

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

BRUNO ALVES DE MESQUITA

**VARIAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DA QUALIDADE DA
ÁGUA NO Aqüífero MISSÃO VELHA**

FORTALEZA

2010

BRUNO ALVES DE MESQUITA

**VARIAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DA QUALIDADE DA
ÁGUA NO Aqüífero MISSÃO VELHA**

Trabalho de final de curso submetido à
Coordenação do Curso de Graduação em
Física da Universidade Federal do Ceará,
como requisito para obtenção do grau de
Bacharel em Física.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Marlúcia
Freitas Santiago

FORTALEZA

DEZEMBRO, 2010

BRUNO ALVES DE MESQUITA

**VARIAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DA QUALIDADE DA
ÁGUA NO Aqüífero Missão Velha**

Esta monografia foi julgada para a obtenção do grau de Bacharel em Física, e aprovada em sua forma final pela Coordenação do Curso de Graduação em Física da Universidade Federal do Ceará.

Aprovada em ____/____/2010

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Maria Marlúcia Freitas Santiago (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará - UFC

Profa. Dra. Carla Maria Salgado Vidal Silva
Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof. Dr. Josué Mendes Filho
Universidade Federal do Ceará - UFC

AGRADECIMENTOS

A Deus por estar presente em todos os momentos da minha vida.

A toda minha família pelo apoio, pelo suporte e pelo incentivo.

A minha namorada e seus familiares.

Ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela bolsa de Iniciação Científica.

À professora orientadora Dra. Maria Marlúcia Freitas Santiago, pela orientação, pelo acolhimento, pela disponibilidade, pela paciência e por todas as conversas.

Aos meus amigos do Departamento de Física da UFC.

RESUMO

Um conjunto de 13 parâmetros determinados em 30 amostras de águas subterrâneas armazenadas no aquífero Missão Velha, obtidas de duas coletas, uma no final do período seco e outra no final do período chuvoso foi interpretado graficamente através do Diagrama de Piper. Os dados permitiram identificar variação temporal no intervalo de 06 meses e variação espacial caracterizada pela coleta em duas diferentes áreas, uma no município de Barbalha e outra de Missão Velha. Os parâmetros analisados foram os cátions Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ e K^+ , os ânions Cl^- , SO_4^{-2} e HCO_3^- , os compostos nitrogenados NH_4^+ , NO_2^- e NO_3^- e os físico-químicos, pH e condutividade elétrica. Os resultados mostram variação temporal e espacial; os valores médios da condutividade elétrica em Barbalha (324,4 e 429,8 S/cm) e em Missão Velha (319,9 e 366,9 S/cm) estavam mais altos na segunda coleta do que na primeira e mais altos em Barbalha do que em Missão Velha. Em Barbalha $\text{Ca}^{+2} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^+$ e em Missão Velha $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^+$, nas duas coletas. Predominam águas do tipo bicarbonatada quanto aos ânions e mista quanto aos cátions nas duas áreas e nas duas coletas.

PALAVRAS-CHAVES: água subterrânea; Bacia Sedimentar do Araripe; aquífero Missão Velha.

ABSTRACT

A set of 13 parameters determined in 30 samples of groundwaters stored in the aquifer Missão Velha, obtained of two collections, one in the end of the dry period and another in the end of the rainy period was interpreted graphically through the Diagram of Piper. This graphic representation allowed to identify temporary variation in the interval of 06 months and space variation characterized by the collection in two different areas, one in the township of Barbalha and another in Missão Velha. The analyzed parameters were the cations Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ and K^+ , the anions Cl^- , SO_4^{-2} and HCO_3^- , the nitrogen compounds NH_4^+ , NO_2^- and NO_3^- and the physical-chemical ones, pH and electric conductivity. The results show temporary and space variation; the medium values of the electric conductivity in Barbalha (324,4 and 429,8 S/cm) and in Missão Velha (319,9 and 366,9 S/cm) they were higher in the second it collects than in the first and higher in Barbalha than in Missão Velha. In Barbalha $\text{Ca}^{+2} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^+$ and in Missão Velha $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^+$ in the two collections. Waters of the type bicarbonatada prevail with relationship to the anions and mixed with relationship to the cations in the two areas and in the two collections.

KEYWORDS: groundwaters, Sedimentary Basin of Araripe, aquifer Missão Velha.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1- Mapa da localização da Bacia Sedimentar do Araripe e da área de Pesquisa	15
Figura 2.2- Histograma da pluviometria no município de Barbalha, no período de janeiro de 2007 a dezembro de 2008	17
Figura 2.3- Histograma da pluviometria no município de Missão Velha, no período de janeiro de 2007 a dezembro de 2008	18
Figura 2.4- Coluna estratigráfica esquematizada	20
Figura 4.1- Histograma da Condutividade Elétrica de amostras de Barbalha, na coleta de dezembro de 2007.....	42
Figura 4.2- Histograma da Condutividade Elétrica de amostras de Barbalha, na coleta de agosto de 2008	42
Figura 4.3- Histograma da Condutividade Elétrica de amostras de Missão Velha, na coleta de dezembro de 2007.....	43
Figura 4.4- Histograma da Condutividade Elétrica de amostras de Missão Velha, na coleta de agosto de 2008.....	43
Figura 4.5- Valores mínimo, médio, máximo e mediana do pH	44
Figura 4.6- Valores mínimo, médio, máximo e mediana da condutividade elétrica	44
Figura 4.7- Valores mínimo, médio, máximo e mediana da dureza	45
Figura 4.8- Diagrama de Piper com amostras coletadas em Barbalha, dezembro de 2007	47
Figura 4.9- Diagrama de Piper com amostras coletadas em Barbalha, agosto de 2008..	47
Figura 4.10- Diagrama de Piper com amostras coletadas em Missão Velha, dezembro de 2007	48
Figura 4.11- Diagrama de Piper com amostras coletadas em Missão Velha, agosto de 2008	48
Figura 4.12- Razão de Adsorção de Sódio vs Condutividade Elétrica em água subterrânea do aquífero Missão Velha no município de Barbalha	50
Figura 4.13- Razão de Adsorção de Sódio vs Condutividade Elétrica em água subterrânea do aquífero Missão Velha no município de Missão Velha	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 -Pluviometria nos municípios de Barbalha e Missão Velha em 2007 e 2008	16
Tabela 3.1 -Qualidade de água de acordo com o SAR	27
Tabela 4.1 -Parâmetros físico-químicos de amostras de água subterrânea em Barbalha, no final do período seco e no final do período chuvoso	37
Tabela 4.2 -Parâmetros físico-químicos de amostras de águas subterrâneas em Missão Velha, no final do período seco e no final período chuvoso	37
Tabela 4.3 -Hidroquímica de águas subterrâneas amostradas em Barbalha no final do período seco	38
Tabela 4.4 -Hidroquímica de águas subterrâneas amostradas em Barbalha no final do período chuvoso	38
Tabela 4.5 -Hidroquímica de águas subterrâneas amostradas em Missão Velha no final do período seco	39
Tabela 4.6 -Hidroquímica águas subterrâneas amostradas em Missão Velha no período chuvoso	39
Tabela 4.7 -Estatística dos parâmetros físico-químicos de águas subterrâneas em Barbalha	40
Tabela 4.8 -Estatística dos parâmetros físico-químicos de águas subterrâneas em Missão Velha	40
Tabela 4.9 -Estatística dos parâmetros hidroquímicos de águas subterrâneas em Barbalha.....	41
Tabela 4.9 -Estatística dos parâmetros hidroquímicos de águas subterrâneas em Missão Velha	41

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 -Valores Máximos Permitidos (VMP) para águas potáveis	25
Quadro 3.2 -Classificação das águas quanto ao grau de dureza.....	33
Quadro 4.1 -Valores Máximo Permitidos	48

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. Objetivo Geral	11
1.2. Objetivos Específicos	11
1.3. Pesquisa Bibliográfica	12
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	14
2.1. Aspectos Climáticos	16
2.2. Geologia	19
2.3. Hidrologia.....	21
3. METODOLOGIA	23
3.1. Trabalho de Campo	23
3.2. Análise Físico-químico.....	23
3.3. Parâmetros Analisados	25
3.4. Tratamento dos Dados	35
4. RESULTADOS	36
4.1. Parâmetros Físico-químicos	42
4.2. Parâmetros Hidroquímicos	44
4.3. Qualidade da água	48
4.3.1. Para o consumo humano	48
4.3.2. Para o uso na Irrigação	49
5. CONCLUSÕES	50
6. BIBLIOGRAFIA	52

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural essencial para a manutenção da vida; todo ser vivo necessita direta ou indiretamente dela para garantir sua sobrevivência e a permanência de sua espécie. Para o ser humano, além de um elemento vital, a água é fundamental em todos os aspectos, desde a higiene pessoal até a geração de energia produzida por uma hidrelétrica, capaz de abastecer toda uma cidade.

Os recursos hídricos têm também um papel importante no desenvolvimento de diversas atividades econômicas, destacando-se principalmente nos setores agrícola e industrial; quanto mais atividades, mais gasto de água. É essa utilização crescente e exacerbada, juntamente com o mau uso e a falta de uma política vigente de saneamento que pode provocar a escassez desse recurso natural.

Uma solução alternativa, para garantir o abastecimento de água potável a um baixo custo, encontra-se abaixo do solo, na forma de água subterrânea. Segundo a ABAS (Associação Brasileira de Águas Subterrâneas), as águas subterrâneas são aproximadamente 100 vezes mais abundantes que as águas superficiais dos rios e lagos. Além disso, as águas subterrâneas apresentam uma menor vulnerabilidade à contaminação em relação às águas superficiais, uma vez que se encontram protegidas pela camada de solo subjacente que atua como um filtro, dificultando a penetração de algumas substâncias poluentes.

Obviamente, as águas subterrâneas, apesar de suas vantagens em relação às águas superficiais, nem sempre podem ser utilizadas como uma fonte principal de abastecimento, pois o seu uso está condicionado à sua quantidade e à sua qualidade (Santiago *et al.*, 2007). Por isso, a existência de água subterrânea numa determinada região não garante o suprimento de recursos hídricos à população, visto que é necessário ter uma quantidade suficiente e uma qualidade adequada ao uso específico.

Vale ressaltar que mesmo sendo um elemento indispensável à humanidade, a água também pode ser, quando contaminada, um agente responsável pela transmissão de doenças de veiculação hídrica, além de prejudicar o solo, impossibilitando sua utilização em atividades agrícolas. Apesar da resistência natural à contaminação, as águas subterrâneas estão cada vez mais susceptíveis a esse perigo. Isso se deve

principalmente ao aumento da população humana que deposita efluentes domésticos em zonas próximas a poços; à industrialização acelerada que dispõe inadequadamente de desinfetantes, solventes, metais pesados, resíduos radioativos, entre outros; e às mudanças no uso da terra provocadas pelas atividades agropecuárias, com fertilizantes e pesticidas.

