



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

RODRIGO MARTINS DOS SANTOS

**CARACTERIZAÇÃO E EVOLUÇÃO HIDROGEOQUÍMICA DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS DO MUNICÍPIO DE RECIFE-PE**

RECIFE

2016

RODRIGO MARTINS DOS SANTOS

Geólogo - Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

**CARACTERIZAÇÃO E EVOLUÇÃO HIDROGEOQUÍMICA DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS DO MUNICÍPIO DE RECIFE-PE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Geociências.

Área de concentração em Hidrogeologia.
Orientador: Prof. Dr. Almany Costa Santos.

RECIFE

2016

Catálogo na fonte

Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

S237c Santos, Rodrigo Martins dos.

Caracterização e evolução hidrogeoquímica das águas subterrâneas do município de Recife-PE / Rodrigo Martins dos Santos. – 2016.
88 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Almany Costa Santos.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Geociências, 2016.

Inclui Referências e Anexos.

1. Geociências. 2. Aquíferos. 3. Município de Recife. 4. Geologia.
5. Hidrogeologia. 6. Caracterização hidrogeoquímica. I. Santos, Almany
Costa. (Orientador). II. Título.

RODRIGO MARTINS DOS SANTOS

**CARACTERIZAÇÃO E EVOLUÇÃO HIDROGEOQUÍMICA DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNIAS DO MUNICÍPIO DE RECIFE-PE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Geociências.

Aprovada em: 20/06/2016

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Almany Costa Santos (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Virgínio Henrique de Miranda Lopes Neumann (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Luiz Rogério Bastos Leal (Examinador Externo)
Universidade Federal da Bahia

AGRADECIMENTOS

Ao Nosso Todo-Poderoso Deus pela oportunidade de ingressar e concluir o mestrado. Aos meus queridos pais, Gilvan Fernandes e Maria Martins, que me educaram e são exemplos em minha vida. A minha noiva Jaqueline Camilo que com muito carinho me incentivou a conclusão desta obra. Aos meus queridos irmãos, Romero Martins e Ronaldo Martins pela paciência e amor que sempre tiveram comigo. Ao Prof. Almany Costa Santos pela orientação, apoio, incentivo, discussões técnicas e fundamentais no desenvolvimento da presente dissertação. Ao Prof. José Geilson Demétrio, pelo esclarecimento nas disciplinas ministradas por ele, que contribuíram para minha formação no Mestrado. Aos demais Professores do departamento de Geologia Valdir, Gorki Mariano, Virgínio Neumann e Sônia Agostinho pela ajuda e incentivo na conclusão deste trabalho. Aos amigos da Graduação, Pós-Graduação, assim como, funcionários da PPGEOC, Carlos Eduardo, Bruno Varela, Diego Cravo, Ricardo Pino, Fábio Frazão, Haroldo Monteiro, Lucas Henrique, Diego Lins, Artu Pereira, Leandro Gustavo, Felipe Santana, Thamires Carvalho, Goretti Cabral, Adriana, Edjane Santos, Vera Silva, Thiago, Sharlyane, João Wojtyla, Igor e Krishnamurti. Ao meu grande amigo, Wilson Luiz, que considero como um irmão. Aos geólogos Antônio de Freitas, Thyego (APAC) e Adélia (COMPESA) pela atenção e cooperação para o desenvolvimento desta pesquisa. A COMPESA, APAC, CPRM e B & F Poços TUBULARES pelo fornecimento de dados a cerca das análises hidroquímicas das águas subterrâneas e dos poços com seus respectivos perfis construtivos e litológicos. A CAPES por ter me concedido uma bolsa temporária nos primeiros meses de mestrado. A FACEPE por me conceber uma bolsa definitiva até o prazo legal de término do mestrado.

“Sem fé é impossível agradar a Deus, pois quem dele se aproxima precisar crer que ele existe e que recompensa àqueles que o buscam.” (HEBREUS 11:6)

RESUMO

Este trabalho visou à caracterização geológica, hidrogeológica, hidrogeoquímica e evolução temporal dos aquíferos presentes no município de Recife-Pernambuco-Brasil. Essas caracterizações foram possíveis através dos levantamentos e estudos dos dados hidroquímicos das águas (análises físico – química) e das informações geológicas e hidrogeológicas obtidas através dos perfis construtivos e litológicos dos poços cadastrados na região estudada. Para complementação das análises com informações ausentes a cerca dos ânions: bicarbonato, carbonato e hidróxido, o complemento se deu por meio de cálculos que utilizou fórmula de LOGAN (1969) e os parâmetros de alcalinidade e pH. Ainda na complementação dos dados, os sólidos totais dissolvidos (STD) ausentes em algumas análises foram estimados a parti de dois fatores: 0,53 e 0,71 ambos os valores encontrados através da equação da reta, oriundas da correlação linear entre o STD e a condutividade elétrica (CE) já existente nas análises. De acordo com as filtragens e o tratamento dos dados foi possível estudar as águas dos aquíferos, Beberibe, Cabo e Boa Viagem e possivelmente Itamaracá. Essa pesquisa vem a ser relevante, pois contribui com mais informações necessária ao melhor planejamento da gestão de nossos recursos hídricos subterrâneos, no que diz respeito às informações sobre a qualidade da água, sua composição química e interpretação mais apurada sobre os diferentes aquíferos que essas águas estão sendo explotadas, pois muitos são descritos de forma duvidosa, é o caso, por exemplo, de alguns perfis litológicos dos poços selecionados neste trabalho os quais descritos como Aquífero Beberibe e que suas características de composição química levam a uma hipótese de pertencerem ao Aquífero Itamaracá.

Palavras-chave: Aquíferos. Município de Recife. Geologia. Hidrogeologia. Caracterização Hidrogeoquímica.

ABSTRACT

This study aimed to characterize geological, hydrogeological, hydrogeochemical and temporal evolution of aquifers present in the city of Recife, Pernambuco, Brazil. These characterizations were made possible through the surveys and studies of hydrochemical data of water (physical – chemical analysis) and the geological and hydrogeological information obtained through constructive and lithological profiles of registered wells in the study area. To complement the analysis with missing information about the anions: bicarbonate, carbonate and hydroxide, the complement was through calculations that used formula LOGAN (1969) and the parameters of alkalinity and pH. Still complementing the data, total dissolved solids (TDS) absent in some analysis were estimated left two factors: 0.53 and 0.71 both values found by the equation of the line, derived from the linear correlation between TDS and the electrical conductivity (EC) in the existing analyzes. According to the filtering and processing of the data was possible to study the waters of aquifers, Itamaraca, Beberibe, Cabo and Boa Viagem. This research is to be relevant, it contributes with more information needed to better planning of the management of our groundwater resources, with regard to information on water quality, chemical composition and more accurate interpretation of the different aquifers that such waters are being exploited, as many are described doubtfully is the case, for example, certain lithologic profiles of wells selected for this study which reported as Beberibe Aquifer and its chemical composition characteristics lead to a hypothesis belonging to the Itamaracá Aquifer.

Keywords: Aquifers. City of Recife. Geology. Hydrogeology. Characterization Hydrogeochemistry.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Mapa de Localização de Recife e seu entorno.....	11
Figura 2. Meses de maiores precipitações em Recife.....	21
Figura 3. Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe.....	25
Figura 4. Mapa Geológico da Planície do Recife.....	26
Figura 5. Localização das Bacias Pernambuco e Paraíba e bacias adjacentes	29
Figura 6. Quadro Estratigráfico esquemático comparando as colunas das bacias da Paraíba e de Pernambuco, com suas unidades estratigráficas, separadas pela ZCPE.	32
Quadro 1. Quadro esquemático mostrando os sedimentos recentes presentes na Região Metropolitana de Recife cuja área de pesquisa está inserida.....	33
Figura 7. Mapa hidrogeológico do domínio da Planície do Recife. Mostrando a distribuição dos Aquíferos Beberibe e Cabo	35
Quadro 2. Quadro com as Características hidrodinâmicas do Aquífero Barreiras.	37
Figura 8. Diagrama de Piper.....	49
Figura 9. Mapa de distribuição dos poços pesquisados em Recife.	51
Figura 10. Gráficos com as concentrações dos principais cátions constituintes nas águas subterrâneas. (A) Ca^{2+} . (B) Mg^{2+} . (C) Na^+ e (D) K^+ . ABV (Aquífero Boa Viagem); ABE (Aquífero Beberibe); AC (Aquífero Cabo).	53
Figura 11. Gráficos com as concentrações dos principais ânions constituintes nas águas subterrâneas. (A) Cl^- . (B) SO_4^{2-} . (C) HCO_3^- e (D) CO_3^{2-}	55
Figura 12. Histograma de frequência com as concentrações de pH.....	57
Figura 13. Histograma de frequência com as concentrações de condutividade elétrica.	58
Figura 14 Gráfico de correlação linear entre as concentrações de sólidos totais dissolvidos e Condutividade elétrica. Coef. C: Coeficiente de Correlação.....	59
Figura 15. Gráfico com as concentrações de sólidos totais dissolvidos (STD).	60
Figura 16. Gráfico com concentrações de dureza.	61
Figura 17. Diagrama de Piper com análises temporais do Aquífero Beberibe. (A) Análises de 1970 a 1981. (B) Análises de 1993 a 1999. (C) Análises de 2000 a 2013.	64
Figura 18. Diagrama de Piper com as análises temporais (2000-2005) do Aquífero Cabo. ...	66
Figura 19. Diagrama de Piper com análises temporais do Aquífero Boa Viagem. (A) Análises de 1970 a 1982. (B) Análises de 1999 a 2007.	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tabela com a classificação das águas segundo a dureza em mg/l de CaCO_3	47
Tabela 2. Tabela com o tipo de alcalinidade em função do pH.....	47
Tabela 3. Tabela de frequência com a relação iônica rMg^{+2}/rCa^{+2}	62
Tabela 4. Tabela de frequência com a relação $rCl/rHCO_3^-$	62

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO DA LITERATURA	13
3 MATERIAIS E MÉTODOS	18
3.1 ETAPAS DE CAMPO	18
3.2 ELABORAÇÃO DO BANCO DE DADOS HIDROGEOLÓGICO E HIDROGEOQUÍMICO.....	19
3.3 TRATAMENTO DOS DADOS	19
4 ASPECTOS FÍSIOGRÁFICOS	21
4.1 CLIMA	21
4.2 GEOMORFOLOGIA	22
4.3 VEGETAÇÃO.....	22
4.4 SOLOS	23
4.5 HIDROGRAFIA.....	24
5 GEOLOGIA	26
6 HIDROGEOLOGIA	34
7 HIDROGEOQUÍMICA	40
7.1 CONSTITUINTES IÔNICOS	40
7.2 PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS.....	44
7.3 RELAÇÕES IÔNICAS (ÍNDICES HIDROGEOQUÍMICOS)	48
7.4 CLASSIFICAÇÃO DA ÁGUA PELOS ÍONS DOMINANTES	48
8 RESULTADOS E DISCURSÕES.....	50
8.1 ELEMENTOS QUÍMICOS MAIORES NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS ESTUDADAS	52
8.2 CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA	56
8.3 RELAÇÕES HIDROGEOQUÍMICAS	62
8.4 DIAGRAMA DE PIPER.....	63
9 CONCLUSÕES.....	68
REFERÊNCIAS	70
ANEXOS	74

1 INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos subterrâneos no Brasil sempre foram tratados com descaso, principalmente com relação à qualidade. A determinação da composição química é imprescindível para avaliar a qualidade da água subterrânea e estabelecer os usos adequados, bem como para identificar as causas das diferenciações hidroquímicas entre as águas dos diferentes aquíferos.

A área de pesquisa corresponde ao município de Recife, capital do Estado de Pernambuco, a região está inserida entre as coordenadas latitudes 8° 04' 03" S e longitude 34° 55' 00" W, ocupando uma área de aproximadamente 218,435 km² com total de 1.537.704 habitantes. Tem como Municípios limítrofes Jaboatão dos Guararapes, São Lourenço da Mata, Camaragibe, Paulista e Olinda (Fig.1).

Trabalhos envolvendo estudos hidrogeoquímicos das águas subterrâneas do município de Recife já foram realizados, porém estas pesquisas não tiveram como alvo principal a caracterização hidroquímica de suas unidades aquíferas em separado e sua evolução ao longo do tempo.

Figura 1. Mapa de Localização de Recife e seu entorno.



Fonte: Autor (2016)

Motivada a isso a presente dissertação apresenta um novo contexto sobre os resultados e conclusões obtidos acerca das características hidrogeológicas e hidroquímicas das águas subterrâneas do Município de Recife. A pesquisa levantou mais de 900 poços com seus respectivos dados hidrogeoquímicos (análise físico-química da água), entre os anos de 1966 a 2013. Esses dados posteriormente foram filtrados de acordo com critérios estabelecidos para interpretação dos mesmos e desenvolvimento do trabalho. Com o tratamento desses dados foi possível caracterizar os principais aquíferos intersticiais no município de Recife.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A área pesquisada está inserida nas Bacias sedimentares da Paraíba e de Pernambuco, dentro dos limites do município de Recife, separadas pelo Lineamento Pernambuco, são objeto contínuo de pesquisas científicas e técnicas na área de geociências, nos diversos campos da Geologia (hidrogeologia, geoquímica, sedimentologia, estrutural e ambiental).

O Lineamento Pernambuco funciona concomitantemente como eixo limitante e divisor, que a separa as Bacias de Pernambuco e da Paraíba. Ao Norte do Lineamento Pernambuco até o Alto de Maragogi, ao longo da faixa costeira, a Bacia Pernambuco e ao sul do Lineamento Pernambuco até a Falha de Mamanguape, ao norte da cidade de João Pessoa, ao longo da faixa costeira, a Bacia Paraíba.

A estratigrafia e a evolução estrutural das duas bacias são bastante distintas: a Bacia Paraíba é constituída na base por uma sequência de clásticos grosseiros continentais da Formação Beberibe, passando lateralmente aos clásticos finos e carbonáticos da Formação Itamaracá. Essa sequência é sobreposta por calcilitos e margas maastrichtianos da Formação Gramame, seguidos por calcários e margas da Formação Maria Farinha, do Paleoceno.

A Bacia Pernambuco, é constituída por uma sequência estratigráfica de rochas sedimentares e vulcânicas, com espessuras superiores a 3.000m, composta por arcósios e conglomerados associados a vulcânicas alcalinas da Formação Ipojuca, de idade neoalbian. Na porção superior, ocorrem calcários dolomitizados albianos da Formação Estiva. Esses carbonatos foram subsequentemente recobertos por leques siliciclásticos costeiros, do Turoniano ao Campaniano (Formação Algodão arenítica). Na base ocorre a Formação Cabo, representado por conglomerados, arenitos, siltitos e argilitos. Toda a sequência é entremeada por rochas vulcânicas na forma de derrames, sills e diques, de diabásio, traquito, basalto e riolito.

Em ambas as bacias, ocorrem coberturas detríticas diversas, de amplitude regional como os depósitos areno-argilosos da Formação Barreiras de idade Plio-Pleistocênica ou de sedimentos mais recentes de idade Holocênica, representados por areias de praia, areias e argilas fluviais, paleo-mangues e mangues recentes.

O município de Recife é caracterizado geologicamente, pela cobertura quase total desses depósitos quaternários, que se distribuem na planície. Esses depósitos recentes possuem espessuras variáveis entre 1 a 60m, com valores mais frequentes de 40m. As formações aquíferas das bacias sedimentares afloram em pontos isolados e áreas reduzidas,

sendo da Bacia Paraíba, os afloramentos da Formação Beberibe em alguns locais do vale do rio Beberibe, enquanto da Bacia de Pernambuco, a Formação Cabo, aflora numa reduzida área nas imediações do bairro de Areias.

Cercando a planície do Recife, ocorrem os morros representados pela Formação Barreiras, com cotas que chegam até 100m acima do nível do mar.

Os estudos hidrogeológicos realizados no município de Recife iniciaram-se na década de 1960 e vêm se processando até os dias atuais; a seguir são descritos os mais relevantes trabalhos realizados, em ordem cronológica. Os trabalhos a nível regional de Mello Junior (1960); Maksoud (1961); Figueiredo et al. (1964) e a nível local os trabalhos de Gomes (1966); Matos (1966); Mont'alverne (1966); Moraes (1966), Pereira (1966), Silva (1966), Oliveira(1966), destacando-se na década de 60 o trabalho realizado por Rebouças (1966), intitulado "Aspectos hidrogeológicos da faixa sedimentar costeira PE-PB-RN". Outros trabalhos pioneiros foram realizados pela SUDENE, ainda na década de 60, a exemplo de: Costa (1968), Cruz & Melo (1968), Feitosa (1968), além de Mattoso (1966).

Na década de 70, vários trabalhos foram feitos visando diagnosticar as condições de exploração do Aquífero Beberibe, a exemplo da SUDENE, que executou o Inventário Hidrogeológico do Nordeste - folha nº 16 – Paraíba, NE-Recife; o de Bezerra et al. (1970) e o da Consultoria Técnica de Geologia e Engenharia Ltda. - CONTEGE, que elaborou o estudo hidrogeológico do arenito Beberibe na área de Dois Unidos (Recife), com a finalidade de definir uma bateria de poços para captação de 21.600 m³/dia para a Companhia de Saneamento do Recife (SANER)., além de estudos de captação de água subterrânea para abastecimento público das cidades da RMR, em função principalmente, da crise de abastecimento ocorrida na região a partir de 1973, (ex: Acquaplan (1973/1974); Planidro (1975) e Pimentel (1976)). Ao final da década de 70 vários trabalhos foram feitos visando estabelecer causas e consequências da evolução do cone de rebaixamento, (ex: PLANAT (1976), Custódio, et al (1977); Cruz, et al (1978)), destacando-se os relatórios da OESA (1975) e França & Capucci (1978) que apontaram restrições a exploração do Beberibe e seus dados são citados até hoje em vários relatórios sobre a hidrogeologia local, devido à excelente qualidade das informações. Ainda nesta década deve-se ressaltar o trabalho de Gimena, et al. (1978), sobre a idade das águas do Beberibe, através da análise de isótopos, e a execução do Inventário Hidrogeológico do Nordeste, folha no.16-Paraíba, SO pela Sudene (1978).

Na área de estudo destaca-se o trabalho de Batista (1984), que elaborou sua dissertação de mestrado na Universidade Federal de Pernambuco, intitulada "Estudo Hidrogeológico da

Planície do Recife-PE”, concluindo que o aquífero Beberibe na área entre o bairro de Brasília Teimosa e o limite do município de Olinda encontra-se em regime de super-exploração, com riscos de salinização do manancial hídrico subterrâneo, recomendando que se executasse um estudo específico da situação da interface marinha; destacam-se os estudos de modelos de simulação numérica do Aquífero Beberibe e interface marinha (ex: Álvares et al., (1980); Ceferino et al, (1980); França et al.(1987) e Cabral, et al. (1988)); e os Planos Diretores de Recursos Hídricos do Recife (1982) e de abastecimento d’água da RMR (1985, 1986), este último dando início ao processo de medições sistemáticas de vazão e potenciometria, realizados pela COMPESA, no intuito de aplicar modelos matemáticos ao aquífero Beberibe.

Na década de 90, em 1993 o governador do Estado de Pernambuco, através do Decreto nº 17.204 de 22/12/1993, criou uma comissão especial de assessoramento técnico coordenada pelo Prof. Waldir D.Costa, para elaborar um Projeto de Lei objetivando a normalização da perfuração de poços tubulares, com vistas à conservação e proteção dos recursos hídricos subterrâneos, dando assim o primeiro passo para a criação de uma legislação e leis específicas para as águas subterrâneas a nível estadual. Nessa mesma década, vários trabalhos foram realizados pela CPRM, destacando-se os seguintes trabalhos: “Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos e Riscos de Contaminação das Águas Subterrâneas da Região Metropolitana do Recife” no ano de 1994 por O. Leal, do qual resultaram os mapas de vulnerabilidade das águas subterrâneas, de carga contaminante e de risco de contaminação das águas subterrâneas e “Os Aterros Sanitários e a Poluição das Águas Subterrâneas”, também no ano de 1994 por A. Mente, O. Leal e J.L.F. Miranda, onde foram definidas as áreas de maior ou menor favorabilidade para instalação de aterros sanitários. Em janeiro/95 foi iniciado o mais completo estudo hidrogeológico já realizado na Região Metropolitana do Recife, intitulado de “Estudo Hidrogeológico da RMR”, que recebeu a sigla de HIDROREC 01; esse estudo que foi realizado através de um convênio entre a Universidade Federal de Pernambuco e o IDRC – International Development Research Center do Canadá, foi coordenado por Waldir D. Costa, contando com uma equipe de 8 técnicos e somente foi encerrado em dezembro de 1997. Durante os trabalhos que se desenvolveram, podem ser destacados o cadastramento de 2.060 poços; o monitoramento sistemático de nível d’água em 28 poços abandonados durante 12 meses contínuos; a coleta e análise físico-química de 150 amostras de água; a coleta e análise de isótopos ambientais em águas de poços; a realização de perfilagem elétrica em vários poços; a avaliação do balanço hidrogeológico e, por fim, a elaboração pela primeira vez na América Latina, do mapa de Zoneamento Explorável dos Aquíferos na Planície do Recife”.

Em março de 1997 foi defendida por Waldir D. Costa Filho, dissertação de mestrado, intitulada: “Estudo Hidroquímico da Planície Sedimentar do Recife”, em 1997 foi elaborado pela Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente e Secretaria de Planejamento do Estado de Pernambuco, o Projeto de Qualidade de Água, da Região Metropolitana do Recife, bem como, foram elaboradas as leis 11.426 – sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco e 11.427 que trata da Conservação e Proteção das Águas Subterrâneas; tendo, no ano seguinte, sido regulamentadas as duas leis através dos Decretos 20.269 e 20.423, respectivamente. A comissão encarregada da criação da lei das águas subterrâneas e sua respectiva regulamentação foi coordenada por Waldir D. Costa. Em 1998, foi elaborado o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco, versando um dos seus volumes sobre as águas subterrâneas.

Na década de 2000, foram defendidas uma tese de doutorado na USP de São Paulo e uma dissertação de mestrado na UFPE, a primeira pelo geólogo Almany Costa Santos e a segunda pelo geólogo Adson Brito Monteiro. Ambos os trabalhos se basearam no estudo do HIDROREC, versando, respectivamente sobre Estratégias de Uso e Proteção das Águas Subterrâneas. Ainda em 2000 Costa et al. contribuíram para o melhor conhecimento do Aquífero Boa Viagem com a apresentação de trabalho sobre o tema e publicação em anais do I Congresso Mundial Integrado de Águas Subterrâneas realizado em Fortaleza; em 2001 Monteiro et al e Costa et al, apresentaram trabalhos versando, respectivamente, sobre os problemas de sobre-exploração e exaustão do aquífero Cabo e sobre a necessidade de implantação de uma recarga artificial nos aquíferos Cabo e Beberibe, no XII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços e IV Simpósio de Hidrogeologia do Nordeste, realizado em Recife/Olinda; em 2001/2002 foi elaborado pela COSTA Consultoria e Serviços Técnicos e Ambientais Ltda., para a Secretaria de Recursos Hídricos – SRH, o estudo hidrogeológico dos municípios do Recife, Jaboatão dos Guararapes, Olinda e Camaragibe (Região de Aldeia) que consistiu numa atualização do HIDROREC II no qual foram cadastrados 4.500 poços e elaborado um novo Mapa de Zoneamento Explorável da citada região constado de 6 zonas. Com relação às áreas de exploração da água mineral, destaca-se o trabalho de Mente & Cruz (2001), feito para o DNPM intitulado “Estudo de áreas de proteção das fontes de águas minerais da região norte do Recife-PE”, no qual foram realizados estudos hidrogeológicos visando o conhecimento das condições de ocorrência, escoamento e descarga das águas subterrâneas associadas às fontes de águas minerais além de delimitar áreas de proteção dessas fontes.

Na década de 2010, destacam-se os trabalhos de: dissertação de mestrado intitulada “Água mineral na Região Metropolitana do Recife: riscos de contaminação nos aquíferos” do mestrando Júlio César França Barreto, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral da Universidade Federal de Pernambuco, realizado em 28 de junho de 2011; dissertação de mestrado intitulada “Caracterização hidrogeológica e critérios para a construção de poços profundos no sistema aquífero Beberibe da Bacia Paraíba” área de concentração em geologia ambiental do mestrando José Wellington Stanford Dantas, do Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal de Pernambuco, realizado em 31 de maio de 2012; tese de doutorado intitulada “Diagnóstico Geologia Ambiental e Aspectos Jurídicos como Ferramenta para Proteção dos Recursos Hídricos da Região Metropolitana do Recife”, área de concentração em geologia ambiental do doutorando Alexandre Vasconcelos Gomes Lopes, do Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal de Pernambuco, realizado em 28 de junho de 2012.

Espera-se, ao final deste trabalho, poder contribuir para a ampliação do conhecimento da Hidrogeologia do município de Recife com a divulgação de dados técnicos que permitam acrescentar informações relevantes para a gestão, exploração, preservação e a proteção das águas subterrâneas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente foi feito um levantamento bibliográfico dos trabalhos hidrogeoquímicos, hidrogeológicos, geológicos e artigos técnicos contendo informações úteis e de interesse da pesquisa.

Para caracterizar os principais fatores controladores da química da água subterrânea, bem como a sua evolução hidrogeoquímica na área do município de Recife. Foram utilizadas informações oriundas do banco de dados do HIDROREC II, SIAGAS/CPRM (Serviço Geológico do Brasil), APAC (Agência Pernambucana de Águas e Clima) e COMPESA.

Os dados selecionados para desenvolvimento deste trabalho consistiram em filtragens sobre as informações dos poços cadastrados no município de Recife, sendo eles: Localização geográfica, análises físico-químicas; registros dos perfis litológicos (estratigráficos) e perfis construtivos dos poços (dados referentes ao topo e base dos filtros).

