004) e 2017 (Projeto São Luís) (continuação)

PEREIRA *et al*. (2004)	ABR./01		NOV/01		PROJETO SÃO LUÍS	FEV/17		NOV/17	
	δ**18O**(‰)	δ**D** (‰)	δ**18O**(‰)	δ**D** (‰)		δ**18O**(‰)	δ**D** (‰)	δ**18O**(‰)	δ**D** (‰)
PM-04	-3.31	NC	NC	NC	PSL – 46	-3.18	-15.50	-3.20	-15.50
PM-08	-3.60	NC	NC	NC	PSL – 72	-3.66	-18.60	-3.71	-18.60
PB-03	-3.72	-24.16	-3.63	NC	PSL – 43	-3.56	-17.60	-3.46	-17.20
PB-07	NC	NC	-3.78	-21.49	PSL – 50	-3.34	-16.30	NC	NC

A análise detalhada do diagrama da Figura 90 revela que amostras do aquífero São Luís ou de mistura São Luís/Itapecuru, mais enriquecidas em $\delta^{18}O$ e δD, exibem um maior afastamento da reta meteórica global. Tal fato pode estar associado à mistura de águas com o oceano ou mesmo à evaporação prévia à infiltração no solo.

Visando testar estas hipóteses foi construído um diagrama em que foram inseridos os dados de condutividade elétrica e de concentração isotópica de $\delta^{18}O$, com a diferenciação por tipos aquíferos (Figura 91). A distribuição dos pontos mostra que não existe uma correlação entre estes dois parâmetros (r^2=0,07), ou seja, de maneira geral, o aumento na condutividade elétrica ou salinidade não implica em variações no conteúdo de $\delta^{18}O$. Desta forma, a dissolução dos sais minerais parece ser o mecanismo predominante da salinização da água subterrânea, em detrimento da intrusão da água do mar. Neste mesmo diagrama, foram lançados também os conteúdos em Trítio podendo-se notar que as águas mais recentes (com maior teor em Trítio) estão associadas a águas pouco mineralizadas, especialmente do aquífero São Luís.

Passou-se então a investigação da ocorrência de processos de evaporação das águas de chuva antes de infiltrarem no aquífero. Para tal, foi elaborado um gráfico de dispersão $\delta^{18}O$ e δD, contendo a reta meteórica global e com as análises separadas em classes de condutividade elétrica (Figura 92). Uma relação bastante interessante se destacou e refere-se à ocorrência de amostras do aquífero São Luís e da mistura dos aquíferos São Luís e Itapecuru com condutividades entre 150 e 500 μS/cm e que se afastam da reta global. A regressão linear para esses pontos, com coeficiente de correlação muito elevado (r^2=0,97), resultou em uma reta com inclinação inferior ao da meteórica global.

De acordo com Clark (2015), o processo de evaporação gera enriquecimento em ^{18}O e D, com linha de tendência positiva que se desvia da reta meteórica global. O coeficiente angular desta reta varia de 4 a 7, dependendo da umidade relativa do ar. As razões para este desvio associam-se aos fatores cinéticos de fracionamento do ^{18}O e D, sendo que o enriquecimento é maior para o oxigênio-18 do que para o deutério, resultando na linha de evaporação com inclinação menor que a linha meteórica global.

Com base na aplicabilidade do excesso de deutério, foi realizado o cálculo dos valores para amostras, separadas por tipos aquíferos, e então obtidas as médias aritméticas de cada conjunto.

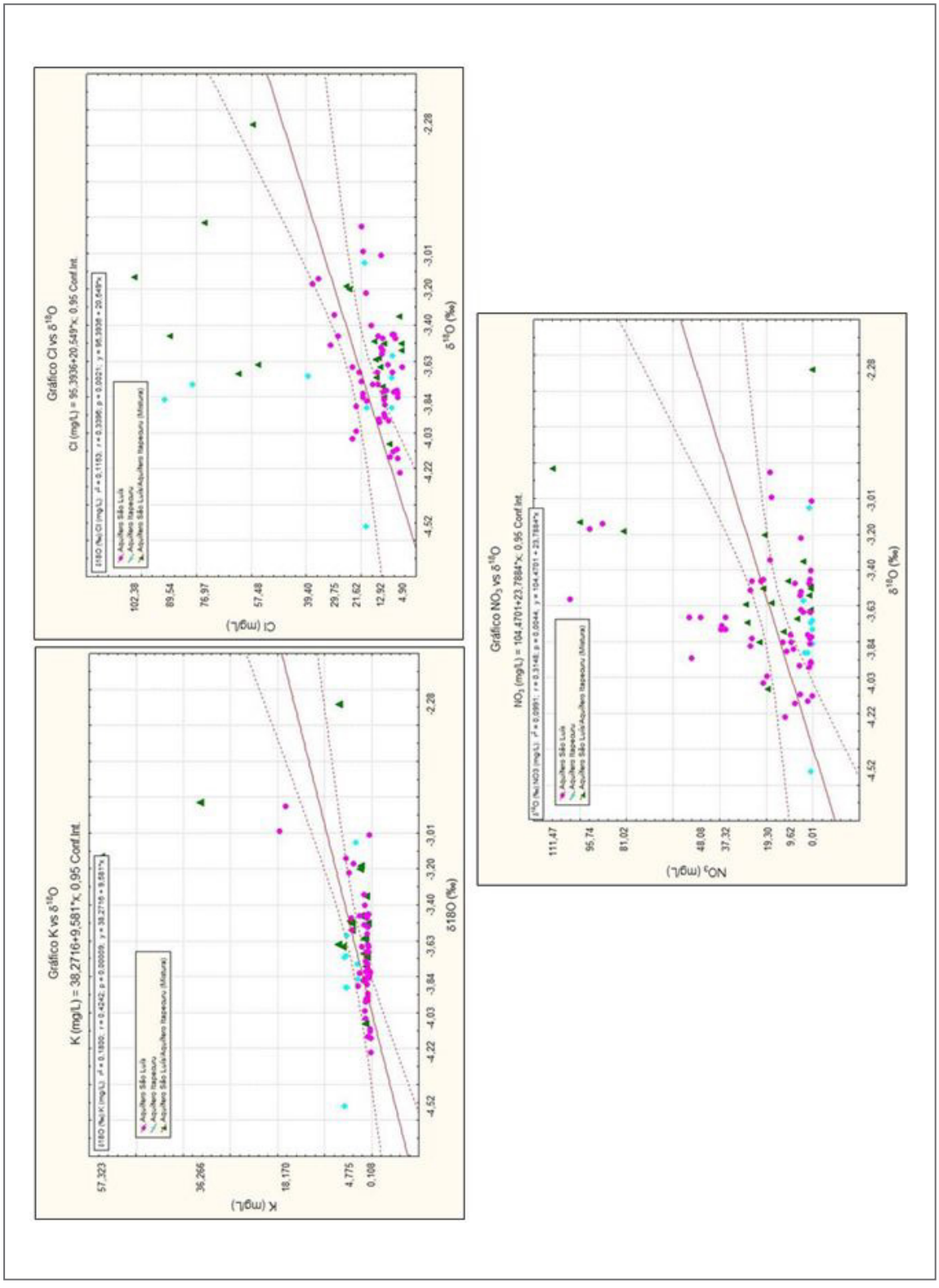


Figura 88: Gráficos de correlação entre $\delta^{18}O$ e os parâmetros químicos K, Cl e NO_3 com discriminação dos tipos aquíferos (círculos rosas – Aquífero São Luís; losangos azuis – Aquífero Itapecuru; triângulos verdes - Mistura aquíferos São Luís e Itapecuru). Correlações significativas apontadas pelo teste de Pearson

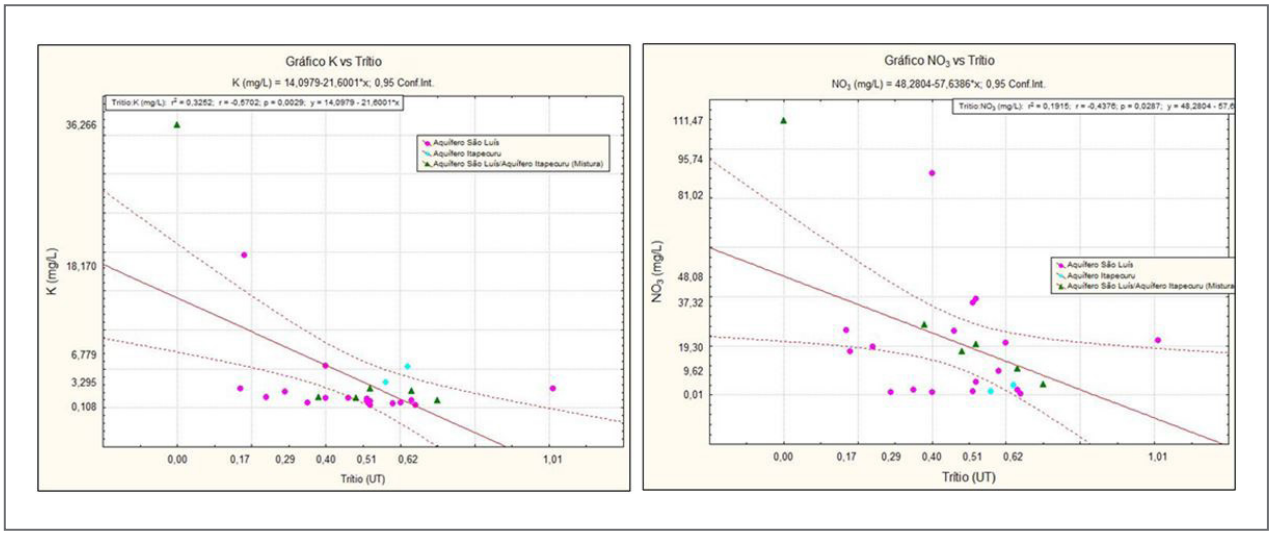


Figura 89: Gráficos de correlação entre Trítio e os parâmetros químicos K e NO_3 com discriminação dos tipos aquíferos (círculos rosas – Aquífero São Luís; losangos azuis – Aquífero Itapecuru; triângulos verdes - Mistura dos aquíferos São Luís e Itapecuru). Correlações significativas apontadas pelo teste de Pearson

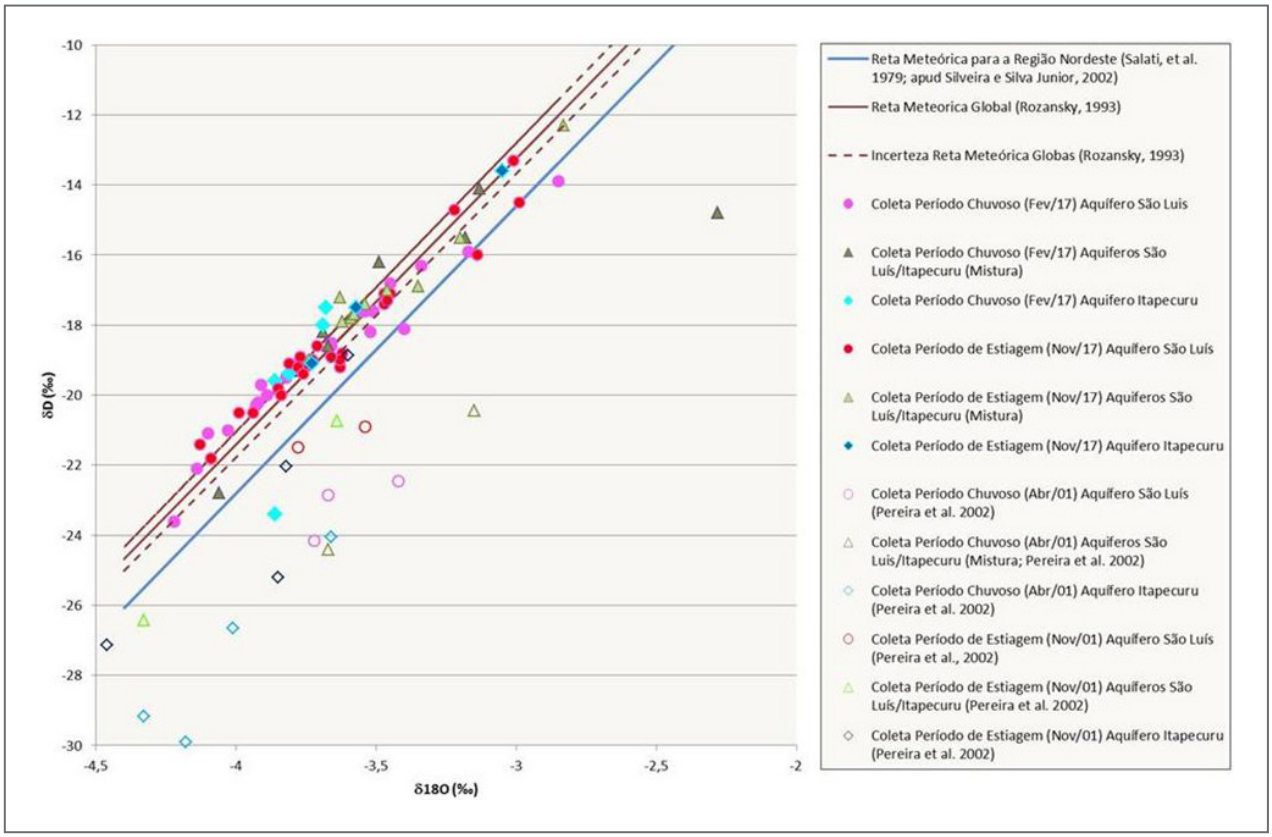


Figura 90: Diagrama de δD x $\delta^{18}O$ do conjunto de amostras coletadas no projeto (símbolos preenchidos). Lançadas também as linhas meteóricas Global e da região Nordeste e as análises realizadas por Pereira *et al.* (2002 e 2004), em símbolos não preenchidos

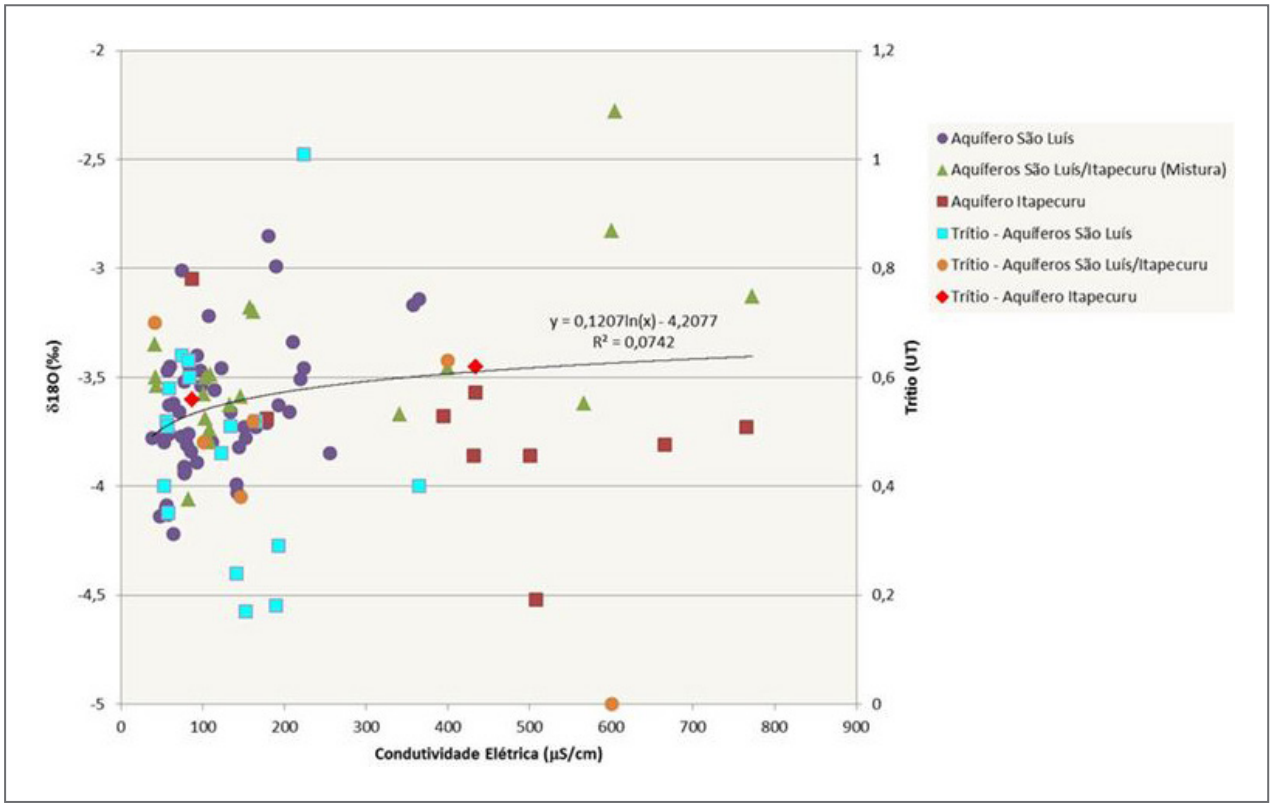


Figura 91: Diagrama de $\delta^{18}O$ e Trítio versus Condutividade Elétrica

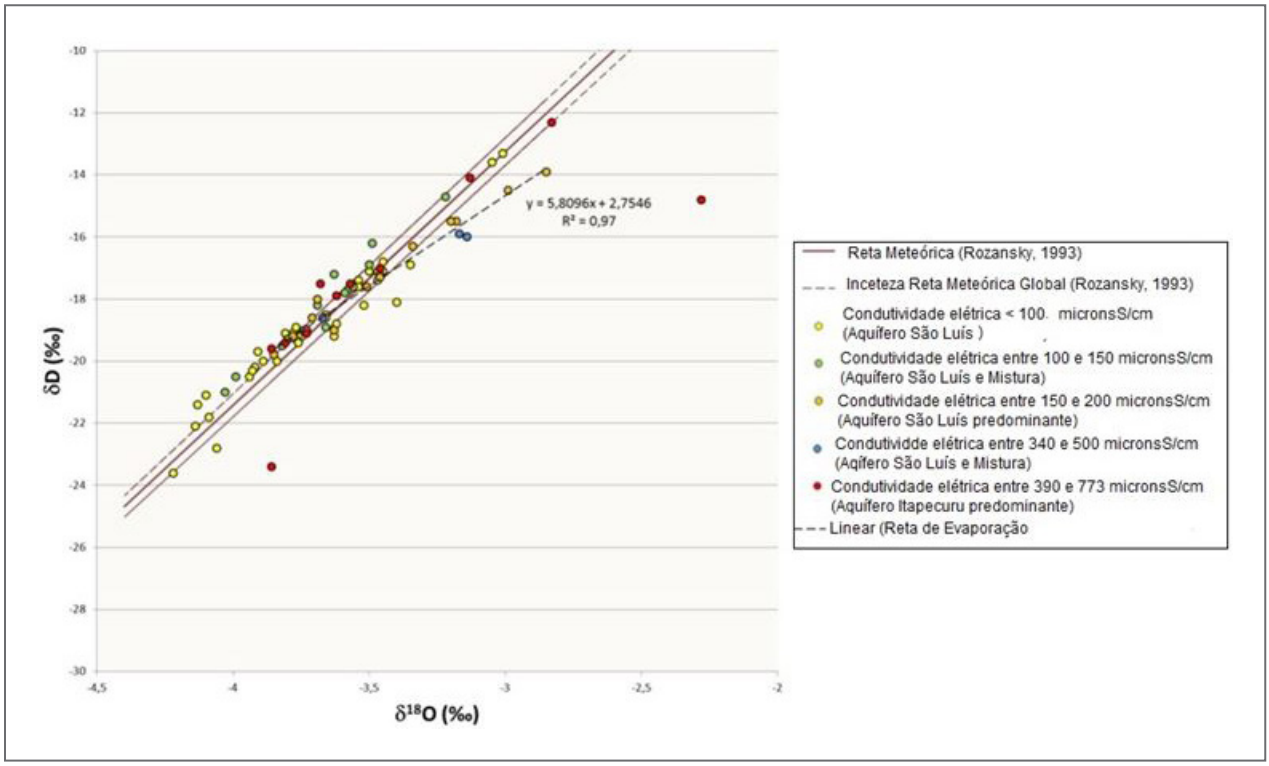


Figura 92: Diagrama de δD e $\delta^{18}O$ para as análises, classificadas por intervalos de condutividade elétrica e por aquífero predominante

Os resultados de Excesso de Deutério (d) das águas de mistura e dos Aquíferos São Luís e Itapecuru são apresentados nas Tabela 39, Tabela 40 e Tabela 41.

As médias dos valores de Excesso de Deutério para as águas de mistura e dos Aquíferos Itapecuru e São Luís mostram uma pequena variação sazonal, assim como os valores médios de $\delta^{18}O$ e δD. Os resultados das médias do excesso de Deutério se apresentaram entre 11,27‰ e 11,52‰, muito próximos ao valor de 11,27 ‰ da reta meteórica global (Rozansky*et al.*, 1993) e dentro do intervalo de incerteza. Pode-se inferir, portanto que as águas foram formadas em condições de equilíbrio e a origem do vapor de água está associada à evaporação da superfície oceânica.

Tabela 39: Valores de Excesso de Deutério - *d* (‰) das águas do Aquífero Itapecuru nos períodos de chuva (fevereiro/2017) e de estiagem (novembro/2017)

CÓDIGO DA AMOSTRA	PERÍODO DE CHUVA (FEV/17)	PERÍODO DE ESTIAGEM (NOV/17)
	d(‰)	*d*(‰)
PSL – 02	12,15	11,32
PSL – 10	11,94	11,67
PSL – 36	11,73	11,37
PSL – 39	12,57	NC
PSL – 45	11,73	11,73

Onde, NC se refere a um ponto onde não foi coletada amostra

Tabela 40: Valores de Excesso de Deutério - *d* (‰) das águas de mistura nos períodos de chuva (fevereiro/2017) e de estiagem (novembro/2017)

CÓDIGO DA AMOSTRA	PERÍODO DE CHUVA (FEV/17)	PERÍODO DE ESTIAGEM (NOV/17)
	d(‰)	*d*(‰)
PSL-03	10.9	11,52
PSL-20	11.1	11,53
PSL-23	9.68	10,47
PSL-38	11.1	11,56
PSL-44	3.44	11,68
PSL-46	9.94	10,64
PSL-65	10.76	11,27
PSL-83	11.72	11,55
PSL-84	11.32	12,46
PSL-99	10.94	10,82
PSL – 104	NC	11,52
PSL – 107	NC	11,53
MÉDIA GERAL	11,43	11,34

Onde, NC se refere a um ponto onde não foi coletada amostra

Tabela 41: Valores de Excesso de Deutério - *d* (‰) das águas do Aquífero São Luís nos períodos de chuva (fevereiro/2017) e de estiagem (novembro/2017)

CÓDIGO DA AMOSTRA	PERÍODO DE CHUVA (FEV/17)	PERÍODO DE ESTIAGEM (NOV/17)
	δ (‰)	δ (‰)
PSL-04	8.9	9.42
PSL-17	9.96	10.16
PSL-21	10.72	10.36
PSL-22	11.14	11.26
PSL-24	10.16	9.84
PSL-26	11.02	10.92
PSL-40	11.16	11.02
PSL-43	10.88	10.48
PSL-49	11.1	10.88
PSL-50	10.42	NC
PSL-55	11.1	11
PSL-64	10.84	10.84
PSL-67	10.8	10.66
PSL-68	9.1	10.04
PSL-69	10.78	10.5
PSL-70	11.7	11.64
PSL-71	11.58	11.38
PSL-72	10.68	11.08
PSL-73	11.24	11.42
PSL-74	9.46	9.12
PSL-78	11.06	11.04
PSL-80	10.48	10.38
PSL-93	11.12	10.38
PSL-96	11.14	10.72
PSL-98	10.86	10.78
PSL-105	NC	10.68
PSL-106	NC	11.06
MÉDIA GERAL	11,32	11,27

Onde, NC se refere a um ponto onde não foi coletada amostra

4.1.3. Discussão dos resultados de Oxigênio e Deutério

As correlações fracas a moderadas - mas significativas, conforme teste de Pearson, encontradas entre os parâmetros químicos e isotópicos (Tabela 37) são reflexo principalmente das diferenciações composicionais e estratigráficas entre os aquíferos São Luís e Itapecuru, dos tempos de residência (e consequentemente de quando a recarga ocorreu) e das profundidades de coleta das amostras.

Nesse sentido as correlações positivas entre os isótopos de $\delta^{18}O$ e δD e os parâmetros potássio e cloreto indicam as relações entre as águas mais empobrecidas isotopicamente e com menores conteúdos em K e Cl para, principalmente, o aquífero São Luís (médias, respectivamente de 1,68 e 18,51 mg/L). Na mesma linha de análise, as correlações positivas para o nitrato correspondem às amostras enriquecidas isotopicamente, com teores altos de NO_3 (acima de 20 mg/L) e elevada condutividade elétrica (superior a 150 μS/cm) referentes ao Aquífero São Luís e à mistura São Luís/Itapecuru. A correlação negativa do trítio com potássio e nitrato atesta que as águas mais recentes (ou seja, com conteúdo igual ou superior a 0,8 UT) relacionam-se àquelas com menos potássio, menos condutivas (inferior a 150μS/cm) e com menor concentração de NO_3 do aquífero São Luís. A grande variabilidade da condutividade elétrica para este aquífero foi demonstrada nas Figura 91 e Figura 92, com implicações nos conteúdos de trítio e dos isótopos estáveis revelando diferenciações na recarga, nos tempos de residência e na dinâmica de fluxo.

De modo geral, as relações observadas $\delta^{18}O$ e δD e os valores médios de excesso de deutério assinalam infiltração rápida de águas meteóricas originadas da evaporação da água do mar, em condição de equilíbrio. Algumas amostras do aquífero São Luís e da mistura São Luís/Itapecuru, com valores médios a altos de condutividade elétrica (entre 150 e 500μ/cm), e que se afastam da curva meteórica, conforme o diagrama da Figura 92, indicam que a água infiltrada foi submetida a um processo de evaporação prévio. As amostras localizam-se, principalmente, na porção central da área (PSL-46, PSL-50, PSL-74 e PSL-80). A amostra PSL-04, no entanto, situa-se na região sudoeste.

4.2. TRÍTIO

Os estudos envolvendo o isótopo ambiental de trítio tiveram como objetivo a determinação da taxa de renovação da água subterrânea na Ilha de São Luís.

Foi efetuada uma avaliação criteriosa de todos os poços e nascentes cadastrados, com condições para coleta de amostras, considerando os seguintes critérios: distribuição homogênea na área de estudo; representatividade dos aquíferos existentes; captação preferencial de somente um tipo aquífero e posicionamento ao longo das principais trajetórias de fluxo subterrâneo presumidas.

Assim sendo foram selecionados 23 poços tubulares e duas nascentes, inseridos nos domínios dos seguintes aquíferos: i) Aquífero Inferior representado pelo Aquífero Itapecuru (Alcântara e Itapecuru indiscriminado); e ii) Aquífero Superior formado pelo Aquífero São Luís (Pós-Barreiras, Barreiras e/ou Cujupe). Em seis situações, a coleta foi realizada em pontos (poços e nascentes) que captavam os dois aquíferos, Aquífero Superior (São Luís) e Aquífero Inferior (Itapecuru).

As análises foram feitas pelo Laboratório de Trítio Ambiental do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN. A determinação do teor de trítio (3H) em amostras de águas foi realizada por enriquecimento eletrolítico e contagem das emissões das radiações beta pelos

isótopos do hidrogênio de massa três, o trítio, contidos nas amostras. O método consiste na execução do enriquecimento eletrolítico simultaneamente com amostras de água isentas de trítio, denominada "água morta" e com amostras de referência, contendo águas com teor de trítio conhecido. Estas amostras são conhecidas como spike. Durante a eletrólise da água ocorre redução de volumes, de 500 ml para cerca de 15 ml. Em seguida ao processo de enriquecimento eletrolítico os teores de trítio das amostras e spikes enriquecidos são determinados por contagem em Cintiladores Líquidos e por comparação com amostras padrões, utilizadas para obtenção da eficiência do processo de detecção. São utilizados padrões do National Institute of Standards and Technology – NIST, do Departamento de Comércio dos Estados Unidos.

Conhecidos os teores de trítio nas amostras e spikes enriquecidos, são determinados os fatores ou razões de enriquecimento da eletrólise realizada, possibilitando assim, a determinação das concentrações originais de trítio das amostras. O CDTN dispõe de infraestrutura especial capaz de assegurar a obtenção de nível de radiação de fundo suficientemente baixo, em virtude dos reduzidos valores de trítio no hemisfério sul. A precisão analítica é de 0,1 UT.

4.2.1. O Emprego do Isótopo radioativo de hidrogênio em estudos hidrogeológicos

O isótopo radioativo do hidrogênio, trítio, possui meia-vida de 12,32 anos. A sua atividade é expressa em unidades de trítio [UT], sendo que 1 (uma) UT corresponde a um átomo de 3H por 1018 átomos de hidrogênio ou 1,185 Bq/L. Como o 3H é parte da própria molécula de água, ele pode ser compreendido como um marcador conservador (Mook, 2002).

Pequenas quantidades de trítio natural são produzidas pelo decaimento alfa do lítio 7. O trítio atmosférico natural também é gerado pelo bombardeamento do Nitrogênio por raios cósmicos, que se decompõe em Carbono-12 e Trítio. Os átomos de trítio, em seguida, combinam com o oxigênio, formando a água que se precipita na forma de chuva ou neve.

A concentração de ^{3}H na precipitação sob condições de equilíbrio é provavelmente cerca de 5UT, o que é equivalente a uma atividade específica de cerca de 0,6 Bq/L (Roether, 1967; *apud* Mook, 2002).

A determinação das atividades absolutas específicas do ^{3}H é bastante complexa e por essa razão, as atividades de trítio são relacionadas a uma amostra de água de referência. A Agência Internacional de Energia Atômica - AIEA e o NIST forneceram um padrão para o trítio (NBS-SRM 4361) com 11.100 UT com referência a 3 de setembro de 1978 (Unterweger *et al.*, 1980).

A partir dos testes com armas nucleares no início dos anos 50, houve um aumento no teor de ^{3}H na precipitação de cerca de 1000 vezes no Hemisfério Norte. Visto que o Equador funciona como uma espécie de barreira na circulação atmosférica, as concentrações de trítio no hemisfério sul alcançaram valores menores, com um máximo de 30 UT entre 1963-1965, e picos discretos de 80 UT, mostrando diminuição lenta ao longo dos anos. Atualmente os valores de trítio têm-se aproximado daqueles pré-testes nucleares (Clark e Fritz, 1997).

Como as concentrações de trítio nas águas subterrâneas refletem os níveis de trítio atmosférico quando a água esteve em contato com a atmosfera, o ^{3}H pode ser usado para datar a recarga. Dado que os valores de UT variam tanto espacial quanto temporalmente, é importante estabelecer pontos de determinação de trítio na precipitação mais próximos possíveis da área de estudo de modo a fornecer uma referência de estimativa da recarga e dos tempos de trânsito da água subterrânea. Vários processos tais como mistura hidrodinâmica e convergência do padrão de fluxo subterrâneo acarretam variações na origem da recarga e idade da água. Somente em condições especiais (e.g. aquíferos confinados) a idade é preservada ao longo do fluxo subterrâneo. Assim sendo, conforme apontado por Lousada e Campos (2011) o termo "idade" deve ser entendido como "tempo médio de residência da água subterrânea".

Para registrar essa mudança em ^{3}H na precipitação, a AIEA implantou uma rede global de 125 estações para coletar amostras de chuva e analisá-las isotopicamente (*Global Network of Isotopes in Precipitation* - GNIP). Esses dados fornecem curvas de entrada suficientemente confiáveis que permitem extrapolação para outras regiões do planeta.

Assim sendo, para interpretar os valores de concentração de trítio é necessário conhecer as concentrações desse isótopo nas precipitações ocorridas na área do estudo após o início dos testes nucleares na atmosfera. Caso sejam inexistentes, essas concentrações podem ser deduzidas, de forma bastante aproximada, a partir de correlações com concentrações da rede mundial de controle estabelecida pela AIEA. São utilizadas estações próximas (Brasília, Ceará - Mirim, Cuiabá, Fortaleza, Manaus, Porto Alegre, Porto Velho, Rio de Janeiro), e a estação modelo para o Hemisfério Sul, localizada em Kaitoke, Nova Zelândia (Minardi e Bomtempo, 2000). É válido esclarecer que as estações GNIP no Brasil foram desativadas na década de 1990. Atualmente no banco de dados GNIP estão registradas como em operação somente as estações em Belo Horizonte, situada na área do CDTN e em São Paulo, localizada no Campus da UNESP de Rio Claro. A CPRM em articulação com a ANA vem instalando estações de coleta de água de chuva para a retomada da geração de dados isotópicos em território nacional. Estas estações foram doadas à ANA pela Agência Internacional de Energia Nuclear no âmbito do projeto RLA 7024.

Como a meia vida do trítio é relativamente curta (12,32 anos), o uso do isótopo aplica-se melhor para a datação de águas modernas, de algumas poucas décadas. Deste modo, a estimativa da idade das águas subterrâneas usando trítio apenas fornece valores semiquantitativos, de tal forma que, de acordo com Clark e Fritz (1997), temos:

- menor que 0,8 UT indica água submoderna (antes da década de 1950)
- 0,8 a 4 UT indica uma mistura de água submoderna e moderna
- 5 a 15 UT indicam água moderna (<5 a 10 anos)
- 15 a 30 UT indicam algum trítio derivado dos testes nucleares
- maior que 30 TU: a recarga ocorreu nas décadas de 1960 a 1970

A datação da água baseia-se na premissa de que a concentração de entrada de trítio é conhecida e que o valor medido, ou seja, o residual é o resultado apenas do decaimento.

Na busca de uma maior aproximação do tempo de residência são utilizados, comumente, dois modelos de fluxo: em pistão e exponencial (Motzer, 2007).

O modelo de fluxo em pistão estabelece que a parcela de água que entra no aquífero, em um evento de recarga, não se mistura tendo preservada sua identidade original (Kinzelbachet al., 2002). A recarga é, portanto, estimada a partir da intercepção de linhas de decaimento, geradas com a concentração de trítio da água subterrânea, nas curvas de 3H para a precipitação. Como ressaltado por Clark e Fritz (1997) esse modelo constitui uma grande simplificação do sistema natural ao assumir que apenas um ano de precipitação contribui para o valor de 3H encontrado na água subterrânea. A solução da função de distribuição do tempo de residência é (Zuber e Maloszewski, 2000):

$$C_s(t) = C_0 e^{-\lambda t}$$

Onde:

Cs(t) = Concentração no tempo (t) em que foi realizada a análise;

C0 = Concentração inicial

λ = Termo de decaimento, equivalente a ln2/12,43 (meia vida do 3H), em 1/ano;

t = Período de tempo em anos, entre o ano hidrológico de determinação do trítio na água subterrânea e o ano em que a concentração inicial na precipitação está sendo considerada.

O modelo exponencial é mais realístico, pois leva em conta tanto a mistura de águas quanto o decaimento do trítio. O cálculo da "idade" da água, ou seja, do tempo de renovação da água, conforme descrito por Minardi e Bomtempo (2000), é feito subdividindo o aquífero em diversas células com composição isotópica e química aproximadamente homogênea. Cada célula contém um volume constante de água (recarga = descarga) e uma concentração de trítio representativa de um ou mais valores determinados em poços ou mananciais contidos na mesma. É presumido que a fração de recarga que penetra a célula mistura-se uniformemente com toda a água nela contida em um tempo muito curto, comparativamente com o tempo de renovação da água dessa célula. Esse modelo assume que cada componente de água subterrânea ao longo do sistema de fluxo recebeu a mesma contribuição ponderada da precipitação, na zona de recarga, ao longo de vários anos. O cálculo de tempo de residência, considerando a entrada e a mistura de 3H em múltiplos anos é feito a partir de (Clark e Fritz, 1997):

i. Contribuição ponderada de 3H para cada ano; e
ii. Correção do decaimento da parcela de cada ano durante o armazenamento na zona de recarga. A equação para esse modelo é dependente do tempo de residência (τ) da água subterrânea (Kinzelbach et al., 2002):

$$Cs(t) = \sum_{t'=-\infty}^{t-1} C_0(t')\frac{1}{\tau} * \frac{1}{\frac{1}{\tau}+\lambda}\left\{Exp\left[-\left(\frac{1}{\tau}+\lambda\right)*(t-t')\right]\right\}_{t'}^{t'+1}$$

Onde:

Cs(t) = Concentração no tempo (t) em que foi realizada a análise;

C0 = Concentração inicial;

τ =Tempo de residência da água (anos);

(t-t') = Tempo transcorrido desde o ano a que se refere C0 até o momento de coleta da amostra;

A equação acima pode ser resolvida interativamente para valores de τ.

A estimativa das concentrações em 3H nas precipitações é feita a partir das estações de medidas mais próximas, sendo que para o período anterior a 1960 (início do monitoramento no Brasil) podem ser adotados, após procedimentos de adaptação, valores de estações no hemisfério norte. Os tempos de residência para a água subterrânea são obtidos a partir de soluções gráficas.

4.2.2. O Trítio na Ilha de São Luís

As concentrações de trítio medidas nos pontos d'água selecionados na área revelam, em uma análise preliminar, que há uma grande variabilidade de valores para a água subterrânea, desde a ausência de trítio até valores superiores a 1 UT (Tabela 42).

Como já enfatizado anteriormente, a interpretação dos valores obtidos de trítio exige o conhecimento de suas concentrações nas precipitações locais. Visto que não existe monitoramento dos valores de 3H em chuvas na região, foi feita a estimativa a partir de estações no Brasil e de uma estação na Nova Zelândia (Kaitoke) que possui série histórica de longo período. As estações mais próximas localizavam-se em Belém e em Fortaleza. Para a primeira estação, a série de monitoramento abrange o período de 1965 a 1983, enquanto para a segunda, de 1965 a 1976. As concentrações de trítio para as estações mencionadas foram obtidas do banco de dados do programa GNIP (Global Network of Isotopes in Precipitation) da Agência Internacional de Energia Nuclear (IAEA, 2018).

Considerando, primeiramente, a classificação apresentada por Clark e Fritz (1997), pode-se inferir que a grande maioria das amostras (20) indica recargas anteriores à década de 1950, ou seja, mostram valores de trítio inferiores a 0,80 UT. Dado que os erros analíticos podem alcançar cerca de 30% do valor determinado, e adotando-se uma posição conservadora, em que se estabelece o limite superior da concentração de trítio, tem-se que cinco amostras podem constituir uma combinação de água submoderna e moderna. Dentre essas amostras, dois poços (PSL 80 e PSL105) e uma nascente (PSL98) associam-se exclusivamente ao aquífero superior e um poço (PSL65) e uma nascente (PSL23) relacionam-se aos aquíferos superior e inferior (mistura de águas). O mapa da Figura 93 apresenta a localização das amostras coletadas, classificadas pelo critério de Clark e Fritz (1997).