Nesse contexto, faz-se necessária a realização de estudos direcionados para análise da qualidade de água subterrânea e monitoramento, considerando sua importância para o suprimento das diversas necessidades dos seus usuários.

1.1. OBJETIVO GERAL

O presente trabalho visa verificar a qualidade das águas subterrâneas e as variações temporais e espaciais armazenadas na Bacia Sedimentar do Araripe, nos municípios de Barbalha e Missão Velha, onde este recurso é a principal fonte de abastecimento.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- (i) Medir parâmetros físico-químicos que através dos Valores Máximos Permitidos propostos na Resolução 396 do CONAMA (2008) permitam identificar a sua adequação aos diferentes usos;
- (ii) Identificar a qualidade de águas subterrâneas na Bacia Sedimentar do Araripe e sua adequação para o consumo humano e para irrigação;
- (iii) Comparar a qualidade das águas armazenadas no aquífero Missão Velha nos municípios de Barbalha e Missão Velha obtidas de duas coletas, uma no final do período seco e outra no final do período chuvoso;
- (iv) Identificar os parâmetros físico-químicos que diferenciam as águas dos dois municípios;

- (v) Classificar as águas dos dois municípios quanto à concentração dos íons maiores;
- (vi) Identificar processos geoquímicos que produzem a mineralização das águas.

1.3. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

A seguir é feito o levantamento bibliográfico dos temas referentes à Bacia Sedimentar do Araripe investigados no presente trabalho.

Em sua Dissertação de Mestrado defendida na Universidade Federal do Ceará, VIANA (2007) fez uma caracterização do Sistema Aquífero Médio (Formação Rio da Batateira, Abaiara e Missão Velha), avaliando sua vulnerabilidade e risco à poluição causada por atividades antrópicas. O estudo contribuiu através do método GOD para o mapeamento de distribuição dos poços tubulares, de nível estático, da superfície potenciométrica e de vulnerabilidade e risco à poluição. Foi constatado que a porção do Sistema de Aquífero Médio que apresenta um maior risco de contaminação por apresentar Zona de Alta Vulnerabilidade e Elevadas Cargas de Poluentes situa-se no município de Juazeiro do Norte, e em seqüência de risco por município tem-se Barbalha, Crato e Missão Velha.

Baseados em medições dos isótopos carbono-14, oxigênio-18 e da condutividade elétrica das águas dos aquíferos localizados na região do Cariri, SANTIAGO *et al.* (1996) puderam identificar e descrever a circulação e mistura de paleoáguas infiltradas na Chapada do Araripe armazenadas diretamente nas diferentes formações aquíferas, com águas pluviais recentes, infiltradas diretamente no Vale do Cariri nestas formações.

TAVARES *et al.* (2009) baseados na aplicação do método GOD (Foster & Hirata, 1988); que consiste na caracterização por meio de índices, do grau de confinamento da água subterrânea, da ocorrência dos estratos de cobertura e do nível do lençol freático, puderam classificar o nível de vulnerabilidade à contaminação da água subterrânea, através da multiplicação dos índices, numa região limitada da Bacia Sedimentar do Araripe.

MENDONÇA *et al.* (1999) mostraram pela medição de íons maiores em amostras de três barreiros, duas cacimbas, duas fontes e seis poços profundos, uma mineralização fortemente crescente do topo para a base da Chapada do Araripe, no extremo sul do Ceará. A hidroquímica e suas mudanças observadas durante o bombeamento dos poços indicaram uma ligação hidráulica entre o Sistema Aquífero Superior e o Sistema Aquífero Médio através do aquícluído Santana.

A CPRM – Serviço Geológico do Brasil (2007), junto ao Ministério da Ciência e Tecnologia, em parceria com a Universidade Federal do Ceará elaboraram o documento correspondente a Meta D – Caracterização Hidroquímica e de Vulnerabilidade da Bacia Sedimentar do Araripe, que teve como objetivo o estudo hidroquímico, isotópico, da vulnerabilidade e de risco de poluição das águas subterrâneas da área.

FRISCHKORN & SANTIAGO (2000) observaram uma mudança climática marcada nas águas da Bacia Potiguar, no Rio Grande do Norte e na Bacia Sedimentar do Araripe, no sul do Ceará, mostrando que estas paleoáguas são provenientes de um regime climático mais favorável para recarga e que a sua exploração significa a “mineração” de um recurso não renovável.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A Bacia Sedimentar do Araripe está localizada no interior do Nordeste Brasileiro e ocupa parte dos Estados do Piauí, Pernambuco e Ceará, em uma área de aproximadamente 11000 km². Está situada entre os meridianos 38° 30' e 41° 00' de longitude oeste de Greenwich e os paralelos 7° 10' e 7° 50' de latitude sul (Figura 2.1).

Nela encontra-se a Chapada do Araripe e o Vale do Cariri. No Estado do Ceará localizam-se os municípios de Abaiara, Barbalha, Brejo Santo, Crato, Juazeiro do Norte, Milagres, Missão Velha, Mauriti, Porteiras, Penaforte, Jardim e Jati com uma população de 528.398 habitantes (IBGE, 2007), onde a principal fonte de água potável é adquirida através do recurso hídrico subterrâneo.

A área de interesse de estudo, com cerca de 950 km², está totalmente inserida na porção leste da Bacia Sedimentar do Araripe, no Vale do Cariri, delimitada pelas coordenadas geográficas 39° 17' e 39° 27' de longitude oeste de Greenwich e 7° 08' e 7° 30' de latitude sul; nela estão localizados os municípios de Barbalha e Missão Velha.

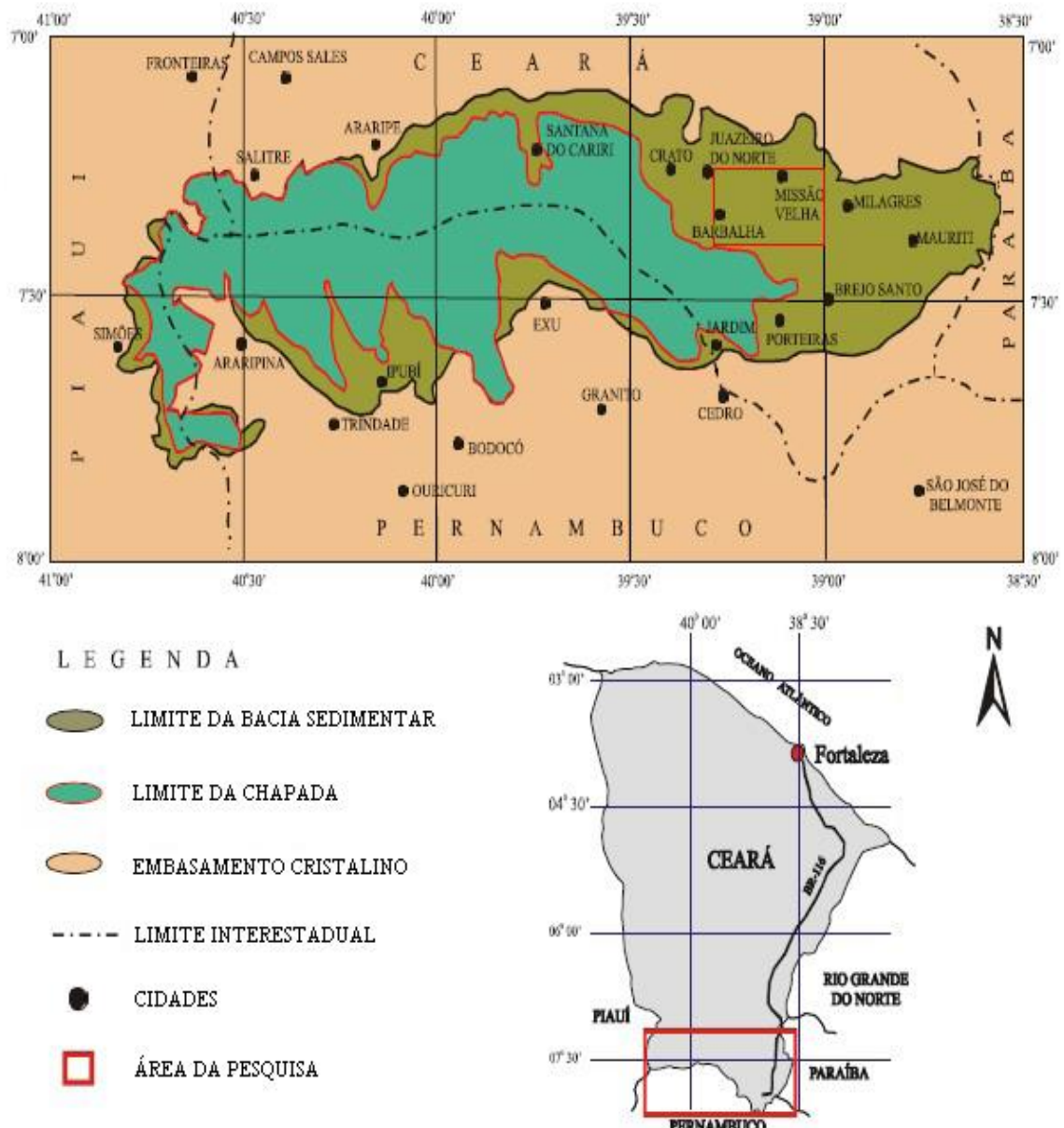


Figura 2.1 - Mapa da localização da Bacia Sedimentar do Araripe e da área de Pesquisa (Fonte: CPRM/UFC, 2007).

2.1. Aspectos climáticos

A área apresenta clima tropical quente semi-árido, caracterizado por ser quente com chuvas no outono (Köppen, 1948). A temperatura média anual está entre 21°C e 28°C e a média de precipitação pluviométrica é de 1000 mm por ano. De acordo com a FUNCEME (Fundação Cearense de Metrologia e Recursos Hídricos), nos anos de 2007 e 2008, quando foram coletadas as amostras nos municípios de Barbalha e Missão Velha, as precipitações anuais foram respectivamente 994,8 mm e 1384,5 mm em Barbalha e 835,6 mm e 1357,5 mm em Missão Velha (Tabela 2.1).

