



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO N°

**QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS RASAS
NA ILHA DE COTIJUBA - BELÉM/PA**

Dissertação apresentada por:

LEILA MARIA MIRANDA HANNA

Orientador: Prof. Dr. Paulo Pontes Araújo (CPRM)

**BELÉM
2017**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS**

LEILA MARIA MIRANDA HANNA

**QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS RASAS
NA ILHA DE COTIJUBA - BELÉM/PA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Strictu Sensu* em Recursos Hídricos do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará – UFPA, para obtenção parcial do grau de Mestre em Recursos Hídricos.

Área de concentração: Planejamento, Gestão e Manejo de Recursos Hídricos

Orientador: Prof. Dr. Paulo Pontes Araújo

BELÉM
2017

Dados Internacionais de Catalogação de Publicação (CIP)
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPa

Hanna, Leila Maria Miranda, 1960-
Qualidade das águas subterrâneas rasas na ilha de
Cotijuba - Belém/PA / Leila Maria Miranda Hanna. – 2017.

129 f. : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Paulo Pontes Araújo

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará,
Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em
Recursos Hídricos, Belém, 2017.

1. Água – Qualidade - Cotijuba, Ilha de (PA). 2.
Aquíferos - Cotijuba, Ilha de (PA). 3. Água potável - Cotijuba,
Ilha de (PA). I. Título.

CDD 22. ed. 628.161098115



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS

QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS RASAS
NA ILHA DE COTIJUBA - BELÉM/PA

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR:

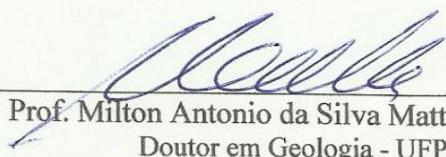
LEILA MARIA MIRANDA HANNA

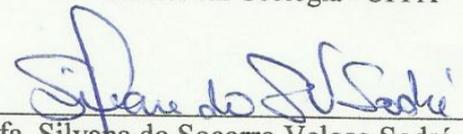
Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Recursos Hídricos na Área
de PLANEJAMENTO, GESTÃO E MANEJO DE RECURSOS HÍDRICOS

Data de Aprovação: 17 /02 /2017

Banca Examinadora:


Prof. Paulo Pontes Araújo – Orientador
Doutor em Ciências Agrárias – Hidrogeólogo - CPRM


Prof. Milton Antonio da Silva Matta – Membro
Doutor em Geologia - UFPA


Prof. Silvana do Socorro Veloso Sodré – Membro
Doutora em Geoquímica Ambiental - UFPA

Dedico este trabalho à minha família, aos meus amigos e a comunidade da ilha de Cotijuba.

AGRADECIMENTOS

A Deus, minha fortaleza.

Ao Prof. e orientador Paulo Pontes Araújo pela ajuda no desenvolvimento deste trabalho, dentro de um relacionamento ético profissional e amigo.

A Profa. Eliene Lopes de Souza pela grande amizade que temos e sua valiosa contribuição em várias etapas deste trabalho sempre disposta a me auxiliar, de maneira simples, gentil e profissional.

A coordenação do Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos, aos professores: Matos, Milton Matta, Joaquim e toda a equipe pela colaboração.

A Profa. Kelly por disponibilizar o laboratório de química para a realização de análises.

Aos professores: José Augusto e Edson Rocha, pelas cartas de recomendação.

A Lianne, Bianca e Elinaldo pelo auxílio nas análises de laboratório.

Aos Laboratórios de hidroquímica, química e engenharia química da UFPA.

Aos meus colegas Igor Silva, Elinete, Suzianny, João, Roseli e Maurício, pela grande ajuda nos programas computacionais para a confecção de tabelas e mapas.

A Iza, Marília, Elinaldo e Thiago, pelo imenso auxílio nos trabalhos de campo.

Aos ribeirinhos da Ilha de Cotijuba por me receberem de forma simples e acolhedora em suas residências para a realização das coletas das amostras; Em especial ao Flávio e Marcelo.

Ao prof. João Miranda e seu genitor Sr. Ribeiro por ter me concedido a hospedagem em sua residência na ilha de Cotijuba durante as viagens de campo.

Ao Prof. Geraldo e a Raissa por toda atenção dispensada a mim.

A EMBRAPA, em especial à Nilza pela colaboração.

Aos funcionários da biblioteca do IG: Lucia, Hélio e Angela pelo apoio nas consultas bibliográficas.

Aos meus amigos, Natalino, Dorsan, Mario, Vania, Igor e Michelly pelo apoio e grande incentivo na realização deste estudo.

A todos os amigos que conquistei durante o curso: Renata, Ádria, Daniele, Maurício, João, Ricardo, Franciano, Hevaldo, Gerson, Evandro e a Régia.

Meu agradecimento especial as minhas filhas Surama e Karina e aos meus netos Henrique e Miguel, pelo carinho e amor que dedicam em todos os momentos de minha vida.

A todos aqueles que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização deste trabalho.

“Nas grandes batalhas da vida,
o primeiro passo para a vitória é o desejo de
VENCER”

Mahatma Gandhi

RESUMO

A Ilha de Cotijuba, com aproximadamente 12000 habitantes e 60 Km², limita-se com a Baía do Marajó e o Furo do Mamão. Em grande parte da área ocupada na Ilha, o esgotamento sanitário é deficiente, com efluentes lançados no solo ou em fossas negras, com risco potencial de contaminação das águas subterrâneas, captadas através de poços rasos, para usos múltiplos, principalmente consumo doméstico. O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade da água do aquífero freático, destinada ao consumo humano; foram analisados temperatura, pH, condutividade elétrica, turbidez, cor aparente, alcalinidade total, NH₄⁺, N-NO₃⁻, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, PO₄³⁻, dureza total, Na⁺ K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺, além de coliformes totais (CT) e *Escherichia Coli*. As águas foram caracterizadas quanto aos íons predominantes e ao padrão de potabilidade (2.914/2011/MS). Foram coletadas águas de dezoito poços, com profundidades variando de 4 a 33 m, realizadas em abril, agosto e novembro de 2015, correspondendo aos períodos chuvoso, de transição e menos chuvoso, respectivamente. Foram medidos em campo pH, temperatura, condutividade elétrica e nível da água dos poços. As demais análises foram realizadas em laboratórios da Universidade Federal do Pará (UFPA). A cota topográfica foi medida para confecção do mapa de sentido preferencial de fluxo da água subterrânea rasa, constatando-se que a parte central da ilha, em direção ao sul, é constituída de zona de recarga da água subterrânea e a zona sudoeste (SW) área de descarga. As águas são cloretadas sódicas, ácidas e com baixa mineralização, sendo a mediana da Condutividade elétrica (CE), em torno de 47µS/cm e pH variando de 3,7 a 5,4; os maiores teores dos constituintes químicos ocorrem na zona SW e nordeste (NE) da Ilha. Foram obtidos fortes índices de correlação positivos entre sódio e cloreto, e entre amônio e pH. Alguns poços apresentaram parâmetros fora do padrão de potabilidade, com ampla variação, como a cor (1 a 341 uH), a turbidez (0,2 a 58,3 uT), o cloreto (1,06 a 255,24 mg/L Cl⁻), o ferro (0,01 a 10,66 mg/L Fe) e o amônio (0,01 a 9 mg/ L NH₄⁺); CT ocorrem em 67% das amostras do período de transição a 100% do chuvoso; a *E. coli* foi registrada em 20% das amostras do período chuvoso e em 29% do menos chuvoso. O nitrato foi inferior a 10 mg/L N-NO₃⁻, com máximo de 6,9 mg/L. Esses valores estão associados ao sistema de saneamento “*in situ*” e poços construídos sem técnicas adequadas.

Palavras-chave: Qualidade da água. Aquífero Barreiras. Potabilidade.

ABSTRACT

The Island Cotijuba, approximately 12000 inhabitants and 60 km², is bordered the Marajó Bay and Mamão hole. In much of the area occupied on the island, the sanitation is poor, with effluents in the soil or in cesspits, with the potential risk of contamination of groundwater, captured through shallow wells, for multiple uses, especially domestic consumption. The objective of this study was to evaluate the water quality of the water aquifer for human consumption; were analyzed temperature, pH, electrical conductivity, turbidity, apparent color, total alkalinity, NH₄⁺, N-NO₃⁻, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, PO₄³⁻, total hardness, Na⁺, K⁺, Ca²⁺ and Mg²⁺, and total coliforms and *Escherichia coli*. The waters were characterized as the predominant ions and potability standards (2914/2011 / MS). Eighteen water wells were collected, with depths ranging from 4 to 33 m, held in April, August and November 2015, corresponding to the rainy season, transition and less rainy, respectively. They were measured in pH field, temperature, electrical conductivity and water level of wells. The other analyzes were performed in the laboratory of the Universidade Federal do Pará (UFPA). The topographic elevation was measured for making the Preferential direction of shallow groundwater flow map, having noticed that the central part of the island, toward, is composed of ground water recharge zone and the zone southwest (SW) is discharge area. The water is chlorinated with sodium, acidic and low mineralization, with a median of electric conductivity (EC), about 47µS / cm and pH ranging from 3.7 to 5.4; the highest levels of chemical constituents occur in the SW and northeast (NE) Island. They were obtained strong positive correlation ratios between sodium and chloride, and from ammonium and pH. Some wells showed parameters outside the potability standard, with wide variation, as the color (1 to 341 uH), turbidity (0.2 to 58.3 uT), chloride (1.06 to 255.24 mg / L Cl), iron (0.01 to 10.66 mg / L Fe) and ammonium (0.01 to 9 mg / L NH₄⁺); total coliform occur in 67% of the transition period the samples to 100% of the rainy; *E. coli* was reported in 20% of samples of the rainy season and 29% of less rain. The nitrate was less than 10 mg / l NO₃⁻-N, maximum 6.9 mg / L. These values are associated with the sanitation system *in situ* and well built without proper techniques.

Key words: Water quality. Aquifer Barriers. Potability

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-	Mapa de localização da ilha Cotijuba- Belém.....	22
Figura 2-	Reservatório de abastecimento de água da vila de Cotijuba (A), e Praia Funda (B).....	32
Figura 3-	Reservatório de abastecimento de água do Poço.....	32
Figura 4-	Média das precipitações pluviométricas mensais (Pp) para a região de Belém no período de 1961 a 1990. As setas indicam os meses de coleta.....	34
Figura 5-	Balanço hídrico para a região de Belém, segundo Thornthwaite (1961 a 1990). Pp (Precipitação pluviométrica); ETP (Evapotranspiração potencial); ETR (Evapotranspiração real).....	35
Figura 6-	Perfis litológicos dos poços Poço, Pedra branca e Praia funda.....	38
Figura 7-	Carência de infraestrutura na ilha e ausência de sistema público de esgotamento sanitário.....	41
Figura 8-	Poço manual de abastecimento doméstico da Ilha de Cotijuba.....	41
Figura 9-	Desmatamento presente em várias áreas na ilha de Cotijuba.....	42
Figura 10-	Localização dos poços amostrados na Ilha de Cotijuba-Belém PA.....	44
Figura 11-	Coleta de amostras de água na área de trabalho: (A) químico; (B) bacteriológico.....	45
Figura 12-	Medição da condutividade elétrica (A) através de condutivímetro e nível estático (B).....	46
Figura 13-	Determinação de ferro total em laboratório.....	47
Figura 14-	Incubação das placas de Petri em estufa.....	48
Figura 15-	Distribuição dos valores de Temperatura nos períodos amostrados.....	54
Figura 16-	Variação sazonal da Temperatura das águas subterrâneas estudadas.....	54
Figura 17-	Distribuição dos valores de pH nos períodos amostrados.....	55
Figura 18-	Variação sazonal do pH das águas subterrâneas estudadas.....	56
Figura 19-	Iso-teores de pH na Ilha de Cotijuba no período chuvoso.....	57
Figura 20-	Iso-teores de pH na Ilha de Cotijuba no período de transição.....	58
Figura 21-	Iso-teores de pH na Ilha de Cotijuba no período menos chuvoso.....	59
Figura 22-	Distribuição dos valores de Condutividade Elétrica nos períodos amostrados.....	61

Figura 23	Variação sazonal da Condutividade Elétrica (CE) das águas subterrâneas estudadas.....	61
Figura 24-	Iso-teores de Condutividade Elétrica (CE), na ilha de Cotijuba, no período chuvoso.....	62
Figura 25-	Iso-teores de Condutividade Elétrica (CE) na ilha de Cotijuba, no período de transição.....	63
Figura 26-	Iso-teores de Condutividade Elétrica (CE) na ilha de Cotijuba, no período menos chuvoso.....	64
Figura 27-	Variação sazonal da Alcalinidade Total das águas subterrâneas estudadas.....	65
Figura 28-	Distribuição dos valores de amônio nos períodos amostrados.....	66
Figura 29-	Variação sazonal do íon amônio das águas subterrâneas estudadas.....	67
Figura 30-	Iso-teores de Amônio (NH_4^+) na ilha de Cotijuba, no período chuvoso.....	68
Figura 31-	Iso-teores de Amônio (NH_4^+) na ilha de Cotijuba no período de transição....	69
Figura 32-	Iso-teores de Amônio (NH_4^+) na ilha de Cotijuba no período menos chuvoso.....	70
Figura 33-	Distribuição dos valores de nitrato nos períodos amostrados.....	72
Figura 34-	Variação sazonal do nitrato das águas subterrâneas estudadas.....	72
Figura 35-	Variações do nitrato e amônio no período chuvoso.....	74
Figura 36-	Variações do nitrato e amônio na estiagem.....	74
Figura 37-	Variações do nitrato e amônio no período menos chuvoso.....	74
Figura 38-	Iso-teores de Nitrato (N-NO_3^-) na ilha de Cotijuba no período chuvoso.....	75
Figura 39-	Iso-teores de Nitrato (N-NO_3^-) na ilha de Cotijuba no período de transição.....	76
Figura 40-	Iso-teores de Nitrato (N-NO_3^-) na ilha de Cotijuba no período menos chuvoso.....	77
Figura 41-	Variação sazonal do sulfato das águas subterrâneas estudadas.....	78
Figura 42-	Variação sazonal do fosfato das águas subterrâneas estudadas.....	79
Figura 43-	Distribuição dos valores de cloreto nos períodos amostrados.....	80
Figura 44-	Variação sazonal do cloreto das águas subterrâneas estudadas.....	81
Figura 45-	Iso-teores de Cloreto (Cl^-) na ilha de Cotijuba, no período chuvoso.....	82
Figura 46-	Iso-teores de Cloreto (Cl^-) na ilha de Cotijuba, no período de transição.....	83
Figura 47-	Iso-teores de Cloreto (Cl^-) na ilha de Cotijuba, no período menos chuvoso...	84

Figura 48-	Variação sazonal do bicarbonato das águas subterrâneas estudadas.....	85
Figura 49-	Distribuição dos valores de turbidez nos períodos mostrados.....	86
Figura 50-	Variação sazonal turbidez das águas subterrâneas estudadas.....	87
Figura 51-	Distribuição dos valores de cor aparente nos períodos amostrados.....	88
Figura 52-	Variação sazonal da cor aparente das águas subterrâneas estudadas.....	88
Figura 53-	Distribuição dos valores de ferro total nos períodos amostrados estudadas...	89
Figura 54-	Variação sazonal do ferro total das águas subterrâneas estudadas.....	90
Figura 55-	Distribuição dos valores de sódio nos períodos amostrados.....	91
Figura 56-	Variação sazonal do sódio das águas subterrâneas estudadas.....	91
Figura 57-	Iso-teores de Sódio (Na ⁺) na ilha de Cotijuba no período chuvoso.....	92
Figura 58-	Iso-teores de Sódio (Na ⁺) na ilha de Cotijuba no período chuvoso.....	93
Figura 59-	Iso-teores de sódio (Na ⁺) na ilha de Cotijuba no período menos chuvoso.....	94
Figura 60-	Variação sazonal do potássio das águas subterrâneas estudadas.....	95
Figura 61-	Variação sazonal do cálcio das águas subterrâneas estudadas.....	96
Figura 62-	Variação sazonal do magnésio das águas subterrâneas estudadas.....	97
Figura 63-	Diagrama de Schoeller das águas subterrâneas da ilha de Cotijuba no período chuvoso.....	98
Figura 64-	Diagrama de Schoeller das águas subterrâneas da ilha de Cotijuba no período de transição.....	98
Figura 65-	Diagrama de Schoeller das águas subterrâneas da ilha de Cotijuba no período menos chuvoso.....	99
Figura 66-	Variação sazonal da dureza total das águas subterrâneas estudadas.....	100
Figura 67-	Variação sazonal dos sólidos totais dissolvidos das águas subterrâneas estudadas.....	101
Figura 68-	Diagramas de correlações do pH x íon amônio e HCO ₃ ⁻	103
Figura 69-	Diagramas de correlações do nitrato x CE e pH.....	103
Figura 70-	Diagrama de correlações de cloreto x CE e Na ⁺	104
Figura 71-	Diagrama de Piper dos poços amostrados no período de chuvoso.....	107
Figura 72-	Diagrama de Piper dos poços amostrados no período transição.....	108
Figura 73-	Diagrama de Piper dos poços amostrados no período menos chuvoso.....	109
Figura 74-	Variação sazonal do nível estático.....	111
Figura 75-	Sentido preferencial de fluxo da água subterrânea rasa da ilha de Cotijuba no período chuvoso.....	112

Figura 76-	Sentido preferencial de fluxo da água subterrânea rasa da ilha de Cotijuba no período de transição.....	113
Figura 77-	Sentido preferencial de fluxo da água subterrânea rasa da ilha de Cotijuba no período menos chuvoso.....	114

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria N° 2.914/2011/MS.....	30
Tabela 2-	Balanco Hídrico para região de Belém, a partir das médias mensais de precipitação e temperatura do período de 1961 a 1990.....	34
Tabela 3-	Relação entre os valores de cátions ou ânions e o erro admissível.....	48
Tabela 4-	Parâmetros químicos, físico-químicos das águas subterrâneas na área estudada, no período chuvoso (Abril).....	50
Tabela 5-	Estatística descritiva dos parâmetros físicos e físico-químicos das amostras analisadas na área estudada e valores de potabilidade - período chuvoso. n=18.....	51
Tabela 6-	Parâmetros químicos, físico-químicos das águas subterrâneas na área estudada, no período de transição (Agosto).....	51
Tabela 7-	Estatística descritiva dos parâmetros físicos e físico-químicos das amostras analisadas na área estudada e valores de potabilidade - período transição. n=18.....	52
Tabela 8-	Parâmetros químicos, físico-químicos das águas subterrâneas na área estudada, no período menos chuvoso (Novembro).....	52
Tabela 9-	Estatística descritiva dos parâmetros físicos e físico-químicos das amostras analisadas na área estudada e valores de potabilidade - período menos chuvoso. n=18.	53
Tabela 10-	Classificação da dureza total das águas.....	100
Tabela 11-	Matriz de correlação entre os principais parâmetros analisados no período chuvoso.....	104
Tabela 12-	Matriz de correlação entre os principais parâmetros analisados no período de transição.....	105
Tabela 13-	Matriz de correlação ($p < 0,05$) dos parâmetros analisados no período menos chuvoso.....	106
Tabela 14-	Tipos iônicos dominantes nos três períodos amostrados na Ilha de Cotijuba.	109
Tabela 15-	Dados físicos dos poços, utilizados para o cálculo da carga hidráulica da Ilha de Cotijuba.....	110
Tabela 16-	Dados das análises bacteriológicas das águas subterrâneas nos três períodos analisados.....	116

Tabela 17- Principais doenças associadas com via hídrica.....	117
---------------------------------------------------------------	-----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALT	- Alteração
AMICIA	- Associação de Moradores da Ilha de Cotijuba e Ilhas Adjacentes.
ANA	- Agência Nacional de Águas
ARM	- Armazenamento de água disponível
Ca ²⁺	- Cálcio
CAD	- Capacidade de Água Disponível
CaCO ₃	- Carbonato de cálcio
CE	- Condutividade Elétrica
CETESB	- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
Cl ⁻	- Cloreto
CONAMA	- Conselho Nacional do Meio Ambiente
COSANPA	- Companhia de Saneamento do Pará
CPRM	- Serviço Geológico do Brasil
DBI	- Diferença do Balanço Iônico
DEF	- Déficit hídrico
ETP	- Evapotranspiração potencial
ETR	- Evapotranspiração real
EXC	- Excedente hídrico
Fe	- Ferro
FUNASA	- Fundação Nacional de Saúde
GPS	- Global Positioning System
HCO ₃ ⁻	- Bicarbonato
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IG	- Instituto de Geociências
INMET	- Instituto Nacional de Meteorologia
K ⁺	- Potássio
mg/L	- Miligrama por litro
Mg ²⁺	- Magnésio
MS	- Ministério da Saúde
Na ⁺	- Sódio
NE	- Nível Estático

NH ₄ ⁺	- Amônio
NO ₃	- Nitrato
OMS	- Organização Mundial da Saúde
PA	- Pará
PCM	- Poço Cotijuba manual
PCT	- Poço Cotijuba tubular
pH	- Potencial Hidrogeniônico
PMB	- Prefeitura Municipal de Belém
PO ₄ ³⁻	- Fosfato
Pp	- Precipitação pluviométrica
RMB	- Região Metropolitana de Belém
SAAEB	- Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém
SEGEP	- Secretaria Municipal de Coordenação Geral do Planejamento e Gestão
SNIS	- Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SO ₄ ²⁻	- Sulfato
STD	- Sólidos totais dissolvidos
T	- Temperatura
UFPA	- Universidade Federal do Pará
uH	- Unidade de Hansen
uT	- Unidade de turbidez
VMP	- Valor Máximo Permitido
APHA	- American Public Health Association
μS/cm	- Micro siems por centímetro
UTM	- Universal Transversa de Mercator

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	20
2 ÁREA DE ESTUDO	22
3 OBJETIVOS	23
3.1 Geral	23
3.2 Específicos	23
4 REVISÃO DA LITERATURA	24
4.1 Saneamento básico	24
4.1.1 No Brasil: município de Belém.....	24
4.1.2 Na Ilha de Cotijuba.....	25
4.2 Qualidade das águas	26
4.3 Padrões de qualidade das águas para consumo humano	27
4.4 Indicadores Microbiológicos	28
4.5 Sistema de abastecimento público de água da ilha de Cotijuba	31
4.5.1 Unidade da Vila de Cotijuba.....	31
4.5.2 Unidade da Praia	31
4.5.3 Unidade do Poço.....	31
4.5.4 Unidade da Pedra Branca.....	32
5 ASPECTOS FISIOGRÁFICOS	33
5.1 Clima	33
5.1.2 Balanço hídrico.....	33
5.2 Hidrografia e relevo	35
5.3 Solo	35
6 GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA	36
6.1 Geologia regional	36
6.1.1 Unidades litoestratigráficas.....	36
6.1.1.1 Formação Pirabas.....	36
6.1.1.2 Grupo Barreiras.....	36
6.1.1.3 Sedimentos Pós-Barreiras.....	37
6.1.1.4 Sedimentos Recentes.....	37

6.2 Geologia local	37
6.3 Quadro hidrogeológico	39
6.3.1 Hidrogeologia Regional.....	39
7 ASPECTOS SÓCIOAMBIENTAIS E ECONÔMICOS	40
8 METODOLOGIA	43
8.1 Levantamento de campo.....	43
8.2 Cadastramento dos poços.....	43
8.3 Amostragem das águas.....	45
8.4 Medidas de campo.....	46
8.5 Procedimento de laboratório.....	46
8.5.1 Análise química das águas subterrâneas.....	46
8.5.1.1 Parâmetros e métodos de análise.....	46
8.5.2 Análise bacteriológica das águas subterrâneas.....	47
8.5.2.1 Parâmetros e métodos de análise.....	47
8.6 Processamento dos dados obtidos.....	48
8.6.1 Balanço iônico.....	48
8.6.2 Análise estatística.....	49
8.6.3 Caracterização das águas.....	49
9 RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
9.1 Qualidade das águas subterrâneas	50
9.1.1 Temperatura.....	53
9.1.2 pH.....	54
9.1.3 Condutividade elétrica.....	60
9.1.4 Alcalinidade total.....	65
9.1.5 Amônio.....	65
9.1.6 Nitrato.....	71
9.1.7 Sulfato.....	78
9.1.8 Fosfato.....	78
9.1.9 Cloreto.....	79
9.1.10 Bicabornato.....	85

9.1.11 Turbidez.....	85
9.1.12 Cor aparente.....	87
9.1.13 Ferro total.....	88
9.1.14 Sódio.....	90
9.1.15 Potássio.....	95
9.1.16 Cálcio.....	95
9.1.17 Magnésio.....	96
9.1.18 Variações nas concentrações dos constituintes maiores.....	97
9.1.19 Dureza total.....	99
9.1.20 Sólidos totais dissolvidos.....	100
9.2 Análise de correlação.....	101
9.3 Classificação das águas.....	106
9.4 Sentido preferencial de fluxo da água subterrânea rasa.....	110
9.5 Resultados bacteriológicos.....	115
10 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	118
REFERÊNCIAS.....	120
APÊNDICE.....	128
APÊNDICE A - Localização dos Pontos Amostrados na ilha de Cotijuba.....	129

1 INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas têm elevada representatividade mundial, constituindo um volume da ordem de 10,3 milhões Km³ de toda água doce disponível na Terra e, na maioria dos casos, não necessitam de tratamentos prévios para sua utilização, em virtude de sua estabilidade e qualidade microbiológica (REBOLÇAS, 2008; WHO, 2006). Entretanto, trata-se de um recurso finito e vulnerável que deve ser usado de forma criteriosa, de modo a não comprometer a sua disponibilidade e qualidade, para as gerações futuras.

Segundo Zoby (2008), a utilização de água subterrânea na Amazônia é relevante para diversas finalidades, seu uso aumentou devido à urbanização crescente, beneficiada por avanços tecnológicos, disponibilidade hídrica e produtividade de poços. De acordo com Cajazeiras (2007), a qualidade das águas subterrâneas tem grande importância quando utilizada para consumo humano, são fontes de diversos minerais necessários à saúde e bem estar, porém fatores antropogênicos estão alterando sua qualidade física, química e biológica.

Na Região Metropolitana de Belém (RMB) a situação do abastecimento de água é bastante crítica, tanto na área urbana continental como nas áreas insulares (UHLY; SOUZA, 2004). Conforme a Secretaria Municipal de Coordenação Geral do Planejamento e Gestão (SEGEP) (2011), a ilha de Cotijuba integra uma das 42 ilhas da área insular do município de Belém e, segundo Bello e Ruffner (2012) passa por um processo de crescimento urbano intenso. Em Cotijuba, a principal fonte de água para abastecimento da população continua sendo as águas subterrâneas provenientes de Aquífero freático.

Uma das causas do acentuado uso das águas subterrâneas rasas pelas comunidades rurais e urbanas, especialmente as mais pobres, seria o baixo custo de perfuração de poços para captação de água (SILVA; ARAUJO, 2003). Todavia, essa água é consumida sem tratamento e fiscalização de órgãos competentes, não havendo garantias de sua adequação para consumo humano.

Segundo Silva et al. (2014), uma das variáveis a ser considerada para compreender as causas da má qualidade das águas dos poços rasos é sua interação com fossas próximas, que podem contaminar o solo e as águas subterrâneas ao entorno, comprometendo a qualidade da água consumida e utilizada para o abastecimento humano.

Grande parte da área ocupada na Ilha de Cotijuba possui problemas relacionados ao esgotamento sanitário, sendo comum o lançamento de efluentes no solo ou em fossas negras, representando um risco potencial de contaminação das águas subterrâneas rasas por agentes químicos e patogênicos. A situação é particularmente crítica pelo fato dessas águas constituírem

a principal fonte de abastecimento na ilha, sendo captadas através de poços rasos, para usos múltiplos, principalmente consumo doméstico.

Esta pesquisa foi realizada na Ilha de Cotijuba/PA, onde ocorre um processo de urbanização desordenado, com saneamento básico precário, favorecendo a contaminação do aquífero freático que é a principal fonte de águas consumidas na região.

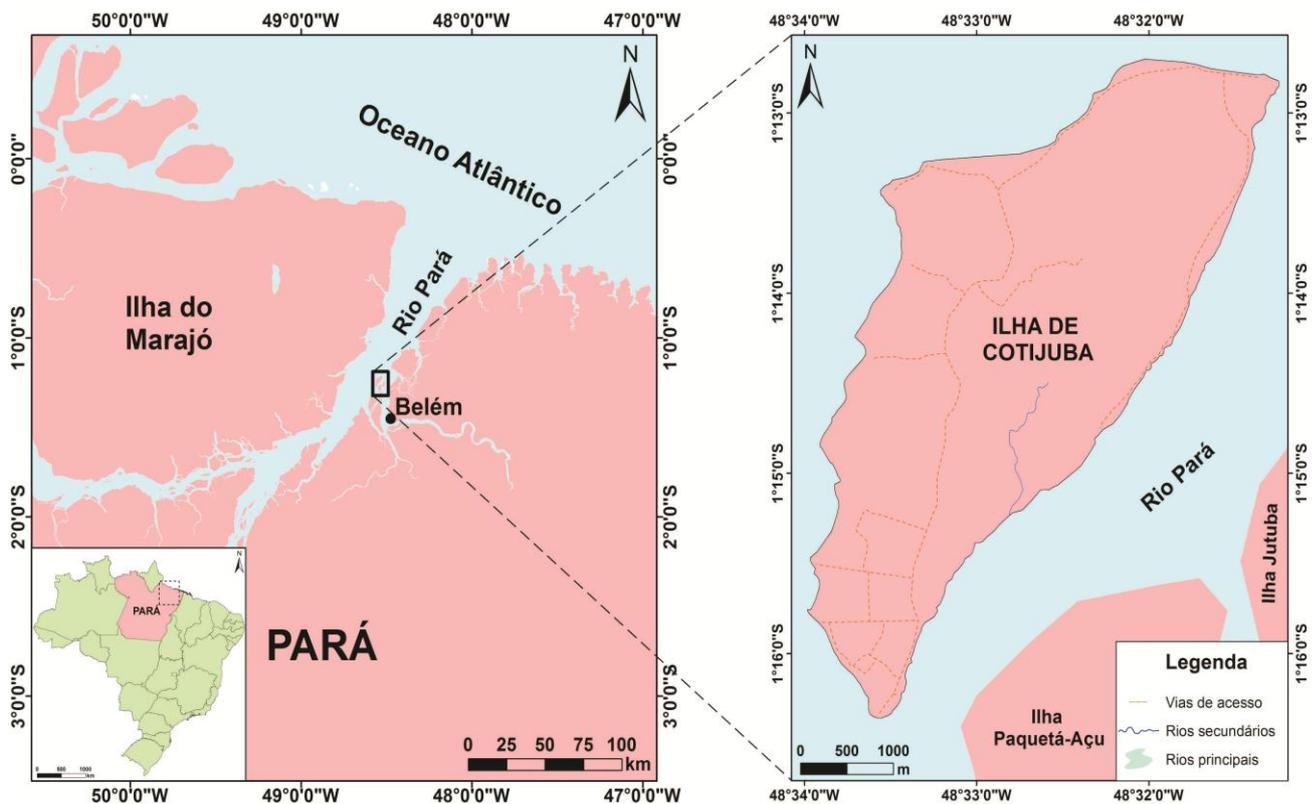
Neste trabalho foram estudados os efeitos das condições sanitárias locais sobre a qualidade das águas do aquífero freático, por meio de análises dos seguintes parâmetros: temperatura, potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), turbidez, cor aparente, alcalinidade total, amônio (NH_4^+), nitrato (N-NO_3^-), bicarbonato (HCO_3^-), cloreto (Cl^-), sulfato (SO_4^{2-}), fosfato (PO_4^{3-}), dureza total, sódio (Na^+), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) e os indicadores de contaminação os coliformes totais e *Escherichia Coli*. Essas análises permitiram avaliar as águas quanto ao padrão de potabilidade para consumo humano, tendo como referência a Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011).

2 ÁREA DE ESTUDO

A ilha de Cotijuba está localizada nas coordenadas $1^{\circ}14'51.44''\text{S}$ e $48^{\circ}32'47.14''\text{O}$ (Figura 1). Seu território abrange uma área de aproximadamente 60 km^2 de extensão e uma costa oeste de 15 Km de praias de água doce; limita-se ao norte pela baía de Marajó e ao Sul pelo furo do Mamão, estando a uma distância de 33 km do centro de Belém (MARTINS, 2003). O acesso é por meio de embarcações com duração média de 45 minutos de viagem, saindo do terminal hidroviário do Distrito de Icoaraci.

Segundo Ribeiro, Cardoso e Bezerra (2014) encontra-se sob a jurisdição do Distrito Administrativo de Outeiro (DAOUT) e sob a lei n^o 7.768/95, que restringe o uso de veículos automotivos. De acordo com a Associação de Moradores da ilha de Cotijuba e ilhas adjacentes (AMICIA), a ilha de Cotijuba apresenta, atualmente, uma população permanente em torno de 12000 habitantes, distribuídos em onze comunidades que, em sua maioria, são nomeadas pelas praias existentes na ilha: Praia da Saudade, Praia do Farol, Praia do Amor, Praia Funda, Praia do Vai Quem Quer, Praia do Poção, Faveira, Pedra Branca, Bosque, Prainha e Fazendinha.

Figura 1- Mapa de localização da ilha Cotijuba-Belém.



Fonte: Do autor

3 OBJETIVOS

3.1 Geral

Avaliar a qualidade das águas subterrâneas rasas (< 40m) destinadas ao consumo humano na Ilha de Cotijuba-Belém/PA.

3.2 Específicos

- Cadastrar e georeferenciar os poços para confecção de mapas;
- Determinar as características físico-químicas nas águas coletadas;
- Determinar os parâmetros bacteriológicos (Coliformes totais e *Escherichia coli*) nas águas coletadas;
- Aplicar a estatística para correlações e pesos entre os parâmetros analisados;
- Definir o sentido preferencial de fluxo das águas subterrâneas rasas, para identificar áreas de recarga e descarga da água subterrânea.

4 REVISÃO DA LITERATURA

4.1 Saneamento básico

Saneamento básico é um conjunto de procedimentos incluindo abastecimento e tratamento de água, destinação dos resíduos sólidos e tratamento de esgotos sanitários regularizados, esses procedimentos são destinados à determinada localidade com objetivo de proporcionar uma situação higiênica saudável para os habitantes (CASTRO, 2003).

4.1.1 No Brasil: município de Belém

Em virtude do crescimento acentuado da população mundial e a busca por água de qualidade, ocorre um agravamento no que tange a exploração de recursos hídricos (PALMIER, 2010). No Brasil, o uso das águas subterrâneas tem aumentado nos últimos anos, conforme a Agência Nacional de águas (ANA) (2013) estima-se uma disponibilidade hídrica subterrânea explorável da ordem de 11.430 m³/s tendo em vista que as águas superficiais, na maioria dos casos, não são suficientes para suprir a demanda para os múltiplos usos.

Segundo Tundisi e Matsumura-Tundisi (2011), alguns condicionantes que possibilitam a preservação dessas águas são investimentos no tratamento de esgotos e na disposição de resíduos sólidos. Estas ações em conjunto permitem em um menor espaço de tempo a recuperação dos cursos d'água. Os autores ressaltam que “a reutilização de águas tratadas para fins não potáveis pode ser um importante mecanismo no aproveitamento de recursos hídricos” (p. 159). Quando recuperadas as águas são destinadas para o uso doméstico de lavagem de veículos, descargas sanitárias, irrigação de campos, praças, combate a incêndios, construção, e outras (PROSAB, 2006).

Sobre a legislação, Souza, Freitas e Moraes (2007) afirmam que dentre as normas que regulamentam, destaca-se a do setor de saneamento “representadas pela Lei 11.445/2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, e pela Lei 9.433/1997 referente à Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH)”. Conforme o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) (2007), a legislação que ampare a garantia de saneamento é fundamental, pois até 2006 apenas 15% do esgoto sanitário gerado nas regiões urbanas dos municípios do Brasil era tratado.

Na Região Metropolitana de Belém (RMB), o sistema de esgotamento sanitário encontra-se defasado e a maioria da população (62,37%) utiliza saneamento “*in situ*” o que favorece a contaminação do lençol freático (BELÉM, 2014). Segundo o (IBGE, 2010), com

relação à proporção de domicílios particulares permanentes que possuem acesso à coleta de resíduos o município apresenta um índice de 96,72 % dos resíduos sólidos urbanos, porém, o destino final é um lixão. O abastecimento público de água é realizado pela Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA) e pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém (SAAEB), sendo que do total de 188.154 ligações, 93,63% é residencial, 5,03% comercial, 0,33% industrial e 1,01 % público (COSANPA, 2013).

4.1.2 Na ilha de Cotijuba

O serviço de saneamento básico tem grande importância e é primordial a uma comunidade por estar diretamente relacionado na prevenção e controle de diversas enfermidades garantindo, portanto, melhor qualidade de vida aos moradores (GUIMAÃES, CARVALHO E SILVA, 2007).

O saneamento que garanta a Salubridade Ambiental, é aquele que apresenta: sistema de abastecimento de água potável, coleta e disposição sanitária de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, promoção da disciplina sanitária de uso do solo, drenagem urbana, controle de doenças transmissíveis e demais serviços e obras especializadas (FUNASA, 2007, p. 14).

O serviço de saneamento básico na ilha de Cotijuba encontra-se desestruturado, não existe rede coletora de esgoto sanitário e os efluentes domésticos são lançados nos cursos d'águas, comprometendo o uso dos mesmos e afetando a qualidade de vida dos moradores (MELO, 2010). Ainda, de acordo com esse autor, a maioria da população não possui fossas biológicas e utiliza a “fossa negra”, que constitui numa das principais causas de contaminação das águas subterrâneas rasas.

Conforme Reis, Neves e Silva (2014), os serviços de abastecimento público de água na ilha estão concentrados, principalmente, na área comercial e no centro do núcleo urbano, com apenas um sistema de distribuição em cada uma dessas localidades. Essa situação mostra que a maioria da população não dispõe de rede de abastecimento público de água.

O restante da população é abastecido utilizando tecnologias alternativas individuais através das águas subterrâneas dos aquíferos livres, em poços tubulares ou manuais com profundidades, em sua maioria, inferiores a 20 m. Durante as visitas de campo observou-se que a maioria desses poços são construídos sem as recomendações técnicas adequadas, como revestimento, laje protetora, tampa, distância de fossa, etc. Desta forma, Lemos et al. (2009) apontam a necessidade de aplicação de cuidados e critérios técnicos na construção de poços, tendo em vista a alta vulnerabilidade desses Aquíferos. Os autores ressaltam, ainda, que essas

condições associadas às situações precárias de saneamento básico, resultam no comprometimento da qualidade das águas colocando em risco a saúde dos habitantes.

4.2 Qualidade das águas

A qualidade das águas é resultante de diversos fatores naturais e antropogênicos e, suas características físico-químicas provêm da grande capacidade que tem, de transportar e dissolver diversos elementos e compostos químicos com os quais entram em contato ao longo do ciclo hidrológico (TANCREDI, 1996).

De acordo com Ferreira e Pádua (2010) são vários os fatores que alteram a qualidade das águas, entre eles: (a) *Lançamentos diretos* - efluentes lançados indevidamente nos mananciais, gerando impurezas, como sólidos totais, matéria orgânica e uma grande variedade de substâncias químicas, como cloretos, nitrogênio orgânico, amônia, nitrito, nitrato, fósforo e metais pesados; (b) *Precipitação atmosférica* - as águas de chuva podem carrear os aerossóis atmosféricos, lixiviam a superfície do solo e arrastam impurezas, tais como frações do solo, resíduos orgânicos e inorgânicos, bactérias patogênicas, pesticidas, etc.; (c) *Infiltração no solo* – dependendo das características do solo e das rochas locais, as impurezas podem ser incorporadas às águas, através de dissoluções de substâncias ou do carreamento de matéria fecal, proveniente principalmente de fossas negras; (d) *Evaporação* – a evaporação excessiva é capaz de levar a concentração de substâncias dissolvidas e particuladas nos lagos, reservatórios e rios.

Neste sentido, Brasil (2006) afirma que a matéria orgânica, os organismos patogênicos, os compostos organossintéticos e os metais pesados, lançados no ambiente, através de águas residuárias, esgotos domésticos e efluentes agrícolas, são os principais contaminantes das águas. Portanto, é indispensável à caracterização dos principais constituintes das águas destinadas ao consumo humano, por detectar possíveis alterações na qualidade das águas e indicar o tratamento adequado quando se fizer necessário.

Conforme Santos (2008), a água subterrânea pode não ter uma boa qualidade, de modo que fatores externos e inerentes ao aquífero podem alterar sua qualidade, além de tornar a água imprópria para consumo humano, tóxica para animais e vegetais, devido a concentração de substâncias dissolvidas, tendo por fatores interferentes o clima, litologia, tempo de contato da água com o meio físico, composição da água de recarga e a contaminação proveniente da ação do homem.

Segundo a FUNASA (2007), a qualidade da água é primordial a proteção e a saúde pública, visto que várias enfermidades estão relacionadas aos corpos hídricos ocasionando, portanto, um risco potencial a saúde humana. Rainho (1999) ressalta que aproximadamente 1,4 bilhão de pessoas não tem acesso à água potável e a cada 8 segundos morre uma criança vítima de doença associada com a má qualidade da água, como disenteria e cólera. Ainda, de acordo com Rainho (1999), no Brasil, 72% das internações em hospitais são de pessoas vítimas de doenças relacionadas ao consumo de água contaminada.

Vários estudos têm sido realizados para se avaliar a influência antrópica, assim como as características geoquímicas das águas subterrâneas destinadas ao consumo humano. Na RMB, o estudo desenvolvido por Gaspar (2001) identificou a presença de bactérias do grupo coliformes e concentrações significativas dos componentes nitrogenados na água de alguns poços rasos na área da bacia do igarapé Mata Fome (Belém) e, associou esses resultados às condições sanitárias bastante precárias na área estudada. Matta (2002) e Cabral (2004) destacaram a influência antrópica sobre a qualidade das águas dos Aquíferos livres da RMB, devido à falta de saneamento e a alta vulnerabilidade desses Aquíferos. O trabalho desenvolvido por Mesquita (2012), na avaliação da qualidade das águas subterrâneas consumida pela população da ilha de Mosqueiro obteve valores em não conformidade com os padrões de potabilidade para consumo humano estabelecidos pela portaria 2.914/11 do MS.

4.3 Padrões de qualidade das águas para consumo humano

Os padrões de qualidade das águas são estabelecidos com base nos critérios de qualidade para determinado uso. Conforme Santos (2008), a água destinada para o consumo humano fundamenta-se nos padrões de potabilidade. Os valores limites (máximos ou mínimos) permitidos são recomendados para atender as seguintes características:

- **Biológicas e químicas** – são importantes para à proteção contra a contaminação por organismos patogênicos e contra a poluição por substâncias tóxicas.
- **Físicas e organolépticas** - são importantes para visar o controle de qualidade da água destinada ao consumo humano, porém não são essenciais à proteção da saúde humana.

Os padrões se configuram em seis grupos: (I) padrão organoléptico de potabilidade; (II) padrão de potabilidade para substâncias químicas que representem risco à saúde; (III) padrão de radioatividade da água para consumo humano; (IV) padrão de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção; (V) padrão de cianotoxinas da água para consumo humano e (VI) padrão microbiológico de potabilidade para consumo humano (BRASIL, 2011).

Os parâmetros químicos orgânicos e inorgânicos, agrotóxicos, cianotoxinas, desinfetantes e produtos secundários da desinfecção em contato com a água pode ser uma variante que provoque o aparecimento de doenças, se caracterizando como substâncias que pressintam risco à saúde pública. Também se considera no padrão de qualidade para água potável a radioatividade, que pode induzir ao aparecimento de câncer, quando em níveis superiores ao aceitável (SANTOS, 2008).

As regulamentações que estabelecem os padrões de potabilidade de água no Brasil são determinadas pela Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011), Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (BRASIL, 2008) e a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (BRASIL, 2005) e a nível internacional, a Organização Mundial da Saúde (OMS) e a United States Environmental Protection Agency (USEPA).

No âmbito desta pesquisa utilizou-se a portaria do MS (Tabela 1), que dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade; este padrão foi baseado nos modelos internacionais de potabilidade, sofrendo alterações, devido às especificidades locais.

As diretrizes estabelecidas pela OMS foram necessárias para aprimorar os procedimentos analíticos, pois a princípio a avaliação da qualidade de água para consumo humano era limitada somente as propriedades físicas e organolépticas requerendo com o passar do tempo um aperfeiçoamento das técnicas e parâmetros considerados. Com o tempo, as técnicas se aperfeiçoaram e as análises químicas, físico-químicas, biológicas e radiológicas da água permitiram uma padronização da potabilidade (SANTOS, 2008).

4.4 Indicadores Microbiológicos

De acordo com Cajazeiras (2007), na água é possível detectar microrganismos, como bactérias, vírus, protozoários e vermes que podem ser agentes causadores de enfermidades ao homem, podendo avaliar sua potabilidade e níveis de contaminação. A presença/ausência desses microrganismos interfere na avaliação da qualidade da água, pois possibilita constatar índices de contaminação por dejetos advindos da ação antrópica. Bactérias do grupo coliforme, principalmente a *E. coli* são considerados indicadores de contaminação microbiológica, além de serem eficazes para se avaliar os processos de tratamento de água.