Tabela 42: Resultados das análises de Trítio de amostras de água subterrânea coletadas na área

CÓDIGO DA AMOSTRA	DATA DA COLETA	UTM_E	UTM_N	NATUREZA DO PONTO	MUNICÍPIO	LOCALIDADE	PROF. (m)	AQUÍFERO CAPTADO	TRÍTO (UT)	INCERTEZA
PSL02	09/02/2017	570879	9698142	Poço Tubular	São Luís	Coqueiro	73,0	Aquif_Inferior - Aquífero Itapecuru (Alcântara + Itapecuru_indiscriminado)	0,56	0,18
PSL04	10/02/2017	577497	9702458	Poço Tubular	São Luís	Pedrinhas	30,0	Aquif_Superior - Aquífero São Luís (Pleist + Barreiras e/ou Cujupe)	0,18	0,22
PSL10	11/02/2017	582200	9709525	Poço Tubular	São Luís	Maracanã - Distrito Industrial	146,0	Aquif_Inferior - Aquífero Itapecuru (Alcântara + Itapecuru_indiscriminado)	0,62	0,16
PSL20	14/02/2017	585136	9712700	Poço Tubular	São Luís	São Raimundo	112,5	Simultânea - Aquif_ Superior + Aquif_Inferior (São Luís + Itapecuru)	0,38	0,17
PSL22	16/02/2017	592939	9711503	Poço Tubular	São Luís	Santana	65,0	Aquif_Superior - Aquífero São Luís (Pleist + Barreiras e/ou Cujupe)	0,40	0,19
PSL23	16/02/2017	582927	9702945	Fonte Natural	São Luís	São Joaquim	0,0	Simultânea - Aquif_ Superior + Aquif_Inferior (São Luís + Itapecuru)	0,70	0,16
PSL26	16/02/2017	594959	9715576	Poço Tubular	São José de Ribamar	Geniparana	60,0	Aquif_Superior - Aquífero São Luís (Pleist + Barreiras e/ou Cujupe)	0,52	0,16
PSL43	11/02/2017	584401	9723691	Poço Tubular	São Luís	COHAJAP - Conj. Habitacional Jardim Primavera	54,0	Aquif_Superior - Aquífero São Luís (Pleist + Barreiras e/ou Cujupe)	0,46	0,16
PSL46	09/02/2017	583135	9716431	Poço Tubular	São Luís	Parque Estadual do Bacanga – Sacavém		Simultânea - Aquif_ Superior + Aquif_Inferior (São Luís + Itapecuru)	0,52	0,17

continua

Tabela 42: Resultados das análises de Trítio de amostras de água subterrânea coletadas na área (continuação)

CÓDIGO DA AMOSTRA	DATA DA COLETA	UTM_E	UTM_N	NATUREZA DO PONTO	MUNICÍPIO	LOCALIDADE	PROF. (m)	AQUÍFERO CAPTADO	TRÍTO (UT)	INCERTEZA
PSL49	09/02/2017	593925	9728346	Poço Tubular	Raposa	Araçagy	64,5	Aquif_Superior - Aquífero São Luís (Pleist + Barreiras e/ou Cujupe)	0,58	0,15
PSL64	14/02/2017	595146	9720503	Poço Tubular	Paço do Lumiar	Todos os Santos	87,5	Aquif_Superior - Aquífero São Luís (Pleist + Barreiras e/ou Cujupe)	0,52	0,14
PSL65	13/02/2017	607883	9723318	Poço Tubular	São José de Ribamar	Panaquatira		Simultânea - Aquif_ Superior + Aquif_Inferior (São Luís + Itapecuru)	0,63	0,17
PSL67	16/02/2017	593533	9709416	Poço Tubular	São José de Ribamar	Bom Jardim II		Aquif_Superior - Aquífero São Luís (Pleist + Barreiras e/ou Cujupe)	0,51	0,15
PSL68	16/02/2017	600225	9726519	Poço Tubular	Paço do Lumiar	Iguiba - Poço Cajueiro	32,0	Aquif_Superior - Aquífero São Luís (Pleist + Barreiras e/ou Cujupe)	0,29	0,21
PSL69	17/02/2017	586013	9706960	Poço Tubular	São Luís	Campina do Maracanã	68,0	Aquif_Superior - Aquífero São Luís (Pleist + Barreiras e/ou Cujupe)	0,60	0,19
PSL70	17/02/2017	596732	9726540	Poço Tubular	Paço do Lumiar	Porto de Maracajutuba	95,0	Aquif_Superior - Aquífero São Luís (Pleist + Barreiras e/ou Cujupe)	0,35	0,21
PSL73	17/02/2017	598937	9730146	Poço Tubular	Raposa	Vila Nova	75,0	Aquif_Superior - Aquífero São Luís (Pleist + Barreiras e/ou Cujupe)	0,24	0,19
PSL74	15/02/2017	586571	9716360	Poço Tubular	São Luís	Ilhabela		Aquif_Superior - Aquífero São Luís (Pleist + Barreiras e/ou Cujupe)	0,40	0,17
PSL78	16/02/2017	602026	9718081	Poço Tubular	São José de Ribamar	Vila Dr. Julinho	74,0	Aquif_Superior - Aquífero São Luís (Pleist + Barreiras e/ou Cujupe)	0,17	0,17

continua

Tabela 42: Resultados das análises de Trítio de amostras de água subterrânea coletadas na área (continuação)

CÓDIGO DA AMOSTRA	DATA DA COLETA	UTM_E	UTM_N	NATUREZA DO PONTO	MUNICÍPIO	LOCALIDADE	PROF. (m)	AQUÍFERO CAPTADO	TRÍTO (UT)	INCERTEZA
PSL80	16/02/2017	590734	9714598	Poço Tubular	São Luís	Geniparana		Aquif_Superior - Aquífero São Luís (Pleist + Barreiras e/ou Cujupe)	1,01	0,25
PSL84	16/02/2017	585644	9720564	Poço Tubular	São Luís	Angelim	92,0	Simultânea - Aquif_ Superior + Aquif_Inferior (São Luís + Itapecuru)	0,48	0,22
PSL93	11/02/2017	590780	9723268	Poço Tubular	São José de Ribamar	Parque Jair	36,0	Aquif_Superior - Aquífero São Luís (Pleist + Barreiras e/ou Cujupe)	0,51	0,24
PSL98	15/02/2017	593407	9705496	Fonte Natural	São José de Ribamar	São Paulo	0,0	Aquif_Superior - Aquífero São Luís (Pleist + Barreiras e/ou Cujupe)	0,64	0,27
PSL105	11/02/2017	590625	9715943	Poço Tubular	São José de Ribamar	Bom Negócio		Aquif_Superior - Aquífero São Luís (Pleist + Barreiras e/ou Cujupe)	0,63	0,18
PSL107	16/02/2017	575839	9709710	Poço Tubular	São Luís	Vila Maranhão (Conjunto Jatobá)	92,0	Simultânea - Aquif_ Superior + Aquif_Inferior (São Luís + Itapecuru)	0,00	0,23

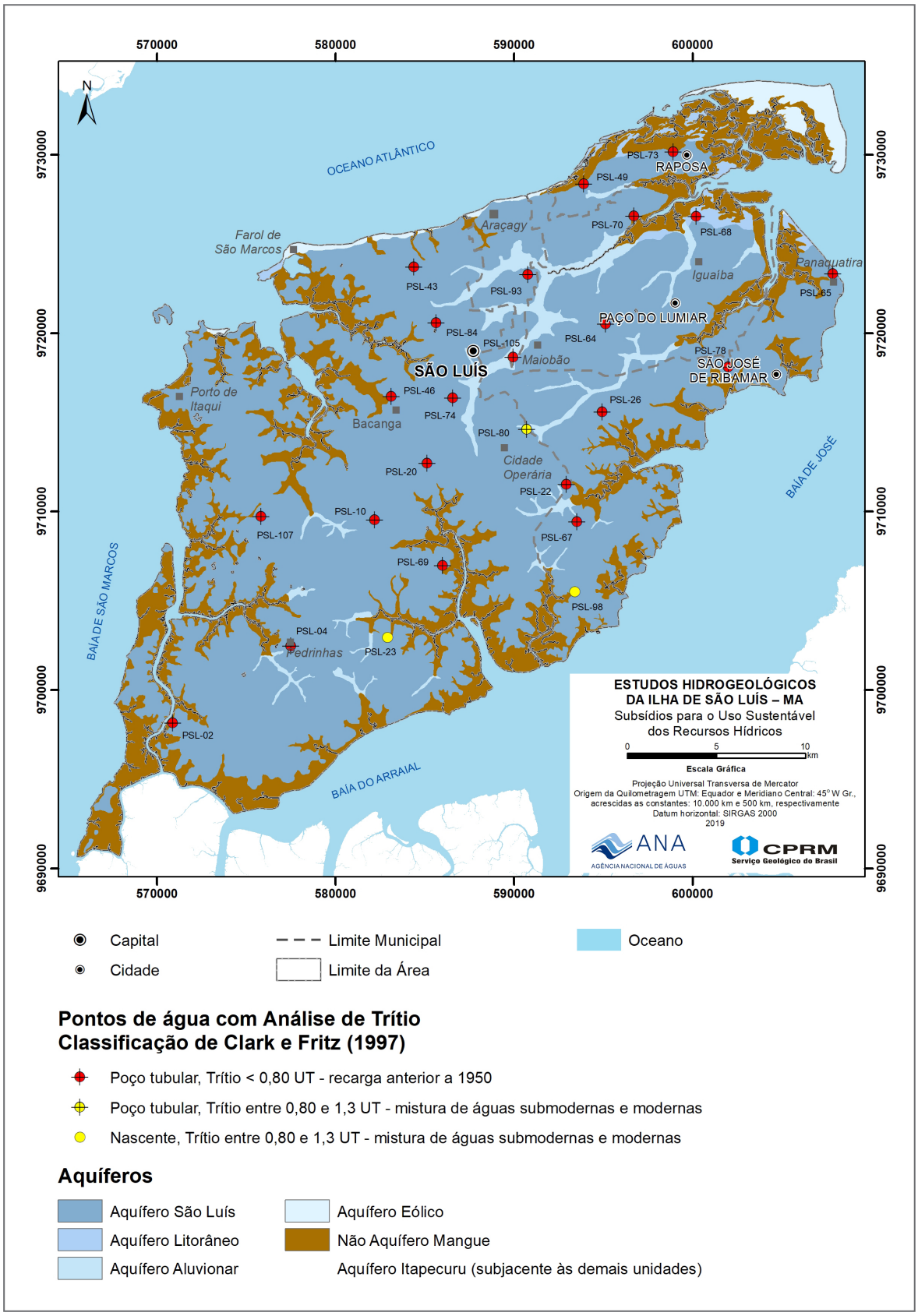


Figura 93: Mapa com a localização dos pontos d'água com amostragem de Trítio, classificados, conforme Clark e Fritz (1997), de acordo com as concentrações obtidas

Tendo em vista a utilização do modelo de fluxo exponencial na estimativa do tempo de residência das águas subterrâneas e adotando a estação GNIP em Belém como a estação base para os cálculos, visto ser a mais próxima da área, foi determinado o fator que relaciona os valores de trítio entre ela e a de Kaitoke, que possui dados de 1960 a 2011. Para o período anterior a 1960 foram utilizados os valores do hemisfério norte, com fator de correção de 0,14. Os fatores foram obtidos dividindo-se as concentrações médias anuais ponderadas da estação de Belém pelos respectivos valores das demais estações e então, calculado o valor médio.

Na Tabela 43 os valores originais das estações mencionadas são apresentados nas primeiras quatro colunas enquanto que os valores corrigidos adotados das demais estações são mostrados nas colunas Belém 1 a Belém 3. A última coluna corresponde à integração dos valores calculados e medidos para a estação de Belém no período de 1953 a 2011. Nesta tabela foram também apresentados, a título de comparação, os dados da estação de Fortaleza. Destaca-se que para o período de 1984 a 2011 foram utilizadas as mesmas concentrações de Kaitoke visto que para os anos de 1981 a 1983 os fatores de correlação chegaram a ultrapassar 0,90. Além disso, percebe-se que a partir de 1987 a redução dos valores é bem mais lenta, permanecendo próximo a 2,0 UT. Reforçando esta decisão, Lousada e Campos (2011) determinaram valores de trítio para aquíferos rasos, na região de Brasília, que ultrapassaram 2,2 UT.

Na tentativa de melhorar as estimativas das concentrações de trítio especificamente para São Luís e considerando a existência de duas estações relativamente próximas, a de Belém, e a de Fortaleza, foi efetuado para esta última, processo similar ao anterior de preenchimento da série de 1953 a 2011, mantendo-se os registros existentes. Foram utilizados os dados da estação de Ceará Mirim-RN (período de 1977 a 1982) com fator de correção de 1,259, e da série calculada de Belém, com fator de correção de 0,79 para o período de 1953 a 1964 (Tabela 44). Seguindo o mesmo argumento anterior, os dados de 1984 a 2011 foram reproduzidos da estação Kaitoke. Corroborando a sequência da série pode-se constatar que os valores corrigidos a partir da estação de Ceará - Mirim (1977 a 1982) tem correspondência quase que total com os valores da estação de Belém.

Os valores relativos à área de trabalho resultaram da interpolação linear simples entre aqueles das estações de Belém e de Fortaleza (coluna São Luís na Tabela 44). A equação de interpolação foi obtida por meio das distâncias entre a área de estudo e as estações de tal modo que:

$$T_{São\ Luís} = 0,60T_{Belém} + 0,40T_{Fortaleza}$$

Onde:

$T_{São\ Luís}$ = Concentração de trítio nas precipitações da área de estudo, em [UT];

$T_{Belém}$ = Concentração de trítio nas precipitações da estação de Belém, em [UT];

$T_{Fortaleza}$ = Concentração de trítio nas precipitações da estação de Fortaleza em [UT];

Como as concentrações em trítio evoluem de forma similar para as distintas estações, as aproximações feitas para o cálculo dos valores de trítio, nas precipitações para São Luís, não devem

resultar em alteração significativa no resultado final, ou seja, a estimativa do tempo de residência da água subterrânea. Esse aspecto foi ressaltado por Herrera *et al.* (2006) ao adotar procedimentos semelhantes. A curva representativa da concentração média anual de trítio estimada para as chuvas na região de estudo encontra-se ilustrada na Figura 94.

Tabela 43: Procedimentos de determinação dos valores de ^{3}H na estação de Belém e estimativa para o Aquífero São Luís

ANO	ESTAÇÕES – CONCENTRAÇÕES MÉDIAS PONDERADAS DE ^{3}H (UT)				ESTIMATIVAS DE ^{3}H (UT) PARA A ÁREA DE ESTUDO			
	KAITOKE	HEMISFÉRIO NORTE	FORTALEZA	BELÉM	BELÉM 1 (*1)	BELÉM 2 (*2)	BELÉM 3 (*3)	BELÉM INTEGRADO
1953		8,4				**1,60**		**1,60**
1954		91,5				**17,39**		**17,39**
1955		13,2				**2,51**		**2,51**
1956		58,5				**11,12**		**11,12**
1957		37,6				**7,14**		**7,14**
1958		186,8				**35,49**		**35,49**
1959		146,6				**27,85**		**27,85**
1960	9,78	50,7			**6,36**			**6,36**
1961	8,61	53,6			**5,60**			**5,60**
1962	12,75	276,6			**8,29**			**8,29**
1963	22,33	1000			**14,51**			**14,51**
1964	37,96	538,1			**24,67**			**24,67**
1965	34,10	273	28,48	31,34	31,34	31,34	31,34	31,34
1966	34,10	183,2	19,36	19,30	19,30	19,30	19,30	19,30
1967	28,49	106,3	14,81	14,81	14,81	14,81	14,81	14,81
1968	25,88	81,1	7,94	14,67	14,67	14,67	14,67	14,67
1969	30,71	76,8	7,71	9,93	9,93	9,93	9,93	9,93
1970	29,76	65,4	9,11	11,46	11,46	11,46	11,46	11,46
1971	25,19	78,5	7,14	10,26	10,26	10,26	10,26	10,26
1972	15,43	41,8	6,34	9,03	9,03	9,03	9,03	9,03
1973	12,19	37	5,15	7,66	7,66	7,66	7,66	7,66
1974	9,46	41,6	4,81	6,29	6,29	6,29	6,29	6,29
1975	9,85	35,4	6,05	6,11	6,11	6,11	6,11	6,11
1976	7,36	27,8	3,21	4,82	4,82	4,82	4,82	4,82
1977	6,99	24,8		4,47	4,47	4,47	4,47	4,47
1978	6,04	27,5		4,31	4,31	4,31	4,31	4,31
1979	5,26	16,5		4,58	4,58	4,58	4,58	4,58
1980	4,88	14,5		3,40	3,40	3,40	3,40	3,40

continua

Tabela 43: Procedimentos de determinação dos valores de ^{3}H na estação de Belém e estimativa para o Aquífero São Luís (continuação)

ANO	ESTAÇÕES – CONCENTRAÇÕES MÉDIAS PONDERADAS DE ^{3}H (UT)				ESTIMATIVAS DE ^{3}H (UT) PARA A ÁREA DE ESTUDO			
	KAITOKE	HEMISFÉRIO NORTE	FORTALEZA	BELÉM	BELÉM 1 (*1)	BELÉM 2 (*2)	BELÉM 3 (*3)	BELÉM INTEGRADO
1981	3,75	15,7		3,49	3,49	3,49	3,49	3,49
1982	3,75	10,9		2,97	2,97	2,97	2,97	2,97
1983	3,45	9,5		3,10	3,10	3,10	3,10	3,10
1984	3,25	7,5					**3,25**	**3,25**
1985	3,16	7,3					**3,16**	**3,16**
1986	2,75	7,2					**2,75**	**2,75**
1987	2,71	6,7					**2,71**	**2,71**
1988	2,71						**2,71**	**2,71**
1989	2,44						**2,44**	**2,44**
1990	2,34						**2,34**	**2,34**
1991	2,25						**2,25**	**2,25**
1992	2,28						**2,28**	**2,28**
1993	2,39						**2,39**	**2,39**
1994	2,12						**2,12**	**2,12**
1995	2,47						**2,47**	**2,47**
1996	2,27						**2,27**	**2,27**
1997	2,49						**2,49**	**2,49**
1998	2,26						**2,26**	**2,26**
1999	2,13						**2,13**	**2,13**
2000	1,95						**1,95**	**1,95**
2001	1,95						**1,95**	**1,95**
2002	1,81						**1,81**	**1,81**
2003	1,78						**1,78**	**1,78**
2004	1,88						**1,88**	**1,88**
2005	1,76						**1,76**	**1,76**
2006	1,80						**1,80**	**1,80**
2007	1,95						**1,95**	**1,95**
2008	2,12						**2,12**	**2,12**
2009	2,15						**2,15**	**2,15**
2010	2,14						**2,14**	**2,14**
2011	2,00						**2,00**	**2,00**

*1 – Uso dos dados da estação de Kaitoke, para o período de 1960 a 1964, com fator de correção 0,65;

*2 – Para o período de 1953 a 1959 utilizados os valores do hemisfério Norte com fator de correção de 0,19;

*3 – Utilizados os valores de Kaitoke, para o período de 1984 a 2011. Números coloridos representam valores calculados

Tabela 44: Procedimentos de determinação dos valores de ^{3}H na estação de Fortaleza e estimativa para São Luís

ANO	CEARÁ – MIRIM	BELÉM	FORTALEZA	ESTIMATIVAS DE ^{3}H (UT) PARA A ÁREA DE ESTUDO			
	CONCENTRAÇÕES MÉDIAS PONDERADAS DE ^{3}H (UT)	^{3}H VALORES MEDIDOS E CALCULADOS	CONCENTRAÇÕES MÉDIAS PONDERADAS DE ^{3}H (UT)	FORTALEZA 1 (*1)	FORTALEZA 2 (*2)	FORTALEZA INTEGRADO	SÃO LUÍS (*3)
1953		1,60			1,26	1,26	**1,46**
1954		17,39			13,73	13,73	**15,92**
1955		2,51			1,98	1,98	**2,30**
1956		11,12			8,78	8,78	**10,18**
1957		7,14			5,64	5,64	**6,54**
1958		35,49			28,04	28,04	**32,51**
1959		27,85			22,00	22,00	**25,51**
1960		6,36			5,02	5,02	**5,82**
1961	84,0	5,60			4,42	4,42	**5,13**
1962	47,09	8,29			6,55	6,55	**7,59**
1963		14,51			11,47	11,47	**13,30**
1964		24,67			19,49	19,49	**22,60**
1965	14,89	31,34	28,48	28,48	28,48	28,48	**30,19**
1966	9,66	19,30	19,36	19,36	19,36	19,36	**19,32**
1967	7,54	14,81	14,81	14,81	14,81	14,81	**14,81**
1968	8,37	14,67	7,94	7,94	7,94	7,94	**11,98**
1969	7,76	9,93	7,71	7,71	7,71	7,71	**9,04**
1970	7,99	11,46	9,11	9,11	9,11	9,11	**10,52**
1971	6,99	10,26	7,14	7,14	7,14	7,14	**9,01**
1972	6,02	9,03	6,34	6,34	6,34	6,34	**7,96**
1973	5,62	7,66	5,15	5,15	5,15	5,15	**6,65**
1974	4,93	6,29	4,81	4,81	4,81	4,81	**5,70**
1975	4,65	6,11	6,05	6,05	6,05	6,05	**6,09**
1976	3,65	4,82	3,21	3,21	3,21	3,21	**4,17**

continua

Tabela 44: Procedimentos de determinação dos valores de ^{3}H na estação de Fortaleza e estimativa para São Luís (continuação)

ANO	CEARÁ – MIRIM	BELÉM	FORTALEZA	ESTIMATIVAS DE ^{3}H (UT) PARA A ÁREA DE ESTUDO			
	CONCENTRAÇÕES MÉDIAS PONDERADAS DE ^{3}H (UT)	^{3}H VALORES MEDIDOS E CALCULADOS	CONCENTRAÇÕES MÉDIAS PONDERADAS DE ^{3}H (UT)	FORTALEZA 1 (*1)	FORTALEZA 2 (*2)	FORTALEZA INTEGRADO	SÃO LUÍS (*3)
1977	2,94	4,47		3,70		3,70	**4,16**
1978	2,67	4,31		3,36		3,36	**3,93**
1979	3,27	4,58		4,12		4,12	**4,40**
1980	4,43	3,40		5,58		5,58	**4,27**
1981	3,16	3,49		3,98		3,98	**3,68**
1982	2,17	2,97		2,73		2,73	**2,87**
1983		3,10			**3,25**	**3,25**	**3,1**
1984		**3,25**			**3,16**	**3,16**	**3,25**
1985		**3,16**			**2,75**	**2,75**	**3,16**
1986		**2,75**			**2,71**	**2,71**	**2,75**
1987		**2,71**			**2,71**	**2,71**	**2,71**
1988		**2,71**			**2,44**	**2,44**	**2,71**
1989		**2,44**			**2,34**	**2,34**	**2,44**
1990		**2,34**			**2,25**	**2,25**	**2,34**
1991		**2,25**			**2,28**	**2,28**	**2,25**
1992		**2,28**			**2,39**	**2,39**	**2,28**
1993		**2,39**			**2,12**	**2,12**	**2,39**
1994		**2,12**			**2,47**	**2,47**	**2,12**
1995		**2,47**			**2,27**	**2,27**	**2,47**
1996		**2,27**			**2,49**	**2,49**	**2,27**
1997		**2,49**			**2,26**	**2,26**	**2,49**
1998		**2,26**			**2,13**	**2,13**	**2,26**
1999		**2,13**			**1,95**	**1,95**	**2,13**
2000		**1,95**			**1,95**	**1,95**	**1,95**

continua

Tabela 44: Procedimentos de determinação dos valores de ^{3}H na estação de Fortaleza e estimativa para São Luís (continuação)

ANO	CEARÁ – MIRIM	BELÉM	FORTALEZA	ESTIMATIVAS DE ^{3}H (UT) PARA A ÁREA DE ESTUDO			
	CONCENTRAÇÕES MÉDIAS PONDERADAS DE ^{3}H (UT)	^{3}H VALORES MEDIDOS E CALCULADOS	CONCENTRAÇÕES MÉDIAS PONDERADAS DE ^{3}H (UT)	FORTALEZA 1 (*1)	FORTALEZA 2 (*2)	FORTALEZA INTEGRADO	SÃO LUÍS (*3)
2001		**1,95**			**1,81**	**1,81**	**1,95**
2002		**1,81**			**1,78**	**1,78**	**1,81**
2003		**1,78**			**1,88**	**1,88**	**1,78**
2004		**1,88**			**1,76**	**1,76**	**1,88**
2005		**1,76**			**1,80**	**1,80**	**1,76**
2006		**1,80**			**1,95**	**1,95**	**1,8**
2007		**1,95**			**2,12**	**2,12**	**1,95**
2008		**2,12**			**2,15**	**2,15**	**2,12**
2009		**2,15**			**2,14**	**2,14**	**2,15**
2010		**2,14**			**2,00**	**2,00**	**2,14**
2011		**2,00**			**3,25**	**3,25**	**2**

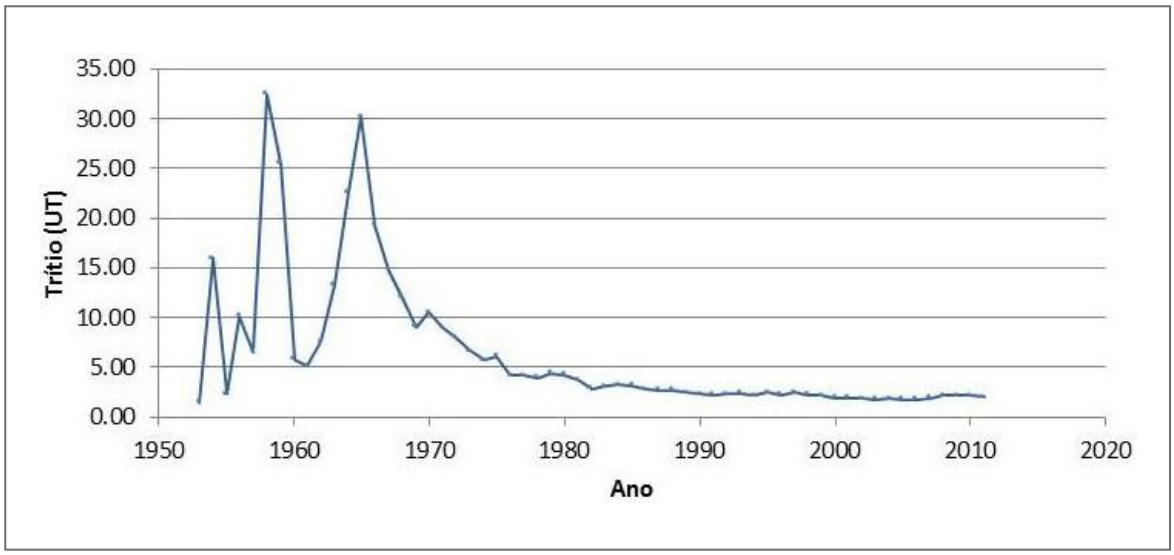


Figura 94: Concentrações médias de Trítio estimadas para as precipitações em São Luís

Com as estimativas temporais dos valores de trítio para as precipitações em São Luís, passou-se ao emprego do modelo exponencial, mais adequado às condições de fluxo subterrâneo, para o cálculo do tempo de residência a partir das concentrações obtidas nas coletas. Construiu-se a curva de concentração de trítio e o tempo de renovação da água subterrânea aplicando-se a equação do modelo exponencial para os valores calculados de ^{3}H na precipitação da área, no período de 1953 a 2011, com a adoção de tempos sucessivos de residência (Figura 95).

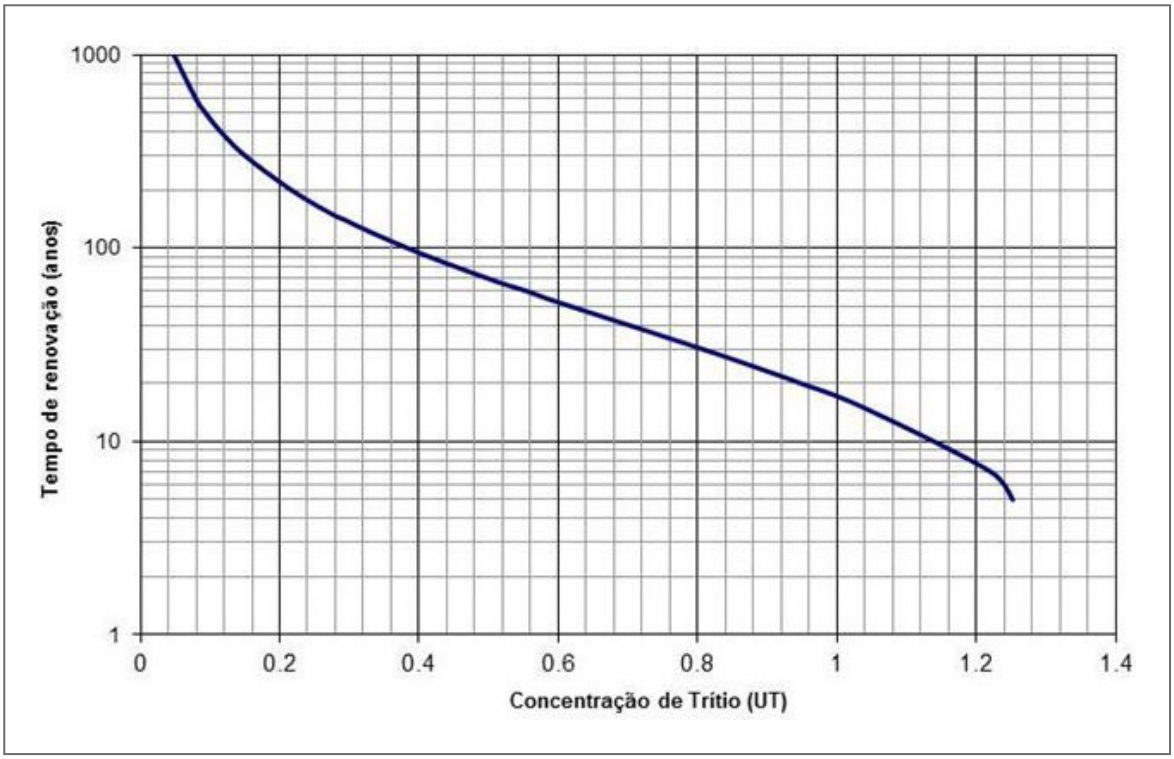


Figura 95: Curva de tempo de renovação da água subterrânea em função da concentração do Trítio concentração obtida com base no modelo de fluxo exponencial

Utilizando-se da curva da Figura 95 foram estimados os respectivos tempos de residência para os pontos d'água amostrados cujos resultados encontram-se na Tabela 45. Enfatiza-se que tempos de renovação acima de 50 anos, intervalo de aplicabilidade do trítio para datação, representa uma extrapolação do método exponencial, devendo ser utilizados isótopos de meia-vida longa (14C, 36Cl, 39Ar e 81Kr; Clark e Fritz, 1997) para a obtenção de resultados mais precisos.

Tabela 45: Tempos de renovação das águas subterrâneas, calculados a partir do modelo exponencial de fluxo

CÓDIGO AMOSTRA	MUNICÍPIO	LOCALIDADE	AQUÍFERO	TRÍTIO (UT)	INCERTEZA	TEMPO DE RENOVAÇÃO (ANOS)	INTERVALO DE CONFIANÇA (ANOS)	
PSL02	São Luís	Coqueiro	Inferior	0,56	0,18	60	100	25
PSL04	São Luís	Pedrinhas	Superior	0,18	0,22	>200	>200	100
PSL10	São Luís	Maracanã - Distrito Industrial	Inferior	0,62	0,16	50	80	30
PSL20	São Luís	São Raimundo	Simultânea - Superior + Inferior	0,38	0,17	100	>200	60
PSL22	São Luís	Santana	Superior	0,4	0,19	90	>200	50
PSL23	São Luís	São Joaquim	Simultânea - Superior + Inferior	0,7	0,16	40	60	25
PSL26	São José de Ribamar	Geniparana	Superior	0,52	0,16	60	100	40
PSL43	São Luís	COHAJAP - Conj. Habitacional Jardim Primavera	Superior	0,46	0,16	80	150	50
PSL46	São Luís	Parque Estadual do Bacanga – Sacavém	Simultânea - Superior + Inferior	0,52	0,17	60	100	40
PSL49	Raposa	Araçagy	Superior	0,58	0,15	55	80	25
PSL64	Paço do Lumiar	Todos os Santos	Superior	0,52	0,14	60	100	40
PSL65	São José de Ribamar	Panaquatira	Simultânea - Superior + Inferior	0,63	0,17	50	80	30
PSL67	São José de Ribamar	Bom Jardim II	Superior	0,51	0,15	60	100	40
PSL68	Paço do Lumiar	Iguiba - Poço Cajueiro	Superior	0,29	0,21	150	>200	70

continua

Tabela 45: Tempos de renovação das águas subterrâneas, calculados a partir do modelo exponencial de fluxo (continuação)

CÓDIGO AMOSTRA	MUNICÍPIO	LOCALIDADE	AQUÍFERO	TRÍTIO (UT)	INCERTEZA	TEMPO DE RENOVAÇÃO (ANOS)	INTERVALO DE CONFIANÇA (ANOS)	
PSL69	São Luís	Campina do Maracanã	Superior	0,6	0,19	50	90	30
PSL70	Paço do Lumiar	Porto de Maracajutuba	Superior	0,35	0,21	100	>200	60
PSL73	Raposa	Vila Nova	Superior	0,24	0,19	180	>200	80
PSL74	São Luís	Ilhabela	Superior	0,4	0,17	100	180	60
PSL78	São José de Ribamar	Vila Dr. Julinho	Superior	0,17	0,17	>200	>200	120
PSL80	São Luís	Geniparana	Superior	1,01	0,25	18	35	<10
PSL84	São Luís	Angelim	Simultânea - Superior + Inferior	0,48	0,22	70	160	40
PSL93	São José de Ribamar	Parque Jair	Superior	0,51	0,24	60	150	35
PSL98	São José de Ribamar	São Paulo	Superior	0,64	0,27	50	100	25
PSL105	São José de Ribamar	Bom Negócio	Superior	0,63	0,18	50	80	30
PSL107	São Luís	Vila Maranhão (Conjunto Jatobá)	Simultânea - Superior + Inferior	0	0,23	>200	>200	180

4.2.3. Discussão dos resultados de Trítio

A análise da Tabela 43 revela que as águas do aquífero Superficial, constituído pelo Aquífero São Luís, formado pelas unidades Pós-Barreiras, Barreiras e Cujupe, apresentam uma grande variação dos tempos de renovação, desde inferior a 20 anos a superior a 200 anos. Estes valores foram obtidos por meio da aplicação do modelo de fluxo exponencial para as concentrações de trítio nas precipitações de estações GNIP (Global Network of Isotopes in Precipitation; IAEA, 2018) próximas a São Luís (Belém e Fortaleza), na Nova Zelândia (hemisfério sul) e no hemisfério norte, após procedimentos de integração e correção dos dados.

Especificamente para o aquífero Inferior, representado pelo Aquífero Itapecuru indiviso e Alcântara, os tempos de residência são bastante semelhantes, em torno de 50-60 anos, mas os dados são provenientes de apenas duas amostras. Visto que este aquífero se encontra integralmente

encoberto pelo Aquífero São Luís presumiam-se idades mais antigas que aquelas encontradas no Aquífero Superior. Desta forma, a interpretação destes resultados requer maior compreensão da dinâmica de recarga e fluxo subterrâneo bem como da avaliação de conexão hidráulica mais intensa com as unidades hidroestratigráficas sobrejacentes.

As idades encontradas para as amostras que envolvem misturas de águas dos aquíferos superior e inferior têm interpretação complexa visto que não se conhece a proporção de mescla. No entanto, com exceção da amostra PSL 65, as demais exibem tempos de residência compatíveis com as amostras coletadas nas imediações.

Nota-se, a partir do mapa da Figura 96, que os tempos de renovação mostram distribuição não errática que se configura por:

Tempos de residência elevados para as extremidades nordeste e sudoeste;

Idades intermediárias (águas sub-modernas) para as porções mais internas da Ilha, com exceção da extremidade nordeste e sudoeste; e

Águas modernas (≤ 50 anos) na porção sul da ilha e nordeste (Panaquatira).

Esta conformação dos tempos de residência contribui para a ampliação do conhecimento a respeito da interação entre os aquíferos e de como se processa a recarga, o fluxo e o armazenamento da água subterrânea. Ressalta-se, no entanto que os resultados devem ser interpretados à luz das demais informações disponíveis tais como a geologia, geofísica, hidroquímica, aspectos hidráulicos e potenciometria dos aquíferos.

Mostra de maneira clara a direção preferencial do fluxo das águas subterrâneas na Ilha, que se dá do centro para as extremidades litorâneas. No caso da porção sul da Ilha, a ocorrência de águas modernas (≤ 50 anos), pode talvez indicar uma recarga a partir da parte aflorante dos aquíferos no continente.

4.3. CARBONO 14

A datação de água subterrânea por radiocarbono (14C) sinaliza o tempo em que esta deixou de ter contato com a atmosfera, ou seja, o tempo transcorrido desde que a água se converteu em água subterrânea. A assimilação de porcentagens de espécies de carbonato, no solo (plantas vivas) ou rochas carbonáticas provocam incertezas no cálculo, carecendo de cuidados e/ou implementação de fatores de correção da idade para assegurar a obtenção de resultados confiáveis.

Quando os princípios da datação pelo radiocarbono foram definidos, a vida-média do 14C foi estimada em 5568 anos. Cálculos mais precisos indicaram que ela é na verdade de 5730 ± 30 anos, mas os laboratórios continuaram usando a “vida-média de Libby”, em um consenso internacional para datações geológicas e arqueológicas. Entretanto, na hidrologia se aplica o verdadeiro período radioativo de 5730 anos (Godwin, 1972).

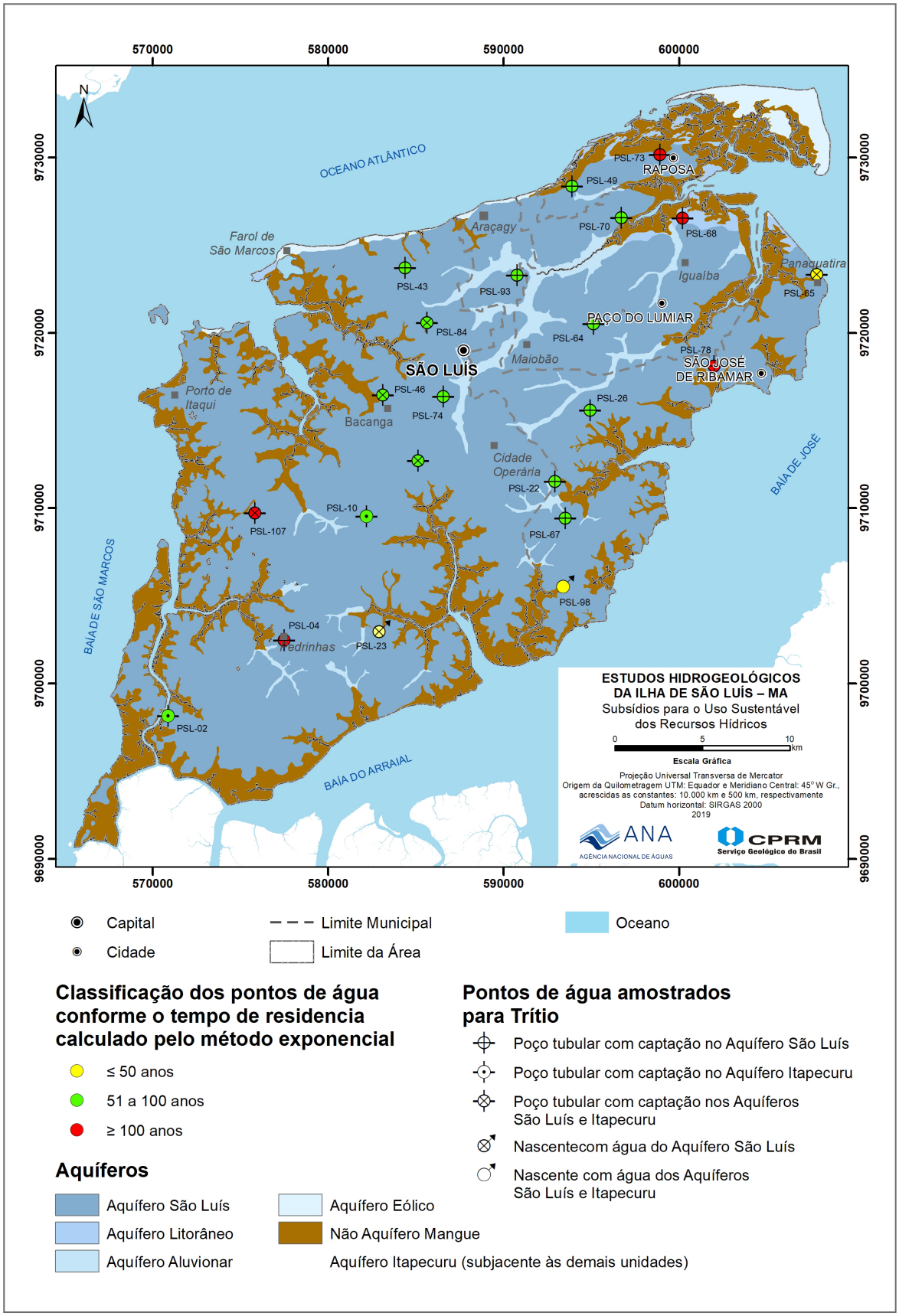


Figura 96: Distribuição dos tempos de residência das águas subterrâneas estimados para os pontos com análise de Trítio, a partir da aplicação do modelo de fluxo exponencial

A vida média do 14C de 5730 anos significa que um organismo que morreu há 5730 anos tem atualmente a metade do seu conteúdo original em 14C. Ele terá 25 % deste conteúdo daqui a 5730 anos, e assim por diante. Assim sendo, a idade radiocarbono de uma amostra fóssil pode ser obtida comparando a radioatividade específica 14C/12C desta amostra com a radioatividade específica de um padrão de referência. O 14C possui um período radioativo interessante para a compreensão de problemas hidrológicos, sendo possível quantificar, em condições favoráveis, até o final de aproximadamente 7 períodos de semidesintegração (meias vidas), ou seja, ~40.000 anos (Clark e Fritz, 1997).

A atividade radioativa para o 14C é geralmente apresentada na forma de "porcentagem de atividade do 14C" que se encontra dissolvido na amostra respectivamente à atividade da matéria orgânica moderna, assumidas como 100%, ou simplesmente 100, seguido pela expressão pmc (percentual de carbono moderno), Mook, 1980, Stuiver e Polach, 1977.

A datação de material orgânico com 14C baseia-se no fato de que toda biomassa viva está em equilíbrio com a atmosfera, portanto com mesma atividade A0. A partir da morte da biomassa, essa não mais interage com a atmosfera e, desse momento em diante, a atividade do 14C decresce de acordo com a lei de decaimento radioativo. Em outras palavras a idade da água é obtida através da relação de abundância do 14C em relação ao 12C (mais abundante).

Para o cálculo da idade utiliza-se como base a equação de decaimento:

$$t = (T/ln2) * ln(A_0/A)$$

t = tempo (em anos)

T = tempo de meia vida (5730 anos para o ^{14}C, segundo Godwin, e 5568 anos para

o ^{14}C, segundo Libby)

A_0 = atividade de ^{14}C da água na época da recarga

A = atividade de ^{14}C obtida na análise (atual)

No presente estudo essas análises foram realizadas pelo Laboratório de Radiocarbono, do Instituto de Física, da Universidade Federal Fluminense, utilizando Espectrômetros de Massa com Aceleradores. Foram enviadas 15 amostras de água, porém, devido à pequena quantidade de carbono na maioria delas, a quantidade de gás CO_2 gerada foi quase sempre inferior ao mínimo necessário para obter os resultados das idades de ^{14}C.

Assim, somente foram obtidos inicialmente resultados em três amostras (poços PSL-10, PSL-36 e PSL-44. No final do ano de 2019, o Laboratório de Radiocarbono do Instituto de Física da Universidade Federal Fluminense – LAC-UFF enviou novo laudo de análises, no qual foram refeitas as três primeiras análises e realizadas mais 7 outras (PSL - 03, PSL - 20, PSL - 21, PSL 104, PSL - 67, PSL - 74 e PSL - 93).

Esse novo laudo reitera que as amostras coletadas possuem baixa concentração de carbono, tendo sido utilizado um volume maior de cada uma delas, buscando aumentar a concentração naquelas

que possuíam DIC (Carbono Inorgânico Dissolvido) intermediários, possibilitando a precipitação e extração do gás necessário para a obtenção das idades de Carbono 14, em 10 amostras.

Uma descrição detalhada dos procedimentos adotados nesses trabalhos pode ser vista no "Laudo de análise de materiais por Carbono 14 – AMS", emitido em 09 de dezembro de 2019 pelo Laboratório de Radiocarbono do Instituto de Física da Universidade Federal Fluminense - UFF, mostrado no ANEXO 11.

No mesmo documento, embora não seja parte deste projeto também se encontram os resultados analíticos do ^{14}C referentes aos trabalhos ora em desenvolvimento na Região Urbana e Periurbana de Manaus – AM enviados pela CPRM ao laboratório de radiocarbono da UFF na mesma ocasião. Na Tabela 46 se mostram os resultados obtidos.

Tabela 46: Resultados finais disponibilizados no laudo do Laboratório de Radiocarbono, do Instituto de Física, da Universidade Fluminense (LAC-UFF)

CÓDIGO DA AMOSTRA	IDADE APARENTE ^{14}C	INCERTEZA	PMC	INCERTEZA
PSL-03	2247	126	75,603	1,175
PSL-10	3687	42	63,195	0,333
PSL-20	382	40	95,353	0,472
PSL-21	381	37	95,374	0,442
PSL-36	18396	73	10,126	0,092
PSL-104	240	45	97,051	0,538
PSL-44	16857	67	12,264	0,102
PSL-67	434	56	94,744	0,656
PSL-74	-164	44	102,07	0,557
PSL-93	665	40	92,058	0,46

Onde PMC é o percentual de carbono moderno

Para as amostras que atravessaram a Formação Alcântara, devido à percolação da água em seus sedimentos carbonáticos, foi aplicado um fator de correção para as idades aparentes (Fator Tamers). Para as amostras coletadas somente da Formação São Luís, não foi aplicado nenhum fator de correção.

Embora com muitos avanços nos procedimentos de coletas, análises e nas aplicações do radiocarbono em ciências hidrológicas, a interpretação de idade por meio do carbono dissolvido em águas subterrâneas ainda é limitada por incertezas na determinação da quantidade inicial do ^{14}C dissolvido nas áreas de recarga dos aquíferos e por transformações biogeoquímicas que alteram essa quantidade ao longo da trajetória no aquífero (IAEA, 2013), tornando indispensável a aplicação de modelos de correção.

Durante o trânsito da água através de rochas carbonáticas, o processo de dissolução do carbonato modifica o conteúdo inicial de ^{14}C na água. A rocha mais antiga aporta ^{12}C e ^{13}C na água, mas não o ^{14}C, isso diminui a proporção $^{14}C/^{12}C$, provocando um envelhecimento aparente da água.

O cálculo adotado para a correção das idades utiliza-se da proposta de Tamers (1975), em que a aproximação da idade se baseia na realização de hipóteses sobre os tipos de reações químicas que podem ter ocorrido nas águas, ou seja, o método realiza uma correção da idade embasada no balanço químico definido pela reação de dissolução de carbonatos:

$$^{14}CO_2 + H_2O + CaCO_3 = Ca^{2+} + HCO_3^- + H^{14}CO_3^-$$

O fator de correção (f) no cálculo da idade é dado por:

$$f = \frac{a/2 + b}{a + b}$$

Onde:

a - é o valor da alcalinidade (mol/l)

b - é o conteúdo de CO_2 na água (mol/l) → calculado com a fórmula de Tillmans a partir do princípio do equilíbrio químico.

$$t = \frac{T}{ln2} * ln\frac{A_0 * f}{A}$$

As Figura 97 e Figura 98 mostram a distribuição dos pontos amostrados e as idades aparentes obtidas e corrigidas (Tabela 45).