3.1 ETAPAS DE CAMPO

Os trabalhos iniciaram com a visita a Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), a empresa forneceu dados que continham informações dos poços em sua maioria na porção norte de Recife, abrangendo alguns bairros como Casa Amarela, Córrego do Tiro, Guabiraba entre outros.

Posteriormente visitou-se a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), onde foi feita a solicitação dos dados através de um ofício, neste órgão foram feitas duas visitas e se obteve uma pequena quantidade poços, porém significativa para a pesquisa.

A empresa privada B&F POÇOS TUBULARES colaborou com esta pesquisa fornecendo seus dados hidrogeológicos dos poços perfurados no município de Recife. No Serviço Geológico do Brasil (CPRM) foi concedido o relatório do SIGA Recife 2003. Em última etapa de visita realizada na Agência Estadual do Meio Ambiente (CPRH), por meio de ofícios solicitou-se alguns pedidos para concessão dos dados de interesse à pesquisa, porém não foram liberados até a conclusão deste trabalho.

3.2 ELABORAÇÃO DO BANCO DE DADOS HIDROGEOLÓGICO E HIDROGEOQUÍMICO

Os dados concedidos (ficha de análise físico-química e perfis construtivos e litológicos) pelos devidos entes mencionados no item 3.1, foram escaneados, digitalizados em planilhas EXCEL 2010. Posteriormente foram elaboradas tabelas com essas informações e organizadas de forma cronológica, para melhor caracterização e evolução das águas subterrâneas. Foram levantados 905 poços em todo Recife, porém muitos deles foram descartados no tratamento de dados por não atenderem os requisitos previstos para o desenvolvimento da presente dissertação de mestrado. O quantitativo de poços e análises selecionados será descrito no capítulo 8 (Resultados e Discursões). A seguir os critérios da não seletividade dos dados:

- Poços sem coordenadas geográficas, exceto os que continham pelo o menos a localização (endereço) possibilitando, assim, localizar sua coordenada geográfica pelo programa Google Earth;
- Poços sem perfis litológicos e construtivos;
- Poços sem nenhuma ficha de análise físico-química;
- Análises (físico- química) com erro da análise ($e\%$) >10 ;
- Análises (físico-química) sem a definição do poço de origem.

3.3 TRATAMENTO DOS DADOS

Primeiramente foi feita uma complementação nas análises com ausência de informações a respeito dos íons HCO_3^- (bicarbonato), CO_3^{2-} (carbonato) e OH^- (hidróxido). Para esta integralização dos respectivos ânions foi utilizada a fórmulas de Logan (1965), baseada os parâmetros de alcalinidade total e no pH das amostras, assim, como segue:

a) Para o Bicarbonato:

$$\text{HCO}_3^- = \left| \frac{(\text{Alcal.} \div 50) + 10^{(3-\text{pH})} - 10^{(\text{pH}-11)} \times 61,02}{1 + (9,38 \times 10^{(\text{pH}-11)})} \right| (\text{mg/L})$$

b) Para o Carbonato:

$$\text{CO}_3^{2-} = \left| \left(\frac{\text{HCO}_3^-}{61,02} \right) \times 9,38 \times 10^{(\text{pH}-11)} \times 30,01 \right| (\text{mg/L})$$

c) Para o Hidróxido:

$$OH^- = \left| 10^{(pH-11)} \times 17,01 \right| \text{ (mg/L)}$$

O segundo critério no tratamento dos dados, consistiu numa avaliação das análises através do cálculo do coeficiente do erro da análise ($e\%$). Este cálculo serviu para verificar confiabilidade dos dados nas análises hidroquímicas completas. Considerando neste trabalho o valor de $e\%=10$ como valor máximo de erro para que a análise esteja correta. O cálculo do $e\%$ foi feito pela seguinte fórmula (Santos 2008):

d) Erro permitido:

$$e(\%) = \left| \frac{r \sum p - r \sum n}{r \sum n + r \sum p} \right| \times 100$$

Onde:

$r \sum p$ = concentração total de cátions em miliequivalente por litro (meq/l)

$r \sum n$ = concentração total de ânions em miliequivalente por litro (meq/l)

Seguindo uma nova etapa no tratamento de dados foram feitos gráficos e histogramas de frequência com auxílio dos softwares Grapher 9 e CorelDraw X8. Isto serviu para uma melhor interpretação dos dados e visualização das concentrações dos seguintes parâmetros: pH, condutividade elétrica, resistividade, sólidos totais dissolvidos, dureza, assim também, as concentrações dos elementos maiores constituintes nas águas subterrâneas ao longo do período estudado (1970-2013).

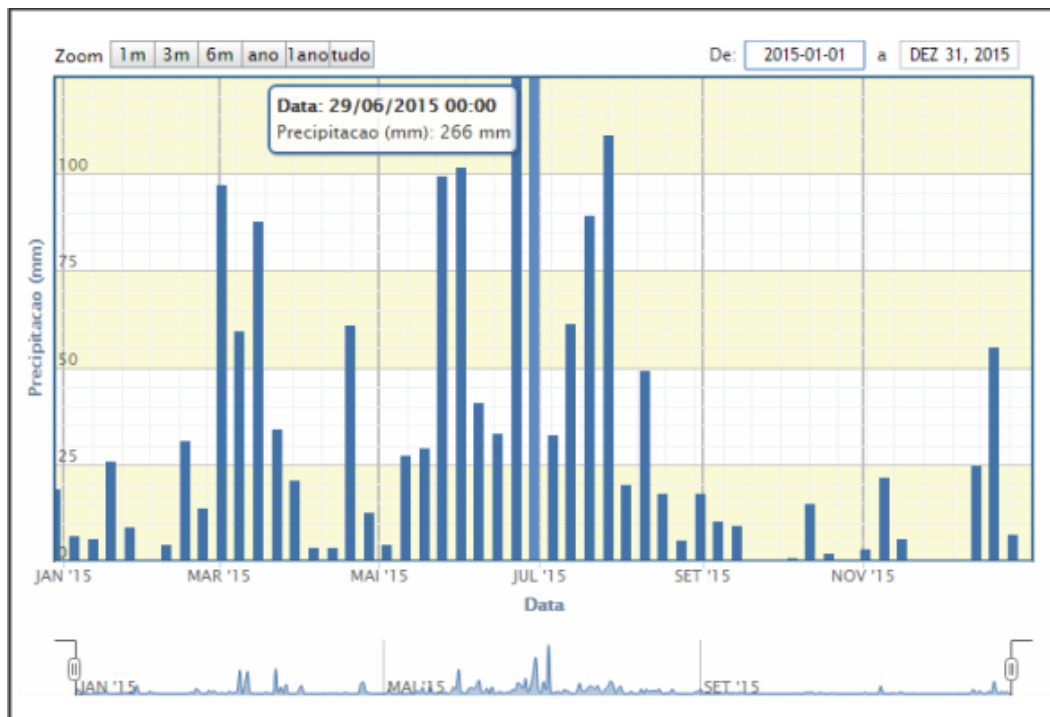
Para visualizar a distribuição espacial dos poços filtrados e selecionados da pesquisa no município de Recife foi elaborado no programa ArcGIS um mapa de localização da área na escala de 1/100.000.

4 ASPECTOS FÍSIOGRÁFICOS

4.1 CLIMA

O clima de Recife é tropical úmido (tipo *As'* na classificação climática de Köppen-Geiger), típico do litoral leste nordestino, com temperaturas médias mensais sempre superiores a 18 °C, baixas amplitudes térmicas inferiores a 3°C e precipitações abundantes ao longo do ano. O índice pluviométrico é bem superior a 2 000 milímetros (mm) anuais, concentrados entre abril e julho (médias mensais superiores a 300 mm). De acordo com os dados pesquisados no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a precipitação correspondente ao ano de 2015 em Recife teve seu maior índice pluviométrico no mês de junho com 266 mm (Fig.2).

Figura 2. Meses de maiores precipitações em Recife.



Fonte: INMET. Estação: 82900- Recife Curado.

4.2 GEOMORFOLOGIA

A região estudada possui três domínios geomorfológicos:

O primeiro é o Modelado Cristalino Colinoso com cotas variando entre 60 a 100 metros, localizada na porção oeste-noroeste do município de Recife;

O segundo os tabuleiros costeiros, apresentando um relevo plano, com cotas variando entre 80 a 150 metros. Essas feições são moldadas nos sedimentos da formação Barreira, sobrepostos aos sedimentos flúvio-marinhos das bacias Pernambuco e Paraíba e sobre o modelado cristalino.

O terceiro é a Planície Costeira ou Flúvio Lacunar Marinha que predomina em quase todo território municipal, são áreas com elevações inferiores a 10m, com relevos planos constituídos por terraços marinhos, terraços fluviais e flúvio-lagunares, planícies aluviais atuais e mangues (Alheiros, 1998), nos quais são depósitos de sedimentos quaternários, que coincidem com a planície de inundação dos vales antigos e riachos.

4.3 VEGETAÇÃO

A vegetação natural no município de Recife consiste em resquícios de Mata Atlântica e Manguezais. Segundo Melo et al.,(2013) a vegetação em Recife está disposto em Tabuleiros Costeiros divididos em subzonas, como: praia, dunas restingas e os manguezais. Os manguezais que se desenvolvem nos estuários que desembocam na Região Metropolitana do Recife (RMR) constituem valiosos ecossistemas para a cidade do Recife, porém encontram-se submetidos a vários tipos de tensores que vêm acelerando sua degradação. Desta forma, a sua conservação promove um salto significativo para a manutenção das condições de vida dos habitantes da cidade, além da sua importância para a estabilização do meio ambiente. Trabalhos recentes (2013-2014) feitos por pesquisadores da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) sobre a flora do Rio Capibaribe, identificou 74 espécies de plantas arbóreas, arbustivas e aquáticas, num trecho de 30 quilômetros de margens, na cidade do Recife. As árvores de mangue predominam do Centro à Ponte de Caxangá, na entrada da Várzea. De lá em diante, o mangue começa a rarear, deixando à mostra vegetação da mata ciliar, como aroeira-da-praia e ingá-doce.

4.4 SOLOS

De acordo com os trabalhos de Alheiros (1998) o material de origem do relevo e do clima de Recife e municípios adjacentes, permitem afirmar que, os morros são constituídos de rochas do embasamento cristalino, de rochas vulcânicas e de sedimentos das formações Barreiras, Cabo e Beberibe os solos são, no geral, bem desenvolvidos e profundos (>2 metros). Os solos argissolos são caracterizados pelo acúmulo de argila em subsuperfície, tipificado pelo horizonte B textural (Bt), são formados a expensas das rochas do embasamento cristalino e dos sedimentos das Formações Cabo e Barreiras, podendo, em alguns topos estar associados à latossolos. Formação Cabo gerada a partir da fragmentação da crosta continental, possui natureza composicional similar à das rochas do embasamento pré-cambriano e sobre essa unidade desenvolve-se primordialmente o argissolo vermelho amarelo. Na Formação Barreiras, os sedimentos areno-argilosos favorecem o maior desenvolvimento de argissolos amarelos. A Formação Beberibe predominantemente arenosa possibilitou a formação dos neossolos quartzarênicos, solos com sequência de horizontes A-C, porém apresentando textura areia ou areia franca em todos os horizontes até, no mínimo, a profundidade de 150 cm a partir da superfície do solo ou até um contato lítico; são essencialmente quartzosos, cuja gênese gera um horizonte A de espessura variada, arenoso e susceptível à erosão. Em algumas situações onde a litologia dessa formação se enriquece em finos, como na fácies estuarina que ocorre à margem sul do Rio Beberibe, próximo à BR-101.

Segundo Alheiros (1998) no domínio da planície quaternária, algumas das classes de solo presentes, são na verdade, do ponto de vista genético, sedimentos ou solos incipientes, derivados de sedimentos. As razões são duas; ou o material de origem é imune ao processo, como acontece com algumas areias quartzosas em função da resistência do quartzo e da falta de incorporação de matéria orgânica, ou o material está protegido pela água como ocorre com os denominados solos indiscriminados de mangue. A relação entre as unidades quaternárias e a pedogênese permite identificar as classes de solos comentadas abaixo. Nos terraços pleistocênicos se desenvolvem os podzóis hidromórficos enquanto nas várzeas estão os neossolos flúvicos, são solos derivados de sedimentos aluviais e que apresentam caráter flúvico. Horizonte glei, ou horizontes de coloração pálida, variegada ou com mosqueados abundantes ou comuns de redução, se o correrem abaixo do horizonte A, pouco profundos, ácidos, mal drenados e que, na maioria do tempo, estão sob a influência do lençol freático. Nos mangues, os sedimentos de textura e composição variadas, alagados e com teores vários

de sais e matéria orgânica, compõem a classe dos solos indiscriminados de mangue. Os neossolos constituídos pelas areias quartzosas da faixa costeira, representantes dos terraços holocênicos, formam a classe areia quartzosa marinha distrófica. São solos profundos (>2 metros), constituídos basicamente por areia quartzosa, sendo, por conseguinte, de baixa fertilidade natural.

4.5 HIDROGRAFIA

Recife é banhado pelas bacias hidrográficas dos rios Beberibe, Capibaribe e Tejiptó (Monteiro. 2000).

O rio Beberibe (Fig.3) com uma bacia hidrográfica de 79 Km², localiza-se a norte da área. Possui drenagem meandrante, direção preferencial NO-SE, tornando-se paralelo à costa próxima à sua desembocadura. Entre os afluentes do Rio Beberibe está o Rio Morno, Rio Tejiptó os rios Jordão e Jiquiá, e do Rio Capibaribe na Planície do Recife, os riachos do Cavouco e do Donom, córregos do Euclides e do Abacaxi. Todos estes rios apresentam uma drenagem paralela e dendrítica. Formam uma drenagem densa e regular e estão subordinados à drenagem meandrica.

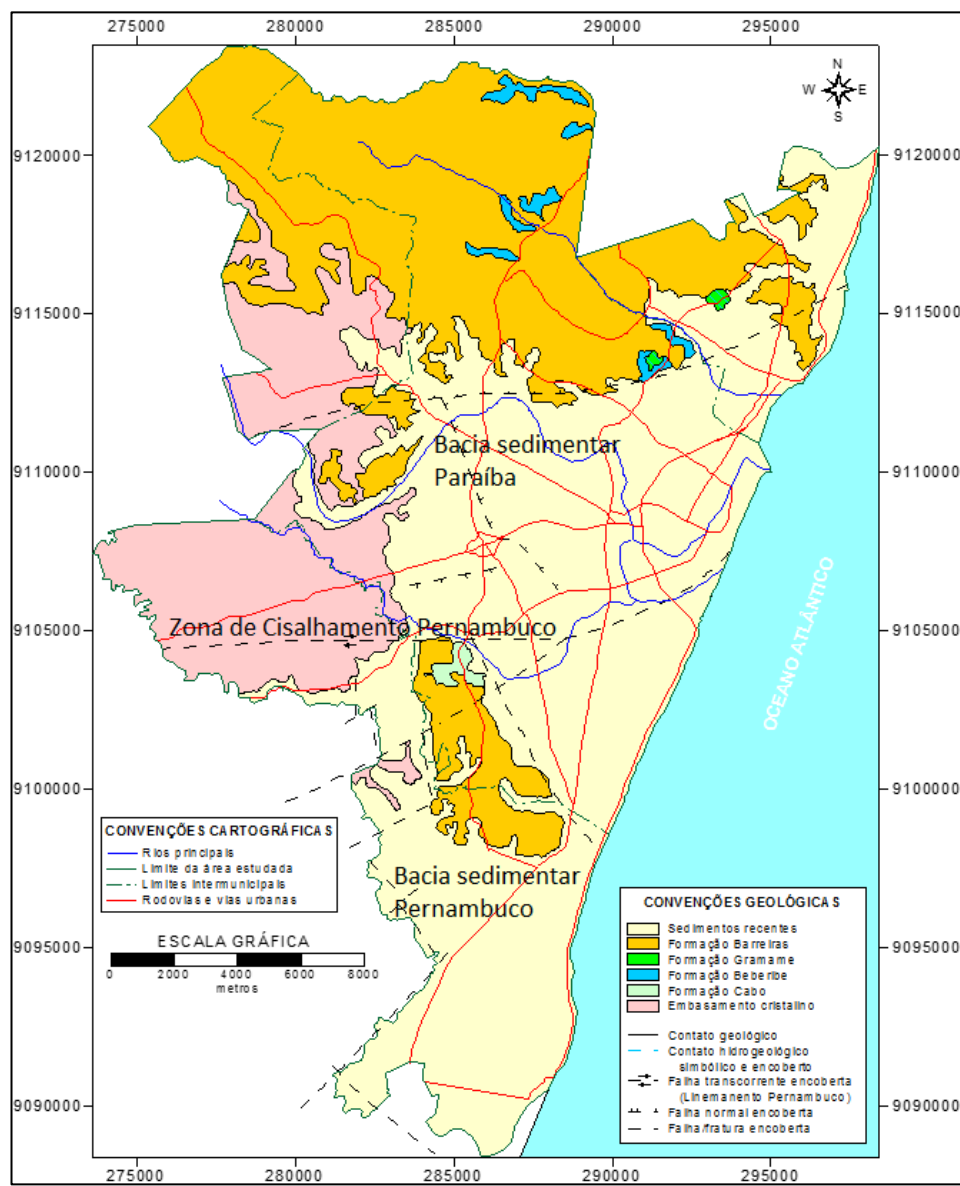
O rio Capibaribe nasce na divisa dos municípios de Jataúba e Poção, percolando por vários centros urbanos e servindo de corpo receptor de resíduos industriais e domésticos. Apresenta direção inicial sudeste-nordeste, até as proximidades de Santa Cruz do Capibaribe, quando seu curso toma a direção oeste-leste, percorrendo uma extensão total de cerca de 280 km até sua foz, na cidade do Recife. Em vários trechos, serve como divisa entre municípios pernambucanos, como entre Santa Cruz do Capibaribe e Brejo da Madre de Deus. O rio Capibaribe apresenta regime fluvial intermitente nos seus, alto e médio curso, tornando-se perene somente a partir do município de Limoeiro, no seu baixo curso. Seus principais afluentes pela margem direita, são: riacho do Mimoso, riacho Tabocas, riacho da Onça, riacho Carapatós, riacho das Éguas, riacho Caçatuba, riacho Batatã, rio Cotumgubá, rio Goitá e rio Tapacurá. Pela margem esquerda, destacam-se: riacho Jataúba, riacho Doce, riacho Topada, riacho do Manso e riacho Cajaí.

O rio Tejiptó possui uma área de 93 Km² de direção SW-E, servindo como divisor dos municípios de Recife e Jaboatão, com drenagem meandrica, passa pelos bairros de Tejiptó, Totó, Barro, Areias, Caçote, Imbiribeira e Vila do Ipsep. Desagua na Lagoa do Araçá, no bairro da Imbiribeira, zona sul do Recife.

5 GEOLOGIA

Aqui serão descritas sucintamente as unidades geológicas da área de estudo. Recife é geologicamente constituído pelas rochas do embasamento cristalino em sua porção oeste-noroeste e pelas rochas sedimentares sobrepostas, pertencentes às Bacias sedimentares costeiras de Pernambuco e da Paraíba (Fig.4), ambas separadas nessa região pela zona de cisalhamento de Pernambuco.

Figura 4. Mapa Geológico da Planície do Recife.



Fonte: Modificado de HIDROREC II (2002)

Embasamento Cristalino

Representado pelo maciço Pernambuco-Alagoas (Costa Filho, 1997), constituído por granitos, granodioritos e granitos pórfiros na porção a sul do Lineamento Pernambuco, na Bacia sedimentar de Pernambuco, e de gnaisses, xistos e migmatitos diversos na porção a norte do Lineamento Pernambuco na Bacia sedimentar da Paraíba. Também são encontrados cataclasitos numa faixa de direção leste-oeste que corresponde ao lineamento Pernambuco. Do ponto de vista hidrogeológico, essa unidade cristalina é classificada como péssimos reservatórios de água subterrânea, sendo consideradas como o substrato impermeável das rochas das bacias sedimentares costeiras (Hidrorec II, 2002).

Bacias sedimentares de Pernambuco e da Paraíba

A seguir será descrito um breve histórico das Bacias sedimentares de Pernambuco e da Paraíba e também uma descrição sucinta de cada uma de suas unidades, representadas na coluna lito-estratigráfica (Fig.6).

A **Bacia de Pernambuco**, assim como também a Bacia da Paraíba e outras bacias marginais do atlântico sul, tiveram suas origens relacionadas com a abertura do Oceano Atlântico Sul, que ocorreu a parti da fragmentação do continente Gondwana. A evolução deste processo de rifteamento resultou na formação de bacias de margem passiva, que atualmente representam os principais alvos exploratórios petrolíferos na margem Atlântica do Brasil (Correia Filho, 2014). A Bacia de Pernambuco, anteriormente denominada de Bacia sedimentar do Cabo, de idade Cretácea e do tipo *Rift*, ocupa toda faixa costeira sul do estado de Pernambuco, possui uma forma alongada na direção N40E, uma largura média de 10 km, na parte emersa e com espesso pacote sedimentar atingindo mais de 3000m (Costa Filho, 1997). Abrange as seguintes unidades lito-estratigráficas: Formação Cabo, Formação Estiva, Suíte Ipojuca, Formação Suape, Formação Algodoads e Formação Barreiras.

Formação Cabo

(Alheiros, 1987; Lima Filho, 1998; Cruz, 2002) descreveram a Formação Cabo composta por três faciologias distintas: proximal, mediana e distal. A fácies proximal seria composta por conglomerados polimíticos e polimodais, maciços, ou eventualmente acamadados, com intercalações arenosas. A fácies mediana que se interdigitaria ou capearia a fácies anterior e, por vezes, ocorreria diretamente sobre o embasamento, seria composta por

arenitos grossos a médios com níveis conglomeráticos descontínuos, de espessura métrica a dissimétricas; a fácies distal, seria formada por folhelhos intercalados com siltitos e arenitos médios a finos.

Formação Estiva

A Formação Estiva foi denominada por Oliveira & Leonardos (1943) e é composta por calcários recristalizados e calcários margosos, depositados em um ambiente de plataforma rasa. Vários autores sugerem que provavelmente esta unidade teria sido formada por mais de um pulso transgressivo (Lima Filho, 1998). A idade da Formação Estiva foi determinada por associações palinológicas que seriam relativas ao intervalo Cenomaniano - Turoniano (Muniz & Almeida 1988; Lima e Pedrão, 1994; Lima Filho, 1998).

Suíte Ipojuca

A Suíte Magmática Ipojuca apresenta um caráter bimodal (Sial, 1976), e é composta por basaltos, traqui-andesitos, traquitos, riolitos, e por uma ocorrência conhecida de álcali-feldspato granito (conhecida como Granito do Cabo de Santo Agostinho). O pulso magmático ocorrido na bacia teve seu principal pulso datado em torno de 102-105 m.a. (Nascimento, 2003). As rochas vulcânicas ocorrem de forma discordante (diques) na formação Cabo e de forma discordante (soleiras) e concordante na Formação Suape, esta é mencionada nos recentes trabalhos de (Barbosa, 2005; Maia, 2012, Maia et al., 2012), com base na divisão da Formação Cabo em duas formações distintas.

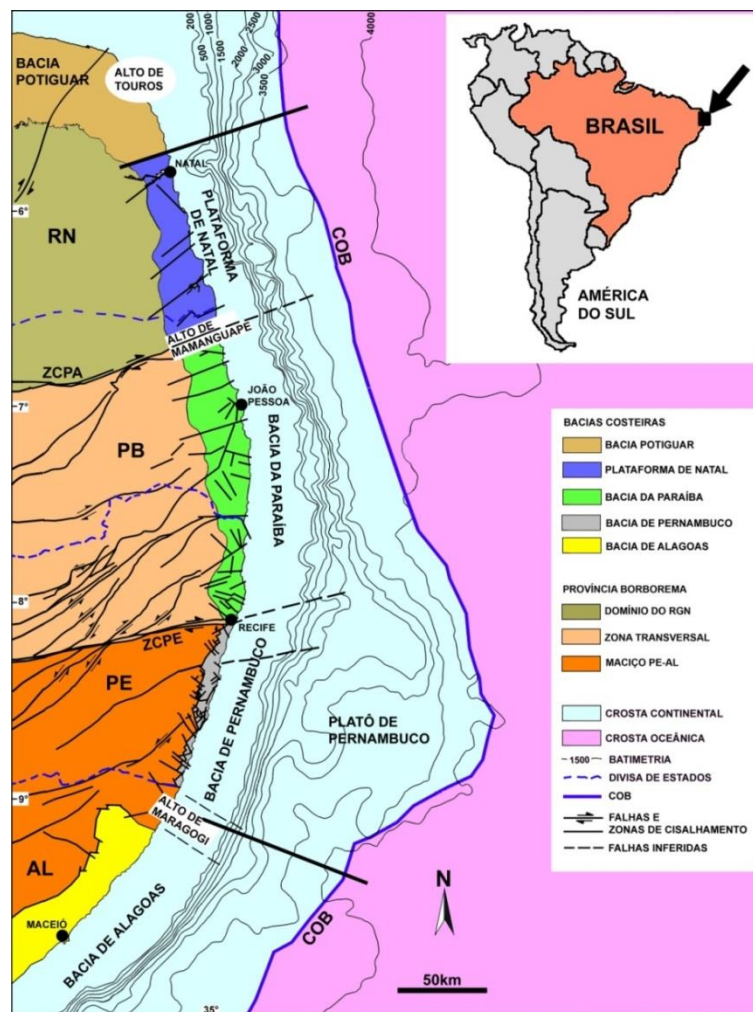
Formação Suape

A Formação Suape, de idade e o a meso-Albiana, representa a segunda fase rifte da bacia, e apresenta características que sugerem um domínio de sistemas fluviais, influenciado por clima possivelmente mais úmido, do que o que se passou para a Formação Cabo (Maia et al., 2012). A base da Formação Suape ainda guarda evidências de pulsos tectônicos marcados pela presença de conglomerados, que dominaram a sedimentação da primeira fase de rifteamento (Maia, 2012). A base da Formação Suape ainda guarda evidências de pulsos tectônicos marcados pela presença de conglomerados, que dominaram a sedimentação da primeira fase de rifteamento (Maia, 2012). Durante a deposição da Formação Suape ocorreu o magmatismo que deu origem a Suíte Magmática Ipojuca, o que proporcionou a intercalação de rochas sedimentares, vulcânicas (derrames) e piroclásticas.