Os critérios de identificação para os indicadores de contaminação das águas têm como um dos principais requisitos a presença em grande quantidade nas fezes humanas (de 1/3 a 1/5 do peso das fezes) indicando que poderão estar presentes outros microrganismos transmissores de doenças, ou seja, indica a presença de possíveis bactérias patogênicas (VON SPERLING, 2014). Brasil (2011) estabelece que para a água ser considerada potável e, portanto, apropriada para consumo humano, os coliformes devem estar ausentes em 100 mL.

Segundo Brasil (2000), coliformes totais são definidos como bacilos gram-negativos, aeróbicos ou anaeróbicos facultativos, que são capazes de crescer na presença de sais biliares. Em sua maioria pertencem aos gêneros: *Escherichia*, *Citrobacter*, *klebsiella* e *Enterobacter*. Conforme a FUNASA (2004) fermentam lactose com produção de ácido, gás e aldeído numa temperatura entre 35 a 37°C, em um período de 24 a 48 horas e são oxidase negativo.

A *E. Coli* é de origem estritamente fecal, que está presente exclusivamente em dejetos de seres humanos e de alguns animais, portanto dificilmente é encontrada em águas que não sofreram contaminação fecal. Este é um subgrupo das bactérias coliformes que fermentam lactose em torno de 44,5 °C em 24 horas. Essa bactéria é de grande importância ambiental, pois, indica contaminação recente e provável presença de patógenos nos cursos d'água (CETESB, 2009).

Tabela 1 - Padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria nº 2.914/2011 MS.

PARÂMETROS	UNIDADE	PORTARIA Nº2.914
Físicos e Organolépticos		Valor Máximo Permitido (VMP)
Cor Aparente	uH	15
Temperatura	°C	-
Turbidez	uT	5
Gosto e odor	Intensidade*	6
pH	-	6-9,5**
Químicos Inorgânicos		
Arsênio	mg/L As	0,01
Bário	mg/L Ba	0,7
Cádmio	mg/L Cd	0,005
Chumbo	mg/L Pb	0,01
Cianetos	mg/L Cn	0,07
Cromo	mg/L Cr	0,05
Fluoretos	mg/L F	1,5
Mercúrio	mg/L Hg	0,001
Nitratos	mg/L N	10
Nitrito	mg/L N	1
Afetam a qualidade Organoléptica		
Alumínio	mg/L Al	0,2
Amônia	mg/L NH ₃	1,5
Surfactantes	mg/L LAS	0,5
Cloretos	mg/L Cl	250
Cobre	mg/L Cu	2
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	500
Ferro total	mg/L Fe	0,3
Manganês	mg/L Mn	0,1
Magnésio	mg/L Mg	-
Sódio	mg/L Na	200
STD	mg/L	1000
Sulfatos	mg/L SO ₄ ²⁻	250
Sulfeto de Hidrogênio	mg/L S	0,1
Microbiológicos		
Coliformes Fecais	Nº/100 mL	0
Coliformes Totais	Nº/100 mL	0

VMP: valor máximo permitido; uH: Unidade Hazen (mgPt-Co/L); *: Intensidade máxima de percepção para qualquer característica de gosto e odor com exceção de cloro livre nessa caso por ser uma característica desejável em água tratável; uT: Unidade de turbidez. **: intervalo estabelecido.

Fonte: Modificado de (BRASIL, 2011).

4.5 Sistema de abastecimento público de água da ilha de Cotijuba

Segundo Belém (2007), o abastecimento público de água da ilha de Cotijuba é realizado pelo SAAEB, que capta água subterrânea em poços tubulares que variam de 20 a 33 m de profundidade e distribui aos moradores através das seguintes unidades: Vila de Cojuba, Praia Funda, Poção e na unidade da Pedra Branca. Desses quatro sistemas distribuidores, somente o da Unidade da Vila de Cotijuba encontra-se em funcionamento.

4.5.1 Unidade da Vila de Cotijuba

O sistema situado na Vila de Cotijuba (Figura 2A) é constituído de dois poços tubulares de 6” de diâmetro cada um, com profundidades de 30,00 m e 33,00 m, revestidos com tubos geomecânicos; esse sistema foi construído para atender 520 ligações domiciliares e recalca água até dois reservatórios elevados de fibra de vidro com capacidade para 20.000 litros cada um, perfazendo um total de 40.000 litros. Atualmente, a distribuição de água para os moradores da vila está sendo realizada por apenas um poço que está em funcionamento nesta unidade.

4.5.2 Unidade da Praia Funda

O sistema situado na comunidade da Praia Funda é constituído de um poço tubular de 6” de diâmetro e 29,00 m de profundidade, revestido com tubos geomecânicos; esse sistema foi construído para atender 320 ligações domiciliares e recalca água até um reservatório elevado de concreto armado com capacidade para 90.000 litros. Esse sistema encontra-se desativado por falta de manutenção (Figura 2B).

4.5.3 Unidade do Poção

O sistema situado na comunidade do Poção foi construído em 1999; é constituído de um poço tubular de 6” de diâmetro e 20,00 m de profundidade, revestido com tubos geomecânicos e recalca água até um reservatório elevado de fibra de vidro com capacidade para 12.000 litros, construído em torre de madeira de lei. Atualmente esse sistema encontra-se sem rede de distribuição a essa comunidade (Figura 3).

4.5.4 Unidade da Pedra Branca

O sistema situado na comunidade da Pedra Branca teve seu início no ano de 1999; sendo constituído de um poço tubular de 6” de diâmetro e 20,00 m de profundidade, revestido com

tubos geomecânicos. Esse reservatório é construído em torre de madeira de lei, onde está instalada uma caixa d'água de fibra de vidro com capacidade para armazenar 12.000 litros. Esse sistema encontra-se desativado por falta de manutenção.

Figura 2 - Reservatório de abastecimento de água da vila de Cotijuba (A), e Praia Funda (B).



Fonte: Do autor

Figura 3- Reservatório de abastecimento de água do Poção.



Fonte: Do autor

5 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

5.1 Clima

O clima de Belém tem como característica ser quente e úmido. Está na zona climática Af_i, segundo a classificação de Köppen, que coincide com o clima de floresta tropical, permanente úmido, com ausência de estação fria e temperatura do mês menos quente acima de 18 °C (SEGEP, 2011).

Com base em dados registrados de 1961 a 1990 (INMET, 2000), a temperatura média mensal é de 25,4 °C em fevereiro, e 26,5 °C em novembro, com média anual em torno de 25,9 °C, sendo outubro e novembro os meses mais quentes (Tabela 2). De acordo com essa Tabela e Figura 4, o período chuvoso vai de dezembro a maio, atingindo as maiores taxas de precipitações em março, com valores de 447,1 mm. O período menos chuvoso estende-se de junho a novembro, sendo a menor taxa no mês de outubro, com valor de 114,6 mm. A precipitação pluviométrica média anual alcançou os 2921,8 mm (Tabela 2)

5.1.2 Balanço hídrico

Para o cálculo do balanço hídrico para a região de Belém foi utilizada a metodologia de Thornthwaite e Mather (1955), para o período de 1961 a 1990. Os dados de precipitação e temperatura foram obtidos no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2000). Como capacidade de água disponível (CAD) utilizou-se o valor de 100 mm, e a evapotranspiração potencial (ETP) foi calculada pelo método de Thornthwaite e Mather (1955). Como resultado do balanço hídrico, temos a evapotranspiração real (ETR), a deficiência hídrica (DEF), o excedente hídrico (EXC) e o armazenamento de água no solo (ARM) para cada mês do ano.

Os dados das médias mensais anuais dos elementos climatológicos e o balanço hídrico no período compreendido estão representados na (Tabela 2).

O balanço hídrico no período considerado apresentou um excedente hídrico de janeiro a julho, bem como nos meses de setembro e dezembro. De outubro a novembro ocorre uma deficiência hídrica, como mostra a (Figura 5).

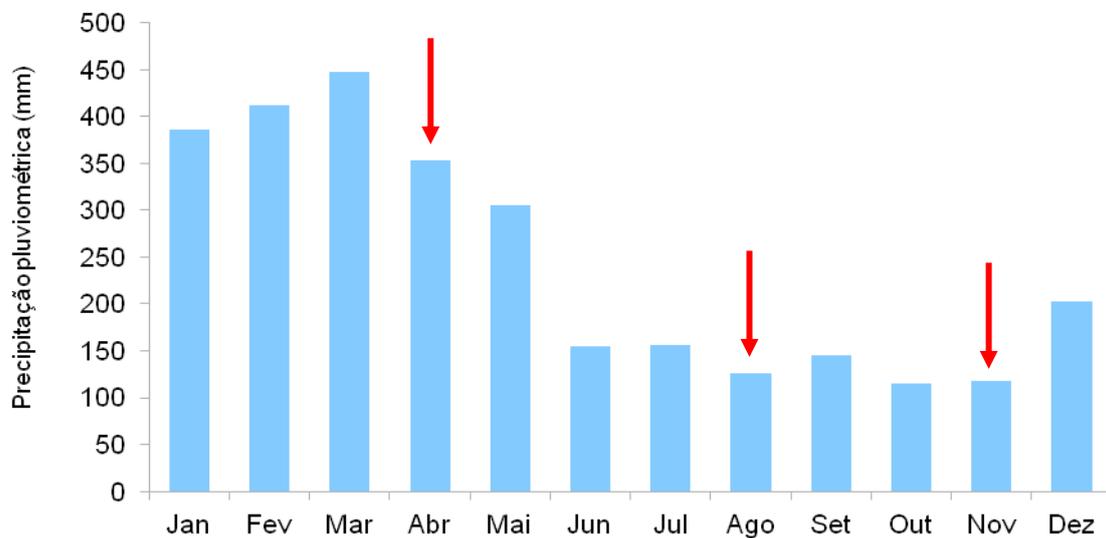
Tabela 2 - Balanço Hídrico para região de Belém, a partir das médias mensais de precipitação e temperatura do período de 1961 a 1990.

Mês	T	P	ETP	P-ETP	NEG-AC	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
Jan	25,6	385,5	123,7	261,8	0,0	100,0	0,0	123,7	0,0	261,8
Fev	25,4	412,5	108,7	303,8	0,0	100,0	0,0	108,7	0,0	303,8
Mar	25,5	447,1	122,0	325,1	0,0	100,0	0,0	122,0	0,0	325,1
Abr	25,6	353,4	119,7	233,7	0,0	100,0	0,0	119,7	0,0	233,7
Mai	25,8	305,5	127,1	178,4	0,0	100,0	0,0	127,1	0,0	178,4
Jun	26,0	155,3	126,4	28,9	0,0	100,0	0,0	126,4	0,0	28,9
Jul	25,7	155,5	125,4	30,1	0,0	100,0	0,0	125,4	0,0	30,1
Ago	26,0	126,4	130,6	-4,2	-4,2	95,8	-4,2	130,6	0,1	0,0
Set	26,0	144,8	126,4	18,4	0,0	100,0	4,2	126,4	0,0	14,2
Out	26,4	114,6	137,9	-23,3	-23,3	79,2	-20,8	135,4	2,5	0,0
Nov	26,5	118,2	135,2	-17,0	-40,3	66,8	-12,4	130,6	4,6	0,0
Dez	26,2	203,0	134,2	68,8	0,0	100,0	33,2	134,2	0,0	35,6
Ano	25,9	2921,8	1517,5	1404,3	.	.	0,0	1510,2	7,2	1411,6

T = Temperatura (°C), P = Precipitação pluviométrica (mm), ETP = Evapotranspiração potencial (mm), NEG-AC = Negativo Acumulado (mm), ARM = Armazenamento de água disponível (mm), ALT = Alteração, ETR = Evapotranspiração real (mm), DEF = Déficit hídrico (mm), EXC = Excedente hídrico (mm).

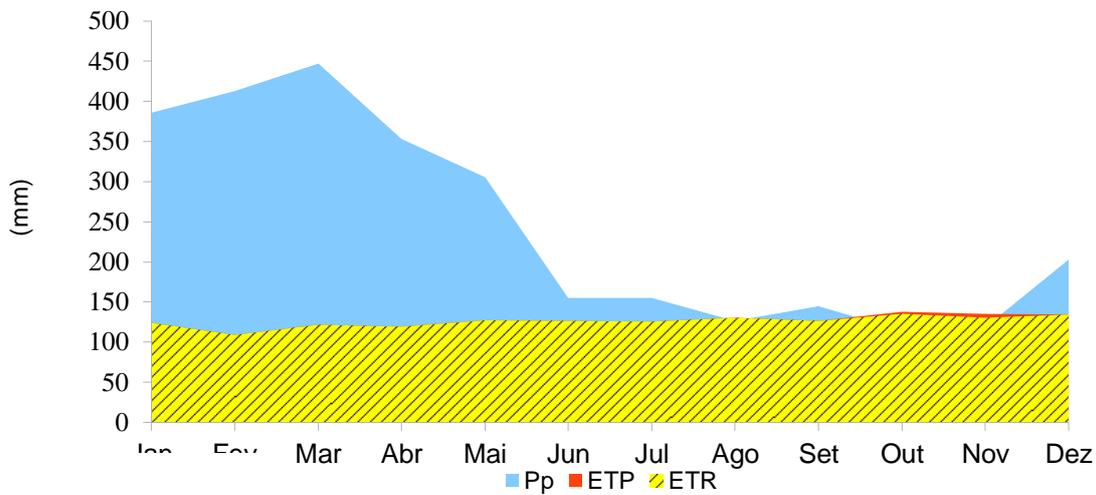
Fonte: Segundo Thornthwaite e Mather (1955) e (INMET, 2000).

Figura 4 - Média das precipitações pluviométricas mensais (Pp) para a região de Belém no período de 1961 a 1990. As setas indicam os meses de coleta de águas dos poços.



Fonte: Do autor

Figura 5 - Balanço hídrico para a região de Belém, segundo Thornthwaite e Mather (1955), (1961 a 1990). Pp (Precipitação pluviométrica); ETP (Evapotranspiração potencial); ETR (Evapotranspiração real).



Fonte: Do autor

5.2 Hidrografia e relevo

O Rio Guamá e seus efluentes, as Baías do Guajará e Marajó contribuem para a formação peninsular do Município de Belém. Na Baía do Guajará, a oeste, deságua o rio Guamá e neste deságuam os Igarapés Bacuri, Val-de-Cães, Una e o furo do Maguari, que separa a ilha de Caratateua do continente. O Relevo é caracterizado por baixos platôs e planícies litorâneas, em conjunto com áreas limítrofes, na unidade morfoestrutural Planalto Rebaixado do Amazonas (SEGEP, 2011). Conforme Oliveira (2002) apresentam as seguintes feições: Planície de Inundação, Pediplano Neo-Pleistocênico e Pediplano Pliocênico.

5.3 Solo

Os solos do município de Belém são do tipo latossolo amarelo, Podzólico, Podzol hidromórfico e os Concrecionários lateríticos; esses solos possuem características ácidas e ocorrem em várias áreas de Belém e áreas adjacentes (BELÉM, 2014). De acordo com Borges (2014), a área estudada apresenta solo do tipo gleissolo háptico eutrófico composto, principalmente, por matéria orgânica.

6 GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA

6.1 Geologia regional

A formação geológica da RMB é constituída por rochas e sedimentos de idades Oligo-Miocênica e Pleito-Miocênica, representadas pelas formações Pirabas, Barreiras, Pós-Barreiras e sedimentos holocênicos (CABRAL, 2004).

6.1.1 Unidades litoestratigráficas

6.1.1.1 Formação Pirabas

A formação Pirabas tem relevância litoestratigráfica na região Norte, sobretudo devido ao seu conteúdo fossilífero, que permite compreender a fauna marinha do período Cenozóico. Pode ser encontrada no Brasil, mais precisamente na plataforma continental norte do país, porém sua maior expressividade está concentrada na área litorânea dos Estados do Pará, Maranhão e Piauí MAURY (1925 apud OLIVEIRA, 2002).

Segundo Oliveira (2002), essa formação é de idade miocênica e acha-se recoberta por sedimentos do Grupo Barreiras e pelas coberturas Detrítico Lateríticas, Sub-Recente e Aluvionar Recente. De acordo com Matta (2002) e Cabral (2004) apresenta baixa vulnerabilidade devido a sua constituição arenosa, e seixos que apresentam-se intercalados com argilas.

6.1.1.2 Grupo Barreiras

O topo do Grupo Barreiras tem por característica ocorrer em profundidades que oscilam entre 8 e 120 m com média de 15 m para a sua espessura (ARAÚJO, 2001; COSTA, 1991)

Esse Grupo é constituído de depósitos heterolíticos, arenitos quartzosos, argilitos e, em menor quantidade de conglomerados que apresentam colorações negra, verde oliva e cinza ROSSETI (2006 apud SILVA, 2014). São atribuídas idades que variam do Oligo-Mioceno ao Pleistoceno e apresenta uma distribuição que se estende na faixa costeira do Brasil, desde o Estado do Amapá até o Rio de Janeiro (ARAI, 2006; OLIVEIRA e SILVA, 2011).

6.1.1. 3 Sedimentos Pós-Barreiras

Os Sedimentos Pós-Barreiras estão sobrepostos ao Grupo Barreiras e apresentam em sua estrutura, concreções ferruginosas, argilas, seixos de quartzo leitoso desordenados e de sedimentos holocênicos (SILVA, 2014). De acordo com Oliveira e Silva (2011), essa unidade é dividida em Formação Superficial Pleistocênica e em Formação Superficial Holocênica, sendo, essa última, correspondente a depósitos sedimentares (aluviões, colúvios, elúvios e depósitos eólicos/praias).

6.1.1.4 Sedimentos recentes

Esses sedimentos encontram-se no topo da coluna estratigráfica da RMB. São representados por sedimentos aluvionares, situados nos vales dos rios, igarapés e praias, que drenam a área. Apresentam como característica o aspecto argiloso espaçado intercalados a siltes e areias finas. As argilas, geralmente, apresentam coloração cinza variando de claro a escuro e estão bioturbadas com restos de vegetais, o que as tornam sem estruturas (FARIAS, NASCIMENTO e FERREIRA, 1992).

6.2 Geologia local

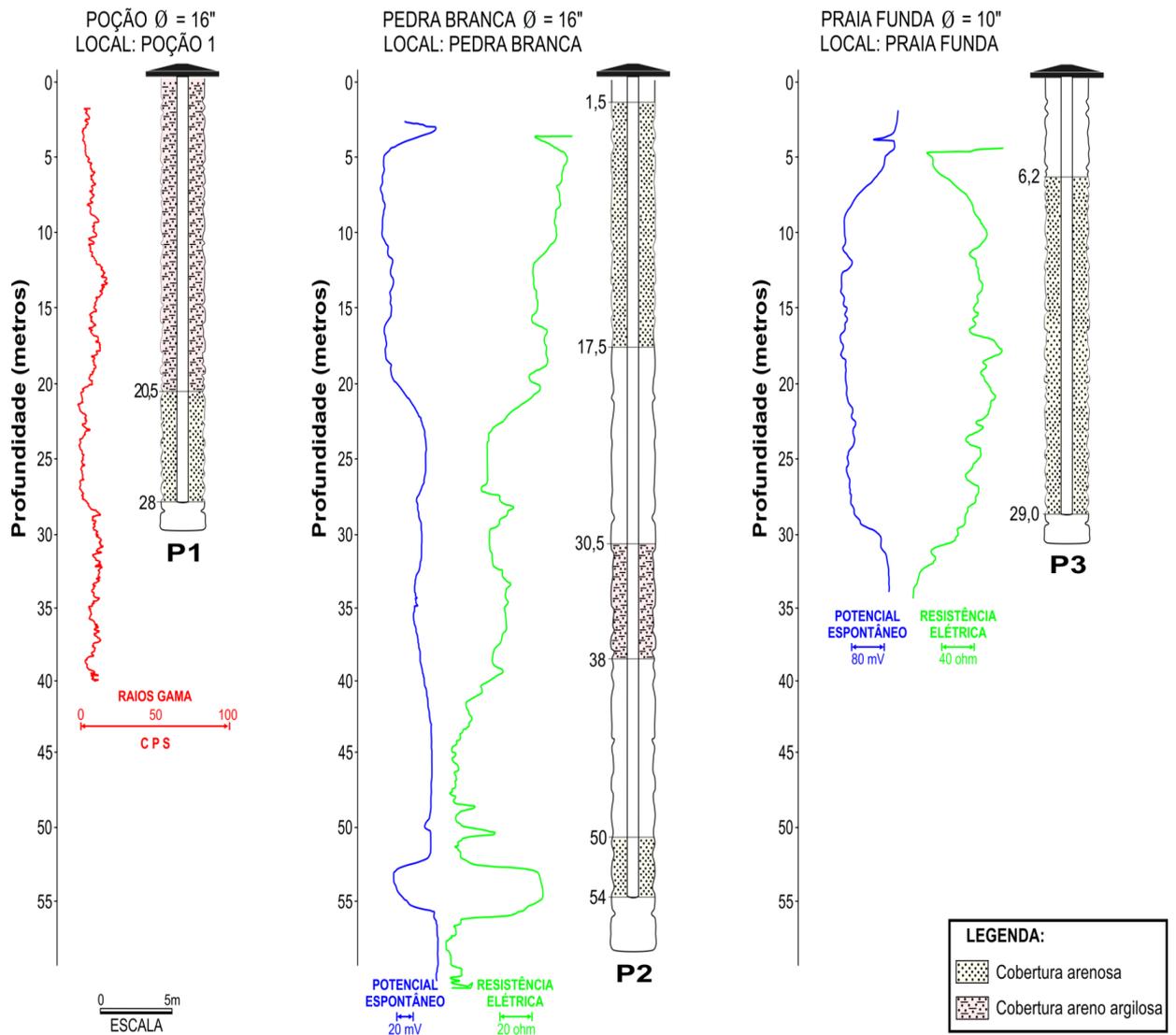
Segundo Luiz (1999), o perfil básico das unidades aquíferas da ilha de Cotijuba, Belém, estado do Pará foi definido a partir de perfis geofísicos de Raios Gama (RG), Potencial Espontâneo (SP) e Resistência Elétrica (RE) (Figura 6) realizados em poços com profundidades média de 33 m à 58 m e diâmetro de 10 a 16 polegadas; esses poços estão localizados nas comunidades do Poção 1, Pedra Branca e Praia Funda.

Os perfis revelam a predominância dos sedimentos recentes e Pós-barreira e, conforme Luiz (1999), o poço Poção 1(P1) possui uma zona arenosa entre 20,5 e 28,0 m de profundidade; acima da zona arenosa o registro sugere a existência de camadas areno-argilosas e argilosa. Estas são características do período Quaternário. No poço Pedra Branca (P2), a primeira zona encontra-se limitada pelas profundidades 1,5 e 17,5 m, enquanto a segunda zona está limitada pelas profundidades 50,0 e 54,0 m. Os registros indicam ainda uma zona areno-argilosa limitada entre as profundidades de 30,5 e 38,0 m. Por sua vez, o poço Praia Funda (P3) apresenta uma única zona arenosa, que se estende da profundidade de 6,2 a 29 m.

Na área estudada, os sedimentos Pós-Barreiras têm por características zonas areno-argilosa e argilosa, de coloração amarela. As camadas argilosas exercem um papel fundamental

para a proteção dos aquíferos rasos, pois dificultam a infiltração de águas superficiais contaminadas.

Figura 6 - Perfis litológicos dos poços Poção, Pedra Branca e Praia Funda.



Fonte: Adaptado de Luis (1999).

6.3 Quadro Hidrogeológico

6.3.1 Hidrogeologia regional

Na RMB, o sistema Aquífero Pirabas, Barreiras e o Pós-Barreiras servem como fonte de abastecimento público, industrial e por particulares (OLIVEIRA, 2002). Os poços mais rasos possuem profundidades de aproximadamente 10 m e os mais profundos na ordem de 280 m, apresentam amplas vazões variando de 1 m³/h a 300 m³/h (MATTA, 2002). Os usos dependem da localidade e nas áreas adjacentes, como na Ilha de Cotijuba, a perfuração de poços é recorrente devido à incipiente oferta de serviços básicos, como abastecimento de água para consumo humano.

O sistema Aquífero Pós-Barreiras é de origem livre e semiconfinada, ocorre em profundidade de até aproximadamente 25 m, portanto, apresenta alta vulnerabilidade. Possui potencial hidrogeológico fraco, devido à constituição litológica, com vazões inferiores a 5 m³/h. As águas provenientes dessa unidade apresentam uma constituição iônica baixa e, em alguns casos, apresentam teores de ferro excessivo, impossibilitando o uso doméstico sem um tratamento adequado (MATTA, 2002).

A unidade Barreiras apresenta espessura de aproximadamente 70 m. Esse sistema aquífero é de natureza semilivre e confinada e aparece em profundidades de 25 a 90 m e vazões entre 10 e 70 m³/h. Essa unidade aquífera é muito explorada na RMB e áreas adjacentes, onde o fornecimento de água é precário ou inexistente (MATTA, 2002).

Segundo Oliveira (2002), o sistema Aquífero Pirabas é do tipo confinado, formado por dois sistemas Aquíferos do tipo multicamadas: Superior e Inferior, ocorrem em profundidades variando de 70 a 259 m; o sistema inferior, com profundidades entre 180 e 259 m apresenta-se como excelente aquífero e água com os parâmetros dentro dos limites de potabilidade ao consumo humano. De acordo com Cabral (2004), essa unidade aquífera é bastante explorada pela COSANPA.

7 ASPECTOS SÓCIOAMBIENTAIS E ECONÔMICOS

A RMB vem enfrentando, nas últimas décadas, problemas relacionados ao saneamento básico, ocasionados pelo aumento populacional de forma acelerada, principalmente nas áreas periféricas. Esse fato acarreta uma demanda por água provocando um déficit hídrico na região (MATTA, 2002). Ainda, de acordo com Matta (2002), na RMB, as áreas onde o fornecimento de água é ineficiente ou inexistente buscam como alternativa a construção de poços que nem sempre seguem as normas construtivas, como um estudo prévio sobre o lençol freático, medidas corretas de profundidade e largura dos poços e distanciamento de localidades com contaminação do solo.

A área insular do município de Belém, em especial a Ilha de Cotijuba, vem sofrendo um quadro de degradação de seus recursos naturais, ocasionado por um intenso processo de ocupação de forma desordenada, aumentando a demanda por água e agravado pela ineficiência dos serviços de saneamento básico.

A poluição das águas subterrâneas na ilha de Cotijuba tem como um dos fatores o descarte de efluentes domésticos diretamente no solo (Figura 7) causando o processo de infiltração do chorume produzido pela decomposição dos resíduos, que ao percorrer as camadas não saturadas do solo e das rochas contaminam os lençóis freáticos. Conforme Fernandes et al. (2012), esse processo de contaminação dos lençóis freáticos é agravado pelo descarte de resíduos em áreas impróprias próximos às margens dos rios e vias e pela lixiviação, provenientes das chuvas, transportando esse chorume por longas distâncias. Como pode-se observar na Figura 8, os poços para abastecimento doméstico, construídos sem os critérios técnicos necessários que garantam a sua proteção, ficam mais vulneráveis a contaminação das águas utilizadas pela população local que nem sempre efetua os procedimentos de tratamento adequado para ser consumida.

Figura 7 - Carência de infraestrutura na ilha e ausência de sistema público de esgotamento sanitário.



Fonte: Do autor

Figura 8 - Poço manual de abastecimento doméstico da Ilha de Cotijuba.



Fonte: Do autor

O desmatamento na ilha (Figura 9) é outro fator agravante no que tange à preservação da biodiversidade típica do ambiente insular, diminuindo assim a proteção natural desse ambiente, agravando os danos no solo e de seus recursos naturais. O processo de lixiviação do solo, em decorrência da interação direta da água da chuva com o solo desprotegido, retira os nutrientes permitindo a infiltração da água contaminada para os reservatórios subterrâneos.

Figura 9 - Desmatamento presente em várias áreas na ilha de Cotijuba.



Fonte: Do autor

A RMB integra o segundo maior parque industrial da Amazônia e sua economia está baseada principalmente nas atividades comerciais e serviços de turismo, assim como, a atividade industrial (BELÉM, 2014). Segundo o IBGE (2010), a agricultura restringe-se basicamente ao açaí, mandioca e palmito, sendo que o setor terciário é o mais expressivo no município.

De acordo com Fernandes et al. (2012) tem destaque como atividade econômica, à pesca, a agricultura e o extrativismo como principais atividades diárias das famílias residentes na Ilha de Cotijuba. A atividade pesqueira é de caráter familiar, tradicional e de subsistência, predominantemente artesanal, o plantio é de roças policultoras. Segundo Silva (2003), na Ilha de Cotijuba, os açaizais, em sua maioria, estão localizados nas proximidades das habitações ou em lugares onde estas existiam, associados ao extrativismo. Existem ainda o turismo e pequenos comércios de vendas em geral.

8 METODOLOGIA

8.1 Levantamento de campo

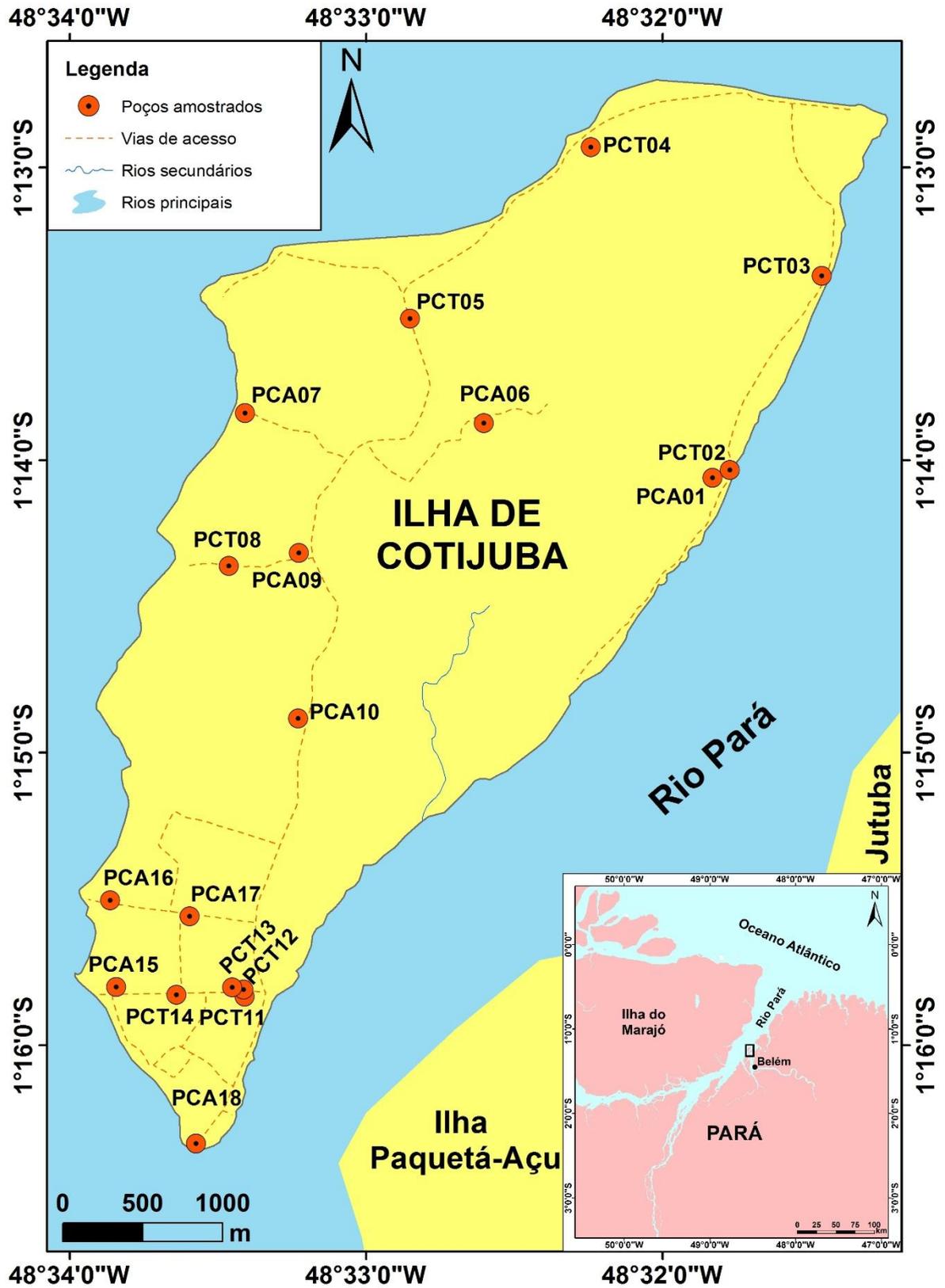
Para aquisição dos dados referentes às formas de uso, condições de saneamento, captação e uso dos recursos hídricos na Ilha foram visitadas diversas residências, obtendo-se informações sobre as fontes pontuais e difusas de contaminação, como fossas negras, banheiros e depósitos de lixo doméstico.

Obteve-se, ainda, dados como tipo de poço (manual ou tubular), profundidade (informada verbalmente pelos moradores), nível estático, tipo de revestimento, forma de captação da água (através de bomba ou manualmente), existência de tampa, entre outros. Realizou-se, previamente, medidas do nível da água em poços durante um ciclo de maré completo, para identificar sua possível influência nas águas desses poços. Foi efetuado, também, um levantamento bibliográfico para a complementação desses dados obtidos em campo.

8.2 Cadastramento dos poços

Os pontos de interesse foram georeferenciados através de GPS da marca Garmim-650, para confecção dos mapas de localização da área de estudo e de pontos de coleta das águas dos poços. A escolha dos poços para análise de água fundamentou-se nas características da área e na distribuição espacial dos mesmos, de modo que pudessem ser representativos do aquífero freático avaliado (Figura 10) e Apêndice A.

Figura 10 - Localização dos poços amostrados na Ilha de Cotijuba-Belém/PA.



Fonte: Do autor

8.3 Amostragem das águas

As amostras foram coletadas em três etapas de campo, realizadas em 2015, nos meses de abril (período chuvoso), agosto (época de transição) e novembro (menos chuvoso). Em cada campanha foram coletadas águas de 18 poços (9 tubulares e 9 manuais), para a realização de análises físico-químicas e microbiológicas (Figura 11). A coleta das amostras dos poços foi realizada em residências particulares, escolas e poço de abastecimento do SAAEB. A amostra de água do poço manual PCM06 foi utilizada como representativa do aquífero Pós-Barreiras na área estudada, por estar distante de fossas e outras fontes de contaminação. Antes da realização das coletas nos poços tubulares, os mesmos foram bombeados durante aproximadamente 5 min., para eliminar água estagnada nos tubos. Todas as amostras de água foram coletadas e conservadas seguindo os procedimentos recomendados por (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION-APHA, 1998).

Figura 11- Coleta de amostras de água na área de trabalho: (A) químico; (B) bacteriológico.



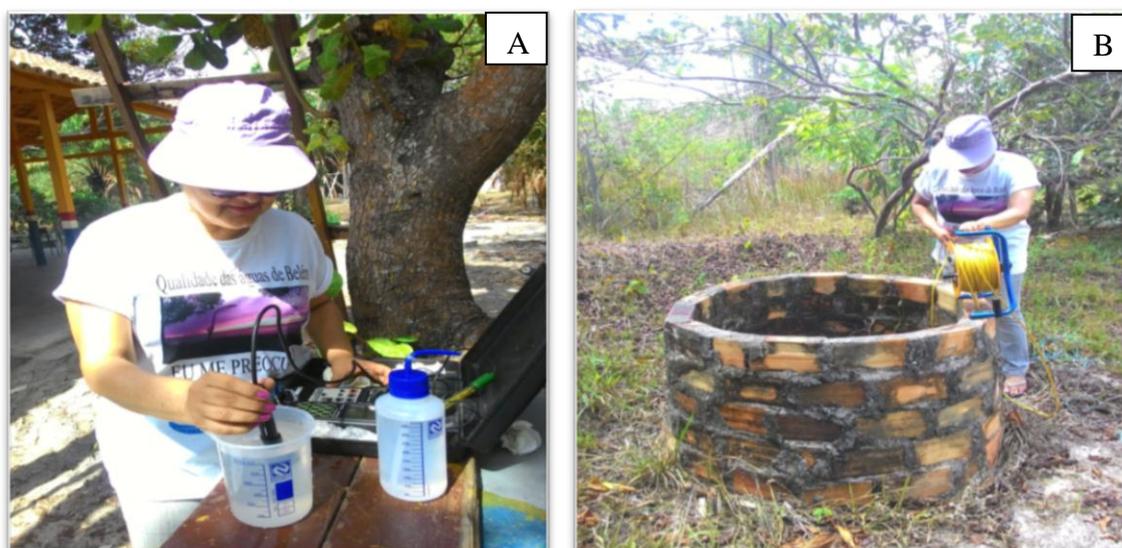
Fonte: Do autor

Para a determinação dos parâmetros químicos foram coletadas águas em frascos de polietileno, com volumes de 1 litro. Para a análise de ferro total, as amostras foram coletadas em frascos de polietileno de 200 ml e preservadas em campo até $\text{pH} < 2$, com HCl. Para as análises microbiológicas foram coletados 100 mL de amostra, em frasco de vidro autoclavado, com capacidade máxima de 125 mL, boca larga e tampa a prova de vazamento.

8.4 Medidas de campo

Foram realizadas medições “*in situ*” de temperatura, potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), sólidos totais dissolvidos (STD) (Figura 12A) e nível estático (NE) (Figura 12B). Para a obtenção do pH, condutividade elétrica e STD foi utilizado o método potenciométrico. O pH foi determinado através do medidor de pH da marca HANNA, modelo HI 9126. Para a CE, utilizou-se o condutivímetro da marca ORION, modelo 115 e a temperatura foi medida com termômetro de mercúrio da marca INCOTERM. Os dados de CE e pH foram convertidos para a temperatura de referência de 25 °C, nos equipamentos. O NE foi medido utilizando um medidor eletro-sonoro de nível de água.

Figura 12- Medição da condutividade elétrica (A) e nível estático (B).



Fonte: Do autor

8.5 Procedimento de laboratório

8.5.1 Análise química das águas subterrâneas

8.5.1.1 Parâmetros e métodos de análise

Para o estudo da qualidade das águas dos poços foram determinados: turbidez, cor aparente, dureza total, alcalinidade total, ferro total, NH_4^+ , N-NO_3^- , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} .

Para a determinação dos cátions, filtrou-se uma alíquota de aproximadamente 200 mL das amostras e preservou-se com HNO_3 até $\text{pH} < 2$. O sódio foi analisado no Laboratório de Eng. Química/UFGA por fotometria, utilizando o Fotômetro de Chama (QUIMIS 0398M2), o

potássio, cálcio e magnésio, foram analisados por Espectrometria de Absorção Atômica, no Laboratório de Química/ICEN/UFPA utilizando o Espectrômetro de chama (Ice 3300 Termo Científico).

Os demais parâmetros: turbidez, cor aparente, dureza total, alcalinidade total, ferro total (Figura 13), cloreto, sulfato, fosfato, nitrato e amônia, foram determinados no Laboratório de Hidroquímica/IG/UFPA. Para determinação do ferro total foi utilizado o espectrofotômetro (VARIAN 50 Probe).

Figura 13- Determinação de ferro total em laboratório.



Fonte: Do autor

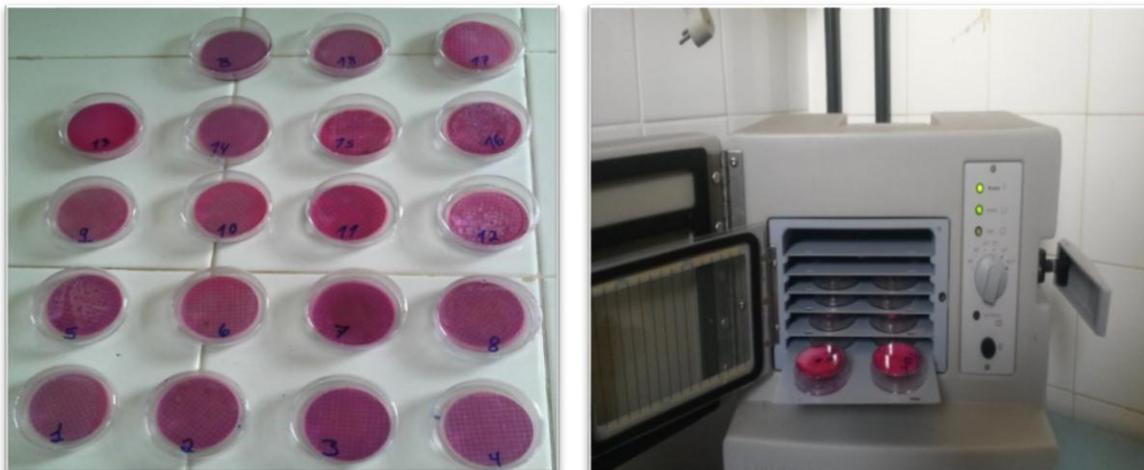
Para o NO_3^- , NH_4^+ , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} e a cor aparente utilizou-se o espectrofotômetro (HACH/DR, 2010); a dureza total, Cl^- e a alcalinidade total foram determinados por titulação, a turbidez pelo método turbidimétrico e o bicarbonato foi calculado a partir da relação numérica, da alcalinidade e bicarbonato Custodio e Llamas (1976): alcalinidade (ppm CaCO_3) x 1,22.

8.5.2 Análise bacteriológica das águas subterrâneas

8.5.2.1. Parâmetros e métodos de análise

Nas análises microbiológicas (Figura 14) foram determinados os coliformes totais e *E.coli*, indicadores sanitários de contaminação fecal; foi utilizada a técnica da membrana filtrante (APHA, 1998). As análises bacteriológicas foram realizadas no Laboratório de bacteriologia/IG/UFPA.

Figura 14- Incubação das placas de Petri em estufa.



Fonte: Do autor

8.6 Processamento dos dados obtidos

8.6.1 Balanço iônico

Em análises químicas completas, o equilíbrio iônico está baseado na neutralidade da água, onde a somatória das concentrações dos cátions (Σ cátions) deve ser aproximadamente igual à somatória das concentrações dos ânions (Σ ânions) expressos em meq/L. A razão da diferença entre a somatória dos cátions e dos ânions (meq/L), define-se como balanço iônico. A percentagem da diferença do balanço iônico proposto por Lloyd e Heathcote (1985) está relacionada da seguinte maneira:

$$DBI (\%) = 100 * \frac{(\Sigma r \text{ Cátions} - \Sigma r \text{ Ânions})}{(\Sigma r \text{ Cátions} + \Sigma r \text{ Ânions})}$$

Para Logan (1965), o erro teórico é o erro prático máximo permitido (Tabela 3) levando-se em consideração os valores dos ânions ou cátions.

Tabela 3 - Relação entre os valores de cátions ou ânions e o erro admissível.

Σ cátions ou ânions (meq/L)	<1	1	2	6	10	30	>30
Erro permitido (%)	15	10	6	4	3	2	1

Fonte: Segundo Logan, (1965)

Para o cálculo do balanço iônico utilizou-se a fórmula de Lloyd e Heathcote (1985), onde o valor médio obtido foi de 5,8 % com desvio padrão de 3,8 no período chuvoso, enquanto que na estiagem o valor foi de 8,8 % com desvio padrão de 1,3 e um valor de 5,86 % no período menos chuvoso com desvio padrão de 3,5. De acordo com Hem (1985), valores entre 2 % e 10 % indicam ótimas condições analíticas. Segundo Custódio e Llamas (2001), a diferença entre a somatória dos cátions e dos ânions é devida à acumulação de erros na análise de cada íon e por desprezar as concentrações iônicas baixas.

8.6.2 Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas gerando informações dos estudos de matrizes e correlações e estatística descritiva, para tanto utilizou-se os *softwares* Excel 2010 e Minitab 16. Essas análises têm como objetivo fornecer um panorama geral do comportamento das variáveis nos períodos avaliados.

8.6.3 Caracterização das águas

Para uma avaliação dos dados obtidos foram elaborados gráficos, utilizando os *softwares* Surfer 11, “Aquachem” – Aqueous Geochemical Data Analysis and Plotting version 1.40 (2011), para confecção de mapas de sentido preferencial de fluxo da água subterrânea, distribuição espacial dos componentes químicos pelo método de interpolação por Krigagem e também a confecção dos diagramas de Piper e Schöller. Segundo Santos (2008), esses diagramas são úteis não apenas para indicar a qualidade da água para um determinado uso, mas, também, para ilustrar variações na qualidade, enfatizar diferenças e similaridades ou para ajudar a detectar e identificar alguns processos químicos que ocorrem nas águas subterrâneas.

9 RESULTADOS E DISCUSSÕES

9.1 Qualidade das águas subterrâneas

Para avaliação da qualidade da água subterrânea dos lençóis freáticos, foram selecionados poços que fossem representativos para a área de estudo e que fossem utilizados pela população da Ilha como fonte de abastecimento doméstico. Não foi realizada coleta de água no poço PCM06 no período menos chuvoso, devido este poço encontrar-se seco no momento da coleta. Não foi detectado a influência da maré nas águas dos poços. A localização dos poços estudados encontra-se no Apêndice A.

Para o entendimento do quimismo das águas subterrâneas foram utilizados gráficos e diagramas, que permitem avaliar os resultados das análises químicas conjuntamente. As variáveis físicas e físico-químicas selecionadas estão representadas na Tabela 4, período chuvoso; Tabela 6, transição e Tabela 8, menos chuvoso. As Tabelas 5, 7 e 9, apresentam a estatística descritiva, máximo, mínimo, média, mediana e desvio padrão nos três períodos amostrados.