4.3.1. Discussão dos resultados de Carbono 14

As águas superficiais e de chuva que se infiltram no solo contêm pequenas quantidades de dióxido de carbono extraído do ar. Deixando a atmosfera, a água entra em contato com o ar presente no solo, onde o dióxido de carbono gerado por pressão parcial da vegetação (respiração de raízes) é muito maior. O conteúdo de radiocarbono dessas fontes é conhecido como nível "moderno" e é usado como referência nos cálculos de idade. Na situação ideal, entre vinte a até mais de sessenta poços são amostrados em média em um aquífero. Estudos que incluem amostras de menos de dez poços, como este da Ilha de São Luís, não permitem conclusões muito precisas e a interpretação das idades poderá ser muitas vezes ambígua.

Na Ilha de São Luís, a modelagem hidrogeológica sugerida considera que o Sistema Aquífero é composto por unidades hidroestratificadas, não confinadas e semiconfinadas, com recargas a partir das chuvas para o aquífero livre superior (São Luís) e, principalmente, por drenança vertical a partir do aquífero São Luís para o Itapecuru, sotoposto ao mesmo. Em determinados locais e em menor intensidade, o aquífero Itapecuru pode receber recargas diretas das chuvas.

Pela datação com radiocarbono dos poços, a precisão do modelo pode ser examinada. Se as idades são mais antigas em poços que captam o aquífero Itapecuru, a taxa de recarga mais lenta para ele será confirmada.

Desta forma, ainda que a datação de água subterrânea por radiocarbono possa indicar quando ela deixou de ter contato com a atmosfera, ou seja, quando entrou no solo, existem incertezas no cálculo da porcentagem de espécies de carbonato procedentes de plantas vivas na área

Tabela 47: Resultados finais (idades aparentes e corrigidas)

CÓDIGO AMOSTRA	PSL-03	PSL-10	PSL-20	PSL-21	PSL-36	PSL-104	PSL-44	PSL-67	PSL-74	PSL-93
MUNICÍPIO	São Luís	São Luís	São Luís	São Luís	São Luís	São Luís	São Luís	S.J. Ribamar	São Luís	S.J. Ribamar
UTM E	575573	582200	585136	587110	582033		576667	593533	586571	590780
UTM N	9695448	9709525	9712700	9700550	9718231		9718624	9709416	9716360	9723268
LOCALIDADE	Igarau	Vila Esperança	São Raimundo	Tindiba	Estádio Castelão	Praia do Cajueiro	Inhaúma	Bom Jardim II	São Bernardo	Parque Jair
PROF. (m)	80	148	112,5	42	156	80	103			36
AQUÍFERO CAPTADO	São Luís e Itapecuru	Itapecuru	São Luís e Itapecuru	São Luís	Itapecuru	Itapecuru	São Luís e Itapecuru	São Luís	São Luís	São Luís
IDADE APARENTE ^{14}C (Godwin)	2.312,07	**3.794,10**	**393,38**	**391,56**	18.931,96	**247,46**	17.348,32	**446,35**	**0,00**	**684,11**
IDADE CORRIGIDA (Tamers)	**681,75**	0,00	0,00	-	**13.336,70**	0,00	**11.710,69**	-	-	-
ALCALINIDADE mg/l	7,36	207,01	13,18	7,12	187,75	131,91	203,54	1,23	1,23	1,95
HCO-3 mg/l	8,98	225,08	16,08	8,69	229,05	160,93	224,91	1,50	1,50	2,38
CO-3 mg/l		13,51			0,00	0,00	11,51	0,00	0,00	
PH	6,11	7,26	5,78	5,33	8,14	7,09	8,35	4,72	3,86	5,69
CO2 mg/l (Tillmans)	11,62	23,18	44,48	68,06	2,77	21,80	1,85	47,64	341,93	8,10
FATOR TAMERS	0,82	0,56	0,90	-	0,51	0,58	0,51	-	-	-

OBSERVAÇÕES:

É importante ressaltar as diferenças entre os valores das idades aparentes entre os dados desta tabela e aqueles mostrados na tabela 42. Essas diferenças foram originadas pelas novas análises efetuadas pelo LAC/UFF após a adoção da nova metodologia de análise;

Em alguns locais, as tentativas de se determinar as idades corrigidas (PSL-10, PSL-20 e PSL-104), não tiveram sucesso e os valores estão grafados como 0,00.

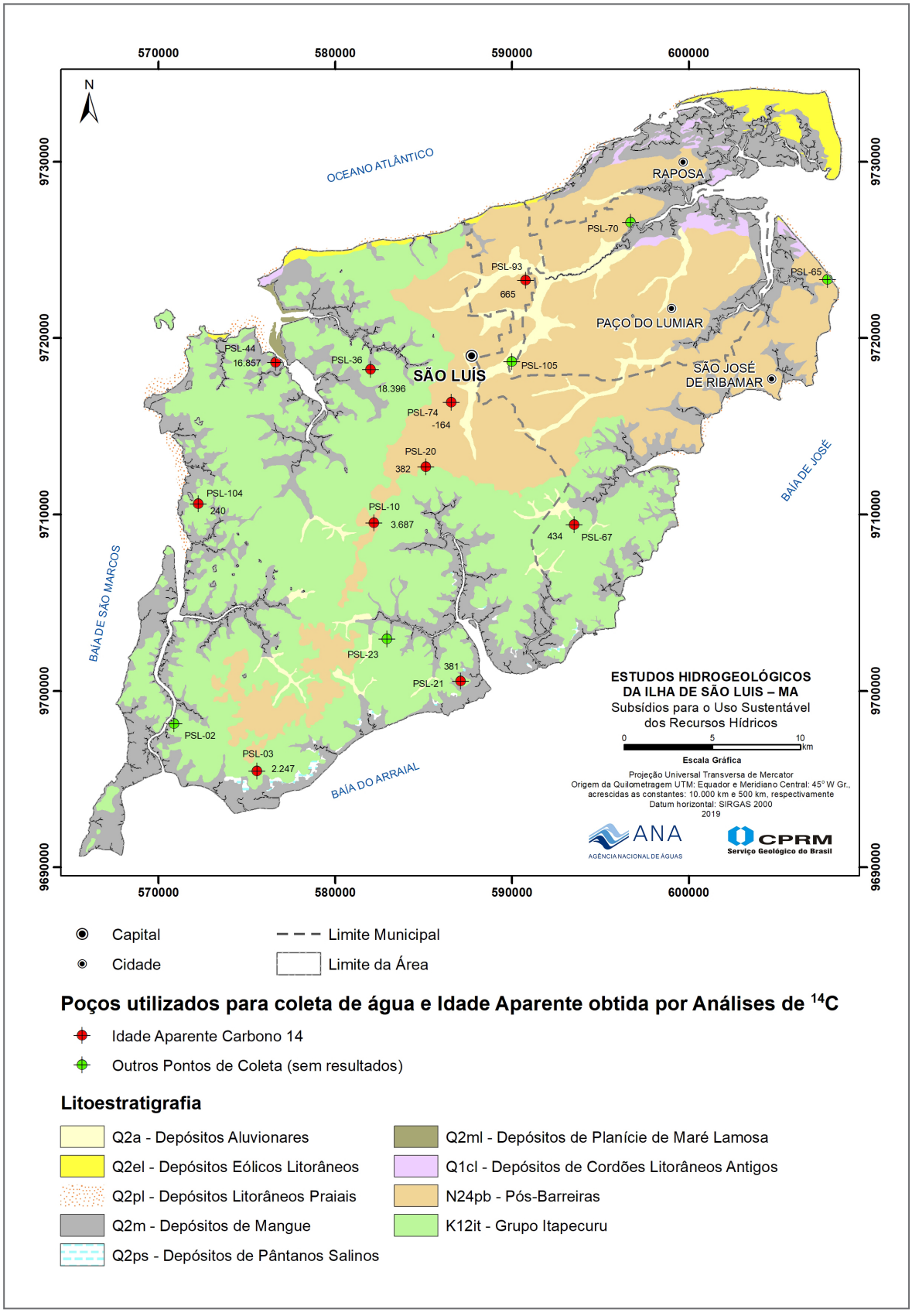


Figura 97: Idades aparentes obtidas com ^{14}C na Ilha de São Luís

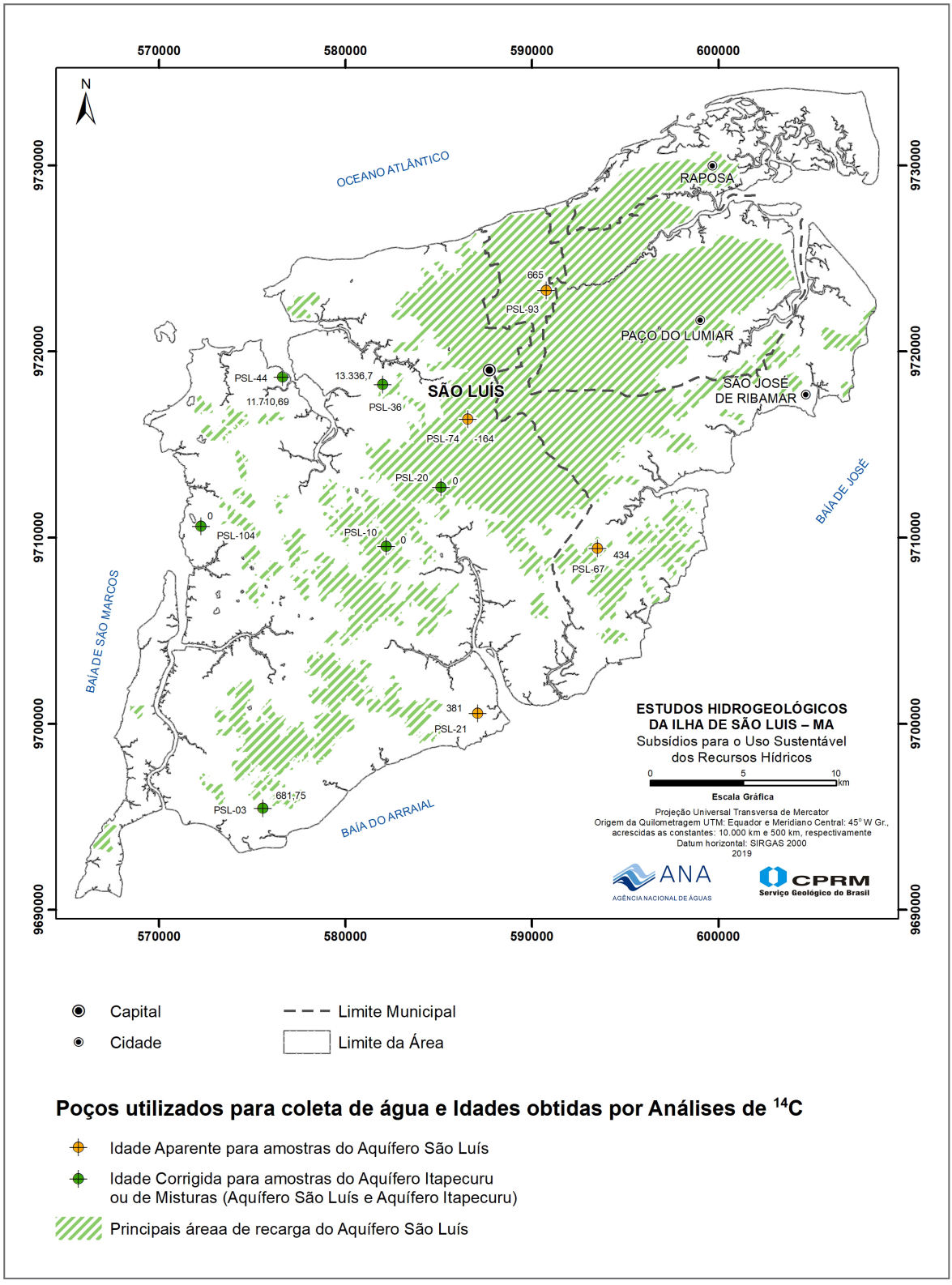


Figura 98: Idades corrigidas obtidas com ^{14}C na Ilha de São Luís

de afloramento do aquífero e em depósitos antigos de carbonatos na matriz aquífera. Assim, a obtenção de idades absolutas, com suas consequentes incertezas, pode não representar os números ideais usados na interpretação.

As idades aparentes não corrigidas podem ser os números primários; elas são usadas na comparação com outras idades aparentes no estudo, evitando em grande parte a incerteza da correção, podendo ser interpretadas como idade máxima, ou seja, a idade real das águas subterrâneas é igual ou inferior à idade aparente.

Considerando os resultados obtidos após a correção (Tabela 47) e examinando os poços que captam o aquífero Itapecuru, é perceptível ver que as amostras PSL-10, PSL-104 e PSL-20, são águas recentes, mas sugere-se que para confirmação das correções sejam realizadas analises de ^{13}C. A hipótese de que se tratam de águas recentes é corroborada pelas análises de Trítio nos poços PSL-10 e PSL-20.

Já as amostras PSL-44 e PSL-36, que se situam no sentido jusante do fluxo de água subterrânea, apresentam idades milenares. Além disso, se situam em áreas de depósitos de mangue, onde as recargas a partir de precipitações pluviométricas são quase inexistentes, evidenciando a lenta circulação da água subterrânea até esses pontos (Figura 98).

Os pontos analisados que captam exclusivamente o aquífero São Luís (PSL-21, PSL-67, PSL-74 e PSL-93), se mostram de forma mais coerente, exibindo idades bem mais jovens que aquelas do Itapecuru. A PSL-74 apresentou resultado negativo para o ^{14}C, mostrando que essa análise não seria a mais adequada, evidenciada pela idade (tempo de permanência) obtida pelo Trítio.

Os pontos de captações mistas São Luís e Itapecuru (PSL-03, PSL-20 e PSL-44) mostram idades mais dispersas, relacionadas de forma mais próxima com o aquífero que contribui com maior vazão para o poço.

Analisando as idades não corrigidas ou aparentes (Tabela 47), se observa uma perfeita distribuição de idades para o aquífero São Luís, concordante com o modelo de fluxo considerado, com idades jovens e parecendo indicar fluxo do topo dos tabuleiros para as extremidades da Ilha.

Os poços que captam o aquífero Itapecuru (PSL-10, PSL-36 e PSL-104), por sua vez, mostram a mesma tendência, com idades (e tempo de fluxo ou de residência) no sentido do topo dos tabuleiros para a extremidade oeste da Ilha. O ponto PSL-10 mostrou idade corrigida como zero, coerente com a recarga.

Os poços de captação conjunta nos dois aquíferos novamente exibem idades características das unidades que contribuem mais efetivamente para a descarga do poço.

REFERÊNCIAS

ALLOWAY, B.J. (ed.). **Heavy metals in soils:** trace metals and metalloids in solls ant their bioavaolability. 2. ed. London: Blackie Academic & Profissional, 1995. 339 p. (Environmental Pollution, 22). DOI: https://DOI:.org/10.1007/978-94-011-1344-1.

BRASIL. Ministério da Saúde. Anexo XX - Do Controle e da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano e seu Padrão de Potabilidade (Origem: PRT MS/GM 2914/2011). *In:* BRASIL. Ministério da Saúde. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. **Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde de 28 de setembro de 2017**. Disponível em: https://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2018/marco/29/PRC-5-Portaria-de-Consolida----o-n---5--de-28-de-setembro-de-2017.pdf. Acesso em: 14 jun. 2021.

CEARÁ (Estado). Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Programa QUALIGRAF, versão 1.1.** [S.l.]: FUNCENE, 2014. Disponível em: http://www.funceme.br/qualigraf/ . Acesso em: 14 jun. 2021.

CLARK, I.; FRITZ, P. **Environmental Isotopes in Hydrogeology**. New York: Lewis Publishers, 1997. 328 p. ISBN 978-15-667-0249-2.

CLARK, I. **Groundwater Geochemistry and Isotopes**. Boca Raton: CRC Press., 2015. 456 p. DOI: https://doi.org/10.1201/b18347.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M.R. **Hidrologia Subterrânea**. 2. ed.. Barcelona: Omega, 1983. 2 v. ISBN 84-282-0446-2.

DINIZ, J.A.O.; MONTEIRO, A. de B.; SILVA, R. de C.; PAULA, T.L. F. de. **Manual de Cartografia Hidrogeológica**. Recife: CPRM, 2014, 119 p., il., color. Programa de Cartografia Hidrogeológica. ISBN 978-85-7499-225-9. Disponível em: http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/16587. Acesso em: 14 jun. 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.

FENZL, N.; RAMOS, J.F. (colab.). **Introdução a hidrogeoquímica.** Belém: Ed. da UFPA, 1986. 189 p., il. ISBN 978-8524700238.

FERRONSKY, V.I.; POLYAKOV, V.A. **Isotopes of the Earth's Hydrosphere.** Heldelberg: Springer, 2012. 630 p. ISBN 978-94-007-2855-4.

GAT, J.R.; MOOK, W.G.; MEIJER, H.A.J. **Environmental isotopes in the hydrological cycle**: principles and applications. Paris: IAEA/UNESCO, 2000. v. 1. 185 p. (Water Resources Programme). Disponível em: http://www-naweb.iaea.org/napc/ih/documents/global_cycle/Environmental%20Isotopes%20in%20the%20Hydrological%20Cycle%20Vol%201.pdf. Acesso em: 14 jun. 2021.

GODWIN, H. Half-life of radiocarbon. **Nature**, v. 195, n. 4845, p. 984, 1962. Disponivel em: https://www.nature.com/articles/195984a0. Acesso em: 14 jun. 2021.

HERRARA, C.; PUEYO, J.J.; SÁEZ, A.; VALERO-GARCÉS, B.L. Relación de aguas superficiales y subterráneas en el área del lago Chungará y lagunas de Cotacotani, norte de Chile: un estudio isotópico. **Revista Geológica de Chile**, v. 33, n. 2, p. 299-325, jul. 2006. DOI: http://dx.DOI:.org/10.4067/S0716-02082006000200005.

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Annual report 2013.** Viena: IAEA, 2013. Disponível em: https://www.iaea.org/sites/default/files/anrep2013_full_0.pdf. Acesso em: 01 jun. 2021.

IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Global Network of Isotopes in Precipitation (GNIP)**. Disponível em: https://www.iaea.org/services/networks/gnip . Acesso em: Acesso: em 05 abr. 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). Rio de Janeiro: IPEA, 2014. p. 8. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/redeipea/images/pdfs/governanca_metropolitana/rel1_1_rmgsl.pdf. Acesso em: 27 maio 2021.

KINZELBACH, W.; CARMEN, A.; IBRAHIM, B.G.; URS, B.; PHILIP, B.; CHIANG, W-H.; JOERG, R.; KAI, Z. (org). **A Survey of Methods for Groundwater Recharge in Arid and Semi-Arid Regions:** Nairobi: UNEP, 2002. 107 p., il. Early Warning and Assessment Report Series**.** UNEP/ DEWA/ RS.02/2. United Nations Environment Programme, Nairobe, Kenia. Disponível em: https://www.joinforwater.ngo/sites/default/files/library_assets/320_KIN_E9_survey_methods.pdf . Acesso em: 14 jun. 2021.

LOGAN, J. **Interpretação de Análises Químicas da Água**. Recife: US - Agency for International Development,1965. 67p.

LOUSADA, E.O.; CAMPOS, J.E.G. Estudos Isotópicos em água subterrânea do Distrito Federal: subsídios ao modelo conceitual de fluxo. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 41, n. 2, p. 355-365, 2011. Disponível em: http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/7835. Acesso em: 14 jun. 2021.

MARANHÃO (estado). **Lei Complementar nº 174, de 25 de maio de 2015.** Dispõe sobre a instituição e gestão da Região Metropolitana da Grande São Luís e revoga as Leis Complementares Estaduais nº 038 de 12 de janeiro de 1998, nº 069 de 23 de dezembro de 2003, nº 153 de 10 de abril de 2013, nº 161 de 03 de dezembro de 2013 e as demais disposições em contrário. [*S. l.: s. n.*], 2015. Disponível em: http://stc.ma.gov.br/legisla-documento/?id=4356. Acesso em: 27 maio 2021.

MINARDI; P.S.P.; BOMTEMPO, V.L. Traçadores e técnicas isotópicas em hidrologia subterrânea: a experiência da CDTN/CNEN, Brasil. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 21., Fortaleza, 2000, Fortaleza-CE. **Anais** [...]. Belo Horizonte: ABAS, 2000. Disponível em: https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23757. Acesso em: 14 jun. 2021.

MOOK, W.G. Carbon-14 in hydrogeological studies. *In*: FRITZ, P.; FONTES, J.C. (ed.). **Handbook of Environmental Isotopes Geochemistry 1**. Amsterdam: Elsevier, 49-74, 1980. DOI: https://DOI:.org/10.1016/B978-0-444-41780-0.50008-0.

MOOK, W.G. Environmental Isotopes in the hydrological cycle: principles and applications. **Technical Documents in Hydrology,** n. 39, v. 1, p. 1-291, IAEA/UNESCO, Paris, 2000. (série IHP-V – International Hydrological Programme). Disponível em: https://www.hydrology.nl/images/docs/ihp/Mook_I.pdf. Acesso em: 14 jun. 2021.

MOTZER, E.W. Tritium Age Dating of Groundwater. **Hidro Visions**, Groundwater Resources Association of California, v.16, n. 2, 22 ago. 2007. Disponível em: https://www.grac.org/media/files/files/388022b0/Summer_2007.pdf. Acesso em: 14 jun. 2021.

NERY, G.G. Perfilagem geofísica aplicada à água subterrânea. *In:* 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. p. 481-506. 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.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. ISBN 85·240.0282·4. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81099.pdf. Acesso em: 02 jun. 2021.

OLIVEIRA, J.M.B.; CASTRO, A.C. de; PEREIRA, E.D.; AZEVEDO, J.W. de J. Qualidade da água subterrânea em comunidades rurais de São Luis – MA. **Revista Espacios**, v. 37, n. 31, 2016. Disponível em: https://www.revistaespacios.com/a16v37n31/16373111.html. Acesso em: 14 jun. 2021.

PEREIRA, L.; SANTIAGO, M.M.F.; MENDONÇA, L.A.R.; FRISCHKORN, H.; LIMA, J.O.G. de; MENDES FILHO, J. Medidas hidroquímicas e isotópicas em águas subterrâneas que abastecem o município de São Luís – Maranhão. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 18, n. 1, 2004. DOI: https://DOI:.org/10.14295/ras.v18i1.1337.

PEREIRA, L.; SANTIAGO, M.M.F.; MENDONÇA, L.A.R.; FRISCHKORN, H.; MENDES FILHO, J. Caracterização isotópica das águas subterrâneas da Ilha de São Luís/MA-Brasil. **Revista Águas Subterrâneas**, n. 1, 2002. Disponível em: https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22809. Acesso em: 14 jun. 2021.

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/mestradomeioambiente/images/Dissertacoes/2018_LIENE_SOARES_PEREIRA.pdf. Acesso em: 27 maio 2021.

POHLING, R. **Reações químicas na análise de água**. Fortaleza: Ed. Arte Visual, 2009. p. 20.

PYNE, R.D.G. **Groundwater Recharge and Wells**: A Guide to Aquifer Storage Recovery. Boca Raton: Lewis Publishers, 1995. DOI: https://doi.org/10.1201/9780203719718.

ROSSETTI, D.F. Evolução sedimentar miocênica nos Estados do Pará e Maranhão. **Geologia USP**: Série Científica, v. 6, n. 2, p. 7-18, 2006. DOI: https://doi.org/10.5327/S1519-874X2006000300003.

ROSSETTI, D.F.; GÓES A.M.; TRUCKENBRODT, W. (eds.) **O Cretáceo na Bacia de São Luís-Grajaú**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2001. p. 151-174. (Coleção Friedrich Katzer). ISBN-13 978-8570980731.

ROZANSKI, K.; ARAGUÁS-ARAGUÁS, L.; GONFIANTINI, R. Isotopic patterns in modem global precipitation. *In*: SWART, P.K.; LOHMANN, K.C.; MCKENZIE, J.; SAVIN, S. (ed.) **Climate change in continental isotopic records**. Washington, D.C.: AGU books, 1993. p. 1-36. (Geophysical Monograph Series, 78). DOI: https://DOI:.org/10.1029/GM078p0001.

SILVEIRA, C.S; SILVA JÚNIOR, G.C. O Uso de Isótopos Ambientais em Estudos Hidrogeológicos no Brasil: Uma Resenha Crítica. **Anuário do Instituto de Geociências**, n. 25, 2002. Disponível

em: https://www.researchgate.net/publication/26429721_O_Uso_de_Isotopos_Ambientais_em_Estudos_Hidrogeologicos_no_Brasil_Uma_Resenha_Critica. Acesso em: 02 jun. 2021.

SOUSA, S.B. Sistema Aquífero da Ilha do Maranhão, CE. *In:* CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 11.; CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 8., 2000, Fortaleza. **Anais** [...] Fortaleza: ABAS, 2000.

STUIVER, M.; POLACH, H. Discussion: Reporting of 14C data. **Radiocarbon**, v. 19, n. 3, p. 355-363, 1977. DOI: https://DOI:.org/10.1017/S0033822200003672.

TAMERS, M.A. Validity of radiocarbon dates on ground water. **Geophysical surveys**, v. 2, n. 2, p. 217-239, 1975. DOI: https://doi.org/10.1007/BF01447909.

UNTERWEGER, M.P.; COURSEY, B.M.; SHIMA, F.J.; MANN, W.B. Preparation and calibration of the 1978 national bureau of standards tritiated waters. **International Journal of Applied Radiation and Isotopes**, v. 31, n. 10, p. 611-614, out. 1980. DOI: https://DOI:.org/10.1016/0020-708X(80)90017-4.

WARD, J.H. Hierarquical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American Statistical Association,** v. 58, n. 301, p. 236 – 244, mar. 1963. DOI: https://DOI:.org/10.1080/01621459.1963.10500845.

ZUBER, A.; MALOSZEWSKI, P. Modelos de Parámetros Agregados. *In:* MOOK, W.G. **Isótopos Ambientales em el Ciclo Hidrológico**: Princípios y Aplicaciones. Sécción IV. Agua Subterránea. Zona Saturada y No Saturada. Hannover: MebusGeyh, 2000, p. 493-509.

ANEXO 1

Perfilagens geofísicas dos piezômetros perfurados para realização dos ensaios de bombeamento

ROBERTSON GEOLOGGING LIMITED

CPRMPZ01

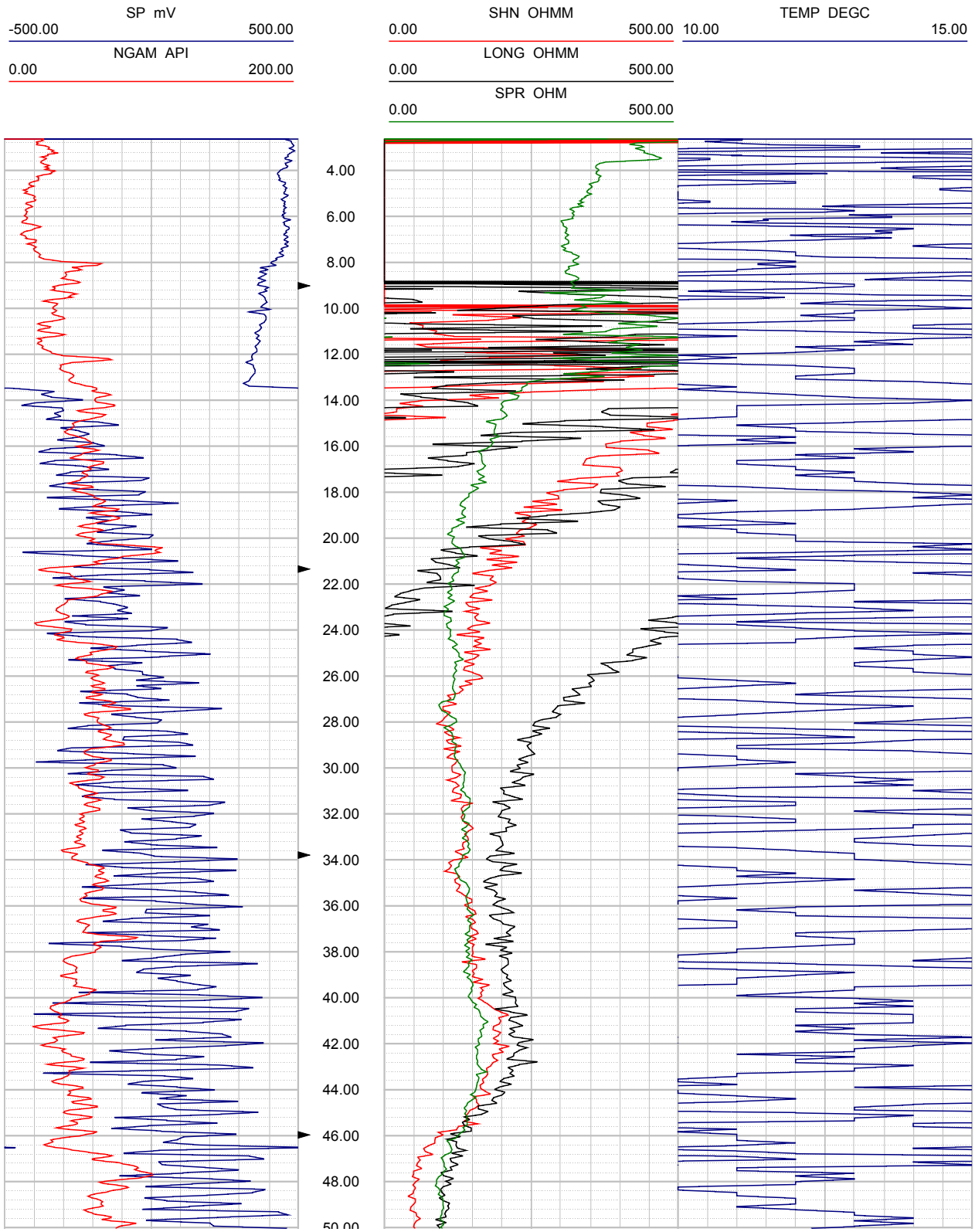
Sacavem

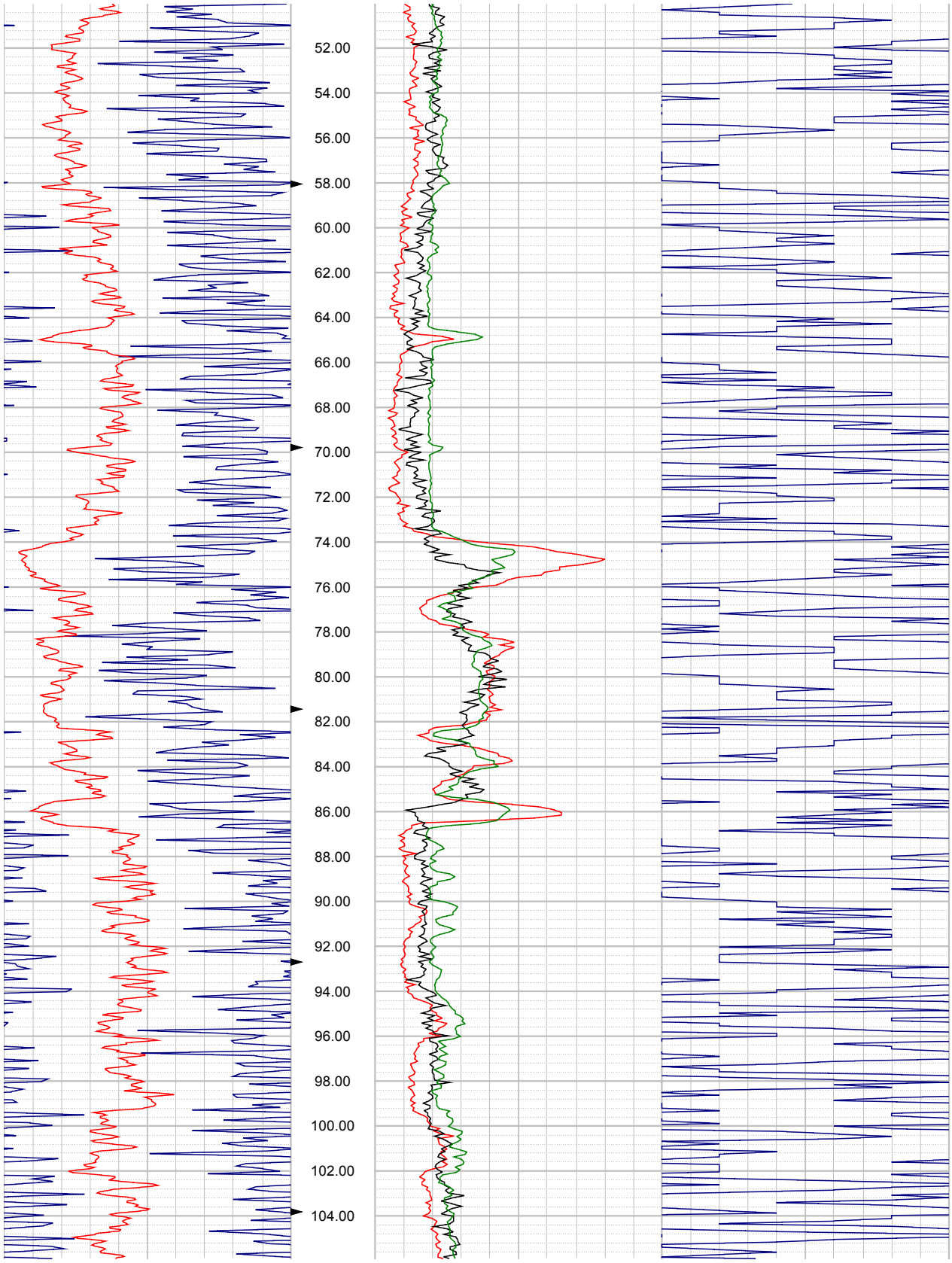
COMPANY CPRMPZ01 WELL 8" FIELD São Luis COUNTRY BRASIL STATE MARANHAO COUNTY Sacavem LAT.: LONG.:	OTHER SERVICES

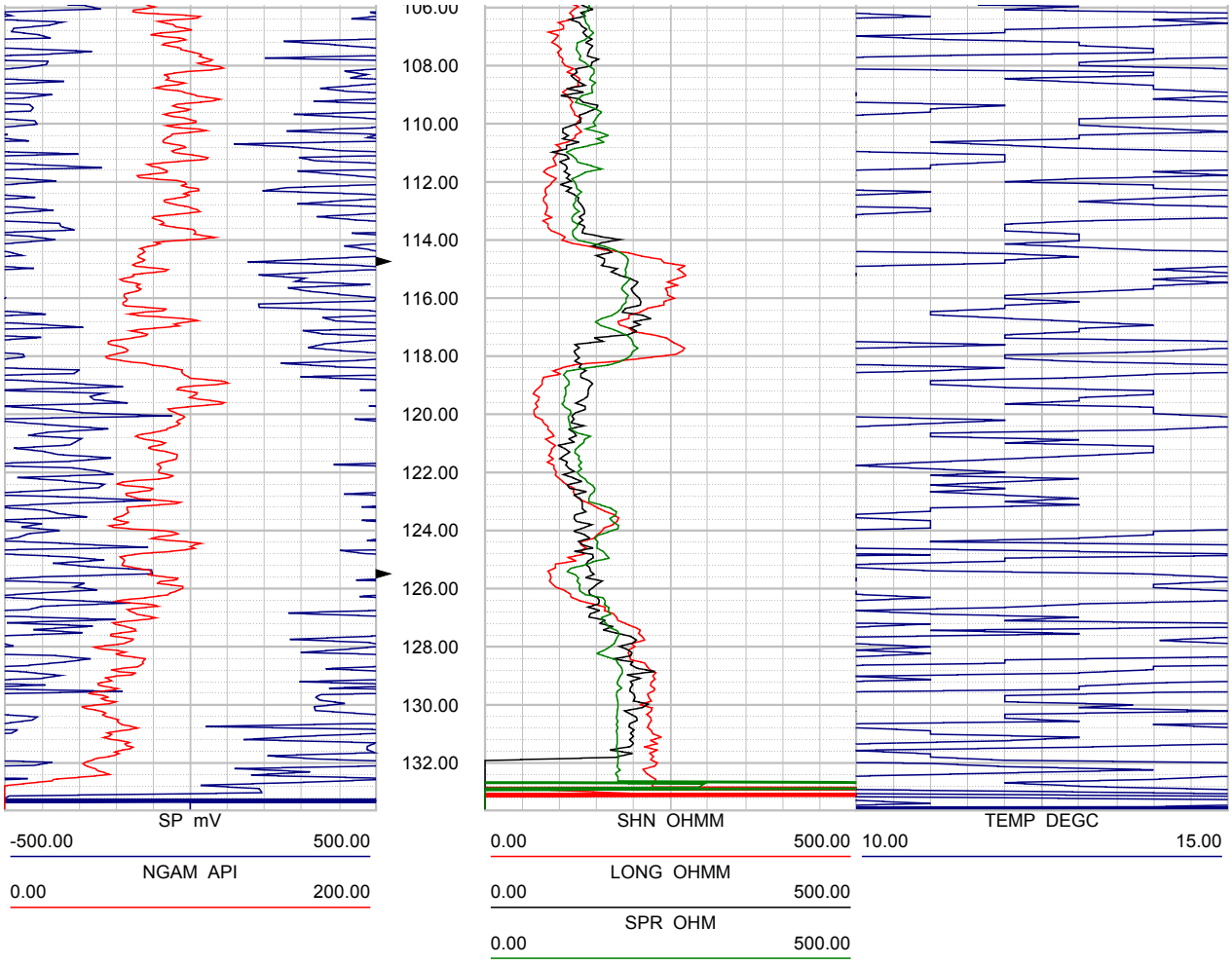
Perm. Da.. Log. Datum Drill Datum	Elev	KB 0.00 DF 0.00 GL 0.00

DATE	15 Dec 1	06 Jun 1	06 Jun 1
RUN#	0	0	0
TYPE OF LOG			
DEPTH DRILLER	0.00	0.00	0.00
DEPTH LOGGER	0.00	0.00	0.00
LOG DEEPEST	0.00	0.00	0.00
LOG SHALLOW	0.00	0.00	0.00
FLUID IN HOLE			
SALINITY			
DENSITY			
LEVEL			
MAX TEMP °C	0.00	0.00	0.00
RIG TIME			
RECORDED BY			
WITNESSED BY			

RUN#	BIT RECORD			CASING RECORD			
	SIZE	FROM	TO	SIZE	WEIGHT	FROM	TO
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00


SP mV
-500.00
500.00
NGAM API
0.00
200.00
SHN OHMM
0.00
500.00
LONG OHMM
0.00
500.00
SPR OHM
0.00
500.00
TEMP DEGC
10.00
15.00
4.00
6.00
8.00
10.00
12.00
14.00
16.00
18.00
20.00
22.00
24.00
26.00
28.00
30.00
32.00
34.00
36.00
38.00
40.00
42.00
44.00
46.00
48.00
50.00


52.00
54.00
56.00
58.00
60.00
62.00
64.00
66.00
68.00
70.00
72.00
74.00
76.00
78.00
80.00
82.00
84.00
86.00
88.00
90.00
92.00
94.00
96.00
98.00
100.00
102.00
104.00



Depth: 2.00 m Date: 15 Dec 2017 Time: 09:40:48 File: "C:\Winlogger\DATA\CPRMSLPZ01.LOG"

ROBERTSON GEOLOGGING LIMITED

PZ02CPRM

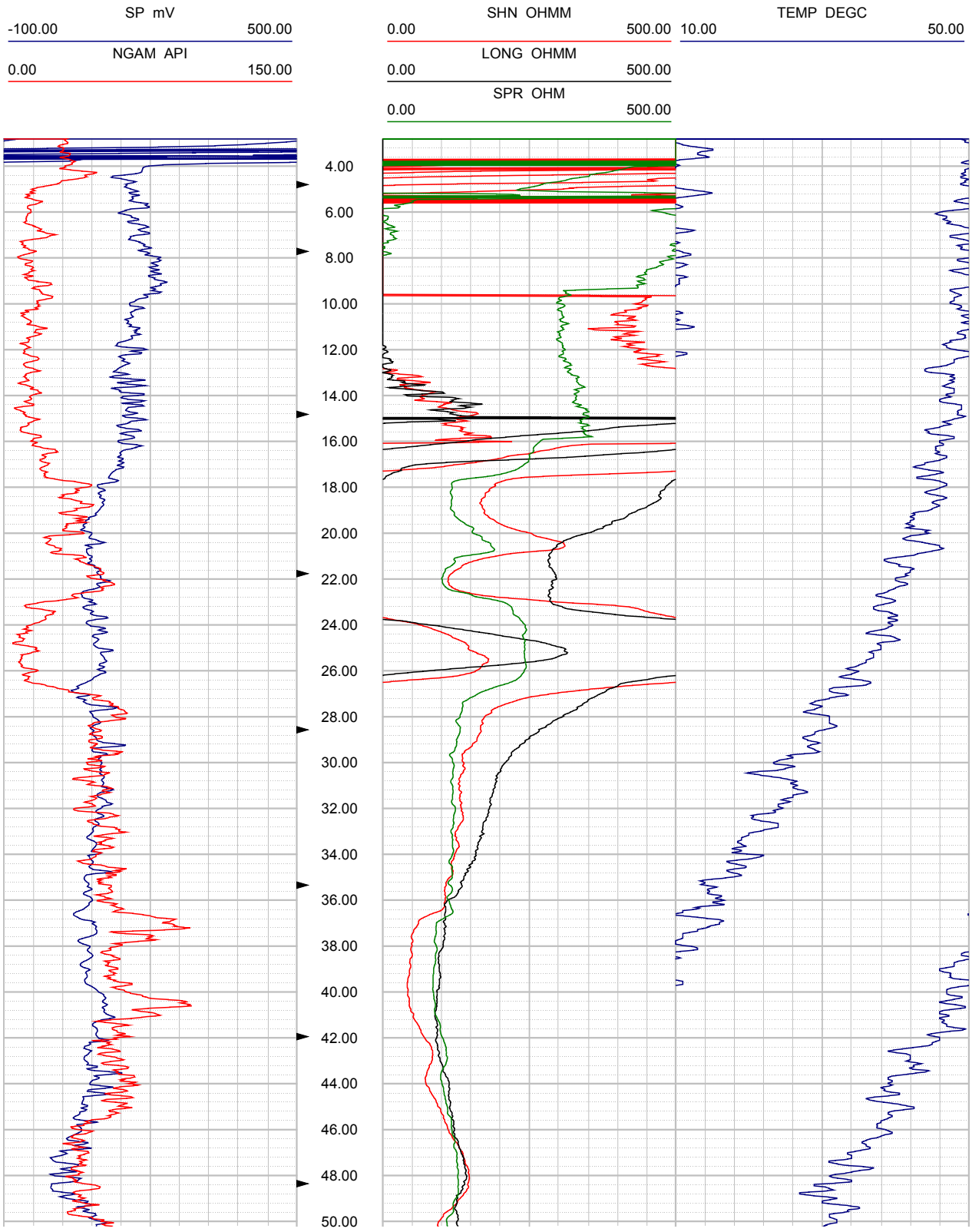
SAcavem

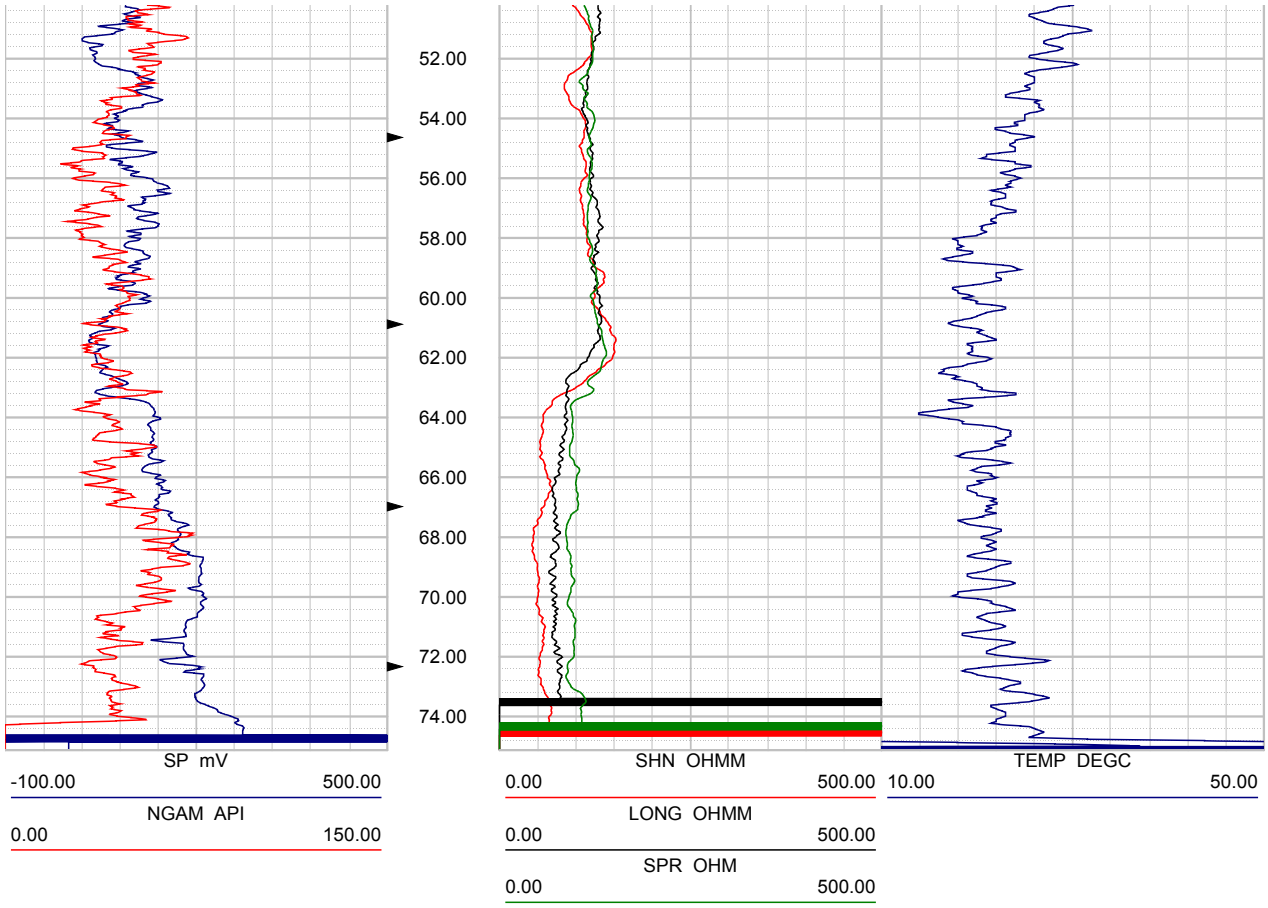
COMPANY PZ02CPRM WELL 8" FIELD São Luis COUNTRY BRASIL STATE MARANHAO COUNTY Sacavem LAT.: LONG.:	OTHER SERVICES