Formação Algodóais

Segundo Lima Filho (1998) a Formação Algodóais recobre de forma discordante os estratos das Formações Cabo Superior, da Suíte Magmática Ipojuca e da Formação Estiva, e é composta por arenitos e conglomerados mono a polimíticos com fragmentos de rochas vulcânicas retrabalhadas (Lima Filho, 1998). A Formação Algodóais é capeada pela Formação Barreiras por uma discordância que é considerada por Lima Filho, (1998) como sendo um marco estratigráfico regional na faixa costeira.

Figura 5. Localização das Bacias Pernambuco e Paraíba e bacias adjacentes



Fonte: Santana (2014).

A **Bacia da Paraíba**, de idade Terciária, apresenta-se estruturalmente, como uma homoclinal, com o embasamento cristalino mergulhando suavemente para leste, constituindo uma faixa continental média em torno de 20 km ao longo de todo o litoral norte da Região

Metropolitana de Recife, estreitando-se quase que abruptamente nas proximidades do lineamento de Pernambuco, para assumir uma largura média de 8km (Costa Filho, 1997). Abrange as seguintes unidades lito-estratigráficas: Formação Beberibe, Formação Itamaracá, Formação Gramame, Formação Maria Farinha e Formação Barreiras. Lima Filho (1998) definiu que as bacias de Pernambuco e da Paraíba são duas faixas sedimentares com histórias deposicionais singulares e limitadas pela ZCPE (Zona de Cisalhamento de Pernambuco), abolindo assim o termo Sub-bacia Cabo definido por Mabesoone & Alheiros (1988; 1993). O referido autor propôs que a área a sul da ZCPE, até o Alto de Maragogi, limite com a Bacia de Alagoas, corresponderia a Bacia de Pernambuco (Fig.4). Já a bacia da Paraíba estar compreendida entre a ZCPE, nas proximidades da cidade de Recife, até o alto de Mamanguape, a norte da cidade de João Pessoa (Barbosa, 2007).

Formação Beberibe

O preenchimento sedimentar da faixa costeira da Bacia Paraíba, iniciou-se de forma tardia em relação a outras bacias sedimentares da margem continental brasileira. A sequência basal representada pela formação Beberibe é um importante sistema aquífero para Região Metropolitana do Recife, é composta por arenitos fluvio-lacustres continentais, cuja idade ainda é pouco estudada, sendo considerada Coniaciano?-Santoniano (Kegel, 1954; Beurlen, 1967a, 1967b; Mabesoone & Alheiros, 1988; Souza, 1998; Barbosa, 2004; Souza, 2006). Esta unidade apresenta depósitos areno-argilosos, arenitos médios a grossos, localmente conglomeráticos. Os depósitos podem se apresentar friáveis de coloração cinzenta a creme, e eventualmente bem litificados.

Formação Itamaracá

Esta unidade ocorre sobreposta aos arenitos da Formação Beberibe, e representa o registro de quando a Bacia Paraíba recebeu influência transicional, ou seja, depósitos com influência marinha (Correia Filho, 2014). A unidade é composta por arenitos calcíferos, carbonatos com siliciclastos e no topo da sequência, depósitos fosfáticos e dolomíticos, que em alguns trechos da bacia apresentam nível rico de fosfato, ou fosforita. O horizonte rico em fosfato, caracterizado por pico de raios gama em poços, ocorre ao longo de toda a Bacia (Barbosa, 2004).

Formação Gramame

A Formação Gramame é principalmente composta por calcários-margosos, calcários bioclásticos e margas, e sua idade seria Maastrichtiana (Beurlen, 1967a, 1967b; Tinoco, 1971; Muniz, 1993; Lima & Koutsoukos, 2002). Ocorre restritamente ao longo de uma faixa estreita e descontínua na porção leste da Bacia Paraíba, de Olinda para norte. Sua espessura máxima, detectada em poços, na Planície de Recife, não ultrapassa os 50m conquanto, para norte, sua espessura possa atingir mais de 100m (Hidrorec II, 2002). Estes carbonatos apresentam importância econômica, pois são minerados e empregados como matéria prima na fabricação de cimento, porém não tem importância alguma como reservatório de água subterrânea.

Formação Maria Farinha

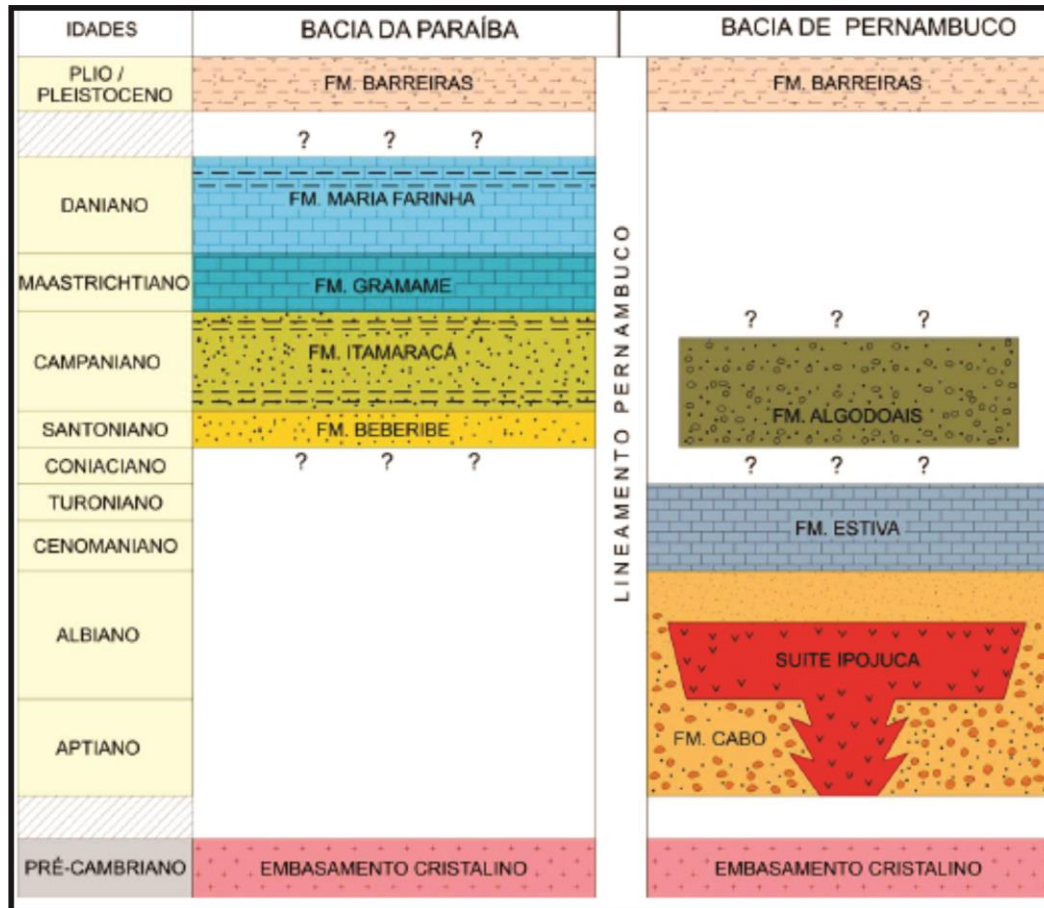
Acima da Formação Gramame, na faixa sul da bacia, entre a cidade de Recife e a Falha de Goiana ocorrem calcários de coloração cinza a amarelados, que representam a Formação Maria Farinha (Correia Filho, 2014). Beurlen (1967a), e posteriormente Mabesoone & Alheiros (1988), já haviam interpretado que os calcários e margas de idade paleocênica encontrados na faixa Recife- Goiana teriam sido depositados sob um regime regressivo, que afetou a bacia, e possivelmente teve seu climax no início do Daniano (Barbosa, 2004, 2007). De forma especial na exposição da Mina Poty, é possível perceber a intensificação do evento regressivo com a transição do ambiente carbonático para um sistema influenciado por siliciclastos, com a presença de quartzo detrítico (Barbosa, 2004, 2007). Essa formação tem também pouco valor como reservatório de água subterrânea, segundo dados do Hidrorec II (2002).

Formação Barreiras

A Formação Barreiras completa a coluna estratigráfica de ambas as bacias de Pernambuco e da Paraíba, ressaltando que esta formação é depositada sobre uma extensa faixa ao longo das bacias marginais brasileiras, do Pará ao Rio de Janeiro, e recobrindo de forma discordante, as sequências sedimentares mais antigas, bem como trechos do embasamento pré-cambriano, que formam as bordas adjacentes dessas bacias. Esta unidade estratigráfica é caracterizada por depósitos areno argilosos de idade plio-pleistocênica (Alheiros & Lima Filho, 1991), no qual está relacionada à existência de leques aluviais e sistemas fluviais, que possivelmente gradavam para sistemas deltaicos (Rossetti & Truckenbrodt 1989, Rossetti et al. 1990, Rossetti 2000, 2001, 2006a, b, Netto & Rossetti 2003, Rossetti & Santos Jr. 2004). Sua

variação faciológica compreende desde conglomerados até argilitos. Comumente apresenta estratificações cruzadas planares e acanaladas (Correia Filho, 2014).

Figura 6. Quadro Estratigráfico esquemático comparando as colunas das bacias da Paraíba e de Pernambuco, com suas unidades estratigráficas, separadas pela ZCPE.



Fonte: Maia (2012)

Cobertura Recente (Sedimentos Quaternários)

Os Sedimentos Recentes são constituídos por areias variadas, argilas, limos e vasas, de origem continental e/ou marinha, ocorrendo nos vales dos rios, ao longo das praias e em zonas de mangues (Correia, 2006). Esses sedimentos são particularmente desenvolvidos na Planície do Recife, onde receberam em superfície a designação de Sedimentos Indiferenciados, ao passo que em subsuperfície foram denominados por Costa et al (1994) de Aquífero Boa Viagem. Estes sedimentos sobrepõem-se aos sedimentos Cretáceos e Terciários das duas Bacias sedimentares ocorrentes na área pesquisada e possuem uma espessura média em torno 50 metros. Segundo Costa (1997), esses sedimentos recentes, embora possam constituir

localmente bons armazenadores de água subterrânea, a importância como aquífero é comprometida na Planície de Recife, em razão de sua vulnerabilidade por contaminação com águas salinizadas e/ou poluídas.

Quadro 1. Quadro esquemático mostrando os sedimentos recentes presentes na Região Metropolitana de Recife cuja área de pesquisa está inserida.

Tempos em milhões de anos (10 ⁶)	Períodos	Épocas/ Idades	Unidades		Litologias
0 0,003	Quaternário	Recente/ Holoceno	Formações quaternárias	Aluviões	Areias, siltes e argilas.
0,01				recifes	Arenitos com cimentação carbonática
				mangues	areias finas, siltes e argilas orgânicas com veg. típica.
				Depósitos flúvio-lagunares	areias, siltes e argilas orgânicas
				Depósitos de praias holocênicas	areias de praia com fragmento de conchas
0,1		Pleistoceno		Depósitos de praias pleistocênicas modif.	areias de praia com intercalações de camadas fluviais
	Depósitos de praias pleistocênicas		Areias de praia com cimentação por ácido húmico e Fe ₂ O ₃		

Fonte: Modificado de Alheiros (1998)

6 HIDROGEOLOGIA

Na área de estudo pode ser caracterizado seis aquíferos, a saber: Boa Viagem que recobre os Aquíferos Itamaracá, Barreiras e Beberibe na área centro norte da planície de Recife, o Aquífero Cabo na parte sul, e o fissural correspondente ao embasamento cristalino na área oeste.

As descrições a seguir destes aquíferos tiveram como base os dados do HIDROREC II e trabalhos de diversos autores e profissionais da área de Hidrogeologia.

Aquífero Beberibe

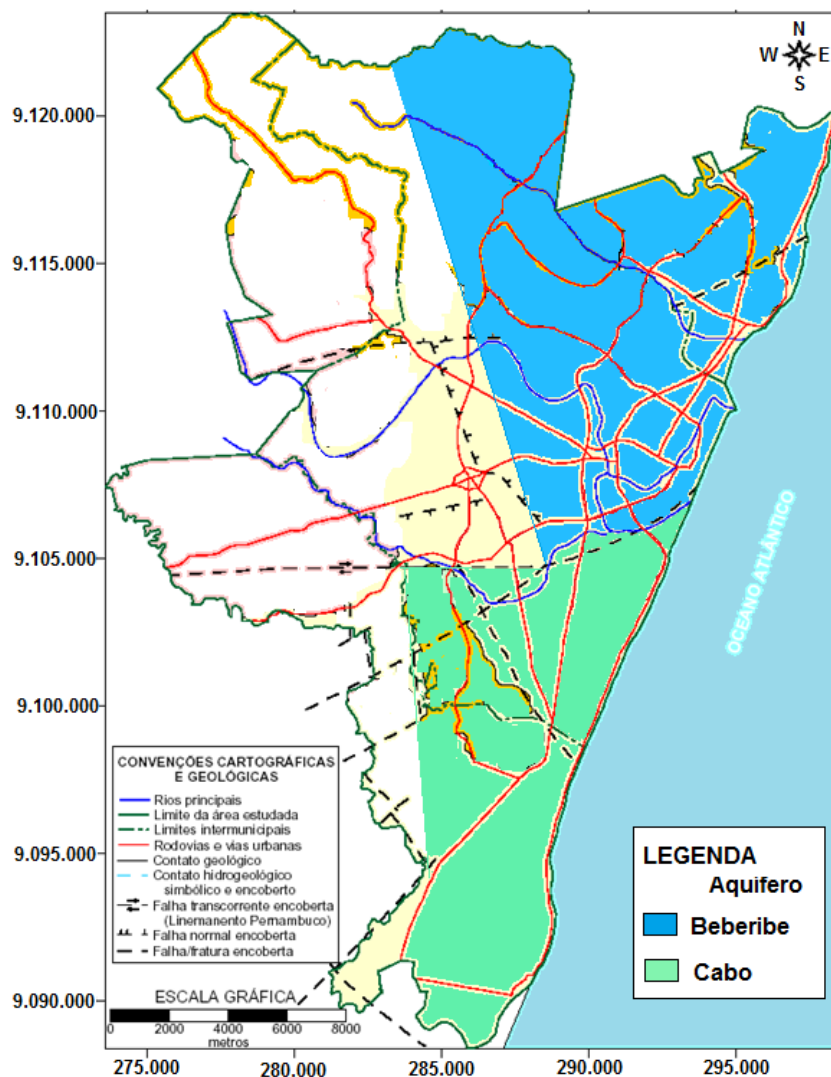
Esse aquífero ocorre na base da Bacia Paraíba, no Recife ocorre na maior parte da área na condição de confinado a semiconfinado (Fig.8), sob o pacote de sedimentos recentes denominado de Aquífero Boa Viagem e no vale do rio Beberibe chega a aflorar na superfície, ocorrendo como um aquífero livre. Na planície deltáica do Recife, o aquífero Beberibe se limita ao sul com o aquífero Cabo em função do falhamento transcorrente, lineamento Pernambuco, e a oeste com o falhamento normal que ocorre segundo a direção N-S, na altura do bairro de Engenho do Meio. Para norte esse aquífero se estende por toda a faixa costeira, ingressando e atravessando todo o estado da Paraíba. Na direção leste, o aquífero se estende na plataforma continental, por sob o Oceano Atlântico.

A presença de duas falhas paralelas com virgação para nordeste, que ocorrem na planície do Recife, possuem movimentos de afundamento escalonado, sempre com o bloco norte afundado, o que acarreta aumento da espessura do Aquífero Beberibe de sul para norte. Em função dessa característica de aumento de espessura de sul para norte e de oeste para leste, o aquífero Beberibe também apresenta uma diversificação de composição e, em consequência, da qualidade da água nele armazenada. Com efeito, nas zonas mais espessas, o aquífero é representado tanto pela fácies carbonática do topo da sequência, como pela fácies continental quartzosa, sem cimentação calcífera, enquanto nas zonas mais delgadas, ocorre apenas à fácies não carbonática. Segundo Costa *et al.* (2007) o aquífero Beberibe apresenta dois membros denominados de Beberibe Superior e Beberibe Inferior, ambos representados por arenitos, entretanto, o Beberibe Superior apresenta em seu topo arenitos calcíferos que passam a calcários ou calcarenitos numa transição para os calcários da Formação Gramame que ocorre em algumas áreas mais a leste. Os poços perfurados na zona mais superior e que

não penetram totalmente o aquífero, ficando restrito ao Beberibe Superior, possuem água com dureza elevada, em virtude da presença dos carbonatos.

Na região oriental do Recife, aonde os poços chegam a atingir profundidade de até 260m, ocorre inclusive um pacote de calcários da Formação Gramame, enquanto na zona centro-ocidental, não ocorre calcário e a água é de melhor qualidade. No Recife, no vale do Rio Beberibe, os poços da COMPESA apresentam uma vazão média de 55 m³/h.

Figura 7. Mapa hidrogeológico do domínio da Planície do Recife. Mostrando a distribuição dos Aquíferos Beberibe e Cabo



Fonte: Modificado de Costa *et al.* (2002).

Aquífero Cabo

O aquífero Cabo se estende desde o município de Ipojuca ao sul, até o lineamento Pernambuco, que passa na altura do bairro do Pina, com direção aproximadamente E-W, com virgiação para Nordeste nas proximidades da costa. Uma pequena área de afloramento do aquífero Cabo ocorre na região do Barro, a oeste de Estância, porém a maior parte do aquífero ocorre sob o pacote de sedimentos recentes que constitui o Aquífero Boa Viagem, com espessura média de 50m. A baixa permeabilidade do aquífero é consequência do cimento argiloso caulínico que conduz a classificação de “arenito arcoseano”. Além da presença do caulim como cimento do arenito, a formação é ainda caracterizada pela intercalação de camadas ou lentes siltico-argilosas, de coloração arroxeada a esverdeada. Ambas as características, cimentação e intercalação de argilas, podem ser muito bem vistas em corte de estrada, no percurso entre as cidades do Cabo e Ipojuca. A Formação Cabo possui muitas “fácies” granulométricas, indo desde o conglomerado polimítico da base, passando pelo arenito arcoseano e indo até camadas de argila. Essa variação faciológica ocorre tanto na vertical, como na horizontal e isso explica o fato do Aquífero Cabo se apresentar ora com maior permeabilidade, onde predomina a fácies arenosa e ora com menor permeabilidade, onde predomina a fácies siltico-argilosa. A exemplo dessa variação de características podem ser citados alguns poços perfurados no aquífero Cabo com elevadas e baixas vazões tais como, o poço da COMPESA na Av. Domingos Ferreira, em 1975, com 164 m³/h e os poços na maior parte de Boa Viagem, que possuem vazões inferiores a 5 m³/h, com elevados rebaixamentos de nível, chegando em alguns locais, como na imediação do Shopping Center Boa Viagem, a não ultrapassar os 2 m³/h, segundo os dados do Hidrorec II.

A alternância de camadas siltico-argilosas atua de maneira mais regional, como ocorrem ao longo da Av. Boa Viagem e Rua dos Navegantes, onde uma camada argilosa costuma ser encontrado em profundidades entre 120 e 130m, o que vem se constituindo num horizonte guia para se encontrar águas menos salinizadas.

Aquífero Itamaracá

O Aquífero Itamaracá é caracterizado, sobretudo, pela presença de uma sequência clástica calcífera. É constituído principalmente de arenitos de cor predominantemente cinza, mais raramente creme-amarelada. A granulação varia de muito fina a grosseira, com raros

níveis conglomeráticos. O caráter argiloso ou siltico da matriz pode estar presente em diversos níveis. O cimento calcífero é uma constante, com teor de carbonato aumentando da base para o topo. Na base da sequência, podem ocorrer horizontes geralmente pouco espessos de folhelho cinza, muitas vezes arenosos ou silticos, calcíferos, que, com muita frequência, constituem o limite entre os membros superior e inferior da formação. O limite entre o aquífero Itamaracá e o aquífero Beberibe, pelo que se pôde verificar através dos perfis de diversos poços perfurados no Domínio da Planície do Recife, é marcado por uma camada de folhelho não muito espessa ou interdigitado. As águas desse aquífero são do tipo bicarbonatada cálcica (Lopes, 2012).

Aquífero Barreiras

O Aquífero Barreiras no município de Recife é constituído por conglomerados de cor creme a vermelha, com seixos e grânulos subangulosos de quartzo e blocos de argila retrabalhada, em corpos tabulares a lenticulares de até 1m de espessura. Nesses conglomerados intercalam-se camadas siltico-argilosas menos esparsas, determinando algumas vezes estratificações paralelas. Em algumas porções da área encontramos depósitos de granulometria variada, apresentando cascalhos e areias grossas a finas, geralmente feldspáticas e de cores claras. Esses depósitos mostram intercalações com sedimentos finos sob a forma de camadas e lentes de argila/silte. As principais características hidrodinâmicas deste aquífero segundo Monteiro et al., 2002, estão resumidas no quadro abaixo:

Quadro 2. Quadro com as Características hidrodinâmicas do Aquífero Barreiras.

Bairro		T (m ² /s)	K (m/s)	b _s (m)	i	q (m/s)	μ _e	v (m/s)
Ibura		4,64 x 10 ⁻³	5,52 x 10 ⁻⁵	84	1,28 x 10 ⁻³ (1m/0,775 km)	7,10 x 10 ⁻⁸	5 %	1,42 x 10 ⁻⁶
Jordão	Alto	3,28 x 10 ⁻³	5,29 x 10 ⁻⁵	62	3,00 x 10 ⁻³ (1m/0,325 km)	1,58 x 10 ⁻⁷	5 %	3,16 x 10 ⁻⁶
	Baixo			73	8,00 x 10 ⁻³ (1m/0,125 km)	4,23 x 10 ⁻⁷	5 %	8,46 x 10 ⁻⁶
Média		3,96 x 10 ⁻³	5,40 x 10 ⁻⁵					

Fonte: Monteiro (2002).

Observação:

- 1 – T = transmissividade (T),
- 2 – K = condutividade hidráulica
- 3 – b_s = espessura saturada,
- 4 – i = gradiente hidráulico,
- 5 – q = descarga específica,
- 6 – μ_e = porosidade efetiva e
- 7 – v = velocidade média linear.

Aquífero Boa Viagem

Esse aquífero foi designado com este nome por Costa et al (1994), para caracterizar o conjunto de depósitos recentes, incluindo aluviões, coluviões, terraços fluviais, terraços marinhos, areias de praia, paleo-mangues, paleo-canais, paleo-vales e dunas antigas, todos localizados na região deltáica do conjunto de rios Capibaribe, Beberibe e Tejipió, formando a atual planície do Recife. Por se tratar de um depósito poligênico, a sua constituição granulométrica é intensamente variada, desde a fração argilosa até a fração de areia grossa, com níveis de cascalho, sobretudo nos terraços fluviais. Esses sedimentos de granulometria variada não apresentam praticamente nenhuma estratificação e as “camadas” são irregulares, lenticulares, interdigitadas ou em forma de bolsões. Essa característica morfológica do depósito é muito prejudicial sob o ponto de vista hidrogeológico, pois dificulta e até impede uma avaliação mais precisa do comportamento de fluxo descendente (drenança), assim como, uma avaliação dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero. Esse aquífero ocorre encobrindo outros aquíferos mais antigos ou diretamente sobre o embasamento cristalino, na região mais oriental do Recife, correspondendo a Cidade Universitária, Caxangá e Várzea.

Apesar de sua espessura reduzida com uma média de 30m, chegando ao máximo de 70m em paleo-canais ou paleo-vales, as vazões obtidas desse aquífero são, em geral, superiores às obtidas do aquífero Cabo, com 28% dos poços apresentando vazões superiores a 20 m³/h, segundo dados do Hidrorec II. Além da exploração por poços profundos (superiores a 20m), esse aquífero é intensamente captado por poços rasos, possuindo, somente no Recife, mais de 8.000 poços, entre poço tubular e poço amazonas.

Aquífero Fissural

A ocorrência principal desse aquífero é na região ocidental do Recife, na Várzea, no Curado e nos morros de Tejipió, de onde se estende para oeste por quase todo o município de Jaboatão dos Guararapes. A presença de regolito capeando as rochas nesse domínio é decorrente do clima mais chuvoso e úmido, que favorece o intemperismo químico da rocha, provocando a sua decomposição com a consequente formação do manto de intemperismo, cuja espessura chega até 30m. Esse manto eluvial é constituído principalmente por argilas, que possuem boa porosidade e baixa permeabilidade, dificultando a recarga do aquífero fissural sotoposto. Segundo os dados do Hidrorec II, na região do Curado, existem muitos poços tubulares e até mesmo amazonas, captando água do regolito ou do aquífero fissural inalterado, a maiores profundidades. Como será visto adiante, os poços com menos de 30m de profundidade possuem, nesse regolito, vazões inferiores a $10 \text{ m}^3/\text{h}$, todavia, aqueles mais profundos, chegam a possuir vazão da ordem de $30 \text{ m}^3/\text{h}$. Considerando os valores fornecidos por esse aquífero na região nordeste em clima semiárido, onde as vazões médias não ultrapassam os $2 \text{ m}^3/\text{h}$, poder-se-ia pensar que a situação aqui no Recife é totalmente anômala, entretanto, vazões mais elevadas no aquífero fissural são comuns em regiões de climas mais tropicais, com precipitações pluviométricas elevadas, como é o caso da região litorânea no Recife.