Tabela 2.1- Pluviometria nos municípios de Barbalha e Missão Velha em 2007 e 2008.
(Fonte: FUNCEME, 2010)

Mês	Pluviometria (mm)			
	Barbalha		Missão Velha	
	2007	2008	2007	2008
Janeiro	51,5	178,0	83,3	323,8
Fevereiro	387,2	293,5	317,4	236,8
Março	107,7	560,8	88,7	452,0
Abril	155,6	148,0	208,6	148,1
Maió	53,5	44,2	56,6	53,5
Junho	0,0	2,5	0,0	3,0
Julho	0,0	7,5	0,0	0,0
Agosto	0,0	7,5	0,0	0,0
Setembro	0,0	0,0	0,0	0,0
Outubro	0,0	0,0	0,0	0,0
Novembro	51,8	3,0	0,0	0,0
Dezembro	196,5	139,5	81,0	140,3

As figuras 2.2 e 2.3 mostram, através de histogramas, a distribuição temporal das precipitações nos dois municípios estudados, indicando as duas coletas que foram realizadas, uma no final do período seco (dezembro de 2007) e outra no final do período chuvoso (agosto de 2008). Os dados de pluviometria são de janeiro de 2007 a dezembro de 2008, como é mostrado na tabela 2.1. As maiores precipitações ocorrem nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro, março e abril, identificando o período chuvoso, quando há recarga do aquífero; no resto do ano, a ausência de chuvas identifica o período seco.

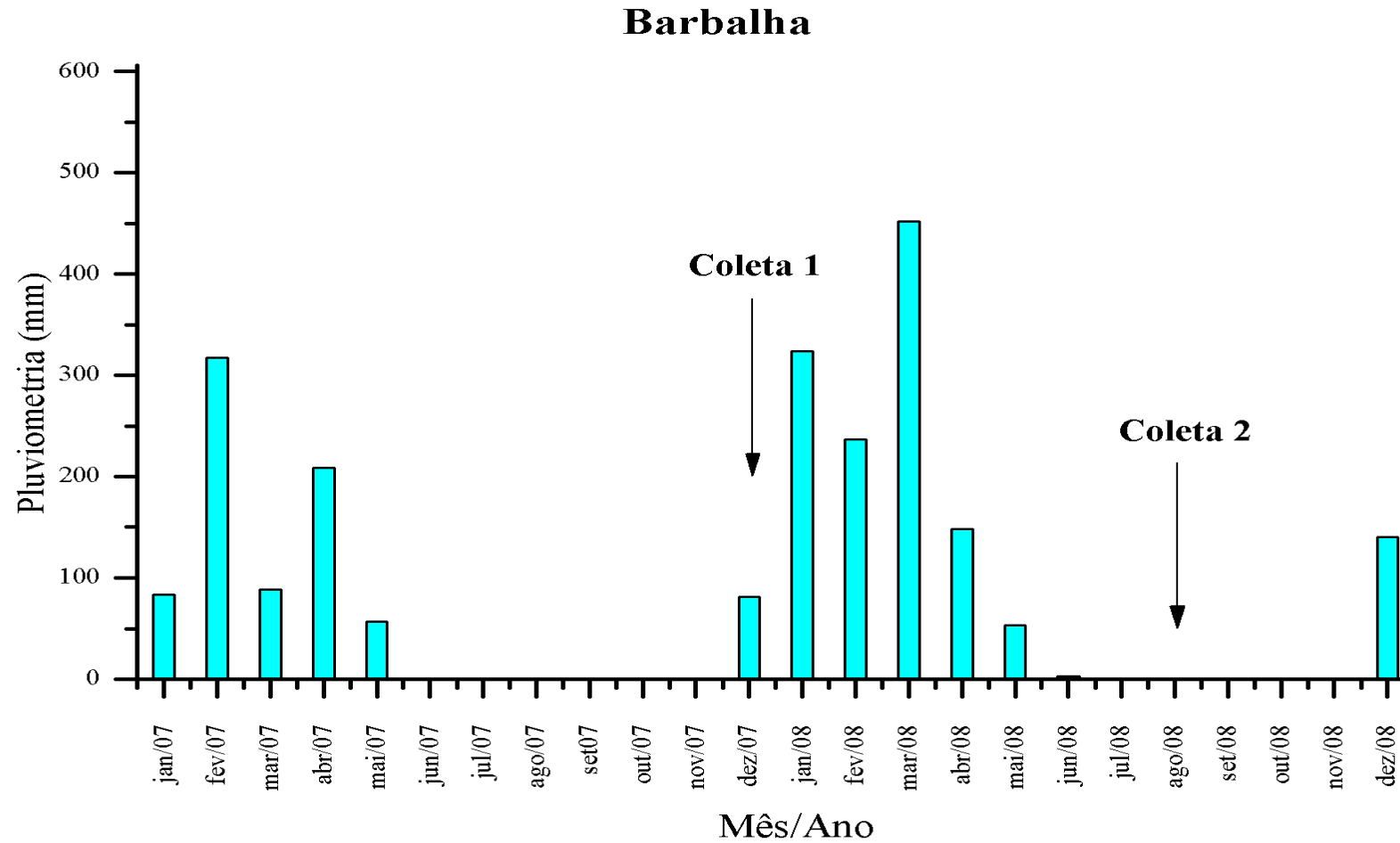


Figura 2.2 - Histograma de pluviometria no município de Barbalha, no período de janeiro de 2007 a dezembro de 2008 (Fonte: FUNCEME, 2010).

Missão Velha

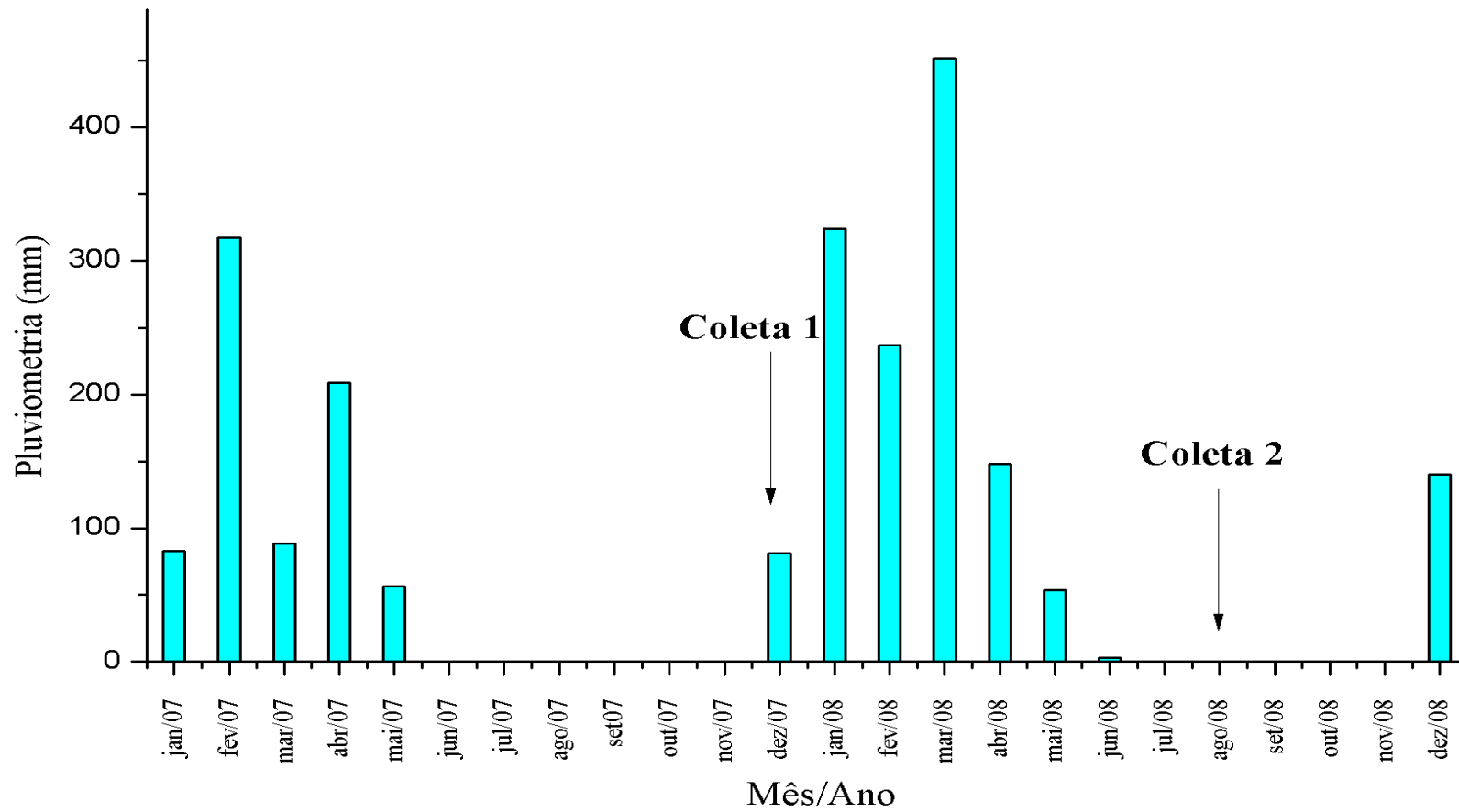


Figura 2.3 - Histograma de pluviometria no município de Missão Velha, no período de janeiro de 2007 a dezembro de 2008 (Fonte: FUNCEME, 2010).

2.2. Geologia

O Nordeste é constituído basicamente por duas estruturas geológicas: o embasamento cristalino e as bacias sedimentares. Nas bacias sedimentares, normalmente os solos são profundos, apresentando uma alta capacidade de infiltração, um baixo escoamento superficial e uma boa drenagem natural. Tais características possibilitam a existência de aquíferos, rochas com alto nível de porosidade, que garantem um grande suprimento de água de boa qualidade que, pela sua profundidade, está totalmente protegido da evaporação. No entanto, o embasamento cristalino é composto por imensos blocos de rochas antigas, resistentes e estáveis constituídas de granitos e gnaiss-migmatítico, apresentando solos rasos com uma baixa capacidade de infiltração e uma reduzida drenagem natural.

Além dos aquíferos, outro elemento importante, denominado aquíclode, compõe as bacias sedimentares; são rochas que apresentam grande porosidade, como os aquíferos, mas possuem baixa permeabilidade impossibilitando que a água flua em seu meio, ou seja, elas funcionam como um meio impermeável.

A Bacia do Araripe forma uma vasta área sedimentar na região Sul do Ceará, que devido aos eventos tectônicos é dividida em blocos de horstes (zonas elevadas) e grábens (zonas deprimidas). Nessa região destacam-se dois tipos predominantes de relevo (Veríssimo *et al.*, 1996): o Planalto Sedimentar também conhecido como Chapada do Araripe e a Depressão Sertaneja ou Vale do Cariri, que circunda a chapada com desníveis que chegam a 400 m. Apresentar uma diversificação litológica caracterizada por sequências alternadas de arenitos, siltitos, calcários, argilitos e folhelhos, de acordo com estudo realizado pelo DNPM (1996).

Segundo MONT'ALVERNE *et al.* (1986), a Bacia Sedimentar do Araripe pode ser dividida segundo suas formações geológicas em: (i) Sistema Aquífero Superior, onde encontram-se as Formações Exu e Arajara, que representa o topo da Bacia; (ii) Aquíclode de Santana; (iii) Sistema Aquífero Médio identificado pelas Formações Rio da Batateira, Abaiara e Missão Velha; (iv) Aquíclode Brejo Santo; e (v) Sistema Aquífero Inferior, onde encontram-se a Formação Mauriti e parte da Formação Brejo Santo, que representa a base da Bacia sendo delimitada pelo cristalino. Essa divisão da

Bacia, também chamada coluna litoestratigráfica, que representa a subdivisão dos estratos ou camadas rochosas, está apresentada na figura 2.4.