Perm. Da.. Log. Datum Drill Datum	Elev	KB 0.00 DF 0.00 GL 0.00

DATE	27 Nov 1	06 Jun 1	06 Jun 1
RUN#	0	0	0
TYPE OF LOG			
DEPTH DRILLER	0.00	0.00	0.00
DEPTH LOGGER	0.00	0.00	0.00
LOG DEEPEST	0.00	0.00	0.00
LOG SHALLOW	0.00	0.00	0.00
FLUID IN HOLE			
SALINITY			
DENSITY			
LEVEL			
MAX TEMP °C	0.00	0.00	0.00
RIG TIME			
RECORDED BY			
WITNESSED BY			

RUN#	BIT RECORD SIZE	FROM	TO	CASING RECORD SIZE	WEIGHT	FROM	TO
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00


SP mV
-100.00
500.00
NGAM API
0.00
150.00
SHN OHMM
0.00
500.00
LONG OHMM
0.00
500.00
SPR OHM
0.00
500.00
TEMP DEGC
10.00
50.00
4.00
6.00
8.00
10.00
12.00
14.00
16.00
18.00
20.00
22.00
24.00
26.00
28.00
30.00
32.00
34.00
36.00
38.00
40.00
42.00
44.00
46.00
48.00
50.00



Depth: 2.00 m Date: 27 Nov 2017 Time: 10:26:59 File: "C:\Winlogger\DATA\PZ02CPRM.LOG"

ROBERTSON GEOLOGGING LIMITED

PZ03CPRM

Paciencia II

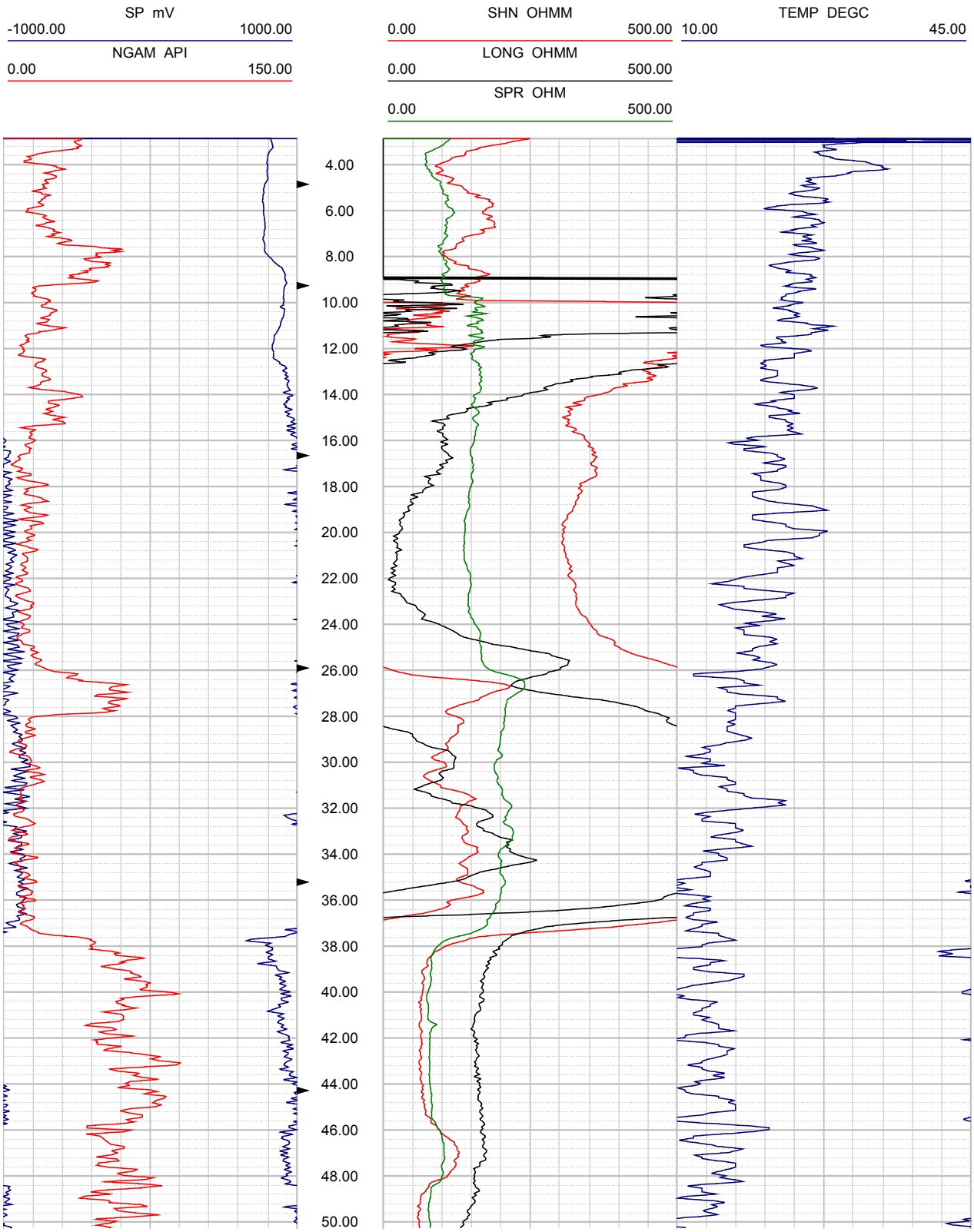
COMPANY	PZ03CPRM
WELL	8"
FIELD	São Luis
COUNTRY	BRASIL
STATE	MARANHAO
COUNTY	Paciencia II
LAT.:	
LONG.:	

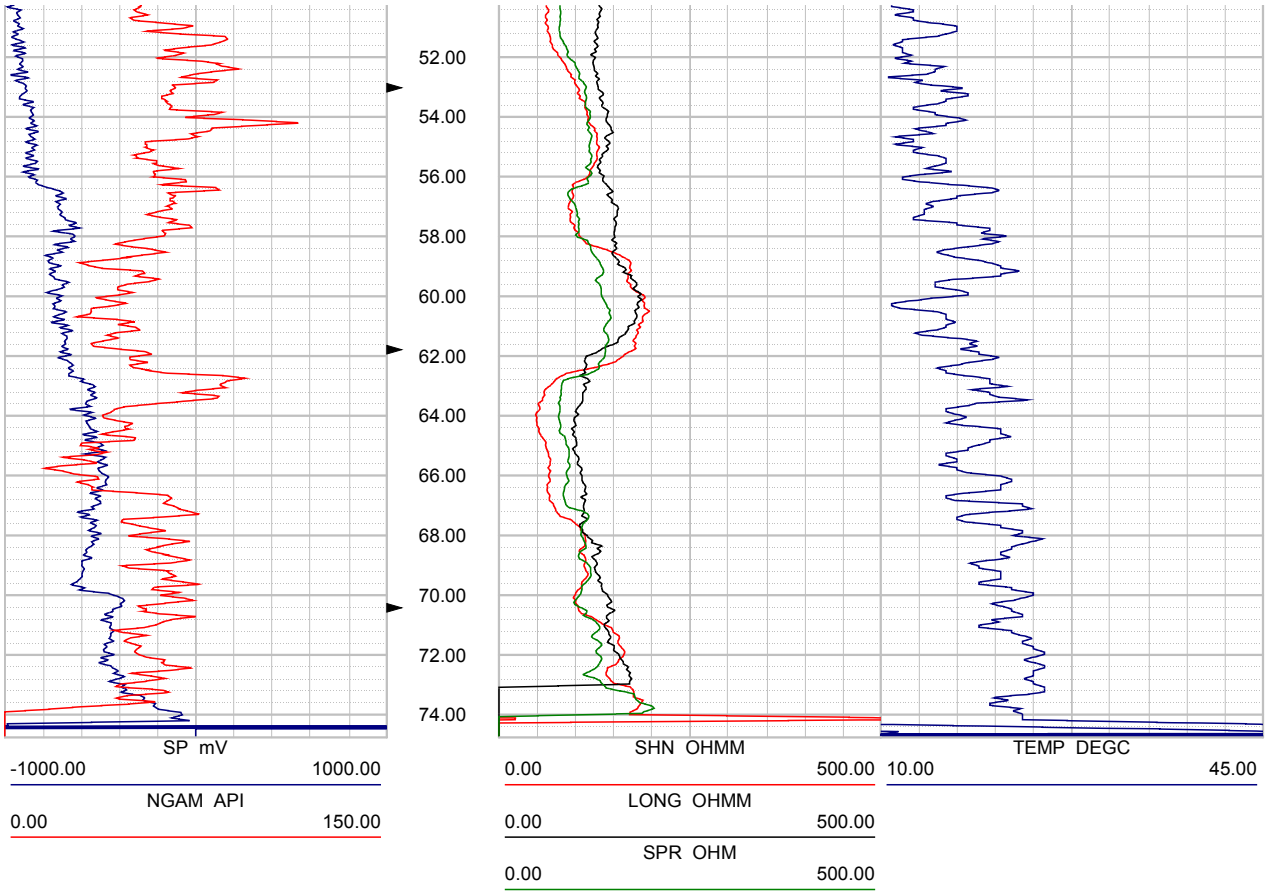
OTHER SERVICES

Perm. Da..	Elev	KB	0.00
Log. Datum		DF	0.00
Drill Datum		GL	0.00

DATE	05 Dec 1	06 Jun 1	06 Jun 1
RUN#	0	0	0
TYPE OF LOG			
DEPTH DRILLER	0.00	0.00	0.00
DEPTH LOGGER	0.00	0.00	0.00
LOG DEEPEST	0.00	0.00	0.00
LOG SHALLOW	0.00	0.00	0.00
FLUID IN HOLE			
SALINITY			
DENSITY			
LEVEL			
MAX TEMP °C	0.00	0.00	0.00
RIG TIME			
RECORDED BY			
WITNESSED BY			

RUN#	BIT RECORD SIZE	FROM	TO	CASING RECORD SIZE	WEIGHT	FROM	TO
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00


SP mV
-1000.00
1000.00
NGAM API
0.00
150.00
SHN OHMM
0.00
500.00
LONG OHMM
0.00
500.00
SPR OHM
0.00
500.00
TEMP DEGC
10.00
45.00
4.00
6.00
8.00
10.00
12.00
14.00
16.00
18.00
20.00
22.00
24.00
26.00
28.00
30.00
32.00
34.00
36.00
38.00
40.00
42.00
44.00
46.00
48.00
50.00



Depth: 2.00 m Date: 05 Dec 2017 Time: 07:24:26 File: "C:\Winlogger\DATA\CPRM.LOG"

ROBERTSON GEOLOGGING LIMITED

CPRM PZ04

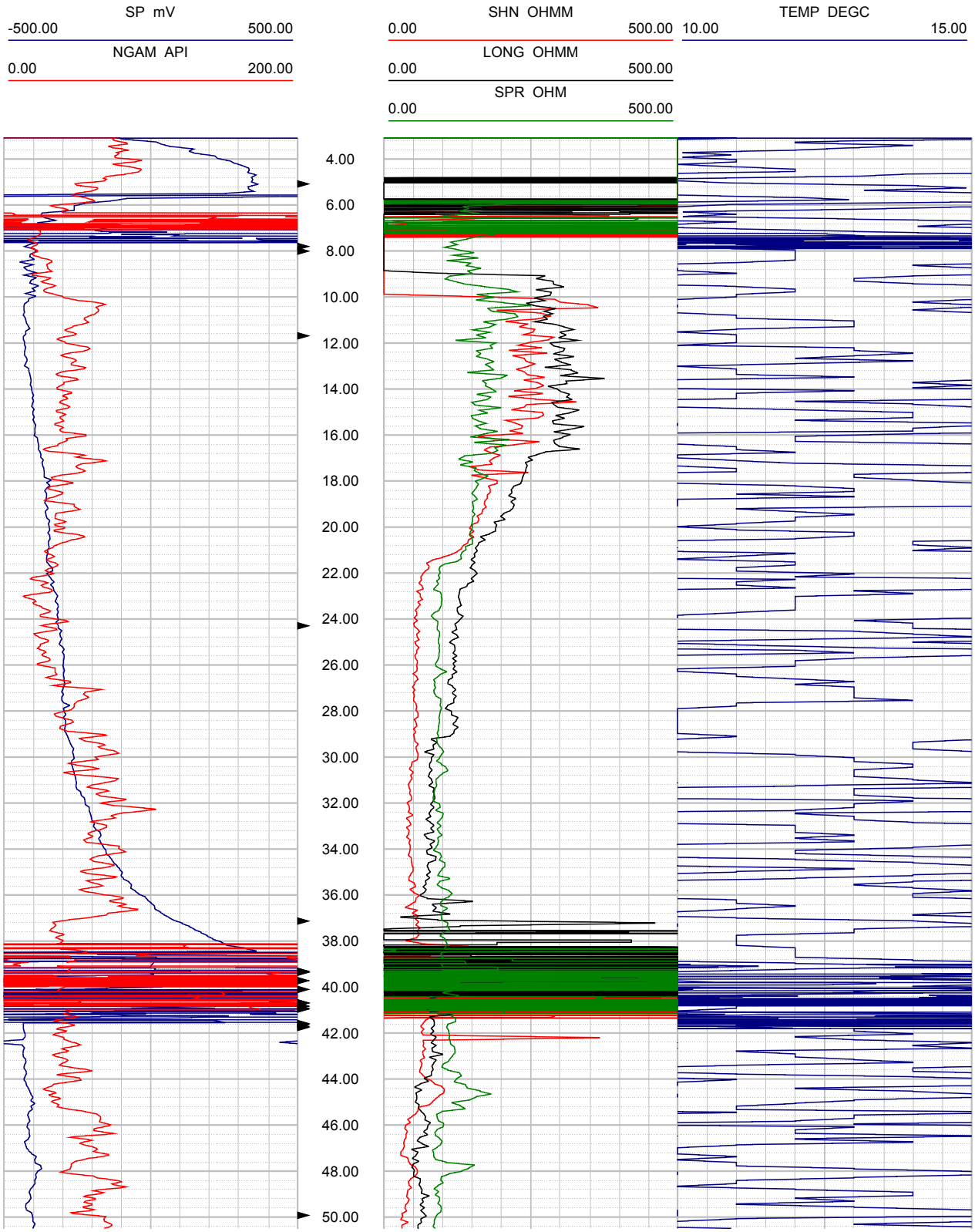
Vila Embratel

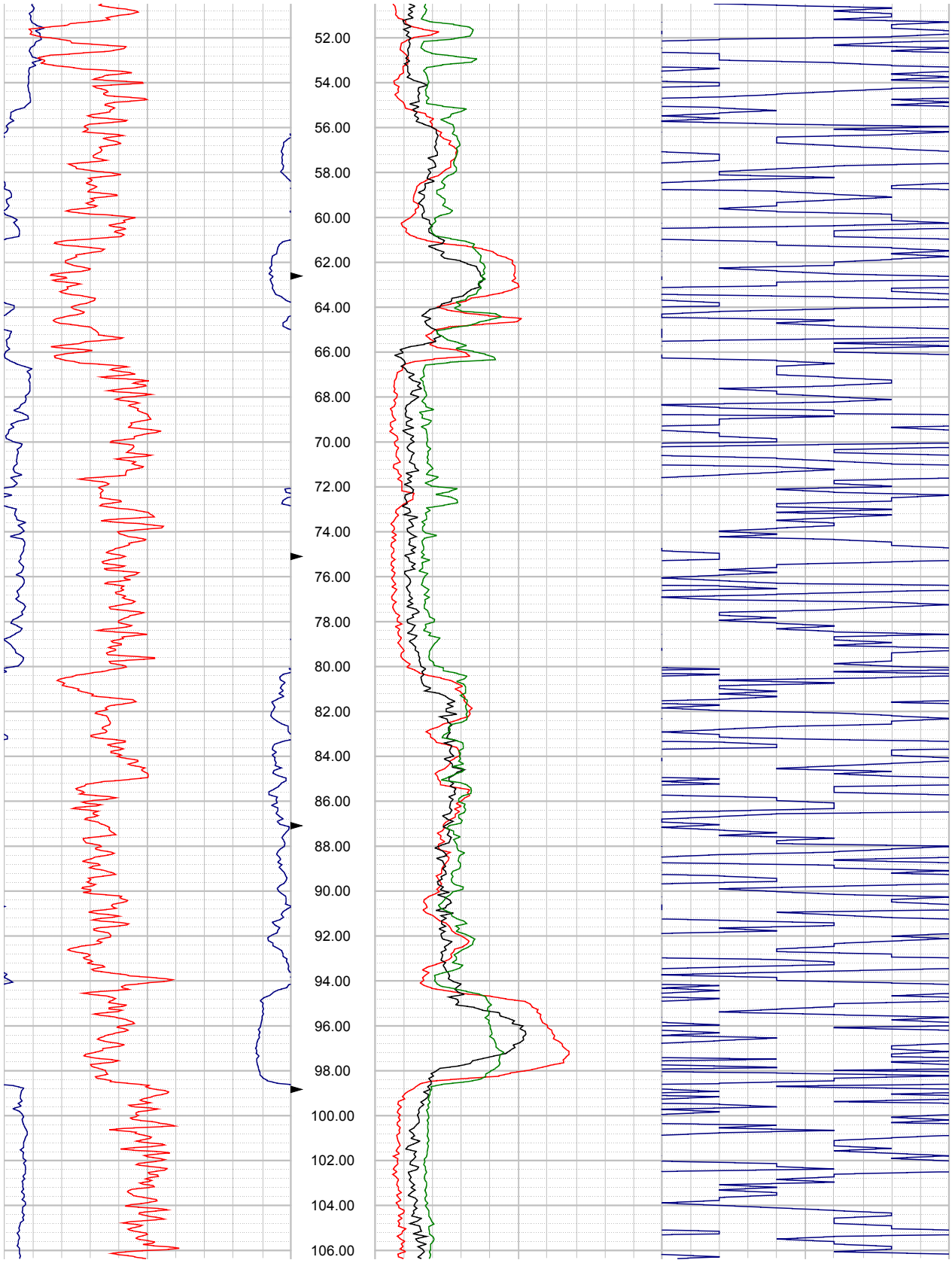
COMPANY	CPRM PZ04	OTHER SERVICES	
WELL	8"		
FIELD	Vila Embratel		
COUNTRY	BRASIL		
STATE	MARANHA		
COUNTY	SAO LUIS		
LAT.:			
LONG.:			

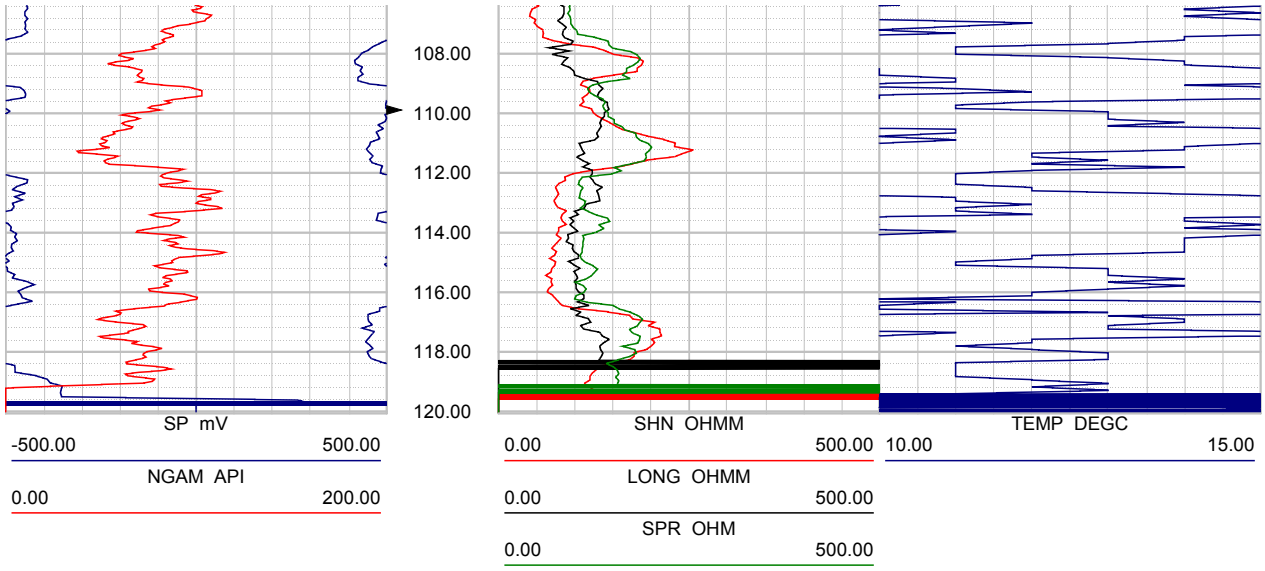
Perm. Da..	Elev	KB	0.00
Log. Datum		DF	0.00
Drill Datum		GL	0.00

DATE	11 Apr 1	06 Jun 1	06 Jun 1
RUN#	0	0	0
TYPE OF LOG			
DEPTH DRILLER	0.00	0.00	0.00
DEPTH LOGGER	0.00	0.00	0.00
LOG DEEPEST	0.00	0.00	0.00
LOG SHALLOW	0.00	0.00	0.00
FLUID IN HOLE			
SALINITY			
DENSITY			
LEVEL			
MAX TEMP °C	0.00	0.00	0.00
RIG TIME			
RECORDED BY			
WITNESSED BY			

RUN#	BIT RECORD			CASING RECORD			
	SIZE	FROM	TO	SIZE	WEIGHT	FROM	TO
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00


SP mV
-500.00
500.00
NGAM API
0.00
200.00
SHN OHMM
0.00
500.00
LONG OHMM
0.00
500.00
SPR OHM
0.00
500.00
TEMP DEGC
10.00
15.00
4.00
6.00
8.00
10.00
12.00
14.00
16.00
18.00
20.00
22.00
24.00
26.00
28.00
30.00
32.00
34.00
36.00
38.00
40.00
42.00
44.00
46.00
48.00
50.00


52.00
54.00
56.00
58.00
60.00
62.00
64.00
66.00
68.00
70.00
72.00
74.00
76.00
78.00
80.00
82.00
84.00
86.00
88.00
90.00
92.00
94.00
96.00
98.00
100.00
102.00
104.00
106.00



Depth: 2.00 m Date: 11 Apr 2018 Time: 13:10:55 File: "C:\Winlogger\DATA\CPRM PZ04.LOG"

ANEXO 2

Nivelamento topográfico da rede quantitava

POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **BE006**

Localização: *Parque Bacanga* Data Levantamento: 31/01/2018
Município: *São Luís*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude *-2.57234262 S* Local Rastreio*: *Chapa*
Longitude *-44.24973305 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) ***22.40 m***
Corte Tubo ***22.60 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos









POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **BE031**

Localização: *Vila Moisés* Data Levantamento: 26/01/2018
Município: *São Luís*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude *-2.49492486 S* Local Rastreio*: *Chapa*
Longitude *-44.26139922 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) ***14.26 m***
Corte Tubo ***14.49 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **BE037=PB003**

Localização: *Parque Athenas*
Município: *São Luís*

Data Levantamento: 29/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude *-2.49960703 S*
Longitude *-44.24131464 O*

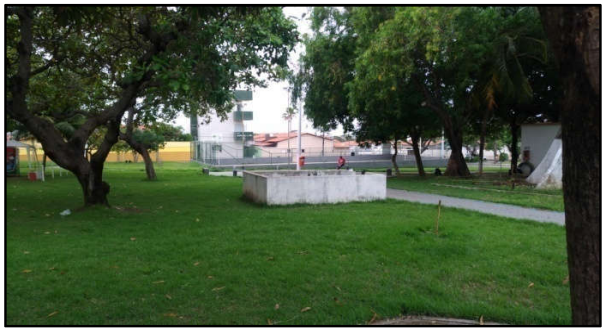
Local Rastreio*: *Auxiliar*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa) ***38.47 m***
Corte Tubo ***38.71 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **BE047**

Localização: *Res. São Domingos II*
Município: *São Luís*

Data Levantamento: 29/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude	*-2.51862540*	*S*
Longitude	*-44.24164464*	*O*

Local Rastreio*: *Auxiliar*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa)	***52.45***	***m***
Corte Tubo	***52.67***	***m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **BE060**

Localização: *Camboa*
Município: *São Luís*

Data Levantamento: 29/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude	*-2.53326495*	*S*
Longitude	*-44.28029427*	*O*

Local Rastreio*: *Auxiliar*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa)	***14.30***	***m***
Corte Tubo	***14.58***	***m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **BE062**

Localização: *Centro de Especialidade Médica e Diagnóstic* Data Levantamento: 29/01/2018
Município: *São Luís*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude	*-2.53045074*	*S*	Local Rastreio*: *Auxiliar*
Longitude	*-44.29038060*	*O*	

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa)	***25.94***	***m***
Corte Tubo	***26.16***	***m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **BE063**

Localização: *Macauba*
Município: *São Luís*

Data Levantamento: 29/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude *-2.53612800 S*
Longitude *-44.29795520 O*

Local Rastreio*: *Auxiliar*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa) ***32.95 m***
Corte Tubo ***33.18 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **BE073**

Localização: *Jardim da Mata*
Município: *São Luís*

Data Levantamento: 23/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude	*-2.58195439*	*S*
Longitude	*-44.18357929*	*O*

Local Rastreio*: *Auxiliar*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa)	***38.83***	***m***
Corte Tubo	***39.26***	***m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos









POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **BE088**

Localização: *Vila Olimpica* Data Levantamento: 23/01/2018
Município: *São Luís*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude *-2.60237033 S* Local Rastreio*: *Topo Poço*
Longitude *-44.18977498 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa) ***57.23 m***
Corte Tubo ***57.49 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **BE099**

Localização: *São Domingos* Data Levantamento: 23/01/2018
Município: *São Luís*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude *-2.60630645 S* Local Rastreio*: *Auxiliar*
Longitude *-44.21358054 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) ***37.84 m***
Corte Tubo ***38.19 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **BE110**

Localização: *Vila Real* Data Levantamento: 24/01/2018
Município: *São Luís*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude *-2.59900107 S* Local Rastreio*: *Auxiliar*
Longitude *-44.23415342 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) ***63.32 m***
Corte Tubo ***63.59 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **BE115=PM010**

Localização: *Jardim São Cristovão* Data Levantamento: 24/01/2018
Município: *São Luís*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude *-2.57371343 S* Local Rastreio*: *Auxiliar*
Longitude *-44.22129925 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) ***44.02 m***
Corte Tubo ***44.23 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos



POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **BE122=PM009**

Localização: *São Bernardo* Data Levantamento: 23/01/2018
Município: *São Luís*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude *-2.56598042 S* Local Rastreio*: *Auxiliar*
Longitude *-44.22149302 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa) ***51.75 m*** **PROBLEMA DE PROCESSAMENTO**
Corte Tubo ***52.05 m*** **Sujeito a alteração de valores de altitudes**

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **BE137**

Localização: *Vila Esperanca*
Município: *São Luís*

Data Levantamento: 24/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude	*-2.62062929*	*S*
Longitude	*-44.25842643*	*O*

Local Rastreio*: *Auxiliar*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

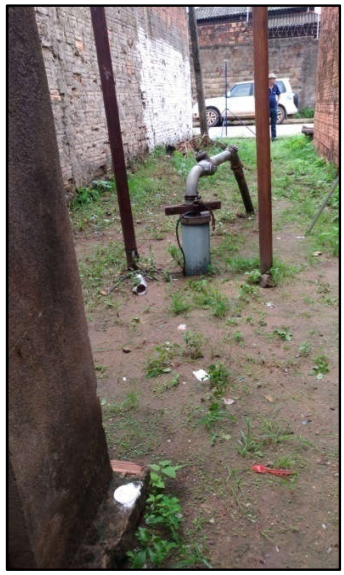
RN (Chapa)	***40.21***	***m***
Corte Tubo	***40.36***	***m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **BE144**

Localização: *Amendoeira* Data Levantamento: 25/01/2018
Município: *São Luís*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude *-2.63939269 S* Local Rastreio*: *Auxiliar*
Longitude *-44.29408488 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) ***33.70 m***
Corte Tubo ***34.05 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos









POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **BE149**

Localização: *Itapera*
Município: *São Luís*

Data Levantamento: 22/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude	*-2.67360235*	*S*
Longitude	*-44.27530147*	*O*

Local Rastreio*: *Auxiliar*

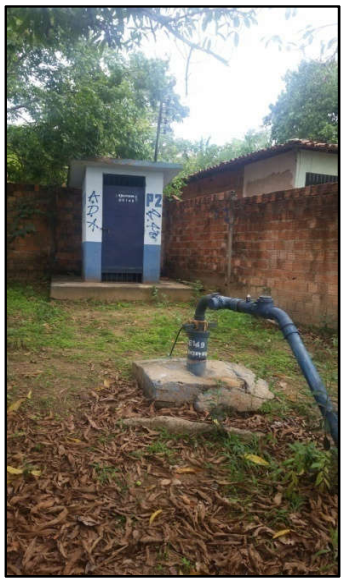
Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa)	***24.69***	***m***
Corte Tubo	***24.82***	***m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **BE152**

Localização: *Quebra Pote* Data Levantamento: 22/01/2018
Município: *São Luís*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude *-2.70016422 S* Local Rastreio*: *Auxiliar*
Longitude *-44.21945440 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) ***27.25 m***
Corte Tubo ***27.40 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **BE154**

Localização: *Conj Ribeira*
Município: *São Luís*

Data Levantamento: 22/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude	*-2.63787957*	*S*
Longitude	*-44.25089291*	*O*

Local Rastreio*: *Chapa*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa)	***36.83***	***m***
Corte Tubo	***36.98***	***m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos



POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **BE161**

Localização: *Turu*
Município: *Paço do Lumiar*

Data Levantamento: 19/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude	*-2.52259373*	*S*
Longitude	*-44.17490240*	*O*

Local Rastreio*: *Topo Poço*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa)	***SP***	***m***
Corte Tubo	***18.32***	***m***

Sem possibilidade de fixar chapa nas proximidades do poço.

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







Faltou pintar recorte no tubo!

POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **BE162**

Localização: *Todos os Santos*
Município: *Paço do Lumiar*

Data Levantamento: 18/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude *-2.52839213 S*
Longitude *-44.14414265 O*

Local Rastreio*: *Chapa*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa) ***41.16 m***
Corte Tubo ***41.32 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **BE171**

Localização: *E. M. Raimundo Rocha L. Junior* Data Levantamento: 18/01/2018
Município: *São Luís*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude *-2.47829385 S* Local Rastreio*: *Auxiliar*
Longitude *-44.18577231 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) ***42.30 m***
Corte Tubo ***42.40 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **BE173**

Localização: *Novo Cohatrac*
Município: *São Luís*

Data Levantamento: 18/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude	*-2.51939972*	*S*
Longitude	*-44.20943101*	*O*

Local Rastreio*: *Chapa*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa)	***40.68***	***m***
Corte Tubo	***40.80***	***m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos









POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **BE174**

Localização: *Igarau*
Município: *São Luís*

Data Levantamento: 22/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude	*-2.75515051*	*S*
Longitude	*-44.32009477*	*O*

Local Rastreio*: *Chapa*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa)	***17.10***	***m***
Corte Tubo	***17.39***	***m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **BE237=PI006**

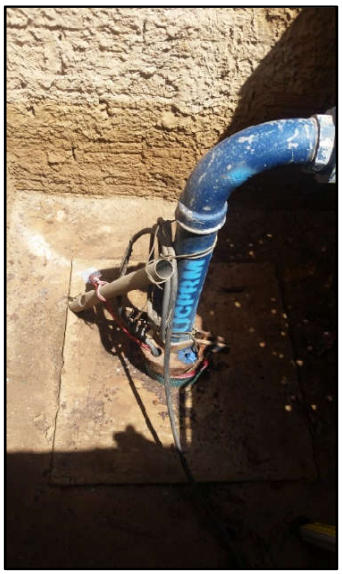
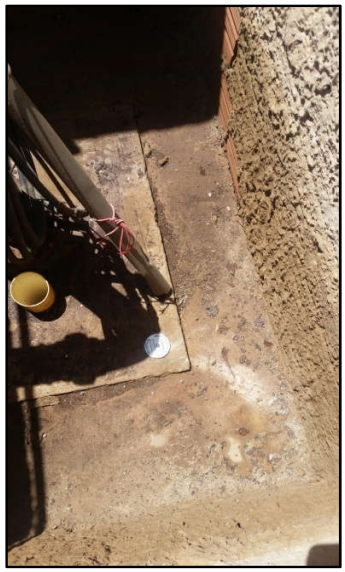
Localização: *Anjo da Guarda* Data Levantamento: 26/01/2018
Município: *São Luís*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude *-2.54973305 S* Local Rastreio*: *Auxiliar*
Longitude *-44.32075417 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) ***23.24 m***
Corte Tubo ***23.33 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos

POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **CG027**

Localização: *Vila após o aterro da Ribeira* Data Levantamento: 24/01/2018
Município: *São Luís*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude *-2.65096112 S* Local Rastreio*: *Auxiliar*
Longitude *-44.22626801 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) ***28.58 m***
Corte Tubo ***28.81 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **CG029**

Localização: *Campo de Futebol* Data Levantamento: 24/01/2018
Município: *São Luís*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude *-2.66969805 S* Local Rastreio*: *Auxiliar*
Longitude *-44.22772017 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) ***27.79 m***
Corte Tubo ***27.97 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos









POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **CG032**

Localização: *Tindai* Data Levantamento: 24/01/2018
Município: *São Luís*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude *-2.67017960 S* Local Rastreio*: *Auxiliar*
Longitude *-44.23420247 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) ***13.93 m***
Corte Tubo ***13.94 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **FS001=PM004**

Localização: *Parque Bacanga* Data Levantamento: 15/01/2018
Município: *São Luís*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude *-2.56545631 S* Local Rastreio*: *Auxiliar*
Longitude *-44.25188911 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) ***13.23 m***
Corte Tubo ***13.48 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **FS026**

Localização: *Forquilha* Data Levantamento: 24/01/2018
Município: *São Luís*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude *-2.55681749 S* Local Rastreio*: *Chapa*
Longitude *-44.21058952 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) ***28.49 m***
Corte Tubo ***28.73 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **FS032**

Localização: *0* Data Levantamento: 24/01/2018
Município: *São José de Ribamar*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude *-2.54524698 S* Local Rastreio*: *Auxiliar*
Longitude *-44.19064741 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) ***23.42 m***
Corte Tubo ***23.88 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **GP004**

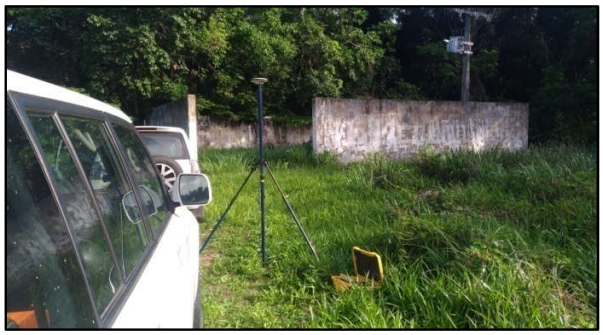
Localização: *Parque Bacanga* Data Levantamento: 15/01/2018
Município: *São Luís*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude *-2.56874465 S* Local Rastreio*: *Auxiliar*
Longitude *-44.25269391 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) ***12.52 m***
Corte Tubo ***12.66 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **GP009**

Localização: *Bacanga*
Município: *São Luís*

Data Levantamento: 31/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude	*-2.56961433*	*S*
Longitude	*-44.25435168*	*O*

Local Rastreio*: *Chapa*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa)	***10.29***	***m***
Corte Tubo	***10.52***	***m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **LA004**

Localização: *U.I. Jarbas Passarinho*
Município: *Raposa*

Data Levantamento: 19/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude *-2.45742415 S*
Longitude *-44.15521195 O*

Local Rastreio*: *Auxiliar*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa) ***20.19 m***
Corte Tubo ***20.38 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos





POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **LA007**

Localização: *Pirâmide* Data Levantamento: 18/01/2018
Município: *Raposa*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude *-2.46611074 S* Local Rastreio*: *Chapa*
Longitude *-44.16439027 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) ***50.37 m***
Corte Tubo ***50.43 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos



POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **LA028**

Localização: *Ponta da Areia* Data Levantamento: 26/01/2018
Município: *São Luís*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude *-2.48962172 S* Local Rastreio*: *Auxiliar*
Longitude *-44.30109026 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) ***10.90 m***
Corte Tubo ***10.98 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **LA035**

Localização: *Colégio Militar* Data Levantamento: 31/01/2018
Município: *São Luís*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude *-2.54580069 S* Local Rastreio*: *Auxiliar*
Longitude *-44.25326420 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) ***34.84 m***
Corte Tubo ***34.94 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **LA041**

Localização: *Fertilizante*
Município: *São Luís*

Data Levantamento: 30/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude	*-2.64527542*	*S*
Longitude	*-44.30529639*	*O*

Local Rastreio*: *Auxiliar*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa)	***33.92***	***m***
Corte Tubo	***33.98***	***m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos





POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **LA043**

Localização: *0* Data Levantamento: 01/02/2018
Município: *São Luís*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude *-2.59802580 S* Local Rastreio*: *Auxiliar*
Longitude *-44.32854051 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) ***23.48 m***
Corte Tubo ***23.63 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **LA044**

Localização: *Av. do Sabiá* Data Levantamento: 25/01/2018
Município: *São Luís*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude *-2.59543667 S* Local Rastreio*: *Auxiliar*
Longitude *-44.32977114 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) ***34.42 m***
Corte Tubo ***34.16 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos









POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **LA050**

Localização: *Parque Florêncio* Data Levantamento: 18/01/2018
Município: *São Luís*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude *-2.48980486 S* Local Rastreio*: *Chapa*
Longitude *-44.18290703 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) ***34.73 m***
Corte Tubo ***34.78 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **LA058**

Localização: *Loteamento Central Parque* Data Levantamento: 18/01/2018
Município: *São Luís*

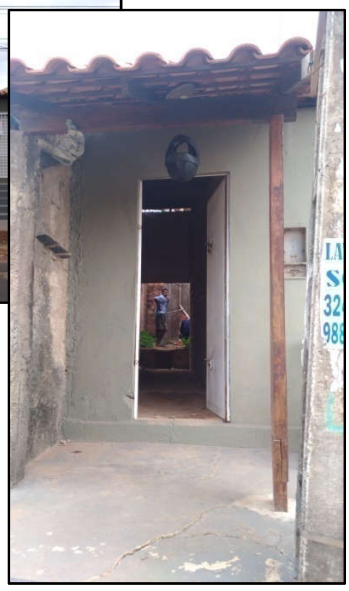
Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude *-2.48147039 S* Local Rastreio*: *Auxiliar*
Longitude *-44.21176186 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) ***27.57 m***
Corte Tubo ***27.70 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **LA099**

Localização: *Conj. Hab. Paraná*
Município: *Paço do Lumiar*

Data Levantamento: 18/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude	*-2.53522987*	*S*
Longitude	*-44.16047899*	*O*

Local Rastreio*: *Chapa*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

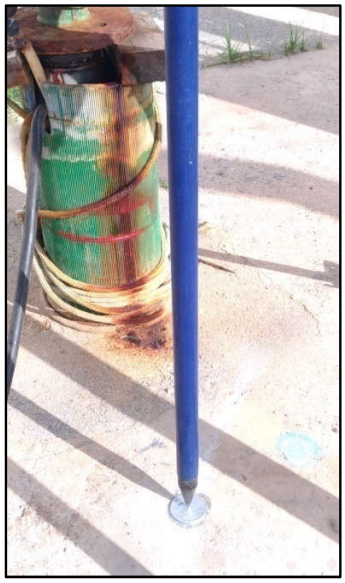
RN (Chapa)	***51.91***	***m***
Corte Tubo	***52.11***	***m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **LA118**

Localização: *Arraial* Data Levantamento: 22/01/2018
Município: *São Luís*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude *-2.71894804 S* Local Rastreio*: *Chapa*
Longitude *-44.24143714 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) ***40.13 m***
Corte Tubo ***40.30 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos





POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **LA123**

Localização: *0*
Município: *São Luís*

Data Levantamento: 01/02/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude	*-2.72091633*	*S*
Longitude	*-44.23876344*	*O*

Local Rastreio*: *Não foi realizado!*

Não foi realizado rastreamento GPS. Altitude transportada por nivelamento geométrico do poço LA118 que fica nas proximidades

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa)	***40.13***	***m***
Corte Tubo	***46.27***	***m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **LA171** **NASCENTE**

Localização: *0* Data Levantamento: 22/01/2018
Município: *São Luís*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude *-2.68782549 S* Local Rastreio*: *Auxiliar*
Longitude *-44.25424724 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) ***13.52 m***
Corte Tubo ***13.72 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **LA178**

Localização: *Tindiba*
Município: *São Luís*

Data Levantamento: 22/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude	*-2.70867652*	*S*
Longitude	*-44.21618877*	*O*

Local Rastreio*: *Auxiliar*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa)	***31.00 m***
Corte Tubo	***31.01 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **LA183**

Localização: *Cidade Alta*
Município: *São José de Ribamar*

Data Levantamento: 24/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude *-2.57294520 S*
Longitude *-44.14584325 O*

Local Rastreio*: *Chapa*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa) ***40.48 m***
Corte Tubo ***40.25 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos









POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **LA187**

Localização: *Santana*
Município: *São José de Ribamar*

Data Levantamento: 23/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude	*-2.60971034*	*S*
Longitude	*-44.16400824*	*O*

Local Rastreio*: *Auxiliar*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa)	***21.07***	***m***
Corte Tubo	***21.00***	***m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos



POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **MB001**

Localização: *Bom Jardim II* Data Levantamento: 23/01/2018
Município: *São José de Ribamar*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude *-2.62870686 S* Local Rastreio*: *Chapa*
Longitude *-44.15860689 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) ***49.33 m***
Corte Tubo ***49.56 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos









POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **MJ006**

Localização: *Residencial Farol do Araçagi* Data Levantamento: 19/01/2018
Município: *São Luís*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude *-2.48838104 S* Local Rastreio*: *Chapa*
Longitude *-44.21883059 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) ***43.38 m***
Corte Tubo ***43.52 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos



POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **MJ053**

Localização: *Cond. Alto do Angelin-I*
Município: *São Luís*
Data Levantamento: 29/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude	*-2.52792453*	*S*
Longitude	*-44.22964827*	*O*

Local Rastreio*: *Topo Poço*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa)	***48.92***	***m***
Corte Tubo	***48.96***	***m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **MJ056**

Localização: *Vila Maranhao*
Município: *São Luís*

Data Levantamento: 25/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude	*-2.62615086*	*S*
Longitude	*-44.31763591*	*O*

Local Rastreio*: *Auxiliar*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa)	***24.76 m***
Corte Tubo	***25.16 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **MJ057=PI005**

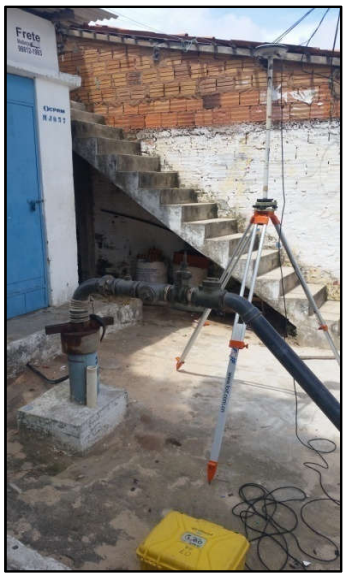
Localização: *Vila Isabel* Data Levantamento: 26/01/2018
Município: *São Luís*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude *-2.56243754 S* Local Rastreio*: *Auxiliar*
Longitude *-44.32465116 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) ***36.31 m***
Corte Tubo ***36.60 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **MJ061=PI008**

Localização: *Inhauma*
Município: *São Luís*

Data Levantamento: 26/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude	*-2.54565457*	*S*
Longitude	*-44.31053448*	*O*

Local Rastreio*: *Auxiliar*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa)	***20.77***	***m***
Corte Tubo	***20.94***	***m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **MJ074**

Localização: *Vila Embratel* Data Levantamento: 30/01/2018
Município: *São Luís*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude *-2.57507745 S* Local Rastreio*: *Chapa*
Longitude *-44.31570721 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) ***5.44 m***
Corte Tubo ***5.70 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos






POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **MJ081=PI007**

Localização: *Vila Embratel*
Município: *São Luís*

Data Levantamento: 30/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude	*-2.57380049*	*S*
Longitude	*-44.30597515*	*O*

Local Rastreio*: *Topo Poço*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa)	***20.88***	***m***
Corte Tubo	***21.01***	***m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **MJ082=PI010**

Localização: *Vila Embratel* Data Levantamento: 30/01/2018
Município: *São Luís*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude *-2.57696862* *S* Local Rastreio*: *Topo Poço*
Longitude *-44.30641772* *O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa) ***SP*** ***m***
Corte Tubo ***25.63*** ***m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos









POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **MJ089**

Localização: *Praia do Cajueiro*
Município: *São Luís*

Data Levantamento: 25/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude	*-2.61804964*	*S*
Longitude	*-44.34991834*	*O*

Local Rastreio*: *Auxiliar*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa)	***17.27 m***
Corte Tubo	***17.35 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **MJ097=PM007**

Localização: *Jordoa*
Município: *São Luís*

Data Levantamento: 31/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude *-2.54887931* *S*
Longitude *-44.26231271* *O*

Local Rastreio*: *Auxiliar*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa) ***15.24*** ***m***
Corte Tubo ***S/M*** ***m***

Não foi possível fazer a marcação no tubo do poço. Edícula fechada e não foi encontrado o observador.

