



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
RELATÓRIO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

**CAIO RENA PEREIRA SARAIVA
ELVES PEREIRA DA SILVA**

**AVALIAÇÃO HIDRO-AMBIENTAL NA REGIÃO DE PARAIPABA, COSTA OESTE
DO ESTADO DO CEARÁ.**

**Professor Orientador: Enéas Oliveira Lousada
Coorientador: José Antônio Beltrão Sabadia**

**Fortaleza, Ceará
Novembro de 2017**

**AVALIAÇÃO HIDRO-AMBIENTAL NA REGIÃO DE PARAIPABA, COSTA OESTE
DO ESTADO DO CEARÁ.**

**CAIO RENA PEREIRA SARAIVA
ELVES PEREIRA DA SILVA**

Professor Orientador: Enéas Oliveira Lousada- DEGEO/UFC

Coorientador: José Antônio Beltrão Sabadia – DEGEO/UFC

Monografia submetida à Coordenação do
Curso de Graduação em Geologia, da
Universidade Federal do Ceará, como requisito
parcial para a obtenção do título de Bacharel em Geologia.

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Enéas Oliveira Lousada - Orientador - UFC

Dr. Jackson Alves Martins - LGPSR

Dr. ^a Zulene Almada Teixeira - COGERH

**Fortaleza, Ceará
Novembro de 2017**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Central do Campus do Pici

-
- S246a Saraiva, Caio Rena Pereira.
Avaliação hidro-ambiental na região de Paraipaba, costa oeste do estado do Ceará. /
Caio Rena Pereira Saraiva, Elves Pereira da Silva. – 2017.
82 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) Universidade Federal do Ceará, Centro de
Ciências, Departamento de Geologia, Fortaleza, 2017.
Orientação: Prof. Dr. Enéas Oliveira Lousada
Coorientador: Prof. Dr. José Antônio Beltrão Sabadia
1. Hidrogeologia. 2. Águas subterrâneas I. Silva, Elves Pereira da. II. Título.

CDD 551

DEDICATÓRIAS

À minha família, pelo apoio imensurável dedicado a mim todos esses anos. Aos amigos mais chegados pela compreensão e suporte nas horas felizes e tristes. Aos professores orientadores pelo comprometimento e acompanhamento que possibilitaram que esse sonho se tornasse realidade.

Caio Rena Pereira Saraiva

Aos meus queridos, papai Wanderlei e mamãe Dona Nilce que me trouxeram com todo o amor e carinho a este mundo, dedicaram, cuidaram e doaram incondicionalmente seu sangue e suor em forma de amor e trabalho por mim, despertando e alimentando em minha personalidade, ainda na infância, a sede pelo conhecimento e a importância deste em minha vida.

Elves Pereira da Silva

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, agradeço a Deus pelas bênçãos dadas a mim durante toda minha caminhada, pelas oportunidades dadas e por me pegar no colo em todos os momentos que eu não mais conseguia caminhar.

Ao meu pai Diassis e a minha mãe Socorro, os meus maiores espelhos, por sempre me proporcionarem o melhor que eles podiam dar, e me apoiar em todas as empreitadas e aventuras, a vocês o meu obrigado e devoção.

Agradeço ao meu irmão Henrique pelo apoio e compreensão.

Aos amigos da igreja, os meus sempre mais chegados, Nany, Lucas, Suelane, Bruna, Richard, Carol, Mardney e Sirlano, sem vocês minha vida seria triste e monótona.

Aos amigos que conquistei no Laboratório de Biogeoquímica Costeira (LBC), GEOCONSULT, e por fim na Secretaria do Meio Ambiente de Itaitinga, na pessoa do Secretário do Meio Ambiente Paulo Afonso Cavalcanti, lugares onde tive e tenho o prazer de trabalhar.

Ao meu orientador Enéas Lousada e coorientador Beltrão Sabadia pelo empenho em permitir que este projeto andasse com qualidade e zelo, bem como a todos os professores e colegas do DEGEO, pelos anos de aprendizado.

Ao meu amigo, secretário da graduação do DEGEO, Valmir, pelos galhos quebrados e pela sempre tão eloquente receptividade.

E por fim, ao meu amigo e apoiador Rafael Veras Paz por ter acreditado e depositado em mim tamanha confiança, 100 anos não serão o suficiente para expressar toda a minha gratidão pelas bênçãos que você me proporcionou.

Obrigado!

Caio Rena Pereira Saraiva

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar ao Autor da Existência, aquele que permite que todas as coisas se concretizem, nosso único e verdadeiro Deus. Em segundo lugar agradeço a todas as pessoas que direta ou indiretamente, contribuíram para a construção dos meus valores: meus pais, Dona Nilce e Senhor Wanderlei (não se pode descrever o amor que tenho por vocês), meus amados irmãos Eveline Silva, Érika Silva e Evanilson Silva, minha amada avó e segunda mãe Dona Francisca (Kita), os mestres do passado e todos que compartilharam um pouco do que sabem comigo nesta vida acadêmica.

Aos meus amigos, em especial Rafael Francino, Dheymsom Rodrigues e Orlando Matos (irmãos que a vida me deu). Não vou deixar de agradecer a compreensão de pessoas especiais, quando minha presença não foi possível e quando minha preocupação e atenção pareciam se voltar exclusivamente para este trabalho. Meus sinceros agradecimentos ao amigo e companheiro de relatório de graduação Caio Rena pela dedicação e paciência que teve no desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço ao amigo e orientador Prof. Dr. Enéas Lousada, que carinhosamente nos chama de "seus pupilos". Por fim, agradeço a todos que compõem o Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará. Cada professor, servidor e colegas de curso. Todos contribuíram de alguma forma para a concretização desse trabalho.

A todos, meu mais sincero obrigado.

Elves Pereira da Silva

“O que as suas mãos tiverem que fazer, que o façam com toda a sua força, pois na sepultura, para onde você vai, não há atividade nem planejamento, não há conhecimento nem sabedoria.”

(Eclesiastes 9:10)

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”

(Arthur Schopenhauer)

RESUMO

A área de estudo tem aproximadamente 100m² de área, e está localizada no município cearense de Paraipaba, costa oeste do Estado do Ceará. Essa pesquisa visa caracterizar qualitativamente a água subterrânea com base na elaboração do inventário de poços direcionado à gestão dos recursos hídricos. Foram cadastrados 89 poços em duas campanhas, nos meses de maio e junho de 2017. Dos 89 poços, 62 são poços escavados do tipo cacimba e cacimbão, e 27 são poços tubulares de baixa e média profundidade. Foram identificados 13 poços inativos, sendo todos eles poços escavados. Os poços privados formam a grande maioria do cadastro, representando aproximadamente 95% de todos os poços cadastrados, e, além disso, se encontram em melhor estado de conservação quando comparados com os poços públicos. Estes poços foram perfurados dispersos em três domínios hidrogeológicos distintos, Barreiras, Dunas/Paleodunas e Depósitos Aluvionares. O Domínio Barreiras concentra a maior quantidade de poços perfurados, aproximadamente 73% da quantidade total, embora os demais Domínios apresentem o maior potencial aquífero da região. O nível estático dos poços da região é tido como raso com profundidade média de 12 metros. Estes poços estão vulneráveis a potenciais fontes de poluição localizadas dentro da área de estudo como, cemitérios, postos de gasolina e esgotamentos domésticos inadequados, devido ao não monitoramento dessas fontes e de falhas construtivas e sanitárias no projeto dos poços. Essas fontes por muitas vezes influenciam mudanças nos parâmetros físico-químicos da água, alterando seu padrão de potabilidade. O pH na região teve média de 5,34 garantindo um caráter ácido. A condutividade teve média de 626 $\mu\text{S}/\text{cm}$ com picos acima de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ nas águas de alguns poços, o mesmo ocorre com o STD com média de 405 mg/L^{-1} . A temperatura manteve-se dentro do padrão da região, apresentando média de 28,96 °C. Recomenda-se que os poços no município de Paraipaba devam ser constantemente monitorados a fim de garantir água de boa qualidade para toda a população local para seus mais diversos usos como Irrigação, hotelaria, uso doméstico, dessedentação animal e consumo humano.

Palavras – Chave: Paraipaba, água subterrânea, poços, fontes de poluição.

ABSTRACT

The studied area is located in the municipality of Paraipaba in the west coast of a Brazilian state called Ceará. Its area is approximately 100 m². The objective of this final report is to characterize the ground water based on an inventory of water wells in order to monitor the water resources management. Thus, 89 water wells were mapped during the months of May and July. It is composed by 62 dug wells and 27 shallow or profound drilled wells. During the work field were identified 13 inactive dug wells. The majority of the mapped wells are private, approximately 95% of the total, only 5% composes the public supply. The public wells are in a deteriorated condition as the private ones are submitted more often to repairs. The entire number was constructed over an area divided in three Hydrogeological Domains, Barreiras; Dunas/Paleodunas and Depósitos Aluvionares. The Barreiras Domain concentrates over approximately 73% of the total, however, the Dunas/Paleodunas and the Depósitos Aluvionares Domains are classified the greatest potential aquifer in the region. The static water level measured in the studied area has an average of 12 m. The cemeteries, gas stations, and domestic sewages are the likely source of contamination of groundwater as the result of lack of monitoring and deficiencies in the project of the water wells. Most of the time, these sources of pollution influence the physical and chemical parameters of the potable water causing several illnesses to the people who drink it. The mapped area has an acid behavior with pH varying around 5,34. Furthermore, the average of the electric conductivity is 626µS/cm, but some peaks overpasses 1000µS/cm in certain regions. The behavior of the total dissolved solids is very similar to that shown by the electric conductivity, since both are intimately related with an average of 441 mg/L⁻¹. The temperature maintained its expected pattern to the region of study about 28,9°C. It is recommended that the water wells of the municipality of Paraipaba should be constantly monitored in order to ensure good groundwater quality to the people who usually utilize the water supply to irrigation, domestic use, hospitality, human consumption and animal consumption.

Key - Words: Paraipaba, groundwater, wells, contamination.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1.0-INTRODUÇÃO..... | 17 |
| 1.1-Localização e Acesso..... | 20 |
| 1.2-Justificativas..... | 23 |
| 1.3-Objetivos..... | 23 |
| 1.3.1-Geral..... | 24 |
| 1.3.2-Específicos..... | 24 |
| 2-METODOLOGIA DE TRABALHO E MATERIAIS..... | 25 |
| 2.1-Levantamento Bibliográfico..... | 25 |
| 2.2-Etapa de Campo..... | 25 |
| 2.3-Elaboração de Bases Temáticas e Produto Final..... | 27 |
| 3-ASPECTOS GEOAMBIENTAIS..... | 29 |
| 3.1-Clima..... | 29 |
| 3.2-Solos..... | 30 |
| 3.3-Vegetação..... | 30 |
| 3.5-Geomorfologia..... | 31 |
| 3.6-Hidrografia..... | 32 |
| 4-CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL..... | 34 |
| 4.1-Embasamento..... | 34 |
| 4.2-Terciário..... | 34 |
| 4.3-Quaternário..... | 35 |
| 4.4-Geologia Local..... | 35 |
| 5-HIDROGEOLOGIA..... | 38 |
| 5.1-Aquífero Dunas/Paleodunas..... | 38 |
| 5.2-Aquífero Barreiras..... | 39 |
| 5.3-Aquífero Aluvionar..... | 40 |
| 5.4-Condições atuais de abastecimento..... | 40 |
| 5.5-Exploração da água subterrânea..... | 42 |
| 5.6-Vulnerabilidade do aquífero..... | 43 |
| 5.7-Áreas potenciais e orientações de perfurações..... | 43 |
| 6-ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS..... | 45 |
| 7- QUALITATIVOS..... | 46 |
| 7.1-Diagnósticos Qualitativos..... | 46 |

| | |
|---|----|
| 7.2-Diagnóstico Atual da Exploração..... | 47 |
| 7.2.1-Condições Atuais dos Poços..... | 48 |
| 7.3-Vazões dos poços..... | 50 |
| 8-CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS DAS OBRAS DE CAPTAÇÃO..... | 51 |
| 8.1-Tipos de Poços Existentes em Paraipaba..... | 51 |
| 8.2-Tipos de Revestimentos dos poços..... | 52 |
| 8.2.1-Requisitos para Localização dos Poços e Características Construtivas..... | 53 |
| 8.2.1.1-Cimentação..... | 54 |
| 8.2.1.2-Laje de Proteção..... | 56 |
| 8.2.1.3-Tampa..... | 56 |
| 8.3-Poços Escavados..... | 57 |
| 8.4-Finalidades das Obras de Captação..... | 59 |
| 8.5-Classificação dos poços quanto à profundidade..... | 61 |
| 8.6-Instalação..... | 61 |
| 8.7-Manutenção dos Poços..... | 62 |
| 8.8-Medidas do Nível Estático..... | 64 |
| 9-FONTES POTENCIAIS DE POLUIÇÃO..... | 66 |
| 9.1-Esgotos Sanitários..... | 67 |
| 9.2-Postos de Combustível..... | 68 |
| 9.3-Cemitérios..... | 70 |
| 10-QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS..... | 72 |
| 10.1-Classificações da Potabilidade (Consumo Humano)..... | 72 |
| 10.1.1-PH..... | 72 |
| 10.1.2-Alcalinidade..... | 75 |
| 10.1.3-Conduividade Elétrica e Sólidos Totais Dissolvidos..... | 77 |
| 11-CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... | 78 |
| 12-REFERÊNCIAS | 81 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Esquema em bloco diagrama do ciclo da água. | 17 |
| Figura 2- Captação de água através de poços artesianos (tubulares) e poços comuns (escavados). | 20 |
| Figura 3- GPS (GARMIN – etrex 10) para localização dos poços e orientação da dupla. | 26 |
| Figura 4- Medidor de nível d'água com eletro-sonoro (modelo HSNA – 30). (16 de junho de 2017). | 26 |
| Figura 5- Sonda medidora de pH, temperatura e condutividade elétrica (Marca OAKTON WATTERPROOF). (16 de junho de 2017). | 27 |
| Figura 6- Dunas cobertas por vegetação pertencentes à Planície Litorânea. Coordenadas: 482410/9631289 (SIRGAS 2000). | 31 |
| Figura 7- Foz do rio Curu com dunas ao fundo e vegetação típica de mangue. Coordenadas: 492461/9623368 (SIRGAS 2000). | 33 |
| Figura 8 - Poço tubular raso, com bomba hidráulica, perfurada a poucos metros do mar, no aquífero Dunas/Paleodunas. Coordenadas: 489842 / 9625785 (SIRGAS 2000). | 38 |
| Figura 9 - Fachada da estação de tratamento de água de Paraipaba. Coordenadas: 483436 / 9620611 (SIRGAS 2000). | 41 |
| Figura 10 - Posto de captação de água na Lagoa da Canabrava para abastecimento da sede do município. Coordenadas: 483709 / 9621247 (SIRGAS 2000). | 42 |
| Figura 11 - Chafariz administrado pelo SISAR, responsável por abastecer a comunidade local de Camboas. Coordenadas: 487049 / 9623778 (SIRGAS 2000). | 48 |
| Figura 12 - A) Poço tubular perfurado com revestimento de tubos de aço estirado, utilizado na captação de água para fins de envasamento comercial. Coordenadas: 485215 / 9623629. B) Poço tubular raso com revestimento em PVC perfurado à beira-mar em aquífero Dunas/Paleodunas. Coordenadas: 489842 / 9625785 (SIRGAS 2000). | 51 |
| Figura 13 - Poço escavado utilizado para irrigação de coqueiros. Poço sem tampa de proteção e, portanto, vulnerável a contaminações de águas superficiais impuras. Coordenadas: 481528 / 9629856. | 52 |
| Figura 14 - Poço escavado construído dentro de chiqueiro, em desacordo com o que estabelece a Norma, em que os poços devem ser posicionados com no mínimo 45 metros de distância de chiqueiros, estábulos e etc. Coordenadas: 483481 / 9619339. | 54 |

| | |
|--|----|
| Figura 15 - Poço tubular construído fora dos padrões definidos pela Norma, sem tampa de vedação, sem selo sanitário e sem laje de proteção. Coordenadas: 488512 / 9624041 (SIRGAS 2000). | 55 |
| Figura 16 - Poço tubular construído sem laje de proteção e sem selo sanitário. Coordenadas: 482390 / 9630039 (SIRGAS 2000). | 55 |
| Figura 17 - Poço tubular profundo construído dentro do que estabelece a Norma, selo sanitário, laje de proteção de no mínimo 1m ² , e tampa de vedação, estruturas que garantem a não contaminação do poço por águas superficiais impuras. Coordenadas: 483986 / 9618535 (SIRGAS 2000). | 56 |
| Figura 18 - Poço tubular profundo com tampa de vedação em adequação à Norma. Coordenadas: 483986 / 9618535 (SIRGAS 2000). | 57 |
| Figura 19 - Poço escavado tampado no jardim de uma casa. Coordenadas: 484349 / 9621754 (SIRGAS 2000). | 58 |
| Figura 20 - Poço escavado com água utilizada para consumo humano, sem tampa de vedação e, porém, com prolongamento superficial do revestimento. Coordenadas: 484006 / 9618297 (SIRGAS 2000). | 58 |
| Figura 21 - Poço escavado com tampa de vedação destruída repleto de palhas de coqueiro, cocos e outros materiais, contribuindo para a degradação da qualidade do aquífero Dunas/Paleodunas na região. Coordenadas: 482622 / 9630085 (SIRGAS 2000). | 59 |
| Figura 22 - Poço tubular público com tampa de vedação corroída pela ferrugem e bomba com vazamento deixando o local com excesso de umidade. Coordenadas: 487131 / 9623579 (SIRGAS 2000). | 62 |
| Figura 23 - Concentração de ferro, capa rosa, em água que escorre de poço escavado raso. Coordenadas: 481490 / 9629855 (SIRGAS 2000). | 63 |
| Figura 24 - Ilustração com as diversas fontes potenciais de poluição de águas subterrâneas. | 66 |
| Figura 25 - Posto de combustível Iolanda, localizado na sede do Município de Paraipaba, possível fonte de contaminação por hidrocarbonetos. Coordenadas: 483950 / 9620946 (SIRGAS 2000) | 68 |
| Figura 26 - Posto de combustível Petrobrás, o mais novo do município, possível fonte de contaminação por hidrocarbonetos em águas subterrâneas da região. Coordenadas: 483994 / 9621157. | 69 |

| | |
|--|----|
| Figura 27 - Cemitério do Distrito de Lagoinha, potencial fonte de contaminação de águas subterrâneas da região por necrochorume. Coordenadas: 485660 / 9629441 (SIRGAS 2000). | 70 |
| Figura 28 - Cemitério localizado no Distrito sede do município de Paraipaba, funcionando como potencial fonte de poluição por necrochorume em águas subterrâneas da região. Coordenadas: 483886 / 9620761 (SIRGAS 2000). | 71 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1- Coordenadas UTM que delimitam a área de pesquisa. | 21 |
| Tabela 2 - Balanço hídrico prévio com base nos dados registrados na Estação Meteorológica de Paracuru/CE. | 29 |
| Tabela 3 - Participação das principais atividades econômicas no PIB municipal. | 45 |
| Tabela 4 - Condição dos poços mapeados em campo quanto à atividade e inatividade. | 48 |
| Tabela 5 - Situação atual dos poços cadastrados em Paraipaba-Ce. | 49 |
| Tabela 6 – Vértices da área de interpolação de dados para condutividade, nível estático e Ph. | 64 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1 - Gráfico representativo das variações dos valores de precipitação (mm) registrados na estação meteorológica de Paraipaba. | 30 |
| Gráfico 2 - Classificação dos poços mapeados em tubular e escavado. | 50 |
| Gráfico 3 - Gráfico mostrando as principais formas de uso da água dos poços mapeados durante a etapa de campo. | 60 |
| Gráfico 4 - Principais tipos de bombas encontradas nos poços mapeados na etapa de campo. | 61 |

LISTA DE MAPAS

| | |
|--|----|
| Mapa 1 - Localização da área de estudo na região de Paraipaba-Ce. | 22 |
| Mapa 2 - Distribuição dos pontos de captação de água subterrânea no município de Paraipaba-CE. | 28 |
| Mapa 3 – Aspectos Litológicos da área de estudo na região de Paraipaba-Ce. | 37 |
| Mapa 4 – Distribuição de isovalores do nível estático de água coletada em poços na região de Paraipaba-CE. | 65 |
| Mapa 5 – Distribuição de isovalores de pH em água coletada em poços na região de Paraipaba-CE. | 76 |
| Mapa 6 - Isovalores de condutividade elétrica da água coletada em poços na região de Paraipaba-CE. | 79 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAGECE - Companhia de Água e Esgoto do Ceará
CE - Condutividade Elétrica
COELCE - Companhia Energética do Ceará
COGERH - Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos
CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FUNCEME - Fundação Cearense de Metrologia
GPS - *Global Positioning System*
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégica Econômica do Ceará
NA – Nível de Água
NE – Nível Estático
PH - Potencial Hidrogênio
PVC - Polietileno Vinil Carbono
SIAGAS- Sistema de Informação de Águas Subterrâneas
SIG- Sistema Integrado de Georeferenciamento
SOHIDRA - Superintendência de Obras Hidráulicas
SRH - Secretaria dos Recursos Hídricos
STD - Sólidos Totais Dissolvidos
UFC - Universidade Federal do Ceará
UNT - Unidades Nefelométricas de Turbidez
UTM - Universal Transversal de Mercator

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

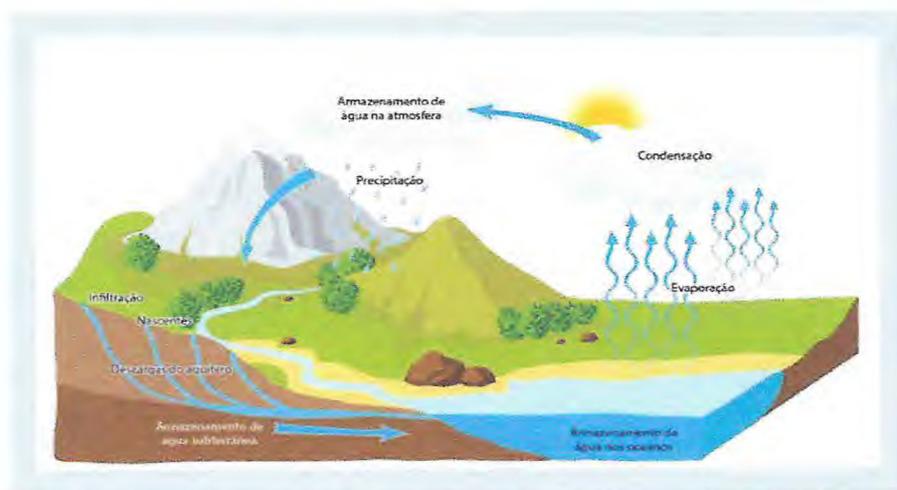
Estudos apontam que a água subterrânea corresponde a 97% de toda a água doce disponível no planeta, e tem se mostrado de suma importância para o abastecimento público, bem como o atendimento da demanda requerida pela iniciativa privada.