7 HIDROGEOQUÍMICA

O estudo hidrogeoquímico tem por finalidade identificar e quantificar as principais propriedades e constituintes das águas subterrâneas, procurando estabelecer uma relação com o meio físico. A qualidade da água é definida por sua composição e pelo conhecimento dos efeitos que podem causar os seus constituintes. O conjunto de todos os elementos que a compõe, permite estabelecer padrões de qualidade da água, classificando-a, assim, de acordo com seus limites estudados e seus usos (consumo humano, dessedentação animal, irrigação, industrial, piscicultura, aquicultura, recreação e urbano).

Os processos e fatores que influem na evolução da qualidade das águas subterrâneas podem ser intrínsecos e extrínsecos ao aquífero. A princípio, a água subterrânea tende a aumentar concentrações de substâncias dissolvidas à medida que se mover lentamente nos diferentes aquíferos. No entanto muitos outros fatores interferem, tais como: clima, composição da água de recarga, tempo de contato água/meio físico, litologias atravessadas, além da contaminação causada pelo homem.

Neste capítulo serão abordados os constituintes iônicos (cátions e ânions), as propriedades físico-químicas e as relações iônicas (índices hidrogeoquímicos) mais representativas relativas às análises de laboratórios que foram utilizadas nesta dissertação de mestrado para a caracterização hidrogeoquímica, hidrogeológica das águas subterrâneas do município de Recife.

7.1 CONSTITUINTES IÔNICOS

Os principais conteúdos iônicos das águas subterrâneas são os chamados constituintes maiores e menores. As suas características principais estão descritas, de forma resumida, a seguir:

Cálcio (Ca^{+2}) - Os sais de cálcio possuem moderada a elevada solubilidade, sendo muito comum precipitar como carbonato de cálcio (CaCO_3). É um dos principais constituintes da água e o principal responsável pela dureza. Apresenta-se, em geral, sob a forma de bicarbonato e raramente como carbonato. A solubilidade do bicarbonato de cálcio (CaCO_3) aumenta em presença de sais de Na^+ e K^+ .

O cálcio é o elemento mais abundante existente na maioria das águas naturais e rochas, ocorrem principalmente nos minerais de calcita, aragonita e dolomita, em rochas calcárias,

sendo o plagioclásio e a apatita as maiores fontes de cálcio das rochas ígneas para as águas subterrâneas.

Nas águas meteóricas os teores de cálcio variam no intervalo 0,1 a 10 mg/L e nas águas do oceano Atlântico os valores oscilam em torno de 480 mg/L. Nas águas subterrâneas, os teores de cálcio variam, em geral, entre 10 e 100 mg/L.

Magnésio (Mg^{+2}) - o magnésio apresenta propriedades similares ao cálcio, porém é mais solúvel e mais difícil de precipitar. Quando em solução, tem a tendência de nela permanecer, daí o enriquecimento dos seus sais nas águas dos oceanos.

Os minerais fontes de magnésio mais frequentes são: magnesita, biotita, granada, hornblenda, clorita, alanita e olivina. O magnésio ocorre principalmente em rochas carbonatadas. Juntamente com o cálcio é o responsável pela dureza e produz gosto salobro nas águas. Ocorre sob a forma geral de bicarbonato.

As águas meteóricas apresentam teores de magnésio entre 0,4 e 1,6 mg/L e a água do oceano Atlântico têm valor médio de aproximadamente 1.410 mg/L. As águas subterrâneas apresentam teores mais frequentes de magnésio no intervalo de 1 a 40 mg/L.

Sódio (Na^{+}) - o sódio é um dos metais alcalinos mais importantes e abundantes nas águas subterrâneas. Sua procedência, assim como ocorrência, é muito variável, é muito solúvel e raramente chega a saturar. Sua Distribuição ampla nos minerais fontes devido à baixa estabilidade química dos minerais que o contém, solubilidade elevada e difícil precipitação da maioria dos seus compostos químicos em solução, são características desse elemento que está presente em todas as águas.

As águas naturais com elevados teores de Na^{+} , geralmente possuem elevadas concentrações de F^{-} e ocorre principalmente sob a forma de cloretos nas águas subterrâneas seus minerais fontes em rochas ígneas são essencialmente os feldspatos plagioclásios, feldspatóides (nefelina e sodalita), anfibólios e piroxênios. Há, em geral, um aumento gradativo dos teores de sódio das águas subterrâneas a partir da zona de recarga do aquífero em direção às suas porções mais confinadas ou dos seus exutórios. A concentração do sódio varia, em geral, entre 0,1 e 100 mg/L nas águas subterrâneas e entre 1 e 150 mg/L em águas naturais doces, atingindo 11.100 mg/L nas águas do oceano Atlântico, em média, e podendo chegar a 100.000 mg/L nas salmouras naturais. As águas com concentrações elevadas de sódio são prejudiciais às plantas por reduzir a permeabilidade do solo, sendo especialmente nocivas quando as concentrações de Ca e Mg são baixas.

Ressaltando que concentrações acima dos 100 mg/L podem contribuir para que ocorra corrosão nos materiais.

Potássio (K^+) - O potássio é o sexto colocado na escala de abundância dos metais nas rochas ígneas. Ocorre em pequenas quantidades ou está ausente nas águas subterrâneas, devido à sua participação intensa em processos de troca iônica, além da facilidade de ser adsorvido pelos minerais de argila e, ainda, de seus sais serem bastante utilizados pelos vegetais. Ocorre principalmente nos feldspatos potássicos, micas e leucitas, em rochas ígneas e metamórficas. Altas concentrações de potássio podem ser encontradas nos minerais de carnalita e silvinita, em evaporitos.

Nas águas meteóricas os teores de potássio estão geralmente no intervalo de 0,1 a 4 mg/L, enquanto as águas do oceano Atlântico, apresentam, em média, 400 mg/L. Os teores de potássio nas águas subterrâneas são inferiores a 10 mg/L, sendo mais frequentes valores entre 1 e 5 mg/L.

Ferro (Fe) – o ferro ocorre geralmente associado ao manganês e confere à água um sabor amargo adstringente (causa a contração das mucosas da boca) e coloração amarelada e turva, decorrente da precipitação do mesmo quando oxidado. O ferro pode estar presente com baixos teores ($< 0,3$ mg/L) em quase todas as águas e ocorre sob diversas formas químicas e, frequentemente, aparece associado ao manganês. Geralmente o ferro analisado é expresso em termos de ferro total em mg/L. Ocorre principalmente sob a forma de Fe^{+3} (hidróxido férrico) podendo também ocorrer como Fe^{+2} (hidróxido ferroso). O ferro, no estado ferroso, é instável na presença do oxigênio do ar, mudando para o estado férrico. Quando a água que o contém é exposta ao oxigênio do ar, os íons ferrosos oxidam-se tornando férricos. Usualmente o ferro também ocorre como bicarbonato de ferro $Fe(HCO_3)_2$ e cloreto de ferro ($FeCl_2$) ou, em porções moderadas, sob a forma de sulfato de ferro ($FeSO_4$), quando então, é responsável pela formação de água ácida de natureza muito corrosiva (Menezes, 1992; Costa, 1997).

Os minerais ferromagnesianos, componentes dos diversos litotipos ou de solos lateríticos, tais como piroxênios, olivinas e biotita são os principais minerais portadores de ferro. Nos arenitos e nos folhelhos, os óxidos, os carbonatos e os hidróxidos de ferro constituem muitas vezes o material de cimentação. Alto teor de ferro na água subterrânea pode estar ligado à ocorrência de ferro-bactérias ou mesmo à corrosão do revestimento ou filtro do poço, já que concentrações acima de 0,5mg/L de ferro, certamente causarão estes problemas.

Cloreto (Cl^-) - o cloreto, em geral, é muito solúvel, altamente deliquescente (isto é, possui uma forte tendência a absorver água e a se liquefazer) e muito estável em solução, logo, dificilmente precipita. Não oxida e nem se reduz em águas naturais, sendo o principal ânion existente no oceano e em algumas fontes minerais. A alta solubilidade e o lento movimento das águas no aquífero vão provocando aumentos gradativos e constantes dos teores de cloretos nas águas subterrâneas na direção do fluxo.

Apesar das rochas ígneas serem pobres em cloretos, estes é proveniente da lixiviação de minerais ferromagnesianos tanto nestas rochas como, principalmente, em rochas evaporíticas tal como o sal-gema. Os cloretos estão presente em todas as águas naturais, com valores situados entre 10 e 250 mg/L nas águas doces. As águas subterrâneas apresentam geralmente teores de cloretos inferiores a 100 mg/L. Já nas águas dos mares, eles são abundantes com valores entre 18.000 e 21.000 mg/L, podendo chegar a 220.000 mg/L nas salmouras naturais (saturação). O cloreto é um bom indicador de poluição para aterros sanitários e lixões. Altas quantidades de cloretos são tóxicas para a maioria dos vegetais, inibindo o seu crescimento.

Sulfato (SO_4^{2-}) - são sais altamente deliquescentes e moderadamente solúveis a muito solúveis, exceto os sulfatos de estrôncio (SrSO_4) e os de bário (BaSO_4). Em água doce o sulfato de cálcio (CaSO_4) satura a 1.500 mg/L e pode chegar até 7.200 mg/L em águas salinas. Em meio redutor, com abundante matéria orgânica, pode sofrer uma redução bacteriana a S ou S^{2-} , porém em geral é estável. Origina-se da oxidação do enxofre presente nas rochas e da lixiviação de compostos sulfatados (gipsita e anidrita).

As águas subterrâneas apresentam geralmente teores de sulfatos inferiores a 100 mg/L, principalmente na forma de SO_4^{2-} e HSO_4^- . Segundo Hem (1985) e Santos (2008), este último predomina nas águas muito ácidas ($\text{pH} < 2$), devido à dissociação incompleta do ácido sulfúrico. As águas subterrâneas com excesso de sulfato (> 400 mg/L) podem causar efeitos laxativos (Batalha & Parlato, 1977) e na presença de íons de magnésio e sódio pode provocar distúrbios gastrintestinais. O sulfato ferroso é de alta periculosidade se consumido na forma pura, podendo ser fatal se ingerido por crianças em quantidades superiores a 7,8 g. O sulfato aumenta a salinidade dos solos, prejudicando o desenvolvimento dos vegetais.

Bicarbonato (HCO_3^-) - este íon não oxida nem se reduz em águas naturais, porém pode precipitar com muita facilidade como bicarbonato de cálcio (CaCO_3). Varia entre 50 e 350 mg/L em águas doces, podendo chegar a 800 mg/L. A água do mar possui teores da ordem de 100 mg/L. É benéfico aos vegetais, principalmente na forma de bicarbonato de cálcio.

Carbonato (CO_3^{2-}) - a quantidade relativa de íons de carbonato é função do pH e do conteúdo de gás carbônico. O óxido de cálcio, reagindo com água, produz o hidróxido: $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$, o hidróxido pode reagir com CO_2 , produzindo o carbonato: $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$. Segundo Logan (1965), o carbonato somente excederá o bicarbonato quando o pH for igual ou superior a 10. Em águas naturais doces, a quantidade de carbonato será muito baixa em comparação com a de bicarbonato. O carbonato é indesejável em águas para a irrigação, pois sua presença na forma de carbonato de sódio é altamente tóxica para os vegetais.

Nitrato (NO_3^-) – os íons de nitrato, apesar de serem constituintes comuns, raramente ocorrem em grandes quantidades, em águas naturais não poluídas, representado em estágio final de oxidação de materiais orgânicos e, se estiver presente em quantidades excessivas, indicará contaminação (Costa, 1997). O nitrato é muito solúvel e dificilmente precipita. Em meios redutores, tem a tendência de ser estável, podendo passar a N_2 ou NH_4^+ e muito raramente para NO_3^- , em meio oxidante. É muito móvel e altamente deliquescente (alta solubilidade), podendo ser removido das camadas superiores do solo para a água (Bower, 1978). Teores acima de 5 mg/L podem ser indicativos de contaminação da água subterrânea por atividade antrópicas, tais como: esgotos, fossas sépticas, depósitos de lixo, cemitérios, adubos nitrogenados, resíduos de animais etc. A oxidação do amoníaco (NH_3) para nitrito (NO_2^-) ocorre com a participação de bactérias especializadas do grupo nitrosomonas. A oxidação do nitrito para nitrato (NO_3^-) requer a participação de bactérias autótrofas do grupo nitrobactérias. A presença de nitrito (NO_2^-) na água subterrânea é um indicativo de poluição recente. As águas subterrâneas apresentam geralmente teores de nitrato no intervalo de 0,1 a 10 mg/L, porém, em águas poluídas, os teores podem chegar a 1.000 mg/L.

7.2 PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Aqui serão discutidas algumas das características físico-química da água, conforme os dados físico-químicos das águas dos poços cedidos para este trabalho, sendo então as características físicas como, odor, sabor, sólidos em suspensão, assim como as propriedades químicas, Eh (potencial de oxirredução), Resíduo Seco, Demanda de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio, Demanda Bioquímica de Oxigênio e Carbono Orgânico Total, não serão discutidos na presente dissertação.

Temperatura – a temperatura da água é importante por acelerar reações químicas e reduzir a solubilidade dos gases, bem como, acentuar o sabor e o odor das águas naturais.

A amplitude térmica anual das águas subterrâneas em geral é baixa (de 1 a 2 °C) e independe da temperatura atmosférica, a não ser nos aquíferos freáticos pouco profundos, onde a temperatura é um pouco superior à da superfície. Em profundidade, depende do grau geotérmico (1 °C / 30 m em média), podendo sofrer maiores elevações provocadas por gêiser, vulcanismo e radioatividade. A medida de temperatura deve ser feita no local de amostragem com um termômetro apropriado. É preciso assegurar-se de que a amostra representa a temperatura da água do aquífero e não da água do interior do poço, tubulação, depósito e reservatórios.

Cor - a cor é o resultado das substâncias dissolvidas ou em suspensão na água, provenientes principalmente da lixiviação da matéria orgânica. A água, em geral, apresenta uma coloração azulada quando pura e em grandes espessuras, arroxeadada quando rica em ferro, negra quando rica em manganês e amarelada quando rica em ácidos húmicos. Geralmente para ser potável, uma água não deve apresentar nenhuma cor de considerável intensidade.

Turbidez - é a dificuldade da água para transmitir a luz, provocada pelos sólidos em suspensão (silte, argila, matéria orgânica, micro-organismos e partículas inorgânicas) que sujam a água, dificultando a passagem da luz.

Condutividade Elétrica (CE) - é a medida da facilidade de uma água conduzir a corrente elétrica, estando diretamente ligada com o teor de sais dissolvidos sob a forma de íons. A unidade de medida da condutância é o Mho, inverso do Ohm, unidade de resistência elétrica. Os valores da condutividade para as águas subterrâneas são referidos ao milionésimo do Mho/cm, ou seja, microMho/cm ($\mu\text{Mho/cm}$ a uma temperatura padrão de 25 °C). A condutividade aumenta com a elevação da temperatura, por isso é necessário anotar a temperatura de referência da água amostrada. A condutividade elétrica da água é proporcional à quantidade de sais dissolvidos nas águas. Mede-se com o condutivímetro portátil no local de amostragem, com erro menor que 5%.

Resistividade - A resistividade é inversamente proporcional à concentração de íons presentes na água; portanto, quanto maior for a quantidade de íons presentes, menor será a resistividade (isto é, a água terá menos resistência à passagem da corrente elétrica) e maior será a condutividade (ou seja, a água conduzirá melhor a corrente elétrica). A resistividade é medida em megohm.cm ($\text{M}\Omega.\text{cm}$) e é mais adequada para água com poucos íons dissolvidos. Ambas as medidas de CE e Resistividade são recíprocas; assim, a 25° C, uma água com

resistividade = 18,2 M Ω .cm tem condutividade = 0,055 μ S/cm - esta é a água de mais elevada pureza que se consegue obter com a tecnologia atual (Breda, 2001).

As medições de resistividade não detectam contaminantes orgânicos nem contaminantes não ionizados e também não propiciam informação precisa sobre contaminantes iônicos ao nível de mg/L (ppm). Portanto, é necessário fazer em separado as determinações dos teores dos contaminantes tais como carbono orgânico total, sílica e contagem de colônias de bactérias, além de pH, dureza e alcalinidades

Salinidade - é o total de sais dissolvidos em um determinado volume de água. É medida por meio da condutividade elétrica, densidade e índice de refração da água.

Potencial Hidrogênico (pH) - é a medida da concentração hidrogeniônica da água ou solução, sendo controlado pelas reações químicas e pelo equilíbrio entre os íons presentes. O pH é essencialmente uma função do gás carbônico dissolvido e da alcalinidade da água. Varia de 1 a 14, sendo neutro com o valor 7, ácido com valores inferiores a 7 e alcalino ou básico com valores superiores a 7. A escala dos valores do pH é tal que a mudança de uma unidade significa um aumento de 10 vezes na concentração do íon hidrogênio. A molécula de água (H₂O) tem uma leve tendência de romper-se em dois íons do mesmo modo que os sais (NaCl, Ca(HCO₃)₂, CaSO₄) dissolvidos na água. Tendo a água a estrutura H.OH, quando se ioniza, divide-se em cátion H⁺ e ânion OH⁻, chamado de íon hidroxila ou oxidrila. A maioria das águas subterrâneas tem pH entre 5,5 e 8,5. Em casos excepcionais pode variar entre 3 e 11.

Sólidos Totais Dissolvidos (STD) - é o peso total dos constituintes minerais presentes na água, por unidade de volume. Representa a concentração de todo o material dissolvido na água, seja ou não volátil. Comumente os sólidos totais dissolvidos são um pouco superior ao resíduo seco, em função do HCO₃⁻ (bicarbonato), que em altas temperaturas (> 100 °C) se decompõe em parte como CO₃⁻² e em parte como CO₂, que se volatiliza e evapora da amostra. Na maioria das águas subterrâneas naturais, a condutividade elétrica da água multiplicada por um fator, que varia entre 0,55 e 0,75, gera uma boa estimativa dos sólidos totais dissolvidos na água. Para as águas salinas, o fator é comumente maior que 0,75, porém para as águas ácidas pode ser menor que 0,55. O valor de STD nas águas doce varia de 50 a 1.500 mg/L.

Dureza - é definida como o poder de consumo de sabão por determinada área ou a capacidade da água neutralizar o sabão pelo efeito do cálcio, magnésio ou outros elementos como Fe, Mn, Cu, Ba, etc. Em geral usa-se o teor de cálcio e magnésio de uma água, expresso em teores de carbonato de cálcio, para definir a dureza. A dureza pode ser expressa como dureza temporária, dureza permanente e dureza total. A dureza temporária ou dureza de

carbonatos é causada pelos íons de cálcio e de magnésio que se combina com o bicarbonato e o carbonato, podendo ser eliminada com a ebulição da água. A dureza permanente ou dureza de não carbonatos (cloretos e sulfatos) é a dureza que persiste após a fervura (ebulição) da água. É produzida pelos íons de cálcio e de magnésio que se combina com os íons de sulfato, cloreto, nitrato e outros. A dureza total é a soma da dureza temporária com a dureza permanente. É simples separar a dureza de carbonatos e a de não carbonatos, se a alcalinidade e a dureza tiverem sido determinadas, pois a alcalinidade mede a dureza de carbonatos. A porção da dureza que excede a alcalinidade é a de não carbonatos.

Atualmente os valores de dureza são expressos em miligrama por litro (mg/l) ou miliequivalente por litro (meq/L) da concentração em CaCO_3 .

Tabela 1. Tabela com a classificação das águas segundo a dureza em mg/L de CaCO_3

TIPO	TEOR DE CaCO_3 (mg/l)
Branda	< 50
Pouco Dura	50-100
Dura	100-200
Muito Dura	> 200

Fonte: Custodio & Llamas (1983).

Alcalinidade - é definida como a capacidade de uma água neutralizar ácidos, sendo uma consequência direta da presença e/ou ausência de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos. A alcalinidade é medida por sucessivas titulações com ácido sulfúrico ou clorídrico, usando como indicador principal, a fenolftaleína, e indicador secundário, o metilorange. Estas titulações podem ser expressas como *alcalinidade total* (soma dos íons de carbonato, bicarbonato e hidróxido) ou como *alcalinidade parcial* originada pelos constituintes individuais. Em função do pH, podem estar presentes na água os seguintes tipos de alcalinidade:

Tabela 2. Tabela com o tipo de alcalinidade em função do pH.

pH	Alcalinidade
11 a 9,4	Alcalinidade de Hidróxidos e Carbonatos
9,4 a 8,3	Alcalinidade de Carbonatos e Bicarbonatos
8,3 a 4,6	Alcalinidade de

	Bicarbonatos
4,6 a 3,0	Ácidos Minerais

Fonte: Santos (2008).

7.3 RELAÇÕES IÔNICAS (ÍNDICES HIDROGEOQUÍMICOS)

As razões iônicas são relações entre os íons dissolvidos em água. Estas relações podem indicar certo relacionamento com o litotipo do qual a água se origina, indicar a ação de fenômenos modificadores ou indicar uma característica específica da água considerada. É comum designar estas razões de índices hidrogeoquímicos, onde todos os valores são expressos em meq/L, esta unidade é substituída neste trabalho com o símbolo do **r**. Algumas dessas relações foram utilizadas neste trabalho com base no livro de CUSTÓDIO & LLAMAS, descrita sucintamente a seguir.

Razão rMg^{+2}/rCa^{+2} – nas águas continentais, esta razão varia frequentemente entre 0,3 e 1,5. Os valores próximos a um indicam uma provável influência de terrenos dolomíticos ou com serpentina e valores superiores a 1 sugerem, em geral, relações com litotipos ricos em silicatos magnesianos, como gabros e basaltos. A água do mar tem razão Mg^{+2}/Ca^{+2} em torno de 5 e, por isso, as águas que circulam em litologias de origem marinha ou que tenham sofrido água do mar tem também esta razão elevada. O aumento do conteúdo de cloretos e da razão Mg^{+2}/Ca^{+2} pode ser um bom indício de contaminação por água de origem marinha.

Razão $rCl/rHCO_3^-$ - é especialmente útil na caracterização da intrusão marinha já que em águas continentais tem valor entre 0,1 e 5 e na água do mar varia entre 20 e 50. Se o aumento de cloretos é devido à concentração de sais em zonas de recarga, a relação cresce muito menos para igual aumento de cloretos que por intrusão marinha (Costa, 1997).

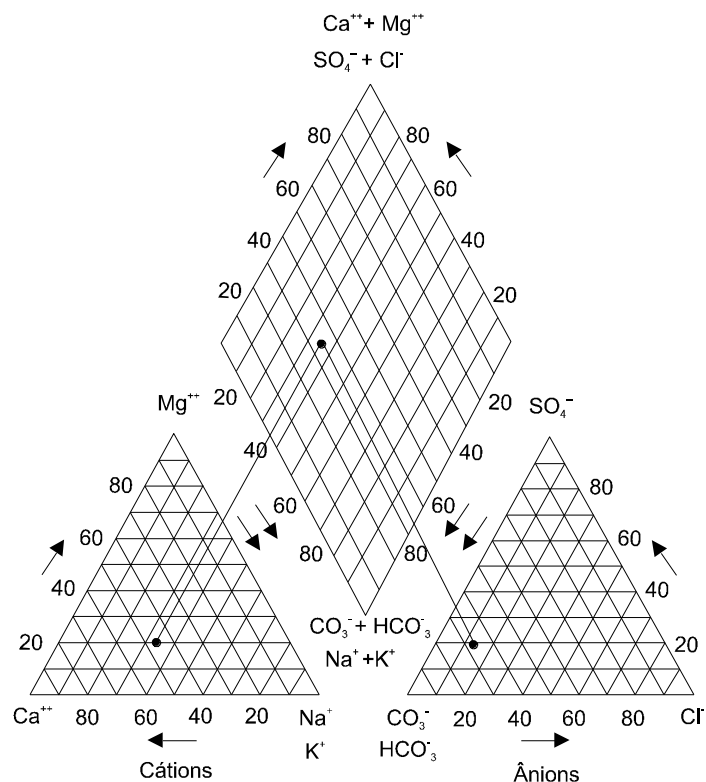
7.4 CLASSIFICAÇÃO DA ÁGUA PELOS ÍONS DOMINANTES

A Classificação Iônica serve para identificar a água com relação aos íons dominantes, tanto de ânions como de cátions. Os íons são dominantes quando sua concentração ultrapassa 50% da soma em miliequivalentes de todos os íons monovalentes. Se os íons tem valores menores ou iguais a 50% da soma em miliequivalentes de todos os íons monovalentes, então a água é denominada de acordo com os ânions e cátions mais abundantes.

A diferença de solubilidade das espécies iônicas é responsável pela evolução química das águas com a profundidade. À medida que se infiltram nas formações geológicas, as águas tendem a apresentar a seguinte evolução: *bicarbonatadas* \Rightarrow *sulfatadas* \Rightarrow *cloretadas*. A classificação pelos íons dominantes, de análises físico-químicas de águas subterrâneas, é frequentemente visualizada no diagrama triangular de Piper.

O diagrama de Piper é utilizado quando se trabalha com grande número de análises químicas de água, servindo para classificar e comparar os distintos grupos de águas quanto aos íons dominantes em: cloretada, sódica, carbonatada, magnesiana etc. Para plotar no diagrama, transforma-se o valor de cada íon expresso em meq/l em percentagem dos totais de ânions e de cátions, separadamente (Fig.8).