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos









POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **MJ099**

Localização: *Rua do Campo*
Município: *Paço do Lumiar*

Data Levantamento: 18/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude *-2.52943147* *S*
Longitude *-44.10679053* *O*

Local Rastreio*: *Chapa*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa) ***29.09*** ***m***
Corte Tubo ***S/M*** ***m***

Sem medição: valor aproximado 29,30m

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **MJ114**

Localização: *Vila dos Passaros* Data Levantamento: 16/01/2018
Município: *São José de Ribamar*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude *-2.55500403 S* Local Rastreio*: *Auxiliar*
Longitude *-44.11530398 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa) ***34.57 m***
Corte Tubo ***34.63 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos





POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **MJ120**

Localização: *Panaquatira*
Município: *Paço do Lumiar*

Data Levantamento: 16/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude *-2.49021637 S*
Longitude *-44.04064666 O*

Local Rastreio*: *Chapa*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa) ***24.14 m***
Corte Tubo ***24.28 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **MJ121**

Localização: *Terminal das Vans*
Município: *São José de Ribamar*

Data Levantamento: 16/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude	*-2.50287023*	*S*
Longitude	*-44.02973752*	*O*

Local Rastreio*: *Auxiliar*

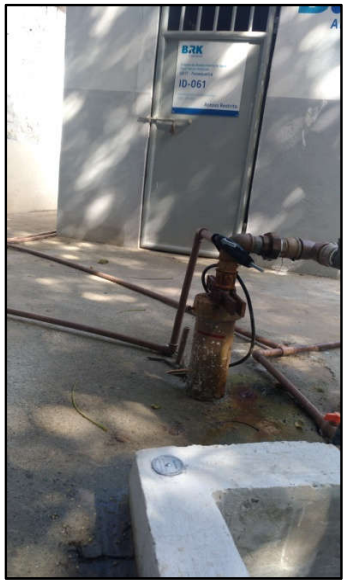
Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa)	***14.94***	***m***
Corte Tubo	***15.02***	***m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **MJ123**

Localização: *Rua São Januario*
Município: *São José de Ribamar*

Data Levantamento: 16/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude	*-2.51046297*	*S*
Longitude	*-44.02783838*	*O*

Local Rastreio*: *Chapa*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa)	***28.04***	***m***
Corte Tubo	***28.24***	***m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **MJ125**

Localização: *Caema R1*
Município: *São Luís*

Data Levantamento: 01/02/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude	*-2.65003154*	*S*
Longitude	*-44.21072127*	*O*

Local Rastreio*: *Auxiliar*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa)	***25.51***	***m***
Corte Tubo	***25.73***	***m***

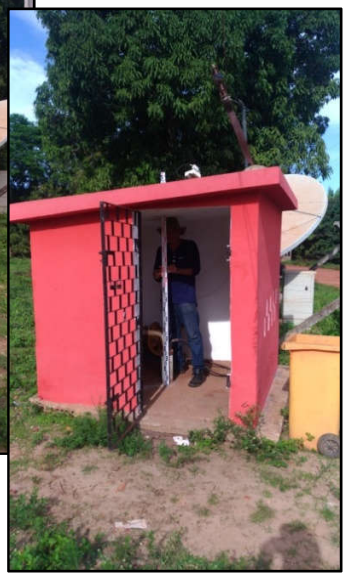
*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos









POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **MJ127**

Localização: *Igreja São Sebastião*
Município: *São José de Ribamar*

Data Levantamento: 17/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude	*-2.53600872*	*S*
Longitude	*-44.05983751*	*O*

Local Rastreio*: *Chapa*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa)	***11.41***	***m***
Corte Tubo	***11.61***	***m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos





POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **MJ128**

Localização: *E. M. Maria de Lourdes Oliveira* Data Levantamento: 17/01/2018
Município: *São José de Ribamar*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude *-2.52910100 S* Local Rastreio*: *Auxiliar*
Longitude *-44.06408006 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) ***23.59 m***
Corte Tubo ***23.73 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **MJ130**

Localização: *U. E. B. Amadeu Aroso Neto*
Município: *Paço do Lumiar*

Data Levantamento: 17/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude *-2.53196638 S*
Longitude *-44.08408647 O*

Local Rastreio*: *Auxiliar*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa) ***12.43 m***
Corte Tubo ***12.62 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos









POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **MJ132**

Localização: *União Moradores do Alto da Esperança* Data Levantamento: 17/01/2018
Município: *Paço do Lumiar*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude *-2.54263573 S* Local Rastreio*: *Auxiliar*
Longitude *-44.08386297 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) ***46.94 m*** **PROBLEMA DE PROCESSAMENTO EM PPP**
Corte Tubo ***47.24 m*** **Coordenadas e altitude aproximadas!!!**

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos





POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **MJ136**

Localização: *Praça Dr. Julinho*
Município: *São José de Ribamar*

Data Levantamento: 17/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude *-2.55026750 S*
Longitude *-44.08222355 O*

Local Rastreio*: *Chapa*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa) ***30.17 m***
Corte Tubo ***30.38 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos



POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **MJ150**

Localização: *U.E.B. Geralda Melo***
Município: *Paço do Lumiar*

Data Levantamento: 19/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude *-2.46126349 S*
Longitude *-44.12262479 O*

Local Rastreio*: *Chapa*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa) ***12.41 m***
Corte Tubo ***12.64 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

**No cadastro inicial, a coordenada dava em local onde não foi encontrado o poço. Além disso funcionária da escola confirmou que coleta da água foi realizada nesse ponto.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **MJ163**

Localização: *Travessa do Poço Nº12*
Município: *São José de Ribamar*

Data Levantamento: 17/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude *-2.54526713 S*
Longitude *-44.06596065 O*

Local Rastreio*: *Chapa*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa) ***39.68 m***
Corte Tubo ***39.68 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos



POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **MJ166**

Localização: *Rua Nova - Curso Pré-vestibular*
Município: *São José de Ribamar*
Data Levantamento: 16/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude *-2.55981646 S*
Longitude *-44.05522581 O*
Local Rastreio*: *Auxiliar*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa) ***27.67 m***
Corte Tubo ***27.90 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos



POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **MJ170**

Localização: *Matinha*
Município: *São José de Ribamar*

Data Levantamento: 17/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude	*-2.57356351*	*S*
Longitude	*-44.16152596*	*O*

Local Rastreio*: *Auxiliar*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa)	***24.15***	***m***
Corte Tubo	***24.31***	***m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos



POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **MJ179**

Localização: *Escola Eugênia Pereira* Data Levantamento: 19/01/2018
Município: *Raposa*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude *-2.48959611 S* Local Rastreio*: *Auxiliar*
Longitude *-44.16424924 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) ***43.12 m***
Corte Tubo ***42.76 m***

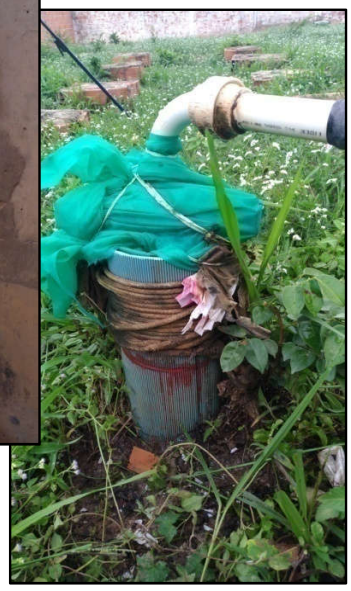
*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos









POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **MJ182**

Localização: *Pq Eldorado* Data Levantamento: 16/01/2018
Município: *Paço do Lumiar*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude *-2.55075212 S* Local Rastreio*: *Chapa*
Longitude *-44.12568256 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) ***28.80 m***
Corte Tubo ***29.07 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **MJ183**

Localização: *Condomínio das Águas* Data Levantamento: 25/01/2018
Município: *Paço do Lumiar*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude *-2.49228811 S* Local Rastreio*: *Auxiliar*
Longitude *-44.06810262 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) ***8.76 m***
Corte Tubo ***9.17 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **MJ185**

Localização: *P61 SAAE Paço do Lumiar*
Município: *Paço do Lumiar*
Data Levantamento: 25/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude	*-2.50914044*	*S*
Longitude	*-44.08275956*	*O*

Local Rastreio*: *Auxiliar*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa)	***30.42***	***m***
Corte Tubo	***30.67***	***m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos









POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **MJ189**

Localização: *Rua Principal Nº48*
Município: *Paço do Lumiar*

Data Levantamento: 25/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude *-2.48259015 S*
Longitude *-44.10026068 O*

Local Rastreio*: *Auxiliar*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa) ***13.15 m***
Corte Tubo ***13.42 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos









POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **MJ190**

Localização: *Rua do Cajueiro*
Município: *Paço do Lumiar*

Data Levantamento: 25/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude	*-2.47403044*	*S*
Longitude	*-44.09849032*	*O*

Local Rastreio*: *Auxiliar*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa)	***8.53***	***m***
Corte Tubo	***8.71***	***m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **MJ191**

Localização: *Sr. Tomate*
Município: *Paço do Lumiar*

Data Levantamento: 25/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude *-2.49671705 S*
Longitude *-44.10537489 O*

Local Rastreio*: *Topo Poço*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa) ***11.75 m***
Corte Tubo ***11.93 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos









POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **MJ194**

Localização: *Boa Viagem*
Município: *São José de Ribamar*

Data Levantamento: 24/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude	*-2.57461546*	*S*
Longitude	*-44.10678383*	*O*

Local Rastreio*: *Chapa*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa)	***9.65 m***
Corte Tubo	***9.76 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos









POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **MJ203**

Localização: *Tajipuru* Data Levantamento: 23/01/2018
Município: *São Luís*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude *-2.65320357 S* Local Rastreio*: *Auxiliar*
Longitude *-44.17756110 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) ***18.23 m***
Corte Tubo ***18.39 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos



POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **MJ205**

Localização: *Mato Grosso*
Município: *São Luís*

Data Levantamento: 23/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude	*-2.67253968*	*S*
Longitude	*-44.18450964*	*O*

Local Rastreio*: *Auxiliar*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa)	***18.77***	***m***
Corte Tubo	***19.21***	***m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **MJ210**

Localização: *U. E. Henrique de La Roque* Data Levantamento: 19/01/2018
Município: *Raposa*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude *-2.45203762 S* Local Rastreio*: *Auxiliar*
Longitude *-44.12483099 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) ***15.31 m***
Corte Tubo ***15.50 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **MJ213**

Localização: *Cumbique*
Município: *Raposa*

Data Levantamento: 19/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude	*-2.44670062*	*S*
Longitude	*-44.13600314*	*O*

Local Rastreio*: *Auxiliar*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa)	***38.59***	***m***
Corte Tubo	***38.66***	***m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **MJ214**

Localização: *Cajupary*
Município: *São Luís*

Data Levantamento: 23/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude	*-2.64911937*	*S*
Longitude	*-44.20887747*	*O*

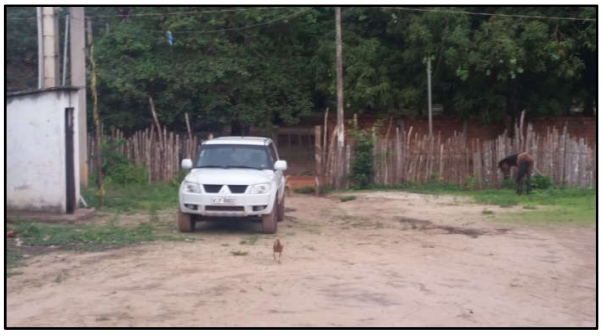
Local Rastreio*: *Chapa*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa)	***29.69 m***
Corte Tubo	***29.90 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **MJ217A**

Localização: *Guarapiranga*
Município: *São José de Ribamar*

Data Levantamento: 23/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude *-2.67444499 S*
Longitude *-44.14336843 O*

Local Rastreio*: *Chapa*

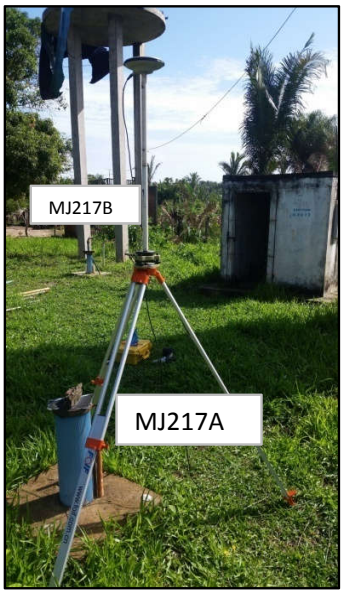
Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa) ***28.28 m***
Corte Tubo ***28.52 m***

DÚVIDA QUAL POÇO FOI O CADASTRADO

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **MJ217B**

Localização: *Guarapiranga*
Município: *São José de Ribamar*

Data Levantamento: 23/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude *-2.67444499 S*
Longitude *-44.14336843 O*

Local Rastreio*: *Chapa*

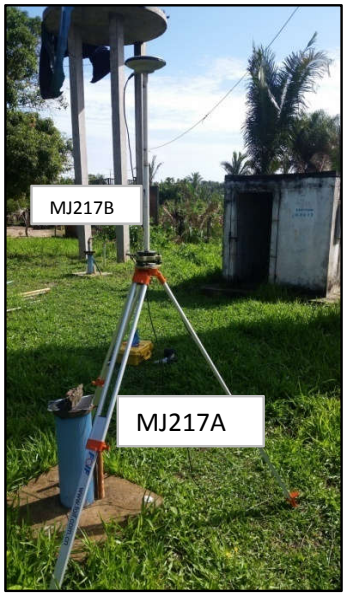
Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa) ***28.28 m***
Corte Tubo ***28.46 m***

DÚVIDA QUAL POÇO FOI O CADASTRADO

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **NG012**

Localização: *Itapeua*
Município: *Raposa*

Data Levantamento: 19/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude	*-2.44848931*	*S*
Longitude	*-44.11422526*	*O*

Local Rastreio*: *Auxiliar*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa)	***14.07***	***m***
Corte Tubo	***14.19***	***m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos





POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **NG015**

Localização: *U. E. B. Francisco Oliveira Dias* Data Levantamento: 19/01/2018
Município: *Raposa*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude *-2.47372297 S* Local Rastreio*: *Chapa*
Longitude *-44.12982552 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) ***18.47 m***
Corte Tubo ***18.62 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **NG031**

Localização: *Coqueiro*
Município: *São Luís*

Data Levantamento: 22/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude	*-2.72976687*	*S*
Longitude	*-44.35948176*	*O*

Local Rastreio*: *Auxiliar*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

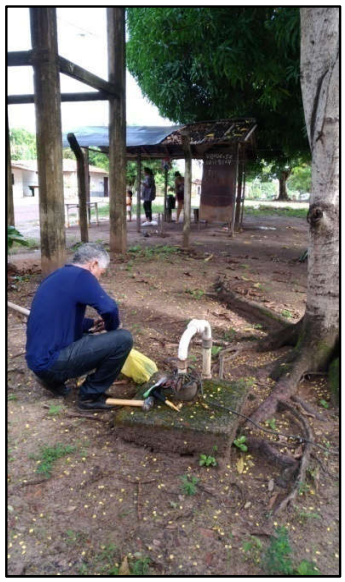
RN (Chapa)	***28.90 m***
Corte Tubo	***28.90 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **NG032**

Localização: *Coqueiro* Data Levantamento: 22/01/2018
Município: *São Luís*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude *-2.73063858 S* Local Rastreio*: *Chapa*
Longitude *-44.36239897 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) ***17.78 m***
Corte Tubo ***17.90 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos





POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **NG080**

Localização: *Maiobinha* Data Levantamento: 17/01/2018
Município: *São José de Ribamar*

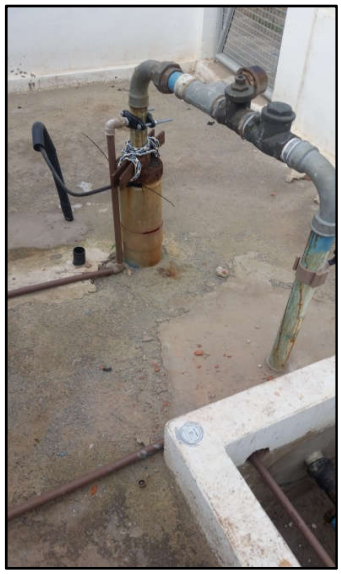
Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude *-2.56169191 S* Local Rastreio*: *Chapa*
Longitude *-44.19887381 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) ***49.53 m***
Corte Tubo ***49.52 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos





POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **NG084**

Localização: *Vila Cafeteira* Data Levantamento: 17/01/2018
Município: *São José de Ribamar*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude *-2.56020402 S* Local Rastreio*: *Chapa*
Longitude *-44.19275324 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa) ***55.02 m***
Corte Tubo ***55.16 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos





POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **PB002**

Localização: *Residencial Barramar*
Município: *São Luís*

Data Levantamento: 26/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude *-2.48864198 S*
Longitude *-44.24640922 O*

Local Rastreio*: *Topo Poço*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa) ***27.17 m***
Corte Tubo ***27.42 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **PIEZÔMETRO 1**

Localização: *Bacanga*
Município: *São Luís*

Data Levantamento: 31/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude	*-2.56961433*	*S*
Longitude	*-44.25435168*	*O*

Local Rastreio*: *Auxiliar*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa)	*10.48*	*m*
Corte Tubo	*10.70*	*m*

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **PIEZÔMETRO 2**

Localização: *Bacanga*
Município: *São Luís*

Data Levantamento: 31/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude *-2.56105067 S*
Longitude *-44.24913751 O*

Local Rastreio*: *Chapa*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa) *18.75 m*
Corte Tubo *18.99 m*

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos









POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **PIEZÔMETRO 3**

Localização: *Shopping Norte - CAEMA*
Município: *São José de Ribamar*
Data Levantamento: 31/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude *-2.54885094 S*
Longitude *-44.19378318 O*
Local Rastreio*: *Auxiliar*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa) ***23.62 m***
Corte Tubo ***23.90 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos









POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **PM008**

Localização: *Vila Nazaré* BRK Data Levantamento: 24/01/2018
Município: *São José de Ribamar*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude *-2.54841117 S* Local Rastreio*: *Chapa*
Longitude *-44.17314601 O*

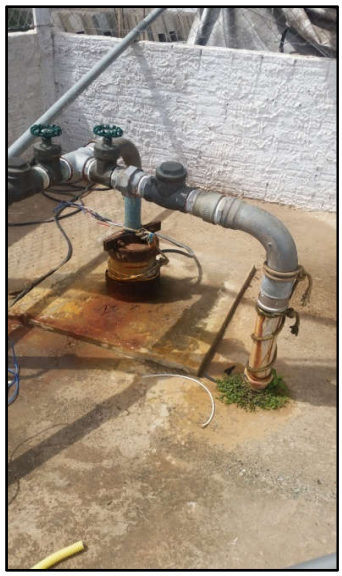
Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) ***58.93 m***
Corte Tubo ***59.17 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **PSL104**

Localização: *0* Data Levantamento: 30/01/2018
Município: *São Luís*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude *-2.62407845 S* Local Rastreio*: *Chapa*
Longitude *-44.35091133 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) ***36.68 m***
Corte Tubo ***36.69 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **PSL107**

Localização: *Ao Lado MJ056*
Município: *São Luís*

Data Levantamento: 30/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude	*-2.62615086*	*S*
Longitude	*-44.31763591*	*O*

Local Rastreio*: *Auxiliar*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa)	***24.82 m***
Corte Tubo	***24.90 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **PSL108**

Localização: *Centro de Especialidade Médica e Diagnóstic* Data Levantamento: 29/01/2018
Município: *São Luís*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude *-2.53045074 S* Local Rastreio*: *Auxiliar*
Longitude *-44.29038060 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa) ***25.07 m***
Corte Tubo ***25.40 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **SA021A**

Localização: *Av. Principal PT04*
Município: *Raposa*
Data Levantamento: 19/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude	*-2.44098620*	*S*
Longitude	*-44.10827509*	*O*

Local Rastreio*: *Chapa*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa)	***15.02***	***m***
Corte Tubo	***15.25***	***m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **SA021B**

Localização: *Av. Principal PT04*
Município: *Raposa*

Data Levantamento: 19/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude	*-2.44098620*	*S*
Longitude	*-44.10827509*	*O*

Local Rastreio*: *Chapa*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa)	***15.02***	***m***
Corte Tubo	***14.07***	***m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **SA039**

Localização: *Mateus*
Município: *São Luís*

Data Levantamento: 22/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude	*-2.62779207*	*S*
Longitude	*-44.26060232*	*O*

Local Rastreio*: *Chapa*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa)	***48.25***	***m***
Corte Tubo	***48.49***	***m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos



POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **SA049**

Localização: *Posto Ipiranga* Data Levantamento: 22/01/2018
Município: *São Luís*

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)
Latitude *-2.69178045 S* Local Rastreio*: *Auxiliar*
Longitude *-44.30275572 O*

Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)
RN (Chapa) ***17.15 m***
Corte Tubo ***17.35 m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos



POÇOS ILHA DE SÃO LUÍS

Nivelamento de Poços por GPS

Poço **SA062**

Localização: *Fazendo Sr. Gildo*
Município: *Paço do Lumiar*

Data Levantamento: 25/01/2018

Coordenadas (SIRGAS 2000.4)

Latitude	*-2.50445761*	*S*
Longitude	*-44.12624630*	*O*

Local Rastreio*: *Topo Poço*

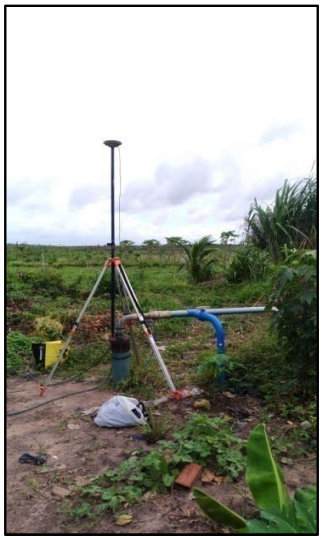
Altitude Ortométrica (MAPGEO 2015)

RN (Chapa)	***SP***	***m***
Corte Tubo	***41.28***	***m***

*Nem sempre o rastreamento GPS foi realizado sobre a RN (chapa de alumínio) ou sobre o topo do poço. Em vários casos, devido à obstrução do sinal GPS, o rastreamento foi realizado sobre pontos AUXILIARES (piquetes, marcas em calçamento, etc) que nem sempre estão próximos aos poços.

Fotos







ANEXO 3

Parâmetros Físico-Químicos (período seco e chuvoso)

PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

	Campo 01 - Período de Chuva						Campo 02 - Período de Estiagem					
Cód. Laboratório	pH	CE (µS/cm)	STD (mg/L)	Cor Aparente (u Hazen)	Turbidez (uT)	Dureza (mg/L)	pH	CE (µS/cm)	STD (mg/L)	Cor Aparente (u Hazen)	Turbidez (uT)	Dureza (mg/L)
PSL - 01	5.46	150.4	105.6	0.00	0.02	90.00	4.89	169.5	117.7	0.00	0.02	70.00
PSL - 02	6.85	177.5	122.8	1.15	1.15	115.00	5.41	86.6	65.2	1.40	1.80	85.00
PSL - 03	6.79	42.3	37.2	1.90	1.68	100.00	6.11	42.8	37.5	3.00	2.50	100.00
PSL - 04	4.83	180.5	124.7	0.60	0.17	90.00	5.08	189.6	130.4	0.00	0.19	90.00
PSL - 05	6.75	192.6	132.3	33.60	22.40	110.00	6.317	195	133.8	3.10	2.34	110.00
PSL - 06	4.62	61.4	49.3	0.00	0.02	95.00	4.358	62.5	50.0	0.00	0.02	95.00
PSL - 07	3.85	3300.0	1675.8	1.50	0.19	175.00	3.8	3272	1683.6	1.80	0.13	170.00
PSL - 08	6.04	53.3	44.1	0.70	0.17	90.00	6.47	75.9	58.5	0.00	0.02	120.00
PSL - 09	7.41	262.0	176.3	0.50	0.25	99.50	7.169	262	176.3	0.00	0.02	175.00
PSL - 10	7.81	431.0	283.2	1.00	0.25	225.00	7.259	434	285.1	0.40	0.36	295.00
PSL - 11	6.27	450.0	295.3	0.70	0.02	145.00	5.931	460	300.1	0.30	0.02	205.00
PSL - 12	5.83	161.8	112.8	0.00	0.06	80.00	5.89	157.8	110.3	0.00	0.02	60.00
PSL - 13	4.88	142.6	100.7	0.20	0.02	80.00	5.12	134.6	95.6	0.00	0.02	100.00
PSL - 14	5.22	54.4	44.8	0.20	0.13	45.00	5.5	42.1	37.1	0.00	0.02	100.00
PSL - 15	7.81	348.0	230.7	0.90	0.51	220.00	NC	NC	NC	NC	NC	NC
PSL - 16	4.50	113.0	81.9	0.00	0.02	215.00	4.345	123.2	88.4	0.00	0.02	170.00
PSL - 17	4.82	76.8	59.0	0.00	0.02	75.00	5.93	63.2	50.4	0.00	0.02	85.00
PSL - 18	4.59	127.2	90.9	0.20	0.02	110.00	4.334	139.2	98.5	0.00	0.02	250.00
PSL - 19	6.73	163.7	114.2	4.70	3.70	125.00	NC	NC	NC	NC	NC	NC
PSL - 20	4.95	102.8	75.5	0.00	0.02	485.00	5.78	146.1	102.9	0.00	0.02	150.00
PSL - 21	5.82	97.5	72.1	0.00	0.05	100.00	5.328	96.9	71.7	0.00	0.02	35.00
PSL - 22	6.11	37.3	34.0	3.70	5.27	60.00	6.45	52.4	43.6	2.60	0.65	90.00
PSL - 23	6.17	82.0	62.1	9.10	2.55	125.00	6.49	40.7	36.2	1.20	0.17	80.00
PSL - 24	5.18	64.0	51.0	10.20	25.00	140.00	5.46	58.6	47.5	2.40	1.80	90.00
PSL - 25	4.57	46.2	39.7	1.30	0.38	170.00	4.26	107.9	78.7	0.00	0.02	90.00
PSL - 26	4.83	46.6	39.9	0.00	0.02	235.00	4.63	55.4	45.5	0.00	0.02	70.00
PSL - 27	8.14	790.0	462.5	0.60	0.70	220.00	NC	NC	NC	NC	NC	NC
PSL - 28	4.24	219.0	149.0	0.00	0.02	300.00	3.88	268	180.1	0.00	0.02	810.00
PSL - 29	4.61	125.9	90.1	0.00	0.02	120.00	4.51	134.7	95.7	0.00	0.02	100.00
PSL - 30	6.59	233.0	157.9	0.00	0.02	160.00	6.01	249	168.0	0.70	0.02	120.00
PSL - 31	4.10	310.0	206.6	0.00	0.02	195.00	3.84	327	217.4	0.00	0.02	120.00
PSL - 32	4.10	337.0	223.7	0.00	0.02	150.00	3.8	276	185.1	0.00	0.02	110.00
PSL - 33	7.46	487.0	313.4	0.50	0.21	160.00	NC	NC	NC	NC	NC	NC
PSL - 34	5.91	259.0	174.4	8.10	2.40	525.00	3.88	207	141.4	0.00	0.02	180.00
PSL - 35	5.87	108.9	79.3	0.00	0.60	135.00	5.28	109.4	79.7	0.00	0.02	225.00
PSL - 36	8.33	665.0	401.0	0.00	0.22	60.00	8.14	765	450.2	0.00	0.02	75.00
PSL - 37	4.54	193.2	132.7	0.58	0.58	150.00	4.486	195.2	134.0	0.30	0.38	150.00
PSL - 38	6.42	108.5	79.1	0.02	0.02	85.00	6.34	107.8	78.6	0.00	0.02	140.00
PSL - 39	7.09	394.0	259.8	19.60	18.00	205.00	NC	NC	NC	NC	NC	NC
PSL - 40	5.64	76.6	58.9	0.00	1.70	110.00	6	77.1	59.2	0.00	0.02	15.00
PSL - 41	6.76	212.0	144.6	0.13	0.11	120.00	6.05	146.5	103.1	0.00	0.02	150.00
PSL - 42	5.46	72.9	56.6	0.60	0.13	80.00	4.388	97.1	71.9	0.00	0.02	90.00
PSL - 43	6.71	114.0	82.6	0.00	0.02	40.00	6.19	122.4	87.9	0.00	0.02	85.00
PSL - 44	8.75	605.0	371.5	0.70	0.02	210.00	8.35	567	352.8	0.00	0.02	210.00
PSL - 45	7.99	501.0	320.3	0.50	0.22	225.00	7.606	508	323.7	0.00	0.02	225.00
PSL - 46	5.62	156.9	109.7	0.63	0.63	820.00	5.237	161.3	112.5	0.00	0.02	140.00
PSL - 47	4.28	276.0	185.1	0.00	0.02	75.00	4.19	293	195.9	0.00	0.02	575.00
PSL - 48	5.20	56.8	46.4	0.00	0.02	85.00	4.87	54	44.6	0.00	0.02	125.00
PSL - 49	5.46	52.4	43.6	0.00	0.02	75.00	4.925	58.4	47.4	0.00	0.02	60.00
PSL - 50	5.99	210.0	143.3	8.50	9.33	100.00	NC	NC	NC	NC	NC	NC
PSL - 51	8.22	887.0	510.2	0.50	0.62	265.00	8.16	888	510.7	0.00	0.02	240.00
PSL - 52	5.68	190.0	130.7	0.50	1.10	140.00	6.33	154.2	108.0	0.20	0.02	140.00
PSL - 53	6.68	205.0	140.2	0.90	0.42	70.00	6.04	397	261.7	0.00	0.15	150.00

	Campo 01 - Período de Chuva						Campo 02 - Período de Estiagem					
Cód. Laboratório	pH	CE (µS/cm)	STD (mg/L)	Cor Aparente (u Hazen)	Turbidez (uT)	Dureza (mg/L)	pH	CE (µS/cm)	STD (mg/L)	Cor Aparente (u Hazen)	Turbidez (uT)	Dureza (mg/L)
PSL - 54	7.16	99.9	73.6	0.00	0.16	140.00	7.6	100.8	74.2	0.00	0.02	130.00
PSL - 55	5.23	110.7	80.5	0.00	0.10	110.00	6.55	255	171.8	0.70	0.02	100.00
PSL - 56	5.98	126.6	90.5	0.00	0.02	80.00	7.24	127.9	91.4	0.00	0.02	105.00
PSL - 57	5.73	1387.0	756.2	0.00	0.02	165.00	6.9	1232	679.9	0.00	0.02	170.00
PSL - 58	8.01	972.0	552.0	0.40	0.25	180.00	7.969	1110	619.9	0.30	0.02	270.00
PSL - 59	6.03	355.0	235.1	4.50	2.22	110.00	6.61	380	250.9	0.00	0.02	155.00
PSL - 60	8.20	1.5	805.4	0.40	0.02	120.00	8.048	1504	813.8	0.00	0.02	145.00
PSL - 61	7.99	170.6	118.4	1.80	2.65	275.00	6.18	69.4	54.3	0.00	0.02	55.00
PSL - 62	4.54	141.7	100.1	0.00	0.02	90.00	4.49	155.2	108.6	0.30	0.07	75.00
PSL - 63	5.05	64.2	51.0	0.30	0.27	395.00	6.02	64.4	51.2	0.00	0.02	105.00
PSL - 64	4.32	150.6	105.7	0.00	0.02	115.00	4.25	164.2	114.3	0.00	0.02	75.00
PSL - 65	6.37	341.0	226.3	3.00	2.33	160.00	5.48	400	263.6	0.00	0.02	90.00
PSL - 66	7.84	1405.0	765.1	0.40	0.02	370.00	8.37	1298	712.4	0.00	0.02	410.00
PSL - 67	4.70	59.6	48.1	0.00	0.02	85.00	4.72	56.3	46.0	0.00	0.02	95.00
PSL - 68	5.21	92.0	68.6	3.30	3.20	85.00	5.08	191.9	131.9	0.00	0.92	120.00
PSL - 69	4.73	70.4	55.0	0.00	0.28	130.00	4.71	83.5	63.3	0.00	0.81	70.00
PSL - 70	6.28	54.0	44.4	0.00	0.02	165.00	4.865	57	46.5	0.00	0.02	155.00
PSL - 71	5.91	77.4	59.4	0.30	0.40	125.00	6.02	79.8	60.9	0.00	0.02	65.00
PSL - 72	4.13	206.0	140.8	0.00	0.37	215.00	4.07	177.7	122.9	0.00	0.02	115.00
PSL - 73	5.18	142.2	100.4	0.00	0.06	65.00	5.27	140.5	99.3	0.00	0.32	80.00
PSL - 74	4.00	357.0	236.4	0.00	0.02	205.00	3.864	364	240.8	0.00	0.02	130.00
PSL - 75	4.56	854.0	494.0	0.70	0.27	205.00	5.8	386	254.7	0.00	0.02	155.00
PSL - 76	5.73	95.1	70.6	0.00	0.02	215.00	7.44	98.1	72.5	0.00	0.02	100.00
PSL - 77	4.30	369.0	244.0	0.30	1.39	150.00	5.89	315	209.8	0.00	0.02	105.00
PSL - 78	5.13	143.8	101.4	0.80	1.00	140.00	4.94	152.3	106.8	0.00	0.02	125.00
PSL - 79	5.68	84.7	64.0	0.00	3.00	170.00	5.77	81.5	62.0	0.00	0.19	110.00
PSL - 80	5.52	219.0	149.0	0.30	0.02	180.00	4.92	223	151.6	0.00	0.02	100.00
PSL - 81	7.75	634.0	385.7	0.00	0.02	290.00	7.55	642	389.7	0.00	0.02	365.00
PSL - 82	8.75	424.0	278.8	1.00	2.80	220.00	8.42	431	283.2	3.10	0.17	225.00
PSL - 83	6.17	108.4	79.0	0.00	0.14	90.00	NC	NC	NC	NC	NC	NC
PSL - 84	4.51	103.2	75.7	0.00	0.02	135.00	4.51	100.5	74.0	0.70	0.53	130.00
PSL - 85	8.38	631.0	384.3	0.80	0.12	330.00	7.75	582	360.1	0.00	0.02	190.00
PSL - 86	5.80	80.7	61.5	0.00	0.02	300.00	5.206	81.8	62.2	0.00	0.02	75.00
PSL - 87	5.33	36.8	33.7	0.00	0.02	65.00	4.863	37.8	34.3	0.00	0.02	85.00
PSL - 88	4.06	345.0	228.8	0.40	0.08	175.00	3.984	313	208.5	0.00	0.02	190.00
PSL - 89	5.35	72.4	56.2	0.00	0.02	125.00	5.73	68.3	53.6	0.00	0.02	65.00
PSL - 90	5.45	59.5	48.1	0.00	0.02	90.00	4.942	58.1	47.2	0.00	0.02	80.00
PSL - 91	4.48	82.4	62.6	0.02	0.02	80.00	4.2	82.7	62.8	0.00	0.02	100.00
PSL - 92	5.24	83.7	63.4	0.20	0.12	100.00	6.03	87.8	66.0	0.20	0.02	80.00
PSL - 93	5.35	92.4	68.9	0.00	0.02	65.00	5.69	134	95.2	0.00	0.02	75.00
PSL - 94	8.17	1414.0	769.5	1.00	0.33	310.00	7.769	1412	786.5	0.20	0.02	250.00
PSL - 95	4.75	187.3	129.0	0.00	0.11	195.00	4.13	208	142.1	1.40	0.02	50.00
PSL - 96	5.83	77.5	59.5	0.00	0.77	100.00	5.58	85.1	64.3	0.00	0.02	65.00
PSL - 97	5.19	60.2	49.5	0.20	0.70	125.00	5.54	62	49.7	0.20	0.02	50.00
PSL - 98	4.86	73.8	57.1	4.00	1.00	115.00	5.17	73.6	57.0	1.10	0.20	325.00
PSL - 99	4.89	773.0	454.1	2.40	1.26	160.00	NC	NC	NC	NC	NC	NC
PSL - 100	6.18	91.2	68.1	53.60	37.90	295.00	6	75.1	57.9	1.70	1.30	170.00
PSL - 101	NC	NC	NC	NC	NC	NC	8.02	241	163.0	0.00	0.21	160.00
PSL - 102	NC	NC	NC	NC	NC	NC	5.21	60.4	48.6	0.60	0.43	25.00
PSL - 103	NC	NC	NC	NC	NC	NC	7.93	828	481.2	0.20	0.02	170.00
PSL - 104	NC	NC	NC	NC	NC	NC	6.57	133	94.6	0.00	0.19	80.00
PSL - 105	NC	NC	NC	NC	NC	NC	5.25	82.2	62.4	0.00	0.14	75.00
PSL - 106	NC	NC	NC	NC	NC	NC	5.901	107.2	78.3	0.00	0.02	115.00
PSL - 107	NC	NC	NC	NC	NC	NC	4.44	601	369.5	0.00	0.02	150.00
PSL - 108	NC	NC	NC	NC	NC	NC	6.8	543	341.0	0.30	0.02	195.00

ANEXO 4

Concentrações dos Cátions e Ânions principais nas água dos Aquíferos São Luís e Itapecuru