Em função de fatores como baixo custo, boa qualidade, relativamente fácil captação e ausência de custos adicionais, o uso de água subterrânea tem crescido substancialmente ao redor do mundo, principalmente em áreas que sofrem com baixa precipitação anual.

As águas subterrâneas ocupam patamar de extrema importância na manutenção do equilíbrio do ciclo hidrológico (Figura 1), uma vez que essas são recarregadas por ação das águas que infiltram o solo como resultado das precipitações. Em seguida, correm para abastecer rios, riachos, lagos e lagoas iniciando o processo de evaporação.

Parte desta água que não percola retorna novamente ao sistema por intermédio também da evaporação e evapotranspiração, que conta com a contribuição da flora.

Figura 1: Esquema em bloco diagrama do ciclo da água.



Fonte: <https://pt.dreamstime.com>

Esse papel desempenhado pela água reflete na dificuldade vivida por aglomerados urbanos em obter água de boa qualidade devido às constantes intervenções humanas que despejam produtos químicos de variada composição, contribuindo para a degradação da qualidade das águas superficiais e subterrâneas.

O alto preço gasto para despoluir os recursos hídricos superficiais ou para dessalinizar a água do mar tem contribuído para o aumento, nas últimas décadas, do uso de águas subterrâneas.

Um exemplo é a faixa costeira do Estado do Ceará, estado com escassa disponibilidade hídrica superficial, que vê a disponibilidade de água subterrânea como uma grande possibilidade de suprimento da demanda crescente por parte de indústrias, irrigação e para o próprio abastecimento urbano.

É cada vez mais comum encontrar nessas regiões comunidades que são abastecidas totalmente por poços construídos pelo poder público, sejam eles rasos (Profundidade inferior a 20 metros) ou profundos (profundidade superior a 50 metros) que captam água de boa qualidade utilizada para as mais diversas atividades diárias da comunidade local (CAVALCANTE et al., 2007).

Um exemplo útil e eficaz é a construção de poços tubulares relativamente rasos, portanto, de baixo custo, sobre os Aquíferos Barreiras, Dunas e Aluvionar, região onde está localizado o Município de Paraipaba. Estes aquíferos têm sido responsáveis pelo abastecimento de comunidades e equipamentos turísticos como hotéis e pousadas.

Na atualidade, os principais fornecedores de dados referentes à captação de água dos aquíferos do Ceará, fruto de pesquisas e projetos desenvolvidos por essas empresas, são: Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará – COGERH e Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará. A bateria de dados fornecidos por elas tem comprovado a qualidade da água captada neste aquífero, além da economicidade da instalação de poços tubulares rasos, de acordo com os dados fornecidos pela CAGECE.

O Estado do Ceará está localizado na região Nordeste do Brasil e, portanto, inserido dentro de uma região do país marcada por cíclicos períodos de estiagem e baixa precipitação ao longo do ano, obrigando a população e o poder público a promoverem uma gestão hídrica marcada pelo aproveitamento de águas superficiais e subterrâneas visando o abastecimento das demandas crescentes de água na região.

Esse quadro de escassez, no entanto, poderia ser definitivamente solucionado em determinadas regiões, através de uma gestão integrada dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Entretanto, a carência de estudos específicos e de abrangência regional, fundamentais para avaliação da ocorrência e potencialidade desses recursos, é um fator limitante para a aplicação dessa gestão.

Para efeito de gerenciamento de recursos hídricos num contexto emergencial, como é o caso das secas, merece destaque o grau de utilização das fontes de abastecimento de água subterrânea, pois esse recurso torna-se significativo no suprimento hídrico da população e dos rebanhos. É de conhecimento geral que uma grande quantidade de captações de água subterrânea no semiárido, principalmente em

rochas cristalinas, encontra-se desativada e/ou abandonada a partir de problemas diversos, das quais uma parcela poderia voltar a funcionar, e aumentar a oferta de água, a partir de pequenas ações corretivas.

A água subterrânea é direcionada principalmente ao uso humano, à agricultura, pecuária e para suprimento industrial. Com o crescimento acelerado da população e indústria, gera-se o aumento da demanda dos recursos hídricos subterrâneos, pois apresentam várias vantagens quanto à qualidade, quantidade, localização, baixo custo de captação e tratamento.

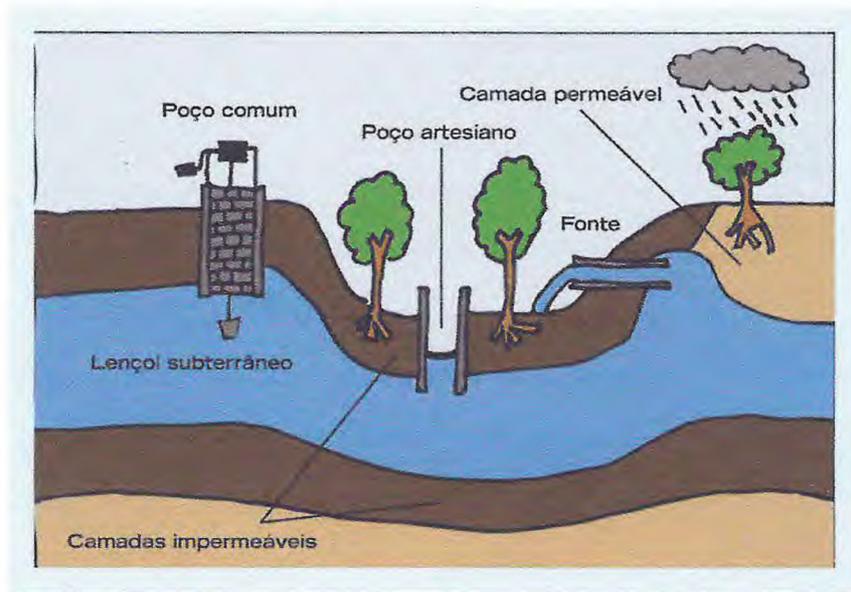
A grande demanda na utilização desse recurso pode apresentar uma vulnerabilidade a agentes poluentes, podendo transformar a água em imprópria para consumo. Sendo de suma importância que haja um estudo da qualidade desse recurso.

As águas subterrâneas constituem reservas estratégicas vitais para o abastecimento público e privado. Este fato faz com que exista uma preocupação em se quantificar o potencial dos aquíferos e a viabilidade técnica da exploração racional do mesmo. A ocupação do meio urbano deve ser condicionada às características do meio físico, incluindo os aspectos geológicos, hidrogeológicos, geomorfológicos, pedológicos e o hidrológico, entre outros. Desta forma, as ocupações antrópicas ajustam-se aos fatores do meio ambiente, como o relevo, características geotécnicas dos solos e disponibilidade de água.

As regiões costeiras são zonas submetidas a uma crescente urbanização, possuem grande potencial turístico e apresentam um gradativo aumento no consumo de água. Deste modo, os estudos hidrogeológicos de aquíferos costeiros assumem grande importância.

O trabalho ora proposto entende que o estudo de aquíferos em regiões costeiras é de suma importância para o entendimento do comportamento hidrogeológico, para servir de orientação à implantação de centros urbanos, projetos agrícolas, industriais, empreendimentos turísticos e, principalmente, para o direcionamento do uso racional da água. A finalidade desta pesquisa é a realização de um cadastro das obras de captação de águas subterrâneas como poços tubulares ou do tipo escavado com vistas a avaliações quanto à qualidade físico-química das águas, bem como às condições de exploração e características relacionadas ao uso da água na região estudada (Figura 2).

Figura 2: Captação de água através de poços artesianos (tubulares) e poços comuns (escavados).



Fonte: <http://www.sobiologia.com.br/conteudos/Agua/Agua8.php>

A pesquisa apresenta uma avaliação das águas subterrâneas na sede do Município de Paraipaba e adjacências, levando-se em consideração a potabilidade, bem como a caracterização das obras de captação e suas possíveis fontes de poluição.

1.1 Localização e Acesso

A área de estudo está inserida no Município de Paraipaba, localizado na Região Norte do Estado do Ceará. Tem ao Norte como limites geográficos o Oceano Atlântico e o Município de Trairi. Ao Sul faz fronteira com os municípios de São Gonçalo do Amarante e Paracuru. Indo em direção ao leste faz fronteira com o município de Paracuru e o Oceano Atlântico e, por fim, ao oeste com o município de Trairi (Mapa 1) (CEARÁ, 2016)

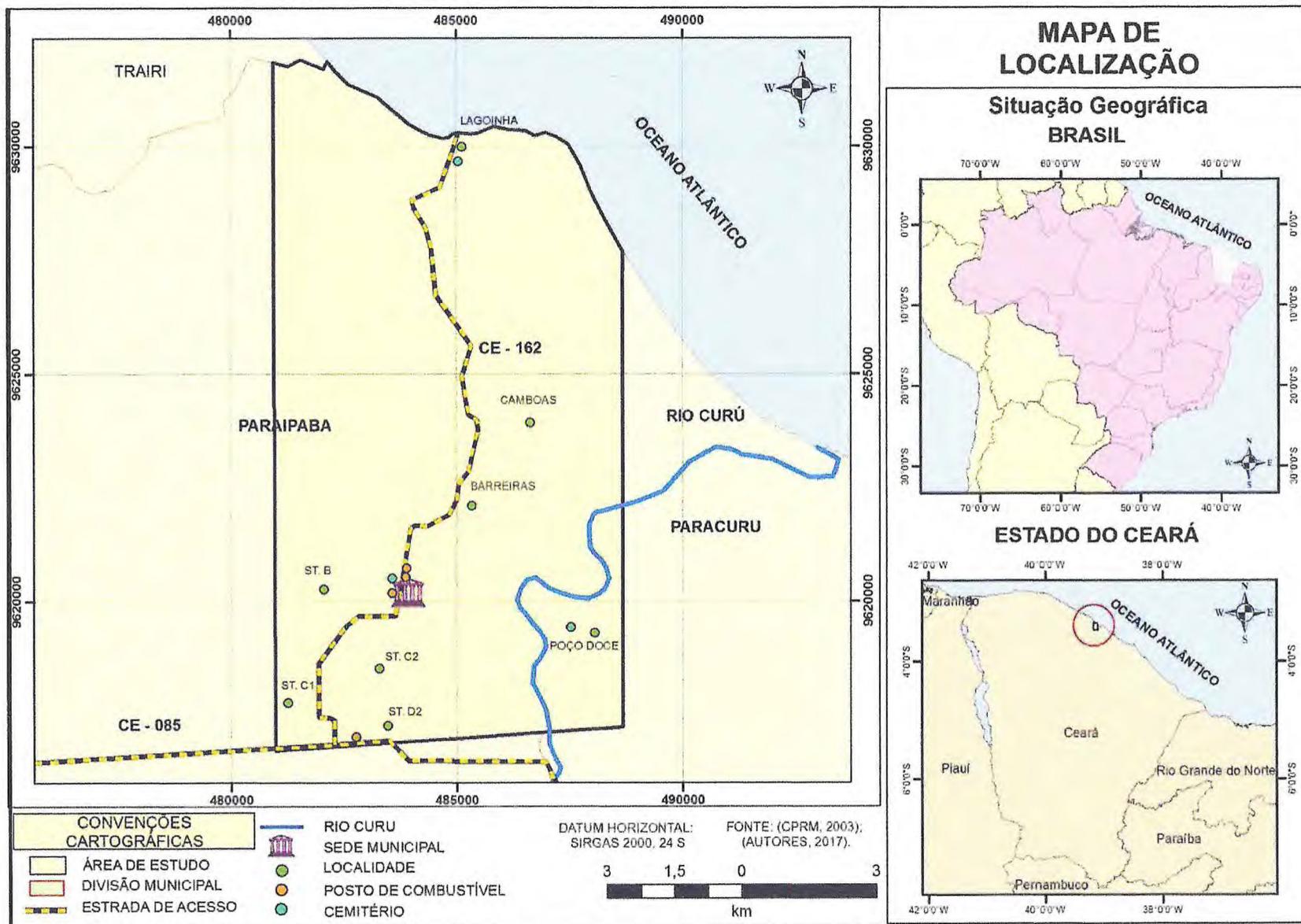
O município faz parte do litoral oeste do Estado do Ceará e apresenta as seguintes coordenadas geográficas de latitude e longitude respectivamente 3° 26' 22" e 39° 08' 54" (CEARÁ, 2016), localizado nas cartas topográficas Paracuru (SA.24-Y-D-III), e São Luís do Curu (SA.24-Y-D-VI) (CPRM, 1998). A sede do Município está localizada a 93 km da capital, Fortaleza. Seu acesso se dá, saindo de Fortaleza, seguindo pela Rodovia BR-222 até o município de Caucaia, entrando pela CE-085 e logo em seguida a CE-162.

A área de estudo está inserida mais de 90% no município de Paraipaba, ainda, apresenta uma pequena parcela dentro do município de Paracuru. Compreende uma área total de aproximadamente 100km² e está delimitada pelos seguintes vértices:

Tabela 1: Coordenadas UTM que delimitam a área de pesquisa.

| Vértice | Latitude (N) | Longitude (E) |
|---------|--------------|---------------|
| 1 | 488.670 | 9.627.150 |
| 2 | 488.670 | 9.616.920 |
| 3 | 480.980 | 9.616.920 |
| 4 | 480.980 | 9.607.680 |

Mapa 1 – Localização da área de estudo na região de Paraipaba-CE.



1.2 Justificativas

A área de estudo delimitada está inserida dentro de dois domínios geomorfológicos, o Domínio dos Tabuleiros Costeiros e o Domínio da Planície Costeira. São caracterizados por apresentar de razoável à boa disponibilidade hídrica, com destaque maior para o Domínio da Planície Costeira (MORAIS, 2015).

Devido à facilidade e baixo custo de acesso a essa água armazenada, o município de Paraipaba vem enfrentando um crescimento desordenado na construção de obras de captação de água subterrânea nos últimos anos, incluindo de residências a hotéis de luxo concentrados principalmente no Distrito de Lagoinha.

O crescimento urbano acentuado tem trazido implicações a essa região, pois junto a este temos o aumento da demanda por água, o que implica na construção de novos poços tubulares de captação atendendo aos mais diversos fins.

Além disso, crescimento urbano também implica no aumento de potenciais fontes poluidoras, contribuindo para a deterioração da qualidade hídrica da região. Tais fatores justificam a elaboração do trabalho em questão em virtude da necessidade do monitoramento da construção de poços tubulares nos últimos anos como uma forma de avaliar a demanda crescente por este recurso, além de auxiliar na gestão de recursos hídricos do município.

Outra justificativa plausível é o acompanhamento das potenciais fontes de poluição que possam contribuir para a degradação da qualidade das águas subterrâneas.

1.3 Objetivos

Essa pesquisa visa a criação de um cadastro de poços dentro da área de estudo. Assim, será possível dimensionar a contribuição de águas subterrâneas no aporte geral de consumo do município, com base nos poços tubulares profundos e poços escavados, definindo as atividades que mais consomem bem como as potenciais fontes de poluição que degradam a qualidade da água utilizada.

A criação deste cadastro permitirá uma análise geral do uso da água no município de Paraipaba, permitindo uma avaliação da qualidade da gestão hídrica realizada pelo município. O documento apresentado faz parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de graduado em Geologia, junto ao curso de Graduação do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará (UFC).

1.3.1 Geral

Essa pesquisa visa caracterizar qualitativamente a água subterrânea com base na elaboração do inventário de poços direcionado à gestão dos recursos hídricos. Para tanto elaborou-se um cadastro de poços onde as informações adquiridas viabiliza o conhecimento e monitoramento da qualidade da água utilizada, tanto para consumo humano como para uso doméstico. A Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde foi utilizada como parâmetro para avaliação do uso da água.

A avaliação dos níveis estáticos na região monitorada também auxiliou no entendimento da dinâmica hídrica dos aquíferos e das correlações de vulnerabilidade ambiental inerentes a estas áreas. A criação deste cadastro permitirá uma análise geral do uso da água no município de Paraipaba, permitindo uma avaliação da qualidade de gestão hídrica realizada no município.

1.3.2 Específicos

- Avaliar o potencial explorado das reservas de água subterrânea com relação à viabilidade e sustentabilidade hídrica;
- Realizar cadastramento de pontos de captação de água subterrânea para compor base de dados com informações de cunho hidrogeológico e ambiental;
- Caracterizar a situação atual das obras de captação na área de estudo;
- Realizar análise qualitativa das águas subterrâneas a partir dos parâmetros de Condutividade Elétrica (CE), Temperatura, Salinidade e pH;
- Elaborar o Relatório de Graduação do Curso de Geologia do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, requisito obrigatório para conclusão do Curso de Graduação em Geologia.

CAPÍTULO 2 - METODOLOGIA DE TRABALHO E MATERIAIS

2.1 Levantamento bibliográfico

Como base para a realização desta pesquisa, utilizou-se diversas fontes como livros didáticos, artigos acadêmicos, monografias e publicações de órgãos públicos. Para garantir maior confiabilidade e ampliar a base de informações intensificou-se o levantamento de dados principalmente nos órgãos públicos como Companhia de Gerenciamento de Recursos Hídricos (COGERH), Superintendência de Obras Hidráulicas (SOHIDRA), Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM), Sistema de Informação de Águas Subterrâneas (SIAGAS), Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. A principal informação resgatada nestas fontes referem-se aos dados construtivos e hidrodinâmicos dos poços na área de estudo.

2.2 Etapa de Campo

A etapa de campo foi dividida em duas campanhas realizadas nos meses de maio e junho de 2017. A primeira ocorreu dos dias 15 a 21 de maio, e a segunda do dia 15 a 18 de junho de 2017. O intuito desta etapa consistiu na aquisição de dados *in loco* para composição de toda a base cartográfica aqui apresentada, além da verificação das bases adquiridas durante o processo de levantamento de dados prévio junto aos órgão públicos.

Juntaram-se os dados obtidos junto à COGERH, CPRM/SIAGAS, SOHIDRA e outros, mas grande parte dos dados obtidos através destas fontes estavam desatualizados. Desta forma a metodologia seguiu de modo a intensificar as atividades de campo para atualizar os dados pré existentes além de adquirir novos dados.

Nas expedições ao campo utilizou-se o GPS GARMIM ETREX 10 (Figura 3) para localização dos poços e orientação das rotas a serem percorridas ao longo da área. Visitou-se 89 poços, incluindo atualização de dados e novas aquisições. Esses poços foram enumerados seguindo uma sequência alfanumérica de P01 A P89 (Mapa 2).

Durante os trabalhos de campo, foram avaliadas as águas dos poços visitados quanto as suas características físico químicas. Para tanto, utilizou-se de uma sonda multiparâmetro marca OAKTON WATTERPROOF (Figura 4) para aferir os padrões de pH, condutividade elétrica (CE), temperatura e sólidos totais dissolvidos (STD). Esta sonda é portátil e possui fácil manuseio, opera por imersão de uma ponteira-sensor na amostra de água, que quando acionada, registra todos os parâmetros físico químicos

aqui abordados. Em relação às medidas da condutividade elétrica, a sonda permite avaliações em escalas distintas (mS/cm e μ S/cm) a depender da concentração de sais na água avaliada, portanto, fez-se necessário atentar a esses padrões para registrar os valores reais da CE.