Figura 8. Diagrama de Piper



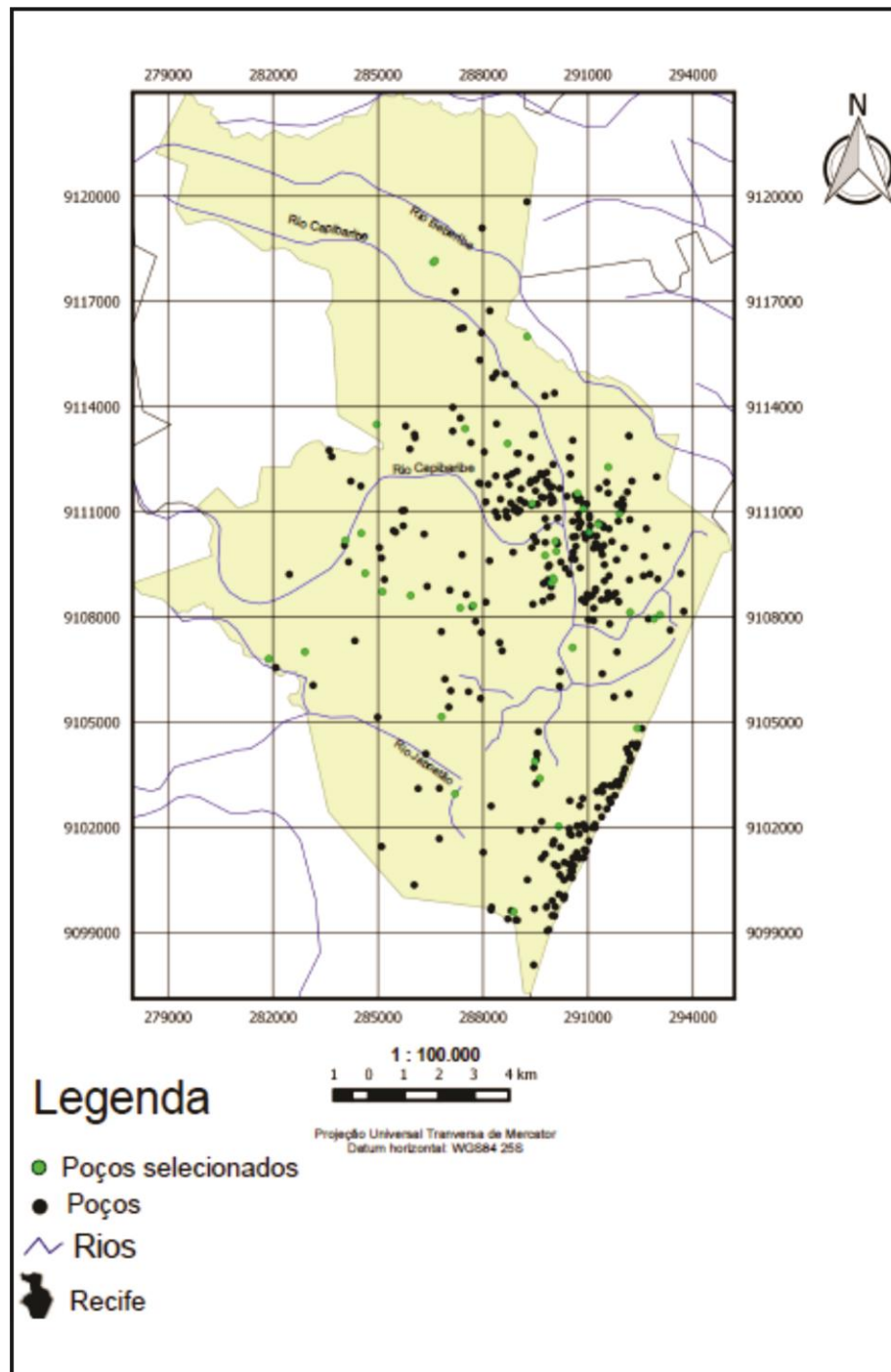
Fonte: Santos (2008)

8 RESULTADOS E DISCURSÕES

Neste capítulo iremos discutir os resultados e os tratamentos dos dados hidrogeoquímicos selecionados de acordo com os critérios estabelecidos neste trabalho. Primeiramente foram selecionados 448 dados de poços do total de 905 levantados em toda a pesquisa, muitos desses dados foram descartados por falta de algumas informações necessárias ao desenvolvimento do trabalho, algumas delas seriam a coordenada geográfica ausente nos poços catalogados e também análises físico-químicas praticamente incompletas. Foi elaborado um mapa contendo a localização dos 448 poços para uma melhor visualização da distribuição espacial deles no município de Recife (Fig.9).

Uma nova filtragem nos dados descartou outros poços sem informações a cerca da profundidade e perfis estratigráfico, mesmo os poços que continham análise química com o erro calculado até 10% de confiabilidade não foram adensados como caracterização da área de pesquisa, por falta das informações supramencionadas. Com isso dos 448 poços, somente 40 foram selecionados para a caracterização e evolução hidroquímica das águas subterrâneas de Recife, pois foram os únicos que atendiam os pré-requisitos para o desenvolvimento e as devidas interpretações dos dados. Esses poços somaram 54 análises físico-químicas, isso porque alguns deles continham mais de uma análise em períodos distintos. Embora não foi possível uma maior dimensão no número de poços para uma análise mais detalhada na grande região do Recife, o tratamento dos dados possibilitou a caracterização dos principais aquíferos intrínsecos na área de estudo.

Figura 9. Mapa de distribuição dos poços pesquisados em Recife.



8.1 ELEMENTOS QUÍMICOS MAIORES NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS ESTUDADAS

Nas águas subterrâneas dos aquíferos estudados foram elaborados gráficos de concentração dos principais cátions e ânions presentes nessas águas, são eles: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} . De acordo com os gráficos é possível observar o comportamento desses elementos ao longo do tempo estudado, ocorrendo períodos de maior ou menor concentração dos seus níveis na água. Concentrações anômalas foram verificadas em alguns dados, mais comumente este fenômeno em análises da década de 70 e início dos anos 80.

Alguns poços mencionados no desenvolvimento deste capítulo encontram-se nos anexos deste trabalho, com seus respectivos perfis litológicos e suas localizações geográficas.

Dentre o valor médio encontrado na concentração de Ca^{2+} em cada aquífero, o Beberibe é o que apresentou o menor resultado: 17 mg/L de Ca^{2+} , seguido em ordem crescente pelo Aquífero Cabo e Boa Viagem, este último com valor médio de 56 mg/L de Ca^{2+} . O intervalo de variação deste elemento no sistema de aquíferos foi de 0,8 a 68 mg/L, porém valores maiores que o intervalo mencionado foi observado nos dados dos poços PR14 do Aquífero Beberibe e do PR15 do Aquífero Boa Viagem nos quais a concentração é de 218 e 508 mg/L respectivamente (Fig.10-A).

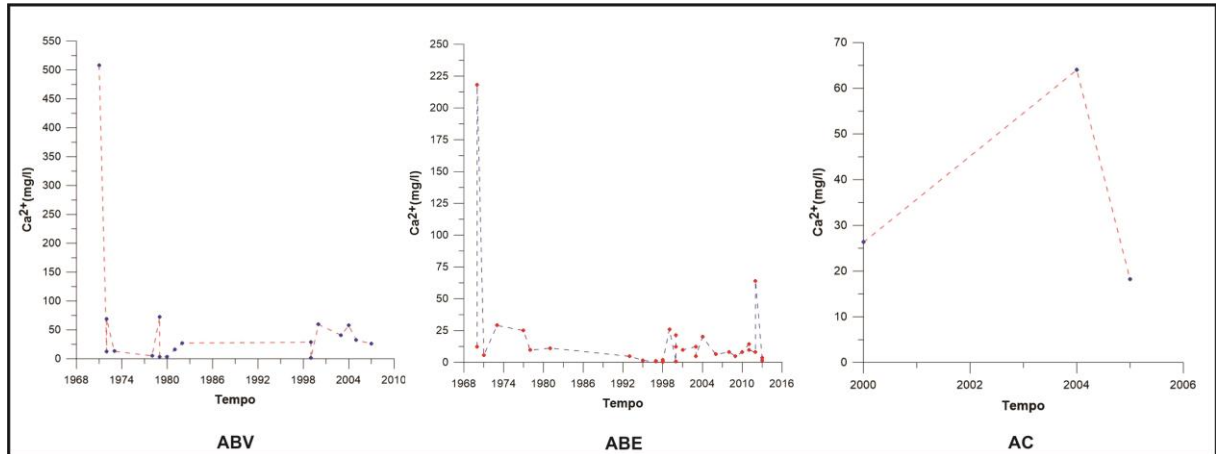
A concentração de Mg^{2+} também foi menor no Aquífero Beberibe (Fig.10-B), tendo um valor médio de 13,22 mg/L, assim também, o Aquífero Boa viagem com o maior valor médio na concentração de Mg^{2+} entre os aquíferos, sendo de 53,41 mg/L e aquífero cabo com valor médio intermediário de 18,04 mg/L.

Resultados anômalos na concentração de Na^+ (Fig.10-C) é observado nas análises dos poços: PR14, PR15 e PR24 (Aquífero Boa Viagem), com concentração de 1440 mg/L, 1625 mg/L e 1304 mg/L de Na^+ , estes valores são bem a cima do valor máximo permitido (VMP) pela Portaria MS N° 2914, para padrões organolépticos, no caso o sódio de 200 mg/L. O Valor médio em cada aquífero foi maior no Aquífero Boa Viagem com 247 mg/L de Na^+ , seguido pelo Aquífero Cabo e Beberibe, ambos com 88,23 mg/L e 75,47 mg/L de Na^+ respectivamente. No poço PR5 do aquífero cabo o valor do Na^+ diminuiu entre os anos de 2000 a 2005, passando de 108,90 para 75 mg/L de Na^+ .

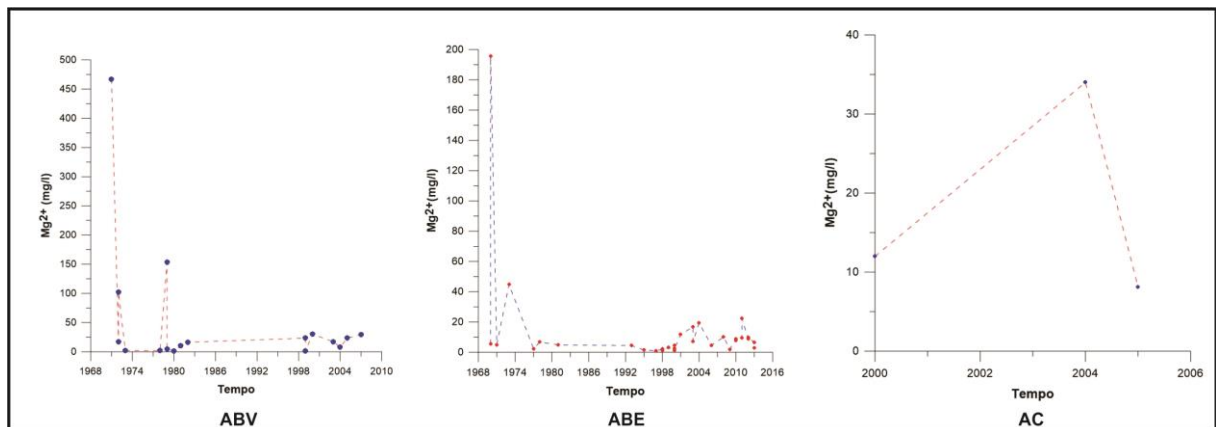
Em relação ao cátion K^+ águas subterrâneas dos aquíferos apresentaram valores médios de 23,81 mg/L, 15,30 mg/L, 12,92 mg/L de K^+ nos respectivos Aquíferos Boa Viagem, Cabo

e Beberibe. Valores a cima dos 100 mg/l de K^+ (Fig.10-D) é observado nos poços PR14 e PR24, com 102 e 112 mg/L de K^+ respectivamente.

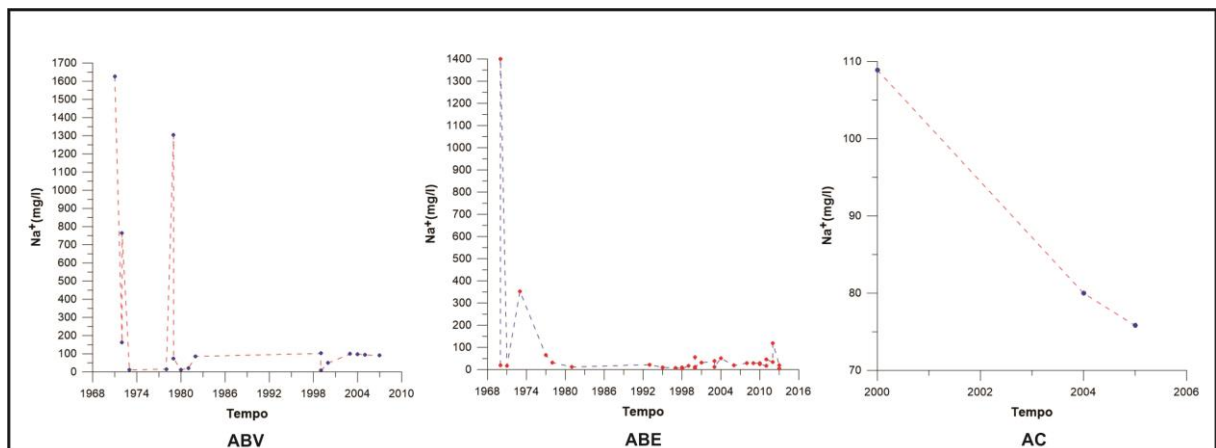
Figura 10. Gráficos com as concentrações dos principais cátions constituintes nas águas subterrâneas. **(A)** Ca^{2+} . **(B)** Mg^{2+} . **(C)** Na^+ e **(D)** K^+ . ABV (Aqüífero Boa Viagem); ABE (Aqüífero Beberibe); AC (Aqüífero Cabo).



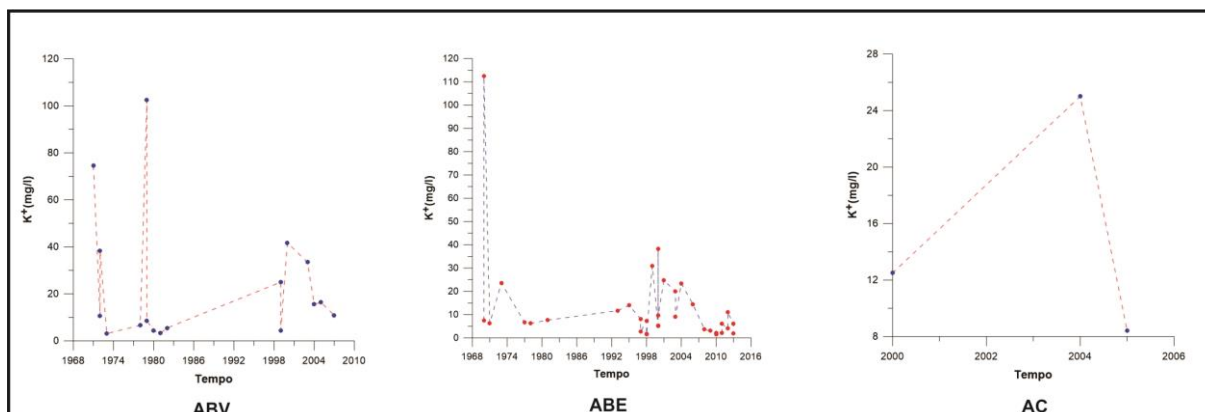
(A)



(B)



(C)



(D)

A respeito da concentração Cl^- há resultados atípicos para água subterrânea. Nos poços PR14, PR15, PR18 e PR24 foram observados valores anômalos (Fig.11-A), também, bem a cima do valor máximo permitido (VMP) para consumo humano, segundo a resolução do CONAMA/2008, e a Portaria MS Nº 2914, no caso VMP de 250 mg/L de Cl^- , as análises de cloretos dos poços mencionados mostram concentrações de 2750, 4350, 1485 e 1500 mg/L de Cl^- respectivamente.

No poço PR21, assim como, nos poços PR3 e PR5 constam de análises duplicatas, onde é possível observar o comportamento desse ânion localmente em períodos distintos, no caso, o PR21 houve um aumento na concentração entre os anos de 2003 e 2004, passando de 109,3 mg/L para 137,9 mg/L de Cl^- , no PR3 a concentração variou de 110 a 120 mg/L entre os anos de 1999 e 2005 e no PR5 o Cl^- diminuiu entre os anos de 2004 e 2005 (216- 162 mg/L).

O valor médio de Cl^- no Aquífero Beberibe é de 131,7 mg/L, 115 mg/L no Aquífero Boa Viagem e 178 mg/L no Aquífero Cabo.

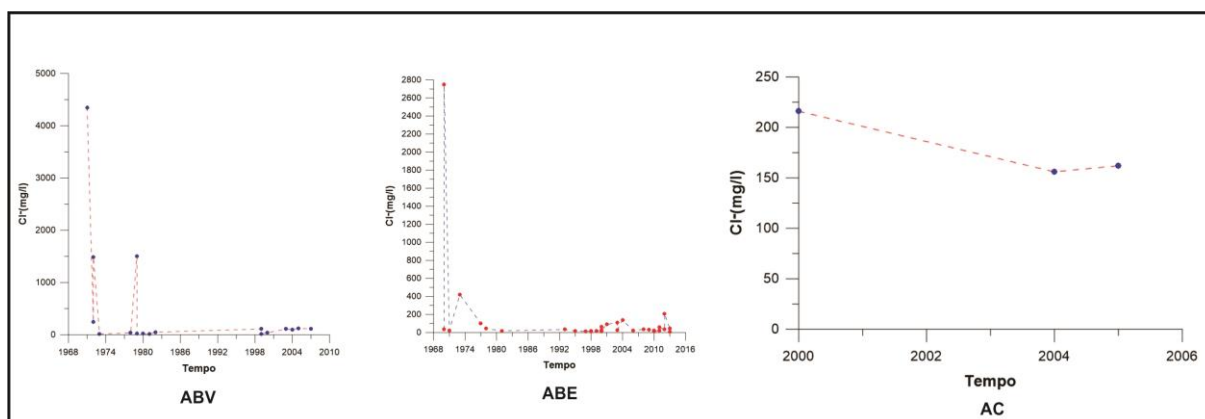
O SO_4^- também apresenta em algumas análises não recentes valores bem acima do permitido pelas legislações já mencionadas (250 mg/L) e são correspondentes aos poços: PR14 e PR15, com 317,13 mg/L e 445,90 mg/L de sulfato respectivamente. O valor médio em cada aquífero é de 22 mg/L nos aquíferos Beberibe e Cabo, e de 73,47 mg/L no Aquífero Boa Viagem.

Como citado anteriormente no capítulo 3 desta obra, houve a complementação dos dados de HCO_3^- e CO_3^- , através das fórmulas de Logan (1965), baseadas na alcalinidade total e no pH da água subterrânea. Foram complementados 39 dados de HCO_3^- e de CO_3^- das 54 análises selecionadas.

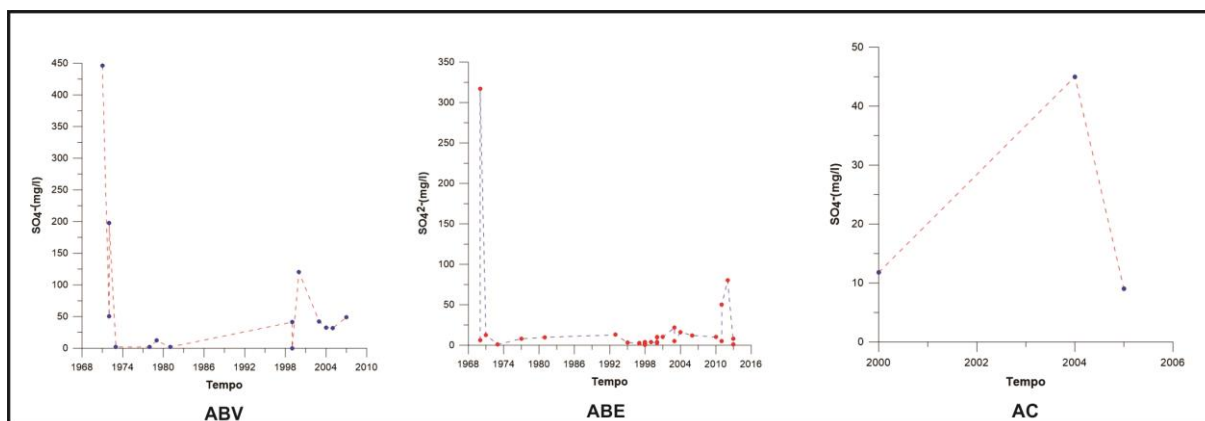
No aquífero Beberibe o valor médio na concentração de HCO_3^- é de 64,86 mg/L, nas análises dos poços PR10, PR14, PR39 e PR40 o nível de concentração varia de 100 a 470 mg/L de HCO_3^- (Fig.11-C). O Aquífero Boa Viagem a maior parte dos dados complementados, obtiveram concentrações bem a cima dos 100 mg/L de HCO_3^- , no poço PR24 é observado um resultado anômalo de 2229,86 mg/L de HCO_3^- , o valor médio de HCO_3^- neste aquífero é de 289,74 mg/L. No Aquífero Cabo o valor médio é de 101,81 mg/L de HCO_3^- .

Já a concentração de CO_3^{2-} foi menos acentuada, variando de 0,01 a 2,89 mg/L no Aquífero Beberibe (Fig.11-D), no Aquífero Boa Viagem foi um pouco mais acentuada, variando de 0,01 a 16,30 mg/L, este último valor é no poço PR24, onde a água subterrânea teve um pH básico de 8,20. No Aquífero Cabo o resultado nos dados foi inferior aos aquíferos supracitados, variando num intervalo de 0,001 a 1,58 mg/L de CO_3^{2-} .

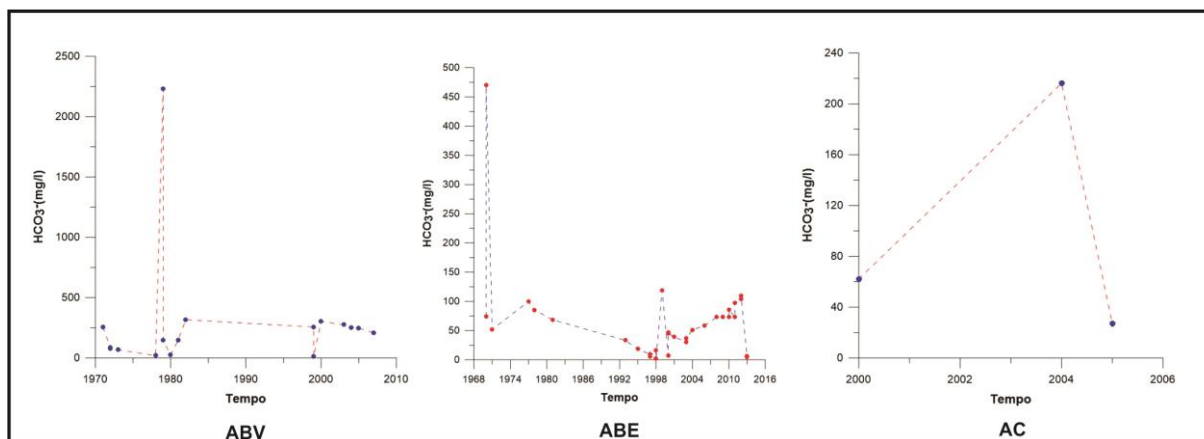
Figura 11. Gráficos com as concentrações dos principais ânions constituintes nas águas subterrâneas. (A) Cl^- . (B) SO_4^{2-} . (C) HCO_3^- e (D) CO_3^{2-} .



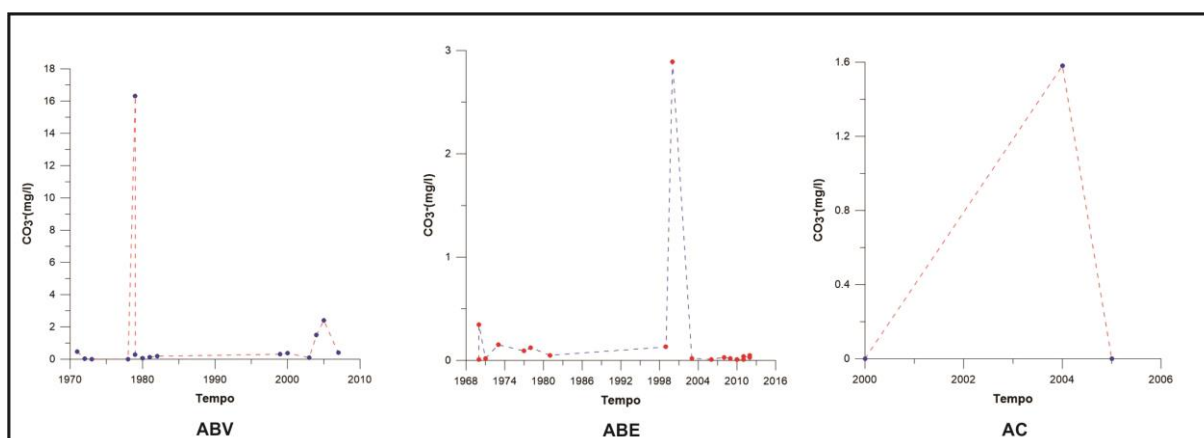
(A)



(B)



(C)



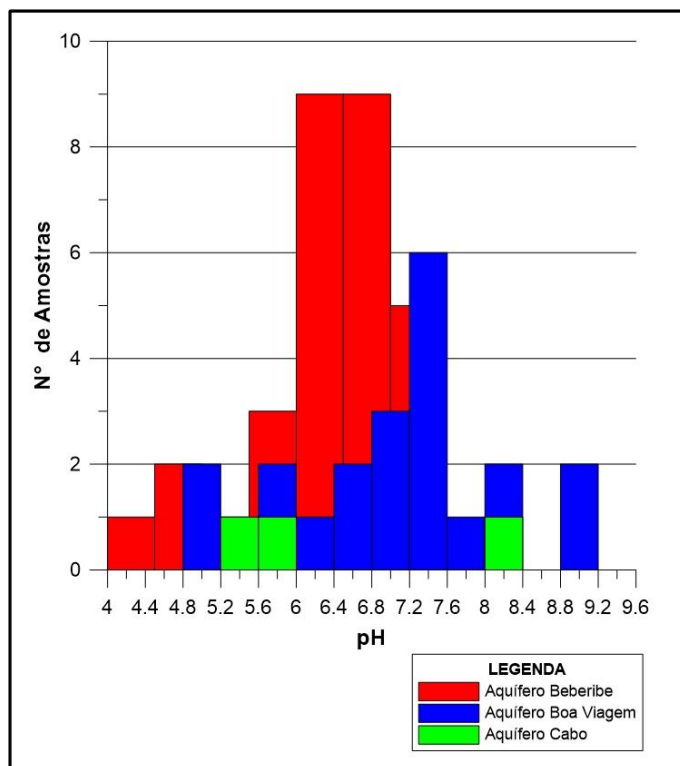
(D)

8.2 CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA

Neste item serão abordados os resultados a cerca dos parâmetros físico-químicos: pH, condutividade elétrica, resistividade, sólidos totais dissolvidos, dureza e alcalinidade, das águas subterrâneas dos aquíferos estudados de acordos com suas fichas de dados selecionadas para a caracterização hidroquímica. Foram elaborados gráficos e histogramas para melhor representar o agrupamento dos dados para suas devidas interpretações.