CONCENTRAÇÕES DOS CÁTIONS E ÂNIONS PRINCIPAIS NAS ÁGUAS DOS AQUÍFEROS SÃO LUÍS E ITAPECURU

Cód. Laboratório	Campo 01 - Período de Chuva								Campo 02 - Período de Estiagem							
	Cátions Principais (mg/L)				Ânions Principais (mg/L)				Cátions Principais (mg/L)				Ânions Principais (mg/L)			
	Ca^{2+}	K^{+}	Mg^{2+}	Na^{+}	Cl^{-}	SO_4^{-}	CO_3^{2-}	HCO_3^{-}	Ca^{2+}	K^{+}	Mg^{2+}	Na^{+}	Cl^{-}	SO_4^{-}	CO_3^{2-}	HCO_3^{-}
PSL - 01	3.95	2.14	1.54	20.12	22.22	19.34	0.00	1.50	2.73	1.77	1.29	24.16	27.74	4.28	0.00	0.00
PSL - 02	7.89	5.71	5.07	21.07	8.82	5.60	0.00	75.61	0.57	3.29	0.79	11.78	18.72	2.40	0.00	0.00
PSL - 03	0.64	4.04	0.44	4.59	5.11	1.75	0.00	9.95	0.49	4.12	0.47	4.96	5.36	2.15	0.00	8.98
PSL - 04	2.02	18.17	0.93	5.88	19.70	18.59	0.00	1.50	2.23	19.58	1.30	5.95	19.17	21.51	0.00	0.00
PSL - 05	6.77	6.01	3.74	24.23	23.60	6.60	0.00	59.18	6.13	6.32	3.67	24.57	24.68	7.80	0.00	57.09
PSL - 06	1.40	0.62	1.25	4.84	5.66	1.01	0.00	1.50	0.80	0.63	1.30	5.02	6.08	1.25	0.00	0.00
PSL - 07	25.32	643.78	5.07	40.89	717.98	74.97	0.00	1.50	37.70	620.94	5.31	44.36	679.89	137.14	0.00	0.00
PSL - 08	1.23	1.96	1.21	4.89	6.20	3.74	0.00	9.38	3.78	3.54	1.97	6.18	6.87	5.95	0.00	18.55
PSL - 09	23.01	5.92	12.01	14.64	12.20	3.19	0.00	135.75	20.27	6.18	12.69	13.43	12.12	3.48	0.00	135.91
PSL - 10	35.88	5.43	22.37	13.35	8.95	5.74	0.00	260.45	42.74	5.27	26.90	9.88	8.50	4.85	13.51	225.08
PSL - 11	18.38	6.40	7.78	41.53	49.74	31.18	0.00	57.36	18.54	7.22	7.69	47.23	50.38	33.59	0.00	51.80
PSL - 12	1.56	6.58	1.87	17.44	27.36	11.25	0.00	17.77	1.91	6.48	2.24	20.51	25.72	10.94	0.00	13.32
PSL - 13	1.67	2.34	2.31	12.20	19.16	6.05	0.00	1.50	2.01	2.59	3.17	15.41	20.89	6.71	0.00	0.00
PSL - 14	0.50	0.46	0.95	5.13	7.76	4.26	0.00	1.50	0.22	0.33	1.11	5.12	6.84	4.12	0.00	0.00
PSL - 15	28.78	5.95	19.17	11.16	17.89	23.06	0.00	212.47	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
PSL - 16	0.94	0.94	2.06	12.31	14.70	1.92	0.00	1.50	0.70	1.15	2.07	14.24	17.00	1.71	0.00	0.00
PSL - 17	0.86	0.79	0.97	7.95	12.56	3.98	0.00	1.50	0.90	0.81	1.26	7.85	10.16	3.77	0.00	0.00
PSL - 18	0.60	0.47	1.74	16.88	13.29	2.37	0.00	1.50	0.44	0.73	1.88	19.17	14.20	2.16	0.00	0.00
PSL - 19	2.81	8.24	2.81	19.76	22.29	8.38	0.00	36.33	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
PSL - 20	0.96	0.79	1.43	9.64	11.54	5.16	0.00	1.50	5.29	1.40	3.14	17.62	14.61	3.95	0.00	16.08
PSL - 21	0.50	4.06	0.54	11.53	12.03	9.65	0.00	11.94	0.38	4.23	0.75	14.64	12.02	9.85	0.00	8.69
PSL - 22	0.50	0.26	0.55	3.56	6.58	2.86	0.00	1.50	1.21	1.26	1.13	6.65	8.07	4.48	0.00	6.53
PSL - 23	2.37	1.27	1.09	7.18	9.53	1.87	0.00	1.50	1.82	0.99	0.78	3.94	5.99	2.40	0.00	0.00
PSL - 24	1.24	0.11	0.76	5.45	5.92	4.31	0.00	1.50	2.71	0.55	2.03	4.49	4.90	6.19	0.00	8.01
PSL - 25	0.50	0.10	0.48	3.25	6.54	0.62	0.00	1.50	0.25	0.18	0.76	15.77	19.75	0.67	0.00	0.00
PSL - 26	0.50	0.17	0.77	3.71	6.72	6.53	0.00	1.50	0.43	0.32	1.13	5.44	6.86	2.24	0.00	0.00
PSL - 27	26.84	4.33	10.25	98.81	115.48	35.48	0.00	210.11	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
PSL - 28	1.71	0.84	3.72	24.26	23.56	2.93	0.00	1.50	2.83	1.58	4.58	31.27	27.55	2.78	0.00	0.00
PSL - 29	0.67	0.33	1.85	11.72	13.85	1.48	0.00	1.50	1.55	0.91	2.92	17.14	13.99	2.77	0.00	0.00
PSL - 30	7.59	0.92	2.34	21.05	41.60	10.53	0.00	9.50	13.70	1.16	3.29	27.55	42.81	14.77	0.00	13.07
PSL - 31	2.80	1.69	3.84	27.92	36.67	1.48	0.00	1.50	4.23	2.75	5.10	38.58	36.16	1.59	0.00	0.00
PSL - 32	2.51	2.29	3.99	28.92	38.75	3.24	0.00	1.50	1.61	1.62	5.05	30.70	25.11	0.96	0.00	0.00
PSL - 33	37.44	7.86	4.17	34.41	49.06	39.39	0.00	79.71	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
PSL - 34	4.42	2.00	2.25	26.16	44.72	15.54	0.00	19.61	1.84	1.72	2.74	20.66	23.94	9.23	0.00	0.00
PSL - 35	2.31	1.16	1.97	11.38	15.53	6.05	0.00	9.35	2.80	1.41	2.28	13.44	16.00	6.76	0.00	9.02
PSL - 36	9.11	2.78	2.38	119.10	91.47	36.01	0.00	179.24	8.57	2.96	2.71	132.62	81.39	34.00	-	229.05

Cód. Laboratório	Campo 01 - Período de Chuva								Campo 02 - Período de Estiagem							
	Cátions Principais (mg/L)				Ânions Principais (mg/L)				Cátions Principais (mg/L)				Ânions Principais (mg/L)			
	Ca^{2+}	K^{+}	Mg^{2+}	Na^{+}	Cl^{-}	SO_4^{-}	CO_3^{2-}	HCO_3^{-}	Ca^{2+}	K^{+}	Mg^{2+}	Na^{+}	Cl^{-}	SO_4^{-}	CO_3^{2-}	HCO_3^{-}
PSL - 37	1.78	1.98	4.97	19.92	22.18	5.09	0.00	1.50	2.08	2.27	5.43	22.50	21.54	4.99	0.00	0.00
PSL - 38	4.50	0.96	2.01	12.66	11.43	3.68	0.00	24.86	3.99	0.99	2.11	14.06	12.03	2.73	0.00	21.13
PSL - 39	21.38	5.34	13.30	32.66	39.40	5.48	0.00	160.93	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
PSL - 40	1.26	1.02	1.28	9.30	13.52	5.22	0.00	1.50	1.23	1.21	1.39	10.89	13.33	5.32	0.00	5.29
PSL - 41	6.62	1.64	4.72	28.50	20.37	7.16	0.00	72.88	3.87	1.23	3.74	19.27	15.28	3.49	0.00	34.30
PSL - 42	1.13	0.56	1.68	7.67	9.32	3.27	0.00	1.50	0.37	0.69	1.94	11.49	9.63	2.08	0.00	0.00
PSL - 43	5.29	0.92	1.93	10.82	12.51	3.65	0.00	9.17	5.45	1.22	2.44	13.53	13.64	4.14	0.00	0.00
PSL - 44	27.36	6.78	12.14	81.98	59.30	16.63	0.00	0.00	28.15	6.98	12.74	84.29	57.48	17.41	11.51	224.91
PSL - 45	36.85	5.26	18.83	36.65	17.89	15.24	0.00	275.40	39.05	5.69	20.33	40.89	18.21	14.79	14.14	238.21
PSL - 46	2.58	2.17	3.36	18.02	25.25	8.30	0.00	9.37	2.78	2.43	3.69	20.33	24.14	5.52	0.00	8.66
PSL - 47	2.01	1.09	4.77	35.95	34.55	2.52	0.00	1.50	1.83	1.20	4.93	39.79	34.93	2.41	0.00	0.00
PSL - 48	0.50	0.67	1.00	7.09	9.38	4.40	0.00	1.50	0.50	0.85	1.14	7.44	8.84	4.18	0.00	0.00
PSL - 49	0.69	0.43	1.46	5.42	6.66	1.99	0.00	1.50	0.71	0.53	1.68	6.38	6.87	2.04	0.00	3.32
PSL - 50	0.86	1.58	2.14	26.33	29.75	18.66	0.00	11.05	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
PSL - 51	57.49	6.65	19.28	95.85	141.60	46.50	0.00	229.91	52.14	7.05	20.41	91.16	124.36	44.24	0.00	228.37
PSL - 52	7.14	0.90	2.33	20.68	23.93	25.06	0.00	9.23	4.89	1.03	2.29	20.23	21.32	12.99	0.00	10.45
PSL - 53	2.61	1.34	3.04	24.17	19.39	5.10	0.00	12.99	6.81	3.39	4.45	62.51	54.86	6.84	0.00	17.15
PSL - 54	1.65	0.77	2.13	13.61	13.81	8.82	0.00	10.33	1.79	0.99	2.05	14.34	13.67	7.26	0.00	7.42
PSL - 55	1.18	0.74	1.50	9.57	19.21	5.08	0.00	1.50	12.15	2.82	9.12	23.64	21.70	20.24	0.00	62.63
PSL - 56	2.08	0.88	2.71	9.20	14.30	4.04	0.00	9.47	3.64	1.30	4.20	14.20	15.26	4.01	0.00	10.62
PSL - 57	9.10	4.18	15.88	184.19	314.27	40.45	0.00	11.91	13.34	5.68	22.38	196.49	318.54	44.34	0.00	10.51
PSL - 58	29.99	10.84	17.82	140.85	186.28	25.27	0.00	213.32	38.17	12.73	21.37	152.40	195.97	25.35	17.80	210.48
PSL - 59	13.33	5.17	5.11	35.51	43.46	20.38	0.00	11.39	16.80	6.07	6.91	43.13	44.33	21.34	0.00	32.88
PSL - 60	20.71	4.37	6.95	268.80	309.22	43.95	0.00	198.59	22.65	5.31	8.08	308.54	320.64	43.94	10.62	178.54
PSL - 61	7.65	2.14	4.80	14.52	15.84	9.77	0.00	65.35	2.11	0.93	1.67	9.51	11.83	5.26	0.00	9.94
PSL - 62	1.15	0.58	3.06	15.57	16.89	8.84	0.00	1.50	0.88	0.87	3.28	18.80	15.69	7.69	0.00	0.00
PSL - 63	1.59	0.76	1.07	7.41	10.35	5.81	0.00	1.50	1.42	0.96	0.93	8.65	11.20	5.88	0.00	2.76
PSL - 64	1.32	0.73	3.67	16.05	13.86	2.22	0.00	1.50	1.37	0.85	3.63	18.05	15.62	2.09	0.00	0.00
PSL - 65	7.09	1.61	4.94	37.31	64.59	13.01	0.00	39.40	11.09	2.20	8.02	49.58	89.54	14.47	0.00	16.90
PSL - 66	90.06	7.14	33.33	125.79	290.80	81.69	0.00	200.14	93.79	9.90	42.60	130.05	288.15	82.58	0.00	208.76
PSL - 67	0.50	0.70	0.93	4.29	8.06	6.11	0.00	1.50	0.27	0.88	1.33	6.30	7.55	5.75	0.00	0.00
PSL - 68	0.70	1.44	1.37	12.90	16.24	10.12	0.00	1.50	0.85	2.10	1.57	29.49	23.03	27.38	0.00	2.80
PSL - 69	2.03	0.66	1.58	6.41	8.46	2.45	0.00	1.50	2.35	0.66	2.12	8.38	8.45	1.82	0.00	0.00
PSL - 70	0.80	0.33	0.85	4.99	8.40	6.23	0.00	1.50	1.12	0.68	0.97	7.53	9.23	6.42	0.00	0.00
PSL - 71	1.59	0.80	1.82	9.40	11.32	6.71	0.00	10.48	1.91	1.00	1.96	11.57	11.47	6.50	0.00	10.53
PSL - 72	2.82	0.84	3.04	17.23	20.53	2.13	0.00	1.50	1.90	1.22	3.66	23.42	19.83	3.68	0.00	0.00
PSL - 73	2.47	1.19	3.27	17.07	23.13	4.17	0.00	1.50	2.15	1.32	3.30	19.84	21.62	4.55	0.00	0.00
PSL - 74	5.13	3.82	6.49	23.92	37.70	0.67	0.00	1.50	6.92	5.43	8.17	34.63	35.35	0.49	0.00	0.00

Cód. Laboratório	Campo 01 - Período de Chuva								Campo 02 - Período de Estiagem							
	Cátions Principais (mg/L)				Ânions Principais (mg/L)				Cátions Principais (mg/L)				Ânions Principais (mg/L)			
	Ca^{2+}	K^{+}	Mg^{2+}	Na^{+}	Cl^{-}	SO_4^{-}	CO_3^{2-}	HCO_3^{-}	Ca^{2+}	K^{+}	Mg^{2+}	Na^{+}	Cl^{-}	SO_4^{-}	CO_3^{2-}	HCO_3^{-}
PSL - 75	22.98	12.10	16.80	93.65	142.99	50.13	0.00	1.50	10.41	5.05	7.78	51.67	57.00	21.83	0.00	0.00
PSL - 76	3.46	0.77	1.84	8.11	15.04	7.28	0.00	9.25	3.33	1.24	2.29	13.00	14.28	4.33	0.00	6.54
PSL - 77	5.74	2.08	5.18	32.68	51.25	4.00	0.00	1.50	4.93	2.85	5.91	46.72	37.43	7.88	0.00	38.85
PSL - 78	2.27	1.75	2.36	13.20	17.78	8.84	0.00	1.50	3.19	2.45	3.61	20.46	19.14	9.63	0.00	0.00
PSL - 79	1.36	0.96	1.85	9.69	12.45	5.57	0.00	1.50	1.33	1.12	1.89	12.06	12.30	5.63	0.00	7.31
PSL - 80	0.98	1.60	1.90	20.60	31.00	19.23	0.00	10.70	1.21	2.50	2.57	31.79	28.34	19.53	0.00	9.42
PSL - 81	36.20	4.91	20.76	35.94	54.67	16.92	0.00	266.70	47.28	6.88	27.19	45.26	54.74	17.61	16.58	242.88
PSL - 82	26.04	3.83	11.98	28.19	10.95	10.65	0.00	254.79	34.21	5.62	14.81	42.17	9.47	7.79	11.84	233.45
PSL - 83	1.58	4.47	1.55	9.95	15.00	4.97	0.00	22.40	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
PSL - 84	0.63	0.84	1.94	8.05	14.28	1.70	0.00	1.50	0.71	1.27	2.43	11.67	13.50	1.78	0.00	0.00
PSL - 85	29.54	6.89	14.00	66.22	31.78	19.64	0.00	250.37	30.24	8.28	16.27	65.95	38.66	17.52	0.00	255.23
PSL - 86	1.66	0.88	1.36	10.13	14.85	6.12	0.00	9.83	1.84	0.97	1.56	12.17	14.22	5.35	0.00	5.75
PSL - 87	0.50	0.35	0.76	3.59	6.42	3.03	0.00	1.50	0.30	0.44	0.76	4.74	5.17	1.47	0.00	0.00
PSL - 88	1.63	1.39	5.67	38.64	39.15	2.32	0.00	1.50	1.37	1.42	5.92	41.39	31.69	2.01	0.00	0.00
PSL - 89	0.90	0.87	1.37	8.28	11.87	6.53	0.00	1.50	0.93	1.20	1.48	10.53	11.31	6.18	0.00	5.45
PSL - 90	1.18	0.77	1.16	7.66	9.07	3.56	0.00	1.50	0.60	0.69	0.94	8.60	8.92	3.32	0.00	0.00
PSL - 91	1.45	0.42	2.05	5.81	7.51	3.76	0.00	1.50	1.40	0.42	2.24	7.12	6.52	1.49	0.00	0.00
PSL - 92	2.47	0.45	1.69	9.80	13.76	7.00	0.00	1.50	2.66	0.68	1.78	12.28	15.14	7.40	0.00	4.22
PSL - 93	2.29	0.74	1.72	10.85	11.60	2.45	0.00	1.50	3.50	1.11	2.63	18.87	14.11	1.23	0.00	2.38
PSL - 94	65.26	6.81	19.89	183.40	330.58	33.25	0.00	206.72	69.86	7.94	22.07	180.74	302.04	32.04	12.86	175.74
PSL - 95	0.96	1.30	2.48	23.26	36.83	10.85	0.00	1.50	0.84	1.54	2.64	31.32	33.21	11.08	0.00	0.00
PSL - 96	4.28	0.76	0.77	7.96	10.03	4.15	0.00	9.63	4.77	0.90	0.81	10.52	11.31	4.06	0.00	8.81
PSL - 97	0.84	0.36	1.03	5.66	9.14	4.90	0.00	1.50	0.85	0.58	1.34	8.89	10.06	4.85	0.00	0.00
PSL - 98	0.75	0.21	1.32	7.49	11.87	6.29	0.00	1.50	0.21	0.39	1.40	9.47	12.73	5.40	0.00	0.00
PSL - 99	12.37	57.32	6.17	19.41	102.38	64.85	0.00	1.50	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
PSL - 100	4.11	0.96	1.83	6.32	10.24	5.19	0.00	1.50	2.67	1.39	2.10	9.13	10.34	4.74	0.00	15.55
PSL - 101	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	18.31	2.36	14.04	8.55	7.23	8.70	0.00	110.22
PSL - 102	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	0.29	4.78	0.20	8.71	8.32	4.22	0.00	9.80
PSL - 103	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	33.69	5.41	12.20	120.16	119.34	33.69	0.00	206.83
PSL - 104	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	2.70	5.97	2.02	19.75	12.92	5.13	0.00	47.11
PSL - 105	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	1.13	0.97	1.83	9.46	10.78	11.31	0.00	0.00
PSL - 106	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	1.69	4.78	1.86	14.65	18.24	3.46	0.00	11.70
PSL - 107	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	23.51	36.27	3.81	47.89	76.97	20.54	0.00	0.00
PSL - 108	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	60.49	8.61	4.63	37.12	43.60	50.44	0.00	90.18

ANEXO 5

Série Nitrogenada e Componentes Secundários

SÉRIE NITROGENADA E COMPONENTES SECUNDÁRIOS

Cód. Laboratório	Campo 01 - Período de Chuva (mg/L)					Campo 02 - Período de Estiagem (mg/L)							
	NO_2^-	NO_3^-	NH_3	Fe	Mn	NO_2^-	NO_3^-	NH_4^+	Fe	Mn	Si	F	PO_4
PSL - 01	<0,01	6.58	<0,4	0.02	0.09	0.01	24.30	0.05	0.007	0.031	6.137	0.08	0.12
PSL - 02	<0,01	0.74	<0,4	0.10	0.07	0.01	1.38	0.05	0.025	0.057	12.501	0.03	0.12
PSL - 03	<0,01	0.93	<0,4	0.01	0.01	0.01	1.34	0.05	0.006	0.001	13.236	0.03	0.12
PSL - 04	<0,01	18.40	<0,4	0.03	0.01	0.01	17.56	5.00	0.019	0.013	5.815	0.01	0.12
PSL - 05	<0,01	0.94	<0,4	2.17	0.52	0.01	0.10	0.05	0.448	0.561	40.536	0.25	0.44
PSL - 06	<0,01	12.15	<0,4	0.02	0.01	0.01	15.77	0.05	0.040	0.006	4.988	0.02	0.12
PSL - 07	<0,01	26.50	<0,4	0.04	0.12	0.01	43.07	8.00	0.036	0.127	11.476	0.41	2.57
PSL - 08	<0,01	1.88	<0,4	0.02	0.07	0.01	1.00	0.05	0.008	0.241	16.719	0.22	0.28
PSL - 09	<0,01	0.67	<0,4	0.06	0.24	0.08	0.67	0.05	0.045	0.242	28.400	0.20	0.77
PSL - 10	<0,01	3.34	<0,4	0.01	0.01	0.01	4.13	0.05	0.003	0.007	16.814	0.05	0.12
PSL - 11	<0,01	52.42	<0,4	0.02	0.02	0.01	53.91	8.00	0.014	0.018	3.911	0.05	0.12
PSL - 12	<0,01	0.70	<0,4	0.01	0.02	0.01	1.61	0.05	0.012	0.022	17.658	0.03	0.12
PSL - 13	<0,01	19.98	<0,4	0.01	0.04	0.01	17.07	0.05	0.007	0.049	6.876	0.09	0.12
PSL - 14	<0,01	5.81	<0,4	0.01	0.04	0.01	1.48	0.05	0.006	0.029	7.962	0.02	0.12
PSL - 15	<0,01	0.27	<0,4	0.03	0.10	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
PSL - 16	<0,01	99.29	<0,4	0.03	0.01	0.01	22.86	0.40	0.119	0.005	6.557	0.07	0.12
PSL - 17	<0,01	4.90	<0,4	0.03	0.01	0.01	5.03	0.05	0.012	0.007	6.208	0.01	0.12
PSL - 18	<0,01	31.58	<0,4	0.02	0.01	0.01	33.59	0.40	0.021	0.009	6.067	0.03	0.12
PSL - 19	<0,01	2.05	<0,4	0.02	0.18	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
PSL - 20	<0,01	21.25	<0,4	0.07	0.01	0.02	28.53	0.05	0.021	0.015	7.788	0.02	0.12
PSL - 21	<0,01	5.23	<0,4	0.02	0.03	0.01	7.72	0.05	0.034	0.080	19.428	0.02	0.12
PSL - 22	<0,01	0.96	<0,4	0.04	0.01	0.01	0.96	0.05	0.035	0.012	10.447	0.03	0.12
PSL - 23	<0,01	19.30	<0,4	0.03	0.01	0.01	4.16	0.05	0.033	0.003	2.821	0.01	0.12
PSL - 24	<0,01	11.92	<0,4	0.01	0.01	0.01	3.88	0.20	0.007	0.005	5.143	0.04	0.12
PSL - 25	<0,01	5.23	<0,4	0.59	0.01	0.01	10.52	0.05	0.055	0.002	3.165	0.04	0.12
PSL - 26	<0,01	7.62	<0,4	0.03	0.02	0.01	5.16	0.05	0.045	0.029	5.756	0.03	0.12
PSL - 27	<0,01	0.01	<0,4	0.02	0.03	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
PSL - 28	<0,01	56.68	<0,4	0.03	0.01	0.01	65.72	0.50	0.031	0.009	5.880	0.04	0.12
PSL - 29	<0,01	28.53	<0,4	0.01	0.04	0.01	30.80	0.05	0.009	0.056	5.874	0.04	0.12
PSL - 30	<0,01	23.20	<0,4	0.01	0.01	0.01	16.96	0.05	0.040	0.005	3.386	0.01	0.12
PSL - 31	<0,01	76.04	<0,4	0.01	0.01	0.01	73.46	0.05	0.023	0.007	5.504	0.03	0.12
PSL - 32	<0,01	84.19	<0,4	0.02	0.01	0.01	69.42	0.05	0.012	0.002	5.404	0.03	0.12
PSL - 33	<0,01	68.72	<0,4	0.04	0.01	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
PSL - 34	<0,01	26.10	<0,4	3.10	0.01	0.01	27.21	0.80	0.056	0.019	5.589	0.02	0.12
PSL - 35	<0,01	10.93	<0,4	0.03	0.01	0.01	10.02	0.05	0.010	0.011	9.085	0.07	0.12
PSL - 36	<0,01	0.01	<0,4	0.06	0.02	0.01	0.05	0.20	0.020	0.016	7.275	0.09	0.12
PSL - 37	<0,01	46.24	<0,4	0.22	0.07	0.04	45.02	0.80	0.698	0.074	9.013	0.05	0.12
PSL - 38	<0,01	22.85	<0,4	0.02	0.02	0.01	12.28	0.05	0.004	0.019	7.083	0.05	0.12
PSL - 39	<0,01	0.04	<0,4	2.54	0.67	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
PSL - 40	<0,01	0.92	<0,4	0.09	0.07	0.01	1.32	0.05	0.081	0.076	12.874	0.03	0.12
PSL - 41	<0,01	20.11	<0,4	0.02	0.01	0.01	15.81	0.05	0.005	0.010	4.924	0.05	0.12
PSL - 42	<0,01	11.37	<0,4	0.03	0.02	0.01	20.43	0.05	0.012	0.002	5.023	0.01	0.72
PSL - 43	<0,01	104.21	<0,4	0.02	0.04	0.01	26.06	0.05	0.007	0.040	7.066	0.05	0.12
PSL - 44	<0,01	0.21	<0,4	0.02	0.02	0.01	0.86	0.05	0.012	0.006	13.376	0.02	0.12
PSL - 45	<0,01	1.93	<0,4	0.02	0.01	0.01	0.80	0.05	0.007	0.018	18.104	0.02	0.12
PSL - 46	<0,01	81.02	<0,4	0.04	0.09	0.01	20.44	0.60	0.077	0.100	7.796	0.03	0.12
PSL - 47	<0,01	67.85	<0,4	0.02	0.09	0.01	67.04	0.40	0.016	0.081	6.033	0.09	0.12
PSL - 48	<0,01	4.40	<0,4	0.06	0.05	0.01	5.45	0.05	0.021	0.037	8.322	0.02	0.12
PSL - 49	<0,01	9.12	<0,4	0.01	0.01	0.01	9.62	F	0.094	0.004	5.476	0.02	0.12
PSL - 50	<0,01	18.18	<0,4	3.16	0.01	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
PSL - 51	<0,01	0.94	<0,4	0.04	0.07	0.01	0.05	0.10	0.051	0.066	12.889	0.03	0.12
PSL - 52	<0,01	13.25	<0,4	0.01	0.02	0.01	12.52	0.30	0.005	0.022	6.098	0.04	0.12
PSL - 53	<0,01	48.19	<0,4	0.02	0.01	0.01	74.64	0.05	0.070	0.015	6.567	0.12	0.12
PSL - 54	<0,01	6.90	<0,4	0.03	0.01	0.01	7.85	0.05	0.025	0.008	4.839	0.03	0.12
PSL - 55	<0,01	12.81	<0,4	0.02	0.03	0.01	11.17	0.05	0.005	0.041	8.976	0.09	0.12

Cód. Laboratório	Campo 01 - Período de Chuva (mg/L)					Campo 02 - Período de Estiagem (mg/L)							
	NO_2^-	NO_3^-	NH_3	Fe	Mn	NO_2^-	NO_3^-	NH_4^+	Fe	Mn	Si	F	PO_4
PSL - 56	<0,01	23.06	<0,4	0.01	0.04	0.01	22.33	0.05	0.077	0.084	7.172	0.07	0.12
PSL - 57	<0,01	1.82	<0,4	0.02	0.15	0.01	2.34	0.05	0.015	0.035	9.640	0.04	0.12
PSL - 58	<0,01	10.18	<0,4	0.01	0.01	0.01	6.80	0.05	0.007	0.011	11.062	0.09	0.12
PSL - 59	<0,01	58.94	<0,4	0.02	0.01	0.01	49.81	0.05	0.007	0.014	4.777	0.32	0.12
PSL - 60	<0,01	0.01	<0,4	0.04	0.04	0.01	0.89	0.50	0.027	0.038	8.610	0.01	0.12
PSL - 61	<0,01	0.91	<0,4	0.95	0.07	0.01	0.55	0.05	0.049	0.020	9.070	0.03	0.12
PSL - 62	<0,01	20.15	<0,4	0.02	0.02	0.01	21.74	0.05	0.011	0.016	6.756	0.05	0.12
PSL - 63	<0,01	0.19	<0,4	0.11	0.04	0.01	0.18	0.05	0.151	0.039	9.178	0.02	0.12
PSL - 64	<0,01	37.32	<0,4	0.02	0.01	0.01	39.20	0.05	0.006	0.002	5.571	0.01	0.12
PSL - 65	<0,01	6.76	<0,4	0.10	0.01	0.01	10.62	0.50	0.013	0.005	7.856	0.14	0.12
PSL - 66	<0,01	0.36	<0,4	0.03	0.03	0.01	0.03	0.05	0.022	0.052	8.307	0.50	0.12
PSL - 67	<0,01	1.04	<0,4	0.02	0.03	0.01	1.42	0.05	0.036	0.040	7.350	0.02	0.12
PSL - 68	<0,01	0.93	<0,4	0.12	0.06	0.01	1.09	0.05	0.176	0.104	14.695	0.01	0.12
PSL - 69	<0,01	52.90	<0,4	0.02	0.01	0.01	21.23	0.05	0.007	0.005	6.233	0.02	0.12
PSL - 70	<0,01	0.10	<0,4	0.01	0.01	0.01	1.98	0.05	0.053	0.027	7.800	0.02	0.12
PSL - 71	<0,01	0.72	<0,4	0.09	0.05	0.01	1.11	0.05	0.094	0.054	9.996	0.03	0.12
PSL - 72	<0,01	48.08	<0,4	0.03	0.01	0.01	38.98	0.15	0.033	0.025	6.141	0.04	0.12
PSL - 73	<0,01	21.36	<0,4	0.04	0.54	0.01	19.69	0.05	0.103	0.469	9.778	0.09	0.12
PSL - 74	<0,01	95.74	<0,4	0.02	0.05	0.01	90.17	1.50	0.008	0.054	6.557	0.09	0.12
PSL - 75	<0,01	104.88	<0,4	0.02	0.14	0.01	54.22	0.15	0.020	0.078	7.360	0.11	0.12
PSL - 76	<0,01	6.62	<0,4	0.03	0.03	0.01	13.42	0.05	0.043	0.015	7.423	0.04	0.12
PSL - 77	<0,01	91.33	<0,4	0.02	0.02	0.01	40.86	0.05	0.022	0.013	6.996	0.13	0.12
PSL - 78	<0,01	26.58	<0,4	0.22	0.11	0.01	26.16	0.50	0.266	0.148	15.890	0.04	0.12
PSL - 79	<0,01	4.66	<0,4	0.24	0.18	0.01	4.57	0.05	0.177	0.158	12.236	0.04	0.12
PSL - 80	<0,01	26.55	<0,4	0.02	0.01	0.01	22.17	8.00	0.055	0.005	6.767	0.03	0.12
PSL - 81	<0,01	0.94	<0,4	0.01	0.01	0.01	1.41	0.05	0.007	0.007	16.824	0.04	0.12
PSL - 82	<0,01	0.10	<0,4	0.20	0.20	0.01	0.07	0.05	0.136	0.211	23.903	0.01	0.12
PSL - 83	<0,01	0.76	<0,4	0.01	0.03	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
PSL - 84	<0,01	28.13	<0,4	0.01	0.01	0.01	17.71	0.05	0.006	0.010	6.477	0.04	0.12
PSL - 85	<0,01	1.40	<0,4	0.03	0.02	0.01	3.94	0.05	0.005	0.020	13.537	0.03	0.12
PSL - 86	<0,01	11.55	<0,4	0.05	0.04	0.01	1.93	0.05	0.037	0.041	9.689	0.04	0.12
PSL - 87	<0,01	12.67	<0,4	0.03	0.01	0.01	4.65	0.05	0.007	0.012	5.938	0.01	0.12
PSL - 88	<0,01	84.72	<0,4	0.02	0.02	0.01	75.04	0.40	0.031	0.022	5.123	0.04	0.12
PSL - 89	<0,01	0.47	<0,4	0.02	0.07	0.01	0.80	0.05	0.027	0.072	10.937	0.03	0.12
PSL - 90	<0,01	5.89	<0,4	0.04	0.07	0.01	6.16	0.05	0.008	0.053	7.529	0.03	0.12
PSL - 91	<0,01	35.49	<0,4	0.02	0.01	0.01	18.52	0.05	0.012	0.007	5.139	0.01	0.12
PSL - 92	<0,01	2.07	<0,4	0.03	0.01	0.01	2.60	0.05	0.008	0.007	6.184	0.04	0.12
PSL - 93	<0,01	52.13	<0,4	0.01	0.02	0.01	37.53	0.05	0.004	0.022	5.416	0.05	0.12
PSL - 94	<0,01	0.01	<0,4	0.06	0.03	0.01	0.04	0.30	0.046	0.031	12.336	0.01	0.12
PSL - 95	<0,01	11.84	<0,4	0.41	0.11	0.01	14.28	0.05	0.050	0.103	8.370	0.12	0.12
PSL - 96	<0,01	5.74	<0,4	0.07	0.03	0.01	8.25	0.05	0.008	0.021	8.196	0.01	0.12
PSL - 97	<0,01	2.80	<0,4	0.02	0.05	0.01	4.48	0.05	0.008	0.042	8.043	0.02	0.12
PSL - 98	<0,01	0.32	<0,4	0.17	0.01	0.01	0.54	0.05	0.123	0.002	4.576	0.03	0.12
PSL - 99	<0,01	99.84	<0,4	0.01	0.09	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
PSL - 100	<0,01	0.06	<0,4	0.33	0.08	0.01	0.09	0.05	0.350	0.059	12.305	0.04	0.12
PSL - 101	NC	NC	NC	NC	NC	0.04	12.09	0.05	0.009	0.009	18.347	0.05	0.12
PSL - 102	NC	NC	NC	NC	NC	0.01	0.78	0.05	0.027	0.011	22.727	0.03	0.12
PSL - 103	NC	NC	NC	NC	NC	0.01	0.08	0.05	0.015	0.030	11.498	0.04	0.12
PSL - 104	NC	NC	NC	NC	NC	0.01	1.48	0.05	0.018	0.018	41.525	0.08	0.12
PSL - 105	NC	NC	NC	NC	NC	0.01	2.13	0.05	0.644	0.066	7.424	0.03	0.12
PSL - 106	NC	NC	NC	NC	NC	0.01	5.07	0.05	0.004	0.070	20.107	0.02	0.12
PSL - 107	NC	NC	NC	NC	NC	0.01	111.47	10.00	0.014	0.056	6.357	0.06	0.12
PSL - 108	NC	NC	NC	NC	NC	0.01	62.41	0.05	0.009	0.000	4.401	0.02	0.12

ANEXO 6

Elementos Terras Raras

ELEMENTOS DE TERRAS RARAS (µg/L)

Cód. Laboratório	Campo 2 – Período de estiagem																
	Y	Ce	La	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Sc	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf
PSL - 01	0.723	8.643	4.638	0.858	2.214	0.406	0.2	0.2	1.093	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 02	0.2	0.476	0.223	0.2	0.261	0.2	0.2	0.2	0.908	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 03	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.86	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 04	0.845	4.853	2.04	0.634	2.006	0.494	0.2	0.2	0.535	0.2	0.25	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 05	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	9.125	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 06	1.013	4.499	2.137	0.587	2.243	0.424	0.2	0.219	0.364	0.2	0.242	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 07	53.74	1109.299	549.456	64.469	234.206	38.495	4.138	0.2	13.129	1.969	10.688	1.778	4.653	0.623	4.301	0.559	0.2
PSL - 08	0.2	0.409	0.249	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1.665	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 09	0.248	0.4	0.2	0.2	0.206	0.2	0.2	0.2	6.338	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 10	0.2	0.249	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	5.026	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 11	2.168	16.214	6.544	1.447	5.764	0.892	0.2	0.495	1.073	0.2	0.443	0.2	0.212	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 12	0.2	0.435	0.231	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	4.677	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 13	2.041	5.097	2.267	0.676	2.508	0.531	0.2	0.365	0.762	0.2	0.389	0.2	0.205	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 14	0.779	0.924	0.466	0.2	0.537	0.2	0.2	0.2	0.669	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 16	2.301	6.012	2.279	0.811	3.266	0.726	0.2	0.539	0.778	0.2	0.518	0.2	0.263	0.2	0.208	0.2	0.2
PSL - 17	0.594	2.256	1.046	0.31	1.175	0.235	0.2	0.2	0.505	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 18	1.366	3.069	1.119	0.475	2.036	0.439	0.2	0.32	0.481	0.2	0.305	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 20	1.481	6.494	3.186	0.801	2.785	0.55	0.2	0.258	0.652	0.2	0.319	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 21	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1.472	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 22	0.297	0.22	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.72	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 23	0.2	0.266	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 24	0.2	0.618	0.354	0.2	0.227	0.2	0.2	0.2	0.384	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 25	0.2	1.431	0.655	0.2	0.488	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 26	1.822	2.192	0.833	0.296	1.274	0.306	0.2	0.307	0.323	0.2	0.345	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 28	4.393	17.184	7.205	2.396	9.796	1.772	0.343	1.151	1.355	0.2	0.99	0.2	0.475	0.2	0.395	0.2	0.2
PSL - 29	1.72	2.956	1.205	0.344	1.369	0.302	0.2	0.228	0.851	0.2	0.277	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 30	0.361	1.077	0.345	0.2	0.545	0.2	0.2	0.2	0.827	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 31	2.248	11.723	5.558	1.3	4.728	0.897	0.2	0.554	1.591	0.2	0.528	0.2	0.271	0.2	0.232	0.2	0.2
PSL - 32	2.508	13.11	6.311	1.448	5.827	0.99	0.2	0.503	0.942	0.2	0.561	0.2	0.276	0.2	0.237	0.2	0.2
PSL - 34	1.523	4.743	1.902	0.547	2.266	0.436	0.2	0.309	1.308	0.2	0.311	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 35	1.001	0.2	0.2	0.2	0.21	0.2	0.2	0.2	1.72	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 36	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1.275	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 37	1.114	2.199	0.636	0.34	1.467	0.334	0.2	0.2	1.382	0.2	0.235	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 38	1.564	0.349	0.631	0.242	1.043	0.233	0.2	0.215	0.782	0.2	0.255	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 40	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.732	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

Cód. Laboratório	Campo 2 – Período de estiagem																
	Y	Ce	La	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Sc	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf
PSL - 41	0.427	2.533	1.855	0.455	1.557	0.252	0.2	0.2	0.349	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 42	0.475	2.448	1.137	0.318	1.189	0.228	0.2	0.2	0.298	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 43	1.074	3.161	1.158	0.391	1.597	0.303	0.2	0.2	0.482	0.2	0.211	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 44	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	3.719	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 45	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	5.937	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 46	2.062	9.373	3.674	0.908	3.874	0.658	0.2	0.331	1.499	0.2	0.413	0.2	0.211	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 47	9.543	16.405	6.422	2.476	10.761	1.921	0.403	1.482	0.919	0.264	1.531	0.314	0.844	0.2	0.7	0.2	0.2
PSL - 48	0.352	0.233	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.92	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 49	1.185	3.001	1.122	0.385	1.807	0.421	0.2	0.306	0.731	0.2	0.268	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 51	0.2	0.2	0.2	0.2	1.274	0.2	0.2	0.2	4.349	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 52	2.581	4.314	1.313	0.478	0.2	0.471	0.2	0.436	1.362	0.2	0.394	0.2	0.203	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 53	6.906	9.769	7.442	1.963	9.796	1.622	0.303	1.16	1.641	0.2	1.092	0.2	0.543	0.2	0.436	0.2	0.2
PSL - 54	0.373	1.57	0.703	0.2	1.369	0.2	0.2	0.2	0.877	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 55	4.529	0.2	0.314	0.2	0.545	0.257	0.2	0.483	1.631	0.2	0.544	0.2	0.322	0.2	0.244	0.2	0.2
PSL - 56	0.636	0.426	0.247	0.2	4.728	0.2	0.2	0.2	1.184	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 57	1.716	0.2	0.2	0.2	5.827	0.2	0.2	0.2	1.683	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 58	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	3.79	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 59	1.083	6.62	1.812	0.587	2.266	0.546	0.2	0.354	0.99	0.2	0.228	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 60	0.2	0.2	0.2	0.2	0.21	0.2	0.2	0.2	1.845	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 61	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1.584	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 62	1.558	6.484	2.343	0.731	1.467	0.583	0.2	0.376	1.346	0.2	0.347	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 63	0.2	0.2	0.2	0.2	1.043	0.2	0.2	0.2	1.081	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 64	1.34	6.941	2.893	0.682	0.2	0.571	0.2	0.302	0.545	0.2	0.311	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 65	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.88	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 66	0.2	0.2	0.2	0.2	1.557	0.2	0.2	0.2	1.662	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 67	1.219	1.25	0.461	0.2	1.189	0.201	0.2	0.229	1.591	0.2	0.21	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 68	0.2	0.2	0.2	0.2	1.597	0.2	0.2	0.2	4.178	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 69	1.021	4.648	2.055	0.581	0.2	0.424	0.2	0.239	1.293	0.2	0.246	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 70	0.612	0.842	0.224	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1.221	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 71	0.265	0.2	0.2	0.2	3.874	0.2	0.2	0.2	1.351	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 72	3.459	8.946	3.416	1.116	10.761	0.978	0.2	0.7	0.998	0.2	0.72	0.2	0.376	0.2	0.318	0.2	0.2
PSL - 73	2.342	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1.201	0.2	0.255	0.2	0.218	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 74	9.958	21.831	7.805	3.096	1.807	3.276	0.648	2.451	2.043	0.389	2.23	0.414	1.082	0.2	0.918	0.2	0.2
PSL - 75	15.397	11.523	4.32	1.773	0.36	2.346	0.472	2.511	1.407	0.385	2.666	0.507	1.407	0.202	1.146	0.2	0.2
PSL - 76	0.46	2.314	1.176	0.259	1.274	0.2	0.2	0.2	1.062	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 77	2.358	5.921	5.722	1.185	0.2	0.727	0.2	0.35	1.274	0.2	0.461	0.2	0.232	0.2	0.2	0.2	0.2

Cód. Laboratório	Campo 2 – Período de estiagem																
	Y	Ce	La	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Sc	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf
PSL - 78	2.48	0.697	0.2	0.155	9.796	0.33	0.2	0.421	1.465	0.2	0.458	0.2	0.261	0.2	0.201	0.2	0.2
PSL - 79	0.2	0.2	0.2	0.2	1.369	0.2	0.2	0.2	1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 80	3.057	9.491	3.52	1.31	0.545	1.189	0.235	0.762	0.722	0.2	0.74	0.2	0.355	0.2	0.288	0.2	0.2
PSL - 81	0.2	0.2	0.2	0.2	4.728	0.2	0.2	0.2	4.921	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 82	0.2	0.2	0.2	0.2	5.827	0.2	0.2	0.2	7.145	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 84	2.697	4.115	1.93	0.72	2.266	0.732	0.2	0.602	0.688	0.2	0.575	0.2	0.293	0.2	0.233	0.2	0.2
PSL - 85	0.2	0.2	0.2	0.2	0.21	0.023	0.2	0.2	3.828	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 86	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1.409	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 87	0.2	0.2	0.2	0.2	1.467	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 88	2.976	19.006	7.907	2.23	1.043	1.563	0.289	0.709	1.221	0.2	0.81	0.2	0.371	0.2	0.322	0.2	0.2
PSL - 89	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 90	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 91	0.51	1.609	0.668	0.2	1.557	0.2	0.2	0.2	0.775	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 92	1.477	2.304	1.223	0.409	1.189	0.358	0.2	0.267	0.809	0.2	0.264	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 93	1.544	3.054	1.667	0.43	1.597	0.378	0.2	0.291	0.719	0.2	0.308	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 94	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	3.013	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 95	9.34	9.874	3.741	2.109	0.2	2.331	0.513	2.174	0.986	0.349	2.04	0.402	1.043	0.2	0.817	0.2	0.2
PSL - 96	0.374	0.243	0.2	0.2	3.874	0.2	0.2	0.2	1.507	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 97	0.2	0.621	0.318	0.2	10.761	0.2	0.2	0.2	1.233	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 98	0.584	2.364	1.328	0.312	0.2	0.219	0.2	0.2	0.623	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 100	0.2	0.2	0.2	0.2	0.36	0.2	0.2	0.2	3.18	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 101	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	4.73	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 102	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1.751	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 103	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	3.292	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 104	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	9.401	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 105	0.628	0.557	0.2	0.2	0.36	0.2	0.2	0.2	0.626	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 106	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	5.173	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
PSL - 107	24.752	147.701	60.377	17.09	1.807	11.603	2.017	6.556	3.606	0.949	5.379	0.887	2.215	0.297	1.675	0.24	0.2
PSL - 108	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.95	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