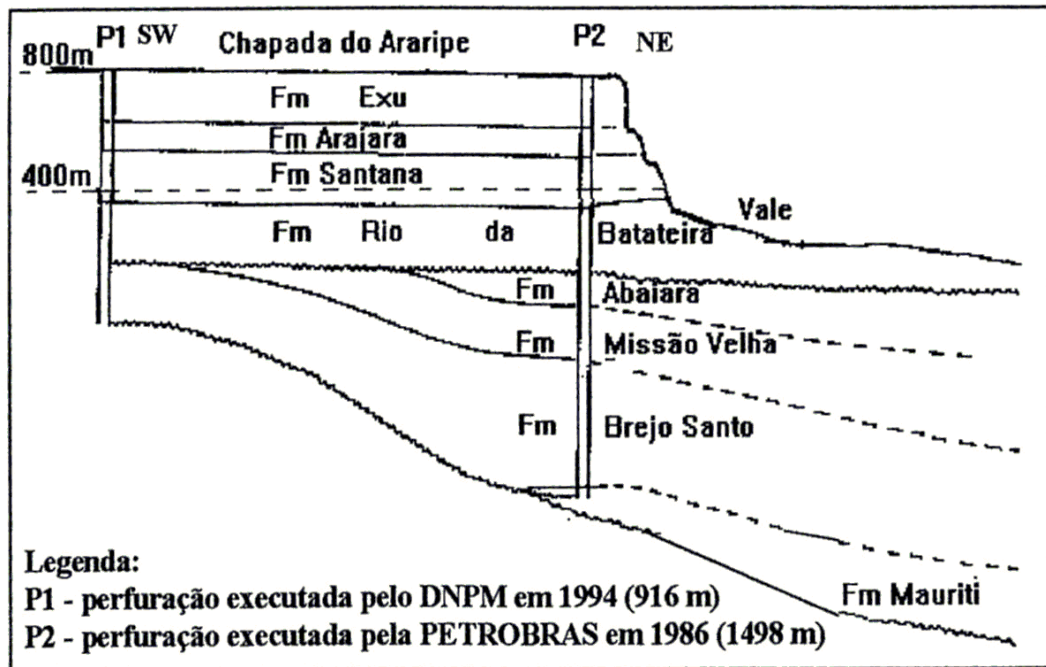


Figura 2.4 - Coluna estratigráfica esquematizada.

As águas subterrâneas estudadas estão armazenadas no aquífero da Formação Missão Velha, que por sua vez está inserido no Sistema Aquífero Médio, que tem seu contato inferior com a Formação Brejo Santo e o superior com a Formação Abaiara (Figura 2.4). A Formação Missão Velha é constituída por arenitos grosseiros, mal selecionados, de coloração esbranquiçada ou amarelada, mostrando estratificação cruzada e leitos conglomeráticos (Viana, 2007).

2.3. Hidrologia

No contexto hidrológico, a Bacia Sedimentar do Araripe tem um papel importante para o Estado do Ceará devido a grande capacidade de armazenar águas no solo; essa região tem o recurso hídrico subterrâneo como a principal fonte de abastecimento e desenvolvimento da população, deixando as águas superficiais em segundo plano.

Mesmo com elevados índices de pluviosidade, a Chapada do Araripe (região de planalto) tem seus recursos hídricos superficiais escassos. Isso se deve basicamente a duas causas: a alta permeabilidade dos arenitos da Formação Exu, que permite uma alta taxa de infiltração da água da chuva; e às características de um planalto, que não permite a acumulação de água por falta de um contorno lateral impermeável, mas levam à exudação da água da Chapada por fontes na falésia.

Para exploração das águas superficiais na Chapada, utiliza-se cisternas, que estocam água pluvial para o consumo humano, juntamente com as escavações impermeabilizadas, denominadas barreiros.

Mesmo havendo o Sistema Aquífero Superior na Chapada, a captação de água por poços profundos é limitada devido à profundidade elevada e, por conta disso, são poucos os existentes. Diferentemente da Chapada, o Sistema Aquífero Médio no Vale do Cariri, onde foi realizado este trabalho, representa um dos melhores sistemas aquíferos do Estado do Ceará, garantindo o abastecimento público de vários municípios como Crato, Barbalha, Juazeiro do Norte e Missão Velha.

Além de apresentar um menor risco à vulnerabilidade de contaminação em relação às águas superficiais, devido à sua proteção natural que garante uma melhor qualidade da água, as águas subterrâneas do Sistema Aquífero Médio têm uma boa vazão de exploração, e sua recarga é realizada diretamente nas áreas aflorantes pelas águas da chuva e através da infiltração de águas dos rios influentes, alimentados pelas fontes que se encontram no sopé da Chapada do Araripe.

Contudo, é importante salientar que apesar da resitência natural à contaminação, na área de estudo existem diversas fontes potenciais de poluentes das águas

subterrâneas. Dentre essas fontes de poluição destacam-se: (i) as indústrias, que apresentam grandes riscos ambientais para os mananciais de água devido à má localização do seus poluentes industriais, como produtos químicos e materiais radioativos que são levados aos aquíferos através da recarga direta e da lixiviação; (ii) a mineração, que é uma atividade bastante prejudicial ao meio ambiente, em particular à água, devido à produção de minérios que originam elementos químicos nocivos; e (iii) os poços de combustíveis que, quando situados sobre os terrenos sedimentares, podem provocar infiltração de gasolina, óleo e álcool no aquífero freático.

Tais poluentes podem chegar a representar uma fonte comprovada ou efetiva de poluição dos recursos hídricos subterrâneos, desde que seja comprovada a presença desses, através de suas características físico-químicas e de sua posição espacial na área estudada.

3. METODOLOGIA

O método utilizado para a realização do trabalho constituiu de três etapas: trabalho de campo, análise físico-química e tratamento dos dados.

3.1. Trabalho de Campo

Nesta etapa foram feitas duas coletas, uma no final do período seco (dezembro de 2007) e outra no final do período chuvoso (agosto de 2008), nos municípios de Barbalha e Missão Velha, totalizando 30 amostras nas duas coletas de água subterrânea armazenada no aquífero de Missão Velha. No local foram determinados o pH e a condutividade elétrica.

3.2. Análise Físico-química

A análise físico-química teve como finalidade identificar e quantificar os parâmetros físico-químicos da água subterrânea, as concentrações iônicas de cátions e ânions mais abundantes, os sólidos totais dissolvidos (STD), o pH, a condutividade elétrica, a cor, a dureza, a turbidez e a temperatura; os constituintes iônicos mais abundantes dissolvidos na água são os cátions sódio (Na^+), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) e os ânions, cloreto (Cl^-), sulfato (SO_4^{2-}), bicarbonato (HCO_3^-) e carbonato (CO_3^{2-}); além dos compostos nitrogenados amônio (NH_4^+), nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-), que apresentam nitrogênio em suas composições. As concentrações desses elementos nas águas subterrâneas se devem ao intemperismo e à dissolução de minerais durante a interação da água com as rochas.

As amostras foram analisadas no Laboratório de Hidroquímica e Bacteriologia do Departamento de Física da UFC que utiliza metodologia do Standart Methods (APHA, 2005). Os métodos de análise para os parâmetros físicos e químicos foram:

- Ca^{2+} : Determinação complexiométrica em presença do indicador muxerida com a titulação feita com EDTA de normalidade 0,02 N. A virada de cor acontece do róseo para o lilás;
- CE: Medida feita com o condutivímetro portátil.
- Cl: Determinação volumétrica com AgNO_3 como solução titulante usando $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_4$ como indicador; a virada de cor se dá do amarelo para telha.
- Cor: Determinação feita pelo método espectrofotômetro em $\lambda = 410 \text{ nm}$.
- Dureza: Determinação complexiométrica na presença do indicador negro de eriocromo com a titulação feita com EDTA; a virada da cor acontece do róseo para o azul.
- Fe^{3+} : Determinação pelo método espectrofotométrico em $\lambda = 510 \text{ nm}$.
- HCO_3^- : Determinação por acidimetria após a determinação de carbonato em presença de alaranjado de metila a 1% ocorrendo à virada da cor do azul para a amarela.
- K^+ : Leitura direta usando fotometria de chama.
- Mg^{2+} : Medido de maneira indireta através da dureza.
- Na^{2+} : Leitura direta usando fotometria de chama.
- NH_4^+ : Determinação pelo método espectrofotométrico em $\lambda = 415 \text{ nm}$.
- NO_2^- : Determinação pelo método espectrofotométrico em $\lambda = 520 \text{ nm}$.
- NO_3^- : Determinação pelo método espectrofotométrico do NITRAVER em $\lambda = 500 \text{ nm}$.
- pH: Medida feita no campo com pH-metro portátil.
- SO_4^{2-} : Determinação por turbidimetria usando o BaCl_2 e leitura após agitação por 1,5 minutos feita em espectrômetro em $\lambda = 420 \text{ nm}$.
- Turbidez: Medida feita com o turbidímetro.

3.3. Parâmetros Analisados

A seguir, são discutidos os parâmetros físicos e químicos analisados; o Quadro 3.1 mostra Valores Máximos Permitidos (VMP) dos parâmetros para os padrões de potabilidade da água de acordo com o Ministério de Saúde (MS, 2004; CONAMA, 2008). Outros parâmetros analisados não têm VMP nesta Resolução.

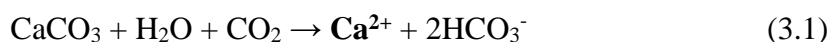
Quadro 3.1 - Valores máximos permitidos (VMP) para águas potáveis (MS, 2004; CONAMA, 2008).

Parâmetro	VMP (mg/L)	Parâmetro	VMP (mg/L)
Cloreto	250	Sulfato	250
Nitrato	45	Sódio	200
Dureza	200		

(i) Cálcio

O cálcio é um elemento químico inserido no grupo dos metais alcalinos terrosos que representam a família 2A da Tabela Periódica; logo, seu estado de oxidação é Ca^{2+} . Ele está presente em muitos minerais formadores de rochas ígneas, metamórficas e sedimentares; a água em contato com essas rochas faz com que haja liberação de cálcio. Assim, os íons de cálcio presentes nas águas subterrâneas são provenientes, principalmente, da dissolução da calcita (CaCO_3), dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) e gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), que são as formas mais comuns de cálcio nas rochas sedimentares.