Tabela 4 - Parâmetros químicos, físico-químicos das águas subterrâneas na área estudada, no período chuvoso (Abril/2015).

Amostra	T°C	pH	CE ¹	Alc.total	NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	PO ₄ ⁻³	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	turbidez ²	cor.apare ³	Fe Total	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁻²	Mg ⁻²	Dureza Total	STD
PCM01	27,80	4,40	31,60	ND	0,06	1,10	1,00	ND	3,70	ND	7,22	33	0,67	2,70	0,54	0,04	0,28	1,29	15,10
PCT02	30,00	5,00	804,00	1,44	0,46	1,40	37,00	0,07	221,90	1,75	2,40	42	1,03	121,00	4,98	4,01	8,73	46,40	524,00
PCT03	28,00	4,90	35,30	1,92	0,03	1,30	1,00	0,01	5,32	2,34	2,08	47	1,48	3,30	0,57	0,97	0,45	4,30	17,10
PCT04	28,00	4,60	58,60	ND	0,00	2,30	2,00	0,01	9,40	ND	0,46	7	0,16	6,80	0,80	0,17	0,34	1,84	28,00
PCT05	28,00	4,60	55,60	ND	0,69	1,50	1,00	0,20	8,87	ND	1,94	86	2,78	4,30	1,24	0,26	0,56	2,98	26,40
PM06	29,20	4,20	32,90	ND	0,01	2,30	1,00	ND	3,10	ND	3,34	16	0,07	2,00	0,60	0,80	0,23	2,96	16,40
PCM07	30,00	4,20	36,90	ND	0,01	1,60	1,00	0,05	6,03	ND	2,30	12	0,09	3,30	0,08	0,46	0,39	2,79	17,40
PCT08	30,20	3,90	35,90	ND	0,01	2,20	1,00	0,11	4,60	ND	0,91	6	0,03	1,80	0,59	0,37	0,44	1,84	17,10
PCM09	30,00	3,80	36,60	ND	ND	3,20	1,00	0,01	5,30	ND	0,66	13	0,19	2,60	0,46	0,11	0,46	2,19	17,40
PCM10	29,50	4,10	43,10	ND	ND	2,60	1,00	0,01	6,38	ND	1,14	8	0,07	3,20	0,70	0,12	0,55	2,60	20,80
PCT11	31,00	4,00	48,70	ND	ND	3,10	1,00	0,01	6,38	ND	0,22	5	0,03	4,20	0,35	0,04	0,48	2,09	23,50
PCT12	29,70	4,10	46,60	ND	ND	2,40	1,00	0,01	5,67	ND	0,23	4	0,03	4,40	0,36	0,04	0,49	2,13	22,20
PCT13	29,50	5,40	129,60	21,60	1,68	4,10	8,00	0,01	15,06	26,35	8,40	83	10,63	12,60	1,57	1,16	1,04	7,24	78,00
PCT14	28,00	3,70	48,50	ND	ND	3,10	1,00	ND	5,67	ND	0,21	6	0,06	4,00	0,39	0,10	0,47	2,23	23,00
PCM15	26,80	4,40	53,00	ND	0,03	3,00	1,00	0,01	6,73	ND	4,63	15	0,05	5,50	0,40	0,46	0,46	3,08	25,60
PCM16	27,20	3,90	47,10	ND	0,01	2,20	2,00	0,01	6,03	ND	1,16	9	0,03	4,60	0,23	0,11	0,38	2,49	22,90
PCM17	23,40	4,60	50,40	ND	0,05	3,00	1,00	0,01	6,38	ND	4,64	30	0,07	4,40	0,71	1,13	0,49	4,85	24,40
PCM18	29,70	3,80	303,00	ND	0,09	2,60	19,00	ND	68,70	ND	2,40	5	0,03	37,10	1,25	2,94	5,77	31,38	181,00

Os cátions, ânions, dureza, alcalinidade, STD, HCO₃⁻, estão expressos em mg/L; condutividade elétrica (CE¹) (µS/cm), turbidez² unidade de Turbidez (uT), cor aparente³ unidade de Hansen (uH). ND: Não detectado.

Fonte: Do autor

Tabela 5 – Estatística descritiva dos parâmetros físicos e físico-químicos das amostras analisadas na área estudada e valores de potabilidade - período chuvoso. n=18

Parâmetros	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desv.padrão	2.914/2011/MS VMP*
T	23,40	31,00	28,67	29,35	1,76	-
pH	3,70	5,40	4,31	4,20	0,47	6 - 9,5
CE	31,60	804,00	105,41	47,80	185,53	-
Alc. Total	0,00	21,60	1,39	0,00	5,07	-
NH₄⁺	0,00	1,68	0,17	0,01	0,42	1,5
N-NO₃⁻	1,10	4,10	2,39	2,35	0,80	10
SO₄²⁻	1,00	37,00	4,50	1,00	9,24	250
PO₄³⁻	0,00	0,20	0,03	0,01	0,05	-
Cl⁻	3,10	221,90	21,96	6,21	52,06	250
HCO₃⁻	0,00	26,35	1,69	0,00	6,19	-
Turbidez	0,21	8,40	2,46	2,01	2,39	5
Cor aparente	4,00	86,00	23,72	12,50	25,72	15
Fe	0,03	10,63	0,97	0,07	2,51	0,3
Na⁺	1,80	121,00	12,66	4,25	28,22	200
K⁺	0,08	4,98	0,88	0,58	1,09	-
Ca²⁺	0,04	4,01	0,74	0,31	1,08	-
Mg²⁺	0,23	8,73	1,22	0,47	2,26	-
Dureza	1,29	46,40	6,94	2,77	11,98	500
STD	15,10	524,00	61,13	22,95	122,02	1000

VMP* – Valor Máximo Permitido

Fonte: Do autor

Tabela 6 - Parâmetros químicos, físico-químicos das águas subterrâneas na área estudada, no período de transição (Agosto).

Amostra	TC	pH	CE ¹	Alc.total	NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	turbidez ²	cor.apare ³	Fe Total	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Dureza Total	STD
PCM01	29,80	4,10	34,00	ND	ND	1,60	1,00	0,01	4,43	ND	1,78	6	0,45	3,30	0,14	0,72	0,31	3,09	16,20
PCT02	29,50	5,30	784,00	5,29	0,19	1,20	22,50	0,02	211,30	6,45	1,82	8	0,14	104,00	4,83	1,34	8,55	38,98	508,00
PCT03	29,30	4,70	34,00	0,96	ND	1,10	1,00	0,01	6,73	1,17	5,38	3	0,45	4,30	0,10	0,30	0,38	2,33	16,20
PCT04	29,90	4,20	32,60	ND	ND	2,20	1,00	ND	4,25	ND	0,26	ND	0,02	4,10	0,42	0,30	0,27	1,88	16,00
PCT05	29,20	4,60	51,60	4,33	1,32	0,30	ND	0,65	5,00	5,28	10,10	332	1,94	2,90	1,64	1,70	0,92	8,08	24,80
PCM06	28,00	4,40	25,40	ND	0,01	1,60	1,00	ND	3,19	ND	7,40	17	0,14	2,80	0,39	0,70	0,22	2,67	12,80
PCM07	31,00	4,20	36,30	ND	ND	1,90	ND	ND	3,54	ND	0,90	ND	0,04	3,20	0,08	0,40	0,45	2,88	17,00
PCT08	29,00	3,90	42,90	ND	ND	2,20	1,00	ND	6,60	ND	1,50	ND	0,02	5,90	0,09	0,16	0,44	2,23	20,60
PCM09	30,10	4,00	40,70	ND	ND	2,90	1,00	ND	3,90	ND	0,90	2	0,03	4,90	0,42	0,25	0,45	2,50	19,30
PCM10	30,50	4,40	47,10	ND	0,19	2,40	1,00	ND	5,50	ND	1,60	5	0,09	4,60	0,54	0,54	0,63	3,98	22,50
PCT11	30,20	4,05	50,00	ND	ND	2,90	1,00	ND	7,09	ND	0,30	ND	0,01	6,40	0,27	0,40	0,51	3,13	24,10
PCT12	30,00	3,97	53,90	ND	ND	3,00	1,00	ND	7,03	ND	0,20	ND	0,00	6,50	0,60	0,46	0,50	3,23	26,00
PCT13	30,00	5,20	165,30	17,79	9,00	4,70	8,00	0,50	24,60	21,70	28,20	25	0,57	17,20	2,78	1,92	0,80	8,13	99,20
PCT14	29,30	4,17	48,70	ND	ND	3,20	1,00	0,01	6,20	ND	0,30	ND	0,02	6,30	0,45	0,31	0,51	2,90	23,40
PCM15	30,00	4,20	49,40	ND	ND	2,70	1,00	ND	6,56	ND	1,50	2	0,06	6,00	0,30	0,68	0,60	4,20	23,80
PCM16	31,00	4,20	47,60	ND	ND	2,40	1,00	ND	6,03	ND	0,80	ND	0,03	5,80	0,19	0,40	0,49	3,04	22,70
PCM17	31,20	4,20	48,00	ND	ND	3,20	1,00	ND	6,03	ND	1,70	ND	0,31	5,60	0,39	1,02	0,53	4,76	23,00
PCM18	31,00	3,96	281,00	ND	ND	2,30	19,00	ND	70,00	ND	8,50	1	0,06	36,80	1,18	3,45	3,86	24,71	170,00

Os cátions, ânions, dureza, alcalinidade, STD, HCO₃⁻, estão expressos em mg/L; condutividade elétrica (CE¹) (µS/cm), turbidez² unidade de turbidez (uT), cor aparente³ unidade de Hansen (uH). ND: Não detectado.

Fonte: Do autor

Tabela 7 – Estatística descritiva dos parâmetros físicos e físico-químicos das amostras analisadas na área estudada e valores de potabilidade - período transição. n=18.

Parâmetros	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desv.padrão	2.914/2011/MS VMP*
T	28,00	31,20	29,94	30,00	0,83	-
pH	3,90	5,30	4,32	4,20	0,40	6 - 9,5
CE	25,40	784,00	104,03	47,80	180,63	-
Alc. total	0,00	17,79	1,58	0,00	4,33	-
NH ₄ ⁺	0,00	9,00	0,60	0,00	2,12	1,5
N-NO ₃ ⁻	0,30	4,70	2,32	2,35	0,99	10
SO ₄ ²⁻	0,00	22,50	3,47	1,00	6,54	250
PO ₄ ³⁻	0,00	0,65	0,07	0,00	0,19	-
Cl ⁻	3,19	211,30	21,55	6,12	49,86	250
HCO ₃ ⁻	0,00	21,70	1,92	0,00	5,29	-
Turbidez	0,20	28,20	4,06	1,55	6,75	5
Cor aparente	0,00	332,00	22,28	1,50	77,59	15
Fe	0,00	1,94	0,24	0,06	0,46	0,3
Na ⁺	2,80	104,00	12,81	5,70	24,12	200
K ⁺	0,08	4,83	0,82	0,41	1,21	-
Ca ²⁺	0,16	3,45	0,84	0,50	0,82	-
Mg ²⁺	0,22	8,55	1,13	0,51	2,02	-
Dureza	1,88	38,98	6,82	3,11	9,59	500
STD	12,80	508,00	60,31	22,85	118,30	1000

VMP* – Valor Máximo Permitido

Fonte: Do autor

Tabela 8 - Parâmetros químicos, físico-químicos das águas subterrâneas na área estudada, no período menos chuvoso (Novembro).

Amostra	TC	pH	CE ¹	Alc.total	NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	turbidez ²	cor.apare ³	Fe Total	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Dureza Total	STD	
PCM01	30,30	4,70	30,00	ND	0,07	1,30	2,00	0,01	2,90	ND	7,47	31	1,49	2,10	0,32	0,13	0,34	1,74	14,30	
PCT02	29,30	5,30	941,00	4,81	1,00	ND	32,50	0,01	255,24	5,86	58,30	287	3,62	132,00	5,21	11,58	7,20	58,95	602,00	
PCT03	31,60	4,50	35,50	ND	ND	1,40	1,00	0,01	5,60	ND	2,93	ND	0,60	4,90	0,55	0,09	0,43	2,02	16,90	
PCT04	33,80	4,30	27,70	ND	ND	2,50	1,00	ND	1,06	ND	0,52	ND	0,08	2,90	0,43	0,28	0,43	2,49	12,90	
PCT05	32,00	4,60	67,00	ND	1,05	1,60	ND	0,31	7,80	ND	5,30	129	1,37	5,40	1,82	0,58	0,65	4,16	32,00	
PCM06	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PCM07	32,00	5,30	118,40	18,60	1,20	0,20	1,00	0,41	14,60	22,70	39,30	341	10,66	4,90	1,20	6,40	1,90	23,92	71,00	
PCT08	34,70	4,70	29,00	ND	0,02	2,60	1,00	ND	3,91	ND	0,68	183	4,17	1,80	0,48	0,93	0,52	4,49	13,80	
PCM09	30,30	4,40	34,10	ND	0,01	2,80	1,00	ND	2,20	ND	2,03	ND	0,30	3,40	0,54	0,41	0,47	1,96	16,30	
PCM10	30,40	4,30	43,70	ND	0,09	0,60	1,00	ND	5,67	ND	9,48	7	0,17	3,00	0,87	0,55	0,62	3,96	21,00	
PCT11	31,00	4,20	46,00	ND	ND	1,10	1,00	0,17	5,07	ND	0,20	ND	0,02	3,60	0,25	0,27	0,54	2,93	22,20	
PCT12	31,60	4,30	45,50	ND	ND	0,90	1,00	ND	7,09	ND	0,50	ND	0,08	4,50	0,38	0,33	0,58	3,24	21,80	
PCT13	33,80	4,30	92,50	ND	1,30	6,90	1,00	ND	13,12	ND	6,80	30	1,07	12,20	0,95	1,27	0,91	6,97	56,00	
PCT14	30,30	4,10	44,30	ND	ND	3,20	1,00	ND	6,03	ND	0,20	ND	0,19	6,10	0,76	0,21	0,53	2,73	21,30	
PCM15	29,20	5,20	67,30	18,27	1,77	0,60	ND	0,01	4,96	22,23	14,70	95	1,98	4,70	1,14	2,51	1,00	10,44	32,70	
PCM16	29,40	4,60	44,00	ND	ND	1,40	4,00	ND	6,73	ND	14,00	29	1,30	5,20	0,29	0,64	0,52	3,77	21,20	
PCM17	29,00	4,70	39,30	ND	0,04	3,00	1,00	0,03	6,03	ND	20,60	21	0,09	4,90	0,56	1,48	0,50	5,78	19,00	
PCM18	30,40	3,96	277,00	ND	ND	0,60	20,00	ND	62,04	ND	1,20	ND	0,04	31,00	1,70	3,39	4,45	27,02	167,00	

Os cátions, ânions dureza, alcalinidade, STD, HCO₃⁻, estão expressos em mg/L; condutividade elétrica (CE¹) (µS/cm), turbidez² unidade de turbidez (uT), cor aparente³ unidade de Hansen (uH). ND: Não detectado.

Fonte: Do autor

Tabela 9 – Estatística descritiva dos parâmetros físicos e físico-químicos das amostras analisadas na área estudada e valores de potabilidade - período menos chuvoso. n=18.

Parâmetros	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desv.padrão	2.914/2011/MS VMP*
T	29,00	34,70	31,12	30,40	1,71	-
pH	3,96	5,30	4,56	4,50	0,40	6 - 9,5
CE	27,70	941,00	116,61	44,30	220,67	-
Alc. total	0,00	18,60	2,45	0,00	6,13	-
NH₄⁺	0,00	1,77	0,39	0,02	0,61	1,5
N-NO₃⁻	0,00	6,90	1,81	1,40	1,65	10
SO₄²⁻	0,00	8,00	2,44	1,00	3,84	250
PO₄³⁻	0,00	0,41	0,06	0,00	0,12	-
Cl⁻	1,06	255,24	24,12	6,03	61,17	250
HCO₃⁻	0,00	22,70	2,99	0,00	7,47	-
Turbidez	0,20	58,30	10,84	5,30	15,85	5
Cor aparente	0,00	341,00	67,8	21,00	103,73	15
Fe	0,20	10,66	1,60	0,60	2,64	0,3
Na⁺	1,80	132,00	13,68	4,90	31,23	200
K⁺	0,22	5,21	1,03	0,56	1,18	-
Ca²⁺	0,13	11,58	1,83	0,58	2,98	-
Mg²⁺	0,34	7,20	1,27	0,54	1,82	-
Dureza	1,74	58,95	9,86	3,96	14,65	500
STD	12,90	602,00	68,32	21,30	142,52	1000

VMP* – Valor Máximo Permitido

Fonte: Do autor

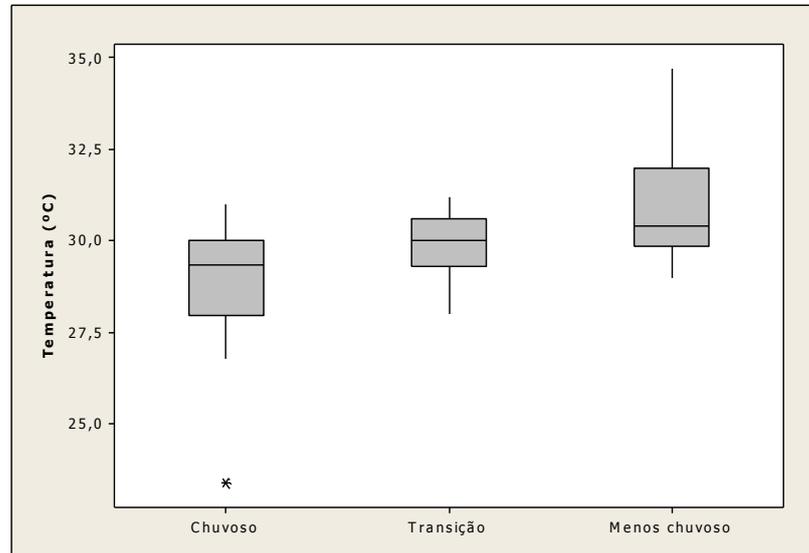
9.1.1 Temperatura

A temperatura ocupa um papel importante em relação à qualidade das águas, devido ao fato de ser inversamente proporcional a solubilidade dos gases, acelerar reações químicas, assim como, acentua o sabor e o odor das águas naturais; sua amplitude média anual é baixa, na faixa de 1 a 2 °C e independe da temperatura atmosférica (SANTOS, 2008).

A distribuição dos dados de temperatura nos três períodos analisados apresentou valores crescentes do período chuvoso ao menos chuvoso, com uma maior homogeneidade dos dados no período de transição e um valor atípico no período chuvoso (Figura 15). Os valores da mediana foram de 29,3 °C no período chuvoso, 30 °C na transição, enquanto que no período menos chuvoso obteve-se um valor de 30,4 °C. Esses resultados mostram uma pequena influência da sazonalidade na temperatura das águas dos poços estudados. Conforme a Figura 16, o valor de temperatura mais elevado (34°C) foi obtido no período menos chuvoso medido no poço PCT08, enquanto que o menor valor foi obtido no período chuvoso medido no poço PCM17 com valor de 23,4°C. Os valores de temperaturas mais elevados foram observados no período menos chuvoso, com exceção dos poços PCT02, PCM15, 16, 17 e 18, que

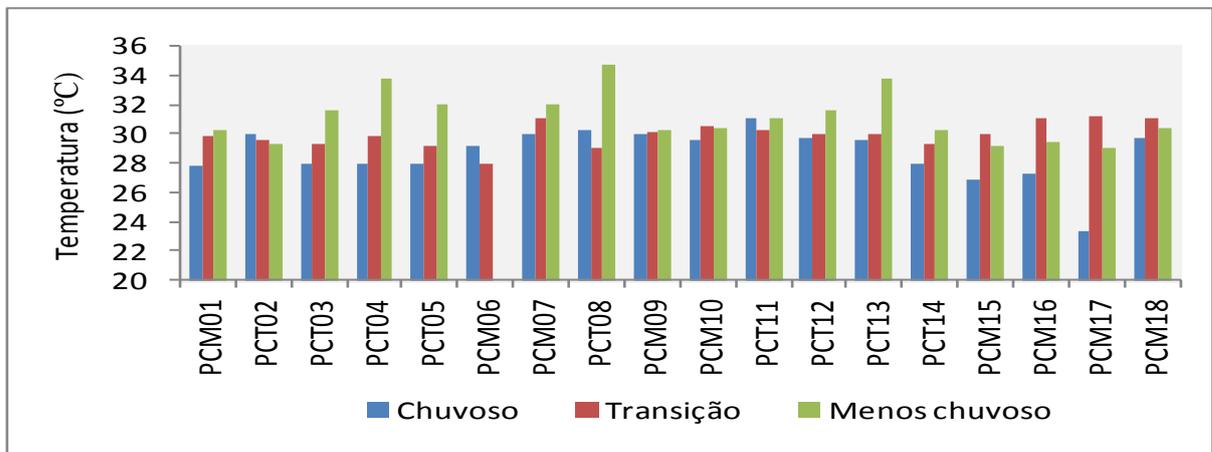
provavelmente estão relacionados às condições ambientais ao entorno dos mesmos. A portaria nº 2.914/2011 do MS não estabelece VMP de temperatura para potabilidade.

Figura 15 – Distribuição dos valores de temperatura nos períodos amostrados.



Fonte: Do autor

Figura 16 - Variação sazonal da temperatura das águas subterrâneas estudadas.



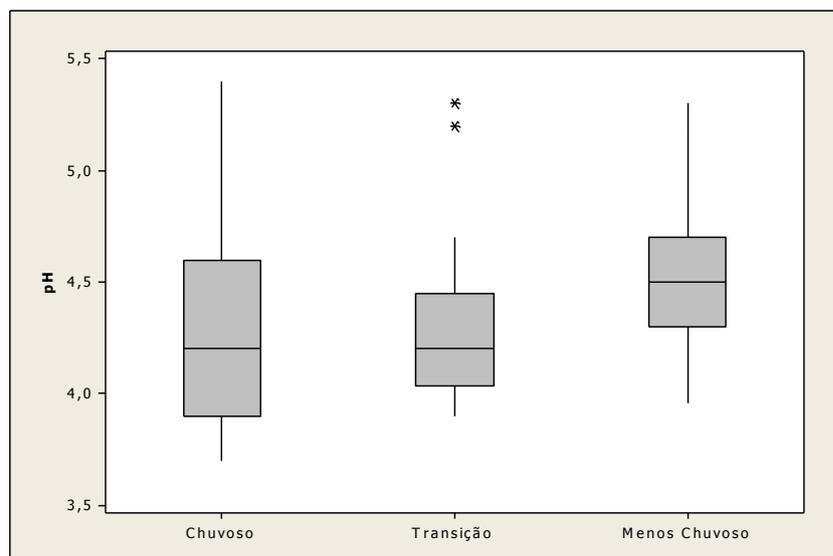
Fonte: Do autor

9.1.2 pH

O pH da água ou solução varia conforme as reações químicas e o fator de equilíbrio entre os íons presentes. Seu controle tem grande importância, por ser responsável pelos processos de solubilização e precipitação que ocorrem durante as etapas de tratamento de água. É controlado também, afim de condicionar a água, de forma que não possua características, nem corrosivas nem incrustantes nas tubulações (CETESB, 2009).

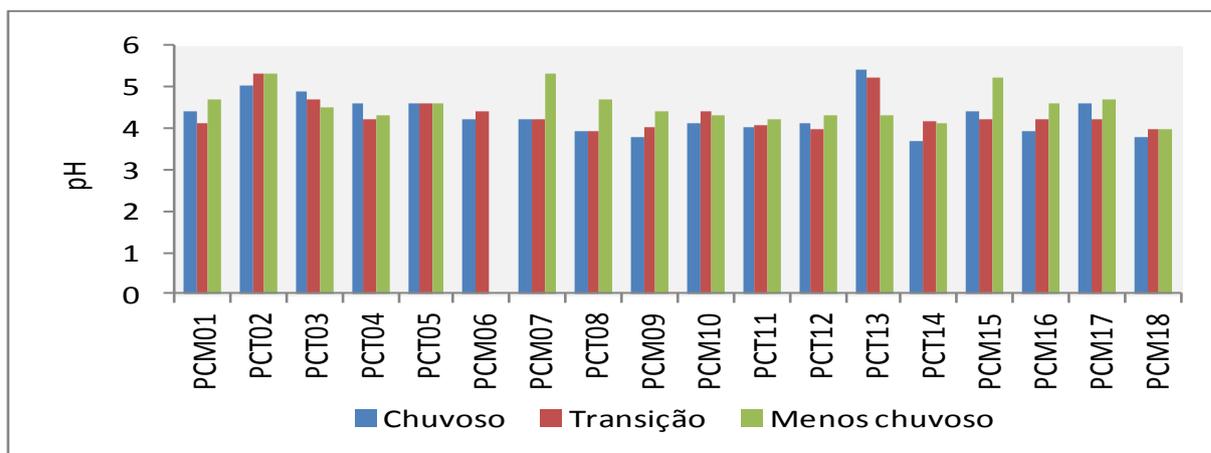
Conforme a Figura 17, o período chuvoso apresentou uma maior amplitude dos valores de pH e dois valores atípicos no período de transição; no período menos chuvoso observou-se uma maior homogeneidade dos dados. Os valores das medianas foram de 4,20; no período chuvoso e transição e 4,50 no menos chuvoso. Os teores de pH das águas analisadas tendem a ser mais ácidos no período chuvoso se comparados aos períodos de transição e menos chuvoso. De acordo com a Figura 18, os valores de pH mais elevados, superiores a 5 foram obtidos nas águas dos poços PCT02, PCM07, PCT13 e PCM15. Valores inferiores a 4 foram detectados no período chuvoso nas amostras PCT08, PCM09, PCT14, PCM16 e PCM18. Em pelo menos 7 poços, o pH se mostrou marcadamente mais elevado na época menos chuvosa (PCM01, PCT02, PCT05, PCM07, PCT08, PCM15 e PCM17). A amostra PCT18 apresentou valores inferiores a 4 nos três períodos amostrados

Figura 17 - Distribuição dos valores de pH nos períodos amostrados.



Fonte: Do autor

Figura 18 - Variação sazonal do pH das águas subterrâneas estudadas.



Fonte: Do autor

Os valores diferenciados de pH, nos poços PCT13 e PCT02 refletem as condições sanitárias das vizinhanças. No primeiro, a fossa séptica está localizada a 3,5 m de distância, enquanto que no PCT02 constatou-se um esgoto a céu aberto próximo ao mesmo, contribuindo para a proliferação de organismos coliformes, formação de amônio que reflete um aumento no pH da água.

Valores de pH na ordem de 5 a 6 foram obtidos em algumas águas de poços rasos durante os estudos desenvolvido por Gaspar (2001), na bacia hidrográfica do Igarapé Mata Fome-Belém, evidenciando a influência de resíduos domésticos (esgotos e lixo) sobre a qualidade das águas. Destaca-se, ainda, o estudo desenvolvido por Paranhos (2010), em Icoaraci-Belém, em alguns poços rasos, nos quais foram encontrados pH de 4,14 no período menos chuvoso e 3,98 no período chuvoso.

Todas as amostras analisadas apresentaram teores abaixo do valor mínimo estabelecido pela portaria nº 2.914/2011 do MS, que recomenda a faixa de 6,0 a 9,5 para potabilidade. Essa acidez pode ser explicada pela presença de gás carbônico (CO₂) dissolvido nas águas e de ácidos húmicos e fúlvicos provenientes da degradação de resíduos orgânicos do solo. De acordo com Sperling (2014), o pH não tem implicação sanitária. No entanto, Matta (2002) ressalta que águas ácidas, consumidas por longo período, podem ocasionar problemas à saúde humana como, por exemplo, doenças relacionadas ao sistema gastrointestinal.

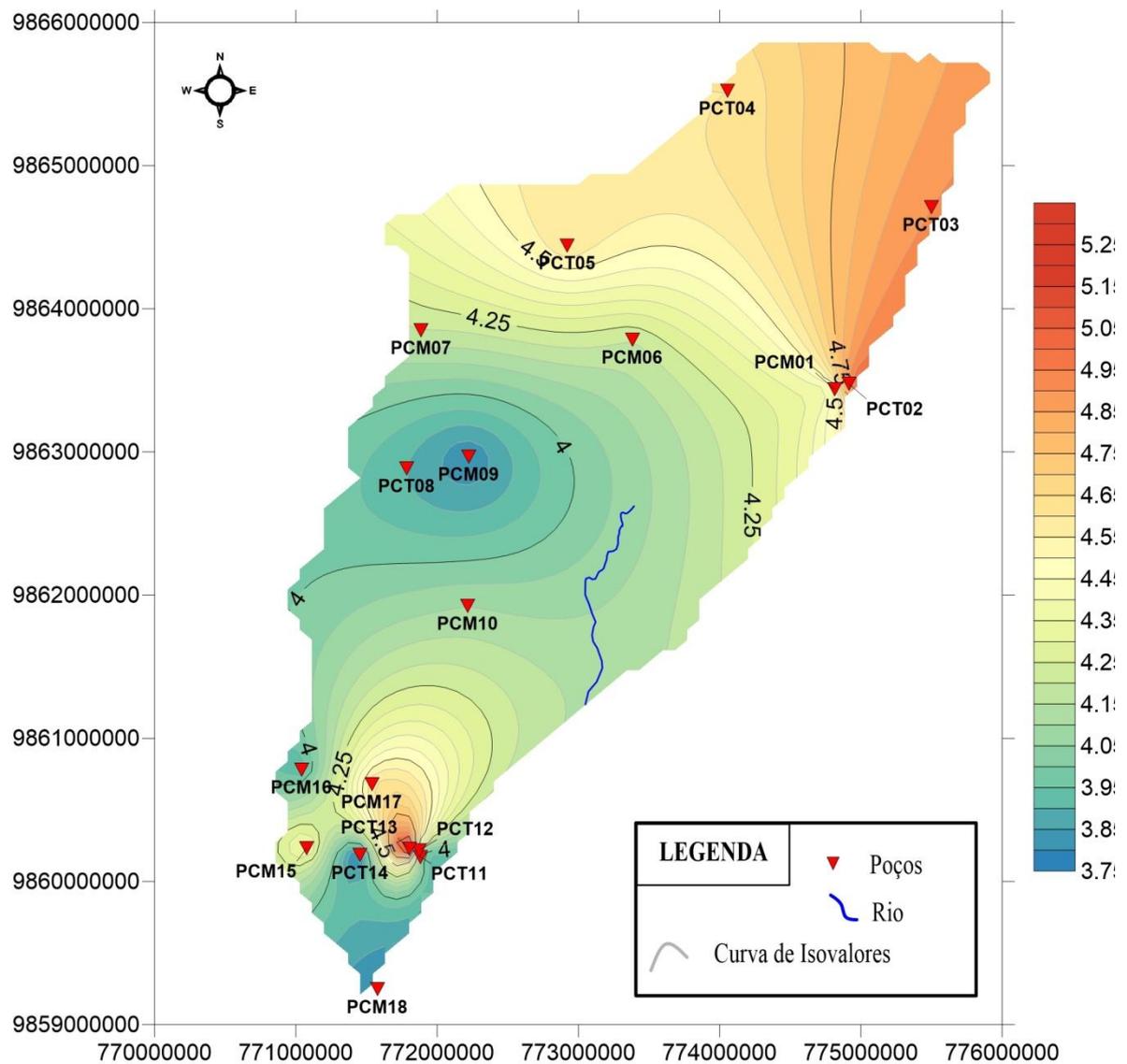
As Figuras 19, 20 e 21 apresentam a distribuição espacial do pH nos três períodos amostrados. No período chuvoso o pH apresentou valores que variam de 3,7 a 5,4 com os mais baixos teores localizados na parte Central e Sul da área estudada, seguindo um aumento para as

zonas Nordeste (NE) e Sudoeste (SW), com dois picos de valores (5,4 e 5) nas amostras PCT13 e PCT02 respectivamente.

Na transição (Figura 20), o pH segue a mesma tendência do período chuvoso, com índices mais baixos na área Central e Sul; nas zonas NE e SW estão localizados os valores mais elevados. Os valores de pH nesse período variam de 3,9 a 5,3.

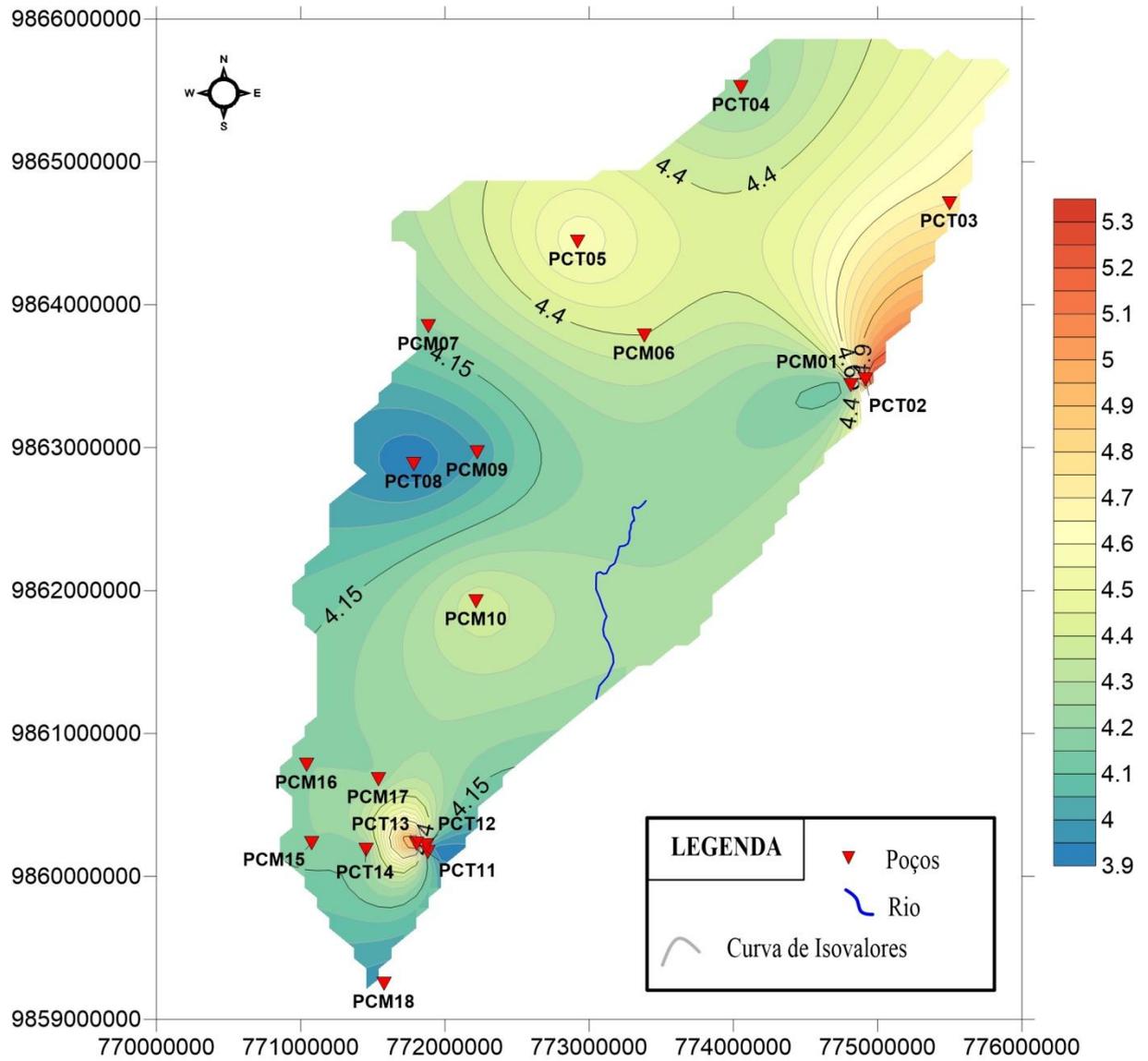
No período menos chuvoso (Figura 21), as curvas de valores de pH mostram uma variação de 3,96 a 5,3, com baixos valores situados na parte sudeste (SE), Central e Noroeste (NW), os maiores valores estão situados nas porções SW, Oeste (W) e NE, caracterizando três picos de valores.

Figura 19 - Isoletes de pH na Ilha de Cotijuba no período chuvoso.



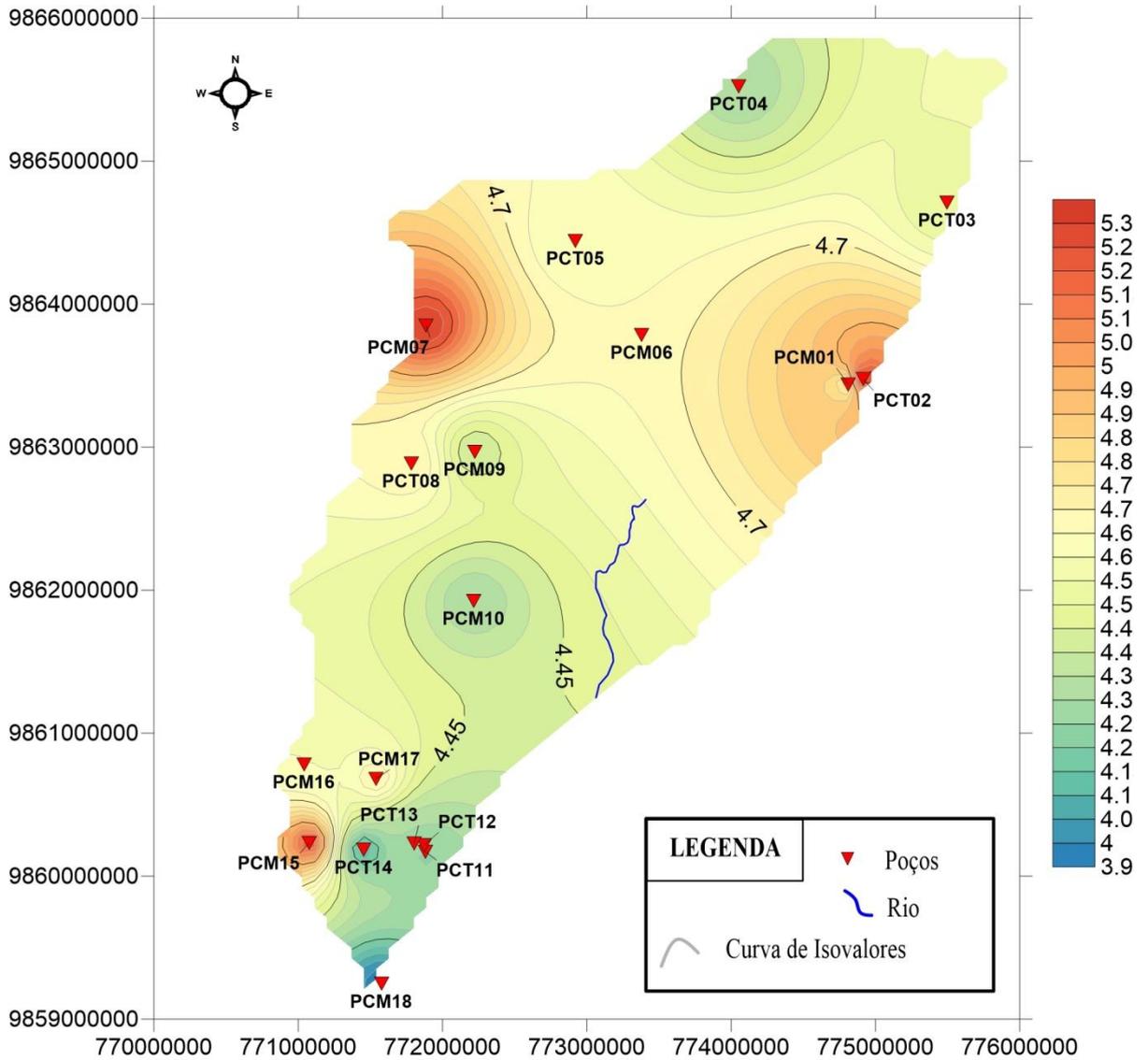
Fonte: Do autor

Figura 20 - Isoletes de pH na Ilha de Cotijuba no período de transição.



Fonte: Do autor

Figura 21 - Isoetes de pH na Ilha de Cotijuba no período menos chuvoso.



Fonte: do autor

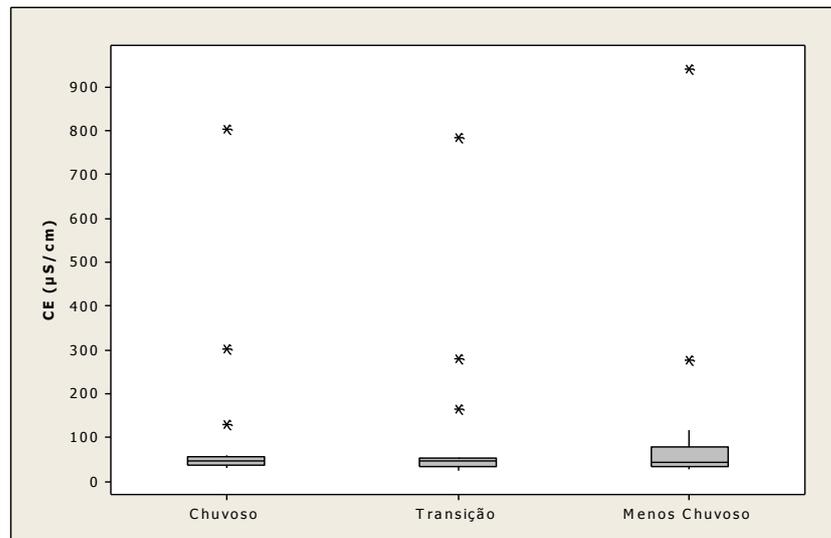
9.1.3 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica pode ser definida como a capacidade de uma substância de conduzir corrente elétrica. Quanto maior a quantidade de íons dissolvidos na água, maior a sua condutividade elétrica.

A distribuição dos dados de CE apresentou, em ambos os períodos, uma similaridade e valores atípicos, sendo que a maior amplitude foi observada, no período menos chuvoso (Figura 22). O valor da mediana de CE obtidos no período chuvoso e na transição foi de 47,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e no período menos chuvoso o valor foi de 44,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Esses valores relativamente baixos, encontrados na maioria das águas analisadas, são devidos a forte influência das águas pluviais.

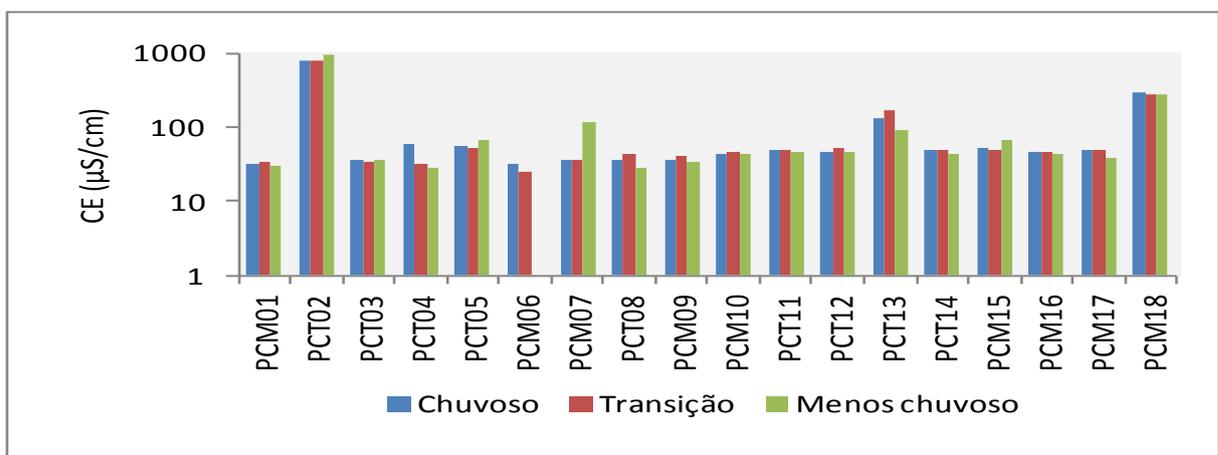
Nos poços analisados (Figura 23), o menor valor de condutividade elétrica (CE) foi de 25,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ obtido na amostra PCM06, no período de transição. Teores fora dos padrões das águas estudadas foram obtidos nos poços PCT13 e PCM18 com valores de 165,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na estiagem e 303 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no período chuvoso respectivamente. O poço PC02 apresentou valor elevado de condutividade elétrica nos três períodos analisados, chegando a 941 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no período menos chuvoso. Os valores elevados de condutividade elétrica neste poço, provavelmente, estão relacionados a influência de fossa e esgoto ao entorno do mesmo. De acordo com Cabral (2004), teores elevados de condutividade elétrica nas águas dos Aquíferos livres são um forte indicador de contaminação. Em estudo hidroquímico das águas do sistema Aquífero Barreiras nos municípios de Castanhal e Santa Maria do Pará (PA), Silva (2014) obteve valores de CE que variaram de 45,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 193,90 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A portaria nº 2.914/2011 do MS não estabelece VMP para este parâmetro.

Figura 22 - Distribuição dos valores de CE nos períodos amostrados.



Fonte: Do autor

Figura 23 - Variação sazonal da CE das águas subterrâneas estudadas.