Para as medidas do nível estático (NE) dos poços utilizou-se medidor de nível d'água com sensor eletro-sonoro modelo HSNA-30 (Figura 5). Este equipamento possui cabo de acesso ao poço com demarcação em escala métrica e centimétrica, característica que permite obtenção direta e detalhada da medida do nível estático. Nesta ação atentou-se também para a obtenção das medidas das alturas das bocas dos poços, que se refere a distância da superfície do solo ao topo do tubo de revestimento (poços tubulares) ou alvenaria de proteção (cacimbões). Este valor é deduzido do nível estático medido, e assim obtém-se o valor real para esse parâmetro.

Nesta etapa investigou-se também quanto a situação das obras de captação, uso da água, situação do poço, vazão, profundidade, energia utilizada, tipo de equipamento e contexto ambiental *in loco*. Todos os dados levantados foram reunidos na forma de uma planilha (Apêndice) que compõe o inventario de poços proposto para a área de estudo.



Figura 3: GPS (GARMIN – etrex 10) para localização dos poços e orientação da dupla. Fonte: <http://www.garminonline.co.za>.



Figura 4 - Medidor de nível d'água com eletro-sonoro (modelo HSNA – 30). Fonte: (Autores, 2017).



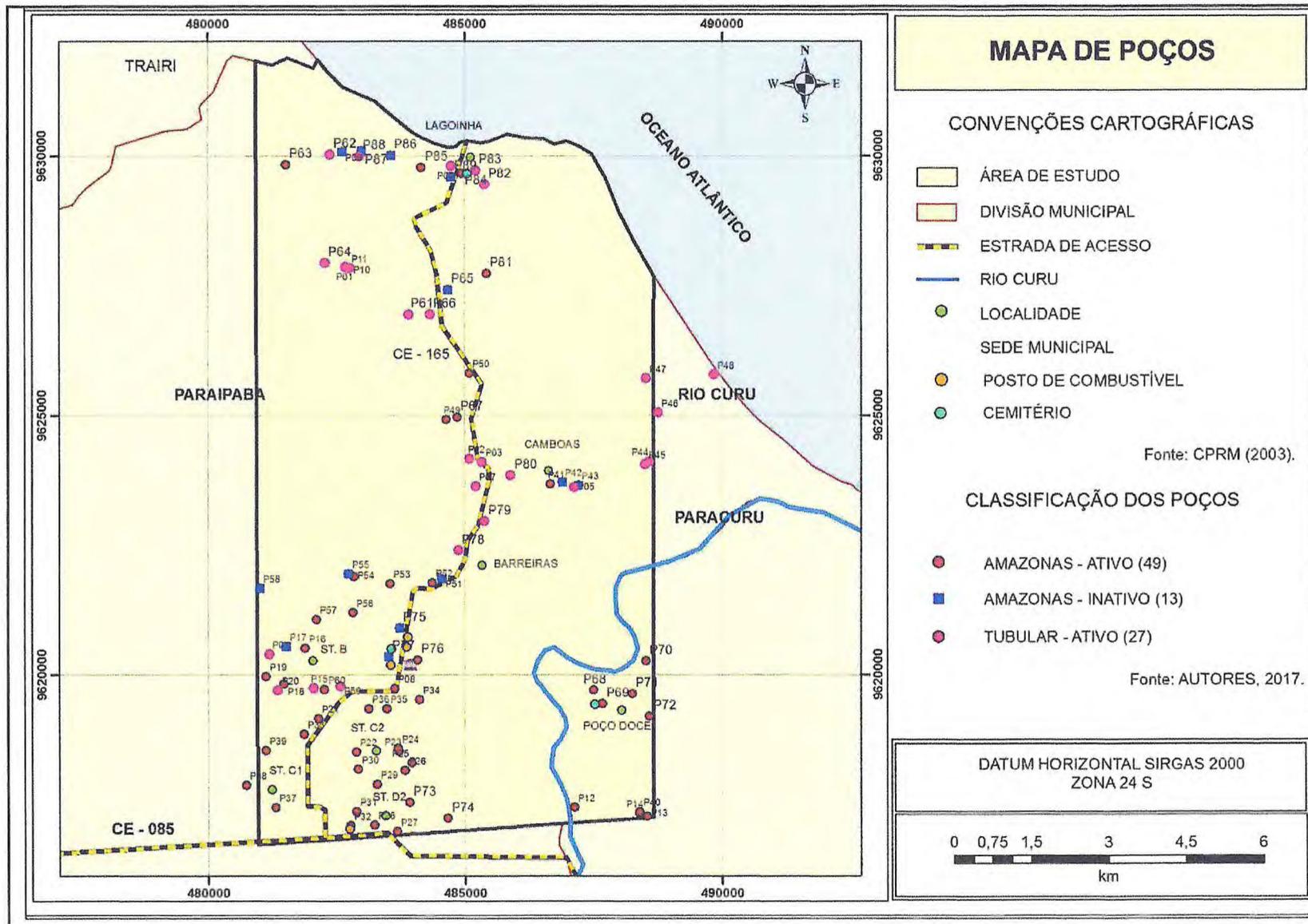
Figura 5 - Sonda medidora de pH, temperatura e condutividade elétrica (Marca OAKTON WATERPROOF). Fonte: (Autores, 2017).

2.3 Elaboração de bases temáticas e produto final

Todas as informações coletadas em campo foram integradas em um arquivo de planilha eletrônica, formando uma base de dados. Para isto, foi utilizado o programa *Excel*, com o arquivo gerado em formato “xls”. As bases temáticas finais foram realizadas em ambiente SIG. Integrou-se os dados da planilha eletrônica com o intuito de projetar em mapa as informações adquiridas em campo para uma melhor observação e interpretação dos dados.

Os mapas finais contendo os isovalores para nível estático, pH e condutividade, que servirão de base para as conclusões e recomendações, foram confeccionados com base no método de interpolação conhecido como *Inverse Distance Weighting* (IDW), ferramenta de interpolação em ambiente SIG..

Mapa 2 - Distribuição dos pontos de captação de água subterrânea no município de Paraipaba-CE.



CAPÍTULO 3 - ASPECTOS GEOAMBIENTAIS

3.1 Clima

O município de Paraipaba apresenta clima variando do tropical quente até o semiárido brando com uma variação de temperatura média anual entre 26°C e 28°C. Seu período chuvoso ocorre entre os meses de janeiro a maio. Em média a pluviosidade anual da região varia em torno de 1238,2 mm, levemente abaixo da média apresentada por Fortaleza, que possui média pluviométrica anual de 1338 mm. (IPECE, 2016 e FUNCEME)

Em avaliação do balanço hídrico realizado pela COGERH (2016) para a estação de Paracuru, que pertence ao mesmo domínio climático de Paraipaba, identificou-se máximas taxas pluviométricas nos meses de janeiro a junho, resultando em infiltração eficaz de 301,4mm que ocorre de março a maio (Tabela2).

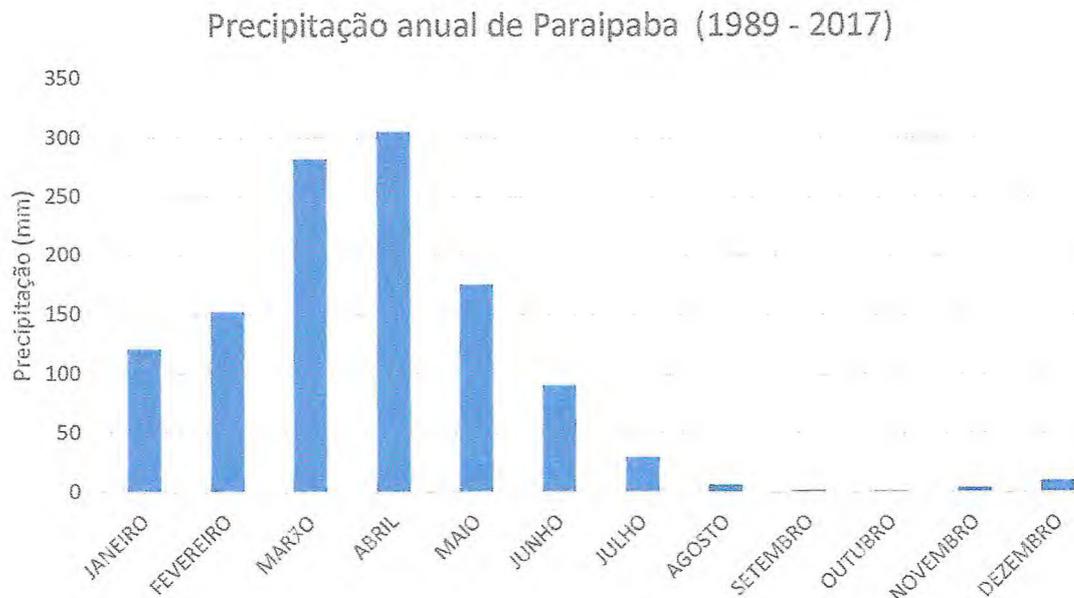
Tabela 2 – Balanço hídrico prévio com base nos dados registrados na estação meteorológica de Paracuru/CE.

| MÊS | T(média) | Im | K | ETP | PPT | PPT-ETP | C | ETR | Ie |
|-------|----------|--------|------|-------|--------|---------|-------|-------|-------|
| | (°C) | (mm) | | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) |
| Jan | 27,2 | 12,69 | 1,06 | 155,7 | 110,3 | -45,4 | 0,0 | 110,3 | 0,0 |
| Fev | 26,9 | 12,48 | 0,95 | 134,0 | 151,1 | 17,2 | 17,2 | 134,0 | 0,0 |
| Mar | 26,5 | 12,20 | 1,04 | 138,8 | 287,1 | 148,3 | 100,0 | 138,8 | 65,4 |
| Abr | 26,5 | 12,20 | 1,00 | 133,5 | 302,5 | 169,1 | 100,0 | 133,5 | 169,1 |
| Mai | 26,4 | 12,13 | 1,02 | 134,3 | 201,2 | 66,9 | 100,0 | 134,3 | 66,9 |
| Jun | 26,5 | 12,20 | 0,99 | 132,1 | 118,8 | -13,4 | 100,0 | 118,8 | 0,0 |
| Jul | 26,3 | 12,06 | 1,02 | 132,4 | 60,6 | -71,8 | 100,0 | 60,6 | 0,0 |
| Ago | 26,4 | 12,13 | 1,03 | 135,6 | 5,9 | -129,6 | 100,0 | 5,9 | 0,0 |
| Set | 26,8 | 12,41 | 1,00 | 139,1 | 5,8 | -133,4 | 99,4 | 5,8 | 0,0 |
| Out | 27,2 | 12,69 | 1,05 | 154,2 | 1,6 | -152,7 | 0,0 | 1,6 | 0,0 |
| Nov | 27,3 | 12,76 | 1,03 | 153,4 | 0,6 | -152,7 | 0,0 | 0,6 | 0,0 |
| Dez | 27,4 | 12,83 | 1,06 | 160,0 | 13,9 | -146,0 | 0,0 | 13,9 | 0,0 |
| Total | | 148,78 | | | 1259,5 | | | 858,1 | 301,4 |

Fonte: COGERH (2016)

Com base nos dados fornecidos pela estação pluviométrica de Paraipaba que detém os dados referentes a todas as precipitações ocorridas na região entre os anos de 1989 e 2017 percebe-se que o volume de chuvas é maior entre os meses de janeiro e junho, com médias mensais de precipitação que variam de 120,95 a 305,29 mm ao longo do intervalo (Gráfico 1), sendo este o período reservado aos processos de recarga mais intensos. O que se repete, obviamente, nos dados pluviométricos totais. Nos meses de julho a dezembro as chuvas apresentam suas taxas mínimas.

Gráfico 1 – Gráfico representativo das variações dos valores de precipitação (mm) registrados na estação meteorológica de Paraipaba.



Fonte: (COGERH, 2017).

3.2 Solos

O município de Paraipaba é composto de solos aluviais devido à grande influência dos corpos hídricos da região responsáveis pela remobilização e transporte de material vindo da área fonte. Outro tipo de solo encontrado são areias quartzosas provenientes da ação marinha, além dos latossolos vermelho-amarelo que estão geralmente associados a relevos planos e levemente ondulados típicos de ambientes bem drenados. Estes solos são geralmente bem profundos e uniformes em cor e textura (CEARA, 2016; CPRM, 2014)

Além desses, também é possível encontrar solo do tipo podzólico vermelho-amarelo e solonchack, este caracterizado por uma superfície em torno de 30 cm com alta concentração de sal e aquele com um teor fortemente ácido e de baixa fertilidade natural. Predominam sobre áreas de relevo plano e suavemente ondulado (CEARA, 2016).

3.3 Vegetação

O Município de Paraipaba está inserido no Complexo Vegetacional da Zona Litorânea. Esta região é tida como ecótono pois inclui diferentes elementos florísticos de

diferentes domínios fitogeográficos brasileiros, tais como caatinga, cerrado e restinga (CPRM, 2014; CASTRO, 2012)

Há o predomínio de algumas espécies que dominam o cenário e podem ser facilmente identificadas, tais como as das famílias *Fabaceae* (mororó, jatobá e sabiá), *Cyperaceae* (junco), *Rubiaceae* (Jenipapo), *Euphorbiaceae* (cansação e velame), *Myrtaceae* (guabiraba) e *Malvaceae* (barriguda e açoita-cavalo). Além de gramíneas e vastas planícies ocupadas por carnaubeiras (CASTRO, 2012).

3.4 Geomorfologia

A área de estudo abrange dois Domínios Geomorfológicos da paisagem cearense, a Planície Litorânea e os Tabuleiros Costeiros. As dunas de Paraipaba compõem o sistema deposicional originado pela ação eólica cujo transporte é dado principalmente por arrasto, saltação ou suspensão. Este sistema está inserido no Domínio Geomorfológico denominado Planície Costeira, formando uma estreita franja de sedimentos eólicos, marinhos e fluviais que se estendem por toda a costa do Ceará, entre a linha de costa e os Tabuleiros Costeiros (Figura 6).

Figura 6: Dunas pertencentes à Planície Litorânea cobertas por vegetação. Coordenadas: 482410/9631289 (SIRGAS 2000).



Fonte: (Autores, 2017).

A morfologia das dunas se dá a partir da ação do vento, e apresentam formas predominantes do tipo barcanas e longitudinais, atingindo muitas vezes 30 metros de altura (SOUZA 1988).

A morfologia da linha de costa e o transporte eólico muito direcional fazem com que ocorra a migração do campo de dunas. Os sedimentos são transportados da praia para o interior, migram sobre a planície costeira e retornam parcialmente ao mar através da drenagem local ou pelas dunas presentes na planície de deflação. Podem ser identificadas duas direções de transporte de sedimentos. A primeira é alimentada pela direção principal dos ventos de leste, e a segunda, corresponde à direção secundária dos ventos de sudeste (CPRM, 2014).

Adentrando em direção ao sertão encontramos os Tabuleiros Costeiros. Fazem parte do Grupo Barreiras e se caracterizam por sua forma tabular esculpida em rochas sedimentares. Caracterizam-se como antigas superfícies deposicionais que hoje são dissecadas por redes de canais de baixa drenagem. Esse domínio apresenta gradientes suaves em direção à linha de costa e é limitado pela Planície Costeira ao Norte, e a Depressão Sertaneja ao sul, com pediplanos que sobressaem próximo ao litoral e se estendem em direção ao interior (CPRM, 2014).

3.5 Hidrografia

O Município de Paraipaba está inserido na bacia hidrográfica do rio Curu, localizado na porção noroeste do Estado do Ceará. Limita-se ao norte com o Oceano Atlântico, a oeste, com a bacia do Litoral e do Acaraú, a leste, com a bacia Metropolitana, e ao sul com a bacia do Banabuiú. O rio Curu (Figura 7) se apresenta como o principal coletor desta bacia e se estende por 195 km correndo preferencialmente no sentido sudoeste-nordeste.

Drena uma área aproximada de 8.750,75 km², o equivalente a 6% do território cearense e drena aproximadamente 78,25% do município de Paraipaba (INESP, 2009). A área de estudo localiza-se no Baixo Vale do Curú, onde há a ocorrência dos sedimentos da Formação Barreiras e os depósitos arenosos da Planície Litorânea (IPECE, 2016; INESP, 2009).

Figura 7: Foz do rio Curú com dunas ao fundo e vegetação típica de mangue. Coordenadas: 492461/9623368 (SIRGAS 2000).



Fonte: (Autores, 2017).

A bacia do Rio Curú caracteriza-se como área de relevo moderado a forte e com alta taxa de açudagem para os mais diversos fins, como abastecimento humano, irrigação e manutenção da indústria.

CAPÍTULO 4 - CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

O Município de Paraipaba é geologicamente caracterizado por rochas Pré-cambrianas que compõem o embasamento cristalino, recobertas por sedimentos Cenozóicos. A região é composta geologicamente por uma coluna estratigráfica da base para o topo, constituídas de rochas Pré-cambrianas, sedimentos Plio-Pleistocênicos do Terciário e as unidades do Quaternário representadas principalmente por depósitos de praia, eólicos e fluviais (MAIA, 1998).

4.1 - Embasamento

O embasamento regional do norte do estado do Ceará, está representado por dois tipos de terreno, o primeiro de idade Arqueana, representado por um complexo de origem plutônica, por uma sequência do tipo "GreestoneBelt", por intrusões básicas e ultrabásicas acamadadas e por terrenos graníticos-migmatíticos e migmatitos de composição granítica variando de granodiorito a tonalito.

O segundo de idade proterozóica, que é agrupado, genericamente, sob a denominação de grupo Ceará, é composto essencialmente, por metassedimentos, caracterizado por xistos pelíticos e semi-pelíticos e gnaisses de fácies anfibolitos de grau alto, afetado em intensidade variável por mobilizações e migmatização. Vale ressaltar que associados a estes terrenos, aparecem quartzitos, mármore e calcissilicáticas, bem como gnaisses sub alcalinos, alcalinos e sieníticos. (CABY e ARTHUD, 1986). Embora não aflore na área de estudo, o embasamento assume grande importância para o entendimento da geologia local, uma vez que forma o capeamento base de toda a geologia sedimentar sobrejacente.

4.2 - Terciário

Sedimentos da Formação Barreiras representam o Terciário, amplamente distribuídos ao longo da faixa costeira, representando uma das unidades mais importantes do Tercio-Quaternário. Carvalho (2003), baseado na realização de seções estratigráficas, afirma que a formação barreiras pode ser interpretada como resultado da deposição em um sistema fluvial do tipo meandrante. Nestas seções, observa-se a sucessão de camadas aluviais estratificadas, que estão limitadas predominantemente por contatos gradacionais.

Este aspecto é marcado pela presença de canais constituídos por materiais cascalhosos, alternando com camadas areno-argilosas e argilosas. O domínio representado pelo grupo Barreiras caracteriza-se por uma expressiva variação

faciológica, com intercalações de níveis mais e menos permeáveis, o que lhe confere parâmetros hidrogeológicos variáveis de acordo com o contexto local, que induzem potencialidades diferenciadas quanto à produtividade de água subterrânea.

4.3 - Quaternário

A planície costeira do estado do Ceará está vinculada diretamente com flutuações do nível do mar durante o Quaternário, as quais controlam a distribuição das areias, a posição e intensidade da deriva litorânea, e como consequência o nível de erosão/deposição e, por último a disponibilidade de material para a formação dos depósitos eólicos (MAIA, 1998). Depósitos de praia, depósitos eólicos, rochas de praia (beach rocks) e depósitos flúvio-marinhos são as principais unidades quaternárias pertencentes a área de estudo.

Inúmeras gerações de dunas que se distribuem de maneira contínua pela zona costeira do estado do Ceará, foram diferenciadas por Maia (1998), tomando como referência relações estratigráficas em Paleodunas, Dunas Parabólicas, Eolianitos e Dunas Móveis.

4.4 - Geologia Local

Sedimentos da Formação Barreiras, Depósitos Litorâneos e Sedimentos Quaternários, são as unidades geológicas que predominam na área limite para a pesquisa (Mapa 3).

Os tabuleiros pré-litorâneos representam a faixa de transição entre o domínio das terras altas e da planície costeira, moldados nos sedimentos mio-pleistocênicos da Formação Barreiras (SOUZA, 1988). Na área percorrida, a distribuição da Formação Barreiras ocorre em uma faixa que se alonga desde a porção central até o limite oeste. A leste esta unidade limita-se com os sedimentos aluvionares do rio Curu. A norte o limite se dá com os sedimentos litorâneos das Dunas/Paleodunas.