Acerca da análise com os dados de pH o gráfico de histograma de frequência (Fig.12), mostra que os Aquíferos Beberibe e Cabo tenderam para águas com caráter mais ácido, o valor médio do pH em ambos aquíferos coincidiu em 6,43 aproximadamente, enquanto que as águas do Aquífero Boa Viagem oscilou da neutralidade para um caráter mais básico, de acordo com o valor médio de 7,13, esse resultado inferi que estas águas são mais alcalinas do que as águas dos demais aquíferos estudados.

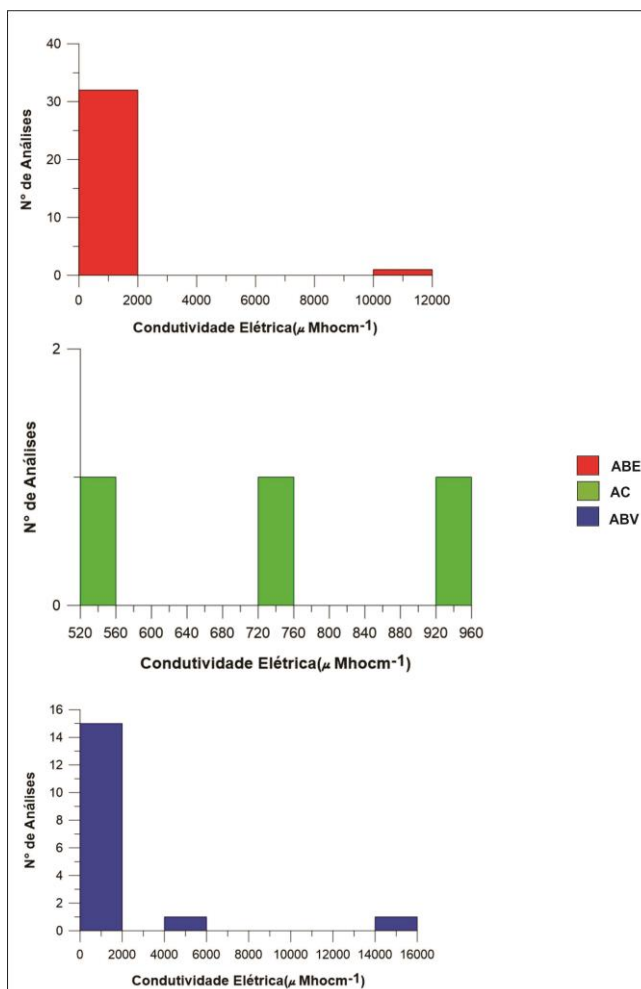
Figura 12. Histograma de frequência com as concentrações de pH.



Com os dados correspondentes a condutividade elétrica (CE) observou pelo histograma (Fig.13) que tanto o Aquífero Beberibe como o Aquífero Boa Viagem apresentaram concentrações dominantes entre o intervalo de 50 a 2000 μMhcm^{-1} , o valor médio de CE foi menor no Beberibe com 591,32 μMhcm^{-1} , intermediário no aquífero Cabo com 744 μMhcm^{-1} e maior no aquífero boa viagem com 1398,56 μMhcm^{-1} . Estes resultados médios evidenciam que dentre os aquíferos estudados, o Aquífero Beberibe apresentou águas com menor teor de sais dissolvidos na forma de íons.

Outro indício de águas menos ionizada no Aquífero Beberibe, nesse caso, em relação ao aquífero Boa Viagem, em que foi observado em algumas análises com informações a respeito do parâmetro da resistividade, que corresponde as águas subterrâneas dos seguintes poços: PR13, PR14, PR16 e PR28, do Aquífero Beberibe, estes com valor médio de resistividade de 4.315 $\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$ e no Aquífero Boa Viagem os poços PR15, PR17, PR18, PR26 e PR27 com valor médio de resistividade de 1.680,6 $\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$.

Figura 13. Histograma de frequência com as concentrações de condutividade elétrica.



Com relação aos sólidos totais dissolvidos (STD) foram complementadas inicialmente algumas informações ausentes deste parâmetro. O tratamento se deu pela equação da reta ($STD = (fator) \times (CE) + n^\circ$) entre os dados já existentes de STD x CE (Fig.14) das análises. De acordo com o cálculo da equação da reta foi possível encontrar os fatores que serviram para estimar os STD ausentes nos dados dos aquíferos, sendo o fator 0,53 para os aquíferos Beberibe e Boa Viagem e o fator 0,71 para o aquífero Cabo.

A distribuição de STD em cada aquífero é representada no gráfico de concentração versus o tempo (Fig.15), é notório no gráfico que a concentração de STD está predominantemente (92,5%) no intervalo de classificação de águas doces: Até 1500 mg/L. Enquanto os demais dados à concentração de STD indicam níveis que dão indícios de águas ligeiramente a moderadamente salobras. Estes altos níveis consta nas análises dos poços:

PR14 (Aquífero Beberibe), com valor de 5758 mg/L, e PR15, PR18 e PR24 (Aquífero Boa Viagem) com teores de 8216, 2928 e 4188 mg/L respectivamente.

Figura 14 Gráfico de correlação linear entre as concentrações de sólidos totais dissolvidos e Condutividade elétrica. Coef. C: Coeficiente de Correlação.

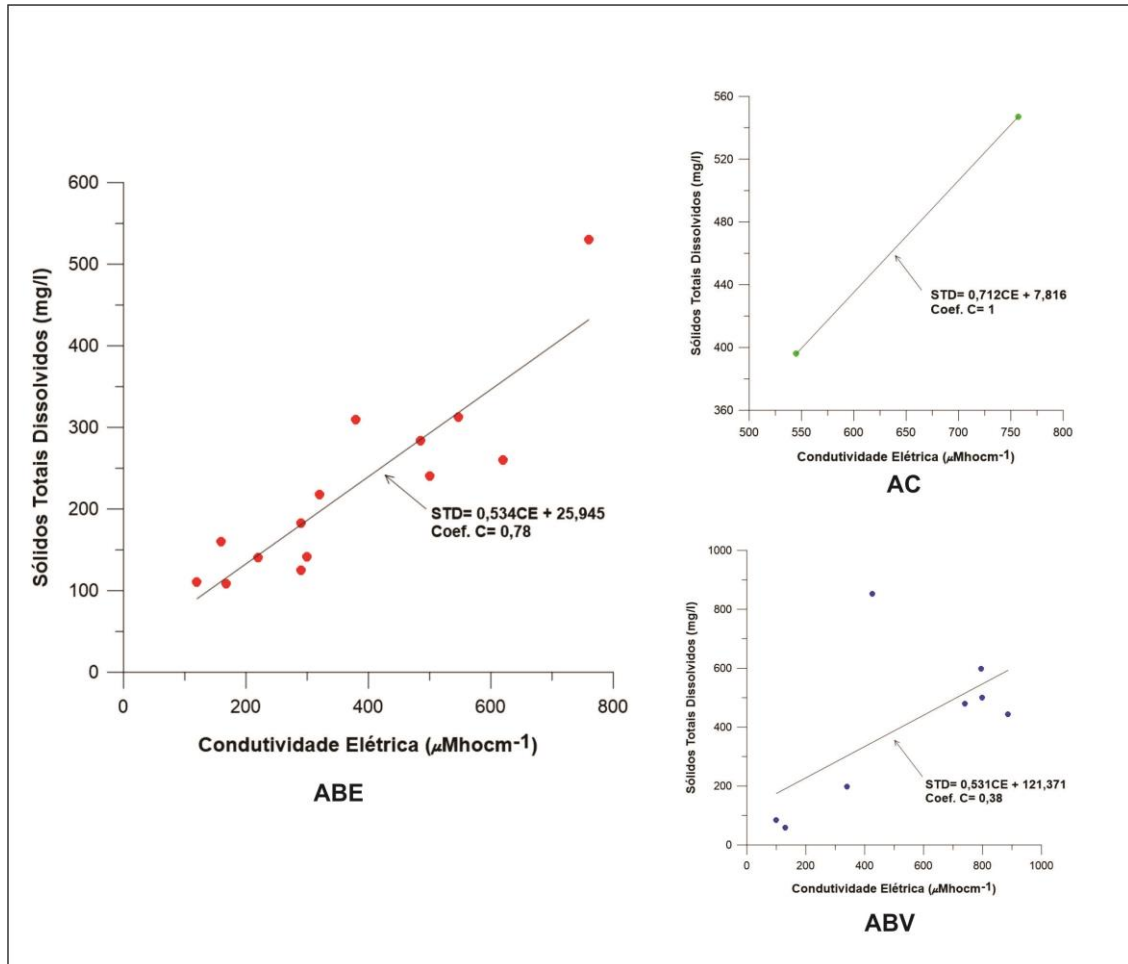
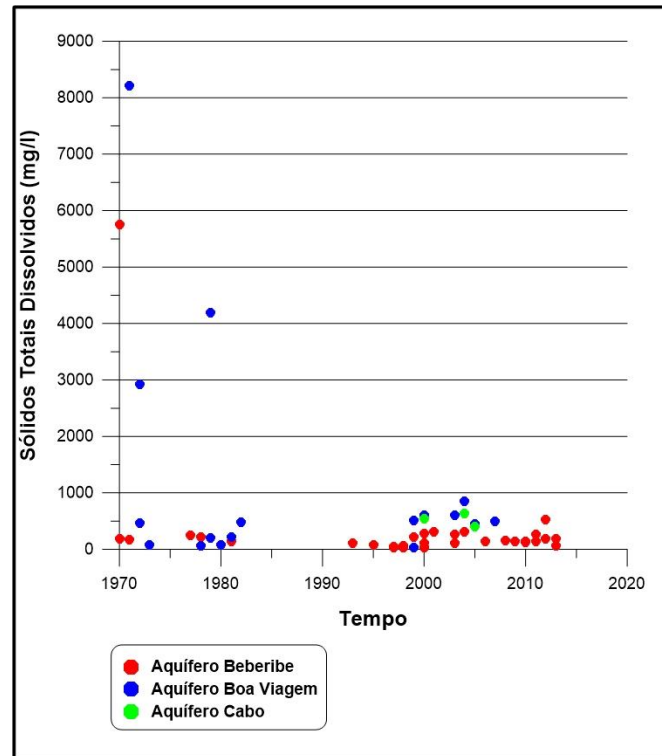
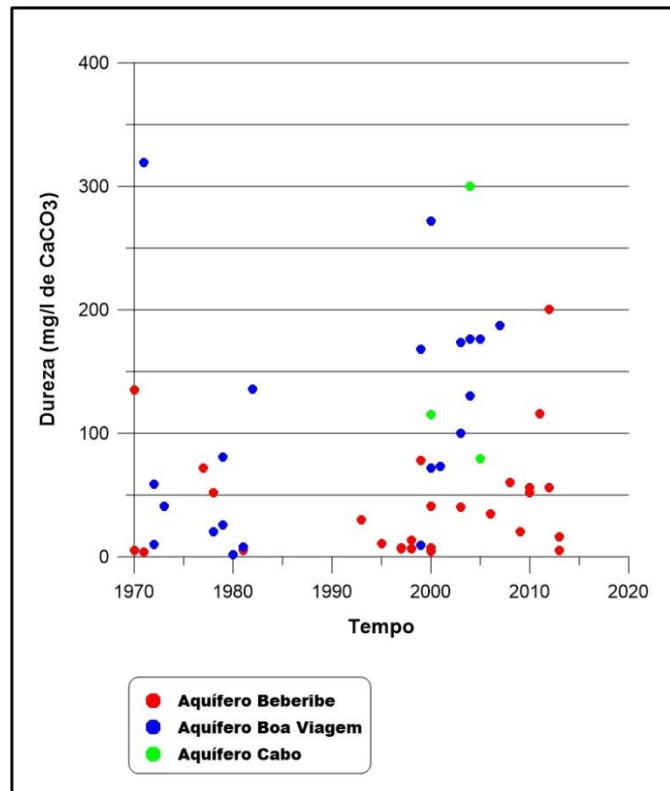


Figura 15. Gráfico com as concentrações de sólidos totais dissolvidos (STD).



Em relação à dureza das águas subterrâneas os valores médios foi o seguinte em cada aquífero: 40,68 mg/L de CaCO_3 no Aquífero Beberibe, 106,61 mg/L de CaCO_3 no Aquífero Boa Viagem e 164,7 mg/L de CaCO_3 no Aquífero Cabo. Esses resultados dão um caráter de águas brandas, no Aquífero Beberibe, e de águas duras nos aquíferos Boa Viagem e Cabo. Embora haja certa oscilação no campo de dureza em cada aquífero (Fig. 16), por exemplo, no poço PR39 do Aquífero Beberibe a concentração foi de 200 mg/L de CaCO_3 e no poço PR20 do Aquífero Boa Viagem, com valor de 41 mg/L de CaCO_3 e 79 mg/L de CaCO_3 no PR5 do Aquífero Cabo.

Figura 16. Gráfico com concentrações de dureza.



8.3 RELAÇÕES HIDROGEOQUÍMICAS

Através dos cálculos das relações hidrogeoquímicas supracitadas no capítulo 7 desta obra, foi possível inferir com os dados das análises físico-químicas selecionadas os indícios das origens das águas subterrâneas estudadas. O autor ressalta que estes parâmetros poderiam ser auxiliados por outros estudos para uma exata confirmação do protólito dessas águas, como por exemplo, a precipitação de CaCO_3 em uma água que aumentar a razão $\text{rMg}^{+2}/\text{rCa}^{+2}$ indicando outros litotipos, porém esses estudos não foram discutidos neste trabalho. Acerca da relação $\text{rMg}^{+2}/\text{rCa}^{+2}$ (Tabela 3) inferisse que o Aquífero Beberibe é de origem continental com intrusões locais verificadas em alguns poços de água de origens marinhas (valor em torno de 5), o mesmo indício é mostrado estatisticamente pelos dados no Aquífero Boa Viagem e no Aquífero Cabo. Um indício de águas de origem marinha é verificado no poço PR24, situado no bairro do Engenho do Meio, onde a camada aquífera areno-argilosa é sobreposta a uma camada de argila arenosa com intercalação de argila orgânica com fragmentos de conchas. O nível de concentração de Cl^- neste aquífero (ABV) é de 1500 mg/L.

Tabela 3. Tabela de frequência com a relação iônica $\text{rMg}^{+2}/\text{rCa}^{+2}$.

Intervalo	ABV	ABE	AC
<3	2	2	
0,3 – 1,5	8	11	3
1,5 - 3	6	12	
3 - 5	1	5	
5 - 6		1	

Tabela 4. Tabela de frequência com a relação $\text{rCl}^-/\text{rHCO}_3^-$.

Intervalo	ABV	ABE	AC
0,1 - 5	15	29	1
5 - 20		4	2
20 - 40	2		

A respeito da razão $\text{rCl}^-/\text{rHCO}_3^-$ também se inferiu águas de origem continental em 85% dos dados (0,1-5), os 15% restantes com valores entre 5 a 20 dão indícios de águas de origem do mar. Duas análises do poço PR5 correspondentes aos anos de 2000 e 2005 mostram valores distintos nos sais de cloreto, os indícios são que a intrusão de água marinha foi mais acentuada no ano de 2005, visto que a concentração de sais de cloretos em meq/L (10,2) é quase o dobro do correspondente parâmetro no ano de 200.

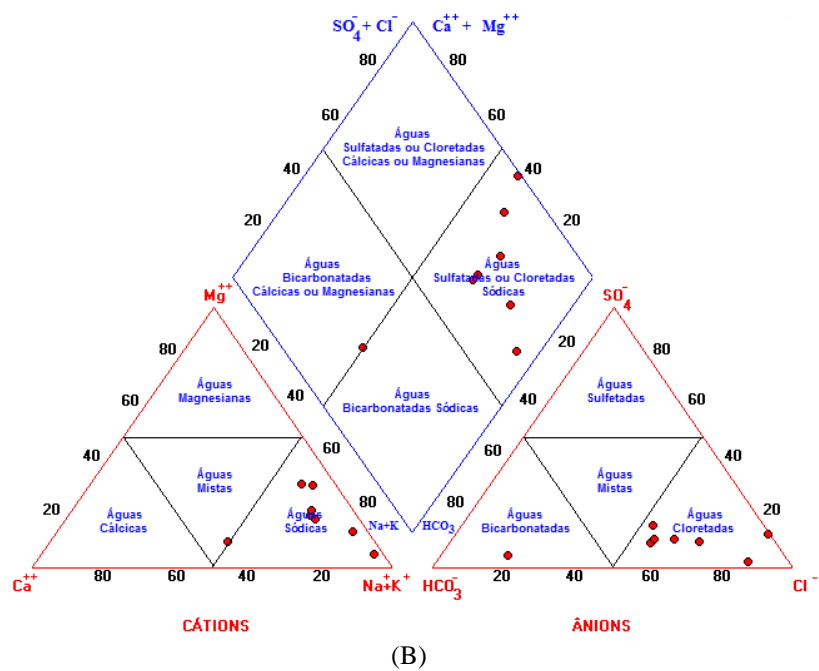
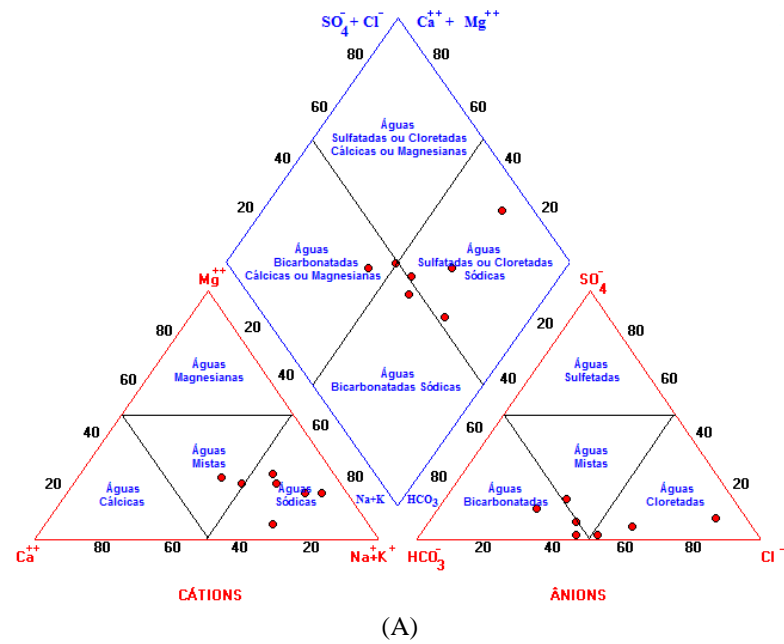
8.4 DIAGRAMA DE PIPER

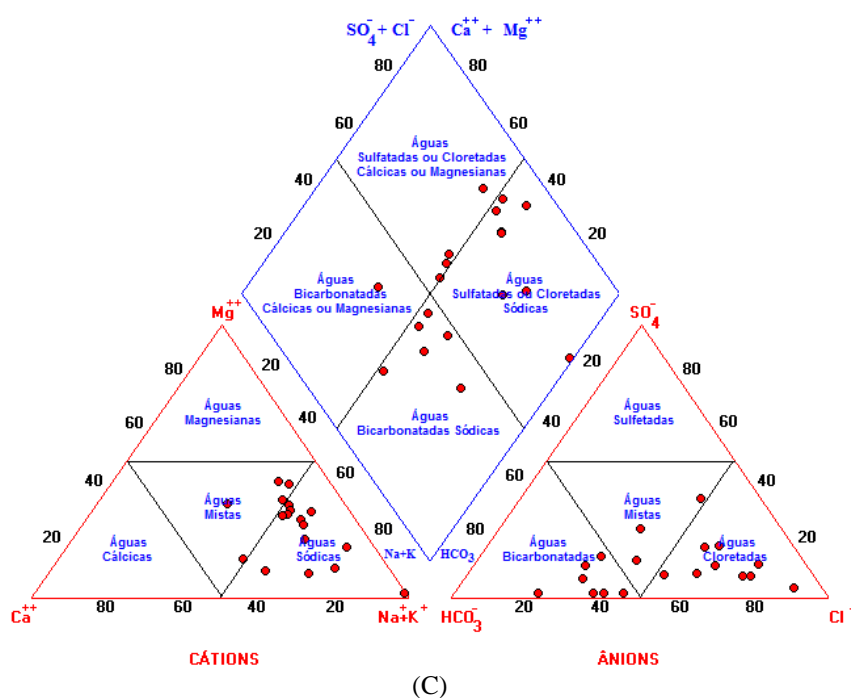
Acerca da classificação hidroquímica das águas subterrâneas estudadas em Recife foram elaborados diagramas de Piper com as análises dos poços selecionados entre os anos de 1970 a 2013. Para verificar a evolução temporal dessas águas em cada aquífero, os diagramas de Piper foram formulados para períodos distintos, no caso, o Aquífero Beberibe, por ter uma concentração maior no tratamento dos dados neste trabalho, foram feitos três diagramas de Piper, cada um correspondendo aos seguintes anos: Um para as análises dos anos 70 e início dos anos 80, outro para os anos 90 e outro com as respectivas análises do intervalo de 2000 a 2013. Em relação ao Aquífero Boa viagem dois digramas de Piper relativos aos seguintes períodos: Também dos anos 70 e 80, e outro diagrama com análises oriundas do final dos anos 90 a 2007. Para o Aquífero Cabo somente um diagrama foi feito para análises correspondentes aos anos de 2000 a 2005.

No **Aquífero Beberibe** as análises temporais dos anos 70 e 80 (Fig. 17-A) mostram que essas águas cationicamente são sódicas, e anionicamente, são cloretadas e bicarbonatadas (águas mistas). Praticamente essa composição não muda muito em análises dos anos 90, diminuindo a concentração de águas bicarbonatadas (Fig. 17-B). Já em relação às análises mais recentes 2000 a 2013 (Fig. 17-C) houve um acréscimo de águas de composição bicarbonatadas, tal composição não é característico do Aquífero Beberibe. A profundidade média dos poços (oito no total) que captam essas águas bicarbonatadas é de 110m e estão localizados nos bairros da região norte de Recife: Torre, Madalena e Dois Unidos, a litologia estratigráfica é praticamente similar em todos os poços: Arenito médio a grosso, quartzoso; medianamente selecionado; grãos sub-angulosos a arredondados, e de coloração variando de cinza a creme por vezes intercalados por argila. Duas hipóteses são questionadas sobre essas águas bicarbonatadas, que podem ser do manto de intemperismo, ou seja, um eluvião alterado, ou possivelmente sejam águas pertencente do Aquífero Itamaracá, descrita erroneamente nas fichas dos poços como Aquífero Beberibe, isto é notado devido as repetições quase que constantes da mesma descrições dos perfis litológicos para diferentes poços, as camadas de argilas descritas como intercaladas entre os arenitos, podem ser os folhelhos descrito por Lopes (2012) que servi de limite base entre ambos aquíferos. Outro parâmetro observado é que essas águas bicarbonatdas não apresentaram dureza elevada (50-100 CaCO_3 mg/L) o que contrapõe com a segunda hipótese, visto que as águas do Aquífero Itamaracá tem dureza elevada, sendo assim, águas de baixa qualidade para exploração. Em vista desta análise no

diagrama de Piper as águas são classificadas como águas cloretadas bicarbonatadas sódicas e águas mistas.

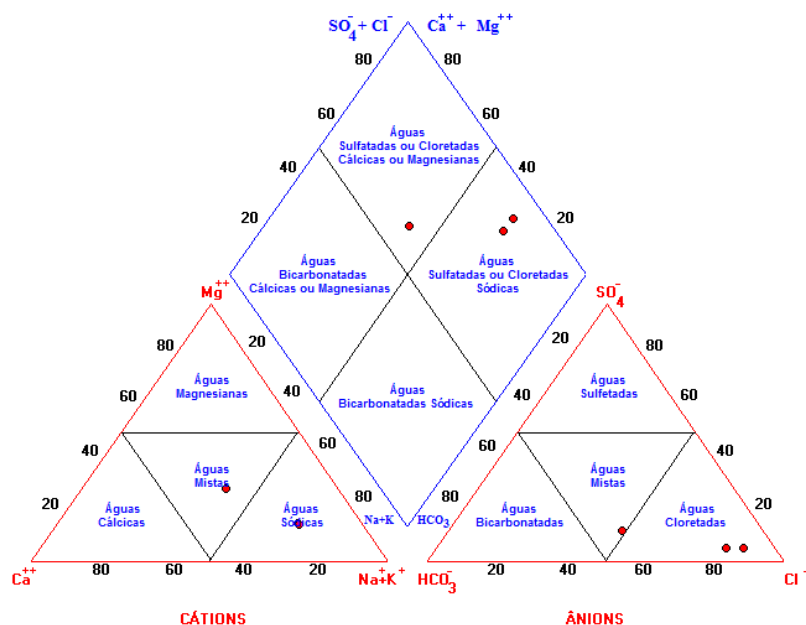
Figura 17. Diagrama de Piper com análises temporais do Aquífero Beberibe. (A) Análises de 1970 a 1981. (B) Análises de 1993 a 1999. (C) Análises de 2000 a 2013.