A reação de dissolução da equação (3.1) mostra a liberação do íon de cálcio quando reagem calcita, água e gás carbônico:

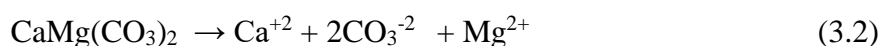


As concentrações dos íons de cálcio variam de 10 a 250 mg/L nas águas doces. Apesar de não haver um limite para o Valor Máximo Permitido (VMP) para a concentração de cálcio na água para o consumo humano segundo a legislação vigente (CONAMA, 2008), é importante ressaltar que grandes quantidades de cálcio podem ser prejudiciais à saúde, provocando a formação de pedras nos rins e hipercalcemia. Além disso, o cálcio é o principal responsável pelo aumento da dureza na água.

(ii) Magnésio

O magnésio é um elemento cujas propriedades químicas são similares às do cálcio, pois se encontra no mesmo grupo da Tabela Periódica e contribui também para a dureza da água. Contudo, o cálcio, faz parte de minerais mais solúveis e difíceis de precipitar. Por isso, normalmente o Mg^{2+} é encontrado nas águas subterrâneas em menores concentrações em relação ao cálcio, na faixa de 1 a 40 mg/L. Somente nas águas do mar e salmouras o magnésio ocorre em teores bem mais elevados do que os do cálcio; o íon de magnésio é representado por Mg^{2+} .

A equação 3.2 mostra a dissolução de um mineral, a dolomita, que contém magnésio:

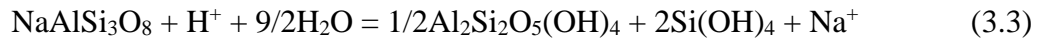


O magnésio também pode apresentar benefícios à saúde, quando em doses adequadas, sendo usado para o tratamento de tensão pré-menstrual e hipertensão, além de ajudar os músculos a trabalhar e previne cálculos renais e biliares.

(iii) Sódio

O sódio é um metal alcalino presente na família 1A da Tabela Periódica com estado de oxidação Na^+ . Sua principal fonte mineral é o feldspato plagioclásio que tem

pouca resistência aos processos químicos e que na sua decomposição produz íons de sódio e sílica. Por isso, o sódio está presente nos solos, onde tem abundância de feldspato plagioclásio, e nas águas subterrâneas que estão em contato direto com esse tipo de rocha. A dissolução do feldspato plagioclásio está indicada na equação 3.3:



O teor de sódio, nas águas doces, varia de 1 a 150 mg/L, enquanto que nas salmouras esse teor é bem mais elevado podendo chegar a 100.000 mg/L. A quantidade de sódio presente na água é um elemento limitante de seu uso na agricultura, uma vez que em grandes quantidades ele reduz a permeabilidade do solo, tornando-se prejudicial às plantas. E isso é agravado se o solo apresentar baixas concentrações de íons de cálcio e magnésio. Por conta disso, para água ser utilizada na agricultura, ela deve satisfazer alguns níveis padrões, levando em consideração a relação da concentração iônica do sódio com as concentrações dos íons de cálcio e magnésio através da Razão de Adsorção de Sódio (SAR) expressa pela equação:

$$\text{SAR} = \frac{r\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{(r\text{Ca}^{2+}) + (r\text{Mg}^{2+})}{2}}} \quad (3.4)$$

A partir do valor do SAR, a água pode ser classificada em excelente, boa, regular ou ruim quanto ao seu uso para agricultura, como mostra a Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Qualidade da água de acordo com o SAR
(Fonte: LOGAN, 1965).

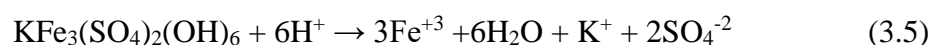
SAR	Qualidade
0 - < 10	Excelente
10 - < 18	Boa
18 - < 26	Regular
≥ 26	Ruim

(iv) Potássio

Assim como o sódio, o potássio faz parte da família 1A da Tabela Periódica, sendo um metal alcalino, com estado de oxidação K^+ . Apesar de ser um elemento abundante nas rochas sedimentares, ele normalmente tem concentração muito menor que a do sódio em águas naturais, pois mesmo com sua alta solubilidade, ele é facilmente fixado pelas argilas. Sua concentração média em águas doces é inferior a 10 mg/L. Concentrações elevadas, da ordem de grandeza de 100 a 25.000 mg/L, podem indicar a ocorrência de fontes quentes ou de salmouras.

Diferente do sódio, o potássio é um elemento fundamental para a agricultura, visto que ele é essencial para o desenvolvimento das plantas, sendo usado na constituição de fertilizantes.

Um exemplo de mineral contendo potássio é a jarosita-K, cuja dissolução é mostrada na equação 3.5:



(v) Cloreto

O cloreto é o anion Cl^- do elemento químico cloro, que faz parte da família 7A da Tabela Periódica, no grupo dos halogênios. Ele apresenta alto grau de solubilidade e normalmente está associado ao íon de sódio nas rochas, principalmente nas águas salinas. A ionização da halita é expressa por:



Quando em quantidades elevadas, o cloreto provoca sabor “salgado” na água, além de prejudicar as plantas e atacar estruturas de recipientes metálicos. Por isso, seu teor é limitado em 250 mg/L seguindo os padrões de potabilidade do Ministério da

Saúde (MS, 1999). Teores anômalos de cloreto são indicadores de contaminação por água do mar ou aterros sanitários.

(vi) Sulfato

Os sulfatos (SO_4^{2-}) são formados pela oxidação dos sulfitos e é comumente encontrado em águas em contato com minerais solúveis a muito solúveis. Este íon nas águas subterrâneas pode ser derivado da gipsita, anidrita ou da pirita. Já nas águas superficiais, ocorre através das descargas de esgotos domésticos e efluentes industriais. Uma das fontes de sulfeto é a dissolução de gesso:



As águas naturais apresentam teores de sulfato na ordem de até 100.000 mg/L, tendo as maiores concentrações as salmouras de sulfato de magnésio e a menores, as águas sujeitas à redução de sulfato como as águas da chuva, neve e superficiais. O valor limite do teor de sulfato para potabilidade da água é de até 250 mg/L (MS, 1999); acima desse valor, a água apresenta sabor amargo e pode ocasionar efeitos laxativos.

(vii) Bicarbonatos e Carbonatos

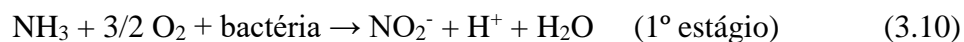
Os íons bicarbonatos (HCO_3^-) e carbonatos ($\text{CO}_3^{=}$) encontrados na água têm como principal fonte o gás carbônico (CO_2) presente na atmosfera e no solo. A forma de ocorrência desses íons tem uma forte relação com o pH do meio e definem a alcalinidade das águas. Os processos de ionização são representados por:



A concentração do íon bicarbonato varia de 50 a 400 mg/L em águas subterrâneas, podendo alcançar 800 mg/L; na água do mar a concentração é da ordem de 100 mg/L. Na forma de bicarbonato de cálcio, ele precipita com muita facilidade.

(viii) Compostos Nitrogenados

O nitrogênio pode ser encontrado nas águas nas formas de gás amônio (NH_4^+), nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-). A partir das concentrações dos compostos nitrogenados, pode-se associar a idade de poluição da água. Mesmo um pequeno teor de nitrito e amônia é sinal de poluição orgânica recente; já a predominância de nitrato garante uma poluição remota. Isso se deve ao fato de que o nitrito e a amônia são rapidamente convertidos em nitrato pelas bactérias, através do processo oxidação chamado nitrificação. Esse processo ocorre em dois estágios, primeiro a amônia é convertida em nitrito e depois em nitrato.



Nas águas naturais, as concentrações de nitrato são inferiores a 45 mg/L, que é o valor limite segundo o padrão de potabilidade (OMS, 1998). Contudo, em águas muito poluídas o teor de nitrato ultrapassa muito o valor máximo permitido, podendo chegar a 200 mg/L, tornando-se extremamente prejudicial devido ao seu alto grau de toxicidade. Ele pode causar uma doença chamada metahemoglobinemia infantil, que é letal para as crianças, uma vez que o nitrato se reduz a nitrito na corrente sanguínea, acarretando alterações no sangue.

(ix) Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

Os sólidos totais dissolvidos são a soma dos teores de todos os constituintes minerais presentes na água; ou seja, o STD representa a concentração de todo material dissolvido na água. Para se conseguir uma boa estimativa do STD de uma água subterrânea, basta multiplicar a medida de Condutividade Elétrica por um fator de aproximadamente 0,65 (APHA, 2005).

O valor máximo permitido de STD na água é de 1000 mg/L, segundo o padrão de potabilidade do Ministério da Saúde (MS, 1999).

(x) Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica é a capacidade que a água tem de conduzir corrente elétrica. Esse parâmetro está diretamente ligado à concentração iônica dissolvida na água e à temperatura, que influencia a mobilidade dos sais. Dessa forma, como há uma relação de proporcionalidade entre a concentração iônica e a condutividade elétrica, então se pode avaliar o grau de mineralização da água através da condutividade elétrica. À medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados, a condutividade da água aumenta, podendo assim estimar o valor dos sólidos totais dissolvidos em mg/L pela equação:

$$\text{STD} = 0,65\text{CE} \quad (3.12)$$

No Sistema Internacional de Unidades, adotado pelo Brasil, a unidade de condutância é Siemens. Para a faixa de valores nas águas subterrâneas, a unidade correta para condutividade elétrica é microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$); para o consumo humano, a condutividade da água deve ficar entre 50 e 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

(xi) Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH é a medida da concentração de íons de hidrogênio (H^+) na água, expressa pela equação:

$$pH = - \log [H^+]$$

A água pode ser classificada quanto ao pH seguindo o critério abaixo:

$$pH < 7 - \text{água ácida};$$

$$pH = 7 - \text{água neutra};$$

$$pH > 7 - \text{água básica}.$$

A determinação desse critério é feita através do balanço químico entre os íons hidrogênio (H^+) e hidróxido (OH^-). Por exemplo, em uma água quimicamente pura os íons H^+ estão em equilíbrio com os íons OH^- e seu pH é neutro, ou seja, igual a 7.

De modo geral, águas com valores de pH elevado sugerem que possa haver incrustação de carbonato, enquanto que águas com valores de pH baixo são propícias a processos de corrosão de materiais como concreto, alguns metais e superfície de cimento-amianto.

(xii) Dureza

A dureza é a dificuldade que o sabão tem de interagir com a água, ou seja, de fazer espuma. Assim, a redução da formação de espuma do sabão não garante uma limpeza eficiente e conseqüentemente aumenta o consumo da água. A dureza pode ser expressa como dureza temporária, permanente e total.

A dureza temporária ou dureza de carbonatos é causada pela combinação dos íons de cálcio e magnésio com os íons de bicarbonato e carbonato, podendo ser eliminada por uma simples fervura. A dureza permanente ou dureza não carbonatada é causada pela combinação dos íons de cálcio e magnésio com os íons de sulfato, cloreto,

nitrito e outros, dando origem a compostos solúveis que não podem ser retirados pelo aquecimento da água. A dureza total é a soma da dureza temporária com a dureza permanente e é expressa em miligramas por litro (mg/L) de carbonato de cálcio (CaCO₃).