Fonte: Do autor

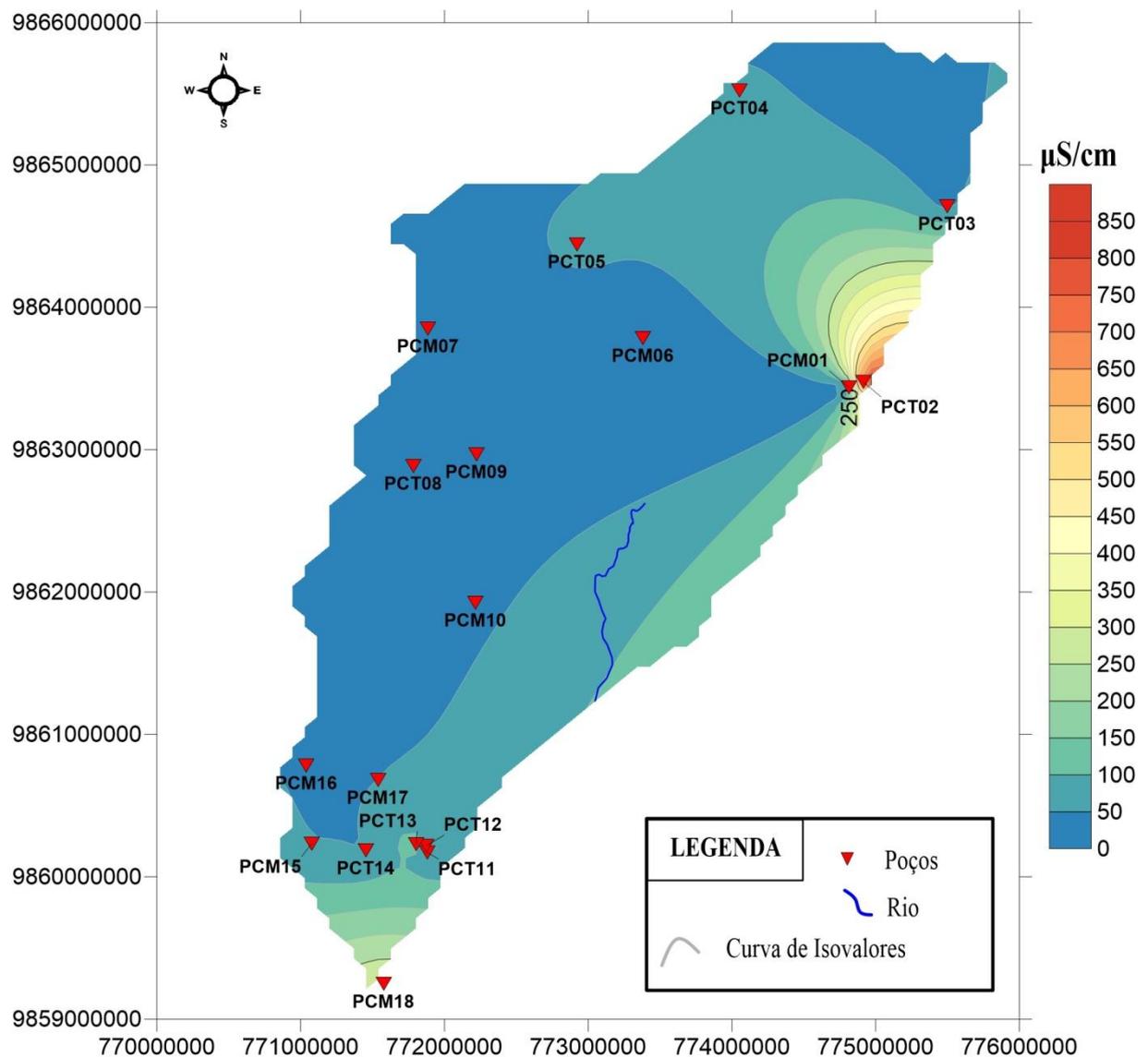
As Figuras 24, 25 e 26 mostram as curvas de isotores de CE no período chuvoso, na transição e no período menos chuvoso respectivamente.

Como se pode observar, as distribuições espaciais dos valores de CE apresentam o mesmo comportamento nos três períodos sazonais, porém com maior valor obtido no período menos chuvoso. É importante ressaltar que altos valores de CE são acompanhados com os teores mais elevados dos íons Na^+ , K^+ , Cl^- , Ca^{2+} e Mg^{2+} .

O maior valor de CE está situado na zona NE representado pela amostra PCT02 (941 $\mu\text{S}/\text{cm}$) que acompanha o mesmo sentido de fluxo da água subterrânea. Essa amostra encontra-se em área de baixa cota topográfica e próxima a área de poluição por esgoto.

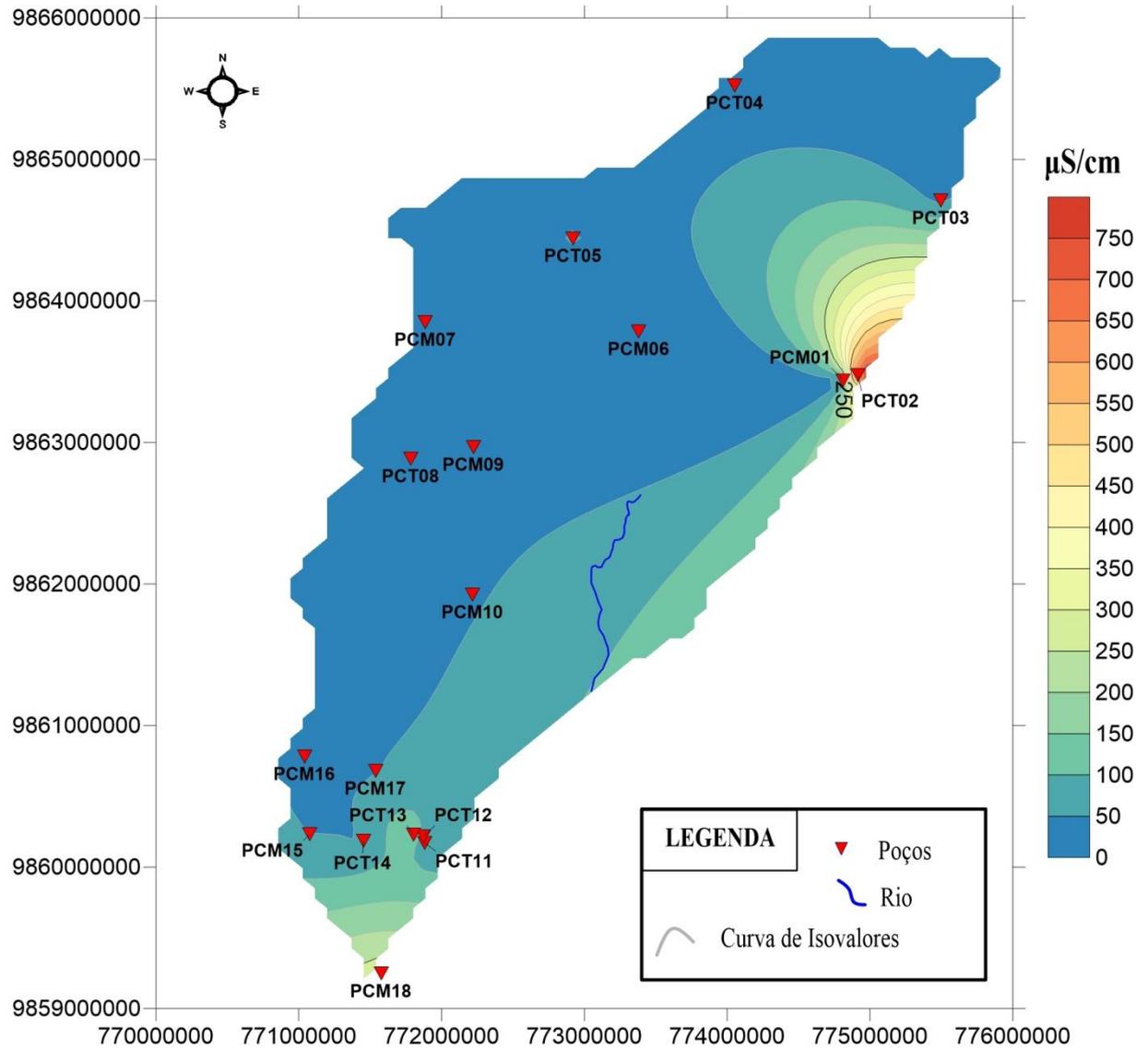
Os valores intermediários de CE encontram-se na zona SW da área estudada obtidos nas amostras PCT13 e PCM18. Esse resultado é um reflexo da forte influência da urbanização nessa área gerando uma maior quantidade de resíduos domésticos. Conforme a CETESB (2009), a CE caracteriza medida indireta de poluição e, teores acima de $100 \mu\text{S}/\text{cm}$ indicam ambientes impactados. Na parte Central e NW com exceção da amostra PCM07, no período de menor precipitação pluviométrica (Figura 26), os valores de CE tendem a ser mais baixos.

Figura 24 - Isoetes de CE, na ilha de Cotijuba, no período chuvoso.



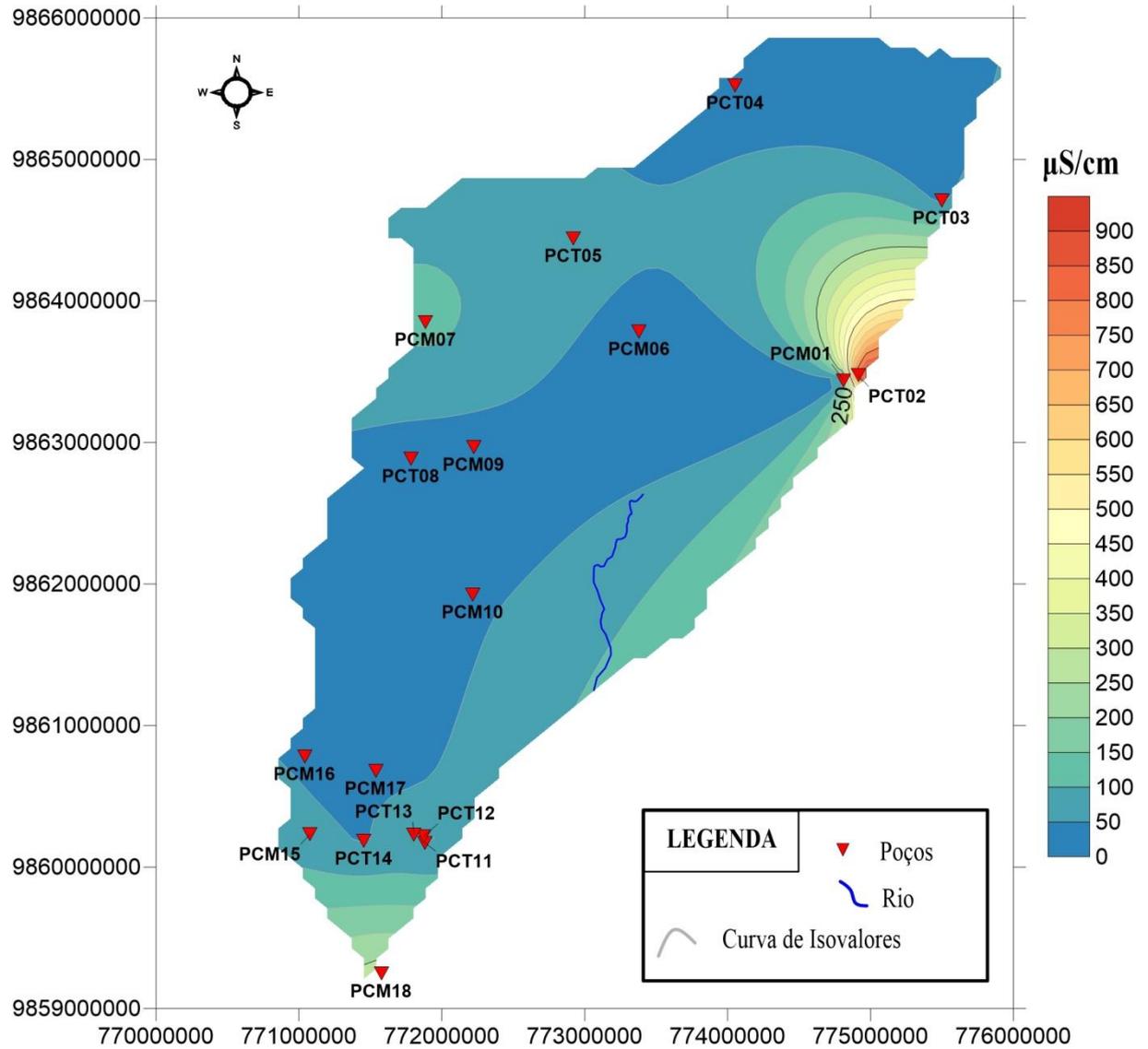
Fonte: Do autor

Figura 25- Isoetes de CE na ilha de Cotijuba, no período de transição.



Fonte: Do autor

Figura 26 - Isoletes de CE na ilha de Cotijuba, no período menos chuvoso.



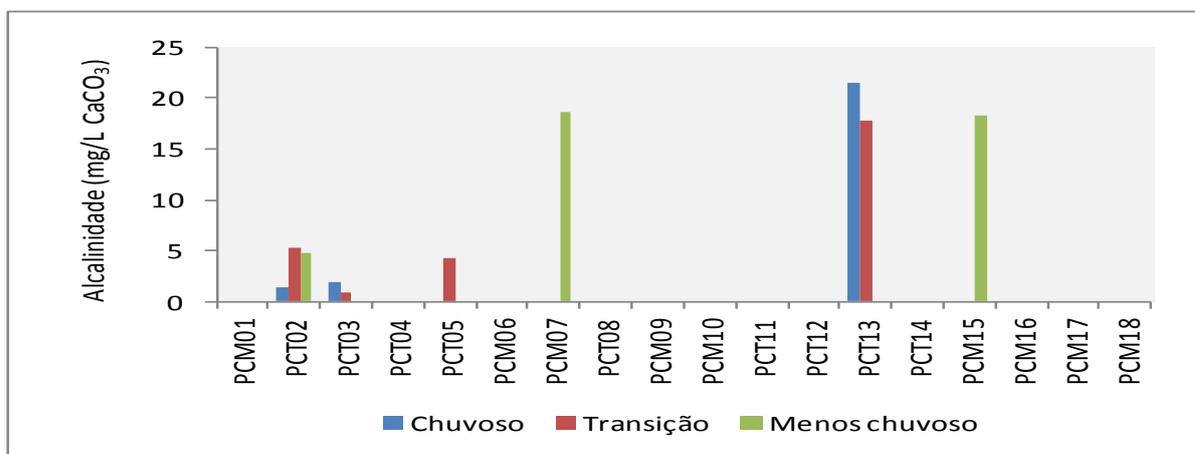
Fonte: Do autor.

9.1.4 Alcalinidade total

A alcalinidade é a capacidade da água de neutralizar ácidos. Caracteriza a presença de carbonatos (CO_3), hidróxidos (OH^-) e bicarbonatos (HCO_3^-). Segundo Von Sperling (2014), este parâmetro assume grande importância em alguns processos que ocorrem em estações de tratamento de água. Os valores de alcalinidade são expressos como equivalente de carbonato de cálcio (CaCO_3).

Na maioria das águas analisadas não foi detectado valores de alcalinidade total (Figura 27). Teores acima de 15 mg/L foram obtidos nas amostras PCM07 e PCM15 no período menos chuvoso e na amostra PCT13 nos períodos chuvoso e transição, sendo que o maior valor foi de 21,6 mg/L no período chuvoso na amostra PCT13. As amostras que apresentaram valores de alcalinidade significativos, foram àquelas localizadas próximas a esgoto ou fossa séptica. De acordo com Moraes (2008), altos valores de alcalinidade estão associados à decomposição da matéria orgânica. A portaria nº 2.914/2011 do MS, não estabelece especificação para valores de alcalinidade.

Figura 27 - Variação sazonal da Alcalinidade Total das águas subterrâneas estudadas.



Fonte: Do autor

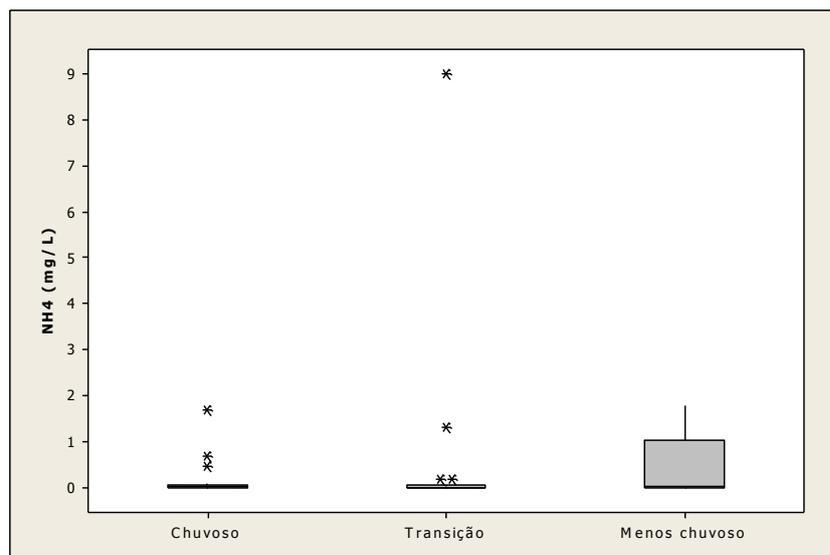
9.1.5 Amônio

O nitrogênio nas águas pode apresentar-se nas formas de nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$), nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-). Sendo que a principal fonte de nitrogênio amoniacal são, em geral, os esgotos sanitários devido à hidrólise da uréia na água. O nitrogênio orgânico e o nitrogênio amoniacal são fortes indicadores de poluição recente nos recursos hídricos (PIVELE; KATO, 2005).

Conforme a Figura 28, os valores de amônio não apresentaram uma homogeneidade nos períodos analisados. No período chuvoso e de transição houve uma similaridade entre os dados e pontos atípicos, com uma maior amplitude no período menos chuvoso. O valor da mediana no período chuvoso foi de 0,01 mg/L e de 0,00 nos períodos de transição e menos chuvoso.

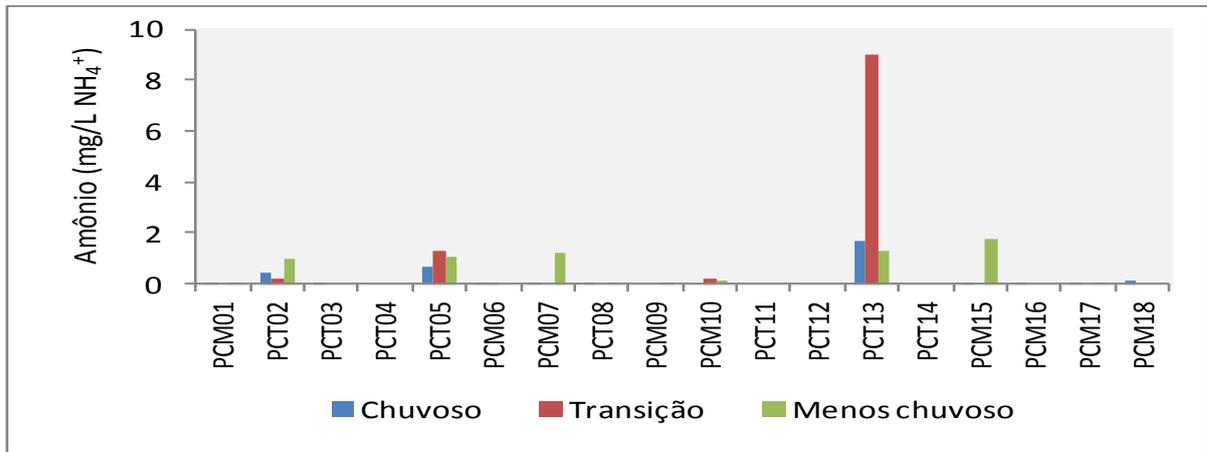
De acordo com a (Figura 29), os maiores valores de amônio foram obtidos no período menos chuvoso, sendo que a água do poço PCT13 apresentou valores significativos deste íon nos três períodos analisados, chegando a 9 mg/L na transição. Esse resultado indica que a água desse poço pode ter sido contaminada com a matéria orgânica decomposta de fossa situada próxima ao poço. Altas concentrações de amônio nas águas pode ser um indício de formação do íon nitrato em ambientes oxidantes aumentando, consideravelmente, a concentração deste último (GASPAR, 2001; CABRAL, 2007). A portaria n° 2.914/2011 do MS não estabelece valor de referência para o íon NH_4^+ .

Figura 28 - Distribuição dos valores de amônio nos períodos amostrados.



Fonte: Do autor

Figura 29 - Variação sazonal do íon amônio das águas subterrâneas estudadas.



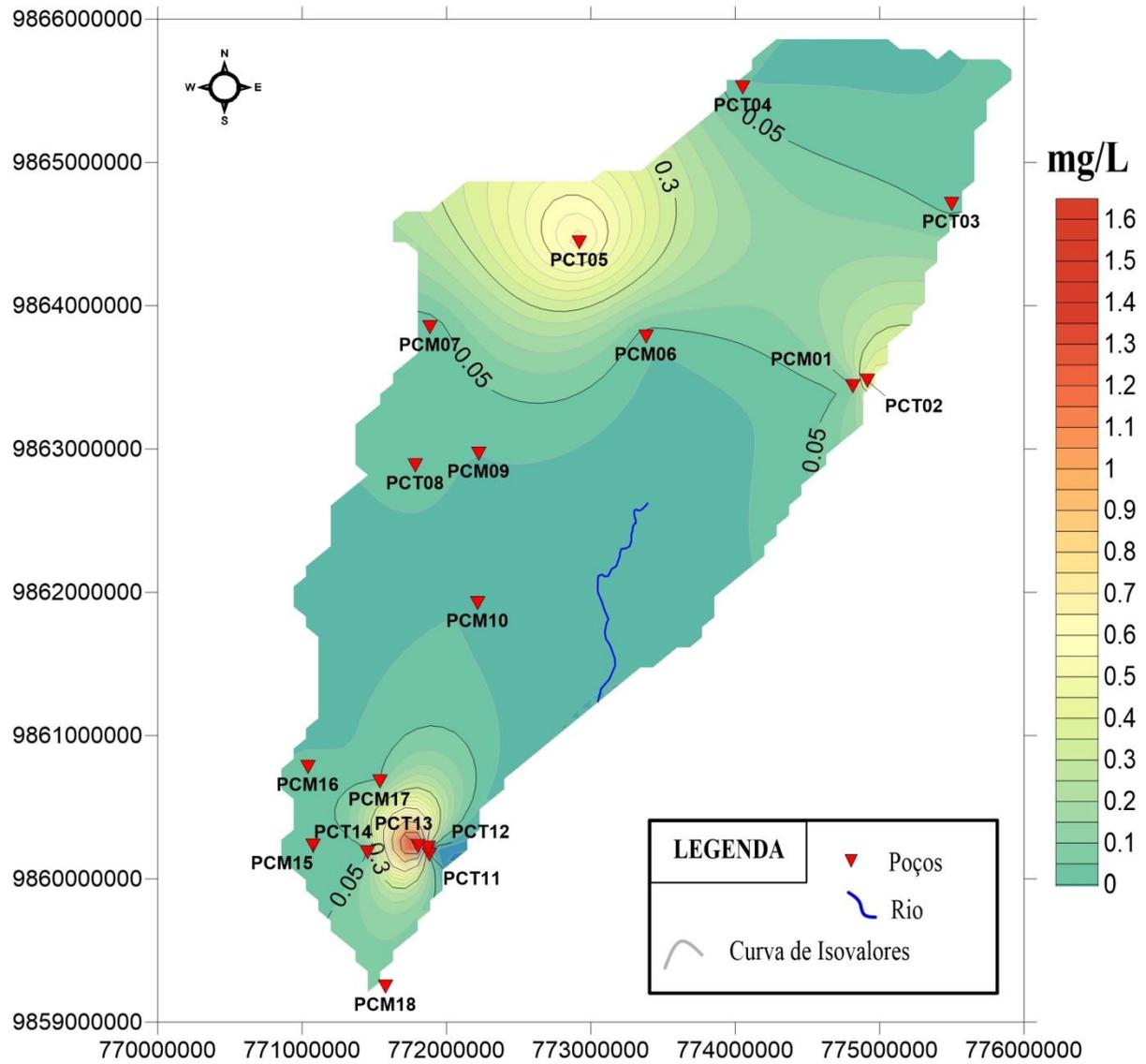
Fonte: Do autor

As Figuras 30, 31 e 32 representam a distribuição espacial do íon amônio nos períodos chuvoso, transição e menos chuvoso, respectivamente. No período chuvoso (Figura 30) observa-se uma maior concentração na zona SW da área, representada pela amostra PCT13; constata-se uma diminuição dos teores na área central, com um pequeno aumento dos teores na parte NW e NE.

Na transição (Figura 31) pode-se observar um comportamento semelhante ao período chuvoso com aumento dos teores de amônio na parte SW, com baixos teores na parte leste (E), porém, seguido de um pequeno aumento na zona NW da área estudada.

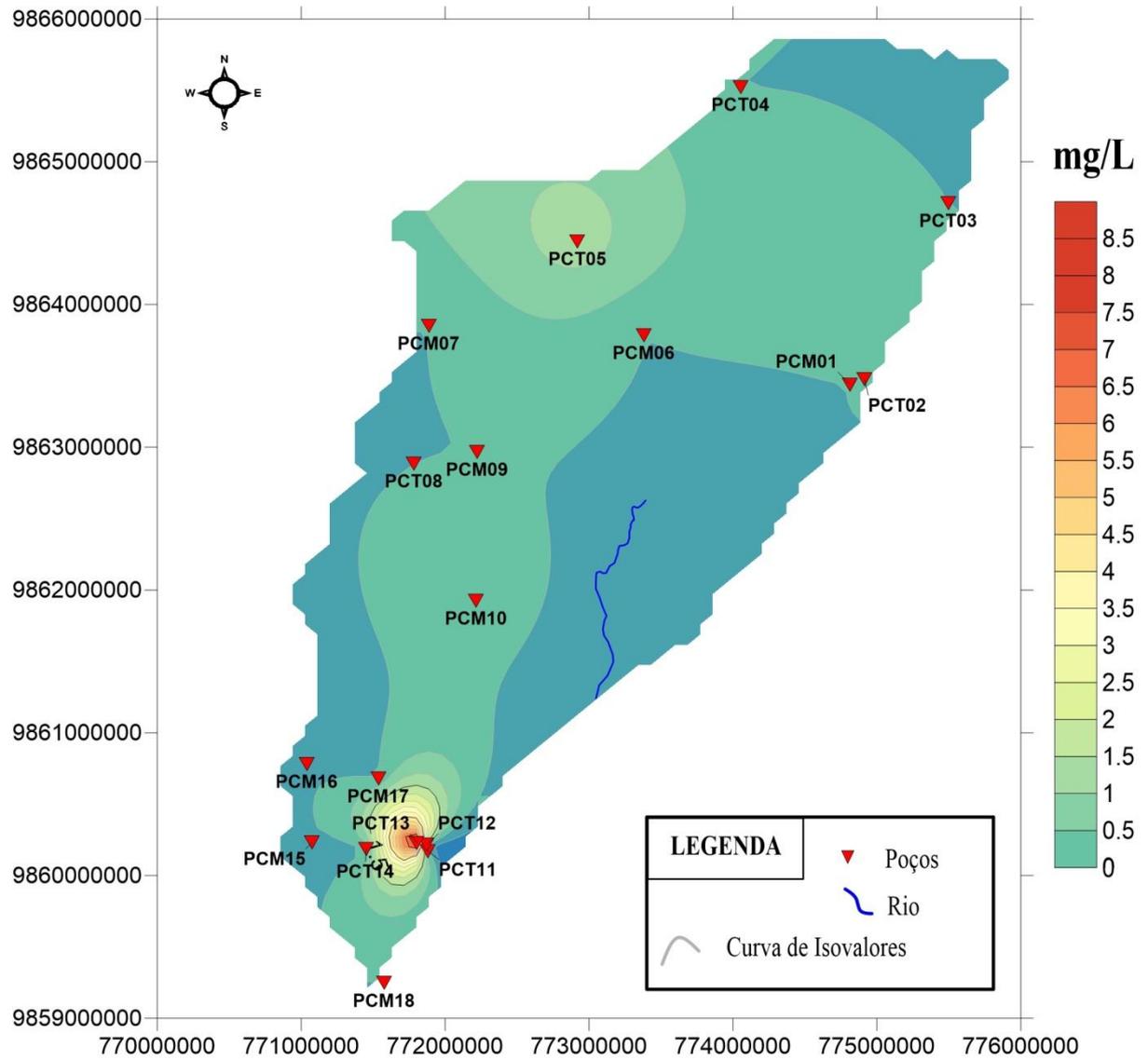
No período menos chuvoso (Figura 32), a evolução dos teores de amônio segue da parte central às zonas SW, W e NE representados pelas amostras PCT13, PCT15, PCM05, PCM07 e PCT02, respectivamente.

Figura 30 - Isoletes de NH_4^+ na ilha de Cotijuba, no período chuvoso.



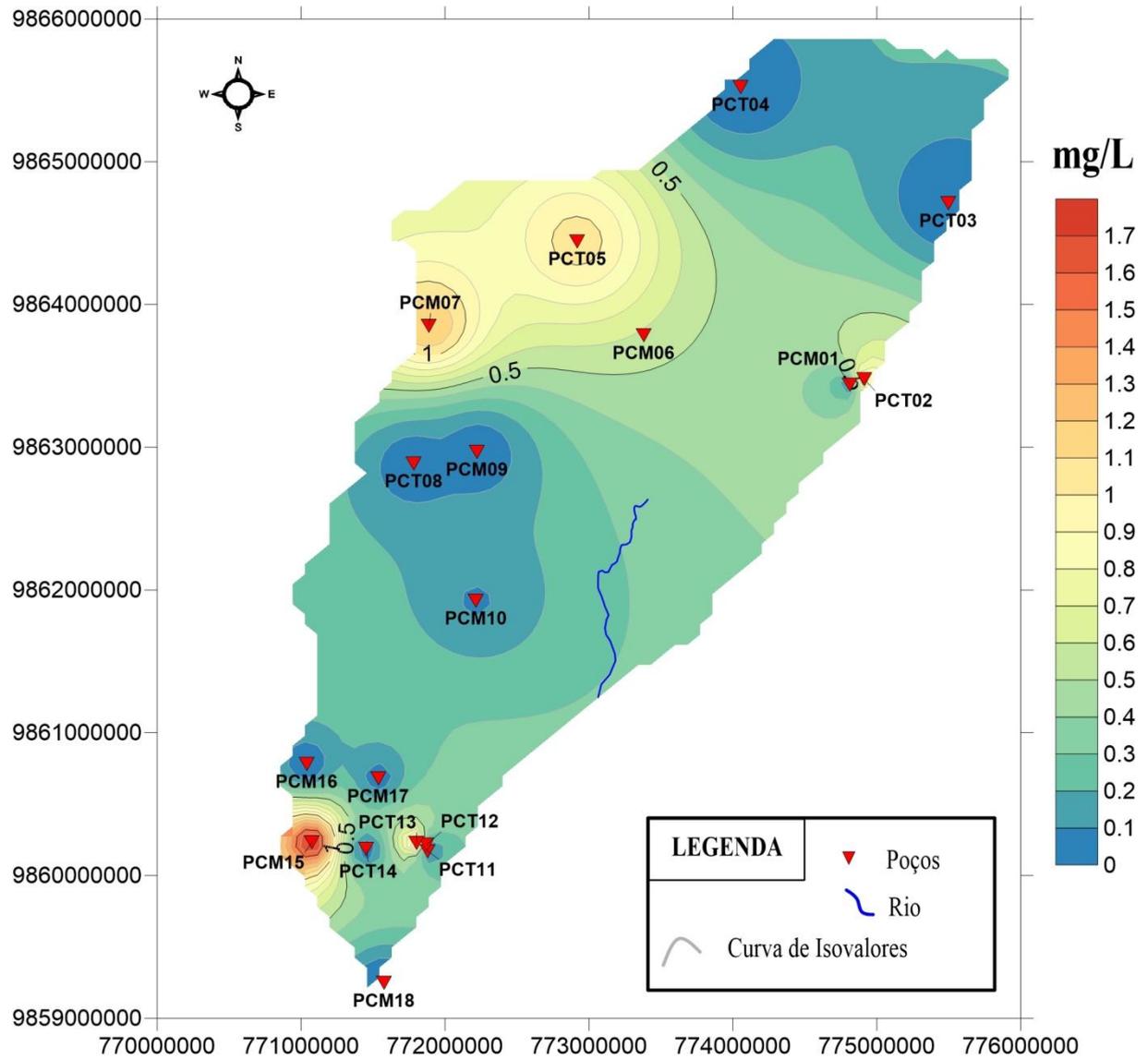
Fonte: Do autor

Figura 31 - Isoletes de NH_4^+ na ilha de Cotijuba no período de transição.



Fonte: Do autor

Figura 32 - Isoletes de NH_4^+ na ilha de Cotijuba no período menos chuvoso.



Fonte: Do autor

9.1.6 Nitrato

O nitrato (NO_3^-) é a forma mais estável do ciclo do nitrogênio em condições aeróbicas e, sua origem no ambiente aquático superficial e subterrâneo, provém predominantemente da decomposição da matéria orgânica proveniente de fossas sépticas, lixões, esgotos não tratados, etc. (MELO JUNIOR, 2003). Em geral, o teor máximo de nitrato para as águas de consumo não deve ser superior a 10 mg/L N- NO_3^- . Em quantidades excessivas, o nitrato contribui para o aparecimento de meta-hemoglobinemia (cianose) em bebês, Silva (2010 apud CASTRO, 2014).

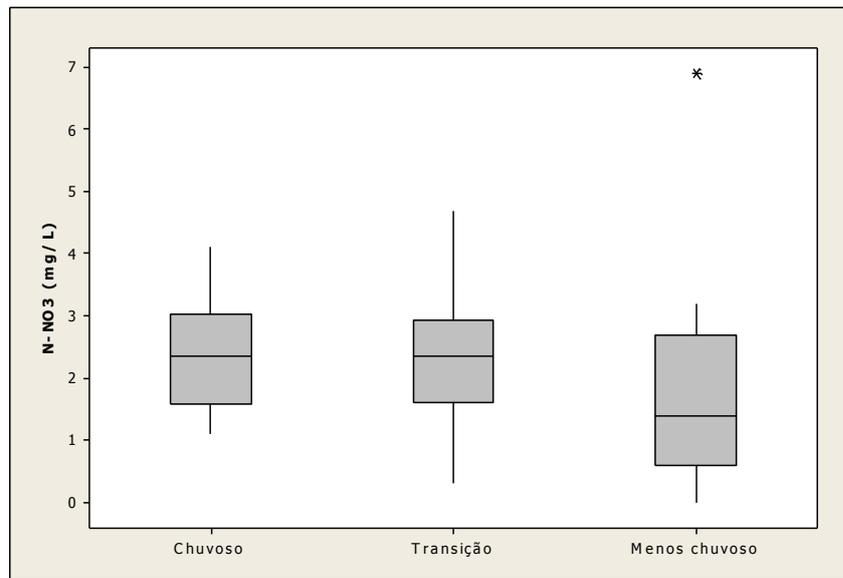
O nitrato apresenta alta mobilidade e persistência nas águas subterrâneas, constituindo um forte indicador de contaminação e, em determinadas condições pode produzir nitrosaminas e nitrosamidas, substâncias cancerígenas (CASTRO, 2014). Sua concentração e distribuição nas águas subterrâneas dependem da disponibilidade de fontes contaminantes; características do solo e da zona insaturada; irrigação em áreas agrícolas e com águas contaminadas com matéria orgânica; águas pluviais; fluxo subterrâneo; heterogeneidade do aquífero e do lençol freático (MELO JUNIOR, 2003).

O período chuvoso apresentou uma pequena variação de valores de nitrato e uma maior homogeneidade dos dados, enquanto no menos chuvoso houve uma maior amplitude e um valor extremo (Figura 33). Os valores das medianas obtidos para o período chuvoso, estiagem e menos chuvoso foram 2,35; 2,35 e 1,4 mg/L, respectivamente. Os teores das médias para os mesmos períodos foram de 2,39; 2,32 e 1,81mg/L, portanto estão um pouco mais elevados dos obtidos por Bahia, Fenzl e Piratoba Morales (2006), nas águas subterrâneas localizadas entre o Aurá e o lago Água Preta/Belém, onde o valor médio de nitrato obtido foi de 1, 75 mg/L. Os autores atribuíram esse resultado as águas que, provavelmente, não sofrem influência antrópica.

Na maioria das amostras analisadas, os valores de nitrato encontram-se um pouco mais elevados no período chuvoso quando comparados com os outros dois períodos, porém o poço PCT13 apresentou um valor mais expressivo (6,9 mg/L) no período menos chuvoso (Figura 34). Mesquita (2012) obteve o maior valor de nitrato (1, 75 mg/L), no período chuvoso. Durante o período de maior precipitação o nível d'água do aquífero livre torna-se mais próximo da superfície do terreno, portanto sujeito a uma maior contaminação, proveniente de diversas fontes, como por exemplo, fossas sépticas (ARAÚJO, 2001).

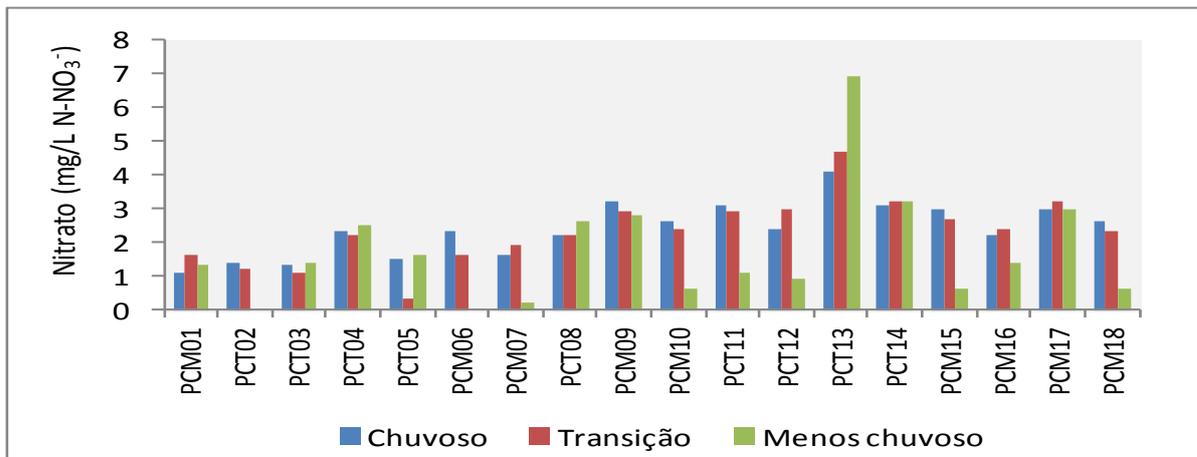
Os valores de nitrato obtidos nas análises estão em conformidade com a portaria n° 2.914/2011 do MS que estabelece o VMP de 10 mg/L N- NO_3^- , para abastecimento humano.

Figura 33 - Distribuição dos valores de nitrato nos períodos amostrados.



Fonte: Do autor

Figura 34 - Variação sazonal do nitrato das águas subterrâneas estudadas.



Fonte: Do autor

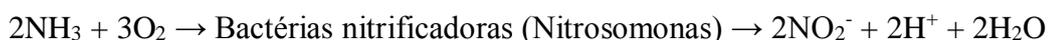
As Figuras 35, 36 e 37 mostram o comportamento sazonal do íon nitrato e amônio na área estudada. De acordo com esses gráficos, os teores de nitrato e amônia nos três períodos analisados se apresentam de maneira inversamente proporcional, isto é, quando a concentração de amônio diminui, há uma propensão no aumento das concentrações de nitrato e consequentemente de nitrato. Essa relação inversa pode ser explicada pelas equações apresentadas em parágrafo subsequente.

A fixação do nitrogênio (N_2) se dá através de processos industriais, processos de combustão e por processos naturais pela ação bacteriana que, retiram o nitrogênio do ar deixando-o em forma biologicamente disponíveis (nitrato e amônia) para as plantas. A fixação

biológica de nitrogênio é essencial para o crescimento de plantas sem fertilizantes sintéticos (ROCHA; ROSA; CARDOSO, 2009):



O processo de transformação de amônia a nitrato dá-se o nome de *nitrificação* realizado através da ação de bactérias aeróbicas autotróficas nitrificadoras (Nitrosomonas, Nitrobacter) (MELO JUNIOR, 2003):

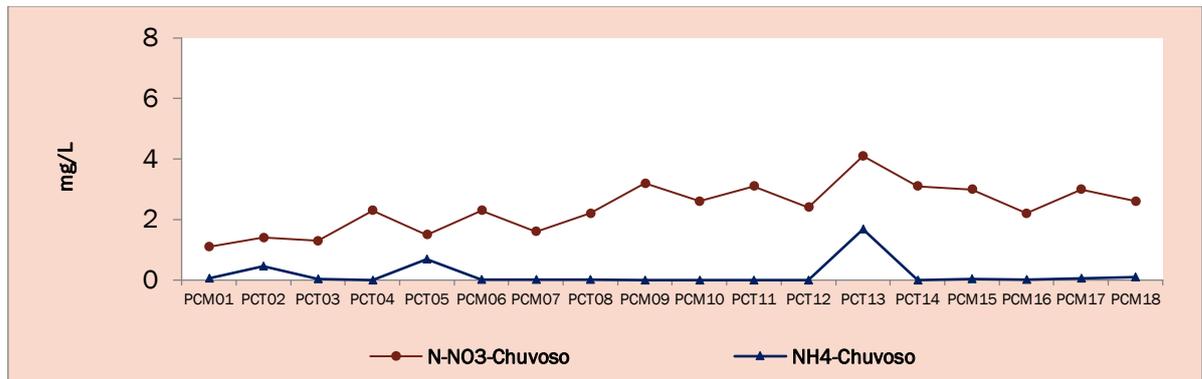


De acordo com a Figura 35, no período chuvoso, o nitrato é a espécie química predominante na totalidade das amostras analisadas; na transição (Figura 36) 89% apresentaram valores de nitrato maiores em relação ao íon amônio e no período menos chuvoso (Figura 37) 78% das amostras as concentrações de nitrato estão mais expressivas se comparados com as concentrações de amônio.

Os poços PCT05 e PCT13 (Figura 36 e 37) apresentaram uma diminuição nas concentrações de amônio (de 1,32 para 1,05 e de 9 para 1,3) do período de transição para o menos chuvoso respectivamente. Enquanto que esse comportamento foi acompanhado por um aumento da concentração de nitrato (de 0,3 para 1,6 e de 4,7 para 6,9) nesses poços, sugerindo o processo de nitrificação. O nitrato acumula-se nas águas e em condições anaeróbicas é convertido para N_2 atmosférico. Este fato resulta num processo de *desnitrificação* com formação de compostos intermediários, NO_2^- , NO e N_2O produzidos por bactérias anaeróbicas autotróficas e heterotróficas desnitrificadoras (pseudomonas e outras bactérias) (ROCHA, 2009):

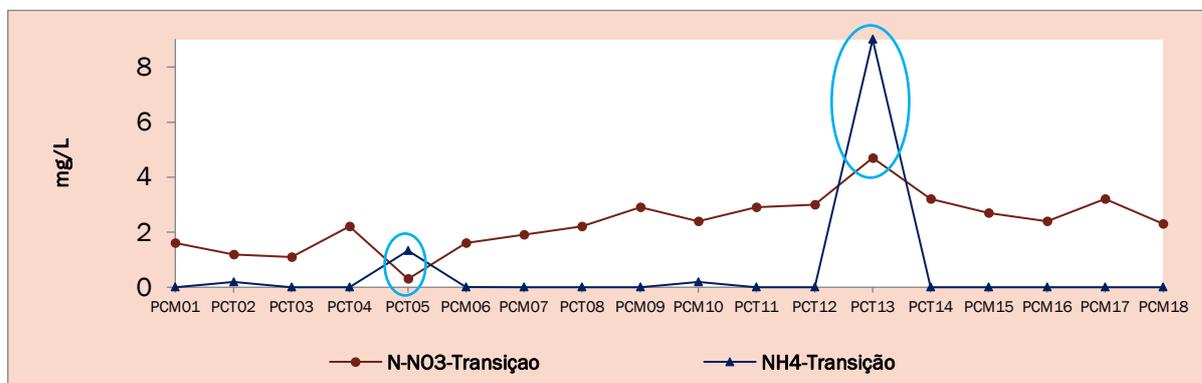


Figura 35 - Variações do nitrato e amônio no período chuvoso.



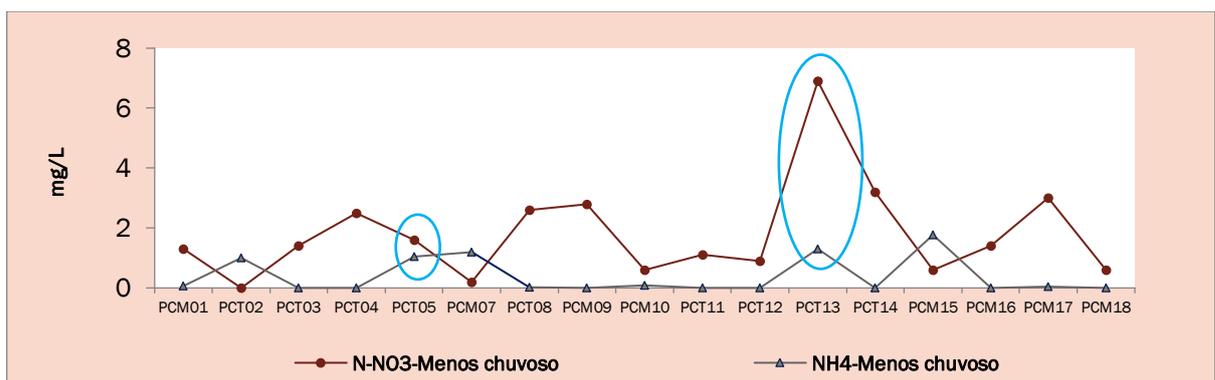
Fonte: Do autor

Figura-36 - Variações do nitrato e amônio na Transição.