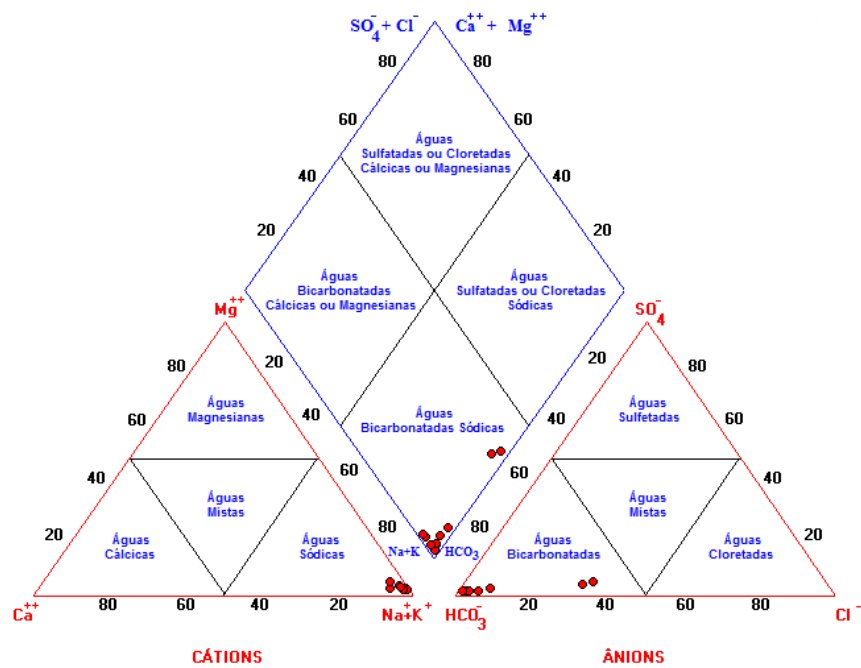
No **Aquífero Cabo** as duas análises no poço PR5 mostrou que não houve variação na composição química das águas entre os anos de 2000 e 2005, sendo águas cloretadas sódicas (Fig. 18). Outra análise físico-química correspondente ao ano de 2004 e extraída das águas do poço PR31, situado no bairro do Pina, tanto cationicamente como anionicamente as águas são classificadas como águas mistas: Bicarbonatadas a cloretadas e cálcicas a sódicas. Estas águas são de dureza elevada, são captadas de poços com profundidade entre 129 a 147m. As descrições litológicas desses poços são: Arenito grosso a médio, quartzoso, com grãos sub-angulosos, de média consolidação e coloração que vai do cinza claro a creme claro, não foi possível inferir precisamente se essas águas sejam de composição mistas.

Figura 18. Diagrama de Piper com as análises temporais (2000-2005) do Aquífero Cabo.

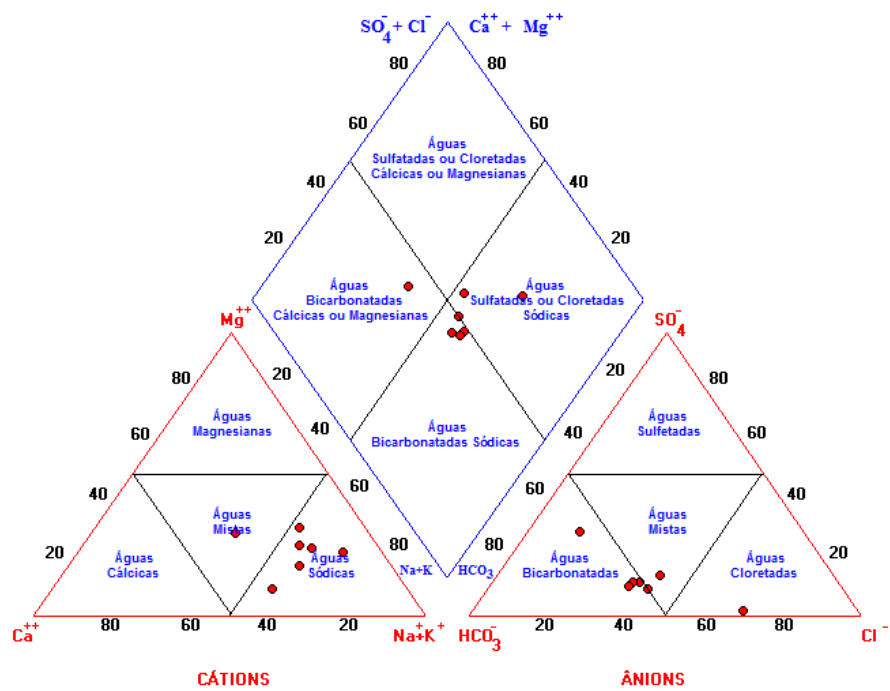


No **Aquífero Boa Viagem** análises temporais correspondentes à década de 70 e início dos anos 80, mostram que essas águas subterrâneas são bicarbonatadas sódicas (Fig. 19-A). Enquanto nas análises temporais do poço PR3, correspondendo ao período de 1999 a 2007, mostram que as águas evoluíram de cloretadas sódicas a bicarbonatadas sódicas e águas mistas (Fig.19-B), essas águas são captadas de um sedimento eluvionar (profundidade 48-61m) muito alterado, tal alteração é inferida devido a descrição litológica do poço na ficha. Na análise do poço PR4 de 1999 as águas subterrâneas foram classificadas com águas mistas (bicarbonatadas a cloretadas) sódicas.

Figura 19. Diagrama de Piper com análises temporais do Aquífero Boa Viagem. (A) Análises de 1970 a 1982. (B) Análises de 1999 a 2007.



(A)



(B)

9 CONCLUSÕES

A respeito das águas subterrâneas estudadas no município de Recife concluímos entre outras características que as águas com caráter mais ácido nos aquíferos, Beberibe e Cabo, e tendência para água de caráter neutra a básica ocorrendo no Aquífero Boa Viagem. A alcalinidade dessas águas é do tipo bicarbonatada, visto que, em função do pH que variou nas entre 4,6 a 8,3. Com relação à condutividade elétrica o menor valor médio calculado foi no Aquífero Beberibe ($591,32 \mu\text{Mhcm}^{-1}$), porém uma exceção a esta baixa CE no referido aquífero, se encontra no poço PR14, localizado bairro de Santo Antônio, com concentração anômola de $10.7345 \mu\text{Mhcm}^{-1}$, localmente essas águas apresentam o maior teor de sais dissolvidos. Quanto ao tratamento dos sólidos totais dissolvidos as águas subterrâneas foram classificadas como águas doces, exceto nas águas dos poços: PR14, PR15, PR18 e PR24, estes três últimos captando águas do Aquífero Boa Viagem, no qual os dois primeiros situados no bairro de Engenho do Meio e o último no bairro da Imbiribeira. Todos os poços com teores de STD acima de 1500 mg/L caracterizando águas ligeiramente salobras. Coincidentemente nos mesmos poços mencionados a razão calculada para $\text{rMg}^{2+}/\text{rCa}^{2+}$ teve valor maior que cinco, dando indícios de águas com intrusão marinha.

Sobre a boa qualidade da água o Aquífero Beberibe se destaca em relação aos demais aquíferos estudados, pois de acordo com o tratamento dos dados relativos à dureza das águas, estas foram classificadas como brandas a pouco dura. Um dos maiores índices de dureza se consta no poço PR31, localizado no bairro do Pina, captando águas do Aquífero Cabo com nível de concentração de 300 mg/L de CaCO_3 .

Na concentração dos íons maiores algumas análises apresentaram resultados anômalos de sódio, cloretos e sulfatos, estes com níveis de concentrações que extrapolam o valor permitido para consumo humano, de acordo com as legislações vigentes e mencionadas neste trabalho de dissertação, esses teores estão presentes em águas de alguns poços que captam águas dos Aquíferos Beberibe e Boa Viagem. Em relação à evolução temporal das águas subterrâneas classificadas com o auxílio do Diagrama de Piper, as pertencentes ao Aquífero Beberibe são predominantemente cloretadas sódicas como visto nas análises temporais de 1970 a 1999, porém no tratamento das análises de 2000-2013 o que se observou foi a concentração mais nítida de águas de composição bicarbonatadas, essas águas são oriundas dos poços situados nos bairros da Torre, Madalena e Dois Unidos, as hipóteses é que essas águas possam ser pertencentes em parte pelo Aquífero Itamaracá, descrito equivocadamente

como Aquífero Beberibe ou são oriundas eluvião alterado. Quanto às águas do Aquífero Cabo são classificadas como cloretadas sódicas e águas mistas (bicarbonatadas a cloretadas cálcicas sódicas). No Aquífero Boa Viagem às águas evoluiu de águas bicarbonatadas sódicas para águas (cloretadas a bicarbonatadas) sódicas e águas mistas.

REFERÊNCIAS

- ALHEIROS, M.M.; LIMA FILHO, M. **A Formação Barreiras**. Revisão geológica da faixa sedimentar costeira de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. Recife: UFPE/ DEGEO, 1991. p. 77-88 (*Estudos Geológicos - série B, Estudos e Pesquisas, 10*).
- ALHEIROS, M.M., 1998. **Riscos de Escorregamentos na Região Metropolitana do Recife**. Tese de Doutorado, UFBA, Salvador, BA. 47p.
- BATISTA, R.P., 1984. **Estudo Hidrogeológico da Planície do Recife**. Dissertação de Mestrado, UFPE, Recife, PE. 91p.
- BARBOSA J. A., 2004. **Evolução da Bacia Paraíba durante o Maastrichtiano-Paleoceno Formações Gramame e Maria Farinha**, NE do Brasil. Universidade Federal de Pernambuco. Recife. Dissertação de mestrado, 219 p.
- BARBOSA, J.A. & LIMA FILHO, M.F. 2006. **Aspectos estruturais e estratigráficos da faixa costeira Recife-Natal**: observações em dados de poços. Boletim de Geociências da Petrobras. **14**(2): 287-306.
- BEURLIN, K., 1967a. **Estratigrafia da faixa sedimentar costeira Recife-João Pessoa**. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, 16(1): 43-53.
- BEURLIN, K., 1967b. Paleontologia da faixa sedimentar costeira Recife-João Pessoa. *Bol. Geol. São Paulo*. 16(1): 73-79.
- BREDA, E, M., 2001. Água grau reagente para laboratórios e outros fins especiais.
- COSTA, W. D. , SANTOS, A.C. , COSTA FILHO, W.D. , 1994. **O controle estrutural na formação dos aquíferos na Planície do Recife**. In: 8º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Recife, ABAS. 38-43.
- COSTA, W.D. & SANTOS, A.C., 1998. **Estudo Hidrogeológico da Planície do Recife**.
- COSTA, W. D., COSTA, H. F., FERREIRA, C. A., MORAIS, J. F. S, VILLA VERDE, E. R., COSTA, L. B., 2002. **Estudo Hidrogeológico de Recife- Olinda- Camaragibe- Jaboatão dos Guararapes- HIDROREC 2. SRH- PE**. Recife, 150p.
- COSTA FILHO, W.D., 1997. **Estudo Hidroquímico nos Aquíferos da Planície de Recife**. Dissertação de Mestrado, UFPE, Recife, PE. 13-15p.
- CORREIA, E.R.C., 2006. **Caracterização da Vulnerabilidade Natural do Aquífero Boa Viagem no Município do Recife – Método God**. Dissertação de Mestrado, UFPE, Recife, PE. 70p.

CORREIA FILHO, O. J., 2014. **Mapeamento dos Depósitos Recifais da Faixa Costeira Jacumã-Tambaba, Bacia da Paraíba: Caracterização Petrográfica e Avaliação de seu Posicionamento Estratigráfico.** In. Departamento de Geologia (DGEO) UFPE. Relatório de Graduação. Monografia, p 20-21.

CRUZ, L.R. 2002. **Mapeamento geológico da região de Cabo (PE), Sub-Bacia de Pernambuco.** In. Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, *Relatório de Graduação*, 74p.

CUSTODIO, E. & LLAMAS, M. R. – 1983 – Hidrologia Subterrânea. Ed. Omega, 2ªed.Barcelona.

FEIJÓ, F.J. 1994. Bacia de Pernambuco-Paraíba. **Bol. Geociências da Petrobrás**, 8(1): 143-147.

KEGEL, W. 1954. Nota sobre os microfósseis do fosfato Cretáceo de Pernambuco. *Bol. soc. Bras. Geol.* v.3, No 1.

LIMA FILHO, M.F. 1996. **Correlação da Bacia Cabo com as bacias do oeste africano.** In: SBG/Núcleo Bahia-Sergipe, Cong. Bras. Geol., 39, Salvador, *Anais...*, 5: 347-349.

LIMA FILHO, M.F. 1998. **Análise estratigráfica e estrutural da Bacia Pernambuco.** Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 139p.

LIMA, F. H. O., KOUTSOUKOS, E. A. M. 2002. **Calcareous nannofossil biostratigraphy in the Maastrichtian of the Pernambuco-Paraíba Basin, NE Brazil.** In: Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil, 6, São Pedro, *Boletim de resumos*, 279-284.

LOPES, A.V.G., 2012. **Aspectos Hidrogeológicos, Ambientais e Jurídicos como Ferramenta Para uso e Proteção das Águas Subterrâneas da Região Metropolitana do Recife.** Tese de Doutorado. UFPE, Recife, PE. 254p.

LOGAN, J. - The Interpretation of Chemical Analyses of Water. USAID - 1965.

MABESOONE, J.M & ALHEIROS, M.M. 1988. **Origem da Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco/Paraíba.** Revista Brasileira de Geociências, 18: 476-482.

MABESOONE, J. M. & ALHEIROS, M. M. 1993. **Evolution of the Pernambuco-Paraíba-Rio Grande do Norte Basin and the problem of the South Atlantic connection.** *Geologie en Mijnbouw, Kluwer Academic Publishers.* 71:351-362.

MAIA, M. F. B. 2012. **Revisão estratigráfica do intervalo Aptiano-Albiano da Bacia de Pernambuco, Nordeste do Brasil.** Departamento de Pós-Graduação em Geociências (PPGEOC-DGEO) UFPE. Dissertação de mestrado, 222 p.

MELO ET AL., 2013. **Baixo curso do rio Capibaribe, Recife-PE: Avaliação da desestruturação ambiental do manguezal, em área urbana.**

MONTEIRO, A.B, 2000. **Modelagem do Fluxo Subterrâneo nos Aquíferos da Planície do**

Recife e seus Encaixes. Dissertação de Mestrado CTG/UFPE, Recife, PE. 91p.

MONTEIRO ET AL., 2002. **Vulnerabilidade do Aquífero Barreiras nos Bairros de Ibura e Jordão - Recife – Pernambuco.**

MUNIZ, G.C.B.; ALMEIDA, J.A.C., 1988 – **Contribuição ao conhecimento da idade do calcário Ipojuca, Formação Estiva, Bacia do Cabo – PE.** In: *Congresso Brasileiro de Geologia, 35, Belém (PA). Anais..., Belém: SBG, 1988. V.6, p. 2371-2374.*

MUNIZ, G. C. B. 1993. **Novos moluscos da Formação Gramame, Cretáceo Superior dos Estados da Paraíba e de Pernambuco, Nordeste do Brasil.** Departamento de Geologia, Universidade Federal de Pernambuco. *Publicação Especial 1*, 202 p.

NASCIMENTO, M.A.L.; VASCONCELOS, P.M.P; SOUZA, Z.S.; JARDIM DE SÁ, E.F.; CARMO, I.O.; THIEDE, D. 2003. **40 Ar - 39 Ar geochronology of the Cabo Magmatic Province, Pernambuco Basin, NE Brazil.** In.: *South American Symposium On Isotope Geology, 4., Salvador, short papers, 624-628.*

NETTO, R. G., ROSSETTI, D. F. 2003. **Ichnology and salinity fluctuations: a case study in the Early Miocene (Lower Barreiras Succession) of São Luís Basin, Maranhão, Brazil.** Rev. Bras Pal 6: 5–18.

OLIVEIRA, A. I. DE & LEONARDOS, O. H., 1943. **Geologia do Brasil.** Rio de Janeiro. *Serv. Inf. Agric., 2ed. 813p (Série Didática 2).*

Portaria MS Nº 2914 DE 12/12/2011 (Federal). Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

RESOLUÇÃO CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008. Publicada no DOU nº 66, de 7 de abril de 2008, Seção 1, páginas 64-68.

ROSSETTI, D. F., TRUCKENBRODT, W. 1989. **Estudo paleoambiental e estratigráfico dos sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na região Bragantina, nordeste do Pará.** Bol Mus ParEmílio Goeldi, Ser Cienc .Terra 1: 25–74.

ROSSETTI, D. F. 2000. **Influence of low amplitude/high frequency relative sea-level changes in a wave-dominated estuary (Miocene), São Luís Basin, northern Brazil.** SedGeol 133: 295–324.

ROSSETTI, D. F. 2001. **Late Cenozoic sedimentary evolution in northeastern Pará, Brazil,** within the context of sea levelchanges. J South Am Earth Sci 14: 77–89.

ROSSETTI, D. F., SANTOS JR AREA. 2004. **Facies architecture in a tectonically-influenced estuarine incised valley fill of Miocene age, Northern Brazil.** J South Am Earth Sci 17: 267–284

ROSSETTI, D. F. 2006A. **The role of tectonics on the preservation of estuarine valleys in areas with low accommodation rates: examples from Upper Cretaceous and Miocene Successions in Northern Brazil.** In: Dalrympler RW, Leckie D. A. & Tillman R.W. (Eds),

Incised Valley in Time and Space: SEPM Spec Publ 85: 199–218.

SANTANA, F. R. 2014. **Mapeamento Geológico e Levantamento de Dados Estratigráficos Geoquímicos na Faixa Costeira da Bacia de Pernambuco: Região entre barra de Sirinhaém e Tamandaré.** In. In. Departamento de Geologia (DGEO) UFPE. Relatório de Graduação. Monografia, p 14.

SIAL, A.N., 1976 – **The magmatic province of Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco: A brazilian Record of the ascension plume activity.,** *In: Latin American Congress of Geology, 3, Acapulco, abstract. 1p.*

SOUZA, E. M. 1998. **Levantamento Radiométrico das Unidades Estratigráficas da Bacia Paraíba.** Dissertação de Mestrado, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco. 152 p.

SOUZA, E. M. 2006. **Estratigrafia da Sequência clástica Inferior (Andares Coniaciano Maastrichtiano Inferior) da Bacia da Paraíba, e Suas Implicações Paleogeográficas.** Tese de Doutorado, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, 350p.

TINOCO, I. M., 1971. **Foraminíferos e a Passagem entre o Cretáceo e o Terciário em Pernambuco.** Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 147p.

ANEXOS

DADOS HIDROQUÍMICOS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO MUNICÍPIO DE RECIFE

Proc.APAC	Coord. (UTM)		Ano da análise	Local	Prof.(m)	Aquífero	mg/l												pH	µMhcm-1	mg/l CaCO3
							Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Fe ²⁺	Mn ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻		CE	Dureza Total
602-P/99	9108490	291380	1999	Edif. Panorama	120	BEBERIBE	5,60	3,80	37,30	7,10			72,00	0,00	61,07				6,1	350,0	31,00
602-P/99	9108490	291380	2007	Edif. Panorama	120	BEBERIBE	8,70	5,30	0,00	0,00		0,00	41,20	0,00	73,22				6,5	314,0	44,00
602-P/99	9108490	291380	2010	Edif. Panorama	120	BEBERIBE	40,00	29,60					290,00		35,28				7,5	997,0	222,00
1462-P/99	9109873	290093	2000	Edif. Beira Rio	111,5	BEBERIBE	21,30	4,50	55,20	38,20			61,00	10,00	46,40				9,2	485,0	71,60
1462-P/99	9109873	290093	2001	Edifício Beira Rio	111,5	BEBERIBE	9,88	11,8	31,2	24,7			88,8	10,4	39,09				4,9	380	73,30
1462-P/99	9109873	290093	2003	Edif. Beira Rio	111,5	BEBERIBE	12,3	16,8	37,5	19,9			109,3	21,8	30,5			3,9	6	464	100,00
1462-P/99	9109873	290093	2004	Edif.Beira Rio	111,5	BEBERIBE	20	19,4	51,3	23,4			137,9	16	51,3			4,4	5,8	547	130,00
1462-P/99	9109873	290093	2007	Edif. Beira Rio	111,5	BEBERIBE	12,2	17,2	55,2	32			15	12,2	41,5				5,3	576	101,20
1803-P/00	9111529	290698	2000	Edif.D.Câmara	107	BEBERIBE	12,2	2,58	12,9	9,6			25	9,73	45,13				5,8	167,3	41,10
1803-P/00	9111529	290698	2009	Edif. D. Câmara	107	BEBERIBE	7,6	7,8					27,8		52,57				5,8	199,6	51,00
343-P/98	9111197	292010	1999	Edif. Solimões	122	BEBERIBE	4	2,4	20	4			14	0	36,58				7	110	20,00
343-P/98	9111197	292010	2004	Edif. Solimões	122	BEBERIBE	2	4	12,8	9	0,05		28	0	0		1		6	110	20,00
343-P/98	9111197	292010	2010	Edif.Solimões	122	BEBERIBE	2	1	15	0,8			7,1	0	24,41				6,6	80	8,00
1705-P/00	9110393	284520	1999	BRASILIT S/A	64	BOA VIAGEM	28,7	23,4	101,9	25			110	41,2	256,5				7,4	746	167,90
1705-P/00	9110393	284520	2000	BRASILIT S/A	64	BOA VIAGEM	59,3	30	49,5	41,7			40	120	302,9				7,4	796	217,70
1705-P/00	9110393	284520	2003	BRASILIT S/A	64	BOA VIAGEM	40,8	17,3	99,1	33,5			108,9	42,4	276			6,2	6,9	878	173,30
1705-P/00	9110393	284520	2004	BRASILIT S/A	64	BOA VIAGEM	57,66	7,78	98,4	15,6	0,15		96	32,72	251,17		0,04	0,05	8,1	426	176,00
1705-P/00	9110393	284520	2005	BRASILIT S/A	64	BOA VIAGEM	32,06	23,35	93,6	16,4	7,48		120	31,82	246,3	2,4	0,02	0,15	8,95	887	176,00
1705-P/00	9110393	284520	2007	BRASILIT S/A	64	BOA VIAGEM	26,3	29,5	90,9	10,9		0,07	115	48,9	210			1,8	7,6	798	187,30
1041-P/99	9099598	288880	1999	Edif. Aug.Rodrigues	146	BOA VIAGEM	1,2	1,58	7,1	4,3	0,43		15,9	0	11,594				5	66	9,50
1041-P/99	9099598	288880	2002	Edif.Aug.Rodrigues	146	BOA VIAGEM	8	0			0,61		25	19	46,39				6,4	217	20,00
1041-P/99	9099598	288880	2008	Edif.Aug. Rodrigues	146	BOA VIAGEM	1,6	2,2	0	0			0	0	30,76				6,5	147,8	13,00
941-P/99	9099050	289832	1999	Edif. André Luis	143	CABO	11	8	5	5,2			28	0,6	85,367	0,031			6,9	260	60,00
982-P/99	9100649	290192	1999	Poço I-Mar Hotel	152	CABO	4,8	2,6	29,2	5,5			49,7	0	85,383	0,025			6,8	325	26,00
1175-P/99	9102029	290160	2000	Cond.Resid.B.V II	107	CABO	26,3	12	108,9	12,5			216	11,8	62,187	0,001			5,5	757	115,10
1175-P/99	9102029	290160	2005	Cond.Resid. B.V II	107	CABO	18,2	8,13	75,8	8,4			162	9	27,09				5,7	545	79,00

*CE=Condutividade Elétrica. Dados complementados (Cor vermelha).