A classificação das águas quanto ao grau de dureza está de acordo com o Quadro 3.2:

Quadro 3.2 - Classificação das águas quanto ao grau de dureza (FNS, 1999).

Dureza de CaCO ₃ (mg/L)	Classificação
0 - 50	Mole
> 50 - 150	Moderadamente dura
> 150 - 300	Dura
> 300	Muito Dura

(xiii) Turbidez

A turbidez é o grau de dificuldade que um feixe de luz tem para atravessar certa quantidade de água, devido à presença de sólidos em suspensão como areia, argila, detritos orgânicos e outras partículas. Para medição da turbidez compara-se o espalhamento de um feixe de luz que passa pela amostra com o espalhamento de um feixe de luz de igual intensidade que passa por uma suspensão padrão; então, quanto maior o espalhamento maior será a turbidez.

Os valores de turbidez são expressos em UNT (Unidade Nefelométrica de Turbidez), que para a OMS (Organização Mundial de Saúde), o limite máximo em água potável deve ser 5 UNT.

(xiv) Cor

A coloração da água está diretamente associada às suas substâncias nela dissolvidas nela. Normalmente, quando a água tem poucas substâncias dissolvidas, ela apresenta uma cor azulada; quando é rica em ferro, apresenta uma cor arroxeada; quando rica em manganês, apresenta uma coloração escura e assim por diante. Dessa forma, se podem tirar conclusões sobre a presença de substâncias dissolvidas na água através de sua coloração.

(xv) Temperatura

Normalmente, as águas subterrâneas têm uma amplitude térmica anual baixa e sua temperatura não é diretamente influenciada pelas mudanças da temperatura atmosférica; com exceção dos aquíferos freáticos que são pouco profundos e apresentam temperatura pouco superior à da superfície.

A temperatura é um fator importante, pois de alguma forma influencia uma série de parâmetros físico-químicos. Por exemplo, com o aumento da temperatura a viscosidade, tensão superficial, compressibilidade, calor específico, constante de ionização e calor latente de vaporização diminuem, enquanto que a condutividade elétrica e a pressão aumentam.

3.4. Tratamento dos Dados

Primeiramente, os resultados das análises dos parâmetros físico-químicos, nas amostras dos dois municípios e nas duas coletas, foram organizados em seis tabelas; quatro com dados dos valores das concentrações dos íons Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- , NH_4^+ , NO_2^- e NO_3^- , do STD e do Fe; nas outras duas estão os valores dos parâmetros turbidez, cor, dureza, CE e pH nas amostras dos municípios de Barbalha e Missão Velha.

Através desses dados, foram feitas mais quatro tabelas com os parâmetros estatísticos valores máximos e mínimos, valor médio, mediana e desvio padrão. Para isso, foi usado o programa computacional OriginPro 8.

A partir dos dados dos constituintes iônicos fornecidos pelas tabelas, utilizou-se o software AquaChem Waterloo Hydrogeologic's 3.70 para criar o Diagrama de Piper onde são separados ânions e cátions de cada amostra, estabelecendo-se assim os tipos químicos da água nos municípios de Missão Velha e Barbalha, em cada coleta.

Com o software Qualigraf foi feito o Diagrama do SAR, que relaciona os parâmetros condutividade elétrica e sódio, identificando o tipo de água para o uso na agricultura.

4. RESULTADOS

Os resultados das análises dos parâmetros físico-químicos condutividade elétrica, pH, turbidez, cor e dureza em amostras de água subterrânea dos municípios de Barbalha e Missão Velha, estão apresentados nas Tabelas 4.1 e 4.2, respectivamente.

Os resultados das análises hidroquímicas dos parâmetros sólidos totais dissolvidos (STD), concentrações dos íons maiores Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NH_4^+ , NO_3^- e Fe em águas subterrâneas do aquífero Missão Velha coletadas nos municípios de Barbalha, no final dos períodos seco e chuvoso, estão apresentados, respectivamente nas Tabelas 4.3 e 4.4. Os resultados destas análises hidroquímicas em amostras do município de Missão Velha relativos ao final de cada período estão apresentados nas Tabelas 4.5 e 4.6.

Os valores estatísticos dos parâmetros hidroquímicos e físico-químicos das amostras do aquífero Missão Velha em Barbalha e em Missão Velha, nas duas coletas, estão mostrados nas Tabelas 4.7 e 4.8 e nas Tabelas 4.9 e 4.10, respectivamente.

Discussões e interpretações dos dados são feitas a seguir para identificar a qualidade de água subterrânea da região em estudo, levando em consideração a variação espacial, caracterizada pelos dois municípios distintos, e a variação temporal, caracterizada pelas coletas feitas no intervalo de tempo de seis meses.

Tabela 4.1 - Parâmetros físico-químicos de amostras de água subterrânea em Barbalha, no final do período seco e final do período chuvoso.

Nº	Amostra	Primeira coleta					Segunda coleta				
		Turbidez (uT)	Cor (uH)	Dureza (mg/L)	CE (µS/cm)	pH	Turbidez (uT)	Cor (uH)	Dureza (mg/L)	CE (µS/cm)	pH
1	BAR/01	3,62	14,41	162,4	404	7,2	2,40	ND	160,0	660	8,3
2	BAR/02	0,60	9,02	128,7	391	7,1	0,49	16,2	130,0	530	8,0
3	BAR/03	1,02	6,00	15,8	73	6,0	0,90	18,01	16,0	99	7,0
4	BAR/07	2,40	14,41	5,9	102	6,0	1,32	3,61	4,0	89	7,0
5	BAR/04	0,72	9,02	312,8	639	7,1	0,50	1,80	312,0	800	8,1
6	BAR/05	0,01	23,40	207,9	510	6,6	0,47	3,61	206,0	560	8,0
7	BAR/06	2,82	41,30	79,2	211	6,9	1,30	5,41	76,0	330	7,8
8	BAR/08	0,62	7,21	79,2	265	7,3	0,34	ND	78,0	370	8,0

Tabela 4.2 - Parâmetros físico-químicos de amostras de águas subterrâneas em Missão Velha, no final do período seco e no final período chuvoso.

Nº	Amostra	Primeira coleta					Segunda coleta				
		Turbidez (uT)	Cor (uH)	Dureza (mg/L)	CE (µS/cm)	pH	Turbidez (uT)	Cor (uH)	Dureza (mg/L)	CE (µS/cm)	pH
1	MV/01	0,52	16,21	57,4	187	6,5	0,45	14,4	50,0	230	7,7
2	MV/02	0,70	12,62	160,4	455	7,2	0,85	124,3	172,0	600	8,2
3	MV/03	1,50	6,40	118,3	304	6,4	3,69	34,1	112,0	298	7,7
4	MV/04	1,00	12,62	164,3	380	7,0	0,40	8,4	158,0	550	8,4
5	MV/05	0,70	10,82	79,2	500	5,4	0,45	12,6	70,0	330	7,2
6	MV/06	3,61	14,41	71,3	163	6,1	0,54	12,6	60,0	210	7,4
7	MV/07	33,05	21,60	97,0	250	7,5	28,60	103,28	10,7	350	8,3

Tabela 4.3 - Hidroquímica de águas subterrâneas amostradas em Barbalha no final do período seco (dezembro/2007).

Nº	Nº Lab	Amostra	Concentrações (mg/L)											
			STD	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	Fe
1	1157	BAR/01	421,0	46,6	10,6	36,6	10,1	11,3	31,6	271,2	0,50	0,63	1,8	0,17
2	1159	BAR/02	327,3	21,7	17,8	27,5	8,4	15,1	21,9	195,4	0,78	ND	18,7	0,05
3	1154	BAR/03	61,4	2,3	2,4	7,7	3,5	13,2	0,1	17,5	2,01	0,18	12,6	ND
4	1156	BAR/07	73,4	1,6	0,5	12,6	11,6	17,0	1,1	26,2	0,78	0,18	1,8	0,05
5	1158	BAR/04	487,0	94,7	17,3	12,6	5,1	52,7	46,4	250,8	0,92	ND	6,5	0,05
6	1155	BAR/05	368,2	60,5	13,0	15,1	8,4	35,8	52,5	154,5	ND	11,90	16,3	0,13
7	1153	BAR/06	198,1	22,5	5,3	17,7	5,1	7,5	0,9	134,1	2,98	0,26	1,4	0,31
8	1160	BAR/08	221,4	13,2	11,1	24,6	5,1	14,1	12,2	137,0	0,71	0,09	3,2	ND

Tabela 4.4 - Hidroquímica de águas subterrâneas amostradas em Barbalha no final do período chuvoso (agosto/2008).

Nº	Nº Lab	Amostra	Concentrações (mg/L)											
			STD	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	Fe
1	1356	BAR/01	428,7	28,0	21,9	39,8	10,1	8,8	30,4	288,2	ND	1,26	ND	0,36
2	1362	BAR/02	339,1	20,0	19,4	33,5	6,8	14,6	19,4	203,6	0,78	0,71	20,2	0,02
3	1366	BAR/03	67,0	ND	3,9	7,7	6,8	11,7	0,43	25,1	0,50	0,75	10,2	ND
4	1360	BAR/07	57,4	ND	0,97	10,1	10,1	15,6	0,6	18,8	0,50	0,79	ND	0,04
5	1361	BAR/04	513,1	65,6	36,0	13,8	3,5	49,7	72,9	266,3	0,71	0,98	3,7	ND
6	1358	BAR/05	361,3	36,0	28,2	15,1	6,8	34,1	67,9	166,1	0,57	2,03	4,6	ND
7	1359	BAR/06	213,5	12,0	11,2	20,4	5,1	7,8	1,8	153,5	0,92	0,71	ND	0,07
8	1357	BAR/08	239,0	12,0	11,7	30,4	5,1	14,6	13,1	144,1	0,92	3,3	3,7	0,02

Tabela 4.5 - Hidroquímica de águas subterrâneas amostradas em Missão Velha no final do período seco (dezembro/2007).

Nº	Nº Lab	Amostra	Concentrações (mg/L)											
			STD	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	Fe
1	1180	MV/01	154,3	6,2	10,1	17,7	8,4	21,7	0,8	78,7	2,60	0,18	7,9	ND
2	1177	MV/02	385,1	34,9	17,3	24,6	10,1	20,7	13,5	244,9	2,87	0,31	15,9	ND
3	1183	MV/03	21,7	21,7	15,6	10,1	6,8	55,6	2,2	75,8	2,82	0,26	5,1	0,15
4	1179	MV/04	354,8	31,0	20,7	20,4	10,1	17,0	4,6	242,0	2,54	0,47	6,0	ND
5	1182	MV/05	238,4	3,9	16,8	39,8	19,2	92,3	0,7	29,2	3,25	1,48	31,9	ND
6	1181	MV/06	196,4	16,3	7,2	11,3	13,2	12,2	6,4	72,9	3,19	35,42	18,25	ND
7	1178	MV/07	244,7	17,9	12,5	16,4	10,1	10,4	10,1	154,5	3,40	0,83	6,0	2,71

Tabela 4.6 - Hidroquímica de águas subterrâneas amostradas em Missão Velha no final do período chuvoso (agosto/2008).