Fonte: Do autor

Figura 37 - Variações do nitrato e amônio no período menos chuvoso.



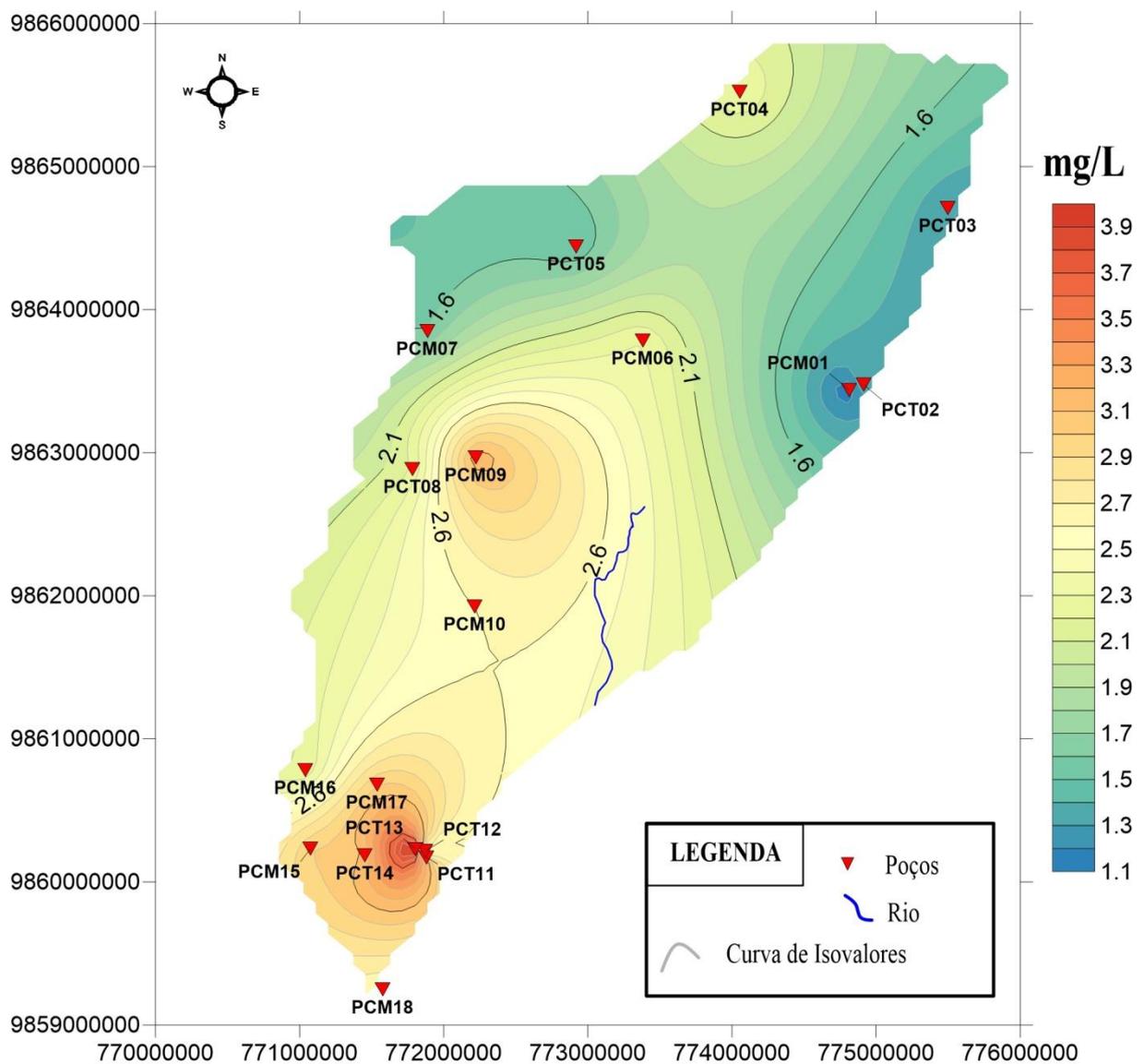
Fonte: Do autor

As Figuras 38, 39 e 40 mostram as curvas de isóteores de nitrato nos três períodos sazonais. Nesses períodos a distribuição espacial desse constituinte químico apresenta comportamento semelhante, com os valores mais elevados obtidos na porção SW, nas amostras

PCT13 (6,9 mg/L), PCT14 (3,2 mg/L) e PCM17 (3,2 mg/L) nos três períodos amostrados, com uma tendência de diminuição dos valores localizados na parte W e NE.

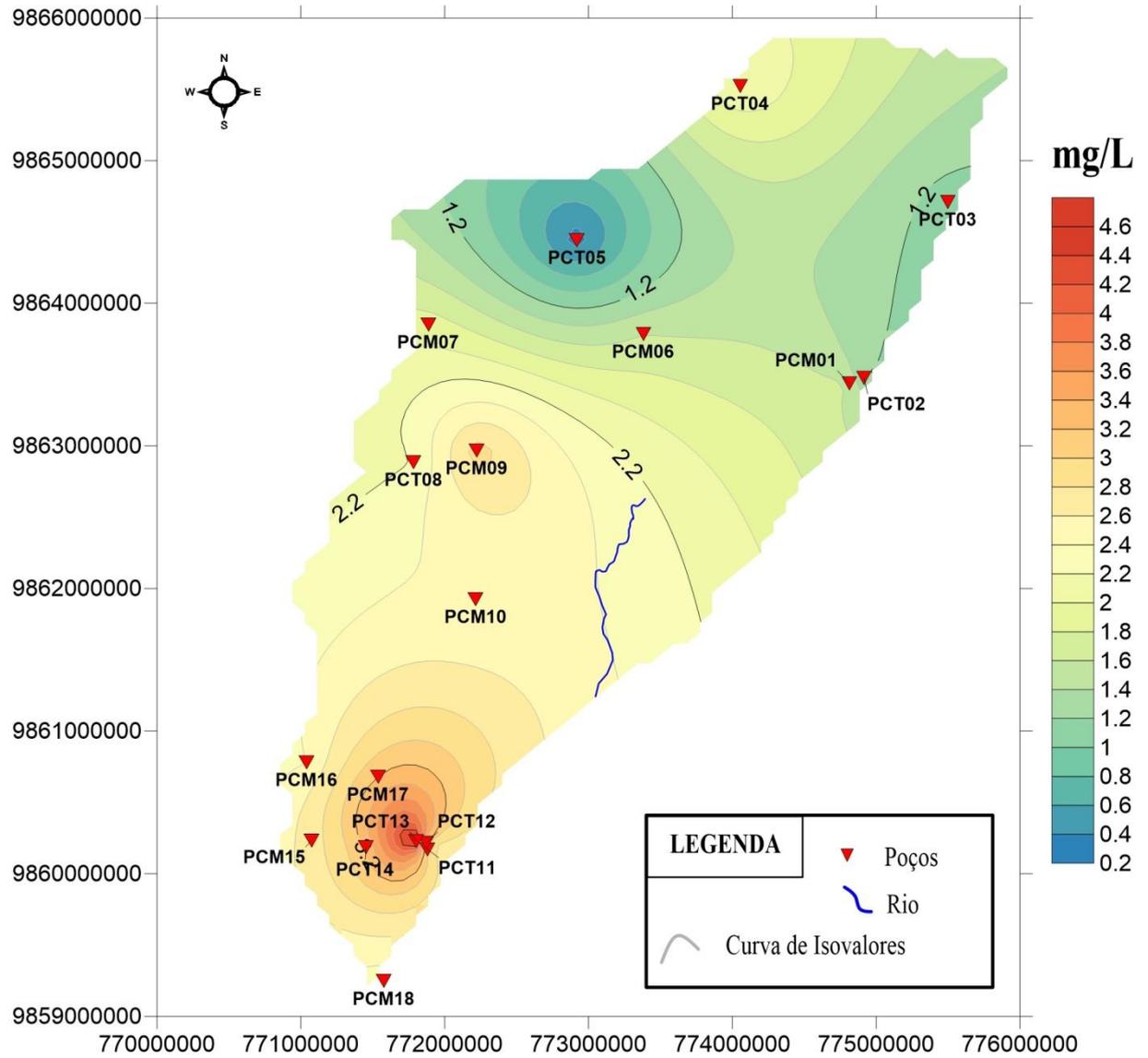
Cabe ressaltar, que a zona SW da área é representada pela parte mais habitada da ilha, portanto, sujeita a uma maior densidade de fossas sépticas e resíduos domésticos, associados aos serviços inadequados de saneamento evidenciando, a alteração natural da qualidade das águas dos lençóis freáticos pelos compostos nitrogenados.

Figura 38 - Isotores de N-NO_3^- na ilha de Cotijuba no período chuvoso.



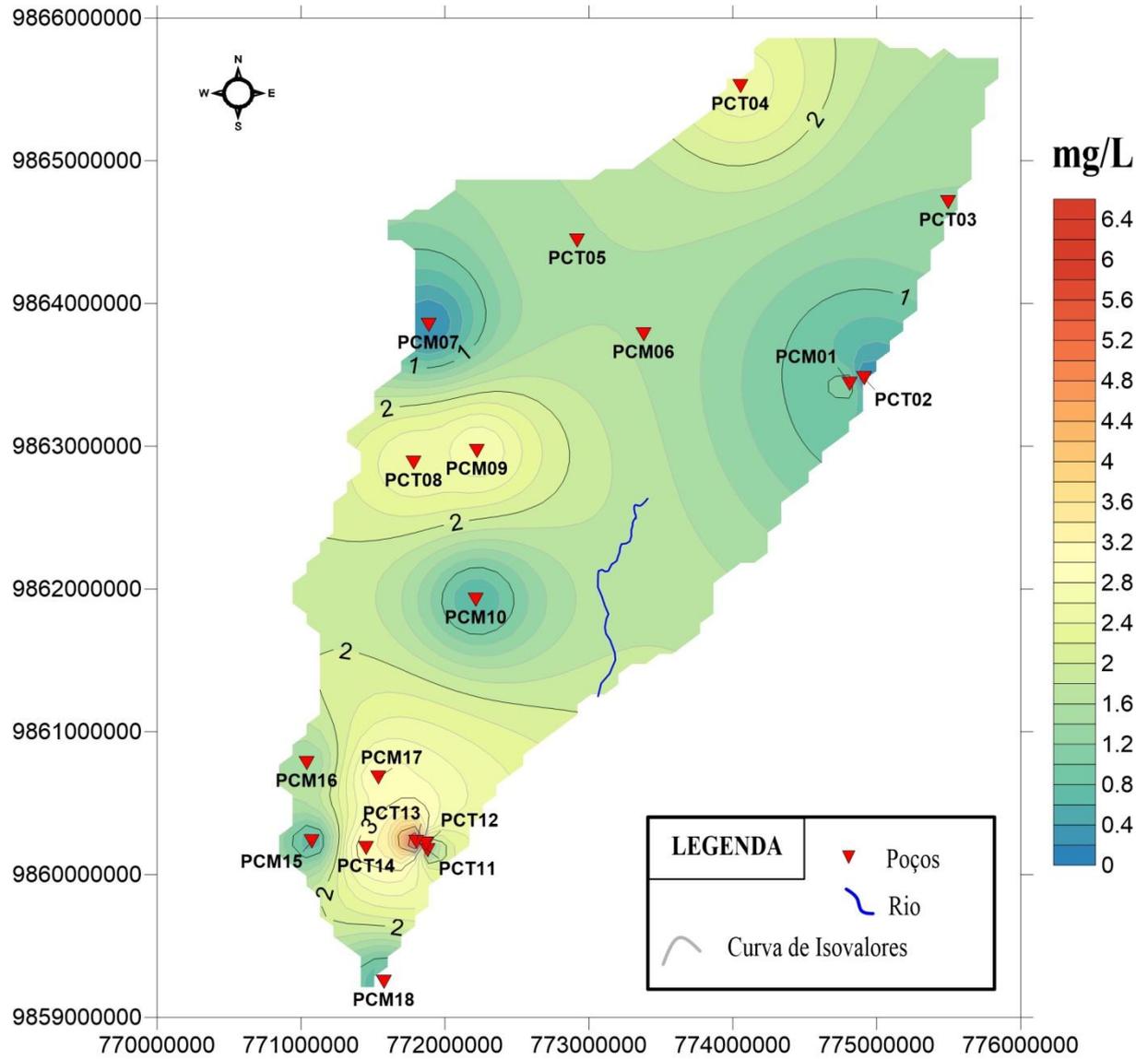
Fonte: Do autor

Figura 39 - Isoetes de N-NO_3^- na ilha de Cotijuba no período de transição.



Fonte: Do autor

Figura 40 - Isoetes de N-NO_3^- na ilha de Cotijuba no período menos chuvoso.



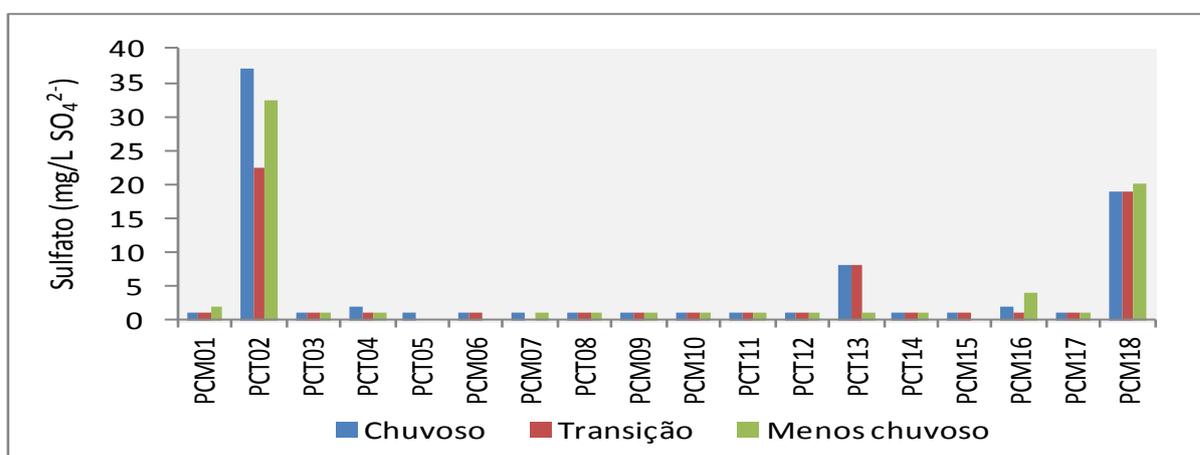
Fonte: Do autor

9.1.7 Sulfato

A fonte de sulfato nas águas naturais ocorre através da dissolução de solos e rochas e pela oxidação de sulfeto. Seu controle nas águas de abastecimento é importante devido ao mesmo provocar efeito laxativo (CETESB 2009). Em geral, as concentrações de sulfato nas águas naturais variam de 2 a 80 mg/L e em áreas próximas de descargas industriais pode chegar a 1000 mg/L (PIVELE; KATO, 2005). Segundo a portaria n° 2.914/2011 do MS e a resolução CONAMA n° 396/2008, para água de consumo as concentrações de sulfato não devem ultrapassar 250 mg/L.

Conforme a Figura 41, em 83% das amostras analisadas as concentrações de sulfato apresentaram-se muito baixas, em torno de 1 mg/L. Os valores mais elevados foram obtidos nas amostras PCT02, PCT13 e PCM18 nos três períodos amostrados, sendo que a água do poço PCT13 apresentou valor de 8 mg/L no período chuvoso e transição, enquanto que no poço PCM18 o valor obtido foi de 20 mg/L no período menos chuvoso. Em ambos os períodos, a amostra PCT02 apresentou teores acima de 20 mg/L, que podem estar associados a contaminação por descarga de esgoto doméstico neste poço.

Figura 41 - Variação sazonal do sulfato das águas subterrâneas estudadas.



Fonte: Do autor

9.1.8 Fosfato

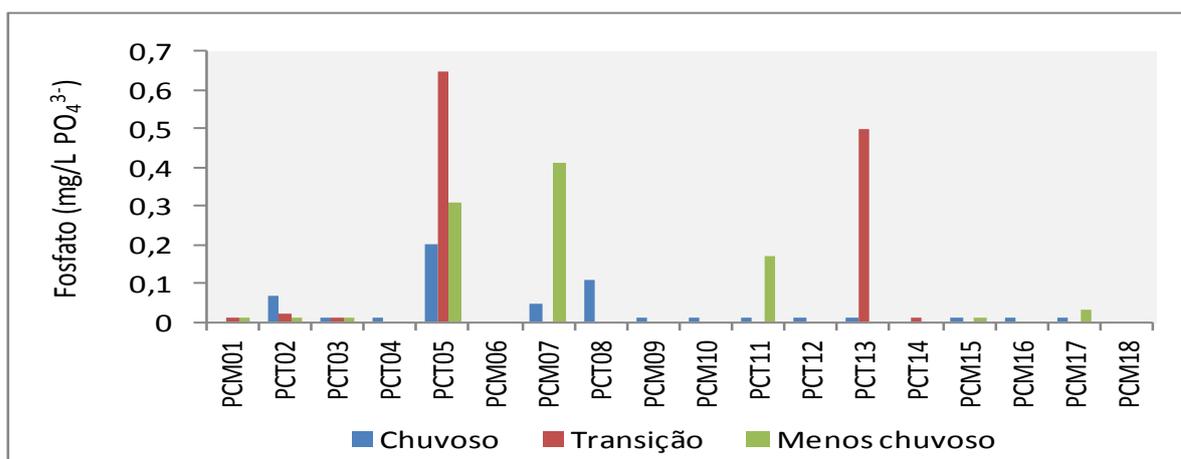
O fósforo, assim como o nitrogênio, constitui um dos principais nutrientes para os processos biológicos, decorrente principalmente de descargas de esgoto sanitário e efluentes industriais como, por exemplo, as indústrias químicas de modo geral. Podendo apresentar-se na

água sob as formas de fosfatos orgânicos, ortofosfatos e os polifosfatos. Sendo os ortofosfatos a forma mais importante nos estudos de qualidade das águas (CETESB, 2009).

Segundo Rocha, Rosa e Cardoso (2009), o excesso de fósforo nas águas interiores tem relevante importância ambiental por ocasionar o fenômeno de *eutrofização* (excesso de nutrientes), de acordo com Tundisi (2003), esse fenômeno tem como efeito nas águas, o crescimento acelerado da vegetação, toxicidade das algas, mortalidade de peixes e condições anaeróbicas.

Como pode-se observar na Figura 42, na maioria das amostras analisadas, os valores de fósforo foram inferiores a 0,2 mg/L, sendo que o maior valor obtido foi na amostra PCT05 na estiagem com valor de 0,65 mg/L. A resolução n° 357 (2005) – CONAMA, classe 1 – água doce estabelece valor máximo para ambiente lântico: 0,02 mg/L P e ambiente lótico e tributários de ambientes intermediários: 0,1 mg/l P. A portaria de n° 2.914/2011 do MS não estabelece VMP de potabilidade para este parâmetro.

Figura 42 - Variação sazonal do fosfato das águas subterrâneas estudadas.



Fonte: Do autor

9.1.9 Cloreto

O teor de cloreto nas águas naturais, geralmente é baixo e em altas concentrações caracteriza a presença de esgoto sanitário (MACÊDO, 2007). Segundo Pivele e Kato (2005), tem por característica alta solubilidade e em solução encontra-se muito estável.

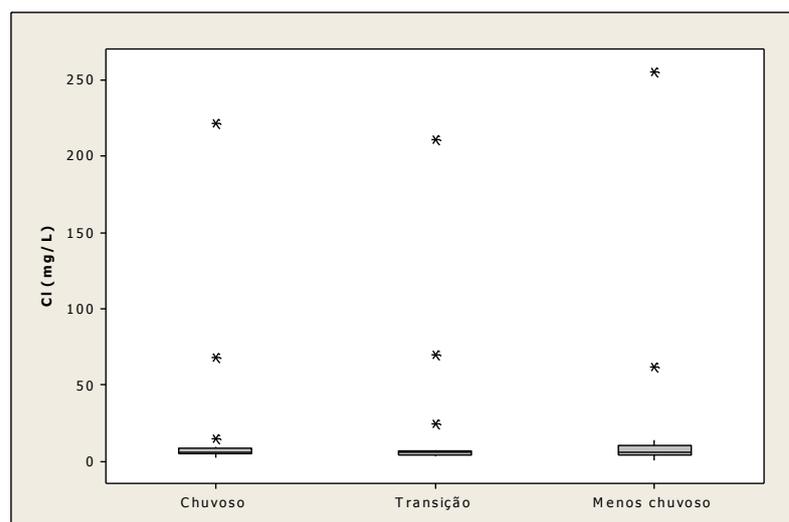
A distribuição dos dados de cloreto apresentou uma similaridade e valores atípicos nos três períodos avaliados, sendo que o período menos chuvoso apresentou a maior amplitude (Figura 43). A mediana obtida nos períodos chuvoso, transição e menos chuvoso foram de 6,2 mg/L, 6,1 mg/L, e 6,0 mg/L, respectivamente. Como pode-se observar na Figura 44, a maioria

das amostras analisadas apresentaram valores de cloreto relativamente baixos (<10 mg/L). Oliveira Filho (2012) em seus estudos de águas subterrâneas rasas de Benevides/PA obteve resultados de cloreto variando de 6,38 a 14,9 mg/L. Os maiores valores obtidos foram nas amostras PCT18 com valor de 70 mg/L na estiagem e na amostra PCT02 atingindo um valor máximo de 255,24 mg/L no período menos chuvoso. Segundo Santos (2008), nas águas subterrâneas o teor de cloreto geralmente é inferior a 100 mg/L, além de constituir um bom indicador de poluição por lixões e aterros sanitários.

Os valores mais significativos de cloreto obtidos na amostra PCT02, nos três períodos analisados, sugerem a presença de fossa e esgoto próximos ao poço. Os cloretos estão presentes nos dejetos de animais e em certas condições podem causar poluição orgânica nos recursos hídricos (FUNASA, 2007; CAJAZEIRAS, 2007).

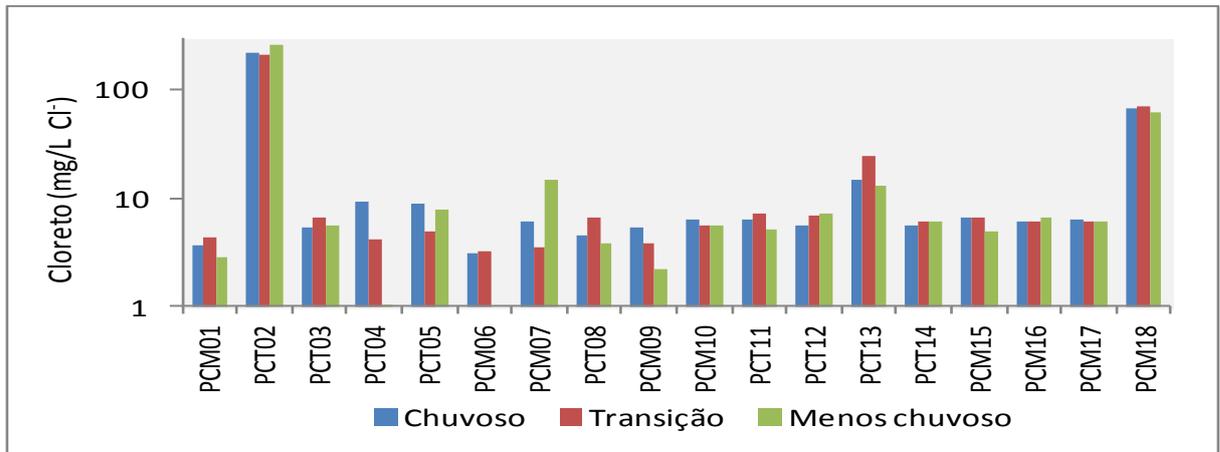
Segundo a portaria n° 2.914/2011 do MS e a resolução CONAMA n° 396/2008, os valores de cloreto obtidos nas análises, não ultrapassaram o valor máximo permitido destinado ao abastecimento humano (250 mg/L), com exceção da amostra PCT02 que apresentou o valor de 255,24 mg/L no período menos chuvoso, portanto acima do valor máximo permitido pela referida portaria. Concentrações acima de 250 mg/L podem ocasionar sabor desagradável as águas de consumo.

Figura 43 - Distribuição dos valores de cloreto nos períodos amostrados.



Fonte: Do autor

Figura 44 - Variação sazonal do cloreto das águas subterrâneas estudadas.

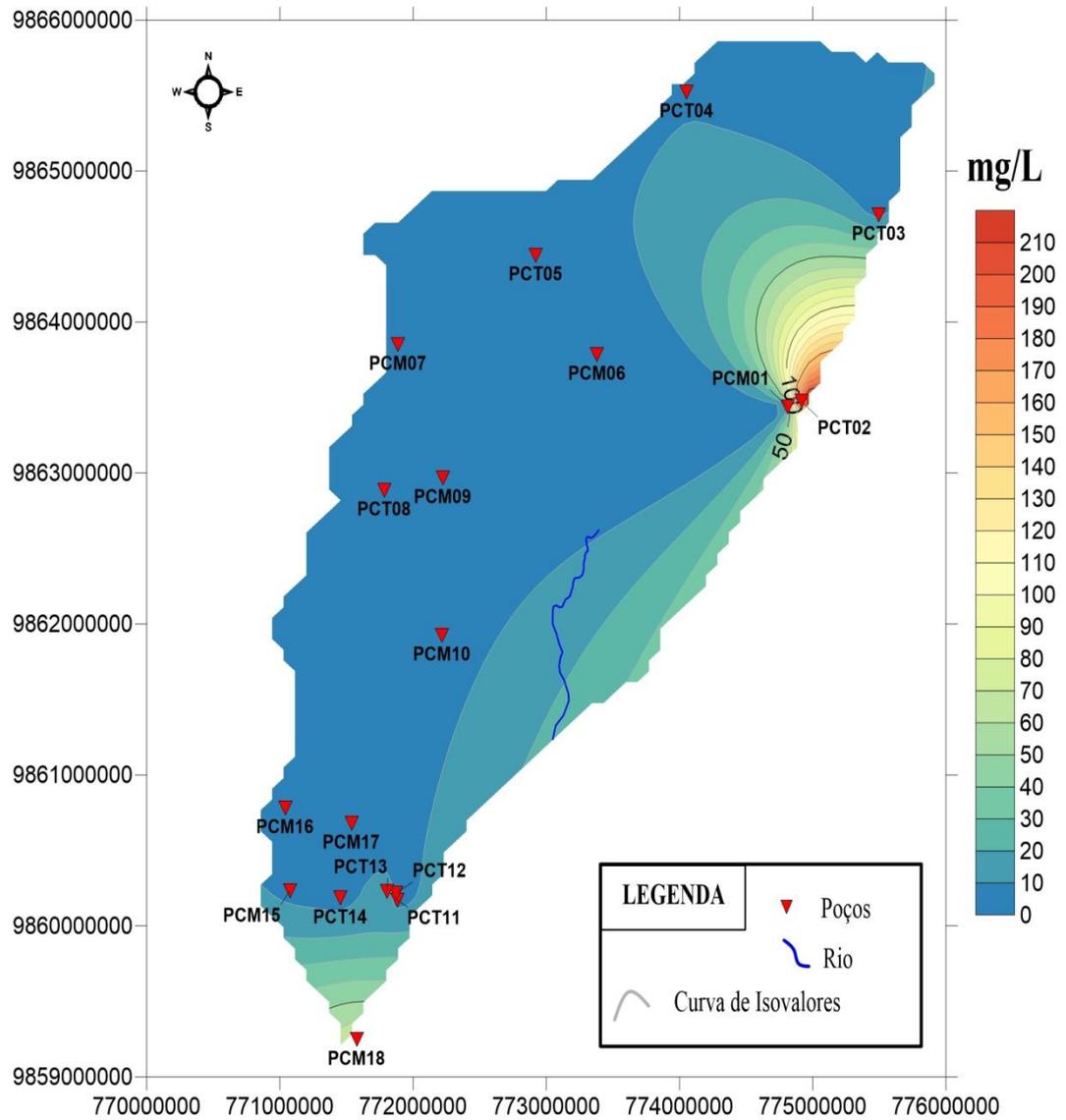


Fonte: Do autor

As Figuras 45, 46 e 47 mostram as curvas de isotores de cloreto representando os três períodos de amostragem e revelam distribuição espacial similar, seguindo o mesmo padrão da condutividade elétrica. As maiores concentrações de cloreto estão representadas pela amostra PCT02 nos três períodos analisados, situada na parte NE.

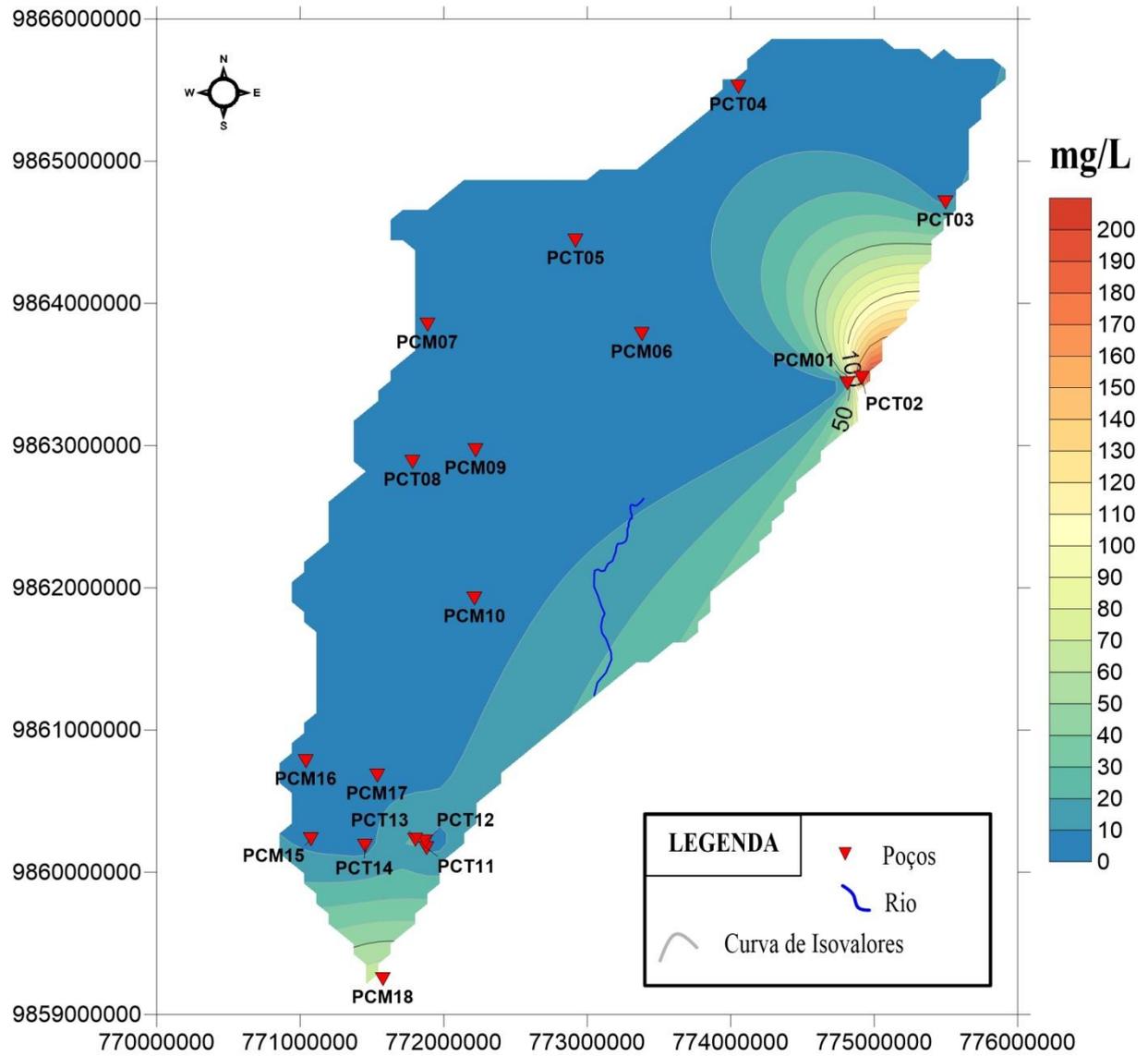
Na zona SW, os valores de cloreto estão na faixa de 13,12 mg/L no período menos chuvoso (Figura 47) e 70 mg/L no período de transição (Figura 46) representados pelas amostras PCT13 e PCM18 respectivamente, portanto, esses valores estão mais elevados que da maioria das amostras analisadas. Nesta zona está situada à vila de Cotijuba com maior número de residências, densidades de fossas e esgotos domésticos que, provavelmente, podem estar influenciando na qualidade das águas desses poços. Na parte central e NW estão localizadas as menores concentrações de cloreto. Vale ressaltar que o cloreto é o íon com a maior concentração nas águas estudadas.

Figura 45 - Isoteores de Cl⁻ na ilha de Cotijuba, no período chuvoso.



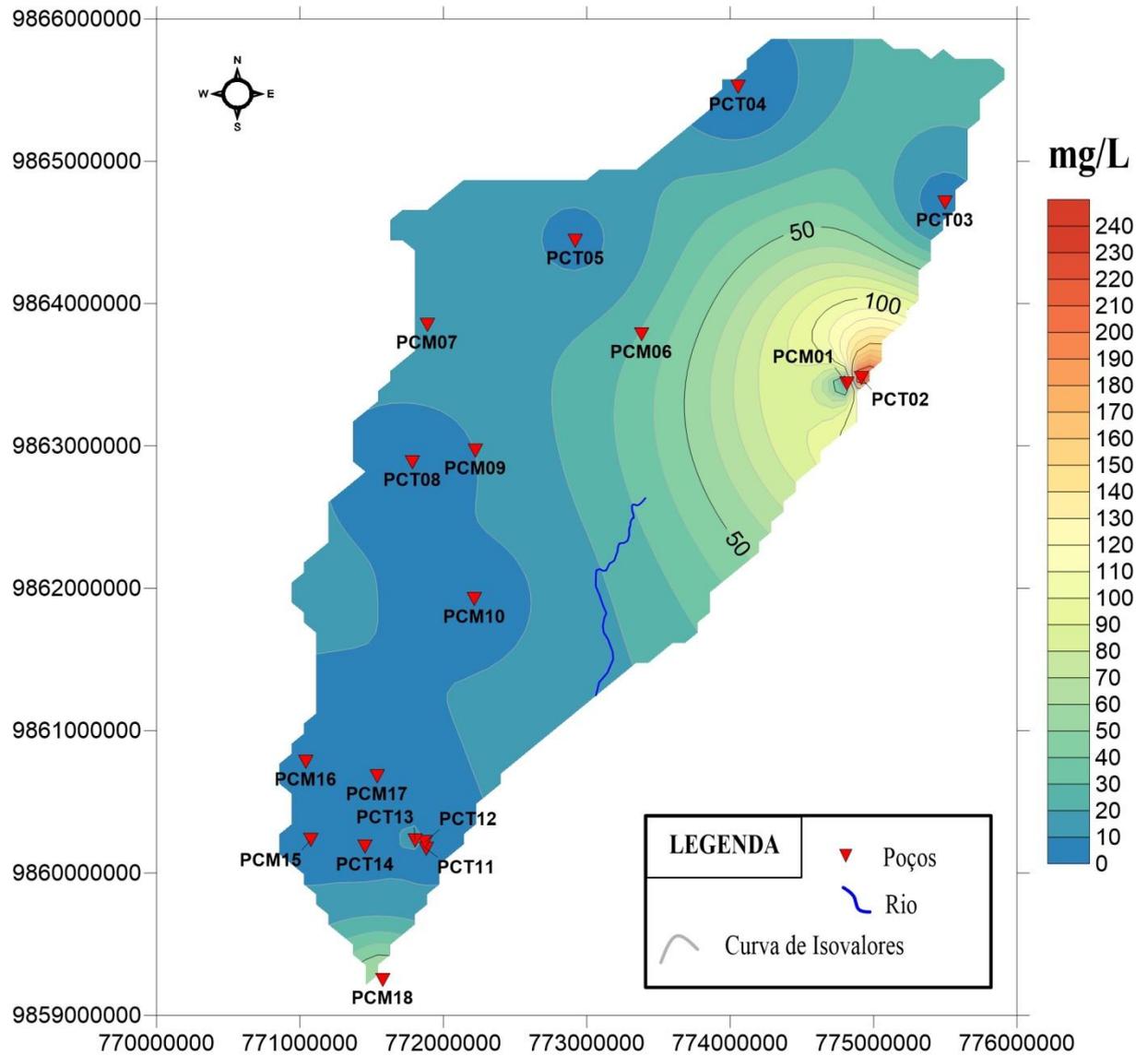
Fonte: Do autor

Figura 46- Isotores de Cl⁻ na ilha de Cotijuba, no período de transição.



Fonte: Do autor

Figura 47 - Isoetes de Cl^- na ilha de Cotijuba, no período menos chuvoso.



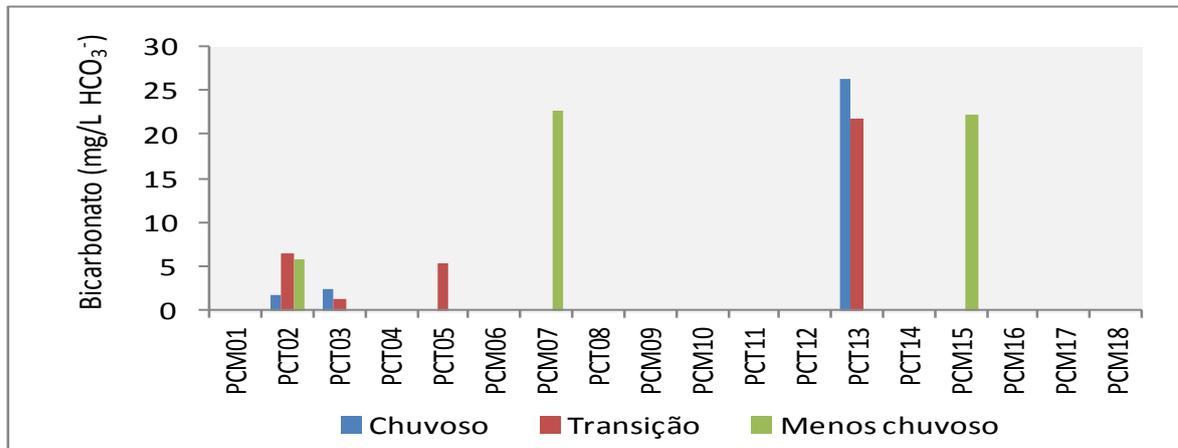
Fonte: Do autor

9.1.10 Bicarbonato

A portaria n° 2.914/2011 do MS, não constitui padrão de potabilidade para o bicarbonato. Na área de estudo, em 67 % das amostras, nos três períodos analisados, não foi detectado valores de bicarbonatos (Figura 48). As amostras PCM07 e PCM15 no período menos chuvoso e a amostra PCT13 nos períodos chuvoso e transição apresentaram teores acima de 20 mg/L, sendo que o maior valor obtido foi na amostra PCT13 no período chuvoso, com valor de 26,35 mg/L indicando nesses poços a provável contaminação proveniente da decomposição da matéria orgânica. Silva (2014) revelou valores relativamente baixos deste parâmetro com média de 0,64 mg/L no período menos chuvoso e 7,42 mg/L no período chuvoso. De acordo com Silva (2009), a degradação da matéria orgânica e a dissolução de carbonatos são as principais fontes de bicarbonatos nas águas subterrâneas. As reações a seguir representam a liberação de dióxido de carbono, através da degradação da matéria orgânica, na geração de bicarbonato:



Figura 48 - Variação sazonal do bicarbonato das águas subterrâneas estudadas.



Fonte: Do autor

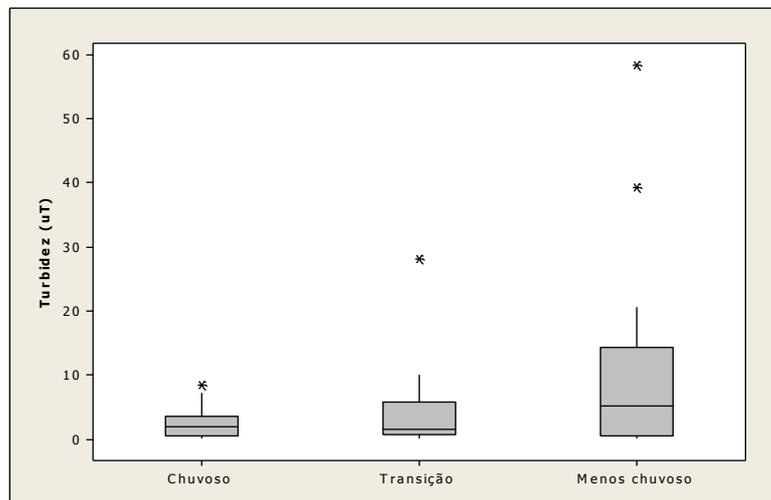
9.1.11 Turbidez

A turbidez é causada pela concentração de sólidos em suspensão que dificultam a transmissão da luz por meio da água e, esses sólidos podem ser silte, argila, matéria orgânica, microrganismos e partículas inorgânicas. Em geral, as águas subterrâneas não apresentam valores elevados de turbidez.

Os Valores de turbidez não apresentaram similaridade nos períodos analisados, com maior amplitude no período menos chuvoso e uma maior homogeneidade dos dados no período chuvoso. Exibiram valores atípicos nos três períodos avaliados (Figura 49). O valor da mediana foi de 2,01 uT no período chuvoso, 1,5 uT na estiagem e 5,3 uT no período menos chuvoso. O maior valor obtido nas análises foi de 58,3 uT, na época menos chuvosa.

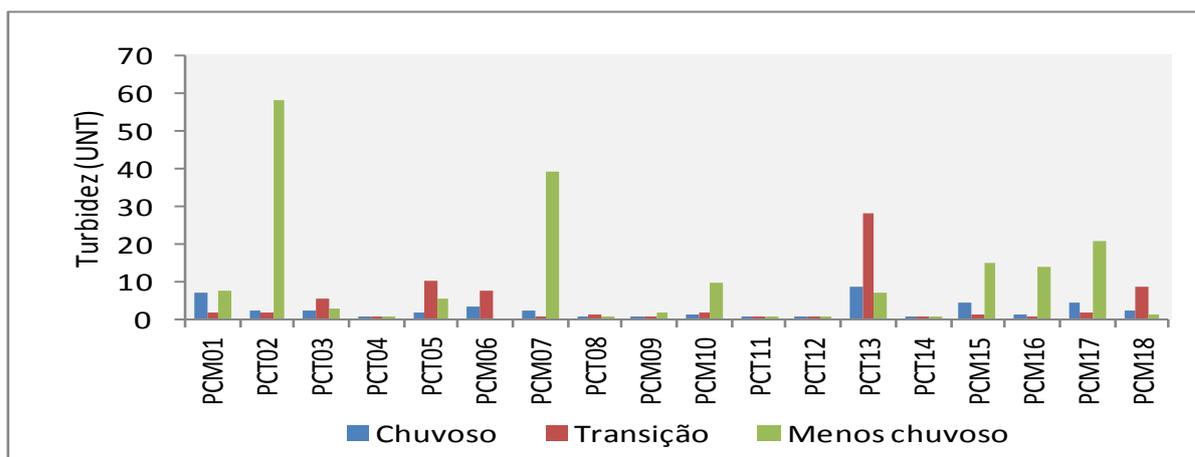
A portaria n° 2.914/2011 do MS estipula o valor máximo para água de consumo de 5 uT. A Figura 50 mostra a variação dos valores de turbidez de 0,2 uT (transição e chuvoso) a 58,3 uT (menos chuvoso). Em estudo da qualidade das águas subterrâneas rasas na área de influência do Lixão do Município de Salinópolis – PA, Silva (2016) obteve teores de turbidez que variaram de 0,54 a 51 uT. Os valores de turbidez que ultrapassaram o valor máximo permitido pela portaria citada foram das amostras PCM01 e a PCT13 no período chuvoso; PCT03, PCT05, PCM06, PCT13 e PCM18 na transição; PCT02, PCT05, PCM07, PCM10, PCT13, PCM15, PCM16 e PCM17 no menos chuvoso. Os teores mais acentuados de turbidez, no período menos chuvoso, podem estar relacionados ao rebaixamento do nível de água nesses poços concentrando, portanto, partículas suspensas. De acordo com Von Sperling (2014), a turbidez não causa prejuízos sanitários, porém se torna indesejável por apresentar na água uma aparência desagradável.

Figura 49 – Distribuição dos valores de turbidez nos períodos amostrados.



Fonte: Do autor

Figura 50 - Variação sazonal da turbidez das águas subterrâneas estudadas.