Ref.COMPESA	Coord.(UTM)		Ano/Análise	Local	Aquífero	mg/l												pH	µMhcm-1	mg/l CaCO3
						Prof.(m)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Fe ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	F ⁻		CE	Dureza Total
Mat.Barros Lima (P.8.3)	9112709	288031	1983	R.Bonito de S.Fé		90	3,20	3,20	17,00	10,20	0,12	21,10	0,40	21,71	0,00	5,75	0,07	5,9	194,4	21,3
URB(Monteiro)	9113202	289469	1983	Estrada do Arraial	Confinado/Beb	96	2,70	6,80	17,50	12,70	0,26	25,30	3,30	20,49	0,00	4,13	0,10	5,9	216,0	22,9
P.12.1-RE	9114632	288904	1989	Estrada do Brejo	Confinado	121	1,10	2,00	7,60	4,10	0,07	12,30	1,00	5,00	0,00	1,6		5,2	77,0	11
Rio Mornoll	9114962	288380	1989	Estrada do Brejo		158	0,20	1,30	7,20	5,30	0,04	11,08	1,00			1,15		4,5	65,6	5,8
P.20.1-RE	9107131	290556	1993	R. Cabo Eutropio	Confinado/Beb	152	4,80	4,40	22,60	11,70	0,26	33,50	12,80	33,18	0,00		0,75	6,2	194,2	30,1
P.4.2-RE	9112950	288700	1995	Largo Dom Luiz	Confinado/Beb	165,5	1,60	1,50	10,00	14,00		17,10	3,20	18,30	0,00	2,23		6,8	107,8	10,5
P.2	9114390	290040	1996	Guapiaçu	Semi-conf./Beb	128	1,80	1,20	12,20	10,90	0,10	18,60	8,40	60,95	0,03			7,1	115,6	9,4
BURITY II/P.8.2-RE	9113373	287487	1997	Esc.O.B.Melo	Confinado/Beb	104	0,50	1,00	7,80	8,10		12,70	2,60	9,66	0,00	2		6,4	81,3	6,4
GUABIRABA I	9118120	286580	1997	Esc.M.S.Cristovão	Confinado/Beb	124	0,30	1,20	5,60	2,20		10,10	0,09	0,97	0,00	0,97		5,1	49,0	5,9
GUABIRABA II	9118165	286630	1997	Esc.M.T.GIBSON	Confinado/Beb	102	1,40	1,70	4,90	1,70		10,60	2,40	1,52	0,00	0,02	0,02	5,1	49,0	10,6
Lagoa encantada-IV	9101456	285101	1997	Lagoa E-Ibura	Beberibe	40,8	4,00	4,10	41,40	4,10		58,90	3,60	4,34	0,00	12,25		4,6	303,8	27,1
P.12.3-RE	9114826	288275	1997	Estrada do Brejo	Confinado/Beb	141	2,60	5,10	22,80	12,40	0,06	35,20	4,40	2,31	0,00		0,10	5,1	215,6	27,4
ValParaíso	9113493	284960	1997	VALPARAISO	Confinado/Beb	103	1,10	1,00	6,00	2,70		11,00	1,80	5,64	0,00			6,3	52,3	7
Hidelbrando V.(P.3.2-RE)	9116000	289260	1998	Hidelbrando V	Confinado/Beb	150	1,86	2,05	8,30	7,30	0,16	16,30	3,70	16,43	0,00			5,90	97,00	13,1
Hidelbrando V.(P.3.2-RE)	9116000	289260	1998	Hidelbrando V	Confinado/Beb	150	1,60	0,73	10,60	7,10		13,00	1,90	9,18	0,00	0,75		5,60	64,50	7
São Braz(P.17.1-RE)	9112980	284220	1998	Esc.L.Parnamirim	Beberibe	40	1,05	6,70	27,70	21,40		51,70	4,90	5,28	0,00	8,25		5,6	262,6	30,2
C.Euclides ou Cor. José Grande	9113200	289420	1998	Creche uni.vence	Beberibe	162	8,60	21,02	50,80	24,60	0,05	96,00		8,05	0,00	13		5,4	529,2	108
Campo do Fluminense(P.13.1-RE)	9114934	288631	1998	Campo Flum	Beberibe	150	1,10	1,64	11,80	5,00		21,10	0,09	2,25	0,00	2,06		5,1	97,0	9,5
GUABIRABA I	9118120	286580	1998		Confinado/Beb	124	0,40	1,26	3,80	1,80	0,15	10,00	0,09	2,20	0,00			5,0	53,9	6,2
GUABIRABA II	9118165	286630	1998		Confinado/Beb	102	0,60	1,26	3,60	1,60	0,01	10,40	1,80	0,00	0,00			4,9	49,5	6,7
Poço Praça do Trabalho (P.4.4)	9112670	288980	1998	Praça do Trabalho	Beberibe	174	1,90	5,48	20,90	17,20		33,50	0,00	10,65	0,00	3,35		5,6	192,2	27,3
P.3.2-RE	9116000	289260	1999	Hidelbrando V.	Beberibe	40	26,00	3,23	17,70	30,90	3,31	16,30	3,70	119,06	0,13	3,87		7,4	313,6	78,3
Campo do Fluminense(P.13.1-RE)	9114934	288631	1999	Campo Flum	Beberibe	150	0,60	2,07	12,60	5,00	0,07	18,50	1,60	2,45	0,00	3,95	0,00	5,4	115,6	10
Campo do Fluminense(P.13.1-RE)	9114934	288631	1999	Campo Flum	Beberibe	150	3,80	2,28	12,20	4,40		18,30	1,60	5,91	0,00	8,76	0,00	5,9	113,7	18,9
C.Euclides ou Cor. José Grande	9113200	289420	1999	Creche uni.vence	Beberibe	162	6,70	16,18	42,00	20,60	0,05	69,40	4,21	8,00	0,00	29,02		5,5	450,8	83,33
C.Euclides ou Cor. José Grande	9113200	289420	1999	Creche uni.vence	Beberibe	162	6,30	19,61	43,80	21,40	1,09	81,30	2,79	1,58	0,00	31,98		5,1	509,6	96,43
GUABIRABA I	9118120	286580	2000	Margem Rio Beb.	Confinado/Beb	124			7,30	5,00		11,50	2,50	7,49	0,00			6,1	52,9	4,2
GUABIRABA II	9118165	286630	2000	Margem Rio Beb.	Beberibe	102	0,80	1,22	7,00	5,22		9,96	4,00	6,86	0,00			5,6	57,8	7
B.Hemetério	9113040	290560	2003	R.Jaciara	Confinado	174,5	3,4		200	11,7	0,17	21,2	9,9	24,71				6	142,1	15,9
P.4.4-RE	9112670	288980	2003	Praça do Trabalho	Confinado/Beb	174	4,8	3,38	22,08	15,5	0,12	34,3	9,3	15,59				5,8	186,2	25,9
P.Febém/Mangabeira III	9112551	290472	2005	R.do Cinema	Confinado/Beb	183	2,4	3,3	21	13	0,14	24,2	4,7	16,71				5,9	164,1	
P.03 Oswaldo Cruz	9109971	292036	2006	R.Armobio M.	Beberibe	203	4,3	3,17	36	19		23	20	25,25				6,2	131,8	23,8
FREI DAMIÃO	9116107	287951	2007	Av.Chagas F.	Confinado/Beb	204	0,72	2,72		9,68	0,16	26,88	3,4	3,48				5,3	143,4	13
P.8.2-RE	9113373	287487	2013	Esc.O.B.Melo	Confinado/Beb	104	3,4	6,5	20	6	0,27	43,3	1,15	6,1		19,36		5,5	323	5,02
P.4.4-RE	9112670	288980	2013	Praça do Trabalho	Confinado/Beb	174	6,1	7,9	23,2	19,5	<0,05	49,02	5,77	13,1		15,91	0,24	5,5	331	10,54
GUABIRABA I(P.14.1-RE)	9118120	286580	2013	Escola M S C da G.	Confinado/Beb	124	1,1	3,1	5,5	2,3	0,1	8,32	8,02	1,83		1,31	0,2	5	94,19	1
GUABIRABA II(P.14.2-RE)	9118165	286630	2013	Esc. Est.Tomé G	Beberibe	102	1,5	3	4,8	1,9	0,39	7,75	7,75	4,28		1,06	0,2	4,3	100,8	16,09
P.Febém/Mangabeira III(P.1.3-RE)	9112545	290489	2013	Col M da Mang	Confinado/Beb	183	2	9,8	13,7	9,6	<0,05	24,81	4,89	16,53		5,68	0,31	6,1	251,7	13,55
São Braz(P.17.1-RE)	9112980	284220	2013	Esc.L.Parnamirim	Beberibe	40	3,9	2,2	7,2	3,4	0,17	15,11	3,92	2,4		4,56	0,2	5,5	127,5	18,8
Córrego do Tiro II(P.5.2-RE)	9114311	289767	2013	Esc.V. A/Semáfaro	Confinado/Beb	180	14,4	13,1	19,2	7,3	<0,05	45,98	11,17	8,5		19,9	0,2	5,5	377	89,88

Referência	Coord.(UTM)		Ano/Análise	Local	Prof.(m)	mg/l											pH	μMhcm-1	mg/l CaCO3
						Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Fe ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻		CE	Dureza Total
B & F Poços Tubulares	9108611	291118	2001	Inst.Nossa S.ªMaria de F.	162	4,8	4,4				42		48,69	0,06			7,4	210	30
B & F Poços Tubulares	9110897	291039	2001	Edf. Cybele	122	8	2				28		48,76	0,03			7,1	200	30
B & F Poços Tubulares	9109660	290530	2001	Edf.Santo Antônio de Pádua	132	6	1				35		61,00	0,01			6,7	220	20
B & F Poços Tubulares	9111340	289058	2003	Edf. Maria Sophie	114	10	2			0,05	28		48,79	0,01	1	0,5	6,8	180	40
B & F Poços Tubulares	9110640	291303	2003	Edf.Regina Helena	110	5	7	12,8	9	0,1	28	5	36,58	0,02			7	120	40
B & F Poços Tubulares	9109231	290471	2003	Portal do Derby Restaurante	120	10	4				42	1	36,63	0,00	0,1	0,2	6,3	200	40
B & F Poços Tubulares	9108750	291212	2003	Fed.Pernamb.Futebol	140	13	7				28	1	61,00	0,01			6,7	230	60
B & F Poços Tubulares	9104830	292406	2004	DFBV	162	64	34	80	25	0,15	156	45	216,36	1,58	0,5	2,5	8,2	930	300
B & F Poços Tubulares	9111044	289055	2005	Edf.Montserat Residence	118	11	3	4,9	15	0,05	35	5	36,63	0,00			6,3	180	40
B & F Poços Tubulares	9102084	291197	2005	Edf.Mirage	148	13	2	30	4,5	0,1	64		85,37	0,03			6,9	300	40
B & F Poços Tubulares	9110417	291021	2006	Edf.Villa Verde	146	6,4	4,6	18,4	14,4		20,4	12,2	58,58	0,01	0,2		6,5	192	34,8
B & F Poços Tubulares	9111216	291836	2006	Edf. Anteia	123	1	2	8,9	2	0	21,3		67,10	0,02			6,7	120	10
B & F Poços Tubulares	9110807	289774	2007	Edf.Saint Albert	141	3	3	17	2,5	0,05	35,5		48,85	0,00	0,15	0,15	6,2	270	20
B & F Poços Tubulares	9111455	289930	2007	Edf.Jardins-Const.Gabriel B.	121	33	4	11	3,1	0,15	28,4		145,32	0,53			7,9	250	100
B & F Poços Tubulares	9112160	288972	2007	Edif.Santiago-Mont.Eng.	109	5	2	10	1,6	0,1	14,2		48,83	0,01	0,25	0,75	6,4	110	20
B & F Poços Tubulares	9111091	290858	2008	Edf.Saint Victor	126	8	10	30	3,7	0	35,5		73,16	0,03	0,1	0,1	7	160	60
B & F Poços Tubulares	9111443	290395	2008	Colégio Rosa Gattorno	127	3	3	16	3	0,05	28,4		48,82	0,01			6,5	120	20
B & F Poços Tubulares	9110159	290063	2009	Edf.Tartana	138	5	2	29	3	0,2	28,4		73,19	0,02			6,8	220	20
B & F Poços Tubulares	9111330	290693	2010	Edf.Gran Parc da Jaqueira	136	9,6	5,8	24	2,2	0,05	21,3	7	42,75	0,00			6,2	220	48
B & F Poços Tubulares	9109112	289999	2010	Edf.Giardino Beira Rio	138	8	8,7	28	2,1	0	21,3	10	73,22	0,01			6,5	300	56
B & F Poços Tubulares	9112049	289706	2010	Edf.Ana Rodrigues	120,5	5	4	29	2,2	0,15	21,3		48,82	0,01			6,5	220	28
B & F Poços Tubulares	9108978	289949	2010	Edf.Morada Capibaribe	142,2	8	7,7	25	1,5	0	14,2		85,42	0,01			6,5	290	52
B & F Poços Tubulares	9111237	289402	2011	Ass.B.I.Jesus.Templo Recife	141	14,4	9,5	17	2,1	0,5	21,3	5	73,22	0,01			6,5	200	
B & F Poços Tubulares	9109758	289773	2011	Edf.Elvira Dias	142	9,6	22,3	45	6	0,05	56,7	50	97,54	0,04			7	620	116
B & F Poços Tubulares	9110955	291897	2012	Edf.Domingo de Castro	140	8	8,7	35	4	0,05	35,5		103,68	0,03	0,25	0,25	6,8	290	56
B & F Poços Tubulares	9109062	290022	2012	Edf.Liana	143	64	9,7	120	11	0,05	205,7	80	0,00	0,00			7	760	200
B & F Poços Tubulares	9112085	288832	2012	Edf.Vila Firenze	120,5	1,6	1,9	16	1	0,05	7,1		61,02	0,01	0,25	0,25	6,5	110	12
B & F Poços Tubulares	9109062	290022	2012	POUPEC/Edif.Liana	143	64	9,7	120	11	0,05	205,7	80	109,73	0,05			7	760	200
B & F Poços Tubulares	9110297	289443	2013	Edf. Morada Real da Torre	130	56	11,2	77	6,5	0,05	106,4		425,86	0,62			7,5	1150	188
B & F Poços Tubulares	9108993	289847	2013	Edf.Jardins da Madalena	141,8	31,6	8	170,2	0,35	2,9	175	10,3	-0,02	0,00	8		7,5	1060,8	133,1

Referência	Local	Coord.(UTM)		Prof.(m)	Aquífero	mg/l								Ano/Análise	pH	μMhcm-1	MQ.cm	mg/l	mg/l CaCO3
						Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Fe ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻					
RPB11	Inst. De Química	9109982	285038	42	Confinado	35,2	17,5				28	19,3	241,10	0,035	26/06/1966	6,5		360	16
	Inst. De Química	9109982	285038		Confinado	44,8	35,5				100	14,5	848,43	0,124	29/07/1966	6,5		1196	25,8
RPB79	Quartel Tejipió	9105144	284988	50		6,4	3,9				17	22,2	62,54	0,003	07/10/1966	6		135	3,2
RPB128	Vila do Sesi-Ibura	9103111	286145	54	Confinado	0,68	0,68				0,68	1,2	1,73	0,000	22/05/1967	6,5		387	6,8
RPB130	Conj.Resid.Sudene	9102612	288228	106	Confinado					7,7	120		-0,02	0,000	19/12/1968	7,5		341	
RPB97	Celpe(Boa Vista)	9108135	292200	101	Livre	12,4	5,58	20	7,5	0,7	36,5	6,24	74,46	0,007	30/06/1970	6,3		191	5,4
RPB104	Hotel Nassau	9108067	293056	160	Semi-conf.	218	195,61	1400	112,5	ausência	2750	317,13	469,78	0,343	05/08/1970	7,2		5758	135
RPB27	Care (Curado)	9106813	281880	41,2	Livre	508	466,56	1625	74,5	Presença	4350	445,9	255,11	0,469	10/02/1971	7,6		8216	319
RPB96	Celpe(Boa Vista)	9108135	292200	105	Livre	5,6	4,86	17	6,3	TRAÇOS	22	12,49	52,08	0,019	05/08/1971	6,9		172	3,4
RPB101	Hosp. Pedro II	9107806	291620	153	Livre						146		86,37	0,008	22/12/1971	6,3		500	
RPB15	Garag.CTU Varzea	9110047	284044	19,2	Livre	50,6	15,02	47,2	18,2	ausência	50,8	84,1	352,23	1,025	00/02/1972	7,8		463	21
RPB94	Garag.C. CTU	9110188	284066	60	Livre	12,42	17,25	162,8	10,6	ausência	246	50,4	86,32	0,022	06/03/1972	6,75		466	10,1
RPB125	Garag.-CTU Ibiribeira	9103399	289623	34	Livre	68,8	102	764	38,3	ausência	1485	197,46	76,85	0,020	06/08/1972	6,75		2928	59,05
RPB77	RUA DA PALMA	9107950	292723	118						0,2	35,5		0,02	0,000	25/08/1972	6,4	198	136	38
RPB61	Totó II Samer	9106052	283143	51,5	Confinado	2,4	2,43			Presença	14		11,94	0,001	10/08/1973	6,3		78	1,6
RPB73	Av. San Martin N°IPA	9108330	287715	70	Confinado	29	44,8	353	23,6	7,6	419	1	653,84	0,151	00/10/1973	6,7			
RPB74	CHESF_BR 232	9108262	287347	25	Confinado	13	2,06	11,27	3,12	0,5	15	2,19	68,35	0,008	10/11/1973	6,4	100	84	41
RPB112	Prefeitura do Recife	9109246	293651	153	Semi-conf.	7,16	4,16	2,75	1,8	0,16	77,5	5,1	39,67	0,006	28/02/1974	6,5	300	280	62,51
RPB68	Obras da 7ª.R.M			51,4	Confinado	3,5	1,2	12	2,8	0,2	19,5	1	0,02	0,000	21/08/1975	6,4	93	51,5	
RPB78	Quartel Tejipió	9105144	284988	50		12,85	9,63		8,51	3,65	24,85		30,34	0,070	07/12/1976	7,7	208,69	435	72,42
RPB121	Ass.Fom.Cana	9103882	289482	110	Confinado	25	2,31	64,86	6,63		100	7,96	99,88	0,092	16/05/1977	7,3	500	240	72
RPB40	Hosp.G.Vargas	9109606	288184	84	Confinado						78,1		79,30	0,018	19/08/1977	6,7	455,7		71,4
RPB102	Conv.do carmo	9107952	292884	144	Semi-conf.	9,6	6,7	32,2	6,2	0,4	42,6		85,16	0,124	10/01/1978	7,5	320	218	52
RPB83	Sambra			31,7	Livre	5,2	1,82	15,41	6,63	1	34	1,65	19,51	0,009	22/02/1978	7	130	59	20,5
RPB21	Telpe Varzea	9109573	284160	51	Livre	6,4	0,73	102,58	224,25	TRAÇOS	145	1,92	12,15	7,054	02/06/1979	10,1	1200	854	19
RPB13	A.S.S Sudene	9108615	285930	51	Confinado	72	153,09	1304	102,5	0,38	1500		229,86	16,303	06/06/1979	8,2	135	4188	81
RPB127	Pamaer			86,5	Livre	3,2	4,38	74,06	8,58	8	23	12,07	145,88	0,268	30/07/1979	7,6	340	198	26
RPB67	Q.GIV Exército			39,5	Livre	3,2	1,46	11,8	4,4		18		23,62	0,069	07/05/1980	7,8		76	1,4
RPB45	Lafepe-Dois Irmãos	9113445	285786	48	Livre	0,8	2,43	11,4	5,4	1	10		17,80	0,026	0/06/1980	7,5		129	1,2
RPB31	Esc.Eng. CU(CTG)	9109248	284632	50	Livre	16	10,2	19,25	3,25	0,75	13	1,9	148,60	0,137	19/01/1981	7,3		221	8,2
RPB41	Sta. Cruz Fut. Clube	9112277	291578	86	Semi-conf.	11,2	4,86	11,75	7,65		19	9,8	68,38	0,050	19/11/1981	7,2		137	4,8
RPB1	Esc.Téc.CU(IFPE)	9108724	285127	51	Livre	27,2	16,2	86	5,5	0,1	49		316,93	0,184	05/10/1982	7,1	740	479	136
RPB6	C. Esportivo UFPE	9109071	285182	49	Livre	64,8	21,87			ausência	80	0,5	370,45	0,857	22/05/1982	7,7		434	25,2
RPB147	Aerop.Guararapes	9101290	288003	95	Livre	5,6	1,45			Presença		10	53,25	0,155	07/07/1982	7,8		90	2
RPB150	E.E.Compesa/Jiquiá	9105680	287929	43	Confinado	32	42,72	500	19,4	6,6	706	17,4	-0,02	0,000	00/00/1983	7,5	2646		255
RPB131	CENAB			130	Livre	1,1	2,1			0,3	19,6	10	24,53	0,001	12/01/1984	5,7		134	11,5

*RT: Resistividade. STD: Sólidos Totais. RB: Dados de Renô Batista (Mestrado)

ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS SELECIONADAS

Poço	mg/l									Ano/Análise	pH	µMhcm-1	MΩ.cm	mg/l	mg/l CaCO3
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Fe ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻			CE	RT	STD	Dureza Total
PR13	12,4	5,58	20	7,5		36,5	6,24	74,46	0,01	1970	6,3	309,99		191	5,4
PR14	218	195,61	1400	112,5		2750	317,13	469,78	0,34	1970	7,2	10734,19		5758	135
PR16	5,6	4,86	17	6,3		22	12,49	52,08	0,02	1971	6,9	273,51		172	3,4
PR19	29	44,8	353	23,6		419	1		0,15	1973	6,7				
PR21	25	2,31	64,86	6,63		100	7,96	99,88	0,09	1977	7,3	500		240	72
PR22	9,6	6,7	32,2	6,2		42,6		85,16	0,12	1978	7,5	320		218	52
PR28	11,2	4,86	11,75	7,65		19	9,8	68,38	0,05	1981	7,2	207,97		137	4,8
PR6	4,8	4,4	22,6	11,7		33,5	12,8	33,18		1993	6,2	194,2		129,65	30,1
PR7	1,6	1,5	10	14		17,1	3,2	18,3		1995	6,8	107,8		83,21	10,5
PR8	0,5	1	7,8	8,1		12,7	2,6	9,66		1997	6,4	81,3		69,36	6,4
PR9	1,1	1	6	2,7		11	1,8	5,64		1997	6,3	52,3		53,87	7
PR10	1,86	2,05	8,3	7,3		16,3	3,7	16,43		1998	5,9	97		77,74	13,1
PR11	0,4	1,26	3,8	1,8		10	0,09	2,2		1998	5	53,9		54,73	6,2
PR12	0,6	1,26	3,6	1,6		10,4	1,8		0,13	1998	4,9	49,5		52,38	6,7
PR10	26	3,23	17,7	30,9		16,3	3,7	119,06		1999	7,4	313,6		193,41	78,3
PR11			7,3	5		11,5	2,5	7,49		2000	6,1	52,9		54,19	4,2
PR12	0,8	1,22	7	5,22		9,96	4	6,86		2000	5,6	57,8		56,81	7
PR1	12,2	2,58	12,9	9,6		25	9,73	45,13	0,02	2000	5,8	167,3		108	41,1
PR30	5	7	12,8	9		28	5	36,6	0,01	2003	7	120		110	40
PR32	6,4	4,6	18,4	14,4		20,4	12,2	58,6	0,03	2006	6,5	192		128,47	34,8
PR33	8	10	30	3,7		35,5		73,2	0,02	2008	7	160		160	60
PR34	5	2	29	3		28,4		73,2	0,01	2009	6,8	220		140	20
PR35	8	8,7	28	2,1		21,3	10	73,2	0,01	2010	6,5	300		141	56
PR36	8	7,7	25	1,5		14,2		85,4	0,01	2010	6,5	290		125	52
PR37	14,4	9,5	17	2,1		21,3	5	73,2	0,04	2011	6,5	200		132,3	
PR38	9,6	22,3	45	6		56,7	50	97,5	0,03	2011	7	620		260	116
PR39	8	8,7	35	4		35,5		103,7	0,05	2012	6,8	290		182	56
PR40	64	9,7	120	11		205,7	80	109,7		2012	7	760		530	200
PR8	3,4	6,5	20	6		43,3	1,15	6,1		2013	5,5	323		198,43	5,02
PR12	1,5	3	4,8	1,9		7,75	7,75	4,28		2013	4,3	100,8		79,77	16,09

*PR: Referência dos poços selecionados pelo o Autor.

Poço	mg/l									Ano/Análise	pH	μMhcm-1	MΩ.cm	mg/l	mg/l CaCO3
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Fe ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻			CE	RT	STD	Dureza Total
PR15	508	466,56	1625	74,5		4350	445,9	255,11	0,47	1971	7,6	15244,12		8216	319
PR17	12,42	17,25	162,8	10,6		246	50,4	86,32	0,02	1972	6,75	649,02		466	10,1
PR18	68,8	102	764	38,3		1485	197,46	76,85	0,02	1972	6,75	5285,55		2928	59,05
PR20	13	2,06	11,27	3,12		15	2,19	68,35	0,01	1973	6,4	100		84	41
PR23	5,2	1,82	15,41	6,63		34	1,65	19,51	0,01	1978	7	130		59	20,5
PR24	72	153,09	1304	102,5		1500		2229,86	16,3	1979	8,2	135		4188	81
PR25	3,2	4,38	74,06	8,58		23	12,07	145,88	0,27	1979	7,6	340		198	26
PR26	3,2	1,46	11,8	4,4		18		23,62	0,07	1980	7,8	85,44		76	1,4
PR27	16	10,2	19,25	3,35		13	1,9	148,6	0,14	1981	7,3	187,63		221	8,2
PR29	27,2	16,2	86	5,5		49		316,93	0,18	1982	7,1	740		479	136
PR9	28,7	23,4	101,9	25		110	41,2	256,5	0,31	1999	7,4	746		517,5	167,9
PR3	1,2	1,58	7,1	4,3		15,9		11,59		1999	5	66		156,42	9,5
PR4	59,3	30	49,5	41,7		40	120	302,9	0,36	2000	7,4	796		598	271,7
PR3	21,3	4,5	55,2	38,2		61	10	46,4	2,89	2000	9,2	485		284	71,6
PR3	9,88	11,8	31,2	24,7		88,8	10,4	39,09		2001	4,9	380		308,8	73,3
PR3	40,8	17,30	99,1	33,5		108,9	42,4	276	0,1	2003	6,9	878		587,59	173,3
PR3	12,3	16,8	37,5	19,9		109,3	21,8	30,5		2003	6	464		273,72	100
PR3	57,66	7,78	98,4	15,6		96	32,72	251,17	1,51	2004	8,1	426		852	176
PR3	20	19,4	51,3	23,4		137,9	16	51,3		2004	5,8	547		312	130
PR3	32,06	23,35	93,6	16,4		120	31,82	246,3	2,4	2005	8,95	887		444	176
PR3	26,3	29,5	90,9	10,9		115	48,9	210	0,4	2007	7,6	798		500	187,3
PR5	26,3	12	108,9	12,5		216	11,8	62,19	0,001	2000	5,5	757		547	115,1
PR31	64	34	80	25		156	45	216,14	1,58	2004	8,2	930		669,98	300
PR5	18,2	8,13	75,8	8,4		162	9	27,09	0,001	2005	5,7	545		396	79

POÇOS