Nº	Nº Lab	Amostra	Concentrações (mg/L)											
			STD	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	Fe
1	1370	MV/01	147,0	5,6	8,8	17,7	5,1	18,5	3,3	81,5	0,92	1,01	4,6	ND
2	1365	MV/02	388,7	35,2	20,4	28,9	5,1	21,4	17,0	244,4	1,05	0,94	12,1	0,11
3	1368	MV/03	198,3	19,2	15,6	12,6	6,8	46,8	3,1	87,7	1,44	0,75	4,1	0,22
4	1364	MV/04	357,8	28,0	21,4	21,8	10,1	17,5	6,9	247,5	1,05	0,79	2,8	ND
5	1367	MV/05	212,4	5,6	13,6	36,6	12,3	70,1	4,3	40,7	0,43	1,66	23,1	0,02
6	1369	MV/06	135,4	10,4	8,3	11,3	3,4	15,6	6,3	75,2	0,92	0,79	3,2	0,01
7	1363	MV/07	208,0	20,8	10,7	12,6	6,8	3,9	15,5	144,1	0,71	1,12	11,1	0,78

Tabela 4.7 - Estatística dos parâmetros físico-químicos de águas subterrâneas em Barbalha.

Parâmetro	Mínimo		Máximo		Média		Desvio padrão		Mediana	
	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 1	Coleta 2
Turbidez(uT)	0,01	0,34	3,6	2,4	1,47	0,97	1,29	0,70	0,87	0,7
Cor(uH)	6,00	1,80	41,3	18,0	15,59	8,10	11,79	7,08	11,71	4,5
Dureza(mg/L)	5,90	4,00	312,8	312,0	123,90	122,75	102,71	102,72	103,95	104,0
CE(μ S/cm)	73,00	83,00	639,0	800,0	324,37	429,75	197,57	255,27	328,00	450,0
pH	6,00	7,00	7,3	8,3	6,78	7,78	0,52	0,50	7,00	8,0

Tabela 4.8 - Estatística dos parâmetros físico-químicos de águas subterrâneas em Missão Velha.

Parâmetro	Mínimo		Máximo		Média		Desvio padrão		Mediana	
	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 1	Coleta 2
Turbidez(uT)	0,5	0,4	33,0	28,6	5,87	4,99	12,03	10,47	1,0	0,5
Cor(uH)	6,4	8,4	21,6	124,3	13,52	44,24	4,70	48,60	12,6	14,4
Dureza(mg/L)	57,4	10,7	164,3	172,0	106,84	90,38	42,56	59,18	97,0	70,0
CE(μ S/cm)	163,0	210,0	500,0	600,0	319,85	366,85	130,20	151,44	304,0	330,0
pH	5,4	7,2	7,5	8,4	6,58	7,84	0,72	0,46	6,5	7,7

Tabela 4.9 - Estatística dos parâmetros hidroquímicos de águas subterrâneas em Barbalha.

Parâmetro	Mínimo		Máximo		Média		Desvio padrão		Mediana	
	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 1	Coleta 2
Ca ²⁺ (mg/L)	1,6	12,0	94,7	65,6	32,9	28,8	32,3	20,2	22,1	24,0
Mg ²⁺ (mg/L)	0,5	0,9	17,8	36,0	9,8	16,7	6,5	12,0	10,8	15,6
Na ⁺ (mg/L)	7,7	7,7	36,6	39,8	19,3	21,4	9,6	11,8	16,4	17,8
K ⁺ (mg/L)	3,5	3,5	11,6	10,1	7,2	6,8	2,9	2,3	6,8	6,8
Cl ⁻ (mg/L)	7,5	7,8	52,7	49,7	20,8	19,6	15,4	14,6	14,6	14,6
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	0,1	0,4	52,5	72,9	20,8	25,8	20,9	29,4	17,1	16,3
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	17,5	18,8	271,2	288,2	148,3	158,2	92,7	98,6	145,8	159,8

Tabela 4.10 - Estatística de parâmetros hidroquímicos de águas subterrâneas em Missão Velha.

Parâmetro	Mínimo		Máximo		Média		Desvio padrão		Mediana	
	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 1	Coleta 2
Ca ²⁺ (mg/L)	3,9	5,6	34,9	35,2	18,8	17,8	11,6	11,3	17,9	19,2
Mg ²⁺ (mg/L)	7,2	8,3	20,7	21,4	14,3	14,1	4,6	5,3	15,6	13,6
Na ⁺ (mg/L)	10,1	11,3	39,8	36,6	20,0	20,2	10,0	9,6	3,8	17,7
K ⁺ (mg/L)	6,8	3,4	19,2	12,3	11,1	7,1	4,1	3,1	10,1	6,8
Cl ⁻ (mg/L)	10,4	3,9	92,3	70,1	32,8	27,7	30,3	22,7	20,7	18,5
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	0,7	3,1	13,5	17,0	5,5	8,1	4,0	5,8	4,6	6,3
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	29,2	40,7	244,9	247,5	128,3	131,6	86,9	80,9	78,7	87,7

4.1. Parâmetros físico-químicos

Histogramas da condutividade elétrica estão representados nas Figuras 4.1 a 4.4, para os municípios de Barbalha e Missão Velha para as coletas de dezembro de 2007 e agosto de 2008. Os resultados mostram nas amostras dos dois municípios, valores mais elevados na segunda coleta do que na primeira, indicando o efeito da recarga no período chuvoso.

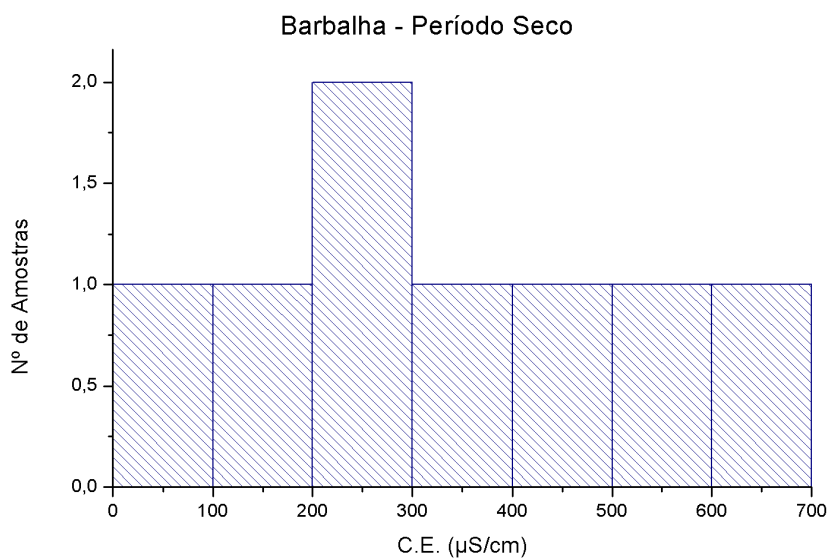


Figura 4.1 - Histograma da Condutividade Elétrica de amostras de Barbalha, na coleta de dezembro de 2007.

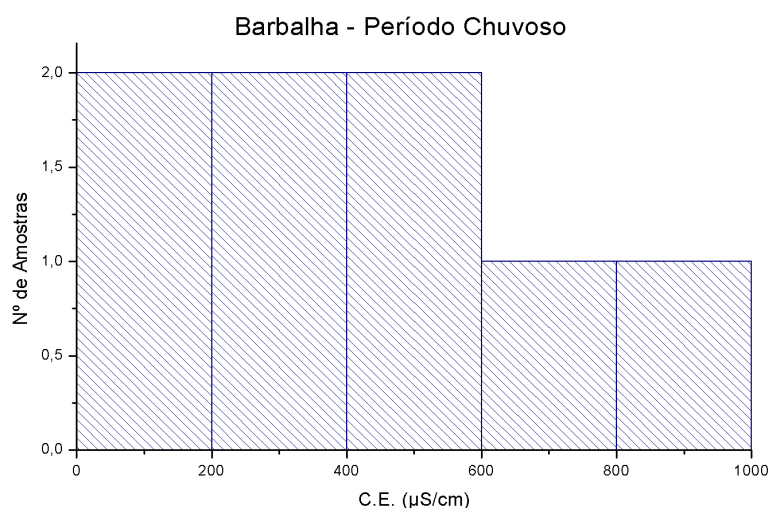


Figura 4.2 - Histograma da Condutividade Elétrica de amostras de Barbalha, na coleta de agosto de 2008.

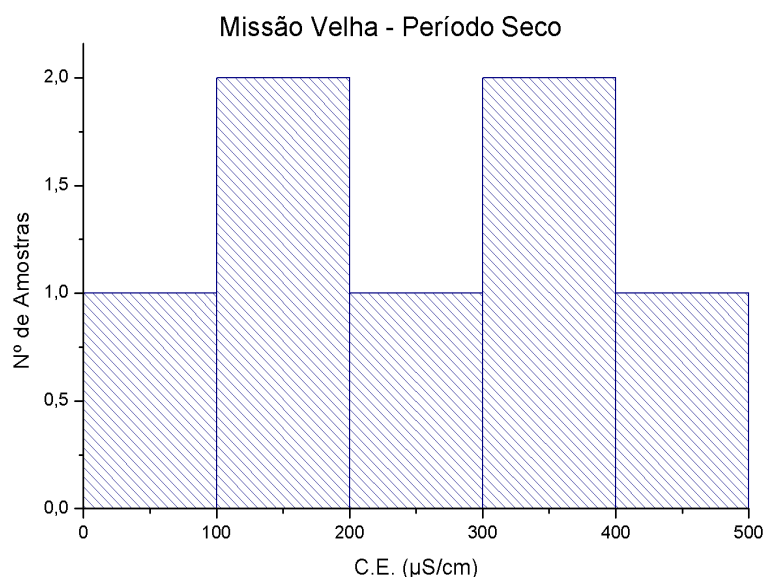


Figura 4.3 - Histograma da Condutividade Elétrica de amostras de Missão Velha, na coleta de dezembro de 2007.