Fonte: Do autor

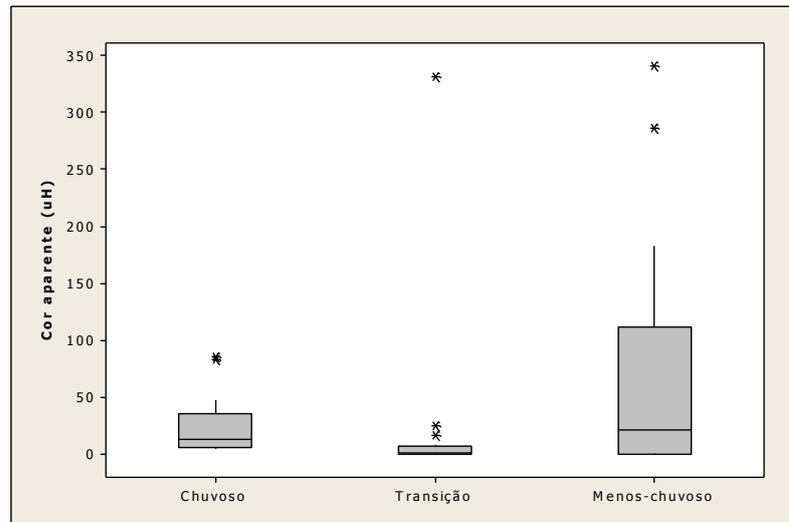
9.1.12 Cor aparente

A água quando pura não apresenta coloração, pois a cor é proveniente das substâncias dissolvidas na água resultando, principalmente, da lixiviação da matéria orgânica (SANTOS, 2008).

Os dados de cor aparente (Figura 51) apresentaram valores extremos e uma não homogeneidade, nos três períodos avaliados. Apresentou, também, uma maior amplitude dos dados no período menos chuvoso. A mediana do período chuvoso foi de 12,5 uH, na transição o valor foi de 1,5 uH, enquanto que no menos chuvoso obteve-se 21,0 uH. Durante os períodos avaliados, o maior valor encontrado desta variável foi de 341 uH, no período menos chuvoso. Mesquita (2012) encontrou o maior valor para este parâmetro de 133 uH no período de maior precipitação pluviométrica.

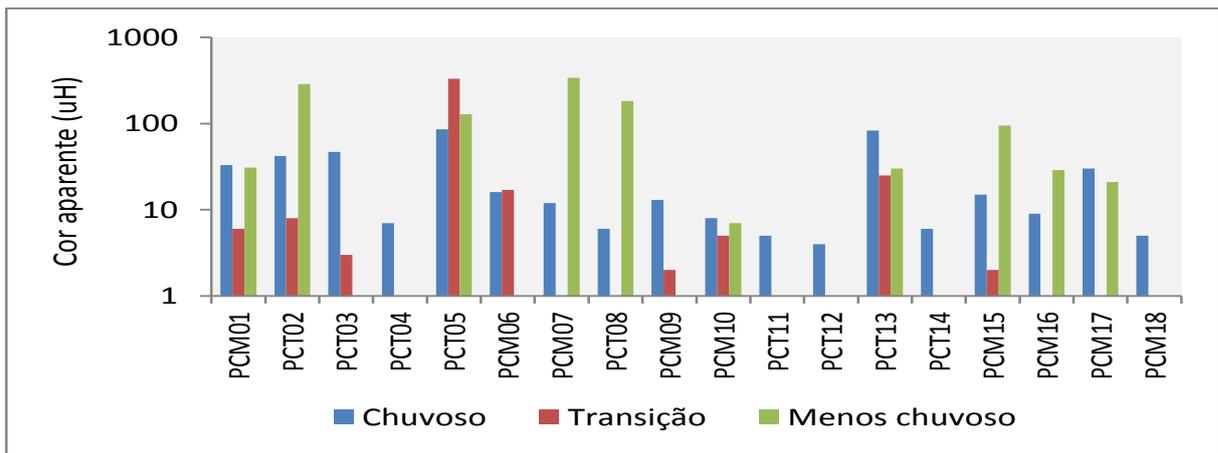
De acordo com a Figura 52, as amostras que ultrapassaram o VMP pela portaria nº 2.914 MS para consumo humano, foram as amostras PCT03 no período chuvoso; a PCM07, PVT08 e PCM16 no período menos chuvoso; a PCM01, PCT02, PCM15 e PCM17 no período chuvoso e menos chuvoso e as amostras PCT05 e PCT13 nos três períodos analisados, esses resultados estão associados com os teores mais significativos do íon ferro nas águas desses poços evidenciando, portanto, uma forte relação entre essas variáveis.

Figura 51 – Distribuição dos valores de cor aparente nos períodos amostrados.



Fonte: Do autor

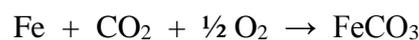
Figura 52 - Variação sazonal da cor aparente das águas subterrâneas estudadas.



Fonte: Do autor

9.1.13 Ferro total

Nas águas naturais o ferro apresenta-se nas formas Fe^{2+} e Fe^{3+} e, sua presença nas águas subterrâneas é proveniente principalmente da dissolução do minério pelo gás carbônico da água, segundo a reação (PIVELI; KATO, 2006):



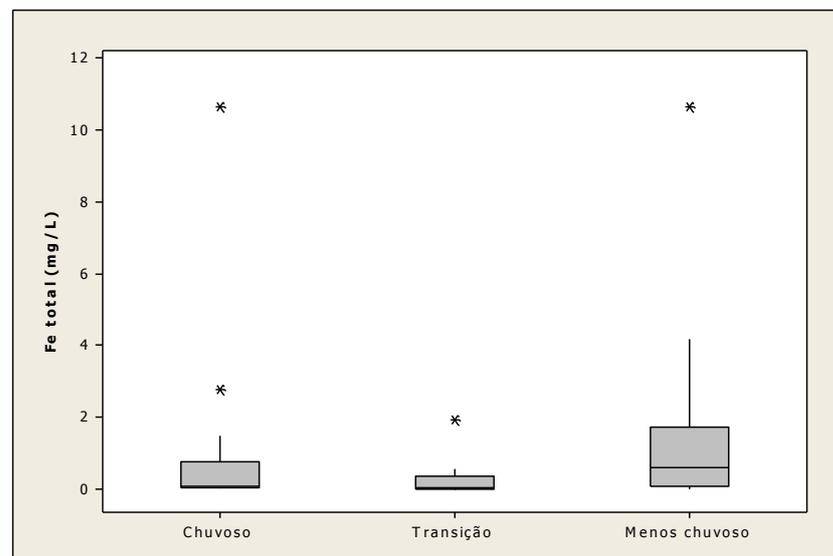
Segundo Von Sperling (2014), o ferro solúvel (Fe^{2+}) nas águas subterrâneas ao entrar em contato com o oxigênio passa a insolúvel (Fe^{3+}) que precipita causando a cor nas águas. Conforme a Figura 53, os dados de ferro total apresentaram uma maior amplitude no período menos chuvoso. Em ambos os períodos, os dados apresentaram valores extremos e uma não

homogeneidade. Os valores das medianas de ferro total obtida, foram de 0,07 mg/L no período chuvoso, 0,06 mg/L na transição e 0,60 mg/L no menos chuvoso.

O poço PCM07 não apresentou valor elevado de ferro no período chuvoso e na transição, porém no período menos chuvoso o teor de ferro alcançou 10,66 mg/L (Figura 54), que pode estar associado ao rebaixamento do nível de água neste poço, favorecendo a concentração deste constituinte. O poço PCT13 apresentou valor de 10,63 mg/L no período chuvoso. Em estudo das águas dos Aquíferos pós-Barreiras e Barreiras na RMB, Oliveira (2002) obteve resultado semelhante, em torno de 12,3 mg/L de Fe. De acordo com Picanço, Lopes e Souza (2002), o grupo Barreiras e Pós-Barreiras são litologicamente mais propícios à produção de água com teores de ferro elevados, devido essas unidades serem compostas por minerais que podem liberar ferro em solução em meio redutor e/ou ácido.

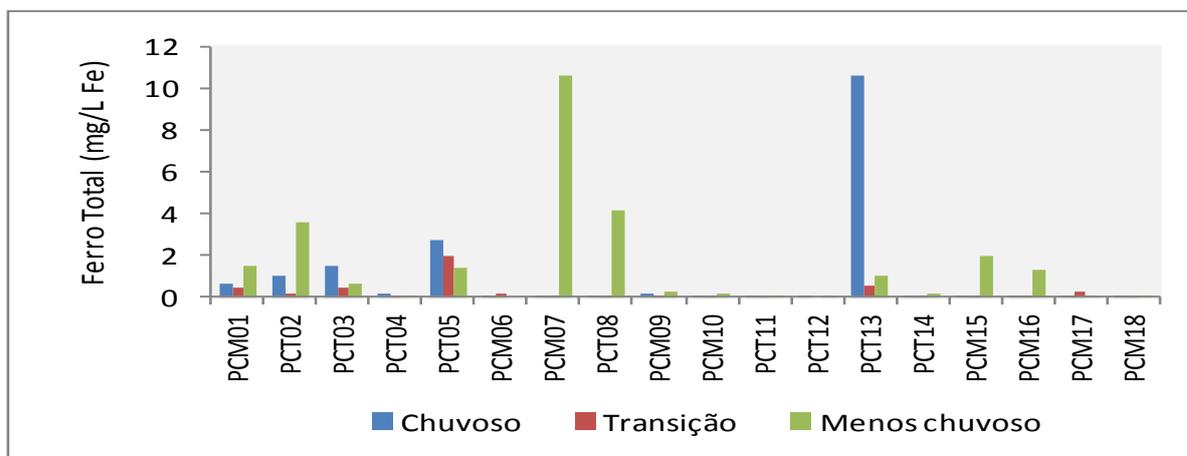
Conforme as análises, 33% das amostras determinadas no período chuvoso, 22% na estiagem e 47 % no período menos chuvoso encontram-se fora dos padrões para consumo humano. A portaria n° 2.914 do MS e a resolução CONAMA n° 396/2008 recomendam um valor máximo de 0,3 mg/L Fe. Os valores elevados de ferro tornam-se importante na utilização da água para fornecimento doméstico, devido causar manchas em roupas e louças sanitárias, além de causar sabor desagradável nas águas.

Figura 53 - Distribuição dos valores de ferro total nos períodos amostrados.



Fonte: Do autor

Figura 54 - Variação sazonal do ferro total das águas subterrâneas estudadas.



Fonte: Do autor

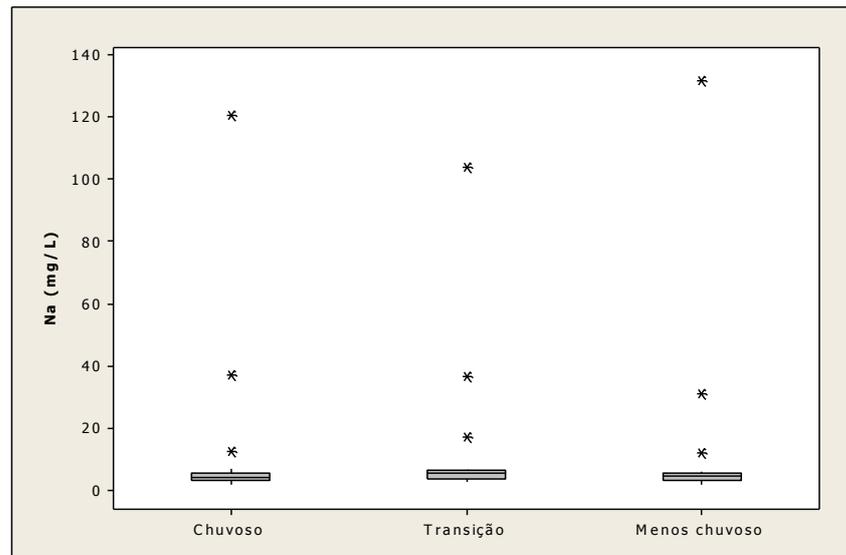
9.1.14 Sódio

Segundo Santos (2008) é um dos metais alcalinos em maior concentração nas águas subterrâneas devido sua distribuição nos minerais fontes, baixa estabilidade dos minerais, solubilidade elevada e difícil precipitação.

Na distribuição dos dados (Figura 55), os períodos analisados mostraram valores atípicos de sódio e maior amplitude no período de transição. Assim como o cloreto, na área estudada, os valores de sódio não estão elevados, com valor mediano obtido no período chuvoso de 4,2 mg/l; 5,7 mg/l na transição e 4,9 mg/l no período menos chuvoso. Como pode-se observar na Figura 56 destacam-se as amostras PCM18 e PCT02 com valores de 37,10 mg/L no período chuvoso e 132 mg/L no período menos chuvoso respectivamente. As concentrações elevadas de sódio na amostra PCT02, nos três períodos analisados, assim como as altas concentrações de cloreto e outros íons já foram descritos no item 9.1.3.

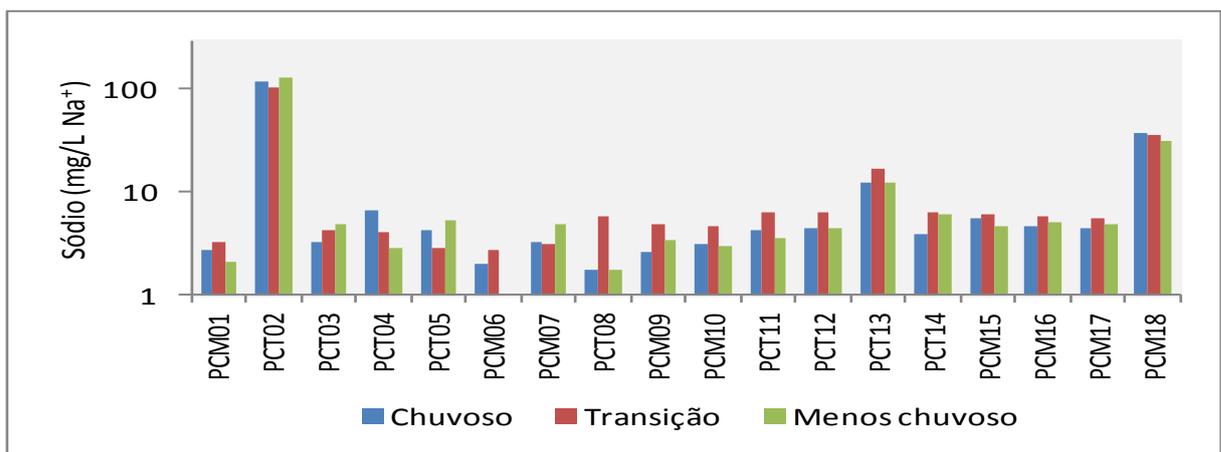
Altas concentrações de sódio podem ser provenientes de lançamentos de esgotos domésticos, efluentes industriais, além de intrusão de águas marinhas em áreas litorâneas (CETESB, 2009). De acordo com a portaria n° 2.914/2011, o VMP para o consumo humano é de 200 mg/L. As concentrações de sódio obtidas nas análises não ultrapassaram este valor máximo. Águas com teores acima do VMP adquirem sabor não aceitável para consumo humano.

Figura 55 – Distribuição dos valores de sódio nos períodos amostrados.



Fonte: Do autor

Figura 56 - Variação sazonal do sódio das águas subterrâneas estudadas.

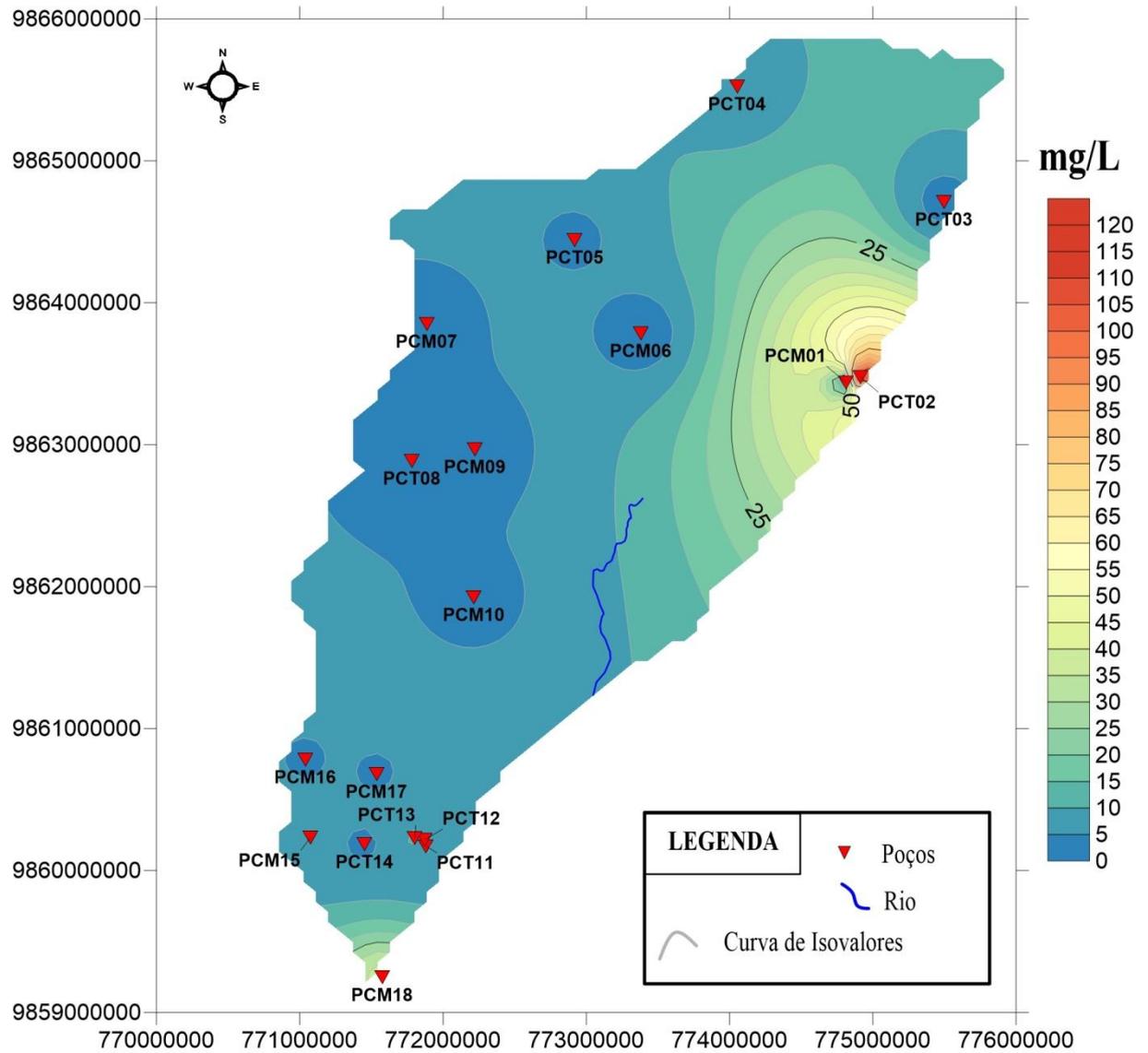


Fonte: Do autor

As Figuras 57, 58 e 59 mostram as curvas de isotores de sódio nos três períodos analisados. As concentrações do sódio seguem a mesma tendência do cloreto. O teor mais elevado de sódio encontra-se na parte NE representado pela amostra PCT02 no período menos chuvoso advindo, provavelmente, de descarga de esgoto doméstico ou fossa próximo a este poço (Figura 59).

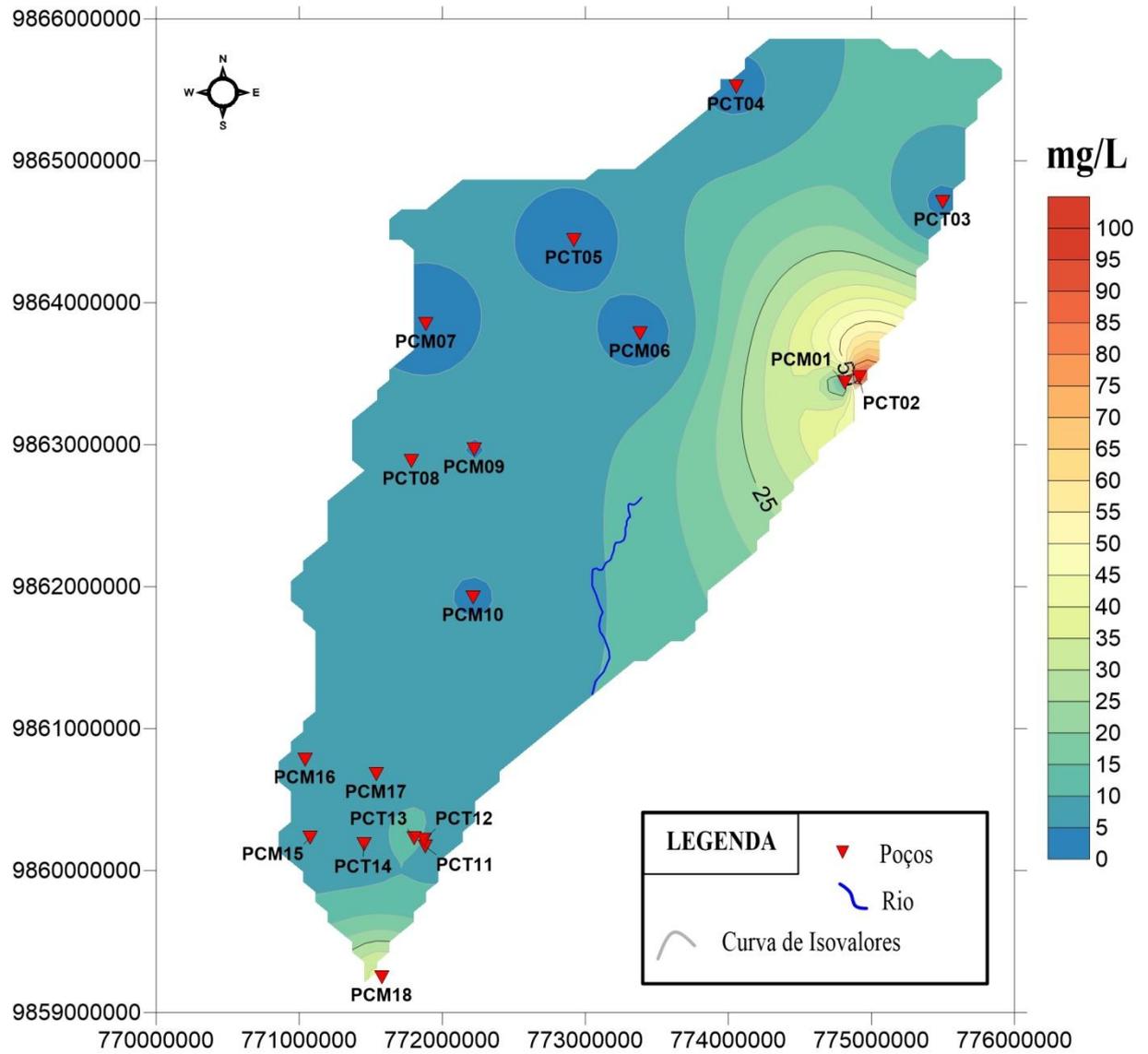
Na porção central e NW da área, os teores de sódio tendem a ser mais baixos. Os valores intermediários encontram-se na zona SW variando de 12,2 mg/L no período menos chuvoso (Figura 59) a 37,1 mg/L no período chuvoso (Figura 57).

Figura 57 - Isoletes de Na^+ na ilha de Cotijuba no período chuvoso.



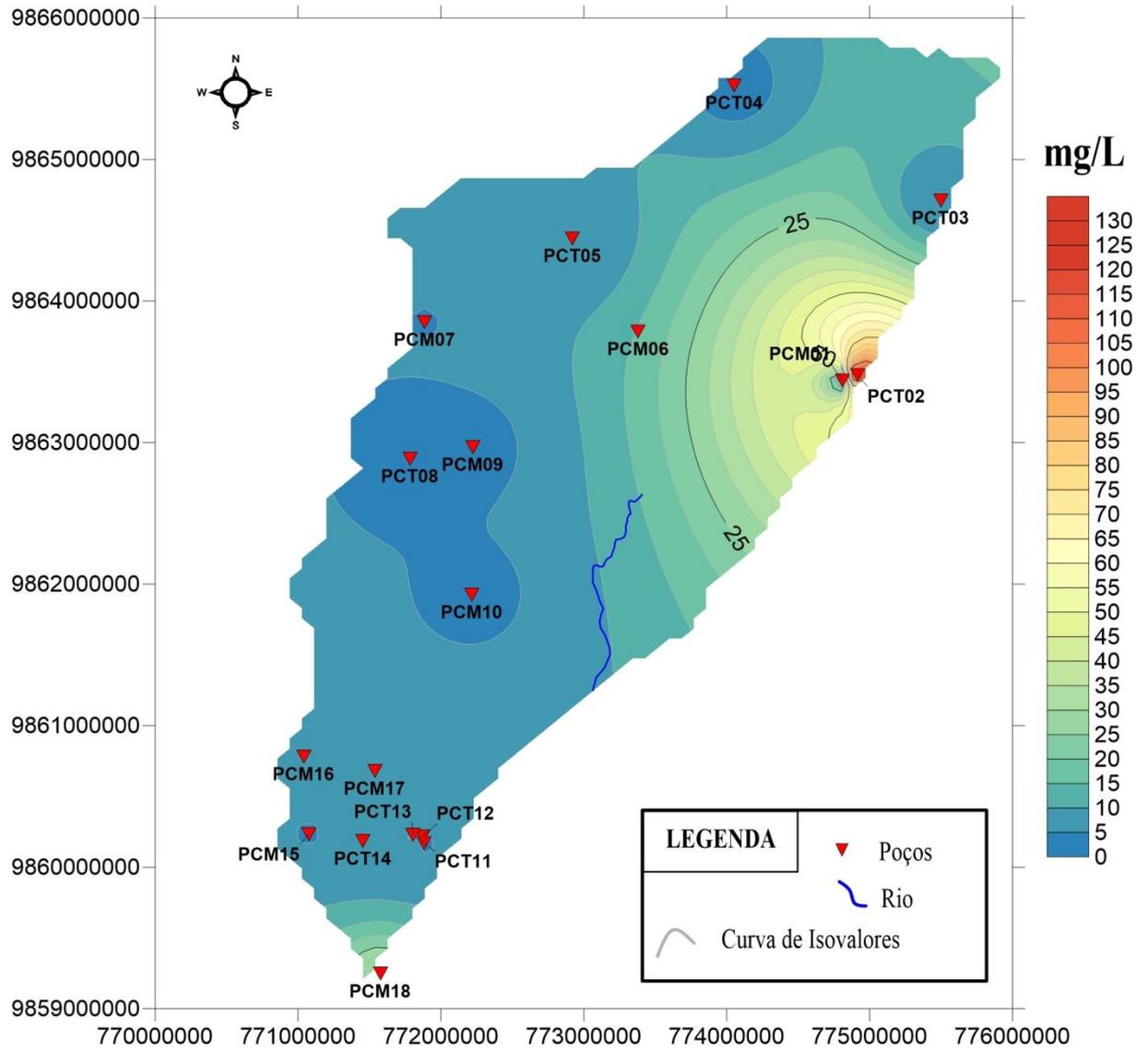
Fonte: Do autor

Figura 58 - Isoletes de Na^+ na ilha de Cotijuba no período de transição.



Fonte: Do autor

Figura 59 - Isoletes de Na⁺ na ilha de Cotijuba no período menos chuvoso.



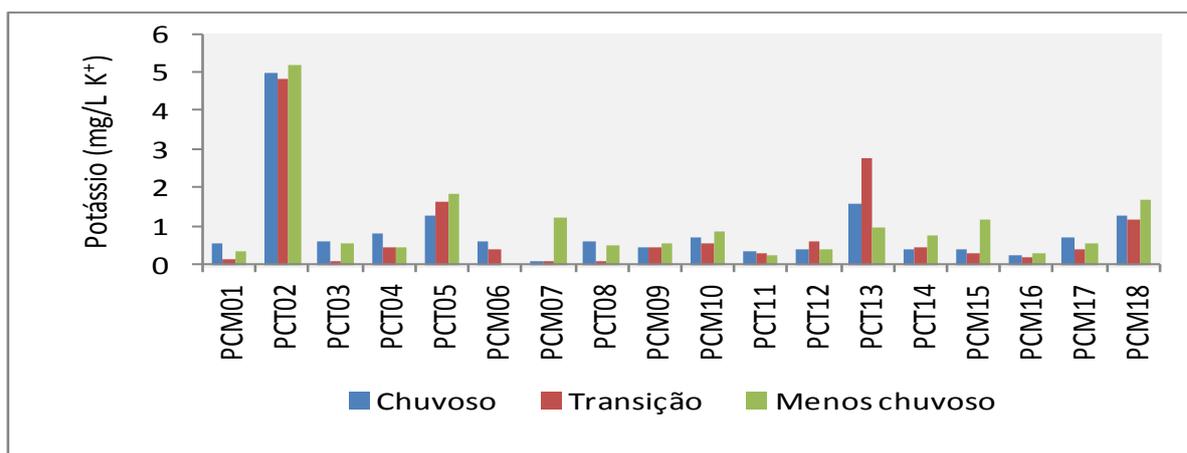
Fonte: Do autor

9.1.15 Potássio

Nas águas naturais encontra-se geralmente em baixas concentrações (<10 mg/L) proveniente do solo e das rochas. Seus compostos são altamente solúveis podendo, ainda, ser incorporado às águas através das descargas industriais e de áreas agrícolas (CETESB, 2009). A portaria n° 2.914/2011 não estabelece VMP de potássio às águas destinadas ao consumo humano.

Em todas as amostras, as concentrações de potássio encontram-se baixas (Figura 60), com valores variando de 0,08 na amostra PCM07 a 5,21 mg/L na amostra PCT02. No período chuvoso as amostras apresentaram valor mediano de 0,58 mg/L, na transição 0,41 mg/L e no período menos chuvoso o valor foi de 0,56 mg/L.

Figura 60 - Variação sazonal do potássio das águas subterrâneas estudadas.



Fonte: Do autor

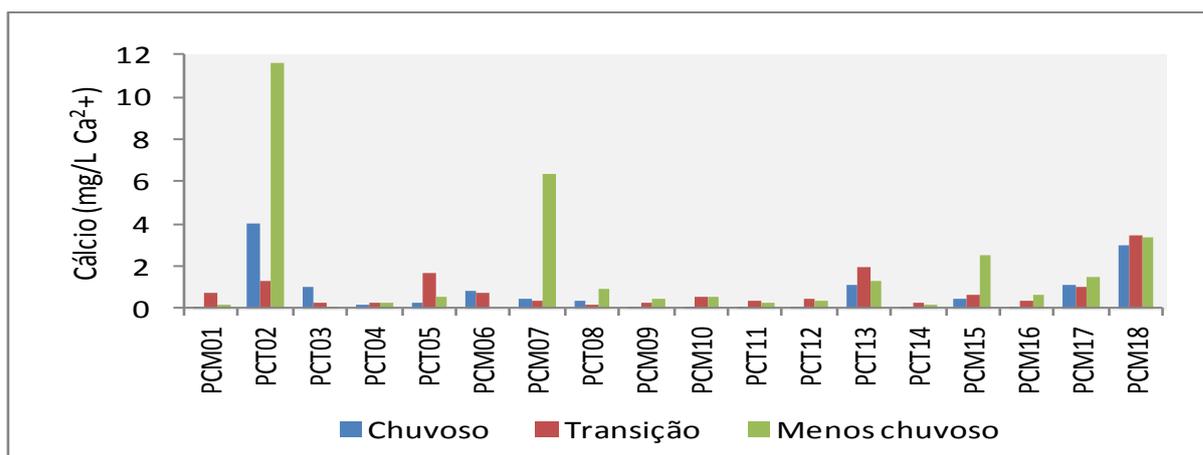
9.1.16 Cálcio

O cálcio é um dos metais alcalinos terrosos mais abundantes na crosta terrestre e, nas águas superficiais e subterrâneas junto com o magnésio constituem os principais íons que dão origem a dureza das águas. Segundo Fenzl (1986) nas águas naturais, o cálcio encontra-se na forma do íon Ca^+ e sua concentração é definida pelo equilíbrio $\text{CO}_2 - \text{CaCO}_3$. Nas águas onde há presença de CO_2 , o carbonato de cálcio se decompõe e forma o íon bicarbonato (HCO_3^-). Nas águas subterrâneas os teores de cálcio variam de 10 a 100 mg/L e nas águas meteóricas a sua variação é de 0,8 a 10 mg/L provenientes de poluição e poeiras terrestres carregados pelos ventos (FENZL 1986).

A portaria n° 2.914/2011/MS não determina valores de cálcio para água destinada ao consumo humano. Nas águas estudadas, os teores de Ca^+ em ambos os períodos estiveram

abaixo de 6 mg/L, com exceção das amostras PCT02 e PCM07 no período menos chuvoso (Figura 61). Obteve-se um teor mínimo de 0,04 mg/L na amostra PCT11 e PCT12 no período chuvoso e máximo de 11,58 mg/L na amostra PCT02 no período menos chuvoso. Os valores das medianas foram de 0,31 mg/L no período chuvoso, 0,50 mg/L na transição e 0,58 mg/L no período menos chuvoso.

Figura 61 - Variação sazonal do cálcio das águas subterrâneas estudadas.



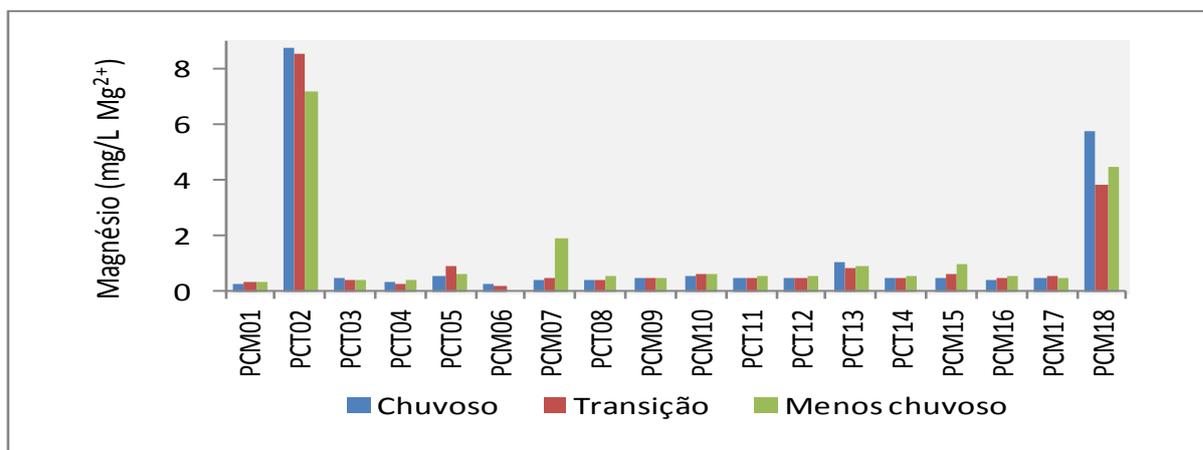
Fonte: Do autor

9.1.17 Magnésio

Segundo Santos (2008) apresenta características semelhantes ao cálcio, porém é mais difícil de precipitar, ocorrendo em geral em rochas calcárias na forma de bicarbonato. Possui alta solubilidade e escassez geoquímica, sendo encontrado nas águas naturais (doces) valores inferiores a 40 mg/L (FENZL, 1986). A portaria n° 2.914/2011, não estipula valor de referência para este parâmetro.

Assim como o cálcio, os teores de magnésio obtidos nas águas estudadas encontram-se baixos (Figura 62), variando de 0,22 mg/L na amostra PCM06 no período de transição, a 8,73 mg/L na amostra PCT02 no período chuvoso. A mediana obtida para o período chuvoso foi de 0,47 mg/L, na transição o valor foi de 0,51 mg/L, enquanto que no período menos chuvoso obteve-se 0,54 mg/L. Em estudo realizado por Bahia, Fenzl e Piratoba Morales (2006) em águas do Aquífero Barreiras em Belém, o magnésio apresentou valor médio de 0,50 mg/L.

Figura 62 - Variação sazonal do magnésio das águas subterrâneas estudadas.



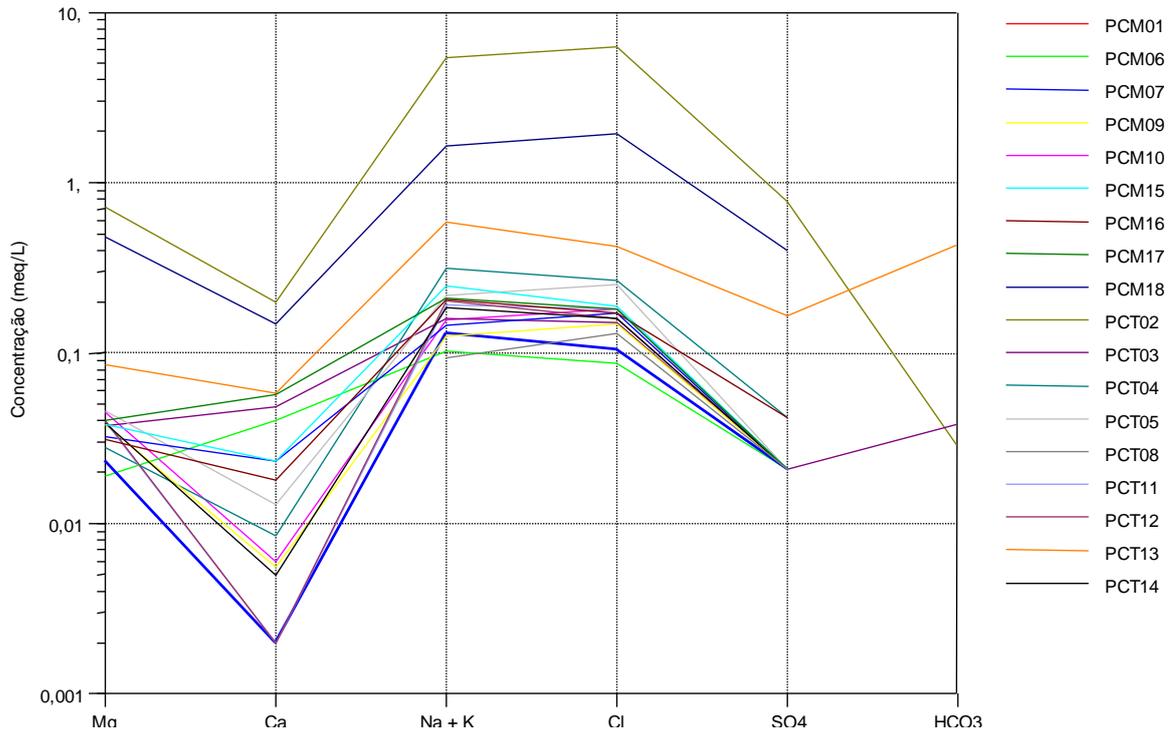
Fonte: Do autor

9.1.18 Variações nas concentrações dos constituintes maiores

Com a finalidade de permitir uma análise comparativa das variações dos constituintes maiores, no conjunto das águas estudadas, as amostras foram plotadas em diagramas semi-logarítmicos de Schoeller, nos três períodos analisados (Figuras 63, 64 e 65). Esse diagrama representa em escala logarítmica as variações nas concentrações dos constituintes maiores (cátions e ânions) em meq/L, proporcionando uma importante ferramenta para interpretações hidrogeoquímicas.

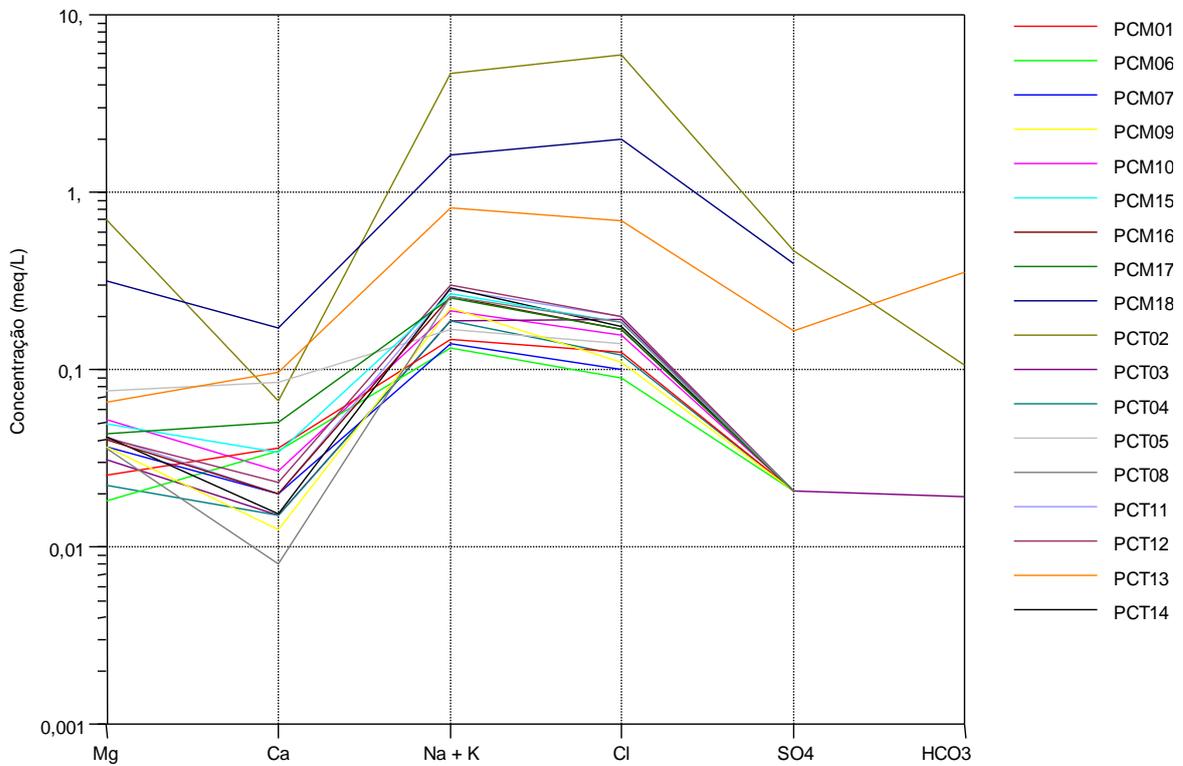
Conforme as Figuras 63, 64 e 65, a distribuição dos valores dos constituintes maiores, (Na^+ , Cl^- , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , HCO_3^- , K^+ e Ca^+) apresentam um comportamento hidroquímico com o mesmo padrão, sendo que as águas caracterizam-se por apresentar as maiores concentrações dos íons cloreto (Cl^-) e sódio (Na^+) e baixas concentrações do íon magnésio (Mg^{2+}), seguidas também de baixas concentrações de sulfato (SO_4^{2-}), bicarbonato (HCO_3^-) e cálcio (Ca^+). As amostras PCT02, PCT13 e PCM18 apresentaram as maiores amplitudes dos constituintes em ambos os períodos e podem ser explicadas pela maior influência antrópica nessas águas. Esse comportamento, também foi observado na amostra PCM07, no período menos chuvoso (Figura 65).

Figura 63 - Diagrama de Schoeller das águas subterrâneas da ilha de Cotijuba no período chuvoso.



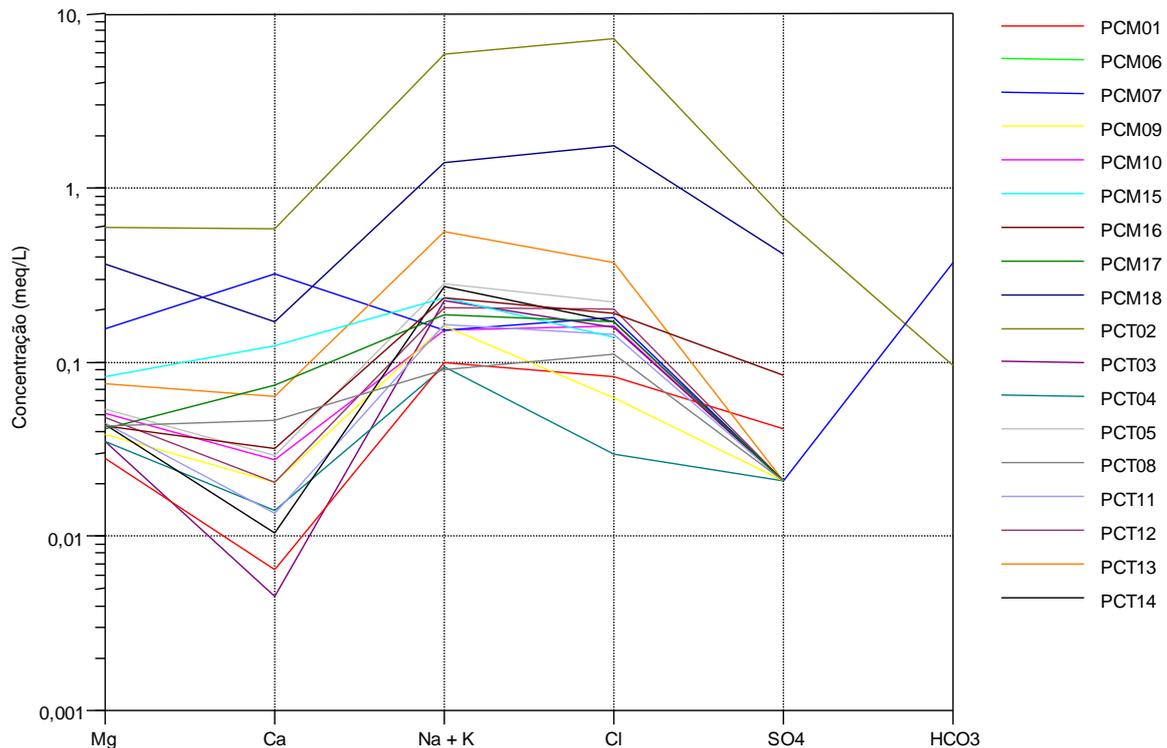
Fonte: Do autor

Figura 64 - Diagrama de Schoeller das águas subterrâneas da ilha de Cotijuba no período de transição.