De modo geral, ocupa uma parte da linha de costa, na retaguarda da frente marinha, sendo interrompidos pelo estuário dos rios que atingem o litoral. O relevo associado a Formação Barreiras na área é peculiar a esse domínio, de forma tabular e dissecado pelos riachos litorâneos de vales alongados e fundo chato. Penetram por toda área desde o encerramento do domínio de Dunas até o limite sul, por aproximadamente 15km.

Nas porções mais próximas ao litoral identificam-se as falésias, como descrito por (SOUZA, 1988). Suas formas mais expressivas estão visíveis na região de Lagoinha,

onde identificam-se os terrenos areno-argilosos de coloração predominantemente creme ou avermelhada, moderadamente selecionados, com granulometria variando de fina a médios e sem a presença de estruturas sedimentares.

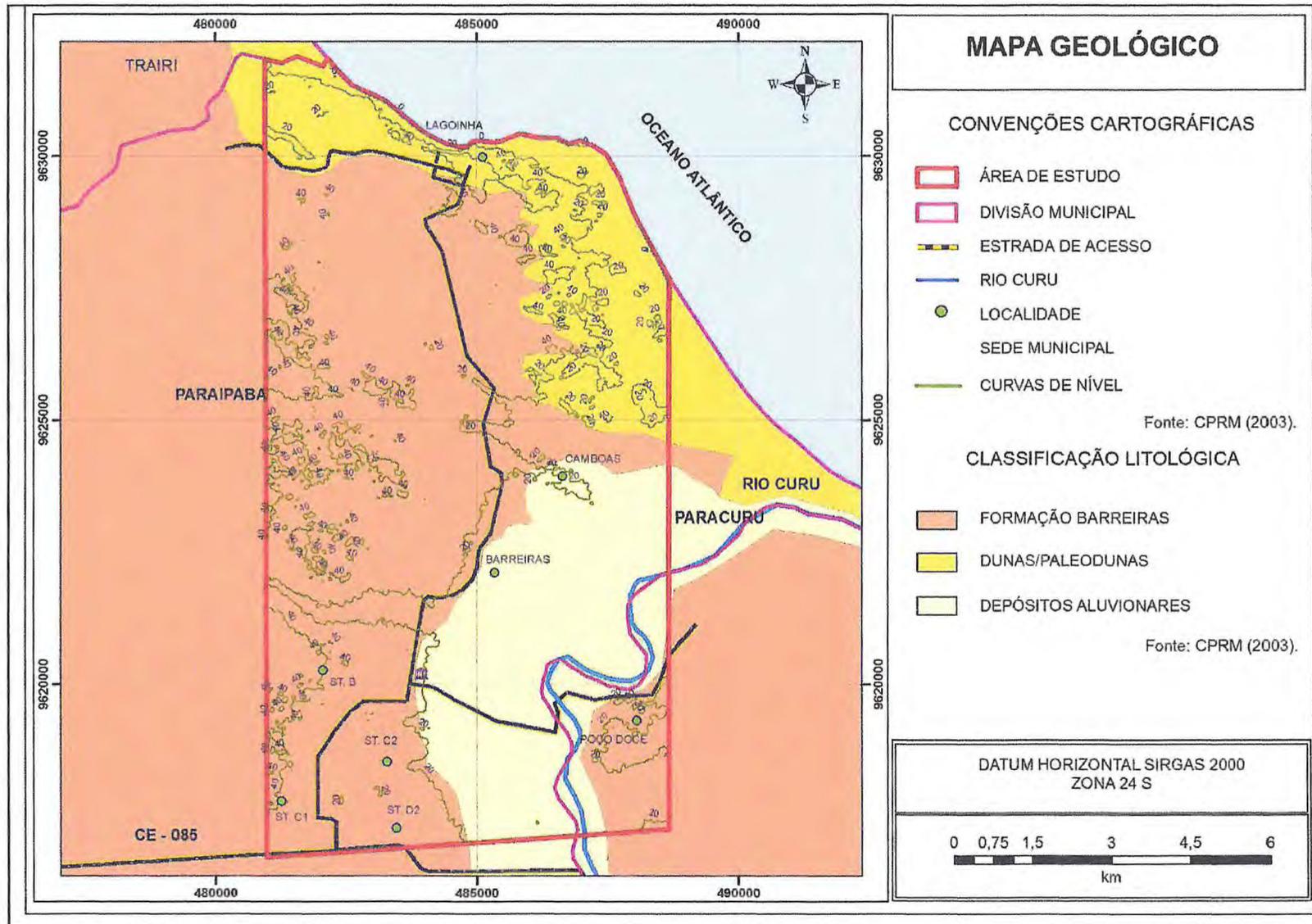
Os depósitos eólicos (Paleodunas), abrangem toda porção norte da área, ao longo da faixa litorânea. Não possuem forma definida e se encontram em contato direto com os sedimentos da Formação Barreiras. Constituem-se de areias bem selecionadas, de granulação fina a média, por vezes siltosa, localmente com tons predominantemente amarelados e acinzentados, de composição quartzosa e/ou quartzo-feldspática. Apresentam por vezes estratificações plano-paralelas e cruzadas, ocorrendo também níveis pelíticos de espessura centimétrica intercalados no pacote arenoso, os quais podem ser interpretados como depósitos em ambiente úmido correspondente a áreas baixas de interdunas.

Brandão (1995) define esta unidade como decorrente de acumulação de sedimentos removidos da face de praia pela deflação eólica e distribuem-se como um cordão contínuo, dispostos paralelamente a linha de costa, o qual começa a ser esboçado a partir da linha de praia alta (*backshore*) possuindo uma largura média de 2 a 3 km e espessura que atingem até 30m. São constituídas por areias esbranquiçadas, bem selecionadas, de granulação fina a média, quartzosas, com grãos de quartzo foscos e arredondados (BRANDÃO, 1995).

Na área de trabalho as exposições mais expressivas da unidade Paleodunas ocorre na porção a oeste do estuário do rio Curu, com largura de aproximadamente 3km. Na região da localidade de Lagoinha esta unidade se apresenta de modo restrito, com largura da faixa de no máximo 700m. É importante ressaltar que o Sistema Aquífero Dunas de Paraibapa tem suas águas utilizadas para consumo humano em diversas localidades.

Os depósitos aluvionares referem-se aos sedimentos do quaternários que constituem a Planície Fluvial do rio Curu, a qual imprime as melhores condições de solos e disponibilidade hídrica da região da bacia. Integram-se ao domínio dos depósitos sedimentares Cenozóicos, constituídas por areias finas a grossas, cascalhos e blocos. Sua abrangência na área é dominante na porção sudeste, onde a faixa aluvionar atinge espessura média de 3400m. À medida que o Rio Curu atinge seu baixo curso, entalha terrenos dos tabuleiros e amplia sua faixa de deposição pela diminuição do gradiente fluvial (SOUZA, 1988).

Mapa 3 – Aspectos litológicos da área de estudo na região de Paraipaba-CE.



CAPÍTULO 5 – HIDROGEOLOGIA

5.1. Aquífero Dunas/Paleodunas

O Aquífero Dunas/Paleodunas é constituído por areias mais claras de características esbranquiçadas, formadas por grãos de quartzo arredondados, devido ao retrabalhamento, e bem selecionados (Figura 8). Se apresentam morfologicamente como dunas móveis e fixas. As dunas móveis, por muitas vezes, formam um cordão extenso de areia seca e inconsolidada bordejando a linha de costa do Município de Paraipaba e representam as maiores elevações do pacote sedimentar e formando campos homogêneos, por vezes recortados por redes de drenagem e lagoas intermitentes (MORAIS, 2015).

Figura 8: Poço tubular raso, com bomba hidráulica, perfurada a poucos metros do mar, no aquífero Dunas/Paleodunas. Coordenadas: 489842 / 9625785 (SIRGAS 2000).



Fonte: (Autores, 2017).

As dunas fixas formam-se continente a dentro posicionando-se de forma discordante em relação à Formação Barreiras. Há a presença de níveis siltosos, bem como argilas orgânicas fruto da variação da energia de deposição dos clastos. Devido a sua composição, quase predominantemente de areias quartzosas, este tipo de aquífero tem forte vocação hidrogeológica para o armazenamento e fornecimento de água de boa qualidade (Figura 8). A água é geralmente encontrada mais superficialmente, e sua recarga é por fonte direta pelas precipitações pluviométricas, de acordo com LISBOA (2002).

Porém, em função dos elevados coeficientes de condutividade hidráulica, transmissividade e porosidade efetiva, associados, a um nível estático raso, o Sistema Dunas apresenta uma alta vulnerabilidade aos impactos antrópicos negativos, quase sempre resultantes do uso e da ocupação do meio físico de forma desordenada (MORAIS, 2015). Neste domínio cadastrou-se 14 poços durante a elaboração do inventário, que corresponde a 16% de todos os poços mapeados.

5.2 Aquífero Barreiras

O Grupo Barreiras é composto por arenitos argilosos, de cores variadas, com matrizes avermelhadas, amarelados e cinza esbranquiçados. Apresenta, por muitas vezes, matriz caulínica, contendo, comumente cimento argilosos e ferruginoso, com presença de níveis lateríticos e marcada variação faciológica (MORAIS, 2015). Este domínio registrou a maior concentração dos poços mapeados, 65 em um total de 89, correspondendo a 73% de todos aqueles monitorados. Apesar da ampla dispersão de poços neste ambiente litológico, não se pode relacionar diretamente com as melhores condições hidrogeológicas da região, pois existem descontinuidades laterais e faciológicas significativas que restringem a disponibilidade hídrica, comprometendo as vazões resultantes.

Como é dominado por variações faciológicas, neste domínio predomina a variação entre níveis mais e menos permeáveis, o que lhe garante uma variação nos padrões hidrogeológicos de nível para nível, refletindo na potencialidade e na produtividade de águas subterrâneas, o que confere a este, localmente, características de um aquífero, ou seja, uma formação geológica que possui baixa permeabilidade e que transmite água lentamente (CAVALCANTE, 2007).

Os sedimentos do Grupo Barreiras acumulam volumes consideráveis de água subterrânea e são responsáveis pelo abastecimento da maioria das sedes municipais da faixa litorânea nordestina. Ocorrem sob a forma de aquíferos isolados (livres e/ou semiconfinados) ou compondo sistemas aquíferos, como no litoral do Ceará (Sistema Dunas/Barreiras). Sua grande diversidade litológica (arenitos, argilas e conglomerados) resulta em vazões igualmente variáveis (10 a 40 m³/h) (Mapa Hidrogeológico da Região Nordeste - IBGE, 2013).

5.3 Aquífero Aluvionar

Os aquíferos aluvionares são evidenciados por sedimentos areno-argilosos recentes, alternando-se em camadas de granulometria muito fina que são

frequentemente intercalados com níveis argilosos e orgânicos (MORAIS, 2015). Esse domínio ocorre associado a calhas de rios e riachos, evidenciado pelo aluvião do Rio Curu, presentes na área em estudo. No geral, apresentam-se como uma boa alternativa ao armazenamento de água, devido aos seus bons níveis de porosidade e permeabilidade, garantindo, mesmo em se tratando de um pacote sedimentar pouco espesso, uma razoável disponibilidade e vazões bastante significativas do ponto de vista hidrogeológico (CPRM, 1998).

De forma geral, esse sistema é bastante utilizado pela população ribeirinha que capta água através de poços freáticos de baixa profundidade e pequeno diâmetro para o uso doméstico em geral. De todos os poços mapeados, 11% deles (10 poços), foram mapeados em Domínio Aluvionar, sendo o que menos apresentou poços. Observou-se na área o fácil acesso às águas superficiais do rio Curu, que representa uma solução menos onerosa, sendo a primeira opção de captação em detrimento das perfurações de poços. Sua recarga ocorre por intermédio da precipitação pluviométrica, dos rios influentes e das águas subterrâneas acumuladas nos domínios Dunas/Paleodunas.

Nas proximidades do oceano, esse sistema pode sofrer influência do mar, alterando a qualidade da água armazenada, principalmente nos períodos de estiagem, quando os rios estão com carga baixa. Já nas épocas de cheia, as faixas aluvionares podem ser cobertas pelas águas do rio, pelo extravasamento deste (MORAIS, 2015).

5.4. Condições Atuais do Abastecimento

O sistema de abastecimento de água do Município de Paraipaba, mais precisamente do Distrito Sede, onde se concentra grande parte da população do município, é garantido pela Lagoa da Cana Brava, localizada ao norte do centro urbano, cortada pela CE-162, via de acesso à Praia da Lagoinha. A água é captada por tubos captadores em boias móveis e direcionada à Estação de Tratamento de Água (ETA) localizada à Rua José Carneiro Meireles, 534 (Figura 9).

Figura 9: Fachada da estação de tratamento de água de Paraipaba. Coordenadas: 483436 / 9620611 (SIRGAS 2000).



Fonte: (Autores, 2017)

A água passa pelos processos de adição de produtos químicos, filtração e desinfecção com cloro, o que garantirá a destruição de organismos causadores de doenças. Após o tratamento, a água é armazenada em dois reservatórios com capacidade total de 600 m³. Em seguida, é levada por gravidade para a distribuição através de tubulações de PVC, com diâmetro variando de 50 a 200 mm. (CAGECE, 2017)

A vazão média distribuída para a sede do município é de aproximadamente 96,0 m³/h e compreende uma malha de 27.194 metros de rede o que garante um índice de cobertura de 99,5%. Já o Distrito de Lagoinha tem seu abastecimento de água provido por dois poços tubulares profundos administrados pela CAGECE, que após a captação submete essa água à adição de produtos químicos, filtração e desinfecção com cloro,

visando sua adequação ao padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde. (CAGECE, 2017)

Figura 10: Posto de captação de água na Lagoa da Canabrava para abastecimento da sede do município. Coordenadas: 483709 / 9621247 (SIRGAS 2000).



Fonte: (Autores, 2017).

5.5 Exploração de Água Subterrânea

Com base no inventário dos poços realizado na área de pesquisa, identificou-se que grande parte dos poços perfurados ou escavados concentram-se nos Domínios Dunas/Paleodunas e Barreiras. O primeiro apresenta uma maior facilidade de exploração e baixo custo, devido a ocorrência de níveis freático mais próximos à superfície. Captações no domínio Barreiras requer um maior vulto e estudos que aumentem a probabilidade de sucesso na perfuração. Comprovando o que localmente se relata quanto ao insucesso da perfuração de poços em determinadas profundidades, revelando a característica principal do Domínio Barreiras, a alternância de pacotes de variada porosidade e permeabilidade.

Uma vez alcançado o nível eficaz para a exploração da água subterrânea, o município concentra a sua demanda em três pilares principais: Irrigação, uso doméstico e uso geral (dessedentação animal, lavagem de pisos, calçadas e etc.) e manutenção de hotéis e pousadas. .

A demanda na irrigação se concentra principalmente no plantio de coqueiro, mas também há outras culturas como acerola e banana, porém, com baixa expressividade. Segundo os moradores locais, a irrigação do plantio ocorre durante a madrugada, horário em que o preço do kw/h cobrado pela concessionária de energia cai consideravelmente,

assim, o horário de maior captação se dá pela noite causando as maiores variações do nível de água do aquífero explotado.

Outra fonte de água para a irrigação são as lagoas interdunares. Formam-se como um afloramento da superfície freática e se mantém como fonte de água certa e fácil para os produtores locais, a exemplo da Lagoa da Cana Brava, utilizada para o abastecimento de água da sede do município.

O abastecimento doméstico requer um volume menor do que aquele utilizado para a irrigação, e geralmente utiliza-se poços escavados do tipo cacimba ou cacimbão ou poços tubulares rasos, como os encontrados no Domínio Dunas/Paleodunas, apresentando N.A de 1,1 m, em média

Os hotéis e pousadas encontram na água subterrânea a fonte para a manutenção de quase todas as suas atividades rotineiras, como lavagem de vestuários e banho dos hóspedes. Utilizam poços artesianos mais profundos de revestimento de PVC com uma profundidade média de 40 metros.

5.6 Vulnerabilidade do Aquífero

Entende-se por vulnerabilidade de um aquífero, o maior ou menor grau de sensibilidade que o aquífero apresenta de tolerar uma contaminação (FEITOSA & MANOEL FILHO, 2000). De forma geral, três fatores controlam o grau de vulnerabilidade, o tipo de aquífero (se é livre ou confinado) a profundidade do nível d'água, e as características litológicas da camada superior a de interesse (BRAGA, 2008).

Ao analisarmos a assertiva, percebe-se que dos sistemas aquíferos que há dentro da área de estudo os Domínios Dunas/Paleodunas e o Aluvionar apresentam a maior vulnerabilidade, facilitando a acessibilidade hidráulica da zona não saturada à penetração dos contaminantes, que podem ser de fontes pontuais ou difusas.

Dentre as atividades com alto potencial poluidor podemos destacar a presença de lixões e aterros sanitários, cemitérios, agrotóxicos e fertilizantes, armazenamento e distribuição de combustível, fossas sépticas e outros.

5.7 Áreas Potenciais e Orientações de Perfuração

Com base nos estudos hidrogeológicos contidos neste projeto e nas observações *in situ* das condições geológicas e geomorfológicas da área de estudo, define-se o Domínio Dunas/Paleodunas como o mais atrativo no que se refere a facilidade em se captar água, em função da baixa profundidade do NE e das características de porosidade do meio. Sempre que possível deve-se evitar o Barreiras, uma vez que este é composto

por níveis que apresentam variações nos quesitos porosidade e permeabilidade, encarecendo o custo de perfuração, além de o nível d'água estar em maior profundidade.

A depender da demanda requerida, é possível a perfuração de poços mistos, interceptando o sistema Dunas/Paleodunas e o Barreiras, tendo o cuidado de instalar o sistema de filtros nos níveis corretos de captação, a fim de obter um maior volume explotado. No que se refere ao processo de perfuração, deve-se atentar para as características construtivas, uma vez que um projeto construtivo bem elaborado, seguindo as especificações estabelecidas pelas Normas Técnicas (NBR 12212/NB 588 e NBR 12244/NB 1290) eleva a possibilidade de sucesso na empreitada.

Atentar para o posicionamento das secções filtrantes, interceptando os níveis que favoreçam uma maior captação, além da observação dos fluidos de perfuração, aqueles que sejam de fácil remoção e que não impermeabilizem o estrato localizado no entorno do poço, detalhes que colaboram para o sucesso do processo de instalação e perfuração de um poço tubular.

Concluída a fase de perfuração e instalação, deve-se ter o cuidado de preencher corretamente o espaço anelar no entorno do poço, com o pré-filtro. Faz-se necessário a utilização de material inerte, bem selecionado e de granulometria compatível, a fim de que permita o direcionamento do fluxo de água subterrânea para o poço e não obstrua os orifícios do filtro anteriormente instalado.

Quando perfurando próximo à linha de costa, faz-se ainda mais necessário o acompanhamento de um geólogo, registrado pelo CREA, uma vez que, próximo àquela, há a interferência da cunha salina que pode alterar a qualidade da água no que se refere à disponibilidade de sais. Daí a necessidade de um profissional competente no monitoramento dos trabalhos. A perfuração não pode ser tão profunda e nem o bombeamento tão intenso, a fim de evitar a interceptação da cunha para que esta não avance rumo ao continente, alterando a qualidade de poços continente adentro.

CAPÍTULO 6 - ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS

O Município de Paraipaba, localizado na Região da Grande Fortaleza, apresenta população de 32.256 habitantes, com 55,3% destes residindo em áreas rurais. Sua densidade demográfica é baixa, variando em 99,83 hab./km² (IPECE, 2016). De acordo com relatório do IBGE cerca de 20% da população do município é classificada como extremamente pobre (renda domiciliar per capita mensal de até R\$ 70,00), reflexo da ausência de eficiência da administração pública em todas as esferas de governo, além dos constantes ciclos de estiagem que assolam a região.

O IDH do município fica abaixo da média brasileira que é de 0,754, considerando alto pela ONU. O de Paraipaba não passa de 0,634, de acordo com o PNUD, considerado médio. No que se refere ao esgotamento sanitário e o abastecimento de água, a região urbana de Paraipaba tem 99,4% de sua área atendida pelo sistema de abastecimento. Quanto às instalações sanitárias adequadas, esse número cai para 82,20%, alto quando comparado com outros municípios cearenses como Abaira, sem cobertura, e Aurora com apenas 35%. Porém, quando se olha para o município como um todo, o esgotamento sanitário adequado cobre uma área correspondente a apenas 28% do território (IPECE, 2016).

Quanto aos aspectos econômicos, o município apresenta PIB per capita de R\$ 10.396,00 e uma economia voltada predominantemente para a agropecuária, indústria e serviços, correspondendo a quase totalidade do PIB municipal que em 2013 foi de R\$ 264.826,00. (IPECE, 2016)

Tabela 3: Participação das principais atividades econômicas no PIB municipal.

| PIB por setor (%) | | |
|-------------------|-----------|----------|
| Agropecuária | Indústria | Comércio |
| 18,47 | 21,21 | 60,32 |

Fonte: (IPECE, 2016).