ANEXO 7

Balanço Iônico
(período seco e chuvoso)

BALANÇO IÔNICO – FEVEREIRO 2017

Amostra	Na meq/L	K meq/L	Ca meq/L	Mg meq/L	Cl meq/L	CO3 (meq/L	HCO meq/L	SO_4^{2-} meq/L	NO_3 meq/L	NO_2 meq/L	CE (µS/cm)	ΣCations	Σ Ânions	Ep1%	Ea1%	Teste	Ep2%	Ea2%	Teste	BI 1 ou 2
PSL-01	0,875	0,055	0,197	0,127	0,627	0	0,025	0,403	0,106		150,4	1,254	1,161	7,7	30	OK	3,85	10	OK	0
PSL-02	0,917	0,146	0,394	0,417	0,249	0	1,239	0,117	0,012		177,5	1,874	1,617	14,72	30	OK	7,36	10	OK	0
PSL-03	0,2	0,103	0,032	0,036	0,144	0	0,163	0,036	0,015		42,3	0,371	0,358	3,57	30	OK	1,78	15	OK	0
PSL-04	0,256	0,465	0,101	0,076	0,556	0	0,025	0,387	0,297		180,5	0,898	1,265	33,93	30	Não Atende BI-01	16,97	15	Não Atende BI-02	1
PSL-05	1,054	0,154	0,338	0,307	0,666	0	0,97	0,137	0,015		192,6	1,853	1,788	3,57	30	OK	1,79	10	OK	0
PSL-06	0,211	0,016	0,07	0,103	0,16	0	0,025	0,021	0,196		61,4	0,4	0,402	0,5	30	OK	0,25	15	OK	0
PSL-07	1,779	16,468	1,266	0,417	20,254	0	0,025	1,561	0,427		3,3	19,93	22,267	11,08	30	OK	5,54	3	Não Atende BI-02	1
PSL-08	0,213	0,05	0,061	0,099	0,175	0	0,154	0,078	0,03		53,3	0,423	0,437	3,26	30	OK	1,63	15	OK	0
PSL-09	0,637	0,152	1,15	0,987	0,344	0	2,225	0,066	0,011		262	2,926	2,646	10,05	10	Não Atende BI-01	5,03	6	OK	1
PSL-10	0,581	0,139	1,794	1,84	0,252	0	4,269	0,12	0,054		431	4,354	4,695	7,54	10	OK	3,77	6	OK	0
PSL-11	1,807	0,164	0,919	0,639	1,403	0	0,94	0,649	0,846		450	3,529	3,838	8,39	10	OK	4,19	6	OK	0
PSL-12	0,759	0,168	0,078	0,154	0,772	0	0,291	0,234	0,011		161,8	1,159	1,308	12,08	30	OK	6,04	10	OK	0
PSL-13	0,531	0,06	0,084	0,19	0,541	0	0,025	0,126	0,322		142,6	0,865	1,014	15,86	30	OK	7,93	15	OK	0
PSL-14	0,223	0,012	0,025	0,078	0,219	0	0,025	0,089	0,094		54,4	0,338	0,427	23,27	30	OK	11,63	15	OK	0
PSL-15	0,485	0,152	1,438	1,576	0,505	0	3,482	0,48	0,004		348	3,651	4,471	20,19	10	Não Atende BI-01	10,1	6	Não Atende BI-02	1
PSL-16	0,536	0,024	0,047	0,169	0,415	0	0,025	0,04	1,602		113	0,776	2,082	91,39	30	Não Atende BI-01	45,7	15	Não Atende BI-02	1
PSL-17	0,346	0,02	0,043	0,08	0,354	0	0,025	0,083	0,079		76,8	0,489	0,541	10,1	30	OK	5,05	15	OK	0
PSL-18	0,734	0,012	0,03	0,143	0,375	0	0,025	0,049	0,509		127,2	0,919	0,958	4,16	30	OK	2,08	15	OK	0
PSL-19	0,859	0,211	0,14	0,231	0,629	0	0,595	0,174	0,033		163,7	1,441	1,431	0,7	30	OK	0,35	10	OK	0
PSL-20	0,419	0,02	0,048	0,118	0,326	0	0,025	0,107	0,343		102,8	0,605	0,801	27,88	30	OK	13,94	15	OK	0
PSL-21	0,501	0,104	0,025	0,044	0,339	0	0,196	0,201	0,084		97,5	0,674	0,82	19,54	30	OK	9,77	15	OK	0
PSL-22	0,155	0,007	0,025	0,022	0,186	0	0,025	0,06	0,015		37,3	0,209	0,286	31,11	30	Não Atende BI-01	15,56	15	Não Atende BI-02	1
PSL-23	0,312	0,032	0,118	0,089	0,269	0	0,025	0,039	0,311		82	0,551	0,644	15,56	30	OK	7,78	15	OK	0
PSL-24	0,237	0,003	0,062	0,062	0,167	0	0,025	0,09	0,192		64	0,364	0,474	26,25	30	OK	13,13	15	OK	0
PSL-25	0,141	0,003	0,025	0,039	0,184	0	0,025	0,013	0,084		46,2	0,208	0,306	38,13	30	Não Atende BI-01	19,07	15	Não Atende BI-02	1
PSL-26	0,161	0,004	0,025	0,063	0,19	0	0,025	0,136	0,123		46,6	0,253	0,474	60,8	30	Não Atende BI-01	30,4	15	Não Atende BI-02	1

BALANÇO IÔNICO – FEVEREIRO 2017 (Continuação)

Amostra	Na meq/L	K meq/L	Ca meq/L	Mg meq/L	Cl meq/L	CO3 (meq/L	HCO meq/L	SO_4^{2-} meq/L	NO_3 meq/L	NO_2 meq/L	CE (µS/cm)	ΣCations	Σ Ânions	Ep1%	Ea1%	Teste	Ep2%	Ea2%	Teste	BI 1 ou 2
PSL-27	4,298	0,111	1,341	0,843	3,258	0	3,444	0,739	0		790	6,593	7,441	12,08	8	Não Atende BI-01	6,04	4	Não Atende BI-02	1
PSL-28	1,055	0,022	0,085	0,306	0,665	0	0,025	0,061	0,914		219	1,468	1,665	12,58	10	Não Atende BI-01	6,29	10	OK	1
PSL-29	0,51	0,008	0,033	0,152	0,391	0	0,025	0,031	0,46		125,9	0,703	0,907	25,34	30	OK	12,67	15	OK	0
PSL-30	0,916	0,024	0,379	0,192	1,174	0	0,156	0,219	0,374		233	1,511	1,923	24	10	Não Atende BI-01	12	10	Não Atende BI-02	1
PSL-31	1,214	0,043	0,14	0,316	1,034	0	0,025	0,031	1,227		310	1,713	2,317	29,98	10	Não Atende BI-01	14,99	10	Não Atende BI-02	1
PSL-32	1,258	0,059	0,125	0,328	1,093	0	0,025	0,067	1,358		337	1,77	2,543	35,85	10	Não Atende BI-01	0	0	0	1
PSL-33	1,497	0,201	1,872	0,343	1,384	0	1,306	0,82	1,108		487	3,913	4,618	16,5	10	Não Atende BI-01	8,26	6	Não Atende BI-02	1
PSL-34	1,138	0,051	0,221	0,185	1,262	0	0,321	0,324	0,421		259	1,595	2,328	37,4	10	Não Atende BI-01	18,68	10	Não Atende BI-02	1
PSL-35	0,495	0,03	0,115	0,162	0,438	0	0,153	0,126	0,176		108,9	0,802	0,893	10,7	30	OK	5,37	15	OK	0
PSL-36	5,181	0,071	0,455	0,196	2,58	0	2,938	0,75	0		665	5,903	6,268	6	8	OK	3	6	OK	0
PSL-37	0,867	0,051	0,089	0,409	0,626	0	0,025	0,106	0,746		193,2	1,416	1,503	6	30	OK	2,98	10	OK	0
PSL-38	0,55	0,025	0,225	0,165	0,322	0	0,407	0,077	0,369		108,5	0,965	1,175	19,6	30	OK	9,81	15	OK	0
PSL-39	1,421	0,137	1,069	1,094	1,111	0	2,638	0,114	0,001		394	3,721	3,864	3,8	10	OK	1,89	6	OK	0
PSL-40	0,405	0,026	0,063	0,105	0,381	0	0,025	0,109	0,015		76,6	0,599	0,53	12,2	30	OK	6,11	15	OK	0
PSL-41	1,24	0,042	0,331	0,388	0,575	0	1,195	0,149	0,324		212	2,001	2,243	11,4	10	Não Atende BI-01	5,7	6	OK	1
PSL-42	0,334	0,014	0,056	0,138	0,263	0	0,025	0,068	0,183		72,9	0,542	0,539	0,6	30	OK	0,28	15	OK	0
PSL-43	0,471	0,023	0,264	0,159	0,353	0	0,15	0,076	1,681		114	0,917	2,26	84,5	30	Não Atende BI-01	42,27	15	Não Atende BI-02	1
PSL-44	3,566	0,173	1,368	0,998	1,673	0	0	0,346	0,003		605	6,105	2,022	100,5	8	Não Atende BI-01	50,24	6	Não Atende BI-02	1
PSL-45	1,594	0,134	1,842	1,549	0,505	0	4,514	0,317	0,031		501	5,119	5,367	4,7	8	OK	2,37	6	OK	0
PSL-46	0,784	0,056	0,129	0,277	0,712	0	0,154	0,173	1,307		156,9	1,246	2,346	61,2	30	Não Atende BI-01	30,62	10	Não Atende BI-02	1
PSL-47	1,564	0,028	0,1	0,392	0,975	0	0,025	0,052	1,094		276	2,084	2,146	2,9	10	OK	1,47	6	OK	0
PSL-48	0,309	0,017	0,025	0,082	0,265	0	0,025	0,092	0,071		56,8	0,433	0,453	4,5	30	OK	2,26	15	OK	0
PSL-49	0,236	0,011	0,034	0,12	0,188	0	0,025	0,041	0,147		52,4	0,401	0,401	0	30	OK	0	15	OK	0
PSL-50	1,146	0,04	0,043	0,176	0,839	0	0,181	0,389	0,293		210	1,405	1,702	19,1	10	Não Atende BI-01	9,56	10	OK	1
PSL-51	4,169	0,17	2,874	1,586	3,995	0	3,768	0,968	0,015		887	8,799	8,746	0,6	8	OK	0,3	4	OK	0
PSL-52	0,899	0,023	0,357	0,191	0,675	0	0,151	0,522	0,214		190	1,47	1,562	6,1	30	OK	3,03	10	OK	0

BALANÇO IÔNICO – FEVEREIRO 2017 (Continuação)

Amostra	Na meq/L	K meq/L	Ca meq/L	Mg meq/L	Cl meq/L	CO3 (meq/L	HCO meq/L	SO_4^{2-} meq/L	NO_3 meq/L	NO_2 meq/L	CE (µS/cm)	ΣCations	Σ Ânions	Ep1%	Ea1%	Teste	Ep2%	Ea2%	Teste	BI 1 ou 2
PSL-53	1,051	0,034	0,13	0,25	0,547	0	0,213	0,106	0,777		205	1,465	1,643	11,5	10	Não Atende BI-01	5,73	10	OK	1
PSL-54	0,592	0,02	0,082	0,175	0,39	0	0,169	0	0,111		99,9	0,869	0,67	25,9	30	OK	12,93	15	OK	0
PSL-55	0,416	0,019	0,059	0,123	0,542	0	0,025	0,106	0,207		110,7	0,617	0,88	35,1	30	Não Atende BI-01	17,57	15	Não Atende BI-02	1
PSL-56	0,4	0,023	0,104	0,223	0,403	0	0,155	0,084	0,372		126,6	0,75	1,014	29,9	30	OK	14,97	15	OK	0
PSL-57	8,012	0,107	0,455	1,306	8,866	0	0,195	0,842	0,029		1387	9,88	9,932	0,5	8	OK	0,26	4	OK	0
PSL-58	6,127	0,277	1,499	1,466	5,255	0	3,496	0,526	0,164		972	9,369	9,441	0,8	8	OK	0,38	4	OK	0
PSL-59	1,545	0,132	0,666	0,42	1,226	0	0,187	0,424	0,951		355	2,763	2,788	0,9	10	OK	0,45	6	OK	0
PSL-60	11,693	0,112	1,035	0,572	8,723	0	3,255	0,915	0		1,5	13,412	12,893	3,9	30	OK	1,97	3	OK	0
PSL-61	0,632	0,055	0,382	0,395	0,447	0	1,071	0,203	0,015		170,6	1,464	1,736	17	30	OK	8,5	10	OK	0
PSL-62	0,677	0,015	0,057	0,252	0,476	0	0,025	0,184	0,325		141,7	1,001	1,01	0,9	30	OK	0,45	10	OK	0
PSL-63	0,322	0,019	0,079	0,088	0,292	0	0,025	0,121	0,003		64,2	0,508	0,441	14,1	30	OK	7,06	15	OK	0
PSL-64	0,698	0,019	0,066	0,302	0,391	0	0,025	0,046	0,602		150,6	1,085	1,064	2	30	OK	0,98	10	OK	0
PSL-65	1,623	0,041	0,354	0,406	1,822	0	0,646	0,271	0,109		341	2,424	2,848	16,1	10	Não Atende BI-01	8,04	6	Não Atende BI-02	1
PSL-66	5,472	0,183	4,502	2,741	8,203	0	3,28	1,701	0,006		1405	12,898	13,19	2,2	8	OK	1,12	3	OK	0
PSL-67	0,186	0,018	0,025	0,058	0,227	0	0,025	0,127	0,017		59,6	0,287	0,396	31,9	30	Não Atende BI-01	15,96	15	Não Atende BI-02	1
PSL-68	0,561	0,037	0,035	0,118	0,458	0	0,025	0,211	0,015		92	0,751	0,709	5,8	30	OK	2,88	15	OK	0
PSL-69	0,279	0,017	0,101	0,055	0,239	0	0,025	0,051	0,853		70,4	0,452	1,168	88,4	30	Não Atende BI-01	44,2	15	Não Atende BI-02	1
PSL-70	0,217	0,008	0,04	0,07	0,237	0	0,025	0,13	0,002		54	0,335	0,394	16,2	30	OK	8,09	15	OK	0
PSL-71	0,409	0,021	0,079	0,15	0,319	0	0,172	0,14	0,012		77,4	0,659	0,643	2,5	30	OK	1,23	15	OK	0
PSL-72	0,749	0,022	0,141	0,069	0,579	0	0,025	0,044	0,776		206	0,981	1,424	36,8	10	Não Atende BI-01	18,42	15	Não Atende BI-02	1
PSL-73	0,742	0,031	0,123	0,098	0,652	0	0,025	0,087	0,345		142,2	0,994	1,109	10,9	30	OK	5,47	15	OK	0
PSL-74	1,04	0,098	0,257	0,534	1,064	0	0,025	0,014	1,544		357	1,929	2,647	31,4	10	Não Atende BI-01	15,69	10	Não Atende BI-02	1
PSL-75	4,074	0,309	1,149	1,382	4,034	0	0,025	1,044	1,692		854	6,914	6,795	1,7	8	OK	0,87	4	OK	0
PSL-76	0,353	0,02	0,173	0,151	0,424	0	0,152	0,152	0,107		95,1	0,697	0,835	18	30	OK	9,01	15	OK	0

BALANÇO IÔNICO – FEVEREIRO 2017 (Continuação)

Amostra	Na meq/L	K meq/L	Ca meq/L	Mg meq/L	Cl meq/L	CO3 (meq/L	HCO meq/L	SO_4^{2-} meq/L	NO_3 meq/L	NO_2 meq/L	CE (µS/cm)	ΣCations	Σ Ânions	Ep1%	Ea1%	Teste	Ep2%	Ea2%	Teste	BI 1 ou 2
PSL-77	1,422	0,053	0,287	0,171	1,446	0	0,025	0,083	1,473		369	1,933	3,027	44,1	10	Não Atende BI-01	22,06	10	Não Atende BI-02	1
PSL-78	0,574	0,045	0,114	0,144	0,502	0	0,025	0,184	0,429		143,8	0,877	1,14	26,1	30	OK	13,04	15	OK	0
PSL-79	0,421	0,024	0,068	0,152	0,351	0	0,025	0,116	0,075		84,7	0,665	0,567	15,9	30	OK	7,95	15	OK	0
PSL-80	0,896	0,041	0,049	0,152	0,875	0	0,175	0,4	0,428		219	1,138	1,878	49,1	10	Não Atende BI-01	24,54	10	Não Atende BI-02	1
PSL-81	1,564	0,126	1,809	0,404	1,542	0	4,371	0,352	0,015		634	3,903	6,28	46,7	8	Não Atende BI-01	23,34	6	Não Atende BI-02	1
PSL-82	1,226	0,098	1,302	0,985	0,309	0	4,176	0,222	0,002		424	3,611	4,709	26,4	10	Não Atende BI-01	13,2	6	Não Atende BI-02	1
PSL-83	0,433	0,114	0,079	0,368	0,423	0	0,367	0,103	0,012		108,4	0,994	0,905	9,4	30	OK	4,69	15	OK	0
PSL-84	0,35	0,021	0,031	0,159	0,403	0	0,025	0,035	0,454		103,2	0,561	0,917	48,2	30	Não Atende BI-01	24,09	15	Não Atende BI-02	1
PSL-85	2,881	0,176	1,477	1,151	0,897	0	4,104	0,409	0,023		631	5,685	5,433	4,5	8	OK	2,27	6	OK	0
PSL-86	0,44	0,022	0,083	0,112	0,419	0	0,161	0,127	0,186		80,7	0,657	0,893	30,5	30	Não Atende BI-01	15,23	15	Não Atende BI-02	1
PSL-87	0,156	0,009	0,025	0,062	0,181	0	0,025	0,063	0,204		36,8	0,252	0,473	61	30	Não Atende BI-01	30,48	15	Não Atende BI-02	1
PSL-88	1,681	0,036	0,081	0,467	1,104	0	0,025	0,048	1,367		345	2,265	2,544	11,6	10	Não Atende BI-01	5,8	6	OK	1
PSL-89	0,36	0,022	0,045	0,112	0,335	0	0,025	0,136	0,008		72,4	0,539	0,504	6,7	30	OK	3,36	15	OK	0
PSL-90	0,333	0,02	0,059	0,096	0,256	0	0,025	0,074	0,095		59,5	0,508	0,45	12,1	30	OK	6,05	15	OK	0
PSL-91	0,253	0,011	0,073	0,168	0,212	0	0,025	0,078	0,572		82,4	0,505	0,887	54,9	30	Não Atende BI-01	27,44	15	Não Atende BI-02	1
PSL-92	0,426	0,011	0,123	0,139	0,388	0	0,025	0,146	0,033		83,7	0,699	0,592	16,6	30	OK	8,29	15	OK	0
PSL-93	0,472	0,019	0,114	0,142	0,327	0	0,025	0,051	0,841		92,4	0,747	1,244	49,9	30	Não Atende BI-01	24,96	15	Não Atende BI-02	1
PSL-94	7,978	0,174	3,262	1,636	9,326	0	3,388	0,692	0		1414	13,05	13,406	2,7	8	OK	1,35	3	OK	0
PSL-95	1,012	0,033	0,048	0,204	1,039	0	0,025	0,226	0,191		187,3	1,297	1,481	13,2	30	OK	6,62	10	OK	0
PSL-96	0,346	0,02	0,214	0,063	0,283	0	0,158	0,086	0,093		77,5	0,643	0,62	3,6	30	OK	1,82	15	OK	0
PSL-97	0,246	0,009	0,042	0,085	0,258	0	0,025	0,102	0,045		60,2	0,382	0,43	11,8	30	OK	5,91	15	OK	0
PSL-98	0,326	0,005	0,038	0,108	0,335	0	0,025	0,131	0,005		73,8	0,477	0,496	3,9	30	OK	1,95	15	OK	0
PSL-99	0,845	1,466	0,618	4,714	2,888	0	0,025	1,35	1,61		773	7,643	5,873	26,2	8	Não Atende BI-01	13,1	6	Não Atende BI-02	1
PSL-100	0,275	0,025	0,205	0,079	0,289	0	0,025	0,108	0,001		91,2	0,584	0,423	32	30	Não Atende BI-01	15,99	15	Não Atende BI-02	1
						BI - 1:	**7**				**BI - 2:**	**1**				**BI - 1 e 2:**	**31**		**Total**	**39**

Obs: Ep1% é o erro prático segundo Custódio e Llamas (1983); Ea1% erro admissível em função da condutividade; Ep2% é erro prático definido por Logan (1965) e Ea2% é o erro admissível em função do somatório de cátions ou aniôns.

BALANÇO IÔNICO – NOVEMBRO 2017

Amostra	Na meq/L	K meq/L	Ca meq/L	Mg meq/L	Cl meq/L	CO3 (meq/L	HCO meq/L	SO_4^{2-} meq/L	NO_3 meq/L	NO_2 meq/L	CE (µS/cm)	Σ Cátions	Σ Ânions	Ep1%	Ea1%	Teste	Ep2%	Ea2%	Teste	BI 1 ou 2
PSL-01	1,051	0,045	0,137	0,106	0,783	0	0	0,089	0,392	0,0002	169,5	1,339	1,2642	5,75	30	OK	2,87	10	OK	0
PSL-02	0,512	0,084	0,028	0,065	0,528	0	0	0,05	0,022	0,0002	86,6	0,689	0,6002	13,78	30	OK	6,89	15	OK	0
PSL-03	0,216	0,105	0,024	0,038	0,151	0	0,147	0,045	0,022	0,0002	42,8	0,383	0,3652	4,76	30	OK	2,38	15	OK	0
PSL-04	0,259	0,501	0,112	0,107	0,541	0	0	0,448	0,283	0,0002	189,6	0,979	1,2722	26,05	30	OK	13,02	15	OK	0
PSL-05	1,069	0,162	0,307	0,302	0,696	0	0,936	0,162	0,002	0,0002	195	1,84	1,7962	2,41	30	OK	1,2	10	OK	0
PSL-06	0,219	0,016	0,04	0,107	0,172	0	0	0,026	0,254	0,0002	62,5	0,382	0,4522	16,83	30	OK	8,42	15	OK	0
PSL-07	1,93	15,884	1,884	0,437	19,18	0	0	2,855	0,695	0,0002	3272	20,135	22,7302	12,11	4	Não Atende BI-01	6,05	3	Não Atende BI-02	1
PSL-08	0,269	0,091	0,189	0,162	0,194	0	0,304	0,124	0,016	0,0002	75,9	0,711	0,6382	10,79	30	OK	5,4	15	OK	0
PSL-09	0,584	0,158	1,013	1,044	0,342	0	2,228	0,072	0,011	0,0017	262	2,799	2,6547	5,29	10	OK	2,65	6	OK	0
PSL-10	0,43	0,135	2,137	2,212	0,24	0,45	3,689	0,101	0,067	0,0002	434	4,914	4,5472	7,75	10	OK	3,88	6	OK	0
PSL-11	2,055	0,185	0,927	0,633	1,421	0	0,849	0,699	0,87	0,0002	460	3,8	3,8392	1,03	10	OK	0,51	6	OK	0
PSL-12	0,892	0,166	0,096	0,184	0,726	0	0,218	0,228	0,026	0,0002	157,8	1,338	1,1982	11,02	30	OK	5,51	10	OK	0
PSL-13	0,67	0,066	0,101	0,261	0,589	0	0	0,14	0,275	0,0002	134,6	1,098	1,0042	8,92	30	OK	4,46	10	OK	0
PSL-14	0,223	0,008	0,011	0,091	0,193	0	0	0,086	0,024	0,0002	42,1	0,333	0,3032	9,37	30	OK	4,68	15	OK	0
PSL-16	0,62	0,029	0,035	0,17	0,48	0	0	0,036	0,369	0,0002	123,2	0,854	0,8852	3,59	30	OK	1,79	15	OK	0
PSL-17	0,341	0,021	0,045	0,104	0,287	0	0	0,078	0,081	0,0002	63,2	0,511	0,4462	13,54	30	OK	6,77	15	OK	0
PSL-18	0,834	0,019	0,022	0,154	0,401	0	0	0,045	0,542	0,0002	139,2	1,029	0,9882	4,05	30	OK	2,02	15	OK	0
PSL-20	0,766	0,036	0,264	0,259	0,412	0	0,264	0,082	0,46	0,0004	146,1	1,325	1,2184	8,38	30	OK	4,19	10	OK	0
PSL-21	0,637	0,108	0,019	0,061	0,339	0	0,142	0,205	0,125	0,0002	96,9	0,825	0,8112	1,69	30	OK	0,84	15	OK	0
PSL-22	0,289	0,032	0,06	0,093	0,228	0	0,107	0,093	0,015	0,0002	52,4	0,474	0,4432	6,72	30	OK	3,36	15	OK	0
PSL-23	0,171	0,025	0,091	0,064	0,169	0	0	0,05	0,067	0,0002	40,7	0,351	0,2862	20,34	30	OK	10,17	15	OK	0
PSL-24	0,195	0,014	0,135	0,167	0,138	0	0,131	0,129	0,063	0,0002	58,6	0,511	0,4612	10,24	30	OK	5,12	15	OK	0
PSL-25	0,686	0,005	0,013	0,063	0,557	0	0	0,014	0,17	0,0002	107,9	0,767	0,7412	3,42	30	OK	1,71	15	OK	0
PSL-26	0,237	0,008	0,022	0,093	0,194	0	0	0,047	0,083	0,0002	55,4	0,36	0,3242	10,46	30	OK	5,23	15	OK	0
PSL-28	1,36	0,04	0,141	0,376	0,777	0	0	0,058	1,06	0,0002	268	1,917	1,8952	1,14	10	OK	0,57	10	OK	0
PSL-29	0,745	0,023	0,077	0,24	0,395	0	0	0,058	0,497	0,0002	134,7	1,085	0,9502	13,25	30	OK	6,62	15	OK	0
PSL-30	1,198	0,03	0,685	0,27	1,208	0	0,214	0,308	0,274	0,0002	249	2,183	2,0042	8,54	10	OK	4,27	6	OK	0
PSL-31	1,678	0,07	0,211	0,419	1,02	0	0	0,033	1,185	0,0002	327	2,378	2,2382	6,06	10	OK	3,03	6	OK	0
PSL-32	1,336	0,041	0,081	0,415	0,708	0	0	0,02	1,12	0,0002	276	1,873	1,8482	1,33	10	OK	0,67	10	OK	0

BALANÇO IÔNICO – NOVEMBRO 2017 (Continuação)

Amostra	Na meq/L	K meq/L	Ca meq/L	Mg meq/L	Cl meq/L	CO3 (meq/L	HCO meq/L	SO_4^{2-} meq/L	NO_3 meq/L	NO_2 meq/L	CE (µS/cm)	Σ Cátions	Σ Ânions	Ep1%	Ea1%	Teste	Ep2%	Ea2%	Teste	BI 1 ou 2
PSL-34	0,899	0,044	0,092	0,225	0,675	0	0	0,192	0,439	0,0002	207	1,26	1,3062	3,6	10	OK	1,8	10	OK	0
PSL-35	0,585	0,036	0,14	0,187	0,451	0	0,148	0,141	0,162	0,0002	109,4	0,948	0,9022	4,95	30	OK	2,48	15	OK	0
PSL-36	5,769	0,076	0,429	0,223	2,296	#VALOR!	3,754	0,708	0,001	0,0002	765	6,497	#VALOR!	0	8	OK	0	0	0	0
PSL-37	0,979	0,058	0,104	0,447	0,608	0	0	0,104	0,726	0,0009	195,2	1,588	1,4389	9,9	30	OK	4,93	10	OK	0
PSL-38	0,611	0,025	0,2	0,173	0,339	0	0,346	0,057	0,198	0,0002	107,8	1,009	0,9402	7,1	30	OK	3,53	15	OK	0
PSL-40	0,474	0,031	0,062	0,114	0,376	0	0,087	0,111	0,021	0,0002	77,1	0,681	0,5952	13,4	30	OK	6,72	15	OK	0
PSL-41	0,838	0,031	0,194	0,308	0,431	0	0,562	0,073	0,255	0,0002	146,5	1,371	1,3212	3,7	30	OK	1,85	10	OK	0
PSL-42	0,5	0,018	0,018	0,16	0,272	0	0	0,043	0,33	0,0002	97,1	0,696	0,6452	7,6	30	OK	3,79	15	OK	0
PSL-43	0,589	0,031	0,272	0,2	0,385	0	0	0,086	0,42	0,0002	122,4	1,092	0,8912	20,3	30	OK	10,13	15	OK	0
PSL-44	3,666	0,179	1,407	1,048	1,622	0,383	3,686	0,362	0,014	0,0002	567	6,3	6,0672	3,8	8	OK	1,88	4	OK	0
PSL-45	1,779	0,146	1,952	1,672	0,514	0,47	3,904	0,308	0,013	0,0002	508	5,549	5,2092	6,3	8	OK	3,16	6	OK	0
PSL-46	0,885	0,062	0,139	0,303	0,681	0	0,142	0,115	0,33	0,0002	161,3	1,389	1,2682	9,1	30	OK	4,55	10	OK	0
PSL-47	1,731	0,031	0,092	0,406	0,985	0	0	0,05	1,081	0,0002	293	2,26	2,1162	6,6	10	OK	3,29	6	OK	0
PSL-48	0,324	0,022	0,025	0,094	0,249	0	0	0,087	0,088	0,0002	54	0,465	0,4242	9,2	30	OK	4,59	15	OK	0
PSL-49	0,278	0,014	0,036	0,138	0,194	0	0,054	0,042	0,155	0,0002	58,4	0,466	0,4452	4,6	30	OK	2,28	15	OK	0
PSL-51	3,966	0,18	2,606	1,678	3,508	0	3,743	0,921	0,001	0,0002	888	8,43	8,1732	3,1	8	OK	1,55	4	OK	0
PSL-52	0,88	0,026	0,245	0,189	0,601	0	0,171	0,27	0,202	0,0002	154,2	1,34	1,2442	7,4	30	OK	3,71	10	OK	0
PSL-53	2,719	0,087	0,34	0,366	1,548	0	0,281	0,142	1,204	0,0002	397	3,512	3,1752	10,1	10	Não Atende BI-01	5,04	6	OK	1
PSL-54	0,624	0,025	0,09	0,169	0,386	0	0,122	0,151	0,127	0,0002	100,8	0,908	0,7862	14,4	30	OK	7,19	15	OK	0
PSL-55	1,028	0,072	0,607	0,75	0,612	0	1,027	0,421	0,18	0,0002	255	2,457	2,2402	9,2	10	OK	4,62	6	OK	0
PSL-56	0,618	0,033	0,182	0,345	0,43	0	0,174	0,083	0,36	0,0002	127,9	1,178	1,0472	11,8	30	OK	5,88	10	OK	0
PSL-57	8,547	0,145	0,667	1,841	8,986	0	0,172	0,923	0,038	0,0002	1232	11,2	10,1192	10,1	8	Não Atende BI-01	5,07	3	Não Atende BI-02	1
PSL-58	6,629	0,326	1,908	1,757	5,528	0,593	3,45	0,528	0,11	0,0002	1110	10,62	10,2092	3,9	8	OK	1,97	3	OK	0
PSL-59	1,876	0,155	0,84	0,568	1,251	0	0,539	0,444	0,803	0,0002	380	3,439	3,0372	12,4	10	Não Atende BI-01	6,2	6	Não Atende BI-02	1
PSL-60	13,421	0,136	1,132	0,665	9,045	0,353	2,926	0,915	0,014	0,0002	1504	15,354	13,2532	14,7	8	Não Atende BI-01	7,34	3	Não Atende BI-02	1
PSL-61	0,414	0,024	0,105	0,137	0,334	0	0,163	0,11	0,009	0,0002	69,4	0,68	0,6162	9,8	30	OK	4,92	15	OK	0

BALANÇO IÔNICO – NOVEMBRO 2017 (Continuação)

Amostra	Na meq/L	K meq/L	Ca meq/L	Mg meq/L	Cl meq/L	CO3 (meq/L	HCO meq/L	SO_4^{2-} meq/L	NO_3 meq/L	NO_2 meq/L	CE (µS/cm)	ΣCátions	Σ Ânions	Ep1%	Ea1%	Teste	Ep2%	Ea2%	Teste	BI 1 ou 2
PSL-62	0,818	0,022	0,044	0,27	0,443	0	0	0,16	0,351	0,0002	155,2	1,154	0,9542	19	30	OK	9,48	15	OK	0
PSL-63	0,376	0,025	0,071	0,077	0,316	0	0,045	0,122	0,003	0,0002	64,4	0,549	0,4862	12,1	30	OK	6,07	15	OK	0
PSL-64	0,785	0,022	0,068	0,298	0,441	0	0	0,044	0,632	0,0002	164,2	1,173	1,1172	4,9	30	OK	2,44	10	OK	0
PSL-65	2,157	0,056	0,554	0,66	2,526	0	0,277	0,301	0,171	0,0002	400	3,427	3,2752	4,5	10	OK	2,26	6	OK	0
PSL-66	5,657	0,253	4,688	3,503	8,129	0	3,422	1,719	0	0,0002	1298	14,101	13,2702	6,1	8	OK	3,04	3	Não Atende BI-02	1
PSL-67	0,274	0,022	0,014	0,109	0,213	0	0	0,12	0,023	0,0002	56,3	0,419	0,3562	16,2	30	OK	8,1	15	OK	0
PSL-68	1,283	0,054	0,042	0,129	0,65	0	0,046	0,57	0,018	0,0002	191,9	1,508	1,2842	16	30	OK	8,02	10	OK	0
PSL-69	0,365	0,017	0,117	0,174	0,238	0	0	0,038	0,342	0,0002	83,5	0,673	0,6182	8,5	30	OK	4,24	15	OK	0
PSL-70	0,328	0,017	0,056	0,079	0,26	0	0	0,134	0,032	0,0002	57	0,48	0,4262	11,9	30	OK	5,94	15	OK	0
PSL-71	0,503	0,026	0,095	0,161	0,324	0	0,173	0,135	0,018	0,0002	79,8	0,785	0,6502	18,8	30	OK	9,39	15	OK	0
PSL-72	1,019	0,031	0,095	0,301	0,559	0	0	0,077	0,629	0,0002	177,7	1,446	1,2652	13,3	30	OK	6,67	10	OK	0
PSL-73	0,863	0,034	0,108	0,271	0,61	0	0	0,095	0,318	0,0002	140,5	1,276	1,0232	22	30	OK	11	10	Não Atende BI-02	1
PSL-74	1,506	0,139	0,346	0,672	0,997	0	0	0,01	1,454	0,0002	364	2,663	2,4612	7,9	10	OK	3,94	6	OK	0
PSL-75	2,247	0,129	0,52	0,639	1,608	0	0	0,455	0,875	0,0002	386	3,535	2,9382	18,4	10	Não Atende BI-01	9,22	6	Não Atende BI-02	1
PSL-76	0,565	0,032	0,167	0,188	0,403	0	0,107	0,09	0,216	0,0002	98,1	0,952	0,8162	15,4	30	OK	7,68	15	OK	0
PSL-77	2,032	0,073	0,246	0,486	1,056	0	0,637	0,164	0,659	0,0002	315	2,837	2,5162	12	10	Não Atende BI-01	5,99	6	OK	1
PSL-78	0,89	0,063	0,159	0,297	0,54	0	0	0,2	0,422	0,0002	152,3	1,409	1,1622	19,2	30	OK	9,6	10	OK	0
PSL-79	0,525	0,029	0,067	0,156	0,347	0	0,12	0,117	0,074	0,0002	81,5	0,777	0,6582	16,6	30	OK	8,28	15	OK	0
PSL-80	1,383	0,064	0,061	0,211	0,799	0	0,154	0,407	0,358	0,0002	223	1,719	1,7182	0	10	OK	0,02	10	OK	0
PSL-81	1,969	0,176	2,364	2,236	1,544	0,553	3,981	0,367	0,023	0,0002	642	6,745	6,4682	4,2	8	OK	2,09	4	OK	0
PSL-82	1,834	0,144	1,71	1,218	0,267	0,393	3,826	0,162	0,001	0,0002	431	4,906	4,6492	5,4	10	OK	2,69	6	OK	0
PSL-84	0,508	0,033	0,036	0,2	0,381	0	0	0,037	0,286	0,0002	100,5	0,777	0,7042	9,8	30	OK	4,91	15	OK	0
PSL-85	2,869	0,212	1,511	1,338	1,091	0	4,183	0,365	0,064	0,0002	582	5,93	5,7032	3,9	8	OK	1,95	6	OK	0
PSL-86	0,529	0,025	0,092	0,129	0,401	0	0,094	0,111	0,031	0,0002	81,8	0,775	0,6372	19,5	30	OK	9,76	15	OK	0

BALANÇO IÔNICO – NOVEMBRO 2017 (Continuação)

Amostra	Na meq/L	K meq/L	Ca meq/L	Mg meq/L	Cl meq/L	CO3 (meq/L	HCO meq/L	SO_4^{2-} meq/L	NO_3 meq/L	NO_2 meq/L	CE (µS/cm)	Σ Cátions	Σ Ânions	Ep1%	Ea1%	Teste	Ep2%	Ea2%	Teste	BI 1 ou 2
PSL-87	0,206	0,011	0,015	0,063	0,146	0	0	0,031	0,075	0,0002	37,8	0,295	0,2522	15,6	30	OK	7,82	15	OK	0
PSL-88	1,8	0,036	0,068	0,487	0,894	0	0	0,042	1,21	0,0002	313	2,391	2,1462	10,8	10	Não Atende BI-01	5,4	6	OK	1
PSL-89	0,458	0,031	0,047	0,122	0,319	0	0,089	0,129	0,013	0,0002	68,3	0,658	0,5502	17,8	30	OK	8,92	15	OK	0
PSL-90	0,374	0,018	0,03	0,077	0,252	0	0	0,069	0,099	0,0002	58,1	0,499	0,4202	17,1	30	OK	8,57	15	OK	0
PSL-91	0,31	0,011	0,07	0,185	0,184	0	0	0,031	0,299	0,0002	82,7	0,576	0,5142	11,3	30	OK	5,67	15	OK	0
PSL-92	0,534	0,017	0,133	0,147	0,427	0	0,069	0,154	0,042	0,0002	87,8	0,831	0,6922	18,2	30	OK	9,11	15	OK	0
PSL-93	0,821	0,028	0,175	0,217	0,398	0	0,039	0,026	0,605	0,0002	134	1,241	1,0682	15	30	OK	7,48	10	OK	0
PSL-94	7,862	0,203	3,492	1,815	8,521	0,43	2,88	0,667	0,001	0,0002	1412	13,372	12,4992	6,7	8	OK	3,37	3	Não Atende BI-02	1
PSL-95	1,363	0,039	0,042	0,217	0,937	0	0	0,231	0,23	0,0002	208	1,661	1,3982	17,2	10	Não Atende BI-01	8,59	10	OK	1
PSL-96	0,458	0,023	0,239	0,067	0,319	0	0,144	0,085	0,133	0,0002	85,1	0,787	0,6812	14,4	30	OK	7,21	15	OK	0
PSL-97	0,387	0,015	0,043	0,111	0,284	0	0	0,101	0,072	0,0002	62	0,556	0,4572	19,5	30	OK	9,75	15	OK	0
PSL-98	0,412	0,01	0,01	0,115	0,359	0	0	0,112	0,009	0,0002	73,6	0,547	0,4802	13	30	OK	6,5	15	OK	0
PSL-100	0,397	0,036	0,133	0,173	0,292	0	0,255	0,099	0,001	0,0002	75,1	0,739	0,6472	13,2	30	OK	6,62	15	OK	0
PSL-101	0,372	0,06	0,915	1,155	0,204	0	1,807	0,181	0,195	0,0009	241	2,502	2,3879	4,7	10	OK	2,33	6	OK	0
PSL-102	0,379	0,122	0,015	0,017	0,235	0	0,161	0,088	0,013	0,0002	60,4	0,533	0,4972	7	30	OK	3,48	15	OK	0
PSL-103	5,227	0,138	1,684	1,003	3,367	0	3,39	0,701	0,001	0,0002	828	8,052	7,4592	7,6	8	OK	3,82	4	OK	0
PSL-104	0,859	0,153	0,135	0,166	0,364	0	0,772	0,107	0,024	0,0002	133	1,313	1,2672	3,6	30	OK	1,78	10	OK	0
PSL-105	0,412	0,025	0,056	0,15	0,304	0	0	0,235	0,034	0,0002	82,2	0,643	0,5732	11,5	30	OK	5,74	15	OK	0
PSL-106	0,637	0,122	0,084	0,153	0,515	0	0,192	0,072	0,082	0,0002	107,2	0,996	0,8612	14,5	30	OK	7,26	15	OK	0
PSL-107	2,083	0,928	1,176	0,313	2,171	0	0	0,428	1,798	0,0002	601	4,5	4,3972	2,3	8	OK	1,16	6	OK	0
PSL-108	1,615	0,22	3,024	0,381	1,23	0	1,478	1,05	1,007	0,0002	543	5,24	4,7652	9,5	8	Não Atende BI-01	4,75	6	OK	1
						BI - 1:	**5**				**BI - 2:**	**3**				**BI - 1 e 2:**	**5**		**Total**	**13**

Obs: Ep1% é o erro prático segundo Custódio e Llamas (1983); Ea1% erro admissível em função da condutividade; Ep2% é erro prático definido por Logan (1965) e Ea2% é o erro admissível em função do somatório de cátions ou aniôns

ANEXO 8

Coliformes Fecais e Totais, Btex e Fenóis

COLIFORMES FECAIS E TOTAIS, BTEX E FENÓIS.