Fonte: Do autor

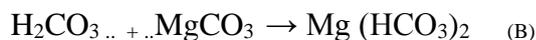
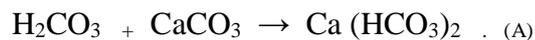
Figura 65 - Diagrama de Schoeller das águas subterrâneas da ilha de Cotijuba no período menos chuvoso.



Fonte: Do autor

9.1.19 Dureza total

A fonte de dureza nas águas é proveniente, principalmente, da dissolução das rochas calcárias pelo CO_2 da água (reações A e B) sendo mais frequente em águas subterrâneas que em águas superficiais (PIVELI; KATO, 2006).



Para Santos (2008), em geral, compreende-se como poder de consumo de sabão pela água ou capacidade da água neutralizar o sabão devido à ação do cálcio, magnésio ou outros elementos como ferro, manganês, entre outros. Esta pode ser expressa como dureza temporária, dureza permanente e dureza total. Sendo a dureza permanente, a diferença entre a dureza total e a temporária. A alcalinidade mede a dureza dos carbonatos, ajudando a separar a dureza dos carbonatos e não carbonatos. As águas duras dificultam o cozimento dos alimentos. A Tabela 10 mostra a classificação da água quanto à dureza total (CUSTODIO; LLAMAS, 1983).

Os valores obtidos de dureza total não sofreram grandes variações nos três períodos analisados (Figura 66). As amostras apresentaram um valor mediano de 2,77 mg/L no período

chuvoso, enquanto na transição o valor foi de 3,11 mg/L e no período menos chuvoso obteve-se um valor um pouco mais elevado de 3,96 mg/L que corresponde com o aumento das concentrações de cálcio e magnésio neste mesmo período (Figuras 61 e 62). Os valores variaram de 1,29 mg/L obtido na amostra PCM01 no período chuvoso a 58,5 mg/L na amostra PCT02 no período menos chuvoso sendo, esta última, classificada como pouco dura neste período e as demais amostras como brandas em todos os períodos analisados (Tabela 10).

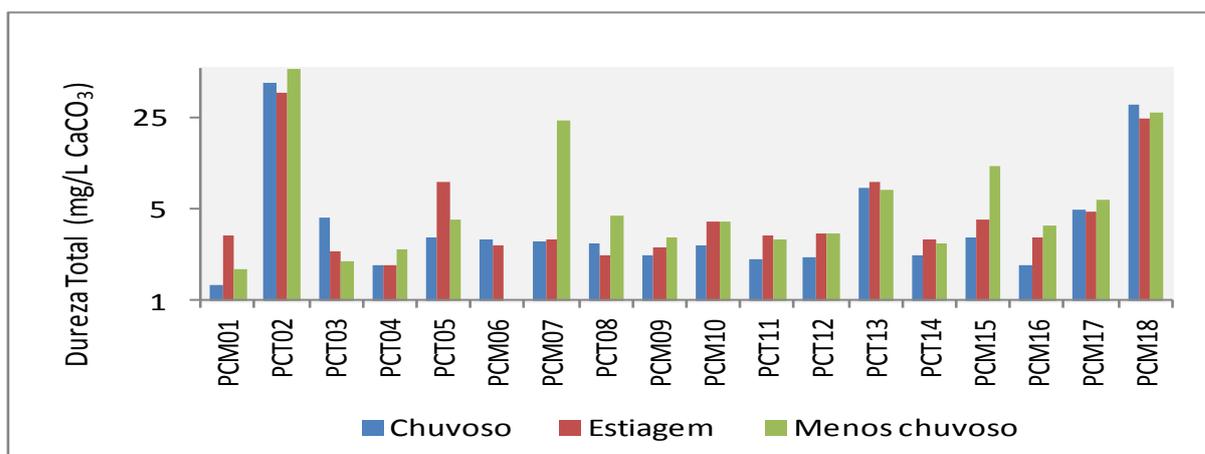
Tabela 10 - Classificação da dureza total das águas.

CLASSIFICAÇÃO	CaCO ₃ (mg/L)
Branda	< 50
Pouco Dura	50 – 100
Dura	100 – 200
Muito Dura	> 200

Fonte: Adaptado de Custodio e Llamas (1983).

As águas dos poços estudados estão de acordo com a portaria n° 2.914/2011/MS que estabelece um VMP de dureza total para água de consumo de 500 mg/L CaCO₃.

Figura 66 - Variação sazonal da dureza total das águas subterrâneas estudadas.



Fonte: Do autor

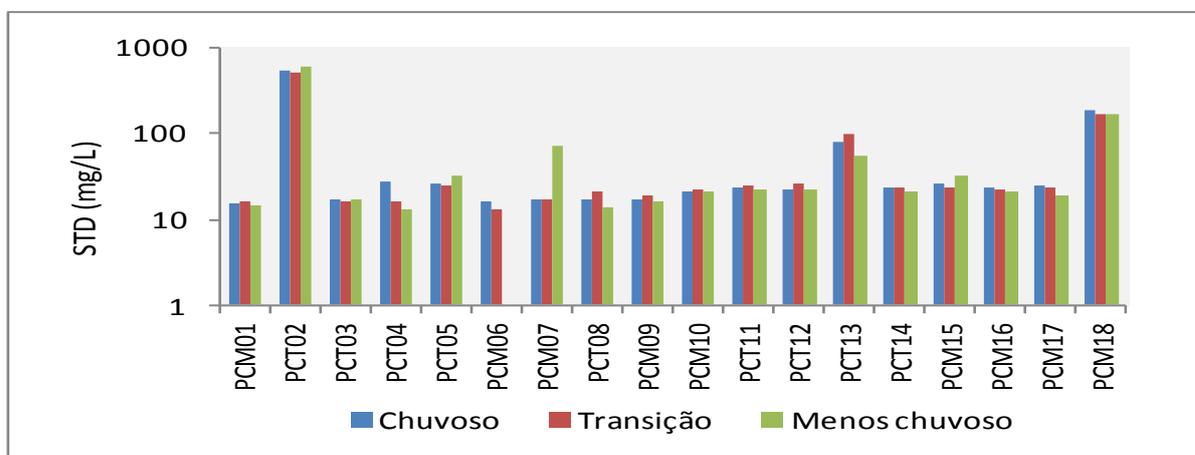
9.1.20 Sólidos totais dissolvidos

Os sólidos nas águas são proporcionais a toda matéria que permanece após evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma dada temperatura em tempo fixado (PIVELI; KATO, 2006). Sendo que nas águas de abastecimento, em geral, os sólidos ocorrem na forma dissolvida, constituídos principalmente de sais inorgânicos e em menor quantidade de matéria orgânica (CETESB, 1978).

Os valores de STD obtidos na maioria das amostras apresentaram-se relativamente baixos, com valores medianos de 23 mg/L no período chuvoso, 22,8 na transição e 21,3 no período menos chuvoso. Como pode-se observar na Figura 67, o menor valor obtido foi na amostra PCM06 de 12,8 mg/L na estiagem e os mais elevados foram obtidos na amostra PCT02 nos três períodos analisados; PCM07 no período menos chuvoso; PCT13 no chuvoso e na transição e na amostra PCM18 em ambos os períodos. Os altos valores obtidos na amostra PCT02 confirmam a forte relação com a CE que apresentou teores elevados nessa amostra.

Segundo a Organização Panamericana de La Salud (OPS) (1985, v. 1. p.89, tradução nossa), “um aspecto a ser considerado dos sólidos totais dissolvidos com relação à qualidade da água potável, é o sabor. Quando a concentração de STD é inferior a 600 mg/L confere sabor agradável a água, entretanto, quanto mais se concentra mais desagradável se torna”. Além, de fazer-se inconveniente para determinados usos e ser corrosiva para os filtros e estrutura dos poços (CETESB, 1978). Todas as amostras encontram-se abaixo do VMP recomendado pela portaria n° 2.914/2011 para consumo (1000 mg/L), assim como, a resolução CONAMA n° 396/2008 que estabelece o mesmo VMP.

Figura 67 - Variação sazonal dos sólidos totais dissolvidos das águas subterrâneas estudadas.



Fonte: Do autor

9.2 Análise de correlação

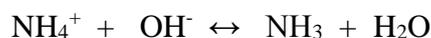
O coeficiente de correlação (r) é utilizado para estabelecer o comportamento de uma variável em relação à outra. Os valores de coeficiente de correlação (r) variam de -1 a 1, quanto mais próximo de 1 (independente do sinal), maior a força de relação entre as variáveis, indicando uma relação perfeita, por outro lado quanto mais se aproxima de zero, menor é a

força dessa relação, indicando que não há relação linear entre as variáveis (FIGUEIREDO FILHO; SILVA JUNIOR, 2009).

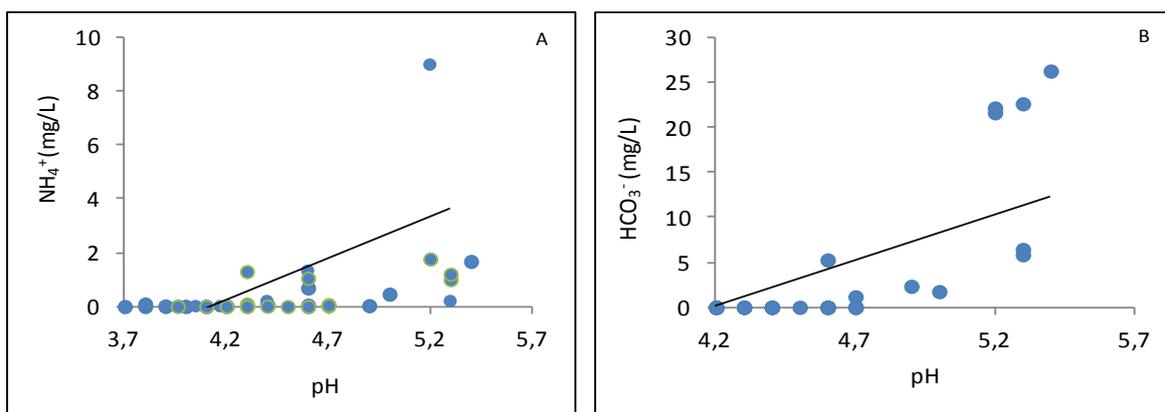
Os principais parâmetros analisados e suas matrizes de correlação no período chuvoso estão representados na Tabela 11.

No período chuvoso houve fortes índices de correlações positivas do pH x NH_4^+ ($r = 0,70$), índice mais acentuado entre alcalinidade total x NH_4^+ ($r = 0,90$). Entre a alcalinidade total x HCO_3^- obteve-se um índice perfeito ($r = 1$), sendo que este íon é um dos constituintes que causam a alcalinidade nas águas, portanto, evidenciando a forte correlação positiva entre eles. Houve também fortes índices positivos entre a alcalinidade total x Fe total ($r = 0,97$); NH_4^+ X HCO_3^- ($r = 0,90$), e Fe total ($r = 0,97$).

A forte correlação positiva entre o NH_4^+ com o pH está representada na Figura 68 A, onde a distribuição dos valores no gráfico mostra, portanto, que existe uma nítida correlação linear positiva entre essas variáveis; esta correlação pode ser explicada pelo processo de transformação do nitrogênio orgânico para nitrogênio amoniacal (NH_3 gasosa + NH_4^+ ionizada) que libera íons hidroxila (OH^-) responsável pelo aumento do pH do meio, conforme a reação (CONNEL, 1997):

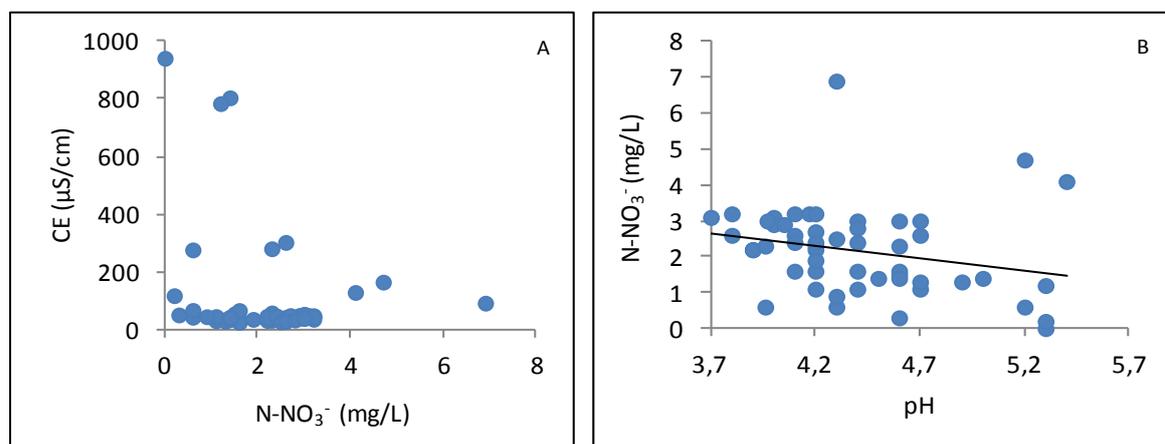


É importante destacar, ainda, que o pH apresenta uma clara correlação linear positiva com o HCO_3^- , como mostra a Figura 68 B. Os gráficos de correlação do nitrato x CE e pH (Figura 69 A e B) mostram que não há uma relação linear clara do nitrato e a CE, porém se percebe uma correlação negativa fraca com o pH que pode ser explicada, pelo processo de oxidação da amônia a nitrato que libera íons H^+ podendo levar a baixos valores de pH (VON SPERLING, 2014). Índice de correlação do nitrato x CE relativamente fraco ($r = 0,28$) foi obtido por Lemos et al., (2015), em sua pesquisa relacionada à qualidade das águas subterrâneas do município de Santarém, PA. Em relação, ao nitrato x pH, Cabral (2004), em estudo sobre à qualidade das águas do Aquífero Barreiras da RMB identificou no diagrama de correlação que a maioria das amostras apresentaram-se como uma nuvem dispersa, portanto, não percebeu qualquer correlação entre essas variáveis.

Figura 68 - Diagramas de correlações do pH x íon amônio e HCO_3^- .

Fonte: Do autor

Figura 69 - Diagrama de correlação do nitrato x CE e pH.



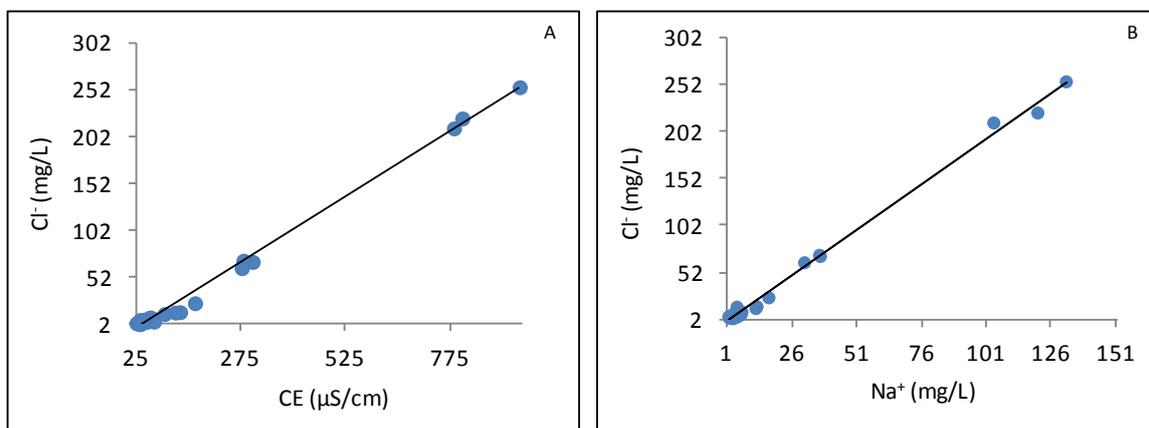
Fonte: Do autor

Existe, também, um forte índice de correlação positiva perfeito entre a CE x Na^+ ($r = 1$), STD ($r = 1$); Na^+ x STD ($r = 1$). Fortes correlações entre CE x SO_4^{2-} ($r = 0,99$), K^+ ($r = 0,95$), Ca^{2+} ($r = 0,91$), Mg^{2+} ($r = 0,97$), dureza total ($r = 0,96$) e STD ($r = 0,96$); STD x Ca^{2+} ($r = 0,90$), Mg^{2+} ($r = 0,96$) e dureza total ($r = 0,96$), essas fortes correlações são devidamente previstas, pois a condutividade é a propriedade de conduzir corrente elétrica que é diretamente proporcional à quantidade de íons dissolvidos na água, aumentando assim, a sua carga iônica.

O cloreto é um elemento estável e de baixa ocorrência na área estudada constituindo, assim, um forte indicador de contaminação sendo, seguido de forma positiva pela CE, Na^+ , STD, SO_4^{2-} , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e a dureza total. Os dados de correlação do cloreto com a condutividade elétrica e o sódio foram plotados em diagramas para uma melhor comparação do grau de relacionamento entre essas variáveis. Como pode-se observar na Figura 70 A e B, os dados apresentam uma forte relação positiva perfeita,

representados por seus respectivos índices de correlação ($r=1$). Essa relação positiva também foi determinada por Paranhos (2010), nos estudos das águas do Aquífero Barreiras da região de Icoaraci e Silva (2014) nas águas do Barreiras em Castanhal e Santa Maria do Pará.

Figura 70 - Diagramas de correlações de cloreto x CE e Na^+ .



Fonte: Do autor

Castro (2014) obteve fortes correlações positivas desses íons no estudo das águas subterrâneas do polo industrial de Barcarena-PA. Constatou-se também uma forte correlação positiva perfeita entre o Mg^{2+} x dureza total ($r = 1$). Existem também fortes correlações do SO_4^{2-} x Na^+ ($r = 0,98$), K^+ ($r = 0,92$), Ca^{2+} ($r = 0,94$), Mg^{2+} ($r = 0,99$), dureza total ($r = 0,98$), e STD ($r = 0,98$); HCO_3^- x Fe total ($r = 0,97$); Na^+ x K^+ ($r = 0,95$), Ca^{2+} ($r = 0,89$), Mg^{2+} ($r = 0,95$), e Dureza total ($r = 0,95$); K^+ x Ca^{2+} ($r = 0,83$), Mg^{2+} ($r = 0,87$) e dureza total ($r = 0,87$); Ca^{2+} x Mg^{2+} ($r = 0,94$), e dureza total ($r = 0,96$). A forte correlação entre os íons magnésio e cálcio com a dureza, é perfeitamente explicada, pois esses minerais fazem parte dos principais constituintes que causam a dureza das águas naturais.

Tabela 11 - Matriz de correlação entre os principais parâmetros analisados no período chuvoso.

	pH	CE	Alc.total	NH_4^+	N-NO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	HCO_3^-	Fe Total	Na^+	K^+	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Dureza Total	STD
pH	1														
CE	0,33	1													
Alc.total	0,64	0,09	1												
NH_4^+	0,70	0,25	0,90	1											
N-NO_3^-	-0,09	-0,21	0,49	0,31	1										
SO_4^{2-}	0,31	0,99	0,15	0,29	-0,16	1									
Cl^-	0,31	1,00	0,02	0,19	-0,26	0,97	1								
HCO_3^-	0,64	0,09	1,00	0,90	0,49	0,14	0,02	1							
Fe Total	0,69	0,08	0,97	0,97	0,37	0,13	0,02	0,97	1						
Na^+	0,34	1,00	0,06	0,22	-0,24	0,98	1,00	0,06	0,05	1					
K^+	0,52	0,95	0,21	0,42	-0,20	0,92	0,95	0,21	0,25	0,95	1				
Ca^{+2}	0,36	0,91	0,15	0,27	-0,14	0,94	0,89	0,15	0,13	0,89	0,83	1			
Mg^{+2}	0,20	0,97	0,03	0,18	-0,19	0,99	0,95	0,03	0,02	0,95	0,87	0,94	1		
Dureza Total	0,24	0,96	0,06	0,20	-0,18	0,98	0,95	0,06	0,04	0,95	0,87	0,96	1,00	1	
STD	0,34	1,00	0,09	0,25	-0,21	0,98	1,00	0,09	0,08	1,00	0,96	0,90	0,96	0,96	1

Fonte: Do autor

Os principais parâmetros analisados e suas matrizes de correlação no período de transição estão representados na Tabela 12.

O período de transição apresentou fortes índices de correlações positivas entre o pH x alcalinidade total ($r = 0,76$), HCO_3^- ($r = 0,76$) e o K^+ ($r = 0,81$). Observa-se uma tendência de um índice de correlação positivo do Cl^- x Na^+ e STD; CE x STD, Na^+ e Cl^- ; Na^+ x STD. Essas correlações estão em concordância com os índices perfeitos ($r = 1$). Verificou-se também fortes índices positivos do pH x alcalinidade e os íons HCO_3^- e K^+ , entre a CE x dureza e os íons SO_4^{2-} , K^+ e Mg^{2+} ; da alcalinidade Total x NH_4^+ ; do íon amônio x HCO_3^- ; Sulfato x dureza, Cl^- , Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{2+} e STD. Com relação ao sódio houve fortes correlações positiva x K^+ , Mg^{2+} e a Dureza; o potássio x Mg^{2+} , STD e a dureza; o magnésio x STD e a dureza, assim como a dureza x STD.

Tabela 12 - Matriz de correlação entre os principais parâmetros analisados no período de transição.

	pH	CE	Alc.total	NH_4^+	N-NO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	HCO_3^-	Fe Total	Na^+	K^+	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Dureza Total	STD
pH	1														
CE	0,61	1													
Alc.total	0,76	0,33	1												
NH_4^+	0,59	0,09	0,96	1											
N-NO_3^-	-0,10	-0,17	0,36	0,52	1										
SO_4^{2-}	0,46	0,91	0,34	0,17	-0,05	1									
Cl^-	0,58	1,00	0,26	0,02	-0,22	0,90	1								
HCO_3^-	0,76	0,33	1,00	0,96	0,36	0,34	0,26	1							
Fe Total	0,38	-0,05	0,38	0,31	-0,44	-0,09	-0,07	0,38	1						
Na^+	0,58	1,00	0,29	0,05	-0,17	0,91	1,00	0,29	-0,09	1					
K^+	0,81	0,89	0,66	0,45	-0,05	0,79	0,87	0,66	0,24	0,87	1				
Ca^{+2}	0,27	0,45	0,41	0,37	0,01	0,71	0,42	0,41	0,33	0,43	0,50	1			
Mg^{+2}	0,52	0,99	0,21	-0,03	-0,25	0,92	0,99	0,21	-0,04	0,99	0,84	0,49	1		
Dureza Total	0,51	0,96	0,28	0,06	-0,22	0,96	0,96	0,28	0,04	0,96	0,85	0,64	0,98	1	
STD	0,61	1,00	0,33	0,09	-0,17	0,91	1,00	0,33	-0,05	1,00	0,89	0,44	0,99	0,96	1

Fonte: Do autor

No período menos chuvoso (Tabela 13) há algumas diferenças nas correlações não tantos significativas do período chuvoso. As fortes correlações positivas perfeitas com ($r=1$), foram obtidas entre a CE x Cl^- , Na^+ e STD; a alcalinidade x HCO_3^- ; o STD x Cl^- e o Na^+ . Com relação aos demais íons, as fortes correlações positivas foram entre o pH x alcalinidade, ferro e o HCO_3^- ; a CE x SO_4^{2-} , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , e dureza. A alcalinidade x NH_4^+ , e o ferro; o amônio x HCO_3^- ; o sulfato x Cl^- , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , dureza e STD. Fortes índices positivos também foram obtidos do cloreto x dureza, K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} ; do bicarbonato x Fe^+ ; do sódio x K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e a dureza; do potássio x Ca^{2+} , Mg^{2+} , dureza e STD; do cálcio x Mg^{2+} , dureza e STD; o magnésio teve fortes índices positivos x dureza e STD e finalmente a dureza x STD.

Tabela 13 - Matriz de correlação entre os principais parâmetros analisados no período menos chuvoso.

	<i>pH</i>	<i>CE</i>	<i>Alc.total</i>	<i>NH₄⁺</i>	<i>N-NO₃⁻</i>	<i>SO₄⁻²</i>	<i>Cl⁻</i>	<i>HCO₃⁻</i>	<i>Fe Total</i>	<i>Na⁺</i>	<i>K⁺</i>	<i>Ca⁺²</i>	<i>Mg⁺²</i>	<i>Dureza Total</i>	<i>STD</i>
<i>pH</i>	1														
<i>CE</i>	0,42	1													
<i>Alc.total</i>	0,74	0,14	1												
<i>NH₄⁺</i>	0,64	0,30	0,73	1											
<i>N-NO₃⁻</i>	-0,37	-0,32	-0,37	0,03	1										
<i>SO₄⁻²</i>	0,21	0,94	0,01	0,10	-0,35	1									
<i>Cl⁻</i>	0,40	1,00	0,10	0,25	-0,31	0,94	1								
<i>HCO₃⁻</i>	0,74	0,14	1,00	0,73	-0,37	0,01	0,10	1							
<i>Fe Total</i>	0,72	0,23	0,71	0,49	-0,27	0,09	0,19	0,71	1						
<i>Na⁺</i>	0,39	1,00	0,08	0,26	-0,27	0,93	1,00	0,08	0,16	1					
<i>K⁺</i>	0,47	0,96	0,22	0,46	-0,30	0,86	0,95	0,22	0,27	0,95	1				
<i>Ca⁺²</i>	0,65	0,90	0,49	0,49	-0,38	0,80	0,88	0,49	0,58	0,87	0,89	1			
<i>Mg⁺²</i>	0,33	0,95	0,20	0,28	-0,37	0,97	0,94	0,20	0,26	0,93	0,91	0,90	1		
<i>Dureza Total</i>	0,50	0,95	0,35	0,40	-0,39	0,91	0,93	0,36	0,43	0,92	0,92	0,97	0,97	1	
<i>STD</i>	0,42	1,00	0,14	0,30	-0,31	0,94	1,00	0,14	0,23	1,00	0,96	0,90	0,95	0,95	1

Fonte: Do autor

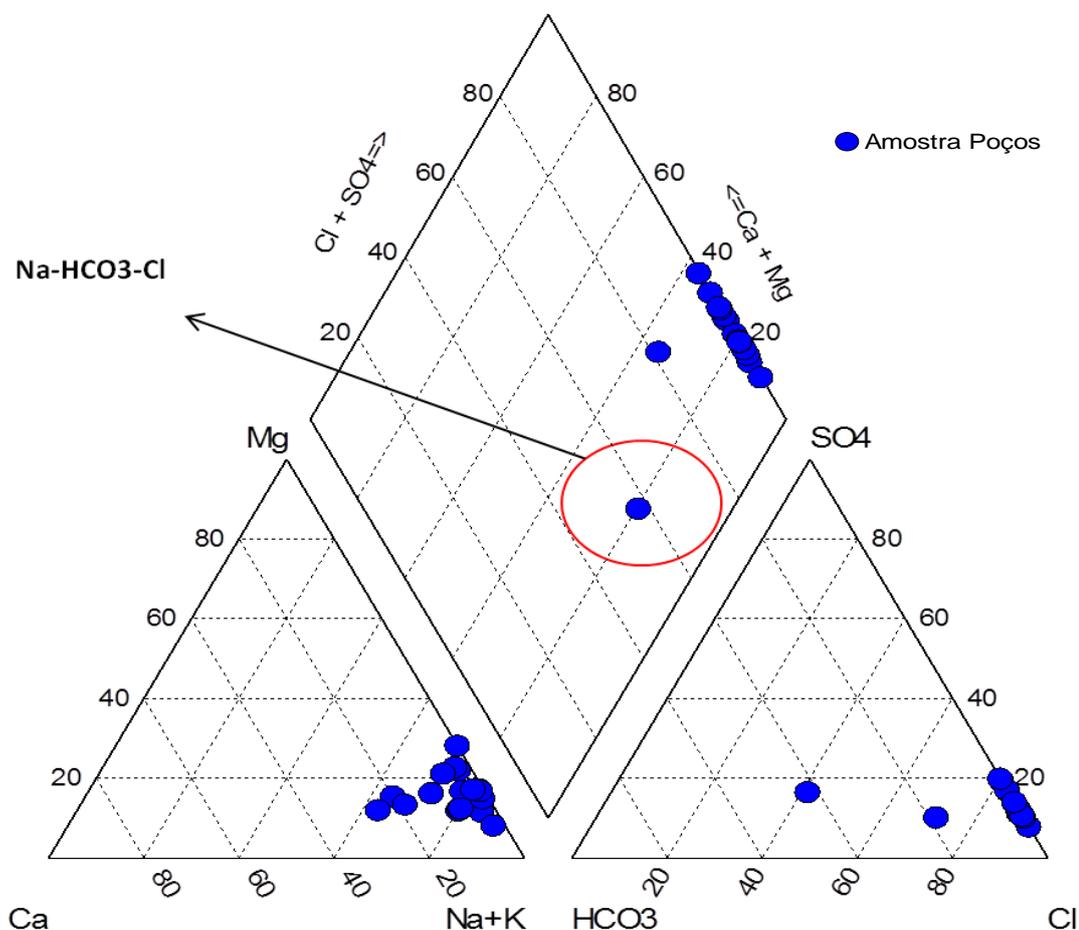
9.3 Classificação das águas

As águas estudadas foram classificadas de acordo com os íons predominantes, utilizando-se os diagramas de Piper, os quais permitem uma fácil visualização dos diferentes tipos de águas analisadas.

Com base nesse tipo de diagrama, a água tem a denominação do cátion ou do ânion em que as somas das suas concentrações, em meq/L, seja maior que 50%; se o cátion ou o ânion não ultrapassa este valor, a água recebe a denominação dos dois cátions ou ânions mais abundantes (SANTOS, 2008).

As Figuras 71, 72 e 73, representam os diagramas de Piper das águas analisadas no período chuvoso, transição e menos chuvoso.

Figura 71 - Diagrama de Piper dos poços amostrados no período chuvoso.



Fonte: Do autor

De acordo com este diagrama, temos a seguinte relação de cátions e ânions no período chuvoso e na transição $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ e $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$ (Figuras 71 e 72). No período menos chuvoso (Figura 73) predominam $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ e $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$. A proporção de cada cátion ou ânion maior em solução representa o tipo químico da água. Esse resultado indica, portanto, a predominância dos íons Cl^- e Na^+ sobre os demais, nos três períodos analisados, caracterizando a maioria das águas nos tipos de fácies hidroquímicas cloretadas sódicas.

Essa classificação é característica do Aquífero livre da região estudada que recebe contribuição direta das precipitações pluviométricas (MATTA, 2002; PARANHOS, 2010; OLIVEIRA FILHO; GALARZA TORO, 2013). Em alguns pontos, independente do período analisado, os íons cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e bicarbonato (HCO_3^-) se tornam mais expressivos, classificando eventualmente, águas bicarbonatada cálcica, bicarbonatada sódica e bicarbonatada cloretada sódica, alterando o quimismo natural da composição dessas águas, conforme mostra os diagramas de Piper e Tabela 14, nos períodos analisados. É importante

ressaltar que as águas plotadas no campo bicarbonatada sódica é um forte indicativo de composição de efluentes de fossas domésticas (CABRAL, 2004).

Figura 72 - Diagrama de Piper dos poços amostrados no período de transição.

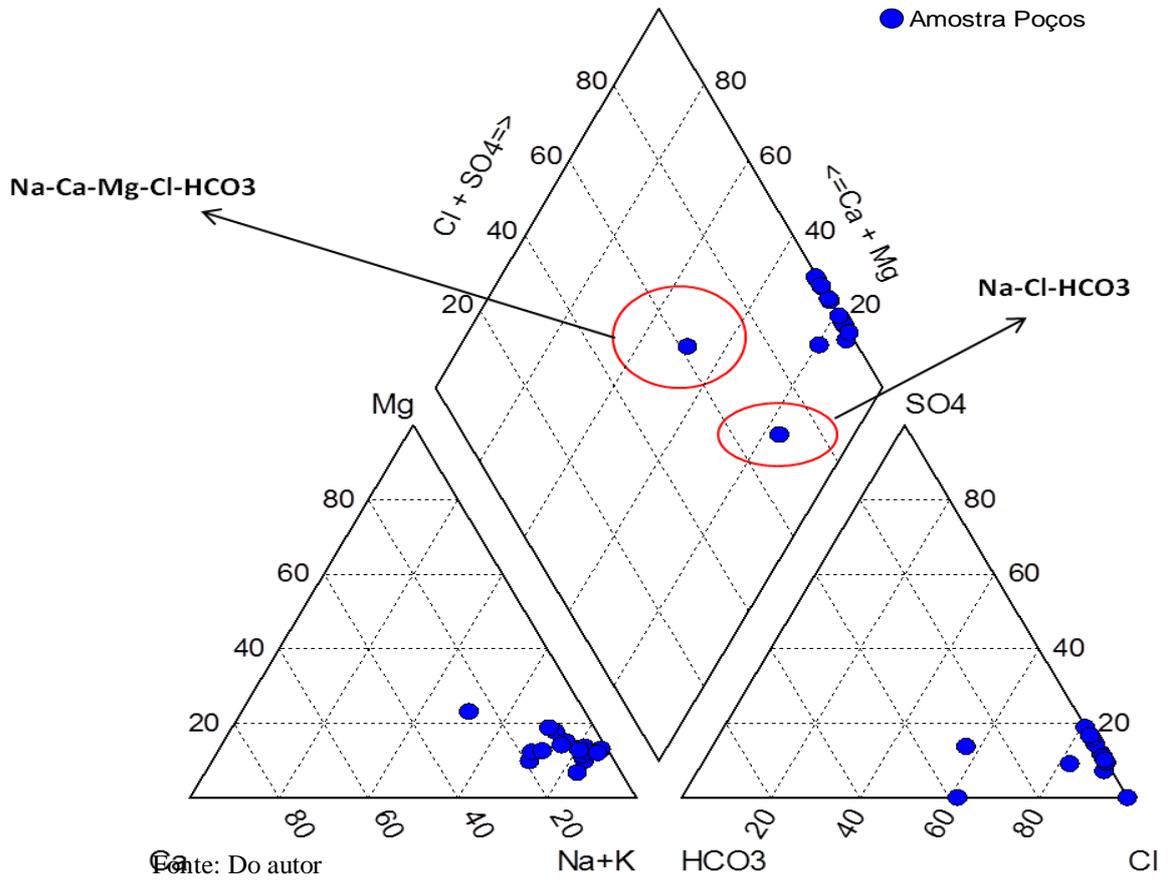
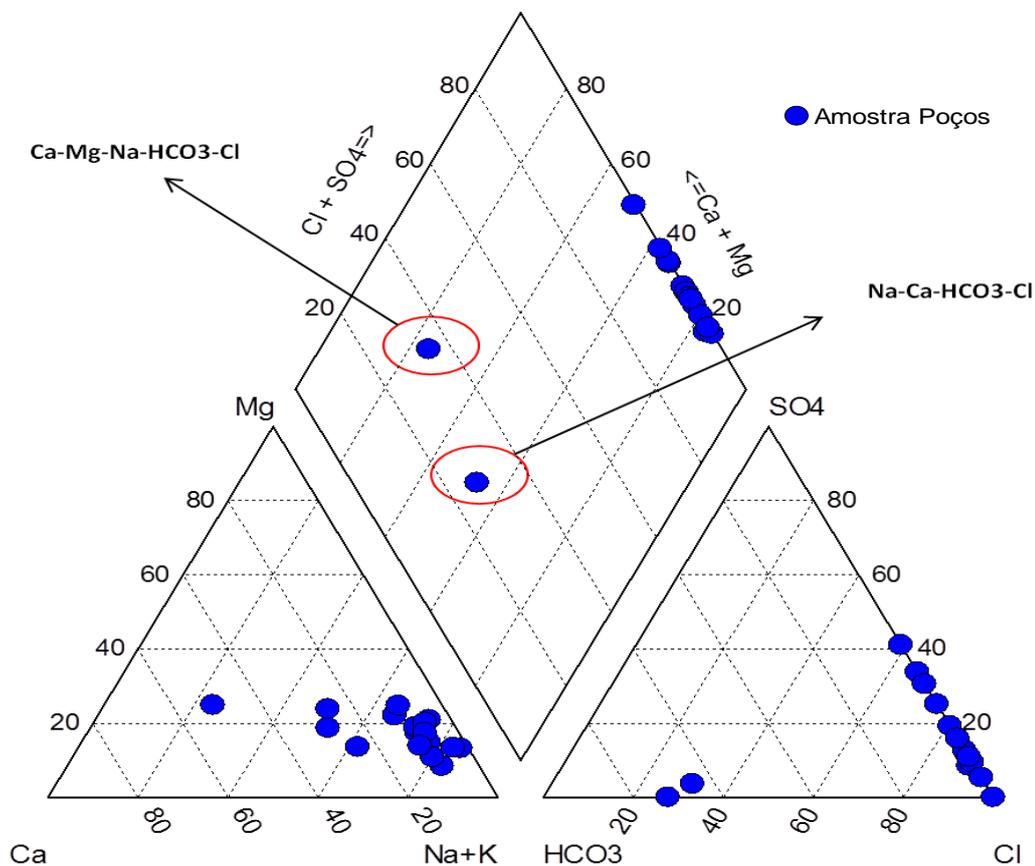


Figura 73 - Diagrama de Piper dos poços amostrados no período de menos chuvoso.



Fonte: Do autor

Tabela 14 - Tipos iônicos dominantes nos três períodos amostrados na Ilha de Cotijuba.

POÇO	CHUVOSO	TRANSIÇÃO	MENOS CHUVOSO
PCM01	Na ⁺ -Cl ⁻	Na ⁺ -Ca ²⁺ -Cl ⁻	Na ⁺ -Mg ²⁺ -Cl ⁻ -SO ₄ ²⁻
PCT02	Na ⁺ -Cl ⁻	Na ⁺ -Cl ⁻	Na ⁺ -Cl ⁻
PCT03	Na ⁺ -Ca ²⁺ -Cl ⁻	Na ⁺ -Cl ⁻	Na ⁺ -Cl ⁻
PCT04	Na ⁺ -Cl ⁻	Na ⁺ -Cl ⁻	Na ⁺ -Mg ²⁺ -Cl ⁻ -SO ₄ ²⁻
PCT05	Na ⁺ -Cl ⁻	Na ⁺ -Ca ²⁺ -Mg ²⁺ -Cl ⁻ -HCO ₃ ⁻	Na ⁺ -Cl ⁻
PCM06	Na ⁺ -Ca ²⁺ -Cl ⁻	Na ⁺ -Ca ²⁺ -Cl ⁻	-
PCM07	Na ⁺ -Cl ⁻	Na ⁺ -Mg ²⁺ -Cl ⁻	Ca ²⁺ -Mg ²⁺ -Na ⁺ -HCO ₃ ⁻ -Cl ⁻
PCT08	Na ⁺ -Ca ²⁺ -Mg ²⁺ -Cl ⁻	Na ⁺ -Cl ⁻	Na ⁺ -Ca ²⁺ -Mg ²⁺ -Cl ⁻
PCM09	Na ⁺ -Mg ²⁺ -Cl ⁻	Na ⁺ -Cl ⁻	Na ⁺ -Mg ²⁺ -Cl ⁻
PCM10	Na ⁺ -Mg ²⁺ -Cl ⁻	Na ⁺ -Mg ²⁺ -Cl ⁻	Na ⁺ -Mg ²⁺ -Cl ⁻
PCT11	Na ⁺ -Cl ⁻	Na ⁺ -Cl ⁻	Na ⁺ -Mg ²⁺ -Cl ⁻
PCT12	Na ⁺ -Cl ⁻	Na ⁺ -Cl ⁻	Na ⁺ -Cl ⁻
PCT13	Na ⁺ -HCO ₃ ⁻ -Cl ⁻	Na ⁺ -Cl ⁻ -HCO ₃ ⁻	Na ⁺ -Cl ⁻
PCT14	Na ⁺ -Cl ⁻	Na ⁺ -Cl ⁻	Na ⁺ -Cl ⁻
PCM15	Na ⁺ -Cl ⁻	Na ⁺ -Cl ⁻	Na ⁺ -Ca ²⁺ -HCO ₃ ⁻ -Cl ⁻
PCM16	Na ⁺ -Cl ⁻	Na ⁺ -Cl ⁻	Na ⁺ -Cl ⁻ -SO ₄ ²⁻
PCM17	Na ⁺ -Ca ²⁺ -Cl ⁻	Na ⁺ -Cl ⁻	Na ⁺ -Ca ²⁺ -Cl ⁻
PCM18	Na ⁺ -Mg ²⁺ -Cl ⁻	Na ⁺ -Cl ⁻	Na ⁺ -Cl ⁻ -SO ₄ ²⁻

Fonte: Do autor

9.4 Sentido preferencial de fluxo da água subterrânea rasa

O mapa de sentido preferencial de água subterrânea do sistema Aquífero Barreiras livre estudado foi elaborado a partir dos valores de carga hidráulica (h), obtidos a partir das medidas da altitude do terreno e da profundidade das águas (NE) nos poços. Os dados e as coordenadas dos poços, utilizados para o cálculo da carga hidráulica estão representados na Tabela 15.

As medidas da profundidade da água nos poços foram realizadas no mês de abril no período chuvoso, em agosto na transição e no mês de novembro no período menos chuvoso, para confecção dos mapas potenciométricos referente a esses três períodos.

Os dados da Tabela 15 e da Figura 74 mostram que o nível estático variou de 0,59 m no poço PCM01 a 7,38 m no poço PCM09, no período chuvoso; no período de transição a variação foi de 2,12 m no poço PCT02 a 8,1 m no poço PCM09; e no período menos chuvoso variou de 2,8 m no poço PCM01 a 9,2 m no poço PCM09.

Os mais baixos valores de carga hidráulica (h) foram obtidos no período de menor precipitação pluviométrica (novembro) variando de 1 a 20,4 m e os mais altos foram obtidos no período chuvoso (abril) com valores de 3,4 a 22 m. Esses valores estão diretamente relacionados com o rebaixamento e aumento do nível estático (NE) respectivamente. Valores intermediários de carga hidráulica foram obtidos no período de transição (agosto) (1,88 a 21,2 m) (Tabela 15).

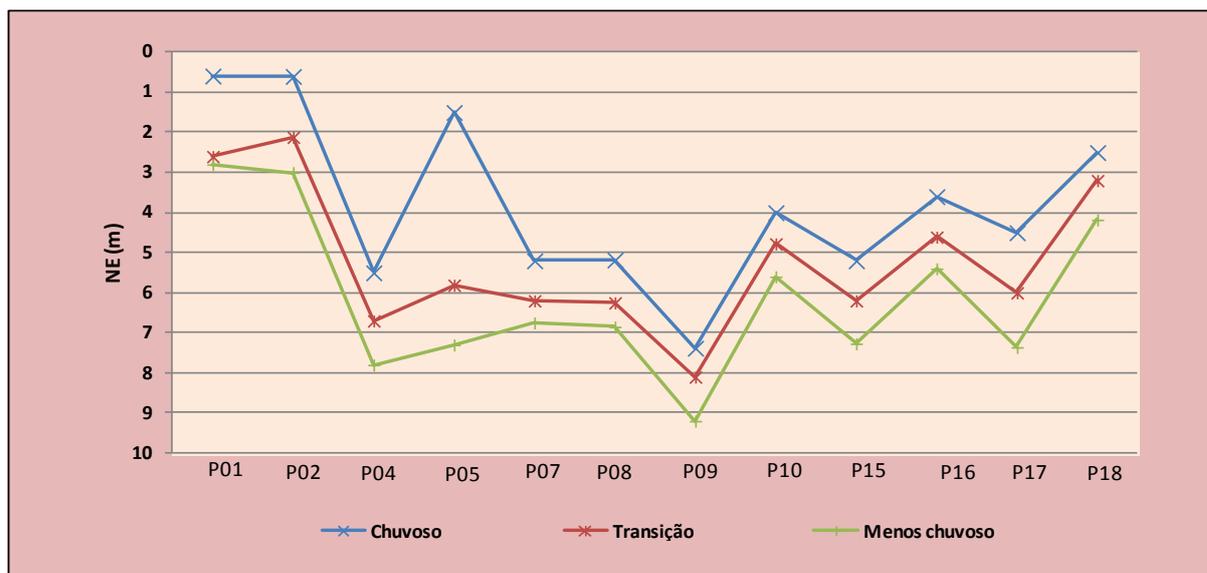
Tabela 15 - Dados físicos dos poços, utilizados para o cálculo da carga hidráulica da Ilha de Cotijuba.