CAPÍTULO 7 - ASPECTOS QUALITATIVOS

7.1 Diagnósticos Qualitativos

A qualidade da água é entendida como um conjunto de fatores químicos, físicos e biológico que interferem na forma como a água se apresenta em seu estado fundamental. Esta qualidade é posta em prova para atender a três pilares fundamentais:

1. Padrão de potabilidade: Conjunto de fatores que asseguram à água sua apresentação de forma incolor, insípida e inodora tornando-a própria para o consumo e livre de altos níveis de materiais tóxicos e microrganismos.
2. Segurança para o ser humano: é tido como o principal fator que exige a manutenção da qualidade da água, uma vez que alterações de ordem física, química e biológica acima dos padrões estabelecidos pela legislação vigente pode trazer consequências catastrófica sobre a saúde dos usuários.
3. Bem estar dos ecossistemas: A água deve estar dentro dos padrões estabelecidos a fim de garantir a sobrevivência dos ecossistemas, assegurando os meios adequados para reprodução, alimentação e manutenção da vida.

Os padrões de qualidade da água permitem direcionar o seu uso para diversas finalidades, como determina a Resolução Conama 357/2005, principalmente no que se refere às águas doces:

I - classe especial: águas destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;
- b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas;
- c) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

II - classe 1: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho.
- d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e
- e) à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

III - classe 2: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;

- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho;*
- d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e*
- e) à aquicultura e à atividade de pesca.*

IV - classe 3: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;*
- b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;*
- c) à pesca amadora;*
- d) à recreação de contato secundário; e*
- e) à dessedentação de animais.*

V - classe 4: águas que podem ser destinadas:

- a) à navegação; e*
- b) à harmonia paisagística*

Em campo, realizou-se a medição de alguns parâmetros das águas dos poços como temperatura, pH, CE, STD e NA obtidos através de sonda modelo OAKTON WATTERPROOF e medidor de nível d'água eletro-sonoro (modelo HSNA – 30), ambos de fácil manutenção e utilização, com alto grau de precisão. Na etapa de campo foram obtidos dados de 89 poços onde foram observados:

- A condutividade elétrica, que é utilizada para expressar a salinidade da água, apresentou valor médio de 626,60 $\mu\text{S}/\text{cm}$, máximo de 1.206 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e mínimo de 142,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$, (em toda a área);
- As águas apresentaram pH médio de 5,34, máximo de 7,4 e mínimo de 3,89. As águas são, em geral, ácidas com tendência à neutralização, quando o pH >7 (em toda a área);
- A temperatura das águas variou de 25,4°C a 32,1°C, com média de 28,96°C;
- Os valores de sólidos totais dissolvidos das águas variaram de 91,0 mg/L a 771,8 mg/L. Apresentando valor médio de 405,1 mg/L.

7.2 Diagnóstico Atual da Exploração

No mapeamento de campo realizado, foram encontrados 89 poços, sendo 62 poços escavados e 27 tubulares. Obteve-se uma média de 15,1 m de profundidade para os poços escavados, e 55,0 m para os poços tubulares profundos. Não é possível

apresentar os dados de profundidade média para os poços tubulares rasos, um vez que nenhuma informação foi adquirida junto aos moradores locais.

Vale salientar que grande parte dos poços mapeados durante este estudo estão inseridos no padrão estabelecido pela COGERH baseado no Decreto 23.067/1994 que regulamenta o artigo 4º da Lei nº 11.996 de 24 de julho de 1992, no que se refere à outorga do direito de uso dos recursos hídricos: que determina que poços que apresentem vazão inferior a 2.000 l/h serão isentos de outorga, desde que estes não sejam de responsabilidade de órgãos públicos ou que não esteja inseridos em aquífero sedimentar estratégico. (CEARÁ, 2008)

7.2.1 Condições Atuais dos Poços

Durante a etapa de campo deste relatório foram mapeados 89 poços, destes, 62 foram classificados como poço do tipo escavado, variando de raso a média profundidade, porém, 13 poços estavam inativos, como pode ser visto na tabela 4.

Tabela 4: Condição dos poços mapeados em campo quanto à atividade e inatividade.

| Tipo de poço | Ativo | Inativo |
|----------------|-------|---------|
| Poço Tubular | 27 | - |
| Poço Escavados | 62 | 13 |

Fonte: (Autores, 2017).

Figura 11: Chafariz administrado pelo SISAR, responsável por abastecer a comunidade local de Camboas. Coordenadas: 487049 / 9623778 (SIRGAS 2000).



Fonte: (Autores, 2017).

Os motivos da inoperância dos poços são os mais diversos, como deterioração da qualidade da água pelo aumento da salinidade ou pela utilização do poço como receptáculo de lixo, exaustão do volume d'água ou pela não mais necessidade de utilização deste tipo de fonte de abastecimento, uma vez que estão em curso diversos programas encabeçados pela CAGECE e pelo CISAR que levam água encanada e tratada para a população urbana e rural (Figura 11).

Ao todo, foram identificados 27 poços tubulares, que variaram quanto à profundidade entre rasos a profundos. Não observou-se nenhum poço tubular Inativo, como ocorreu com os poços escavados.

Quanto à classificação dos poços no que se refere à entidade mantenedora temos que dos 89 poços cadastrados 5 são mantidos pelo poder público, todos eles poços tubulares, nenhum poço escavado foi encontrado sob posse da iniciativa pública (Tabela 4). Todos estavam em pleno funcionamento e garantiam o abastecimento de água de qualidade para a comunidade local.

Tabela 5 - Situação atual dos poços cadastrados em Paraipaba-Ce.

| PÚBLICO | | |
|---------------------------|----------------|---------------|
| Tipo de Poço | Inativo | Em Uso |
| Tubular e Amazonas | - | 5 |
| PRIVADO | | |
| Tipo de Poço | Inativo | Em Uso |
| Tubular e Amazonas | 13 | 84 |

Fonte: Autores, 2017

O gráfico 2 mostra que dos 89 poços cadastrados 70% correspondem a poços escavados, e, apenas 30% são de poços tubulares. Isso se deve principalmente ao fato de o custo para construir um poço do tipo escavado é menor quando comparado ao poço tubular. Salienta-se ainda que grande parte dos poços escavados foram feitos há pelo menos 20 anos, de acordo com seus proprietários, quando pouquíssimas pessoas tinham acesso às técnicas de perfuração de poços e ao maquinário necessário para uma perfuração de qualidade.

Um fato que dever ser notado é que, embora a quantidade numérica de poços escavados superem o de poços tubulares, isso não implica que o abastecimento humano seja realizado principalmente por esses poços. Atualmente, grande parte do abastecimento humano se dá ou por captação superficial ou por poços tubulares

profundos administrados pelo poder público.

Gráfico 2: Classificação dos poços mapeados em tubular e escavado.



Grande parte das residências que ainda utilizam o poço escavado, o faz apenas para atividades domésticas como, lavar roupa e calçadas e rega de plantas de jardim, como pode ser visto na tabela de cadastro de poços no apêndice deste relatório.

7.3. Vazão dos Poços

O parâmetro vazão é mais complexo de ser obtido, pois necessita de testes de produção dos poços realizados com sistemas de bombeamentos adequados para cada situação. Essas premissas em muitas situações elevam os custos desta avaliação, restringindo aos proprietários a possibilidade de realiza-los. Na maioria dos casos dos poços na área estudada a vazão informada foi baseada na forma indireta, tida como vazão de operação, que é dada em função da quantidade de água que é captada por dia para encher caixas d'água e cisternas. Com isso, diante da imprecisão desse método e da falta de dados consistentes, adotou-se o estudo anteriormente realizado pelo Governo do Estado do Ceará para posicionar em relação a produção dos poços na região.

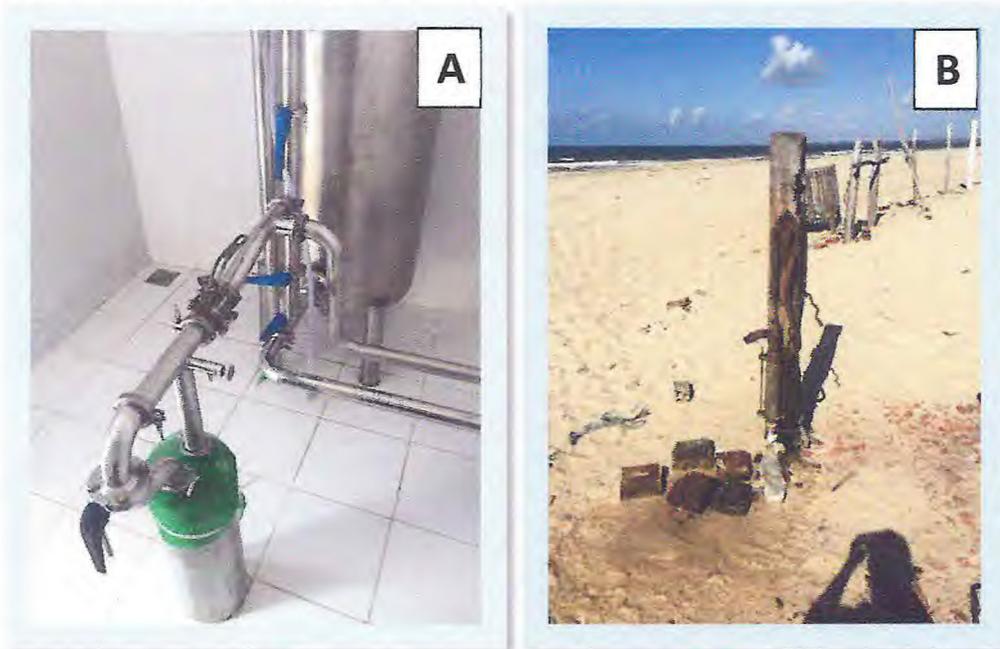
O Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Ceará fez o levantamento de 380 poços no Município de Paraipaba e obteve uma vazão média dos poços em torno de 3,8 m³/h, sendo que estes dados foram obtidos com base apenas em poços localizados na Formação Barreiras (SRH – CE, 1992).

CAPÍTULO 8 - CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS DAS OBRAS DE CAPTAÇÃO

8.1 Tipos de Poços Existentes em Paraipaba

Os poços revestidos, neste caso, são perfurados em ambientes sedimentares compreendendo o Grupo Barreiras e os Depósitos Aluvionares, onde há a interconexão dos poros vazios, garantindo altos índices de permeabilidade, armazenamento e disponibilidade de água. São geralmente revestidos por materiais como tubos de aço galvanizado (Figura 12-A), e PVC geomecânico (Figura 12-B). Utiliza-se o revestimento como forma de evitar o colapso das paredes do poço, fato que não ocorre ao perfurar o cristalino, pois tem alta estabilidade em decorrência da consistência do material rochoso perfurado.

Figura 12: A) Poço tubular perfurado com revestimento de tubos de aço estirado, utilizado na captação de água para fins de envasamento comercial. Coordenadas: 485215 / 9623629. B) Poço tubular raso com revestimento em PVC perfurado à beira-mar em aquífero Dunas/Paleodunas. Coordenadas: 489842 / 9625785 (SIRGAS 2000).



Fonte: (Autores, 2017).

Em Paraipaba encontramos poços revestidos do tipo tubular freático, não ultrapassando 20 m de profundidade, tubular profundo com revestimento em aço galvanizado, como o utilizado pela Água Itajuí, empresa de envasamento de água localizada no município, além dos convencionais poços tubulares de PVC.

Outro conceito é o de poços mistos, que consistem na perfuração do pacote sedimentar e do cristalino, sendo um poço de revestimento parcial, com o revestimento e os filtros instalados até a interface sedimentar/cristalino.

Quanto aos poços escavados, esses podem ser cacimbas, cacimbões e amazonas, e apresentam diâmetro superior a 0,5 m. Teremos cacimbas quando estas tiverem diâmetro superior a 0,5 m e não houver revestimento em suas paredes. Já os cacimbões são definidos por terem diâmetro superior a 1 m e inferior a 5m sendo revestido total ou parcialmente. Por fim, os poços escavados do tipo amazonas são aqueles que apresentam profundidade superior a 5 metros e são revestidos parcial ou totalmente. (VASCONCELOS, 2015)

Em Paraipaba, todos os poços escavados encontrados se classificam ou como cacimba ou como cacimbões, poços amazonas não foram identificados durante o mapeamento de campo. Esses poços são de mais fácil acesso pela população local, porém são mais susceptíveis à contaminação externa, uma vez que geralmente estão a céu aberto e são de nível raso (Figura 13).

Figura 13: Poço escavado utilizado para irrigação de coqueiros. Poço sem tampa de proteção e, portanto, vulnerável a contaminações de águas superficiais impuras. Coordenadas: 481528 / 9629856.



Fonte: (Autores, 2017).

8.2 Tipos de Revestimentos dos Poços

O revestimento é utilizado principalmente para sustentar as paredes do poço perfurado a fim de que este não colapse durante ou após a perfuração. Funcionam também como meio de conexão entre o aquífero perfurado e a superfície de referência, bem como impedir a entrada no poço de águas provenientes de aquíferos impuros.

Utilizado principalmente para perfurações em terrenos sedimentares. No caso de perfurações no cristalino só é utilizado como proteção superficial para impedir a entrada de águas superficiais contaminadas. São geralmente compostos de metal ou PVC aditivado, também chamado de geomecânico. São utilizados em poços de baixa profundidade. No caso de poços com elevada profundidade, o mais indicado é o revestimento de metal, mais precisamente o de aço estirado.

No caso dos poços escavados, o revestimento mais utilizado são os tijolos, que compõem o que conhecemos como paredes de alvenaria, além dos anéis de concreto pré-moldado.

8.2.1 Requisitos para Localização dos Poços e Características Construtivas

Ao elaborar um projeto de construção de um poço alguns fatores devem ser atendidos, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define como esses poços devem ser perfurados, desde seu projeto inicial até às dimensões que cada elemento que o compõe deve ter. Alguns padrões devem ser seguidos e estão estabelecidos nas seguintes ABNT NBRs:

- NBR 12212 - Projeto de poço tubular profundo para captação de água subterrânea;
- NBR 12244 - Construção de poço tubular profundo para captação de água subterrânea;

Um dos pontos cruciais é a delimitação de distância mínima para perfuração de poços levando em consideração fossas sépticas. A Norma estabelece uma distância segura de 15 metros de distância de fossas sépticas e 45 metros para as demais fontes de poluição (chiqueiros, estábulos, valões de esgotos, galeria de infiltração e outros), o que nem sempre é levado em conta (Figura 14). No que se refere à proteção do poço contra contaminação externa, três estruturas devem receber atenção especial: selo sanitário, laje de proteção e tampa.

Figura 14: Poço escavado construído dentro de chiqueiro, em desacordo com o que estabelece a Norma, em que os poços devem ser posicionados com no mínimo 45 metros de distância de chiqueiros, estábulos e etc. Coordenadas: 483481 / 9619339.



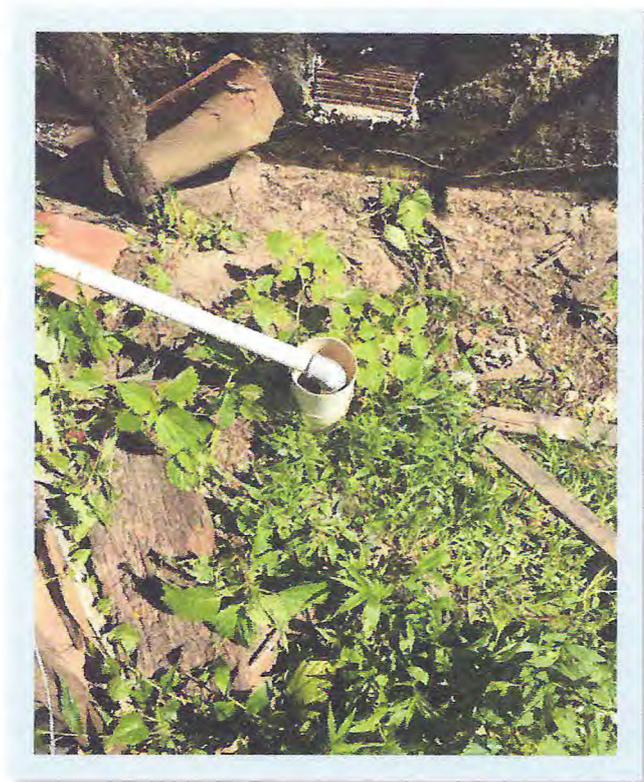
Fonte: (Autores, 2017).

8.2.1.1 Cimentação

Durante todo o mapeamento de campo, verificou-se a grande quantidade de poços que não estavam construídos de forma correta como estabelece a ABNT- NBR. Grande parte dos poços não apresentavam selo sanitário e nem laje de proteção (Figuras: 15 e 16). O selo sanitário, que nada mais é do que o preenchimento do espaço anelar localizado entre o revestimento e a parede do poço, garantindo a união dos dois para impedir que águas superficiais contaminadas adentrem à estrutura, ou mesmo impedir que aquíferos contaminados forneçam água para o poço perfurado, em Paraipaba dificilmente é utilizado.

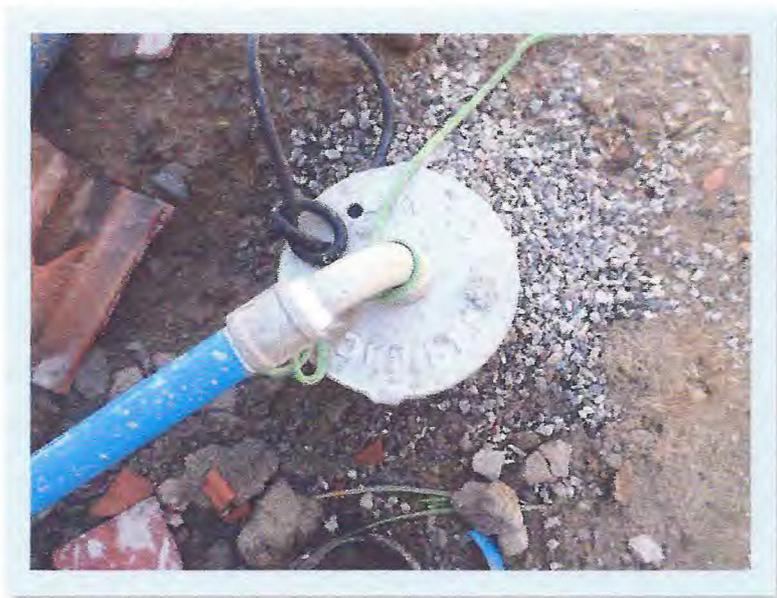
A ABNT NBR 12.244 define que a espessura do selo sanitário deve ser de no mínimo 5cm e o material utilizado seja uma calda de cimento, além de aconselhar a realização de nenhuma atividade no poço nas 48 horas seguintes à cimentação. No caso de Paraipaba, encontramos poços rústicos e sem proteção o que pode trazer prejuízos à saúde de quem utiliza àquela água.

Foto 15: Poço tubular construído fora dos padrões definidos pela Norma, sem tampa de vedação, sem selo sanitário e sem laje de proteção. Coordenadas: 488512 / 9624041 (SIRGAS 2000).



Fonte: (Autores, 2014)

Figura 16: Poço tubular construído sem laje de proteção e sem selo sanitário. Coordenadas: 482390 / 9630039 (SIRGAS 2000).



Fonte: (Autores, 2017).

8.2.1.2 Laje de Proteção

A mesma NBR estabelece que todo poço deve ter laje de proteção, feito de concreto e fundido no local de perfuração envolvendo o tubo de revestimento com declividade fluindo do centro para a borda, apresentando espessura mínima de 15 cm e área de no mínimo 1m². Outra exigência é que a coluna de tubo que fica saliente ao poço deve ter no mínimo 50 cm sobre a laje.

Grande parte dos poços encontrados não seguem o que está acima determinado, deixando o poço exposto à contaminação externa, proveniente de águas superficiais poluídas. Porém, um poço localizado no Setor C2 segue perfeitamente o que determina a Norma, como mostra a figura 17, o que não ocorre com os demais.

Foto 17: Poço tubular profundo construído dentro do que estabelece a Norma, selo sanitário, laje de proteção de no mínimo 1m², e tampa de vedação, estruturas que garantem a não contaminação do poço por águas superficiais impuras. Coordenadas: 483986 / 9618535 (SIRGAS 2000).



Fonte: (Autores, 2017).

8.2.1.3 Tampa

Juntamente com o selo sanitário e a laje de proteção, a tampa garante a proteção do poço contra contaminantes externos, seja poeira, materiais inseridos proposital ou despropositadamente, ou águas superficiais contaminadas (ABNT NBR 12.244).

Figura 18: Poço tubular profundo com tampa de vedação em adequação à Norma. Coordenadas: 483986 / 9618535 (SIRGAS 2000).



Fonte: (Autores, 2017).

8.3 Poços Escavados

Os poços escavados foram encontrados principalmente nos quintais das casas, lembranças de um período em que a grande maioria da população não tinha acesso à rede encanada de distribuição de água potável (Foto 19). Ultimamente, esses poços perderam grande parte de suas funções, principalmente nas localidades próximas dos centros urbanos. Um dia serviram para a dessedentação da população, o que ainda ocorre em algumas áreas, mas no geral, quando não estão abandonados, são utilizados apenas para regar plantas, lavar calçadas, ou como reserva de necessidade.