Cód. Lab.	BTEX (µg/L)	Fenóis (µg/L)	Coliforme Fecal em 100 mL	Coliforme Total em 100 mL	Aquífero Captado
PSL - 01	NC	NC	<1	<1	São Luís
PSL - 02	<0.3	<5	NC	NC	Itapecuru
PSL - 03	<0.3	<5	NC	NC	Mistura
PSL - 04	NC	NC	<1	<1	São Luís
PSL - 05	NC	NC	NC	NC	Mistura
PSL - 06	NC	NC	NC	NC	São Luís
PSL - 07	NC	NC	<1	<1	São Luís
PSL - 08	NC	NC	NC	NC	Mistura
PSL - 09	NC	NC	NC	NC	Mistura
PSL - 10	<0.3	<5	NC	NC	Itapecuru
PSL - 11	NC	NC	<1	<1	Itapecuru
PSL - 12	<0.3	<5	NC	NC	Mistura
PSL - 13	NC	NC	<1	2.00	São Luís
PSL - 14	NC	NC	<1	54.00	São Luís
PSL - 15	NC	NC	NC	NC	Itapecuru
PSL - 16	NC	NC	<1	<1	São Luís
PSL - 17	NC	NC	NC	NC	São Luís
PSL - 18	<0.3	<5	<1	<1	São Luís
PSL - 19	NC	NC	NC	NC	Mistura
PSL - 20	<0.3	<5	NC	NC	Mistura
PSL - 21	NC	NC	NC	NC	São Luís
PSL - 22	NC	NC	NC	NC	São Luís
PSL - 23	NC	NC	5.00	1978.00	Mistura
PSL - 24	NC	NC	NC	NC	São Luís
PSL - 25	NC	NC	NC	NC	São Luís
PSL - 26	<0.3	<5	NC	NC	São Luís
PSL - 27	NC	NC	NC	NC	Itapecuru
PSL - 28	<0.3	<5	<1	<1	São Luís
PSL - 29	<0.3	<5	<1	<1	São Luís
PSL - 30	<0.3	<5	<1	<1	Mistura
PSL - 31	NC	NC	<1	<1	São Luís
PSL - 32	NC	NC	<1	<1	São Luís
PSL - 33	NC	NC	NC	NC	Itapecuru
PSL - 34	<0.3	<5	<1	<1	São Luís
PSL - 35	NC	NC	NC	NC	São Luís
PSL - 36	<0.3	<5	<1	22.00	Itapecuru
PSL - 37	<0.3	<5	<1	<1	Mistura
PSL - 38	NC	NC	<1	<1	Mistura
PSL - 39	NC	NC	NC	NC	Itapecuru
PSL - 40	NC	NC	NC	NC	São Luís
PSL - 41	NC	NC	NC	NC	Mistura
PSL - 42	NC	NC	NC	NC	São Luís
PSL - 43	NC	NC	<1	<1	São Luís
PSL - 44	NC	NC	NC	NC	Mistura
PSL - 45	NC	NC	NC	NC	Itapecuru
PSL - 46	<0.3	<5	<1	<1	Mistura
PSL - 47	NC	NC	<1	<1	São Luís
PSL - 48	<0.3	<5	NC	NC	São Luís
PSL - 49	<0.3	<5	NC	NC	São Luís
PSL - 50	NC	NC	NC	NC	São Luís
PSL - 51	NC	NC	NC	NC	Itapecuru
PSL - 52	NC	NC	NC	NC	Mistura
PSL - 53	NC	NC	<1	<1	São Luís
PSL - 54	NC	NC	NC	NC	Itapecuru
PSL - 55	<0.3	<5	NC	NC	São Luís
PSL - 56	NC	NC	<1	<1	Mistura

Cód. Lab.	BTEX (µg/L)	Fenóis (µg/L)	Coliforme Fecal em 100 mL	Coliforme Total em 100 mL	Aquífero Captado
PSL - 57	NC	NC	NC	NC	Mistura
PSL - 58	<0.3	<5	NC	NC	Itapecuru
PSL - 59	NC	NC	<1	20.00	Mistura
PSL - 60	NC	NC	NC	NC	Itapecuru
PSL - 61	<0.3	<5	NC	NC	Mistura
PSL - 62	NC	NC	<1	<1	São Luís
PSL - 63	NC	NC	NC	NC	São Luís
PSL - 64	NC	NC	<1	28.00	São Luís
PSL - 65	NC	NC	NC	NC	Mistura
PSL - 66	NC	NC	NC	NC	Itapecuru
PSL - 67	NC	NC	NC	NC	São Luís
PSL - 68	<0.3	<5	NC	NC	São Luís
PSL - 69	<0.3	<5	<1	10.00	São Luís
PSL - 70	NC	NC	NC	NC	São Luís
PSL - 71	<0.3	<5	NC	NC	São Luís
PSL - 72	NC	NC	<1	<1	São Luís
PSL - 73	<0.3	<5	<1	24.00	São Luís
PSL - 74	NC	NC	<1	<1	São Luís
PSL - 75	NC	NC	<1	<1	São Luís
PSL - 76	<0.3	<5	NC	NC	São Luís
PSL - 77	NC	NC	<1	<1	São Luís
PSL - 78	<0.3	<5	<1	<1	São Luís
PSL - 79	NC	NC	<1	14.00	São Luís
PSL - 80	NC	NC	<1	<1	São Luís
PSL - 81	NC	NC	NC	NC	Itapecuru
PSL - 82	<0.3	<5	NC	NC	Itapecuru
PSL - 83	NC	NC	NC	NC	Mistura
PSL - 84	NC	NC	<1	<1	Mistura
PSL - 85	<0.3	<5	<1	<1	Itapecuru
PSL - 86	NC	NC	NC	NC	São Luís
PSL - 87	NC	NC	NC	NC	São Luís
PSL - 88	NC	NC	<1	6.00	São Luís
PSL - 89	NC	NC	NC	NC	São Luís
PSL - 90	NC	NC	NC	NC	São Luís
PSL - 91	NC	NC	<1	<1	São Luís
PSL - 92	NC	NC	NC	NC	São Luís
PSL - 93	NC	NC	<1	<1	São Luís
PSL - 94	NC	NC	NC	NC	Itapecuru
PSL - 95	NC	NC	NC	NC	São Luís
PSL - 96	<0.3	<5	NC	NC	São Luís
PSL - 97	NC	NC	NC	NC	São Luís
PSL - 98	NC	NC	NC	NC	São Luís
PSL - 99	NC	NC	NC	NC	Mistura
PSL - 100	NC	NC	NC	NC	Mistura
PSL - 101	NC	NC	NC	NC	Itapecuru
PSL - 102	NC	NC	NC	NC	São Luís
PSL - 103	NC	NC	NC	NC	Itapecuru
PSL - 104	NC	NC	NC	NC	Mistura
PSL - 105	<0.3	<5	NC	NC	São Luís
PSL - 106	NC	NC	NC	NC	São Luís
PSL - 107	NC	NC	<1	2.00	Mistura
PSL - 108	PL	<5	<1	<1	Mistura

ANEXO 9

Elementos Traço

ELEMENTOS-TRAÇO

		Elementos-traço (mg/L) - Campo 02 - Período de Estiagem																						
Cód. Lab.	**Aquífero**	**Al**	**B**	**Ba**	**Co**	**Cr**	**Cu**	**Li**	**Mo**	**Ni**	**Sr**	**Ti**	**V**	**Zn**	**As**	**Be**	**Cd**	**Pb**	**Sb**	**Se**	**Sn**	**Ag**	**Hg**	**Br**
PSL - 01	São Luís	0.683	0.012	0.022	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.024	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.040
PSL - 02	Itapecuru	0.031	0.012	0.064	0.000	0.001	0.002	0.001	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000	0.015	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030
PSL - 03	Mistura	0.014	0.020	0.050	0.000	0.001	0.000	0.003	0.000	0.000	0.009	0.000	0.001	0.004	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.020
PSL - 04	São Luís	0.119	0.152	0.049	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000	0.009	0.000	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.050
PSL - 05	Mistura	0.000	0.011	0.028	0.002	0.001	0.000	0.012	0.000	0.000	0.052	0.000	0.000	0.043	0.000	0.000	0.001	0.006	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.060
PSL - 06	São Luís	0.130	0.021	0.015	0.000	0.001	0.048	0.000	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.030	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030
PSL - 07	São Luís	10.419	0.319	0.051	0.001	0.000	0.004	0.001	0.000	0.005	0.052	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.001	0.009	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	1.300
PSL - 08	Mistura	0.043	0.022	0.035	0.003	0.000	0.004	0.004	0.000	0.007	0.024	0.000	0.001	0.010	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.030
PSL - 09	Mistura	0.025	0.022	0.040	0.001	0.000	0.004	0.007	0.000	0.000	0.037	0.000	0.000	0.012	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.030
PSL - 10	Itapecuru	0.020	0.024	0.089	0.000	0.000	0.007	0.005	0.000	0.000	0.056	0.000	0.001	0.007	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.060
PSL - 11	Itapecuru	0.141	0.029	0.030	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.077	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.100
PSL - 12	Mistura	0.039	0.048	0.072	0.001	0.001	0.005	0.001	0.000	0.000	0.026	0.000	0.000	0.012	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.070
PSL - 13	São Luís	0.134	0.039	0.024	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.020	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.060
PSL - 14	São Luís	0.055	0.047	0.010	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.023	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020
PSL - 15	Itapecuru	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
PSL - 16	São Luís	0.312	0.034	0.014	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.011	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.060
PSL - 17	São Luís	0.077	0.028	0.011	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.012	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030
PSL - 18	São Luís	0.133	0.036	0.013	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.011	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.140
PSL - 19	Mistura	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
PSL - 20	Mistura	0.198	0.032	0.027	0.000	0.001	0.002	0.002	0.000	0.000	0.043	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.040
PSL - 21	São Luís	0.024	0.037	0.024	0.000	0.003	0.003	0.004	0.000	0.001	0.007	0.000	0.000	0.009	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.050
PSL - 22	São Luís	0.047	0.038	0.016	0.000	0.001	0.002	0.004	0.000	0.000	0.012	0.000	0.000	0.012	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020
PSL - 23	Mistura	0.086	0.018	0.007	0.000	0.001	0.000	0.005	0.000	0.000	0.018	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.020
PSL - 24	São Luís	0.064	0.023	0.010	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010
PSL - 25	São Luís	0.229	0.014	0.011	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020
PSL - 26	São Luís	0.121	0.034	0.009	0.000	0.001	0.012	0.001	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.013	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020
PSL - 27	Itapecuru	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
PSL - 28	São Luís	0.710	0.036	0.014	0.000	0.001	0.101	0.001	0.000	0.001	0.028	0.000	0.000	0.089	0.000	0.000	0.000	0.026	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.050
PSL - 29	São Luís	0.176	0.024	0.018	0.001	0.001	0.006	0.001	0.000	0.000	0.013	0.000	0.000	0.018	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.070

		Elementos-traço (mg/L) - Campo 02 - Período de Estiagem																						
Cód. Lab.	**Aquífero**	**Al**	**B**	**Ba**	**Co**	**Cr**	**Cu**	**Li**	**Mo**	**Ni**	**Sr**	**Ti**	**V**	**Zn**	**As**	**Be**	**Cd**	**Pb**	**Sb**	**Se**	**Sn**	**Ag**	**Hg**	**Br**
PSL - 30	Mistura	0.062	0.019	0.033	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.064	0.000	0.000	0.023	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.100
PSL - 31	São Luís	0.727	0.037	0.022	0.000	0.001	0.003	0.001	0.000	0.000	0.039	0.000	0.000	0.021	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010
PSL - 32	São Luís	0.587	0.037	0.016	0.000	0.000	0.001	0.003	0.000	0.000	0.025	0.000	0.000	0.014	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010
PSL - 33	Itapecuru	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
PSL - 34	São Luís	0.193	0.030	0.016	0.000	0.001	0.003	0.001	0.000	0.000	0.016	0.000	0.000	0.027	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020
PSL - 35	São Luís	0.081	0.034	0.010	0.000	0.002	0.016	0.001	0.000	0.000	0.012	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010
PSL - 36	Itapecuru	0.020	0.122	0.072	0.000	0.000	0.000	0.006	0.001	0.000	0.127	0.000	0.000	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.190
PSL - 37	Mistura	0.187	0.029	0.071	0.005	0.000	0.007	0.003	0.000	0.004	0.030	0.000	0.000	0.038	0.000	0.000	0.000	0.021	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.060
PSL - 38	Mistura	0.041	0.033	0.015	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.011	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010
PSL - 39	Itapecuru	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
PSL - 40	São Luís	0.042	0.029	0.011	0.001	0.004	0.002	0.002	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030
PSL - 41	Mistura	0.162	0.060	0.019	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.023	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010
PSL - 42	São Luís	0.155	0.025	0.004	0.000	0.001	0.013	0.001	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.060	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.060
PSL - 43	São Luís	0.129	0.022	0.017	0.001	0.001	0.053	0.012	0.000	0.001	0.028	0.000	0.000	0.052	0.000	0.000	0.000	0.023	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.080
PSL - 44	Mistura	0.011	0.056	0.237	0.000	0.000	0.000	0.003	0.001	0.000	0.622	0.000	0.000	0.009	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.040
PSL - 45	Itapecuru	0.012	0.035	0.192	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.170	0.000	0.000	0.012	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.060
PSL - 46	Mistura	0.163	0.029	0.041	0.001	0.001	0.203	0.002	0.000	0.003	0.024	0.000	0.000	0.081	0.000	0.000	0.000	0.023	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.060
PSL - 47	São Luís	0.513	0.028	0.028	0.002	0.001	0.030	0.016	0.000	0.002	0.022	0.000	0.000	0.662	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010
PSL - 48	São Luís	0.063	0.028	0.010	0.000	0.002	0.001	0.002	0.001	0.000	0.005	0.000	0.000	0.016	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.010
PSL - 49	São Luís	0.122	0.024	0.007	0.000	0.001	0.003	0.000	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.024	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030
PSL - 50	São Luís	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
PSL - 51	Itapecuru	0.009	0.072	0.117	0.001	0.000	0.000	0.004	0.001	0.000	0.911	0.000	0.000	0.009	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.450
PSL - 52	Mistura	0.080	0.026	0.013	0.001	0.001	0.021	0.001	0.000	0.001	0.024	0.000	0.000	0.017	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.090
PSL - 53	São Luís	0.301	0.047	0.039	0.001	0.000	0.001	0.004	0.000	0.000	0.041	0.000	0.001	0.012	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.010
PSL - 54	Itapecuru	0.099	0.027	0.008	0.001	0.000	0.002	0.003	0.000	0.000	0.015	0.000	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.050
PSL - 55	São Luís	0.052	0.049	0.021	0.001	0.001	0.004	0.004	0.001	0.001	0.067	0.000	0.000	0.009	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.020
PSL - 56	Mistura	0.076	0.048	0.016	0.001	0.001	0.000	0.002	0.000	0.000	0.018	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020
PSL - 57	Mistura	0.025	0.107	0.040	0.001	0.001	0.001	0.002	0.000	0.000	0.102	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.800
PSL - 58	Itapecuru	0.012	0.155	0.323	0.001	0.000	0.003	0.032	0.001	0.000	0.530	0.000	0.001	0.018	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.600
PSL - 59	Mistura	0.062	0.040	0.048	0.001	0.000	0.002	0.004	0.000	0.001	0.064	0.000	0.003	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.050

		Elementos-traço (mg/L) - Campo 02 - Período de Estiagem																						
Cód. Lab.	**Aquífero**	**Al**	**B**	**Ba**	**Co**	**Cr**	**Cu**	**Li**	**Mo**	**Ni**	**Sr**	**Ti**	**V**	**Zn**	**As**	**Be**	**Cd**	**Pb**	**Sb**	**Se**	**Sn**	**Ag**	**Hg**	**Br**
PSL - 60	Itapecuru	0.011	0.106	0.116	0.000	0.000	0.082	0.010	0.001	0.000	0.600	0.000	0.000	0.021	0.000	0.000	0.000	0.019	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.990
PSL - 61	Mistura	0.046	0.031	0.016	0.001	0.001	0.002	0.011	0.000	0.000	0.011	0.000	0.000	0.012	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.010
PSL - 62	São Luís	0.631	0.056	0.009	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.030
PSL - 63	São Luís	0.031	0.025	0.016	0.002	0.001	0.000	0.002	0.001	0.001	0.006	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.030
PSL - 64	São Luís	0.446	0.033	0.011	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.020	0.000	0.000	0.015	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.070
PSL - 65	Mistura	0.040	0.095	0.036	0.001	0.000	0.003	0.002	0.000	0.000	0.044	0.000	0.000	0.031	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010
PSL - 66	Itapecuru	0.021	0.244	0.049	0.001	0.000	0.000	0.019	0.001	0.000	0.479	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.940
PSL - 67	São Luís	0.121	0.048	0.014	0.001	0.001	0.015	0.001	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020
PSL - 68	São Luís	0.029	0.063	0.019	0.001	0.001	0.000	0.014	0.000	0.001	0.007	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.080
PSL - 69	São Luís	0.158	0.024	0.016	0.000	0.001	0.012	0.000	0.000	0.000	0.028	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030
PSL - 70	São Luís	0.055	0.027	0.007	0.001	0.002	0.027	0.001	0.000	0.001	0.006	0.000	0.000	0.022	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.030
PSL - 71	São Luís	0.036	0.035	0.013	0.001	0.001	0.007	0.002	0.000	0.001	0.008	0.000	0.000	0.017	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.020
PSL - 72	São Luís	0.385	0.035	0.017	0.001	0.001	0.008	0.003	0.001	0.008	0.020	0.000	0.000	0.023	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.080
PSL - 73	São Luís	0.149	0.033	0.033	0.003	0.002	0.001	0.004	0.000	0.002	0.014	0.000	0.000	0.015	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.060
PSL - 74	São Luís	0.994	0.032	0.067	0.003	0.000	0.002	0.002	0.000	0.002	0.062	0.000	0.000	0.026	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030
PSL - 75	São Luís	0.467	0.043	0.036	0.003	0.001	0.002	0.003	0.000	0.002	0.059	0.000	0.000	0.014	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.110
PSL - 76	São Luís	0.151	0.022	0.006	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.014	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.050
PSL - 77	São Luís	0.276	0.080	0.036	0.001	0.001	0.009	0.004	0.001	0.000	0.051	0.000	0.000	0.012	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.050
PSL - 78	São Luís	0.089	0.036	0.031	0.005	0.001	0.007	0.010	0.000	0.004	0.017	0.000	0.000	0.015	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.060
PSL - 79	São Luís	0.029	0.030	0.010	0.001	0.002	0.004	0.002	0.001	0.000	0.007	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.040
PSL - 80	São Luís	0.165	0.036	0.020	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.012	0.000	0.000	0.020	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.070
PSL - 81	Itapecuru	0.016	0.036	0.211	0.000	0.000	0.004	0.005	0.001	0.000	0.194	0.000	0.000	0.015	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.190
PSL - 82	Itapecuru	0.001	0.032	0.289	0.001	0.000	0.006	0.011	0.001	0.000	0.236	0.000	0.000	0.025	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.030
PSL - 83	Mistura	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
PSL - 84	Mistura	0.179	0.026	0.017	0.001	0.000	0.040	0.002	0.000	0.001	0.011	0.000	0.000	0.016	0.000	0.000	0.000	0.009	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.060
PSL - 85	Itapecuru	0.011	0.058	0.199	0.001	0.000	0.001	0.006	0.001	0.000	0.646	0.000	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.080
PSL - 86	São Luís	0.036	0.030	0.011	0.002	0.003	0.002	0.003	0.000	0.002	0.008	0.000	0.000	0.022	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.040
PSL - 87	São Luís	0.043	0.019	0.007	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.005	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.030
PSL - 88	São Luís	0.723	0.027	0.018	0.000	0.001	0.003	0.011	0.000	0.000	0.025	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.080
PSL - 89	São Luís	0.033	0.036	0.013	0.001	0.002	0.000	0.002	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.020

		Elementos-traço (mg/L) - Campo 02 - Período de Estiagem																						
Cód. Lab.	**Aquífero**	**Al**	**B**	**Ba**	**Co**	**Cr**	**Cu**	**Li**	**Mo**	**Ni**	**Sr**	**Ti**	**V**	**Zn**	**As**	**Be**	**Cd**	**Pb**	**Sb**	**Se**	**Sn**	**Ag**	**Hg**	**Br**
PSL - 90	São Luís	0.056	0.030	0.005	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.020
PSL - 91	São Luís	0.126	0.025	0.006	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.012	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.040
PSL - 92	São Luís	0.065	0.037	0.009	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.011	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020
PSL - 93	São Luís	0.172	0.022	0.016	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.016	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.050
PSL - 94	Itapecuru	0.014	0.055	0.245	0.001	0.000	0.003	0.008	0.000	0.000	1.671	0.000	0.000	0.011	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	1.040
PSL - 95	São Luís	0.218	0.040	0.025	0.001	0.001	0.010	0.001	0.000	0.000	0.012	0.000	0.000	0.009	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030
PSL - 96	São Luís	0.030	0.022	0.014	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	0.021	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.010
PSL - 97	São Luís	0.055	0.041	0.013	0.000	0.001	0.033	0.003	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000	0.049	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.020
PSL - 98	São Luís	0.186	0.032	0.005	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.040
PSL - 99	Mistura	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
PSL - 100	Mistura	0.013	0.026	0.021	0.001	0.000	0.005	0.007	0.000	0.000	0.010	0.000	0.000	0.028	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.020
PSL - 101	Itapecuru	0.023	0.036	0.034	0.000	0.002	0.000	0.010	0.000	0.000	0.019	0.000	0.001	0.004	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.040
PSL - 102	São Luís	0.016	0.036	0.015	0.001	0.001	0.000	0.003	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010
PSL - 103	Itapecuru	0.014	0.082	0.143	0.000	0.000	0.001	0.005	0.000	0.000	0.590	0.000	0.000	0.012	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.420
PSL - 104	Mistura	0.018	0.024	0.050	0.000	0.001	0.000	0.043	0.001	0.000	0.020	0.000	0.001	0.017	0.000	0.000	0.001	0.008	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.040
PSL - 105	São Luís	0.069	0.023	0.017	0.003	0.001	0.045	0.003	0.000	0.003	0.009	0.000	0.000	0.023	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.060
PSL - 106	São Luís	0.015	0.019	0.021	0.001	0.002	0.001	0.008	0.000	0.001	0.018	0.000	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.040
PSL - 107	Mistura	1.829	0.064	0.093	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.106	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.220
PSL - 108	Mistura	0.022	0.030	0.012	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.215	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.015	0.000	0.000	0.000	0.090

ANEXO 10

Classes de água para fins de irrigação na Ilha de São Luís nos Períodos de Chuva (Fevereiro/2017) e de Estiagem (Novembro/2017)

Classes de água para fins de irrigação na Ilha de São Luís nos Períodos de Chuva (Fevereiro/2017) e de Estiagem (Novembro/2017)

Código do Laboratório	Período de Chuva		Período de Estiagem	
	Risco de Sódio	Risco de Salinidade	Risco de Sódio	Risco de Salinidade
PSL - 01	S1	C1	S1	C1
PSL - 02	S1	C1	S1	C0
PSL - 03	S1	C0	S1	C0
PSL - 04	S1	C1	S1	C1
PSL - 05	S1	C1	S1	C1
PSL - 06	S1	C0	S1	C0
PSL - 07	S1	C4	S1	C4
PSL - 08	S1	C0	S1	C0
PSL - 09	S1	C2	S1	C2
PSL - 10	S1	C2	S1	C2
PSL - 11	S1	C2	S1	C2
PSL - 12	S1	C1	S1	C1
PSL - 13	S1	C1	S1	C1
PSL - 14	S1	C0	S1	C0
PSL - 15	S1	C2	NC	NC
PSL - 16	S1	C1	S1	C1
PSL - 17	S1	C0	S1	C0
PSL - 18	S1	C1	S1	C1
PSL - 19	S1	C1	NC	NC
PSL - 20	S1	C1	S1	C1
PSL - 21	S1	C0	S1	C0
PSL - 22	S1	C0	S1	C0
PSL - 23	S1	C0	S1	C0
PSL - 24	S1	C0	S1	C0
PSL - 25	S1	C0	S1	C1
PSL - 26	S1	C0	S1	C0
PSL - 27	S1	C3	NC	NC
PSL - 28	S1	C1	S1	C2
PSL - 29	S1	C1	S1	C1
PSL - 30	S1	C1	S1	C1
PSL - 31	S1	C2	S1	C2
PSL - 32	S1	C2	S1	C2
PSL - 33	S1	C2	NC	NC
PSL - 34	S1	C2	S1	C1
PSL - 35	S1	C1	S1	C1
PSL - 36	S2	C2	S2	C3
PSL - 37	S1	C1	S1	C1
PSL - 38	S1	C1	S1	C1
PSL - 39	S1	C2	NC	NC
PSL - 40	S1	C0	S1	C0
PSL - 41	S1	C1	S1	C1
PSL - 42	S1	C0	S1	C0
PSL - 43	S1	C1	S1	C1

Código do Laboratório	Período de Chuva		Período de Estiagem	
	Risco de Sódio	Risco de Salinidade	Risco de Sódio	Risco de Salinidade
PSL - 44	S1	C2	S1	C2
PSL - 45	S1	C2	S1	C2
PSL - 46	S1	C1	S1	C1
PSL - 47	S1	C2	S1	C2
PSL - 48	S1	C0	S1	C0
PSL - 49	S1	C0	S1	C0
PSL - 50	S1	C1	NC	NC
PSL - 51	S1	C3	S1	C3
PSL - 52	S1	C1	S1	C1
PSL - 53	S1	C1	S1	C2
PSL - 54	S1	C0	S1	C1
PSL - 55	S1	C1	S1	C2
PSL - 56	S1	C1	S1	C1
PSL - 57	S2	C3	S2	C3
PSL - 58	S1	C3	S1	C3
PSL - 59	S1	C2	S1	C2
PSL - 60	S1	C0	S3	C3
PSL - 61	S1	C1	S1	C0
PSL - 62	S1	C1	S1	C1
PSL - 63	S1	C0	S1	C0
PSL - 64	S1	C1	S1	C1
PSL - 65	S1	C2	S1	C2
PSL - 66	S1	C3	S1	C3
PSL - 67	S1	C0	S1	C0
PSL - 68	S1	C0	S1	C1
PSL - 69	S1	C0	S1	C0
PSL - 70	S1	C0	S1	C0
PSL - 71	S1	C0	S1	C0
PSL - 72	S1	C1	S1	C1
PSL - 73	S1	C1	S1	C1
PSL - 74	S1	C2	S1	C2
PSL - 75	S1	C3	S1	C2
PSL - 76	S1	C0	S1	C0
PSL - 77	S1	C2	S1	C2
PSL - 78	S1	C1	S1	C1
PSL - 79	S1	C0	S1	C0
PSL - 80	S1	C1	S1	C1
PSL - 81	S1	C2	S1	C2
PSL - 82	S1	C2	S1	C2
PSL - 83	S1	C1	NC	NC

Código do Laboratório	Período de Chuva		Período de Estiagem	
	Risco de Sódio	Risco de Salinidade	Risco de Sódio	Risco de Salinidade
PSL - 84	S1	C1	S1	C1
PSL - 85	S1	C2	S1	C2
PSL - 86	S1	C0	S1	C0
PSL - 87	S1	C0	S1	C0
PSL - 88	S1	C2	S1	C2
PSL - 89	S1	C0	S1	C0
PSL - 90	S1	C0	S1	C0
PSL - 91	S1	C0	S1	C0
PSL - 92	S1	C0	S1	C0
PSL - 93	S1	C0	S1	C1
PSL - 94	S2	C3	S1	C3
PSL - 95	S1	C1	S1	C1
PSL - 96	S1	C0	S1	C0
PSL - 97	S1	C0	S1	C0
PSL - 98	S1	C0	S1	C0
PSL - 99	S1	C3	NC	NC
PSL - 100	S1	C0	S1	C0
PSL - 101	NC	NC	S1	C1
PSL - 102	NC	NC	S1	C0
PSL - 103	NC	NC	S1	C3
PSL - 104	NC	NC	S1	C1
PSL - 105	NC	NC	S1	C0
PSL - 106	NC	NC	S1	C1
PSL - 107	NC	NC	S1	C2
PSL - 108	NC	NC	S1	C2

ANEXO 11

Laudo de análise de materiais por Carbono 14 – AMS

Laboratório de Radiocarbono

Instituto de Física

Universidade Federal Fluminense

09 de dezembro de 2019

Laudo de análise de materiais por Carbono 14 – AMS

Segue o laudo da análise de Carbono 14 por Espectrometria de Massa com Aceleradores realizada em 15 amostras de água (1° lote) e mais 10 amostras de MANAUS (2° lote), enviadas ao Laboratório de Radiocarbono da UFF por Adriana Dantas Medeiros.

Descrição do tratamento físico e químico:

Inicialmente dividimos as 15 amostras em 2 lotes a fim de purificar o primeiro lote pelo método da adição direta de ácido fosfórico transferindo 60 mL de amostra em *glove bag* sob atmosfera de nitrogênio e deixando o *head- space* de 60 mL.

A eficiência de extração foi obtida, revelando teores muito baixos de carbono, mesmo para um longo período de extração:

19P01A01 → 45 min extraindo gás → 0,047 psia

19P01A02 → 45 min extraindo gás → 0,048 psia

19P01A03 → 25 min extraindo gás → 1,407 psia

19P01A04 → 1h extraindo gás → 0,096 psia

19P01A05 → 45 min extraindo gás → 0,028 psia

19P01A06 → 1h extraindo gás → 0,028 psia

19P01A07 → 1:30h extraindo gás → 0,700 psia

19P01A09 → 1:30h extraindo → 2.466 psia

(cada 2.67 psia corresponde a 1 mg de grafite a ser produzido)

Poucas amostras tiveram concentração de carbono mínima para permitir dar prosseguimento ao tratamento. Os resultados para essas amostras se encontram na tabela 1. Devido aos baixos valores de CO_2 obtidos neste lote, buscou-se então soluções e uma delas seria realizar a análise do teor de carbono inorgânico dissolvido (DIC), totalmente sem custo extra para o solicitante CPRM. Os resultados desta análise podem ser vistos na tabela 2.

De posse dos resultados resolveu-se adquirir garrafas maiores de 1 L, nas quais poderíamos utilizar 10x a quantidade inicial de amostra (60 mL) passando a 600 mL de amostra.

Buscamos realizar a obtenção de gás de 4 amostras que possuíam DIC intermediários: as amostras PSL 03, PSL 20, PSL 21 e PSL 39, além de um conjunto de amostras de controle a fim de verificar o teor de contaminação utilizando essas novas garrafas. A eficiência do processo foi:

PSL 03 → 1:45h de extração → 1.060 psia

PSL 39 → 2h → 1.098

PSL 20 → 4h → 1.034 psia

PSL 21 → 2h → 1.034 psia

Quando se mediu estas amostras no sistema acelerador notou-se uma possível entrada de contaminantes, então a amostra PSL 39 foi refeita.

PSL 39 → 2h → 0.822 psia

PSL 21 → 2h → 0.153

PSL 20 → 3h → 0.291

PSL 03 → 3h → 0.205

Resultados ainda duvidosos em relação ao valor do PMC aparentemente não condizentes com o real devido ao valor de PMC das amostras que continham um alto teor de DIC e forneceram valores de PMC baixos.

Buscou-se na literatura, uma metodologia que fosse capaz de permitir a análise de AMS em amostras de águas com baixo teor de carbono. Os reagentes necessários foram adquiridos. Foi utilizado então protocolo de precipitação do carbono dissolvido na água. Foi necessário realizar o novo protocolo em amostras de referência para avaliar o teor de contaminação desta metodologia e, então, aplicá-la às amostras desconhecidas.

Após definido o teor de contaminação, 2 amostras foram analisadas para testar o método, uma com uma grande quantidade de DIC, a qual já tinha sido medida utilizando a metodologia padrão do laboratório em garrafa de 120mL (PSL 10) e uma com a menor quantidade (PSL 74). Para o teste, foram utilizadas garrafas de 1L de volume. A amostra PSL 74 não apresentou precipitação. A amostra foi repetida em garrafa de 2L para que se aumentasse a quantidade de amostra. Desta forma, ocorreu a precipitação. Para as demais amostras, que continham uma quantidade maior de DIC: PSL 03, 20, 21, 39, foram utilizadas garrafas de 1L, as quais precipitaram.

Para o restante das amostras que continham baixo DIC foram utilizadas garrafas de 2L

A06, a10 a12 a01 a 11 a13 a 15

Sendo as amostras a01 e a06 não precipitaram. As amostras a15 e a13 precipitaram com muita dificuldade e o produto não foi um pó branco, continham cor e em forma de coloides. As amostras a10 a11 e a 13 não deram gás a partir do seu precipitado, das quais a a10 e a13 foram refeitas utilizando uma maior quantidade de precipitado e continuaram não dando quantidade suficiente de gás.

O resultado da PSL 74 nos mostra uma contaminação o que indica que o que precipitou foi carbono atmosférico e não carbono da amostra.

Para as amostras do segundo lote (Manaus) como não havia informação de DIC das amostras, foi utilizada diretamente a técnica de precipitação em garrafas de 2L, e todas precipitaram, dando uma quantidade de gás razoável.

Para cada uma das amostras sólidas, o carbono foi oxidado a dióxido de carbono através de hidrólise ácida. É feito vácuo no tubo com septo contendo a amostra e ácido fosfórico 85% é injetado através de agulha. As amostras foram purificadas em sistema de vácuo e transferidas para tubos de grafitização. A conversão do dióxido de carbono em grafite se dá em ampolas seladas a vácuo contendo hidreto de titânio, zinco e ferro, em mufla a 550°C, conforme descrito em Macario et al. 2017.

Descrição da análise no acelerador de partículas:

O grafite foi então levado ao sistema acelerador, com um único estágio de aceleração SSAMS de 250 kV da NEC, onde foram determinadas as razões dos isótopos do carbono. Os resultados foram normalizados por uma amostra padrão de ácido oxálico do National Bureau of Standards (SRM 4990c).

Resultados

Tabela 1. Resultados amostras utilizando garrafas de 120 mL

Numeração LAC	Amostra	Idade	Incerteza	pmC	Incerteza
-	PSL10	4656	35	56.010	0.240
190164	PSL36	18396	73	10.126	0.092
190166	PSL44	16857	67	12.264	0.102

Tabela 2. Valores de carbono inorgânico dissolvido (DIC)

AMOSTRA	DIC (mg/L)
PSL 02	0,8
PSL 03	2,6
PSL 10	48,6
PSL 20	3,7
PSL 21	2,1
PSL 23	1,4
PSL 36	42,4
PSL 39	8,0
PSL 44	43,3
PSL 50	1,6
PSL 65	0,3
PSL 67	1,0
PSL 70	0,4
PSL 74	0,2
PSL 93	0,9
19P01C01	11,0

Legenda	Concentração
VERDE	BOA
AMARELO	BAIXA/RUIM
VERMELHO	QUASE NULA

A amostra 19P01C01 é amostras de controle.

Tabela 3. Resultados amostras manipuladas em atmosfera de nitrogênio, utilizando garrafas de 1 L

Amostra	Idade	Incerteza	pmC	Incerteza
PSL03	181	34	97.774	0.412
PSL20	23	35	99.708	0.433

PSL21	25	40	99.688	0.497
PSL39	301	30	96.321	0.358

Tabela 4. Resultados amostras glove-bag, utilizando garrafas de 1 L, REFEITAS para avaliar a presença de contaminação.

Amostra	Idade	Incerteza	pmC	Incerteza
PSL03	2247	126	75,603	1,175
PSL10	3687	42	63,195	0,333
PSL20	382	40	95,353	0,472
PSL21	381	37	95,374	0,442
PSL39	240	45	97,051	0,538
PSL74	-164	44	102,069	0,557
PSL67	434	56	94,744	0,656
PSL93	665	40	92,058	0,460

Tabela 5. Resultados utilizando a garrafa de 2L.

Numeração LAC	Amostra	Idade	Incerteza	pmC	Incerteza
190572	PSL03	2247	126	75,603	1,175
190573	PSL10	3687	42	63,195	0,333
190574	PSL20	382	40	95,353	0,472
190575	PSL21	381	37	95,374	0,442
190576	PSL39	240	45	97,051	0,538
190577	PSL74	-164	44	102,069	0,557
190637	PSL67	434	56	94,744	0,656
190638	PSL93	665	40	92,058	0,460

As tabelas 1 - 4 contém os resultados dos testes que fizemos até chegarmos nos melhores e mais confiáveis resultados que se encontram nas tabelas 6 e 7, que seguem abaixo.

Tabela 6. Resultados finais 1° lote de amostras enviadas ao LAC-UFF.

Numeração LAC	Amostra	Idade	Incerteza	pmC	Incerteza
190164	PSL36	18396	73	10.126	0.092
190166	PSL44	16857	67	12.264	0.102
190572	PSL03	2247	126	75,603	1,175
190573	PSL10	3687	42	63,195	0,333
190574	PSL20	382	40	95,353	0,472
190575	PSL21	381	37	95,374	0,442
190576	PSL39	240	45	97,051	0,538
190577	PSL74	-164	44	102,069	0,557
190637	PSL67	434	56	94,744	0,656
190638	PSL93	665	40	92,058	0,460

Tabela 7. RESULTADO MANAUS AMS

Numeração LAC	Amostra	Idade	Incerteza	pmC	Incerteza
190639	CT-A-01	3848	42	61,936	0,3232
190640	CT-A-05	1437	43	83,616	0,451
190641	CT-A-19	5041	47	53,389	0,311
190642	CT-A-30	93	45	98,843	0,547
190643	CT-A-48	5013	49	53,576	0,325
190644	NP-A-06	1183	42	86,304	0,445
190645	NP-A-15	3889	50	61,623	0,383
190646	NP-A-23	570	48	93,148	0,553
190647	NP-A-24	7556	55	30,039	0,264
190648	NP-A-25	5851	55	48,272	0,328



Kita Macario

Coordenadora do LAC-UFF

Professora Associada IV do Departamento de Física

Referências

Macario KD, Alves EQ, Moreira VN, Oliveira FM, Chanca IS, Jou RM, Diaz M. Fractionation in the graphitization reaction for 14C-AMS analysis: The role of Zn× the role of TiH2. International Journal of Mass Spectrometry. 2017 Dec 1;423:39-45.

Stuiver M, Polach HA. Discussion reporting of 14 C data. Radiocarbon. 1977 Jan;19(3):355-63.

Laboratório de Radiocarbono

Instituto de Física

Universidade Federal Fluminense

05 de julho de 2019

Laudo parcial de análise de materiais por Carbono 14 – AMS

Segue o laudo parcial da análise de Carbono 14 por Espectrometria de Massa com Aceleradores realizada em 15 amostras de água subterrânea, enviada ao Laboratório de Radiocarbono da UFF em outubro de 2018 por Adriana Medeiros em nome de Idembergue Barroso Macedo de Moura da empresa CPRM.

Inicialmente as amostras foram preparadas a partir da metodologia já estabelecida para a datação por ^{14}C-AMS no Laboratório de Radiocarbono da UFF (Gao et al. 2014). No entanto, devido à pouca quantidade de carbono na maioria das amostras, a quantidade de gás CO_2 gerada para análise era inferior ao mínimo necessário. Somente 3 amostras possuíam a quantidade de gás suficiente para a análise.

Com a finalidade de tentar solucionar o problema para as amostras com teor de carbono próximo ao limite inferior de detecção, novas metodologias tiveram que ser testadas no período implicando em aumento do tempo estimado para as análises e, consequentemente, impactando na entrega de resultados finais no prazo definido inicialmente. A fim de saber o teor de carbono nas amostras de água realizamos, adicionalmente, uma análise da quantidade de carbono inorgânico dissolvido (DIC), resultados estes que podem ser observados na tabela a seguir.

Tabela 1: Resultados de DIC: onde a cor vermelha representa amostras muito baixo teor de carbono; azul representa amostras com baixo teor de carbono e verde representa teor de carbono acima do limite de detecção para a metodologia inicial adotada.

ID Amostra	DIC (mg/l)	ID Amostra	DIC (mg/l)
19P01A01 - PSL 02	0,8	19P01A09 - PSL 44	43,3
19P01A02 - PSL 03	2,6	19P01A10 - PSL 50	1,6
19P01A03 - PSL 10	48,6	19P01A11 - PSL 65	0,3
19P01A04 - PSL 20	3,7	19P01A12 - PSL 67	1,0
19P01A05 - PSL 21	2,1	19P01A13 - PSL 70	0,4
19P01A06 - PSL 23	1,4	19P01A14 - PSL 74	0,2
19P01A07 - PSL 36	42,4	19P01A15 - PSL 93	0,9
19P01A08 - PSL 39	8,0	DIC Standard	11,0

Cabe ressaltar que esta análise tem um custo associado que deverá ser incorporado aos projetos futuros com água subterrânea, porém excepcionalmente desta vez foi realizada sem custos adicionais para os contratantes. Além disso, os resultados não são imediatos, de modo que o tempo para esta análise, que deverá ser realizada previamente a partir de então, tem que ser considerado nos prazos de futuros projetos.

As amostras em vermelho na tabela (PSL 02, PSL 23, PSL 50, PSL 65, PSL 67, PSL 70, PSL 74 e PSL 93) apresentaram concentração de carbono muito baixa de modo que não foi possível realizar a extração de CO_2. Amostras em azul na tabela (PSL 03, PSL 20, PSL 21 e PSL 39) apresentaram concentrações baixas de carbono, porém foi testada uma nova metodologia, mudança de protocolo, na tentativa de obter gás suficiente dessas 4 amostras, utilizando 10 vezes a quantidade de amostra inicial, com garrafas de tamanho maior (1L) que foram adquiridas exclusivamente para tentar solucionar o problema dessas amostras (Figs.1a e 1b).



Figura 1: a) Amostra com pouco teor de carbono passando pela etapa de extração de CO_2 em garrafas com volume de 1L; b) Foto comparativa entre as quantidades de amostras nos dois casos.

As análises dos resultados desta nova metodologia ainda estão em andamento, portanto está sendo enviado esse laudo parcial.

As amostras em verde na tabela (PSL 10, PSL 36 e PSL 44) foram as 3 únicas que seguiram a metodologia inicial estabelecida no LAC-UFF resultando em quantidade de CO2 suficiente para a posterior conversão em grafite e determinação das idades via ^{14}C-AMS.

Descrição do tratamento químico:

Extração do dióxido de carbono - Inorgânicas - acidificação

Com o intuito de transformar o carbono presente na sua matriz em CO_2 é realizada a hidrólise do material, para isso , é realizado *headspace* em garrafas de vidro de forma que a garrafa fique com 50% de nitrogênio, em seguida é adicionado ácido fosfórico 85% é injetado no tubo e aquecida a 75°C.

Grafitização

Depois de convertidas em dióxido de carbono foram purificadas em sistema de vácuo e transferidas para tubos de grafitização. A conversão do dióxido de carbono em grafite se dá em ampolas seladas a vácuo contendo Hidreto de titânio, zinco e ferro, em mufla a 550º C, conforme descrito em Macario et al. 2017.

Descrição da análise no acelerador de partículas:

O grafite é então levado ao sistema acelerador do Instituto de Física da Universidade Federal Fluminense, um SSAMS de 250 kV da NEC, onde são analisadas as razões dos isótopos do carbono 14C, 13C e 12C. Os resultados são normalizados por uma amostra padrão de ácido oxálico do National Bureau of Standards (SRM 4990c). A análise forneceu os valores de idade de radiocarbono apresentados na tabela 2.

Tabela 2: resultados das idades convencionais de radiocarbono para as amostras com concentrações de carbono dentro do limite de detecção.

LACUFF ID	Amostra	Idade ^{14}C (anos AP)	Incerteza
190161	**19P01A03 - PSL 10**	4656	35
190164	**19P01A07 - PSL 36**	18396	73
190166	**19P01A09 - PSL 44**	16857	67

Kita Chaves Damasio Macario
SIAPE 1476522
Laboratório de Radiocarbono
Universidade Federal Fluminense

Kita Macario

Coordenadora do LAC-UFF

Professora Associada III do Departamento de Física

Referências

Gao P, Xui X, Zhou L, Pack MA, Griffin S, Santos GM, Southon JR, Liu K. Rapid sample preparation of dissolved inorganic carbon in natural waters using a headspace-extraction approach for radiocarbon analysis by accelerator mass spectrometry. Limnology and Oceanography:Methods. v. 12:172–188. 2014.

Macario KD, Alves EQ, Moreira VN, Oliveira FM, Chanca IS, Jou RM, Diaz M. Fractionation in the graphitization reaction for 14C-AMS analysis: The role of Zn× the role of TiH2. International Journal of Mass Spectrometry. v. 423:39-45. 2017.

ISBN
978-65-5664-226-0

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

ANA
AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

SECRETARIA DE
GEOLOGIA, MINERAÇÃO
E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE

PÁTRIA AMADA BRASIL
GOVERNO FEDERAL