Poço	UTM-E	UTM-N	PROF.	Cota	NE Abr	NE Ago	NE Nov	h Abr	h Ago	h Nov
PCM01	774812.68	9863438.16	4	5	0,59	2,6	2,8	4,41	2,4	2,2
PCT02	773353.87	9863476.39	12	4	0,6	2,12	3	3,4	1,88	1
PCT04	774053.68	9865522.46	14	9	5,5	6,7	7,8	3,5	2,3	1,2
PCT05	772920.61	9864441.75	13,5	11	1,5	5,81	7,3	9,5	5,19	3,7
PCM07	771886.97	9863849.59	8	21	5,2	6,2	6,75	15,8	14,8	14,25
PCT08	771784.01	9862884.73	18	19	5,18	6,25	6,85	13,82	12,75	12,15
PCM09	772223.30	9862967.29	10	24	7,38	8,1	9,2	16,62	15,9	14,8
PCM10	772216.15	9861923.98	10	26	4	4,78	5,6	22	21,22	20,4
PCM15	771076.32	9860233.30	12	14	5,2	6,2	7,27	8,8	7,8	6,73
PCM16	771039.72	9860780.35	10	17	3,6	4,61	5,4	13,4	12,39	11,6
PCM17	771537.61	9860678.47	10	21	4,5	6	7,36	16,5	15	13,64
PCM18	771576.47	9859246.37	5	20	2,5	3,2	4,18	17,5	16,8	15,82

Os dados de profundidade (PROF), cota, nível estático (NE) e carga hidráulica (h) estão expressos em metros (m). Abr: abril, Ago: agosto, Nov: novembro.

Fonte: Do autor

Figura 74 - Variação sazonal do nível estático (NE).

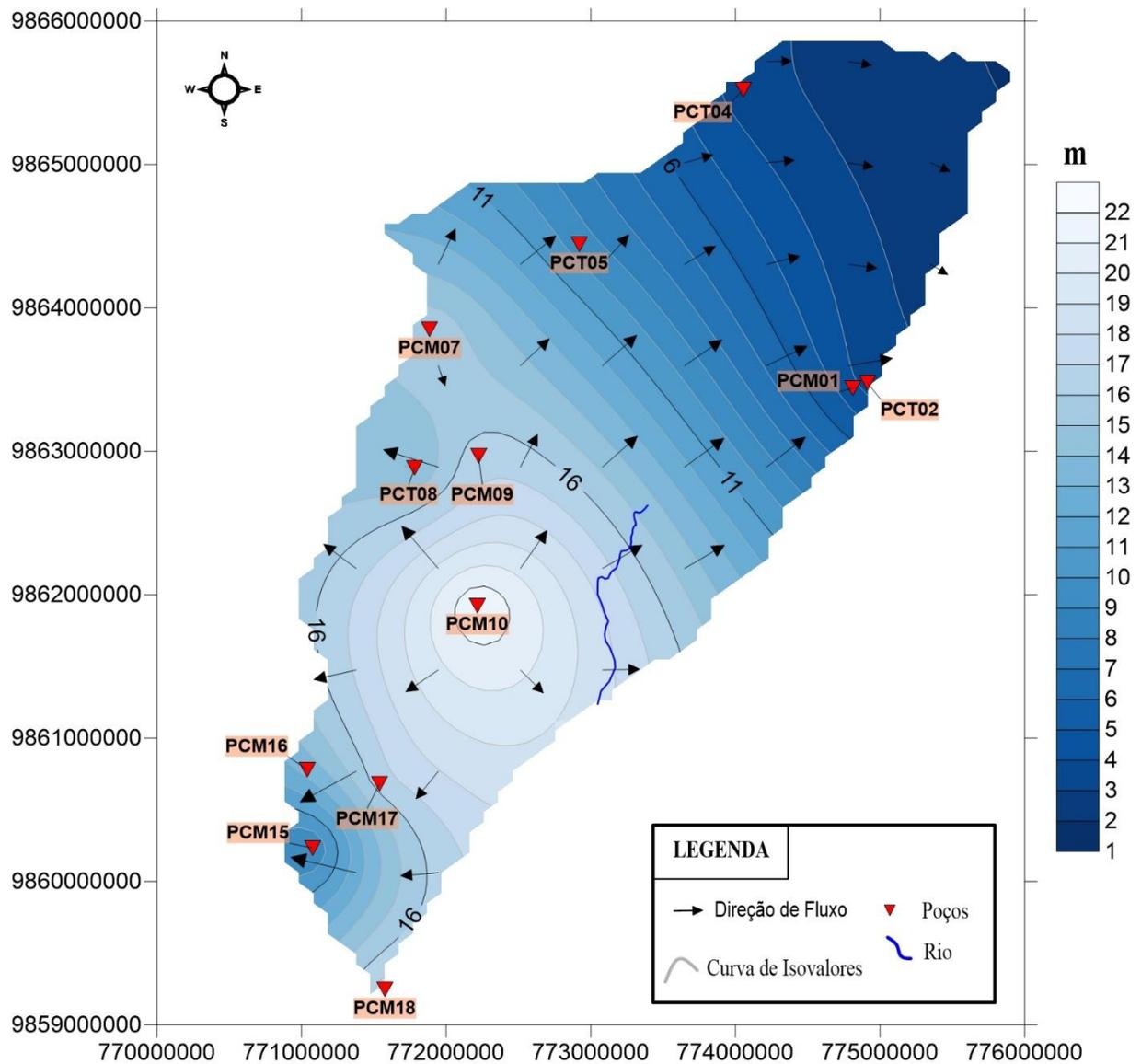


Fonte: Do autor

O Aquífero mostrou uma similaridade de fluxo subterrâneo nos três períodos avaliados (Figuras 75, 76 e 77). O fluxo direciona-se dos pontos de maior potencial hidráulico (h) aos pontos de menor potencial. Na ilha de Cotijuba, na parte central em direção ao sul com sua topografia mais elevada é considerada uma zona de recarga da água subterrânea e está representada pelas setas divergentes. Na zona Sudoeste (SW) representada pelas setas de fluxo hídrico subterrâneo com comportamento convergente, identificam área de descarga da água subterrânea.

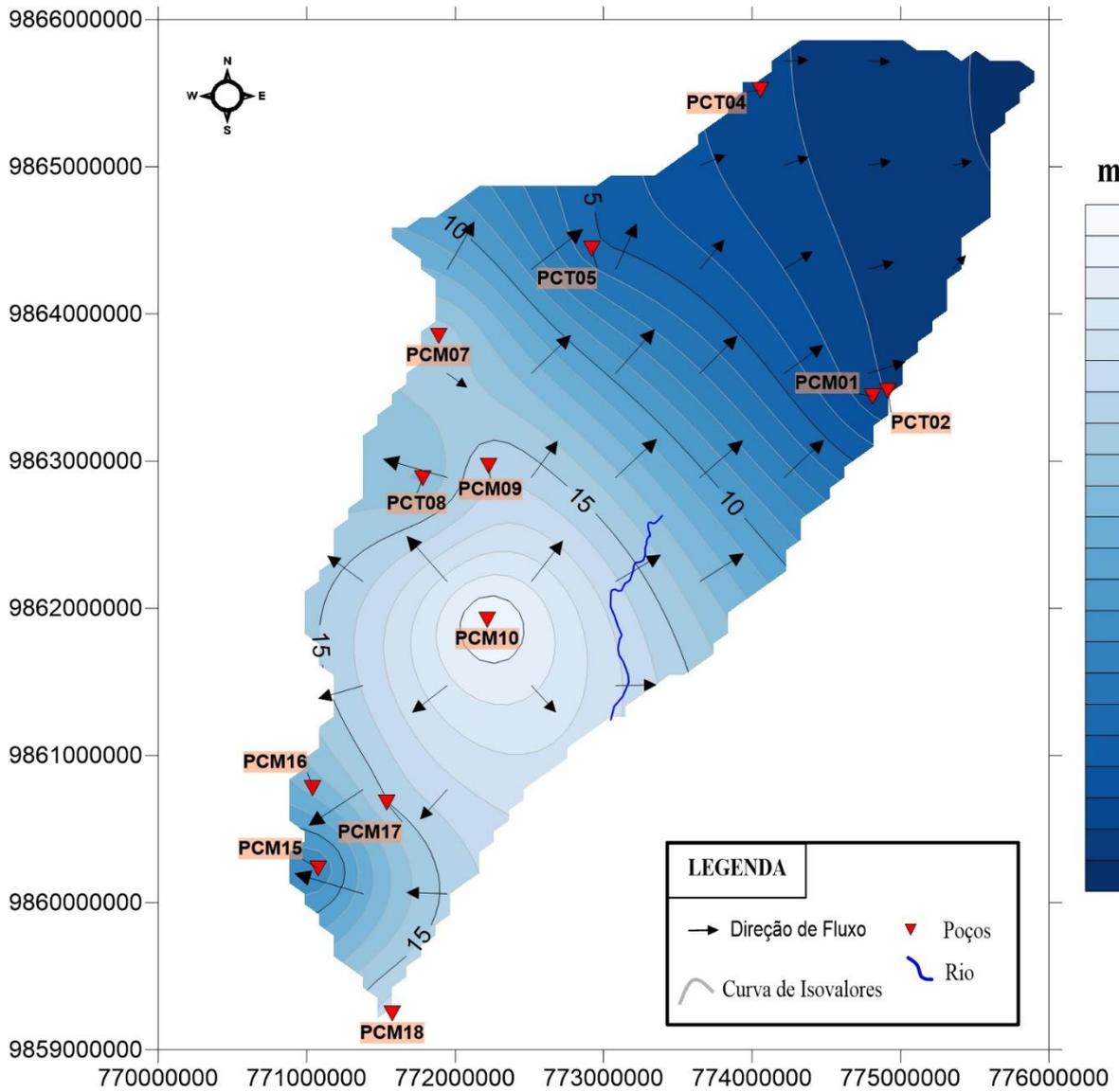
Observa-se que na zona Nordeste da ilha está situado o poço PCT02 que apresentou presença de bactérias do grupo coliformes e valores consideravelmente elevados da maioria dos parâmetros físico-químicos analisados. Segundo Tancredi (1986), nos seus estudos dos recursos hídricos subterrâneos de Santarém observou que altas taxas de recarga podem induzir em zonas de rebaixamento do nível hidrostático, contaminações em poços construídos sem técnicas adequadas. Portanto, podendo ser mais uma justificativa dos resultados obtidos no poço PCT02 além, das já citadas anteriormente.

Figura 75 – Sentido preferencial de fluxo da água subterrânea rasa da ilha de Cotijuba no período chuvoso.



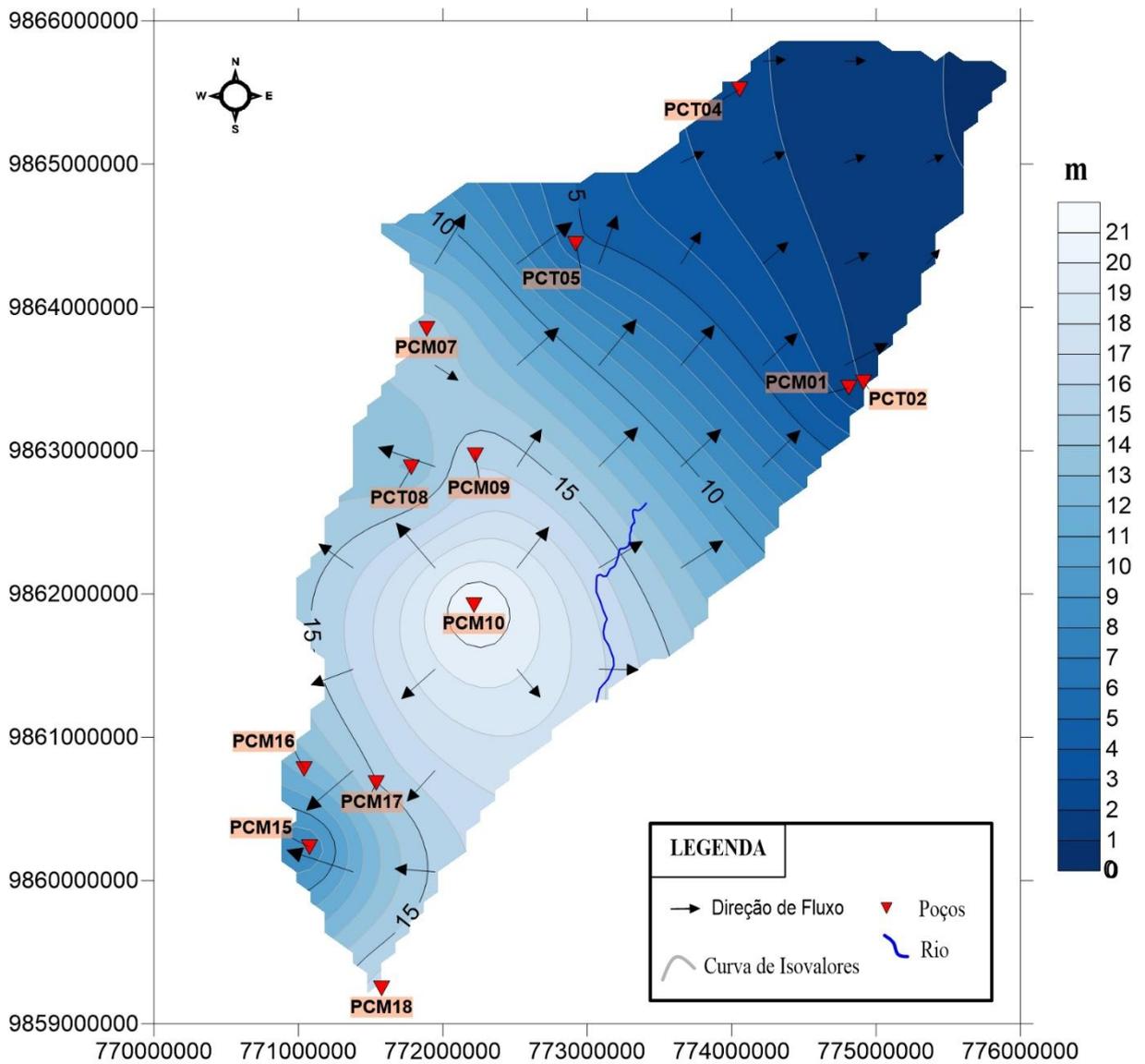
Fonte: Do autor

Figura 76 - Sentido preferencial de fluxo da água subterrânea rasa da ilha de Cotijuba no período de transição.



Fonte: Do autor

Figura 77 - Sentido preferencial de fluxo da água subterrânea rasa da ilha de Cotijuba no período menos chuvoso.



Fonte: Do autor

9.5 Resultados bacteriológicos

Segundo o Ministério da saúde MS em sua portaria nº 2.914 de 2011, as águas utilizadas para consumo humano devem indicar ausência para o grupo coliformes. Os resultados dos indicadores microbiológicos nas águas estudadas em Cotijuba são mostrados na Tabela 16.

A determinação das bactérias coliformes baseou-se nas análises qualitativas (presença/ausência) de coliformes totais (CT) e *E. coli*. Na área estudada os resultados obtidos do grupo coliformes, 18 amostras (100 %) das águas analisadas no período chuvoso encontram-se contaminadas por coliformes totais, e 4 (20 %) estão contaminadas com a *E. coli*, enquanto que na transição 12 (67 %) estão contaminadas com CT e 4 (20 %) com a *E. coli* e no período menos chuvoso 13 (76 %) das amostras encontram-se contaminadas com CT e 5 (29 %) com a *E. coli*. De acordo com a portaria nº 2.914/MS essas águas encontram-se fora do padrão microbiológico de potabilidade para consumo humano.

A contaminação por coliformes totais na maioria das águas analisadas, nos três períodos amostrados, podem estar relacionadas a diversos fatores, como por exemplo, vegetação, matéria orgânica, assim como a litologia da área estudada. No período de maior precipitação pluviométrica há um maior escoamento superficial carreando patógenos para os corpos d'água, onde o nível estático dos poços se encontra mais próximo da superfície do terreno, justificando a presença de CT na totalidade das amostras analisadas nesse período. Segundo Cabral (2004), um condicionante que possibilita a contaminação da água subterrânea por bactérias e vírus são as características dos aquíferos rasos e quando predominam os terrenos arenosos.

Como pode-se observar na Tabela 16, a presença de *E. coli* nas amostras PCT02, PCT05, PCM07, PCT13 e na amostra PCT15 indicam, exclusivamente, contaminação por fezes humanas e de animais de sangue quente sendo, a *E. coli*, um dos indicadores mais específicos de contaminação fecal. As amostras que apresentaram presença de *E. coli* também apresentaram presença do íon amônio, em concentrações consideráveis, provenientes de matéria orgânica em decomposição com proliferação de microrganismos patogênicos (Figura 29). Cabe ressaltar que na ilha de Cotijuba, os poços são mal construídos, em alguns casos, com fossas próximas, o lixo não é armazenado de forma adequada e os esgotos domésticos são lançados diretamente na superfície do solo contribuindo, dessa forma, para a proliferação de patógenos aos cursos d'água.

Tabela 16 – Dados das análises bacteriológicas das águas subterrâneas nos três períodos analisados.

POÇOS	PERÍODO CHUVOSO		PERÍODO DE TRANSIÇÃO		PERÍODO MENOS CHUVOSO	
	E.COLI	COLIFORMES TOTAIS	E.COLI	COLIFORMES TOTAIS	E.COLI	COLIFORMES TOTAIS
PCM01	A	P	A	A	A	P
PCT02	P	P	P	P	P	P
PCT03	A	P	A	A	A	P
PCT04	A	P	A	A	A	A
PCT05	P	P	P	P	P	P
PCM06	A	P	A	P	s/a	s/a
PCM07	P	P	P	P	P	P
PCT08	A	P	A	P	A	A
PCM09	A	P	A	P	A	P
PCM10	A	P	A	P	A	P
PCT11	A	P	A	A	A	A
PCT12	A	P	A	A	A	A
PCT13	P	P	P	P	P	P
PCT14	A	P	A	A	A	P
PCM15	A	P	A	P	P	P
PCM16	A	P	A	P	A	P
PCM17	A	P	A	P	A	P
PCM18	A	P	A	P	A	P

A: Ausência em 100 mL, P: Presença em 100 mL, s/a: sem análise

Fonte: Do autor

Vários estudos relacionados à contaminação por bactérias do grupo coliformes, em Aquíferos livres, mostraram a presença desse grupo de bactérias nos cursos d'água. Estudos realizados por Araújo e Abreu (2014), nas águas subterrâneas rasas na cidade de Santa Izabel/PA confirmaram a presença de coliformes totais e *E. coli* em quase a totalidade das amostras analisadas. Matta (2002) obteve a presença em 77 % de coliformes totais e 26 % presença de *E. coli*, em seus estudos nas águas do Grupo Barreiras nas áreas do Paracuri e Tucunduba/PA. Cajazeiras (2007), em sua pesquisa na qualidade e uso das águas subterrâneas e a relação com doenças de veiculação hídrica na região de Crajubar/CE obteve 62 % das amostras analisadas impróprias ao consumo humano, devido à presença em níveis elevados de bactérias do grupo coliformes. O autor atribuiu esses resultados, a disposição direta dos resíduos domésticos (fezes e esgoto) nos recursos hídricos.

Neste contexto, Melo Jr. (2003) ressalta que a transmissão de doenças (Tabela 17) que se faz através da ingestão ou contato dérmico com águas contaminadas provocam desde um simples desconforto intestinal até doenças graves podendo afetar os músculos, o sistema nervoso central, o coração, fígado, pulmões e até a morte.

Tabela 17 - Principais doenças associadas com via hídrica.

DOENÇA	AGENTE CAUSAL	SINTOMAS
INGESTÃO DE ÁGUA CONTAMINADA		
Disenteria bacilar	Bactéria (<i>Shigella dysenteriae</i>)	Forte diarreia
Cólera	Bactéria (<i>Vibrio cholerae</i>)	Diarréia extremamente forte, desidratação, alta taxa de mortalidade
Leptospirose	Bactéria (<i>Leptospira</i>)	Ictérica, febre
Salmonelose	Bactéria (<i>Salmonella</i>)	Febre, náusea, diarreia
Febre tifóide	Bactéria (<i>Salmonella typhi</i>)	Febre elevada, diarreia, ulceração do intestino delgado
Disenteria amebiana	Protozoário (<i>Entamoeba histolytica</i>)	Diarréia prolongada, com sangramento, abscessos no fígado e intestino fino
Giardíase	Protozoário (<i>Giardia lamblia</i>)	Diarreia leve a forte, náusea, indigestão, flatulência
Hepatite infecciosa	Vírus (vírus da hepatite A)	Ictericia, febre.
Gastroenterite	Vírus (enterovírus, parvovírus, rotavírus)	Diarreia leve a forte
Paralisia infantil	Vírus (Poliomielites vírus)	Paralisia
CONTATO COM ÁGUA CONTAMINADA		
Escabiose	Sarna (<i>Sarcoptes scabiei</i>)	Úlceras na pele
Tracoma	Clamídea (<i>Chlamydia trachomatis</i>)	Inflamação dos olhos, cegueira completa ou parcial

Fonte: Adaptado de Melo Junior (2003)

10 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A pesquisa realizada na Ilha de Cotijuba permitiu a caracterização das águas subterrâneas utilizados para abastecimento doméstico, avaliando a sua potabilidade, com base na Portaria 2.914 MS/2011.

As características hidroquímicas das águas do aquífero freático avaliado permitiram classificá-las como cloretadas sódicas, independente do período de amostragem; apresentam baixa mineralização evidenciando a forte influência das precipitações pluviométricas na área estudada. Em algumas áreas ocorrem águas bicarbonatada cálcica, bicarbonatada sódica e bicarbonatada cloretada sódica, com fortes correlações positivas entre os íons maiores com a condutividade elétrica e STD e do cloreto com o sódio. Houve também forte índice de correlação positiva de amônio com o pH e o bicarbonato, evidenciando influência por matéria orgânica nessas águas.

Os dados obtidos nos três períodos analisados indicam a influência da sazonalidade sobre a qualidade das águas; em alguns poços a CE apresenta-se mais elevada no período chuvoso e de transição, enquanto em outros os maiores teores apresentam-se no período menos chuvoso. A temperatura média variou de 28,67 °C no período chuvoso a 31,12 °C no menos chuvoso.

Os parâmetros hidroquímicos analisados mostram que as águas estudadas são ácidas, com pH na ordem de 3,7 a 5,4, portanto não atendem aos padrões estabelecidos pela portaria vigente, com relação a dureza total, são classificadas como brandas. Das 18 amostras analisadas, 8 (45 %) ultrapassaram o VMP para o ferro total no período de menor precipitação, sendo que na transição e no chuvoso, apenas 5 amostras (28 %) ultrapassaram o valor máximo estabelecido. Com relação à turbidez, 9 (50%) das amostras no período menos chuvoso encontram-se fora do VMP; quanto à cor aparente, no período chuvoso 8 (45%) ultrapassaram o valor recomendado, impossibilitando a utilização ao consumo humano dessas águas em certas épocas do ano onde esses valores encontram-se mais elevados.

Os gráficos boxplot revelaram parâmetros com valores anômalos e as maiores amplitudes dos dados no período menos chuvoso. Em alguns poços da área estudada os teores de CE, STD, Cl⁻, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, turbidez, cor, N-NO₃⁻ e NH₄⁺ encontram-se fora das características hidrogeoquímicas das águas do Aquífero Barreiras da região, evidenciando influência de fatores antrópicos, em consequência da ineficiência do sistema de esgotamento sanitário na área. Os teores de nitrato estão abaixo do recomendado pela Portaria vigente

variando de 0,2 a 6,9 mg/L representando, porém, indícios de influência por matéria orgânica decomposta na área de estudo.

A análise da distribuição espacial da CE, pH, Cl, Na, NO₃, NH₄ mostrou valores mais elevados a SW e NE da área, constituindo zona de descarga e mesmo sentido de fluxo da água subterrânea respectivamente; nessas zonas, a amostra PCT13 revelou 9 mg/L de NH₄⁺ na estiagem, evidenciando a forte influência neste poço por efluente de fossa séptica. Cabe destacar que a presença de amônio na água já é um indicativo que poderá aumentar as concentrações de nitrato com o passar do tempo através do processo de nitrificação, este processo foi observado em 10% das amostras analisadas. A zona central tendendo ao sul representa uma área de recarga da água subterrânea e os rios efluentes do aquífero, essa zona apresenta as menores concentrações da maioria das variáveis analisadas. A amostra PCT06 utilizada como branco na área de estudo apresentou baixo índice de CE e ausência de *E. coli* em todos os períodos amostrados.

Os resultados apresentaram parâmetros acima dos VMP estabelecido pela portaria 2914/2011 do MS e presença de coliformes totais e *E. coli* em alguns poços amostrados. Merece atenção especial o poço PCT02, situado em uma escola, em área de baixa cota topográfica, por apresentar valores elevados e presença de *E. coli* e coliformes totais, comprometendo o uso dessas águas ao consumo humano sem um tratamento adequado.

Esse estudo mostrou que as águas do aquífero freático da região são exploradas de forma inadequada, através de poços manuais e tubulares construídos sem critérios técnicos. Estes já apresentam indícios de contaminação pontual por fossas negras e esgoto sanitário; em decorrência do incipiente serviço de saneamento básico; essa situação indica que o consumo dessas águas, poderá acarretar problemas à saúde da população.

Os resultados obtidos apontam à necessidade de mais estudos relacionados ao controle da qualidade das águas, onde as informações sobre os recursos hídricos na Ilha são incipientes ou mesmo inexistentes; e de ações voltadas à melhoria nas formas de captação e distribuição de água, assim como, a disposição de efluentes domésticos buscando minimizar os efeitos na qualidade das águas subterrâneas destinadas ao consumo humano.

REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20th. Washington, DC: APHA, 1998.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. 2013. Disponível em http://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/ANA_Conjuntura_Recursos_Hidricos_Brasil/ANA_Conjuntura_Recursos_Hidricos_Brasil_2013_Final.pdf

AQUACHEM. **Aqueous Geochemical Data Analysis and Plotting**, v 1.40, Waterloo Hydrogeologic. Waterloo, Ontario, Canadá, 2011.

ARAI, M. A grande elevação eustática do Mioceno e sua influência na origem do Grupo Barreiras. **Revista do Instituto de Geociências – USP**, v. 6, n. 2, p. 1-6, 2006.

ARAÚJO, P. P. **Variações sazonais dos componentes nitrogenados, em aquífero livre na zona urbana de Santa Isabel do Pará, Nordeste do estado do Pará**. 2001. xvi, 113f. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2001.

ARAÚJO, P. P.; ABREU, F. A. M. Avaliação microbiológica das águas subterrâneas rasas: estudo de caso em área urbana, Amazônia Oriental Brasil. In: **Comunicações Geológicas**. IX CNG, Laboratório nacional de Geologia e Energia, Porto, 2014, Especial II, p. 707-710. Disponível em <<http://www.Ineg.pt/ineg/unidades/16/paginas/26/30/185>>.

BAHIA, V.E.; FENZL, N.; PIRATOBA MORALES, G. Estudo hidrogeológico e hidrogeoquímico da área localizada entre o depósito de lixo metropolitano de Belém (Aurá) e o lago Água Preta. **Geochimica Brasiliensis**, v. 20, n. 3, p. 295-311, 2006.

BELÉM. Prefeitura Municipal. **Plano municipal de saneamento básico de abastecimento de água e esgotamento sanitário de Belém – Pará**: concepções técnicas e proposições. Belém, 2014. v. 1.

_____. Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém. **Relatório dos sistemas de abastecimento de água da ilha de Cotijuba**. Belém, 2007.

BELLO, L. A. L; HÜFFNER, J. G. P. Análise dos impactos ambientais da expansão urbana na ilha de Cotijuba, Belém-PA. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 13, n. 44, p. 286–298, dez. 2012. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/>>. Acesso em: 27 dez. 2016.

BORGES, A. D. **Diagnóstico da geodiversidade da ilha de Cotijuba: contribuições para a análise de implantação de infraestrutura e geoturismo**. 2014. 97f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Gestão dos Recursos Naturais e Desenvolvimento Local na Amazônia – PPGEDAM, Núcleo de Meio Ambiente, Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá

outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Seção 1, p. 58-63. Disponível em: <<https://www.jusbrasil.com.br/diarios/DOU/2005/03/18>>. Acesso em: 20 dez. 2016.

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 7 abr. 2008. Seção 1, p. 66-67. Disponível em: <<https://www.jusbrasil.com.br/diarios/528745/pg-68-secao-1-diario-oficial-da-uniao-dou-de-07-04-2008>>. Acesso em: 20 dez. 2016.

_____. Ministério da Saúde. Portaria n.º 1469, de 29 de dezembro de 2000. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 22 fev. 2001. Seção 1, p. 39. Disponível em: <<http://www.opas.org.br/ambiente/UploadArq/port1469.pdf>>. Acesso em: 20 de jun. de 2016.

_____. Ministério da Saúde. Portaria n.º 2.914, de 12 de Dezembro de 2011. Dispõe sobre normas de potabilidade de água para o consumo humano. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 14 dez. 2011. Seção 1, p. 39-46. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/uploads/file/asabesp_doctos/kit_arsesp_portaria2914.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2016.

_____. Ministério da Saúde. Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano. **Secretaria de Vigilância em Saúde**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006.

_____. Fundação Nacional da Saúde. **Manual de saneamento**. 3 ed. rev. – Brasília, DF, 2007. 408p.

CABRAL, N. M. T. **Impacto da urbanização na qualidade das águas subterrâneas nos bairros do Reduto, Nazaré e Umarizal – Belém/PA**. Tese (Doutorado em Geologia) - Centro de Geociências, Departamento de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2004. 289f.

CABRAL, N. M. T.; LIMA, L. M. Comportamento hidrogeoquímico das águas do aquífero Barreiras nos bairros centrais de Belém. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi**. Ciências Naturais, Belém, 2006, **1**(1), p. 149-166.

CABRAL, N. M. T. Teores de nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+) nas águas do aquífero barreiras nos bairros do reduto, Nazaré e Umarizal – Belém/PA. **Química. Nova**, vol. 30, N. 8, 1804-1808, 2007.

CAJAZEIRAS, C. C. de A. **Qualidade e uso das águas subterrâneas e a relação com doenças de veiculação hídrica, região de Crajubar/CE**. Dissertação (Mestrado em Geologia)–Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007, 143f.

CASTRO, J. S. O. de et al. Potabilidade das águas subterrâneas para o consumo humano na área do Polo Industrial de Barcarena-Pará. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.10, n.19, p. 2921, 2014.

CASTRO L.O.A. **Destinação dos resíduos de construção e demolição na área insular do município de Santos e seus impactos sanitários e ambientais**. 2003. 141f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO ESTADO DO PARÁ (COSANPA). **Relatório de informações gerenciais**. Belém, 2013.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Determinação de resíduos em águas: métodos gravimétricos**. São Paulo, 1978. 14 p. (CETESB norma técnica, L5.149).

_____. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo, Série Relatórios: significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem (Apêndice A)**. São Paulo: CETESB, 2009.

CONNEL, D. W.; **Basic Concepts of Environmental Chemistry**, Lewis Publishers: Nova Iorque, 1997, vol. 5, p. 107-124.

COSTA, M. L. ANGÉLICA, R.S.; AVELAR, J. O. G. de. Outeiro e mosqueiro: exemplos de evolução laterítica imatura. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 3. 1991, Belém, **Anais...** Belém, SBG – Núcleo Norte, 1991. p. 479-494.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M.R. **Hidrologia subterrânea**. Barcelona: Ediciones Omega, 1976. v. 1. 1157p.

_____; _____. **Hidrologia subterrânea** Barcelona: Editorial Omega, 1983. 2 v.

_____; _____. **Hidrologia subterrânea** 2. ed. Barcelona: OMEGA, 2001. 1200p.

FARIAS, E. S.; NASCIMENTO, F. S.; FERREIRA, M. A. A. **Área de Belém/Outeiro: relatório final de estágio de campo III**. Belém: Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, 1992. 274p.

FERNANDES, W. A. A.; RODRIGUES, W. L. J.; FERREIRA, W. M.; PIMENTEL, M. A. da Silva. A problemática do lixo e seu transporte fluvial: um risco a saúde pública e a degradação ambiental na ilha de Cotijuba (Belém/PA). **Revista Geonorte**, v. 1, n. 4, p. 349 –357, 2012. Edição especial.

FENZL, N. **Introdução à hidrogeoquímica**. Belém: universidade federal do Pará, 1986. 189 p.

FERREIRA, A. C, S. da; PÁDUA, V. L. de. Qualidade da água para consumo humano. In: HELLER L. e PÁDUA V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2 ed. Belo horizonte, editora: UFMF, 2010. V.1, p. 151-216.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JUNIOR, J. A. da. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, Recife, v. 18, n. 01, 2009. p. 115-145. <www.revista.ufpe.br/politica/hoje/index.php/politica/article/viewFile/6/6_40>. Acesso em: 12 ago. 2016.

FUNDAÇÃO NACIONAL DA SAÚDE. **Manual de saneamento**. [S.l.]: Ministério da Saúde, 2004.

_____. **Programa de Aceleração do Crescimento (PAC)**. 2007. Disponível em: <www.funasa.gov.br/index_III.htm>. Acesso em: 27 jan. 2016.

GASPAR, M, T. P. **Avaliação dos impactos da ocupação urbana sobre as águas da bacia hidrográfica do igarapé Mata Fome, Belém-PA**. Dissertação (Mestrado) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2001. 112f.

GUIMARÃES, A. J. A.; CARVALHO, D. F. de; SILVA, L. D. B. da. **Saneamento básico**. Rio de Janeiro, 2007, 9 p. (Apostila do Instituto de Tecnologia/Departamento de Engenharia – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro). Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/Apostila%20IT%20179/Cap%201.pdf>>. Acesso em: 19 jan. 2017.

HEM, J.D. **Study and interpretation of the characteristics of natural Waters**. Washington. D.C.: Geological Survey Water-Supply Paper, 1985.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional de Amostra de Domicílios - PNDA**. [S.l.]: 2010. Disponível em <<http://mapas.ibge.gov.br/fisicos>>. Acesso em agosto/2016.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL (INMET). **Dados de Belém: região metropolitana. 2000**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=enderecos>>. Acesso em: 22 jun. 2016.

LEMOS, E. C. L., et al. Qualidade das águas subterrâneas e doenças de veiculação hídrica na parte sudoeste do Município de Fortaleza, Ceará, Brasil. **Revista de Geologia**, Vol. 22, n 2, 151 – 165, 2009.

LEMOS, E. J. de S. et al. Qualidade da água subterrânea de poços tubulares urbanos e periurbanos do município de Santarém, Pará, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 28. 2015, Rio de Janeiro. [Anais...] Rio de Janeiro: ABES, 2015. Disponível em: <http://www.consultaesic.cgu.gov.br/busca/dados/Lists/Pedido/Attachments/473572/RESPOSTA_PEDIDO_QUALIDADE%20DA%20GUA%20SUBTERRNEA%20DE%20POOS%20TUBULARES.pdf> Acesso em: 08/06/16.

LLOYD, J.W.; HEATHCOTE, J.A. **Natural inorganic hydrochemistry in relations to groundwater**. Oxford: Clarendon Press, 1985.

LOGAN, J. **Interpretação e análise química da água**. Recife: U.S. Agency for international Development, 1965.

LUIZ, J. G. **Perfilagem geofísica**. Belém: Universidade Federal do Estado do Pará. Centro de Geociências, 1999. 10 f. (Relatório Técnico).

MACEDO, J. A. B. de. **Águas e águas**. 3. ed. Belo Horizonte: CRQ-MG, 2007. 1027p.

MATTA M.A.S. **Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada dos recursos hídricos da região de Belém/Ananindeua – Pará, Brasil**. 2002. 292 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2002.

MARTINS, A. A. A ruralidade da ilha de Cotijuba: um olhar etnográfico. **Revista Lato & Sensu**, Belém, v. 4, n. 1, p. 3-5, out. 2003.

MELO JUNIOR, G. Curso de pré-congresso: poluição química de águas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA. Belém. **Anais...** Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Departamento de Geologia, 9, 2003, 141f.

MELO O. C. do. **O lugar e a comunidade na ilha de Cotijuba-PA**. 2010. 192f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

MESQUITA, K. F. C. **Qualidade da água de consumo na ilha de Mosqueiro/PA**. 2012. 79f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós – Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto Tecnológico, Universidade Federal do Pará, Belém, 2012.

MORAES, P. B. **ST 502 tratamento biológico de efluentes líquidos, ST 503 tratamento físico-químico de efluentes líquidos**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2008.

OLIVEIRA, J. R. de. (org.). **Projetos de estudos hidrogeológicos da região metropolitana de Belém e adjacências**. Texto explicativo. Belém: CPRM, 2002.

OLIVEIRA FILHO, O.B.Q.; GALARZA TORO, M.A. Investigação de mistura de águas entre o sistema Barreiras e Pirabas com base na assinatura isotópica de estrôncio (Sr) e hidrogeoquímica em Ananindeua, Belém e backgrounds comparativos nos municípios de Benevides e Capanema (PA). In: WANKLER, F. L.; HOLANDA, E. C.; VASQUEZ, M. L.(org.). **Contribuições à geologia da Amazônia**. Belém: SBGeo-Núcleo Norte, 2012. v. 8, p. 175-196.

OLIVEIRA, J.G. F; SILVA, R. C. S. **Geologia e recursos minerais da folha Belém – sa.22-x-d-iii, Estado do Pará, escala 1:100.000**: Programa Geologia do Brasil (PGB), Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil. Projeto Cartografia da Amazônia. CPRM. 2011.

ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD. **Guias para la calidad del agua potable**. Washington, DC: OPS, OMS, 1985. v. 1. (Pub. Cient., 481).

PALMIER, L. R. Mananciais subterrâneos: aspectos quantitativos. In: HELLER L. e PÁDUA V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2 ed. Belo horizonte, editora: UFMF, 2010. V.1, p. 271-296.

PARANHOS, P.F. **Caracterização hidroquímica do sistema aquífero Pirabas em Icoaraci, região metropolitana de Belém – estado do Pará**. 2010. 94f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

PICANÇO, F. E. L.; LOPES, E. C. S.; SOUZA, E. L. de. Fatores responsáveis pela ocorrência de ferro em águas subterrâneas da região metropolitana de Belém-PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12, 2002, São Paulo. **Anais eletrônicos**. Belém: UFPA, 2002. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/viewFile/22823/14983>>. Acesso em: 12 ago. 2016.

PIRATOBA MORALES, G. **Avaliação ambiental dos recursos hídricos, solos e sedimentos na área de abrangência do depósito de resíduos sólidos do Aurá**. 2002. 234f. Tese (Doutorado em Geologia) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Estado do Pará, Belém, 2002.

PIVELI, R. P.; KATO, M. T. **Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos**. São Paulo: ABES, 2006. 285p.

PROSAB (PROGRAMA DE PESQUISAS EM SANEAMENTO BÁSICO). **Reúso das águas de esgoto sanitário, inclusive desenvolvimento de tecnologia de tratamento para esse fim**. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

RAINHO, J. M., Planeta água, **Revista Educação**, v.26, n.221, p.48-64, set/1999.

REBOLÇAS, A. C. da. Noções de hidroquímica. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. RJ: CPRM LABHID, 2008. Cap. 1.2.

REIS C. C.; NEVES E. C.; SILVA F. C.C. Da captação ao abastecimento público: Análise dos processos e implicações gerado pela distribuição do recurso hídrico e seus diferentes usos na ilha de Cotijuba-PA. In: SIMPÓSIO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS NA AMAZÔNIA, 3, 2014, Belém, PA. **Anais** (on-line). Belém: Universidade do Estado do Pará, 2014. Disponível em: <http://www4.uepa.br/paginas/pcambientais/simposio/anais_resumos_2014.pdf>. Acesso em: 06/06/2016.

RIBEIRO, B.G.; CARDOSO, A.C.D.; BEZERRA, F.N.C. A dualidade do ambiente natural/urbano e suas perspectivas em Cotijuba – Pa. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE O TRATAMENTO DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE EM MEIO URBANO E RESTRIÇÕES AMBIENTAIS AO PARCELAMENTO DO SOLO, 3., 2014, Belém. **A dimensão ambiental da cidade**. Belém: [s.n.], 2014. p. 1-20.

ROCHA, W. J. S. da. **Estudo da salinização das águas subterrâneas na região de Maceió a partir da integração de dados hidrogeológicos, hidrogeoquímicos e geoeletrônicos**. 2009. 203 f. Tese (Doutorado) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2009.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. **Introdução à química ambiental**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 256 p. ISBN 978-85-7780-469-6.

ROSSETTI, D.F. Evolução sedimentar miocênica nos estados do Pará e Maranhão. **Geol. USP. Sér. Cient.**, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 7-18, 2006.

SANTOS, A. C. Noções de hidroquímica. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. RJ: CPRM LABHID, 2008. Cap. 5.1.

SECRETARIA MUNICIPAL DE COORDENAÇÃO GERAL DO PLANEJAMENTO E GESTÃO (SEGEP). **Caracterização do território**. 2011.

SILVA, R. C. A. de; ARAUJO, T. M. de. Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA). **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 8 n. 4, p. 1019-1028, 2003.

SILVA, R. S. B. da. **Estudo da precipitação sazonal na qualidade das águas na área de influência do lixão de Salinópolis, PA.** 2016. 112f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

SILVA, I. R. F. da. **Caracterização hidrogeoquímica e isotópica ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) dos sistemas aquíferos Barreiras e Pirabas Superior nos municípios de Castanhal e Santa Maria do Pará, estado do Pará.** 2014. xiv, 70 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.

SILVA, D. D. da, et al. Falta de saneamento básico e as águas subterrâneas em aquífero freático: região do Bairro Pedra Noventa, Cuiabá (MT) **Eng Sanit Ambient**, v.19 n.1, p. 43-52, jan/mar 2014.

SILVA, R. S. **Caracterização hidroquímica dos sistemas aquíferos Bauru e Guarani no município de Bauru.** 2009. 101 f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio ambiente) – Instituto de geociências e Ciências Exatas, Universidade Federal Paulista, Rio Claro, 2009.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES EM SANEAMENTO (SNIS). **Diagnósticos dos serviços de água e esgotos, 2007.** Disponível em: <www.snis.gov.br/>. Acesso em: 13 jan. 2016.

SOUZA, C. M. N.; FREITAS, C. M.; MORAES, L. R. S. Discursos sobre a relação saneamento-saúde-ambiente na legislação: uma análise de conceitos e diretrizes. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 12, n. 4, p. 371-379, Out./Dez. 2007.

TANCREDI, A.C. F. N. S. **Recursos hídricos subterrâneos de Santarém:** fundamentos para o uso e proteção. 1996. 146 f. Tese (Doutorado em Geoquímica) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1996.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance.** New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104p. (Publications in Climatology).

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI** - enfrentamento e escassez. São Carlos: Rima; Instituto Internacional de Ecologia, 2003. 247p.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Recursos hídricos no Século XXI.** Nova ed. atual. e ampl. São Paulo: Oficina de Texto, 2011. 328 p.

UHLY, S.; SOUZA, E. L. (org.). **A questão da água na grande Belém.** Belém: Ed. Casa de Estudos Germânicos, 2004. 247p.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias.** 4 ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2014. v. 1, 472p.

WHO. **Protecting Groundwater for Health: Manag-ing the Quality of Drinking-water Sources.** 1.ed. Londres: WHO, 2006. 697p. Disponível em: http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/PGWsection1.pdf. Acesso em nov. 2015.

ZOBY, J. L. G. Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil. In: XV CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 11. 2008, Rio Grande do Norte. **Anais eletrônicos**. Disponível em <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/issue/view/1178/showToc>. Acesso em dez. 2015.

APÊNDICE

APÊNDICE A - Localização dos Pontos Amostrados na ilha de Cotijuba

POÇO	UTM-E	UTM-N	ENDEREÇO	COTA	PROFUNDIDADE	DISTÂNCIA DA FOSSA
PCM01	774812.68	9863438.16	Rua Pedra branca	5	4	50
PCT02	773353.87	9863476.39	Rua Pedra branca (anexo Escola Estadual Marta da conceição)	4	12	10
PCT03	775497.45	9864709.82	Rua do Poção, 335	13	20	50
PCT04	774053.68	9865522.46	Rua do Poção,9 Pedra Branca	9	14	7,3
PCT05	772920.61	9864441.75	Rua Magalhães Barata,49 Vai-quem-quer	11	13,5	25
PCM06	773380.88	9863783.68	Rua do Canivete	14	8	mais de 50
PCM07	771886.97	9863849.59	Rua da Flexeira,67	21	8	12
PCT08	771784.01	9862884.73	Praia funda, 823	19	18	40
PCM09	772223.30	9862967.29	Rua da Polícia	24	10	13,6
PCM10	772216.15	9861923.98	Rua Magalhães Barata	26	10	11,7
PCT11	771880.46	9860171.08	Rua Jarbas Passarinho (Escola Estadual Marta da Conceição)	11	30	mais de 50
PCT12	771874.32	9860217.19	Rua Jarbas Passarinho (Escola de ensino fundamental Unidade Pedagógica da Faveira)	13	30	30
PCT13	771803.19	9860229.55	Rua Jarbas Passarinho	21	10	3,5
PCT14	771453.63	9860183.78	Rua Jarbas Passarinho (Poço SAAEB)	11	33	mais de 50
PCM15	771076.32	9860233.30	Rua Jarbas Passarinho	14	12	12
PCM16	771039.72	9860780.35	Rua Perpétuo Socorro 1069	17	10	40
PCM17	771537.61	9860678.47	Rua Soledad	21	10	15
PCM18	771576.47	9859246.37	Rua principal	20	5	15

PCM: Poço Cotijuba Manual, PCT: Poço Cotijuba Tubular; a cota, profundidade e distância de fossa, estão expressas em metros (m).

Fonte: Do autor