Esses poços foram encontrados, geralmente, sem tampa de vedação, como pode ser visto nas fotos 20 e 21 o que gera o acúmulo dos mais diversos tipos de resíduos que são lançados pela população local, desde podas de árvores, até encanamentos que despejam efluentes domésticos. Vários locais visitados vedaram o poço e passaram a utilizá-lo como fossa séptica, lançando diuturnamente dejetos orgânicos diretamente no lençol freático, colaborando com a deterioração da qualidade ambiental dessas águas (foto 21)

Dos 62 poços escavados mapeados, nos foi fornecida a profundidade de apenas 19, e a partir destes, determinamos a profundidade média desses poços na região, no entorno de 16,02 m, mostrando assim, o caráter raso deste tipo de poço. Como são

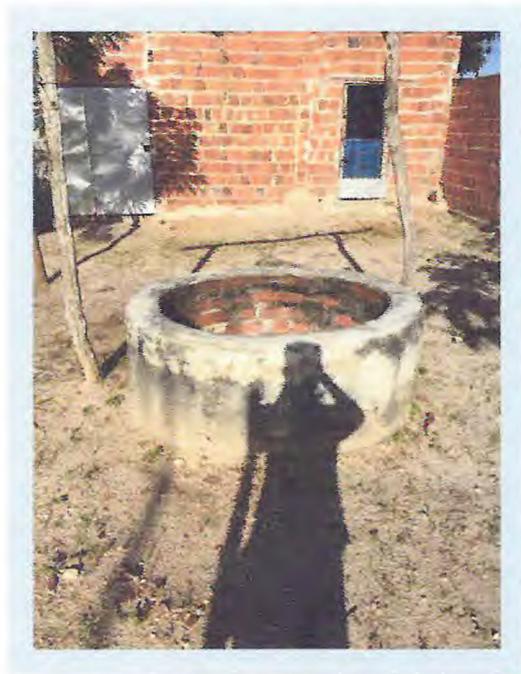
poços mais rasos e de caráter rudimentar, são também de mais baixo custo e de fácil acesso à população mais carente.

Foto 19: Poço escavado tampado no jardim de uma casa. Coordenadas: 484349 / 9621754 (SIRGAS 2000).



Fonte: (Autores, 2017).

Figura 20: Poço escavado com água utilizada para consumo humano, sem tampa de vedação, mas com prolongamento superficial do revestimento. Coordenadas: 484006 / 9618297 (SIRGAS 2000).



Fonte: (Autores, 2017).

Foto 21- Poço escavado com tampa de vedação destruída repleto de palhas de coqueiro, cocos e outros materiais, contribuindo para a degradação da qualidade do aquífero Dunas/Paleodunas na região. Coordenadas: 482622 / 9630085 (SIRGAS 2000).



Fonte: (Autores, 2017)

Esses poços, geralmente, utilizam como revestimento tijolos de barro ou anéis pré-moldados. São escavados por trabalho braçal e utilizam ferramentas rudimentares para isto, como enxada, pá, boca de lobo, picareta e baldes para a retirada do material. São por muitas vezes 100% revestidos, parcialmente revestidos, ou sem revestimento algum, nesse caso susceptíveis ao desmoronamento das paredes do poço. Deve-se atentar para a construção do prolongamento superficial do revestimento, a fim de impedir a entrada de águas superficiais que venham a contaminar o poço (Figura 20).

8.4 Finalidades das Obras de Captação

Boa parte das obras de captação são projetadas para atender à demanda de uma necessidade momentânea, como uma crise hídrica que se acentuou com a escassez chuvosa ou a irrigação de um complexo que mantém o sustento familiar. O fato é que uma obra há 20 anos projetada para atender às necessidades gerais de uma família como, dessedentação humana, lavagem de roupas, rega de jardim e outros, geralmente, hoje já não atende mais às mesmas finalidades.

No município de Paraipaba dividimos a finalidade das obras de captação de água em cinco grupos, uso doméstico, uso geral, irrigação, inativo e outros. Dentre estes, de acordo com o gráfico 3, o uso doméstico se destaca com 39 %, mostrando que o uso original, que anteriormente era de dessedentação humana sofreu alteração ao longo dos anos.

Gráfico 3: Gráfico mostrando as principais formas de uso da água dos poços mapeados durante a etapa de campo.



Fonte: (Autores, 2017).

Hoje, com a ampliação do abastecimento de água encanada e devidamente tratada pela concessionária de água para fins de dessedentação, boa parte das residências e prédios públicos utilizam a água subterrânea para uso doméstico, o que inclui uso da descarga do banheiro; na higiene corporal; na lavagem de roupa; na rega de jardins, lavagem de automóveis, limpeza de casa, atividades de diluição e outras; e na lavagem de utensílios de cozinha.

Quanto ao uso geral, que inclui a utilização para beber, tivemos uma quantidade em torno de 22%, mostrando que localidades mais afastadas do centro urbano ainda utilizam a água subterrânea como fonte para beber. Vale destacar que dentro dessa porcentagem também encontramos os poços tubulares sob tutela da concessionária de água CAGECE-CISAR que garante o abastecimento de água a baixo custo para a população onde o encanamento proveniente da estação de tratamento não chega.

Grande parte do volume explotado, principalmente utilizando poços tubulares, é utilizado para a irrigação de plantações de coqueiros, a principal cultura do município. Assim, 15% dos poços mapeados são para irrigação da cultura de coco, concentrando-se principalmente nos setores B, C1, C2 e D2.

8.5. Classificação dos Poços Quanto à Profundidade

Para grande parte dos poços não foi possível obter a profundidade, uma vez que os proprietários não sabiam informar esse dado. Dos 89 poços mapeados, apenas 26 nos foi informada a profundidade, sendo que destes, 7 são poços tubulares e 19 são escavados. Dentre os tubulares, a profundidade média é de 38,85, um tanto diferente do que afirma CPRM (2000), que define a profundidade média dos poços tubulares da região em 56,8 metros.

Já no caso dos poços escavados, dos 62 poços mapeados, foi obtida a profundidade de apenas 19, dando um valor de 16,06 m de média, sendo, portanto, poços rasos de acordo com a classificação utilizada, onde poços com profundidade menor que 20 metros são ditos rasos, de acordo com Cavalcante *et al.* (2007). São dados um tanto quanto vagos, uma vez que correspondem a menos de 50% dos poços mapeados.

8.6 Instalação

A instalação compreende a etapa final de construção de um poço, é nesta fase que é instalada a unidade de bombeamento, que pode ser do tipo injetora, submersa, centrífuga, hidráulica, cata-vento e compressor. Além disso, esta fase também engloba a construção da estação reservatória, que pode ser de amianto, fibra de vidro, metal, concreto e alvenaria, além do sistema de distribuição de água, como os encanamentos que ligam às casas, chafarizes e adutoras (CPRM, 1998).

Quanto à unidade de bombeamento, em Paraipaba foi encontrado bombas do tipo centrífuga, injetora, hidráulica e submersa (Gráfico 4). Em cerca de 70% dos poços foram encontradas bombas submersas.

Gráfico 4: Principais tipos de bombas encontradas nos poços mapeados na etapa de campo.

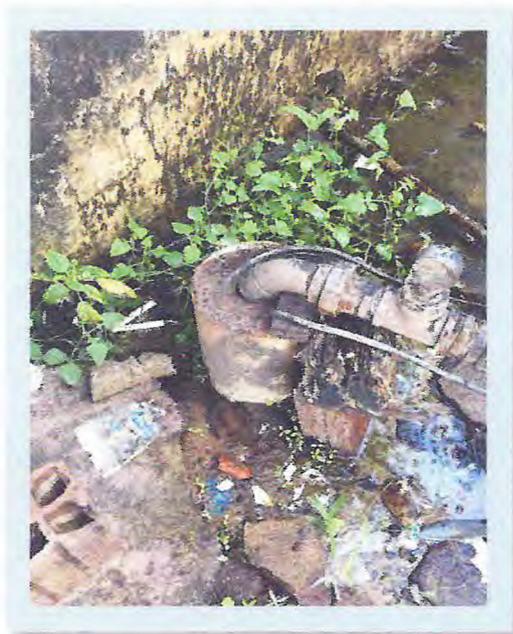


Fonte: (Autores, 2017).

8.7 Manutenção dos Poços

É perceptível, pelo trabalho de campo, que grande parte dos poços encontrados não recebem manutenção periódica, e os poços públicos não escapam dessa estatística, muitos deles estão com tampas enferrujadas, tubos quebrados, tubulação com crosta de ferro e bombas em péssimo estado (Figura 22).

Figura 22: Poço tubular público com tampa de vedação corroída pela ferrugem e bomba com vazamento deixando o local com excesso de umidade. Coordenadas: 487131 / 9623579 (SIRGAS 2000).



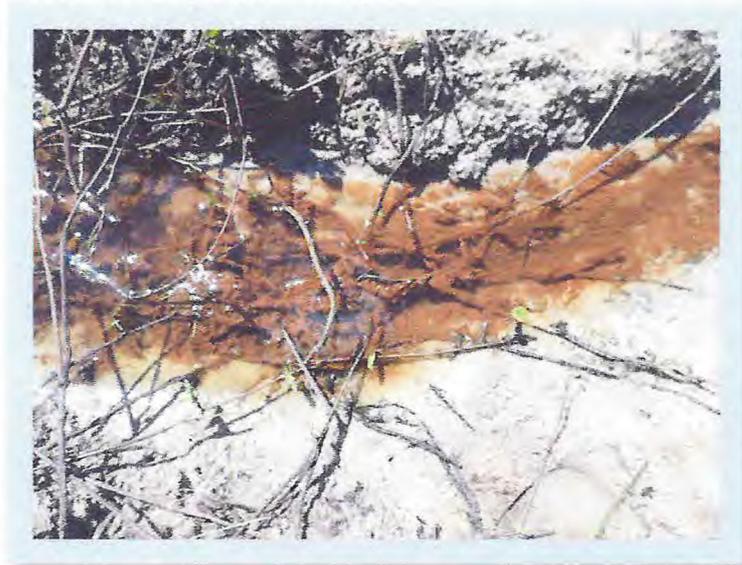
Fonte: (Autores, 2017).

Os principais problemas que atingem os poços tubulares de Paraipaba, e, portanto, necessitam de manutenção periódica são: obstrução dos filtros, defeito no equipamento e problemas de qualidade da água. A obstrução dos filtros pode ser perceptível pela diminuição da vazão específica do poço, uma vez que os orifícios de entrada da água estão obstruídos. É causado principalmente pelo acúmulo de argila, silte ou areia, impedindo a passagem da água. Outro fator responsável pode ser os subprodutos da corrosão que se acumulam nas seções filtrantes.

Quanto aos defeitos no equipamento, geralmente estão associados a problemas na unidade de bombeamento, gerando aquecimento fora do normal e elevando o consumo de energia do proprietário, como pôde ser registrado em algumas casas visitadas. Além do aumento da conta de energia, a diminuição da vazão associada ao não rebaixamento do nível da água é um forte indício de que a bomba não está funcionando eficientemente.

Já sobre as mudanças na qualidade da água, estão associadas às mudanças nas condições físico-químicas e bacteriológicas. As mudanças físico-químicas geram corrosão e incrustação que afetam os tubos, criando uma crosta aderente, corroem a bomba e outros equipamentos receptores da água. Um fenômeno bastante comum nos poços da região é a incrustação de capa rosa, formada pela deposição de ferro proveniente de níveis da Formação Barreiras (Figura 23)

Figura 23: Concentração de ferro, capa rosa, em água que escorre de poço escavado raso. Coordenadas: 481490 / 9629855 (SIRGAS 2000).



Fonte: (Autores, 2017).

8.8 Medidas do Nível Estático

Os dados de nível estático foram obtido através de um medidor de nível com sensor eletrônico sonoro com fita metrada de 200 metros. É de suma importância uma base de dados que contenha esta variável, pois através dela é possível realizar o diagnóstico de acompanhamento dos poços de determinada região em função da quantidade de água explorada e da estação seca ou chuvosa.

No monitoramento, é inserido na boca do poço a ponta do medidor de nível que ao interceptar o nível d'água emite um sinal sonoro. Com isso, utilizando a fita métrica acoplada é possível determinar o nível d'água desde a boca do poço. Para uma maior precisão no tratamento dos dados, é descontado a altura do revestimento que se prolonga para além do nível da superfície topográfica (boca do poço).

Em função da má distribuição dos poços, selecionou-se uma zona de aproximadamente 20,0 km² dentro da área de pesquisa (Tabela 6) que apresenta satisfatória concentração de poços, sendo possível a interpolação dos dados de nível

estático medidos em campo, de forma mais precisa e acurada, além de condutividade e pH.

Tabela 6: Vértices da área de interpolação de dados para condutividade, nível estático e pH.

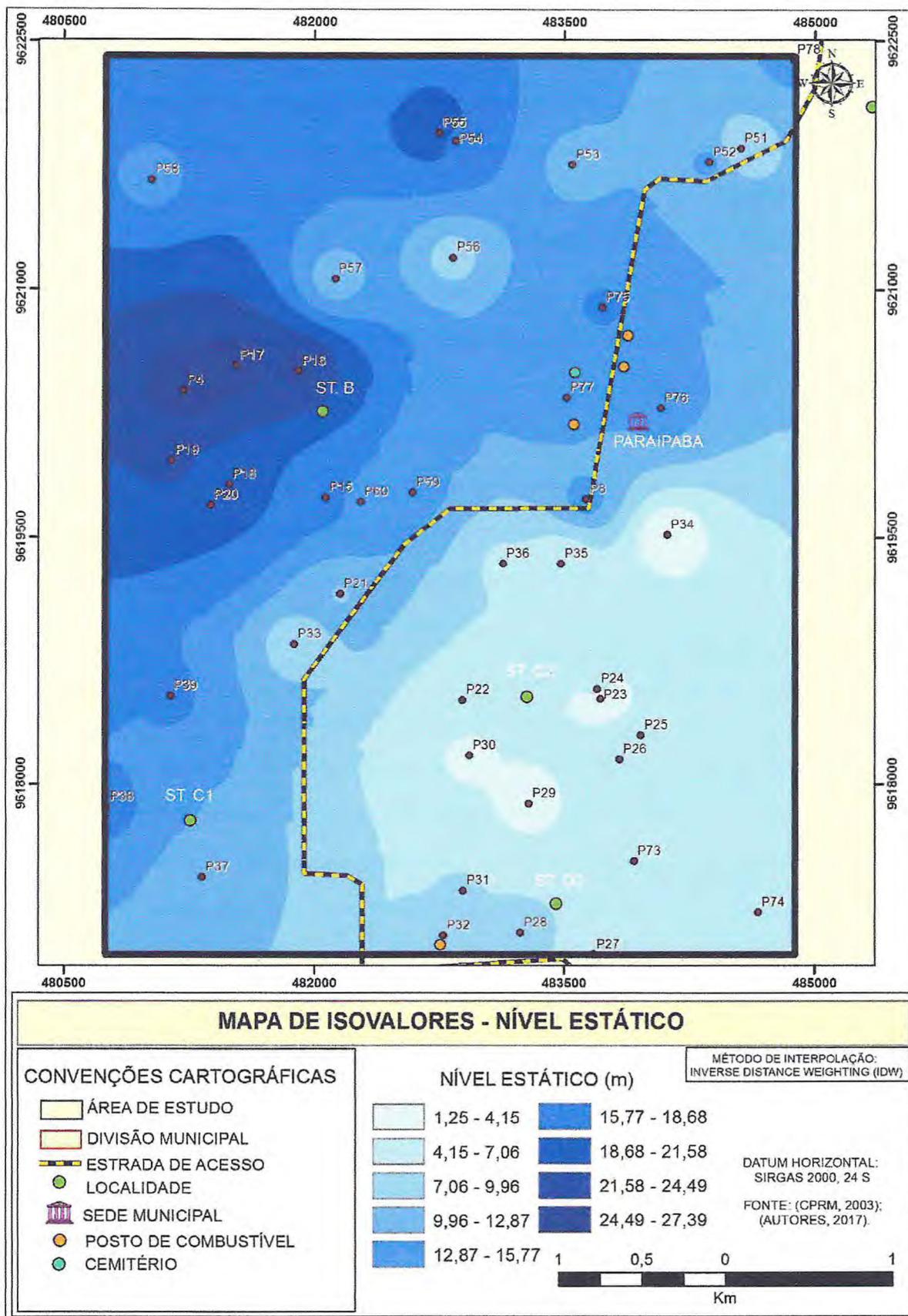
| Vértice | Latitude (N) | Longitude (E) |
|---------|--------------|---------------|
| 1 | 480.747 | 9.622.391 |
| 2 | 484.878 | 9.622.391 |
| 3 | 480.747 | 9.616.959 |
| 4 | 484.878 | 9.616.959 |

O nível estático na região apresentou profundidade mínima de 1,3 m e máxima de 27,4 m. A profundidade média do nível estático é de 12 metros, mostrando que o aquífero é raso na região monitorada e, portanto, mais susceptível à contaminação superficial. Identifica-se ainda que a maioria dos poços encontrados na área são do tipo escavados, não possuindo selo sanitário, tampa ou laje de proteção para resguardar os poços da contaminação superficial.

O mapa 4 mostra a variação do nível estático dentro da área de estudo. É perceptível que a profundidade do nível estático varia de mais profundo a raso seguindo de Noroeste para Sudeste, de acordo com a dispersão dos dados. A região Sudeste do mapa, onde apresenta os mais baixos valores para o nível estático, coincide com parte da planície de inundação do Rio Curu, dominado por depósitos quaternários aluvionares, sedimentos arenoargilosos recentes, alternando-se em camadas de granulometria muito fina que são frequentemente intercalados com níveis argilosos e orgânicos, uma boa alternativa para a captação de água, visto a superficialidade do nível estático do aquífero nesses depósitos.

As regiões que apresentam as maiores profundidades do nível estático estão localizadas dentro do Domínio Barreiras, típico por apresentar alternância de grau de permeabilidade entre os níveis que o constituem. Um exemplo disto são os poços P4, P16 e P17 que apresentaram os maiores valores para a variável em questão. Destes, o poço P4 é tubular, com profundidade de 50 metros e nível estático de 27,4m. Os poços P16 e P17 são escavados, apresentando níveis estáticos de 25,4 e 26,2 m respectivamente.

Mapa 4- Distribuição de isovalores do nível estático de água coletada em poços na região de Paraipaba-CE.

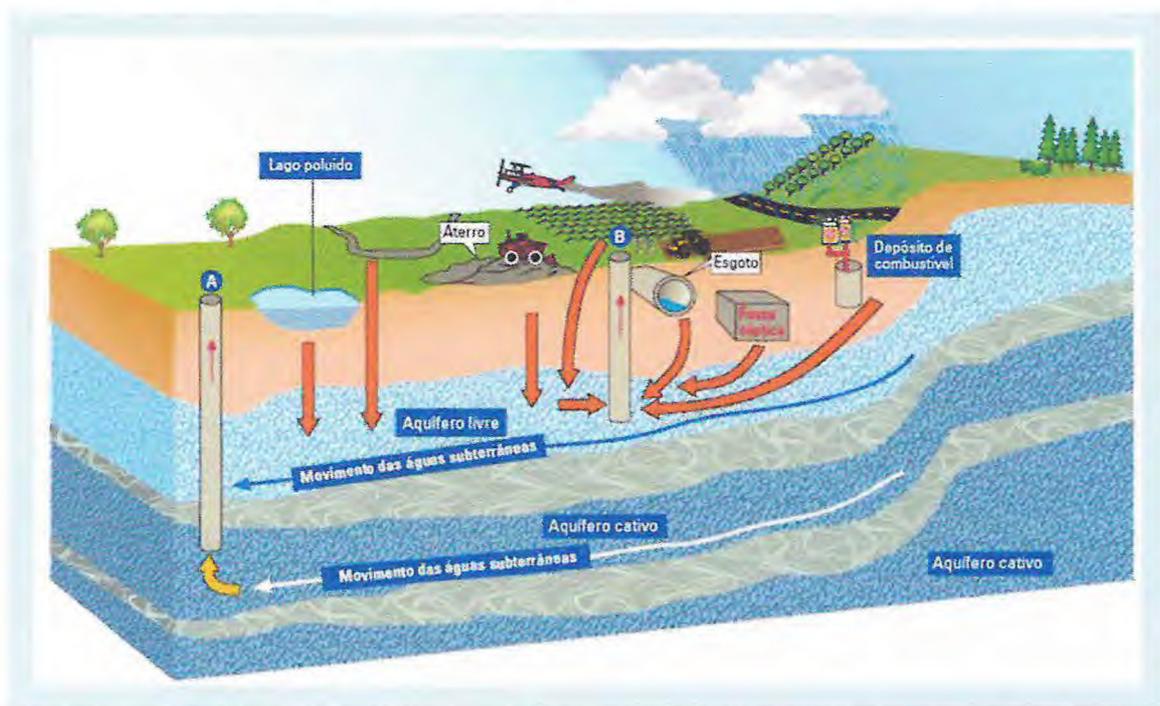


CAPÍTULO 9 - FONTES POTENCIAIS DE POLUIÇÃO

A qualidade da água subterrânea de uma região está intimamente ligada ao seu desenvolvimento econômico, influenciada pelas principais atividades desenvolvidas no local, além do grau de cobertura da rede de saneamento básico. Em comparação com a contaminação de águas superficiais, a contaminação de águas subterrâneas, devido a sua difícil localização, além do grande volume, tem na sua recuperação uma tarefa árdua e onerosa (PACHECO, 1986).

De uma forma geral, as fontes de contaminação de águas subterrâneas estão associadas à falta ou a ineficiência de um sistema de esgotamento sanitário, a despejos domésticos e industriais, à contaminação por chorume proveniente dos lixões, à implantação inadequada de postos de gasolina, à excessiva irrigação por fertilizantes, uso de pesticidas, ao necrochorume, dentre outras, como mostra a figura 24 (HYPÓLITO E EZAKI, 2006; HILDEBRANDT et al., 2008; ALMEIDA et al., 2006).

Figura 24: Ilustração com as diversas fontes potenciais de poluição de águas subterrâneas.



Fonte: <http://www.klimanaturali.org/2015/05/protecao-das-aguas-subterraneas.html>

Motivados por estas fontes, os principais agentes de contaminação de águas subterrâneas se destacam como:

- Proliferação de matéria orgânica (MO), ensejando no consumo de oxigênio a fim de degradar a MO, causando a mortandade de peixes e gerando intenso mau odor.
- Material em suspensão, gerando problemas de caráter estético, além de liberar gradualmente para a coluna d'água contaminantes adsorvidos à superfície das partículas que o compõem.
- Os nutrientes, principalmente nitrogênio fósforo e potássio, propiciando a proliferação da flora aquática, com sua posterior decomposição acarretando desequilíbrio no balanço de oxigênio.
- Os microrganismos patogênicos, acarretando a disseminação de enfermidades ligadas à água.
- Os metais pesados, produzindo toxicidade que pode chegar ao ser humano com a posterior exploração desta água.

9.1 Esgotos Sanitários

Na maioria dos aglomerados urbanos, de pequeno a grande porte, os esgotos sanitários surgem como a principal causa da poluição de rios, bem como das praias quando se trata de zonas costeiras. Além disso, há grande preocupação, pois em algumas áreas o nível do lençol freático está bastante próximo à superfície e, portanto, susceptível à infiltração desses contaminantes domésticos, acarretando na contaminação da água principalmente por aqueles que utilizam poços freáticos.

Por não haver saneamento básico na totalidade das regiões urbanas do Brasil grande parte dos efluentes domésticos gerados, ricos em materiais orgânicos, nitrogênio, fósforo, sólidos suspensos e organismos patogênicos são depositados em fossas sépticas e, conseqüentemente, pelo processo de infiltração chegam às águas subterrâneas, causando doenças naqueles que a utilizam, tal como a síndrome do bebê azul, causada pelo excesso de íon nitrato em água potável. (BIGUELINI & GUMY, 2012).

Durante os trabalhos de campo, pode ser visto que parte dos poços construídos não cumprem a distância mínima de 15 metros de fossas sépticas para poços de captação de água, como estabelece a ABNT NBR 7229, distância mínima contada a partir da parede externa da construção séptica. Identificou-se tal fato nos poços P37, P38, P39, P56, P16, e P55, todos eles estavam localizados a menos de 15 metros de distância da fossa séptica que recebe os dejetos domésticos das casas as quais pertencem. Para os demais poços escavados, embora sua distância seja maior que os 15 metros estabelecidos, estes estão localizados em distâncias que variam de 15 a 30 metros. Desta forma, se consideramos as

características de elevadas porosidade e permeabilidade do aquífero, não se pode isentar a influência dos efluentes e dejetos despejados, pois a vulnerabilidade é inerente.

9.2 Postos de combustível

Com a ascensão econômica brasileira nos últimos anos, o país viu o crescimento do número de postos de gasolina se acentuando. A área de estudo, no Município de Paraipaba, conta com quatro postos de gasolina, todos bastante próximos uns dos outros. O combustível vendido geralmente é armazenado em tanques de armazenamento subterrâneo (TAS) que construídos de chapa de aço, e de acordo com Oliveira (1992) esses tanques sofrem corrosão e vazam em um período médio de 20 anos.

O principal contaminante deste tipo de atividade são os hidrocarbonetos, que mediante vazamento originam intensas plumas de contaminação que se espalham pelo lençol freático e podem ser dispersos cobrindo uma imensa área causando inúmeros problemas ambientais (YAMADA, 2004).

Figura 25: Posto de combustível Iolanda, localizado na sede do Município de Paraipaba, possível fonte de contaminação por hidrocarbonetos. Coordenadas: 483950 / 9620946 (SIRGAS 2000)



Fonte: Autores, 2017.

Finotti *et al.* (2001) considera as contaminações de águas subterrâneas por hidrocarbonetos um dos acidentes ambientais mais perigosos por três razões:

- A contaminação subterrânea é bastante difícil de ser detectada;

- Postos de abastecimento de combustível estão presentes no dia a dia de todas as pequenas, médias e grandes cidades, o que o torna perigo constante, e
- Embora o Brasil seja um país com imensas reservas de águas superficiais, a poluição tem devastado esses corpos hídricos, elevando a necessidade da população em relação ao uso de águas subterrâneas.

Um ponto preocupante é a adição de etanol ao combustível como gasolina e diesel, uma vez que a adição de etanol afeta o comportamento dos contaminantes, aumentando a solubilidade dos hidrocarbonetos em água e, portanto, elevando a mobilidade do BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno), além de retardar a biodegradação e a migração dos contaminantes. (KULKAMP, 2003)

Figura 26: Posto de combustível Petrobrás, o mais novo do município, possível fonte de contaminação por hidrocarbonetos em águas subterrâneas da região. Coordenadas: 483994 / 9621157.



Fonte: (Autores, 2017).

A resolução CONAMA 273/2000 estabelece para o processo de licença prévia e de instalação de postos de combustível a caracterização hidrogeológica da área de interesse direto, com a delimitação da direção do fluxo das águas subterrâneas, além da identificação e monitoramento de pontos de captação de água, públicos ou privados, em um raio de 100 metros do local de instalação do posto.

De acordo com os trabalhos de campo, não foi identificado nenhum poço, seja escavado ou tubular, dentro desta zona de 100 metros delimitada pela resolução supracitada. A resolução 08 de 15 de abril de 2004 do COEMA, por sua vez, enquadra os postos de combustível em grau médio de potencial poluidor.

9.3 Cemitérios

A contaminação de águas subterrâneas por cemitérios está ligada à alteração da qualidade química da água, à presença de microrganismos existentes nos corpos em decomposição e o necrochorume, liberado no período coliquativo, que corresponde ao período em que há a dissolução biológica das partes moles dos cadáveres, pela ação conjunta de colônias de microrganismos decompositores, gerando intenso odor e líquidos fétidos (PACHECO, 2000)

De acordo com Matos (2001), depois de morto o corpo humano passa por intenso processo de transformação. Torna-se um complexo ecossistema repleto de bactérias, artrópodes, microrganismos patogênicos e decompositores de matéria orgânica, representando um risco para a qualidade ambiental e para a saúde humana.

Figura 27: Cemitério do Distrito de Lagoinha, potencial fonte de contaminação de águas subterrâneas da região por necrochorume. Coordenadas: 485660 / 9629441 (SIRGAS 2000).



Fonte: (Autores, 2017).

As águas contaminadas podem ser consumidas pela população que mora no entorno destes cemitérios, quando estes são instalados sem levar em conta as características geológicas e hidrogeológicas do local. De forma geral, os aquíferos mais profundos estão

imunes a este tipo de contaminação quando comparados com as reservas de água mais superficiais, porém, fatores como deficiências técnicas na locação de poços, ou se estes estiverem locados em aquíferos vulneráveis podem lançar essa imunidade por terra.

O necrochorume representa o principal contaminante fornecido pelos cemitérios. Trata-se de um líquido viscoso, sabor azedo, cheiro acre e fétido, de cor acizentada a acastanhada, polimerizável, constituído de água, rico em sais minerais e substâncias orgânicas degradáveis, além de vírus e bactérias (PACHECO, 2000). A fonte de poluição é tida como pontual, uma vez que os corpos são dispostos separadamente em sepulturas, produzindo ao longo de 2,5 anos pequenas quantidades de necrochorume (CASTRO, 2008). A área de estudo apresenta três cemitérios, nas seguintes localidades: Lagoinha (Figura 27); Distrito sede (Figura 28) e Poço Doce.

Por ser uma perigosa fonte potencial de contaminação ambiental, sua implantação está sujeita a licenciamento ambiental, conforme estabelecido na Resolução CONAMA n° 335 de 28 de maio de 2003 e suas respectivas alterações (Resolução CONAMA n° 368/06 e Resolução CONAMA n° 402).

Figura 28: Cemitério localizado no Distrito sede do município de Paraipaba, funcionando como potencial fonte de poluição por necrochorume em águas subterrâneas da região. Coordenadas: 483886 / 9620761 (SIRGAS 2000).



Fonte: (Autores, 2017).

Definem principalmente que durante o processo de aquisição da licença prévia e de instalação deva ser delimitado o nível máximo do aquífero freático ao final da estação de maior precipitação.

CAPÍTULO 10 - QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

10.1 Classificações da Potabilidade (Consumo Humano).

A qualidade da água, ou a sua potabilidade, quando esta está adequada ao consumo humano, está intimamente ligada a duas características intrínsecas desta substância complexa. A capacidade de dissolução e transporte controlam grande parte dos fatores que formam os parâmetros de monitoramento de qualidade da água. Estes processos garantem que todas as reações que ocorrem na massa líquida ou dentro da bacia de drenagem sejam determinantes na alteração das características físico-químicas e bacteriológicas da água (BRASIL, 2006).

No Brasil, a legislação que rege esta qualidade é a Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Assim, os padrões de potabilidade são valores máximos permitidos de variáveis físicas (cor, turbidez, odor, sabor, temperatura, CE, STD e etc.), químicas (pH, Alcalinidade, Acidez, dureza e etc.) e biológicas (presença de microrganismos vivos).

No monitoramento realizado em Paraipaba, levou-se em conta apenas, as variáveis físico-químicas como, temperatura, CE, STD, e pH a fim de termos uma noção geral da qualidade do abastecimento da região no que se refere à demanda subterrânea, uma vez que uma parte dos poços monitorados são utilizados para consumo humano, além de outras finalidades como dessedentação animal, irrigação e outros.

10.1.1 pH

O potencial hidrogeniônico (pH) representa a intensidade das condições ácidas ou alcalinas do meio líquido por meio da medição da presença de íons hidrogênio (H⁺) (BRASIL, 2006). O pH varia em uma escala antilogarítmica de 0 a 14. Quando a escala atinge o níveis abaixo de 7 temos o caráter ácido, e de 7 a 14 se apresentam as substâncias básicas ou alcalinas.

A variação do pH nas substâncias pode ocorrer de duas formas, ou por questões naturais como, dissolução de rochas e fotossíntese, ou por questões antrópicas como despejos de esgotos industriais e domésticos. Em poços tubulares de abastecimento público ou de uso doméstico, a variação de pH pode trazer prejuízos para os mantenedores

dos poços. Águas subterrâneas que apresentam pH abaixo de 7 tendem a promover a corrosão de canos e estruturas de apoio como bomba, filtros e cordas.

Já águas que apresentam pH acima de 7 e, portanto, alcalinas, promovem o fenômeno da incrustação que consiste na precipitação e deposição, principalmente de carbonato de cálcio, silicato de alumínio, sulfato de ferro e outros minerais contidos no aquífero. Um grande exemplo disto é a capa rosa, fruto da precipitação de compostos de ferro nas tubulações dos poços e muitas vezes na própria bomba, impedindo o bombeamento eficiente de água.

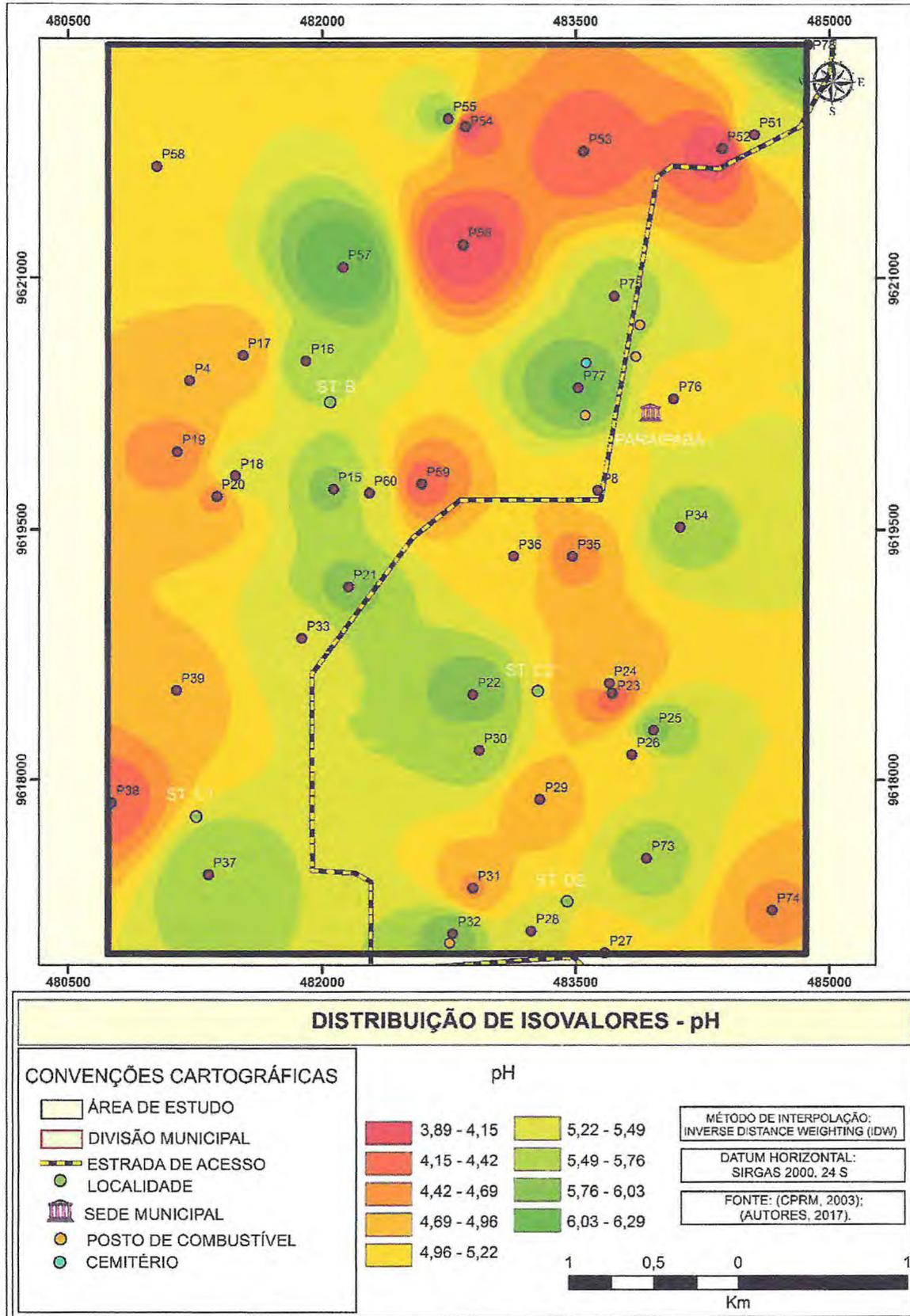
Na área monitorada, como mostra o mapa 5, identificou-se que todos os poços cadastrados apresentam pH abaixo de 7, daí podemos inferir o comportamento ácido das águas da região, predominando o fenômeno de corrosão, como visto anteriormente. Dos 43 poços cadastrados na área, a média de pH foi de 5,15. Os poços que apresentaram os valores mais altos para pH foram os poços P57 e P78, ambos com 6,3. Esses dois poços estão localizados mais afastados do perímetro urbano da cidade. Já o poço que apresentou o menor valor de pH foi o poço P52. Trata-se de um poço escavado, ativo, de uso doméstico, localizado na saída do perímetro urbano da cidade de Paraipaba.

A média de pH 5,15, obtida durante o monitoramento deixa a região à margem daquilo que estabelece a Portaria n°. 2914 de 2011 do Ministério da saúde, que define que águas de sistema de distribuição devem ter pH entre 6 e 9,5, para atender ao padrão de potabilidade da água. Dos 43 poços cadastrados apenas três se qualificam dentro do padrão de potabilidade determinado pela Portaria, um índice de aproximadamente 7% do total de poços.

Pouco provável que o motivo dessa acidez seja por fontes antrópicas, despejos industriais, uma vez que não há nenhuma indústria relevante no raio que circunda a região. Uma explicação para o baixo pH da região pode ser a presença de ácido húmico em excesso, fruto da decomposição de vegetais.

A área pode ser mais afetada devido à pouca profundidade do nível da água, deixando-as mais vulneráveis à ação do ácido que percola pelos espaços intergranulares, ou mesmo condicionado às características geológicas da região.

Mapa 5 – Distribuição de isovalores de pH coletados da água em poços da região de Paraipaba-CE.



10.1.2 Alcalinidade

De forma geral, a alcalinidade é definida pela química como a quantidade de ácido necessário para neutralizar a alcalinidade. A alcalinidade é dada em função da concentração de carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos e, por muitas vezes, fosfatos, boratos e silicatos. Quando influenciada pelo bicarbonato de cálcio e magnésio, a alcalinidade será igual à dureza, a dureza por sua vez sempre será determinada pela concentração de sais de cálcio e magnésio (BRASIL, 2006).

A divisão das zonas de alcalinidade baseada no pH está diretamente ligada às substâncias que proporcionam esse efeito. A alcalinidade gerada entre 4,4 e 8,3 é gerada exclusivamente por bicarbonatos. Quanto à faixa entre 8,3 a 9,4, neste caso teremos além do bicarbonato os carbonatos como influenciadores. Já acima de 9,4, o efeito é de responsabilidade dos hidratos e carbonatos normais. Não se fala em alcalinidade abaixo e 4,4 de pH (BLUMBERG et al., 1978)

De acordo com os dados de monitoramento, 85% dos poços cadastrados estão inseridos na faixa de 4,4 – 8,3 de alcalinidade e, portanto, tem alcalinidade potencialmente gerada por bicarbonatos. Os demais poços estão abaixo de 4,4, não apresentando alcalinidade.

10.3.4 Condutividade Elétrica e Sólidos Totais Dissolvidos

A condutividade elétrica é a capacidade que a água possui de transmitir uma corrente elétrica, isso em função das substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions (BRASIL, 2006). Assim, quanto maior a quantidade de íons dissolvidos maior a capacidade de conduzir uma corrente elétrica. Por este motivo há uma relação direta entre CE e STD:

$$STD = 0,640C \text{ ou } C = 1,5625STD \text{ (OLIVEIRA et al. 1999)}$$

A Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde estabelece um limite máximo para STD de 1000 mg/L, o que implica em um limite máximo permitido de CE de aproximadamente 1500 $\mu\text{S/cm}$, para atender ao padrão de potabilidade para consumo humano. Conforme os poços monitorados, a CE das águas na área selecionada varia de 205 $\mu\text{S/cm}$ no P58 a 1136 $\mu\text{S/cm}$ no P35. Os poços que apresentaram águas com os maiores valores para CE foram P35 (1136 $\mu\text{S/cm}$), P37 (1057 $\mu\text{S/cm}$), P38 (1119 $\mu\text{S/cm}$) e P56 (1021 $\mu\text{S/cm}$). Todos estes poços apresentam uma dinâmica urbana de esgoto

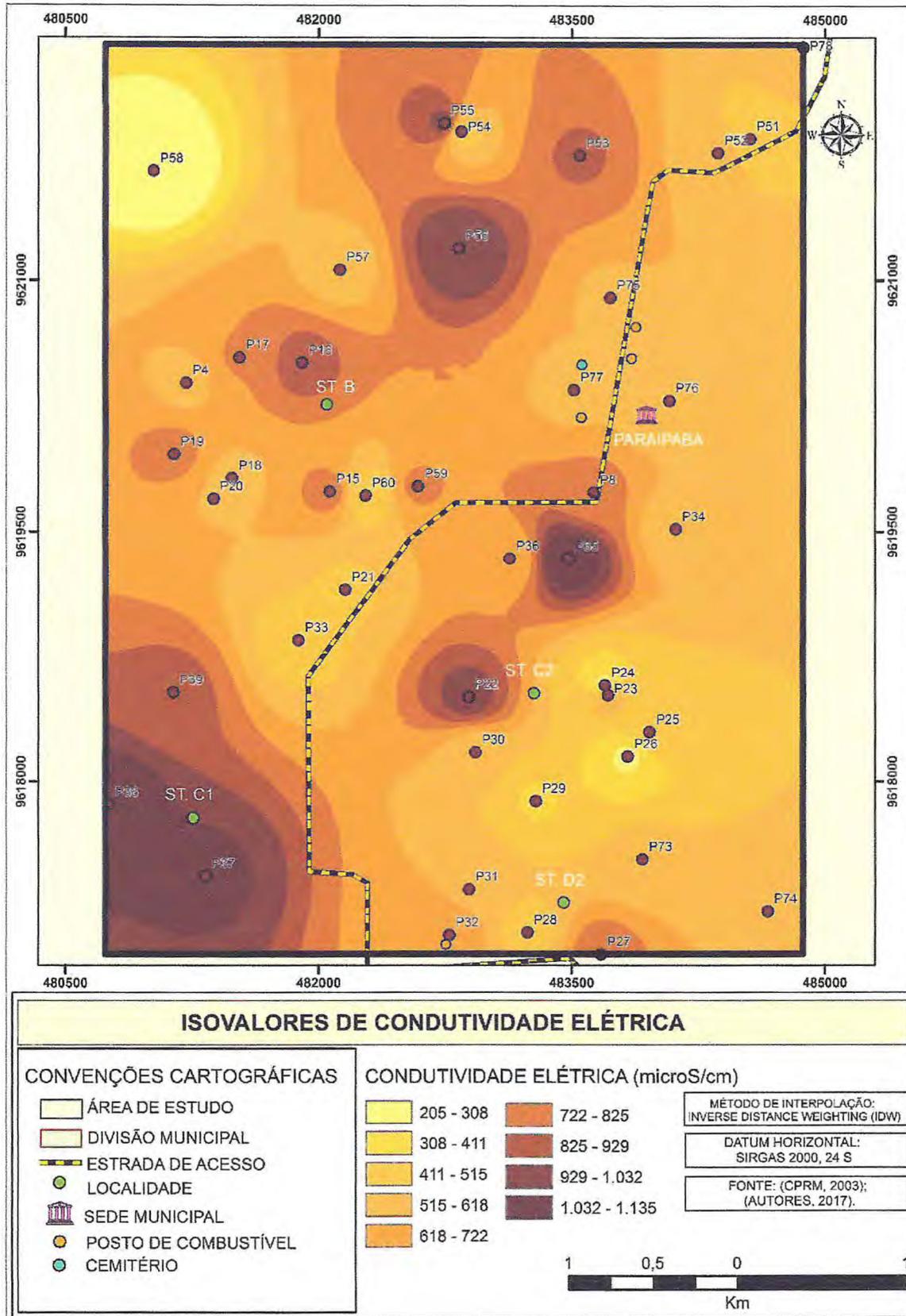
associado, tanto o P37 P38 e o P56 estão inseridos em área urbana e apresentaram fossa séptica a menos de 15 metros de distância do poço, indicando possível contaminação por esgoto doméstico.

Quanto ao P35, este está inserido em uma pocilga (curral de porcos), lugar sujo, imundo e totalmente desorganizado (Figura 14). O esgoto de lavagem dos locais onde ficam os porcos com dejetos e restos de comida escorriam pelas vielas de acesso ao local. O poço escavado é utilizado para lavar o local e dessedentar os animais.

As águas que apresentaram valor de CE mais baixos foram mapeadas nos poços P24 (264 $\mu\text{S/cm}$), P26 (296 $\mu\text{S/cm}$) e P58 (205 $\mu\text{S/cm}$), desses, P24 e P26 estão nas proximidades do Domínio Aluvionar, caracterizado pela planície de inundação do rio Curu, que funciona como um solvente na região, forçando para baixo os níveis de STD e, conseqüentemente, da condutividade elétrica.

Como mencionado anteriormente, o STD está intimamente correlacionado à CE. A média geral de STD na área foi de 414,39 mg/L, variando de 131,20 mg/L no P38 a 727,04 mg/L no P35. A água subterrânea avaliada pode ser considerada como doce por ter valores de STD < 1.000 mg/L, de acordo com a classificação de MCNEELY *et. al.* (1979).

Mapa 6: Isovalores de condutividade elétrica da água coletada em poços na região de Paraipaba-CE.



CAPÍTULO 11 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A utilização de água subterrânea no Brasil tem se tornado uma unanimidade nas últimas décadas. Paraipaba mostrou que segue a mesma linha, principalmente porque está localizada em uma região que sofre constantemente com as intempéries do clima. A água abundante no período chuvoso de janeiro a maio torna-se mais escassa no restante do ano. Sem falar nos longos períodos de estiagem que assolam constantemente a área mapeada.

O sistema de abastecimento público tem feito com que poços, antes utilizados frequentemente, principalmente no centro da cidade, hoje estejam desativados ou entupidos por dejetos diversos. Dos 62 poços escavados, 13 estão inativos, outrora serviram para o abastecimento humano, hoje estão inutilizados devido ao avanço do sistema tratado de abastecimento o que tem reduzido drasticamente o adoecimento da população por doenças que tenham a água como vetor.

As áreas mais afastadas do centro urbano ainda utilizam poços e escavados e tubulares rasos para o consumo humano, parte destes não seguem as normas determinadas pela ABNT, os poços escavados não possuem tampa e encontram-se a menos de 15 metros de fossas sépticas, contrariando a norma. A fim de evitar doenças e outros efeitos devido à ingestão destas águas contaminadas é preciso levar informação para as populações mais afastadas, uma vez que boa parte da população é de baixa renda e escolaridade e não reconhece os perigos trazidos por estas águas.

Dos poços tubulares, cinco são utilizados para o abastecimento público, sendo que alguns encontram-se em péssima situação de conservação, reflexo do descaso do poder público na manutenção desses poços. Os poços tubulares profundos apresentam as melhores condições de conservação, uma vez que são utilizados para irrigação e hotelaria, ou seja, boa parte do ganho agregado à atividade é em função da boa qualidade da água explorada.

Quanto à demanda d'água, os domínios Dunas/Paleodunas e Aluvionar são os que permitem a captação da água a mais baixo custo, devido à proximidade do nível d'água junto à superfície, o que requer inexpressiva tecnologia de perfuração e baixos custos de perfuração, embora tenha-se mapeado apenas 24 desses poços na área de estudo. Boa parte da população que mora sobre esses domínios utiliza essa água para consumo humano e uso doméstico. A água não passa por nenhum tratamento o que requer estudos mais detalhados de qualidade a fim de determinar com precisão a qualidade da água que vem sendo ingerida por esta população.

O Barreiras é a área que engloba a maior parte dos poços mapeados, sessenta e cinco no total, engloba também boa parte da área de estudo e de acordo com as observações sua demanda d'água varia com os níveis perfurados.

Caso a prefeitura ou outros órgãos responsáveis não façam um trabalho de conscientização com as pessoas locais, principalmente das localidades mais distantes, casos de doenças que tenham a água como vetor podem aumentar no futuro. Várias casas com poços escavados do tipo cacimbas e cacimbões têm fossas sépticas a menos de 15 metros de distância como restringe a Norma, e estão vulneráveis também aos esgotos que correm sobre a superfície, já que não possuem outra estrutura que funcionem como obstáculo para efluentes domésticos.

Os postos de gasolina também agem como uma ameaça à qualidade das águas subterrâneas, foram identificados quatro postos dentro da área mapeada, embora não haja poços dentro do perímetro de 100 metros estabelecidos pela Norma, um monitoramento mais detalhado e a longo prazo deve ser adotado, uma vez que o tempo de vida útil de um tanque de armazenamento de combustível é de 20 anos. O monitoramento deve seguir o que estabelece a legislação vigente, comparando a qualidade da água à montante e à jusante do posto.

Além destes, os cemitérios também devem ser olhados com bastante cuidado devido ao alto poder de contaminação do necrochorume, formado pela decomposição das partes moles dos seres vivos, no caso em questão. Três cemitérios foram identificados na área, e não há nenhuma notícia de monitoramento da qualidade da água na área de entorno deles. A legislação vigente estabelece que cemitérios devam ser licenciados, não há comprovação de licença dos três cemitérios mapeados. Um trabalho específico de qualidade da água subterrânea no entorno desses cemitérios deve ser realizado, a fim de quantificar a contribuição destes estabelecimentos para a deterioração da potabilidade das águas subterrâneas na região.

Quanto às características físico-químicas medidas em campo como pH, CE, temperatura e STD, estes por si só não são capazes de atestar com precisão a potabilidade da água. Estudos com as demais variáveis contidas na Portaria n°2914 de 2011 faz-se necessário, a fim de embasar mais fortemente tal afirmativa.

Percebe-se pelos resultados, que o rio Curu exerce grande influência nas variáveis medidas que compõem o padrão de potabilidade da água. O rio funciona como diluidor natural que promove a diminuição de valores de condutividade elétrica e de sólidos totais nas suas proximidades, enquanto que nas áreas mais distantes e próximas do centro urbano atinge picos acima de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, como nos poços P35, P37, P38 e

P56. É recomendado que se façam novas medidas em poços no entorno daqueles que atingiram picos de CE a fim de determinar a principal causa dessa anomalia, como a anomalia possivelmente causada por uma pocilga instalada às margens do centro urbano, no poço P35.

Os resultados obtidos de STD nos permitem fazer considerações similares àquelas apresentadas sobre CE uma vez que são variáveis associadas e dependentes.

Toda a área selecionada apresentou baixos valores de pH, indicando alto nível de acidez nas águas da região, a causa possa ser excesso de ácido húmico produzido pela decomposição das plantas que atingem rapidamente o lençol freático devido à baixa profundidade deste em grande parte da área selecionada. A variação de temperatura não foi significativa, manteve-se dentro dos padrões normais esperados para a região neste período do ano.

De uma forma geral, encontra-se água em Paraipaba em níveis bastante rasos, a média de NA para a região selecionada é de 12 metros, com picos máximos de 27 metros como no P4 e P17. Por apresentar raso NA é preciso um monitoramento constante quanto a contaminações das mais diversas fontes, principalmente as abordadas neste trabalho.

Paraipaba ainda está longe de ter suas reservas de águas subterrâneas esgotadas ou comprometidas, mas, além disso, o monitoramento constante destas, associado à qualidade construtiva das obras de captação e o acompanhamento das fontes potenciais de poluição no que se refere à qualidade da água e a manutenção da qualidade ambiental garantirão para a população futura da cidade a certeza de água de fácil acesso e excelente qualidade.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1992. ABNT NBR 12244 - Construção de poço para captação de água subterrânea.

ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1992) ABNT NBR 12212 - Projeto de poço para captação de água subterrânea.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos: NBR 7.229. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.

ALMEIDA, F. R. de, ESPÍNDULA, J. C., VASCONCELOS, U., CALAZANS, G. M. T. Avaliação da ocorrência de contaminação microbiológica no aquífero freático localizado sob o cemitério da várzea em Recife-PE. *Águas Subterrâneas*, v. 20, n 2, p 19-26, 2006.

BIGUELINI, C. P. & GUMY, M. P., 2012. Saúde Ambiental: Índices de Nitrato em Águas Subterrâneas de Poços Profundos na Região Sudoeste do Paraná. *Revista Faz Ciência* Volume 14 – Número 20– Jul/Dez 2012 – pp. 153-175.

BLUMBERG, E., AZEVEDO NETTO, J., M., 1987. Alcalinidade e Dureza das Águas Naturais: Processos de Redução da Dureza. *Revista DAE*, São Paulo. n28, 63 – 79.

BRANDÃO, L., PADILHA, N.W.M., TEIXEIRA, J.E. M, COELHO, M.C.P. MARTINS, J.M. 7 AGUIAR, M.T.R., (1995). Plano de aproveitamento dos Recursos Hídricos na RMF, Fase I, Fatores Condicionantes. Fortaleza (inédito).

BRAGA, Antonio Celso de Oliveira. Estimativa da vulnerabilidade natural de aquíferos: uma contribuição a partir da resistividade e condutância longitudinal. *Rev. Bras. Geof.*, São Paulo, v. 26, n. 1, p. 61-68, Mar. 2008.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº. 273, de 29 de novembro de 2000. Estabelece diretrizes para o licenciamento ambiental de postos de combustíveis e serviços e dispõe sobre a prevenção e controle da poluição. Brasília, DF, 2000.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano/ Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. – Brasília: Ministério da Saúde, 2006.212p.

BRASIL. PORTARIA 2.914. (2011). Ministério do Estado da Saúde-MS. Norma de qualidade da água para consumo humano. Portaria nº 2.914, D.O.U. de 14/12/11, República Federativa do Brasil, 2011.

BRASIL. Resolução CONAMA 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. Brasília, DF, 2005.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 335, de 03 de março de 2003. Dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios. Brasília. Alterada pela Resolução CONAMA nº 368/06 (alterados os arts. 3º e 5º, revogado o inciso III, do § 3º, do art. 3º). Alterada pela Resolução nº 402/08 (alterados os arts 11 e 12). Brasília, DF, 2005.

CAVALCANTE, I.N., COSTA, N. B., GOMES, M. C. R, MAIA, J.T.V., FREITAS, L.C.B. & LEMOS, E.C.L., 2007. Aquífero Costeiro na Região de Paracuru – Ceará. In: XV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços e I Simpósio de Hidrogeologia do Sul-Sudeste. Anais... ABAS, Rio Grande do Sul.

CEARÁ. Resolução COEMA nº 08, de 16 de junho de 2004. Instituir os critérios de remuneração dos custos operacionais e de análise do licenciamento e autorização ambiental de atividades modificadoras do meio ambiente no território do Estado do Ceará. Fortaleza, CE, 2004.

CEARÁ. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará – IPECE. Perfil básico municipal de Paracuru. Fortaleza: IPECE, 2016. Disponível em: www.ipece.ce.gov.br, acessado em: 05 de junho de 2017.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 1998. Programa de Recenseamento de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea no Estado do Ceará: diagnóstico do Município de Paraipaba.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2014. Geodiversidade do Estado do Ceará/ Programa Geologia do Brasil Levantamento da Geodiversidade. Fortaleza, CPRM, 2014. 214 p.

CASTRO, A.S.F., MORO, M.F. & MENEZES, M.O.T., 2012. O Complexo Vegetacional da Zona Litorânea do Ceará: Pecém, São Gonçalo do Amarante. Acta Botanica Brasilica, 26(1): 108 – 124.

CAGECE - Companhia de Água e Esgoto do Ceará, 2017. Relatório Anual para Informação ao Consumidor – Paraipaba. Disponível na internet: <https://www.cagece.com.br/abastecimento-de-agua/relatoriosdequalidade/category/243-p-r>. Acesso em: 30 de maio, 2017.

CAVALCANTE, José Carvalho et al. Mapa geológico do estado do Ceará. Fortaleza: CPRM, 2003. Escala 1:500.000.

CABY,R.;ARTHUD,M.H.,Major Precambrian nappes of the brasilian belt, Ceará Northeast. Geology V.14:871-874p. (1986).

CARVALHO,A.M.de.2003.Dinâmica costeira entre Cumbuco e Matões-costa NW do estado do Ceará. Ênfase nos processos eólicos. Tese de Doutorado, Universidade Federal da Bahia. 2003.206p.Bahia.

CEARÁ, 2008. Secretaria dos Recursos Hídricos, Coordenadoria de Gestão dos Recursos Hídricos. Outorga e Licença de Obras Hídricas; Manual de procedimentos. Fortaleza. p. 67

CEARÁ. Decreto Estadual nº 23.067/1994. Regulamenta o artigo 4º da Lei nº 11. 996, de 24 de julho de 1992, na parte referente à outorga do direito de uso dos recursos hídricos, cria o Sistema de Outorga para Uso da Água e dá outras providências. Regulamenta o artigo 4º da Lei nº 11. 996, de 24 de julho de 1992, na parte referente à outorga do direito de uso dos recursos hídricos, cria o Sistema de Outorga para Uso da Água e dá outras providências. Fortaleza, CE, 1994.

CEARÁ, 1992. Secretaria dos Recursos Hídricos. *Plano Estadual de Recursos Hídricos: Atlas*. Fortaleza, 4v, v.1.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS -. Atlas digital de recursos hídricos subterrâneos do Ceará. 2. ed. Fortaleza: ABAS, 2000. 1 CD ROM.

CASTRO, D.L. Caracterização geofísica e hidrogeológica do cemitério Bom Jardim, Fortaleza –CE. *Revista Brasileira de Geofísica*, v.26, n.3. 18p. 2008.

FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. <<http://www.funceme.br/index.php/areas>> Acessado em: 03 jun 2017

FEITOSA, F. A. C. & MANOEL FILHO, J. *Hidrogeologia Conceitos e Aplicações*.2.ed. Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID-UFPE, 2011.391 p il.

FINOTTI, A. R.; CAICEDO, N. O. L. & RODRIGUEZ, M. T. R. Contaminações Subterrâneas com Combustíveis Derivados de Petróleo: Toxicidade e a Legislação Brasileira. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos, da Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH)*, v. 6, n. 2, p. 29-46, jun.2001.

GORAYEB, A.,2000. Análise Geoambiental e dos impactos na bacia hidrográfica do rio Curu–Ceará–Brasil Dissertação (Mestrado Acadêmico em Geografia) –Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza.

HILDEBRANDT, A.; GUILLAMÓN, M.; LACORTE, S.; TAULER, R.; BARCELÓ, D. Impact of pesticides used in agriculture and vineyards to surface and groundwater quality (North Spain). *Water Research*, v. 42, n. 13, p. 3315-3326, 2008. PMID:18502469. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2008.04.009>.

HYPOLITO, R.; EZAKI, S. Íons de metais pesados em sistema solo-lixo-chorume-água de aterros sanitários da região metropolitana de São Paulo-SP. *Águas Subterrâneas*. São Paulo, v. 20, n. 1, p. 99-114, 2006.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Departamento de população e Indicadores Sociais. Disponível na Internet: www.ibge.gov.br, consultada em 17 de maio de 2017.

INESP, 2009. Caderno regional da bacia do Curu / Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos, Assembleia Legislativa do Estado do Ceará; – Fortaleza: INESP, 113p.

KULKAMP, M. S.; KAIPPER, B. I. A.; CORSEUIL, H. X. Influência do Etanol na Atenuação Natural de Hidrocarbonetos de Petróleo em um Aquífero Contaminado com uma Mistura de Diesel e Etanol. *Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Saneamento Ambiental: Ética e Responsabilidade Social*. Joinville, ABES, set. 2003, p.1-7 Ilus. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental No. 22; V Feira Internacional de Tecnologias de Saneamento Ambiental; Joinville, 14-19 set. 2003. CEPIS. Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes22/dx.pdf>. Acesso em: 22/02/2007.

LISBOA, M. S. 2002. Estudos geoeletricos/hidrogeológicos da porção costeira da bacia do rio São Gonçalo-Ce. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza – Ce. Dissertação de Mestrado.101p.

MAIA, L.P., 1998. Procesos costeiros y balance sedimentário a lo largo de Fortaleza (NE-Brasil): Implicaciones para una gestión adecuada de la zona litoral. Tese de Doutorado. Universidade de Barcelona. 256pp.

MCNEELY R. N.; NEIMANIS V. P.; DWYER L. 1979. Water quality sourcebook. A guide to water quality parameters. Ottawa, Canadá. 89 p.

MORAIS, J.B.A., 2015. Vulnerabilidade e Riscos à População dos Aquíferos na Área do Complexo Industrial Portuário do Pecém (CIPP) – Estado do Ceará. Tese (Doutorado em Geociências) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 169p.

MATOS, B. A. Avaliação ocorrência e do transporte de microorganismos no aquífero freático do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha município de São Paulo. 2001. 113f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2001. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44133/tde19122001-082301/> > Acesso em: 23 ago. 2017.

OLIVEIRA, E. Contaminação de Aquíferos por Hidrocarbonetos Provenientes de Vazamentos de Tanques de Armazenamento Subterrâneo. 1992. 112 f. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação: Recursos Minerais e Hidrogeologia – Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo (USP) – São Paulo.

PACHECO, A. Cemitério e Meio Ambiente. 2000. 102f. Tese (Livre Docência) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

PACHECO, A. Os Cemitérios como Risco Potencial para as Águas de Abastecimento. Revista do Sistema de Planejamento e de Administração Metropolitana -SPAM - 1986 – 25-37.

SOUZA, M.J.N., 1988. Contribuição ao Estudo das Unidades Morfo-Estruturais do Estado do Ceará. Revista de Geologia - UFC, Fortaleza, 73-91.

VASCONCELOS, M. B, 2015. Poços para Captação de Águas Subterrâneas: Revisão de Conceitos e Proposta de Nomenclatura. In: XVIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Anais... São Paulo: Revista Águas Subterrâneas. 12p.

YAMADA, D.T. Caracterização Geológico-Geotécnica Aplicada à Instalação de Postos de Combustíveis em Rio Claro – SP. Curso de Pós Graduação em Geociências – Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE) – Universidade Estadual Paulista – Rio Claro – SP – 2004.