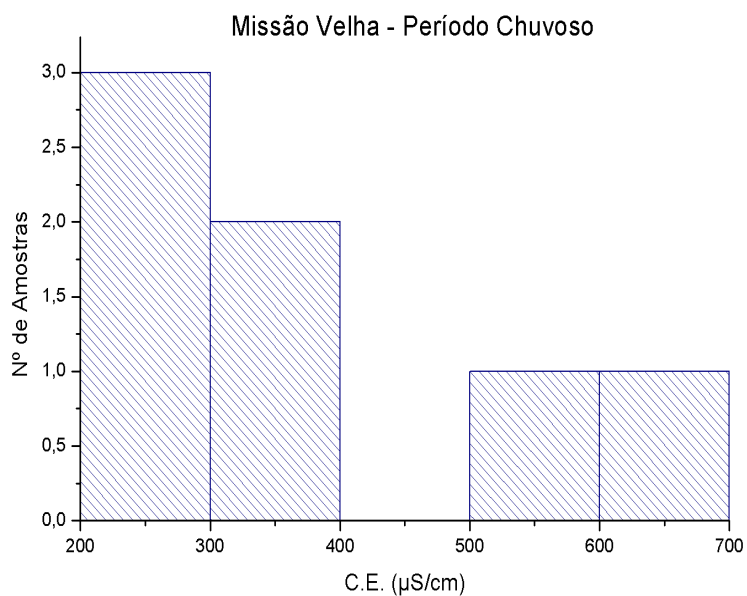


Figura 4.4 - Histograma da Condutividade Elétrica de amostras de Missão Velha, na coleta de agosto de 2008.

A figura 4.5 mostra os dados estatísticos das tabelas 4.7 e 4.8 referentes ao pH.

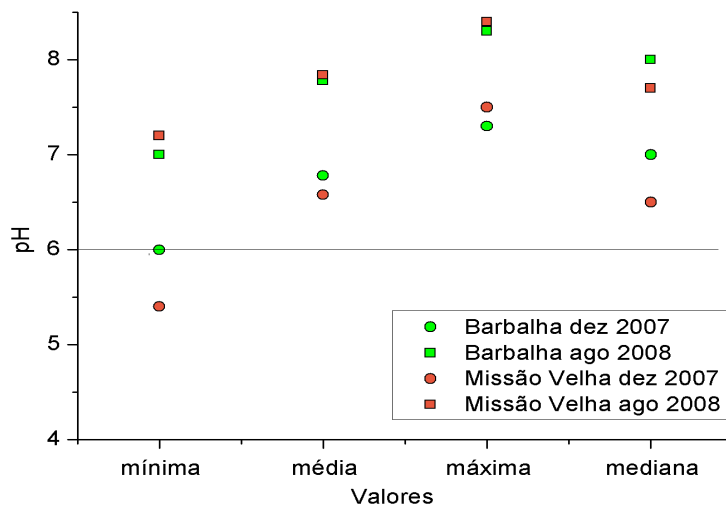


Figura 4.5 - Valores mínimo, médio, máximo e mediana do pH.

Identifica-se, portanto uma variação temporal nas amostras de ambos os municípios, com a água passando do caráter ácido da primeira coleta para o básico na segunda, variação produzida pela recarga do período chuvoso.

Os valores estatísticos da condutividade elétrica média nas amostras das duas coletas foram mais altos nas as águas de Barbalha do que nas águas de Missão Velha, caracterizando uma variação espacial com águas de Barbalha mais salinas do que as de Missão Velha, como mostra a figura 4.6.

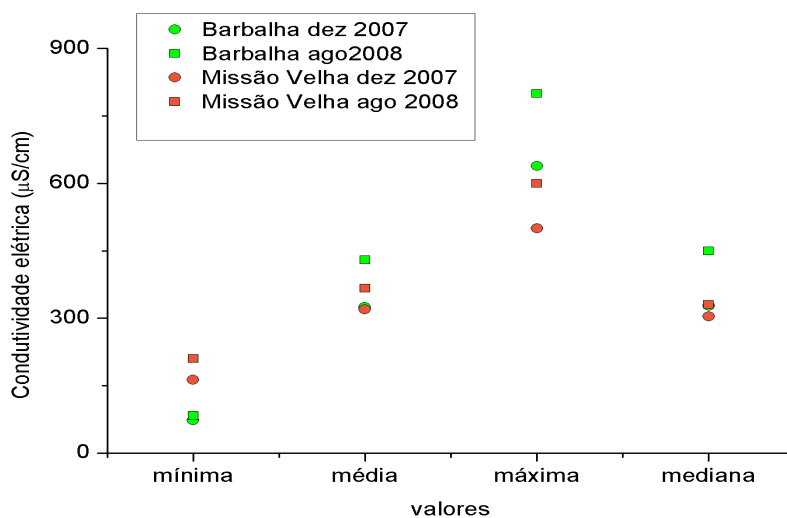


Figura 4.6 - Valores mínimo, médio, máximo e mediana da condutividade elétrica.

Como a condutividade elétrica é diretamente proporcional à salinidade, as águas estavam mais salinas na segunda coleta, nas duas áreas, por efeito da recarga no período chuvoso.

As águas da região estudada em ambos os municípios são predominantemente do tipo moderadamente duras, segundo a classificação das águas quanto ao grau de dureza (Quadro 3.2) e como mostra à figura 4.7 as águas em Barbalha têm dureza mais elevada do que as águas de Missão Velha.

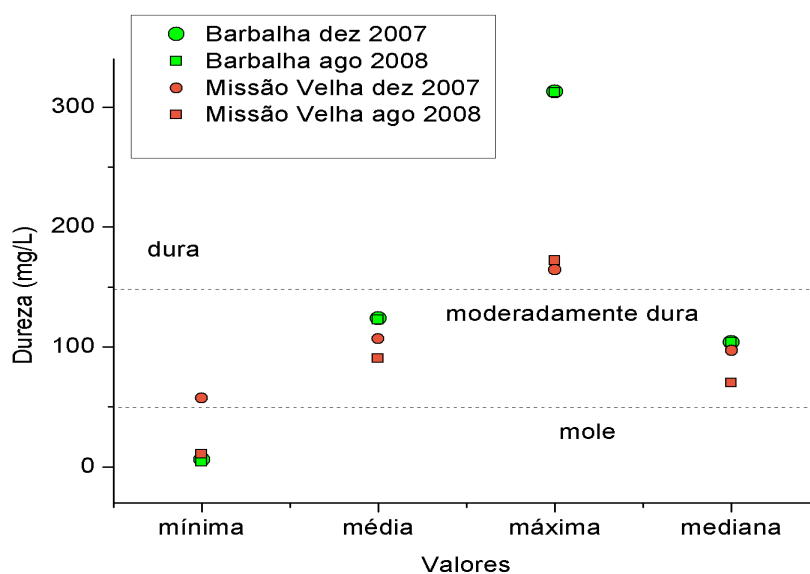


Figura 4.7 - Valores mínimo, médio, máximo e mediana da dureza.

4.2. Parâmetros Hidroquímicos

A partir dos valores médios mostrados nas tabelas 4.9 e 4.10, pode-se chegar a uma relação entre as concentrações de cátions presente na águas de cada município. Para o município de Barbalha tem-se $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ e para o município de Missão Velha, $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$. Em relação aos ânions, percebe-se que as concentrações dos íons de bicarbonato (HCO_3^-) são maiores do que as dos outros ânions (cloreto e sulfato) em ambos os municípios.

Para classificação dos tipos de água subterrânea coletada nos municípios de Barbalha e Missão Velha, no final do período seco de 2007 e no final do período chuvoso de 2008, se utilizou os diagramas de Piper ilustrados nas Figuras 4.8 a 4.11.

Pela análise geral dos diagramas, verifica-se que na maioria das amostras são de águas do tipo bicarbonatada mista. Contudo, ocorrem algumas amostras de águas dos tipos bicarbonatada cálcica, cloretada sódica e cloretada mista.

Na coleta de dezembro 2007, os resultados mostrados nos diagramas das figuras 4.8 e 4.10 das amostras de água subterrânea do aquífero de Missão Velha, nos municípios de Barbalha e Missão Velha, evidenciam a predominância de águas bicarbonatadas quanto aos ânions e mistas quanto aos cátions, havendo também em ambos os municípios águas cloretadas quanto aos ânions e sódicas quanto aos cálcios. Somente uma água do tipo cálcica ocorreu no município de Barbalha, indicando uma variação espacial.

Na segunda coleta em agosto 2008, os dois municípios apresentam águas bicarbonatadas mistas (Figuras 4.9 e 4.11), com exceção de uma amostra de água do tipo cloretada sódica coletada no município de Missão Velha (Figura 4.11).

A partir desses resultados, percebe-se que as mudanças nos tipos de água ocorridas entre o final do período seco e o final do período chuvoso são oriundas principalmente da recarga pelas chuvas, uma vez que as águas evoluem na segunda coleta para bicarbonatadas mistas. E isso se deve ao fato de que no período chuvoso a água das chuvas, contendo dióxido de carbono e outras substâncias devido à lixiviação, infiltra-se no solo até chegar ao aquífero.

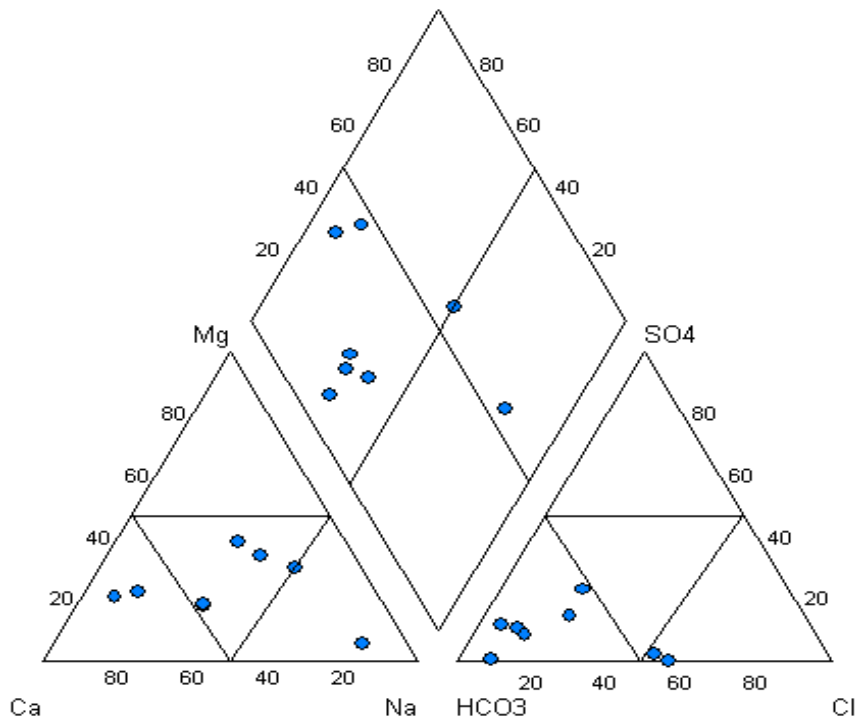


Figura 4.8 - Diagrama de Piper com amostras coletadas em Barbalha, dezembro de 2007.

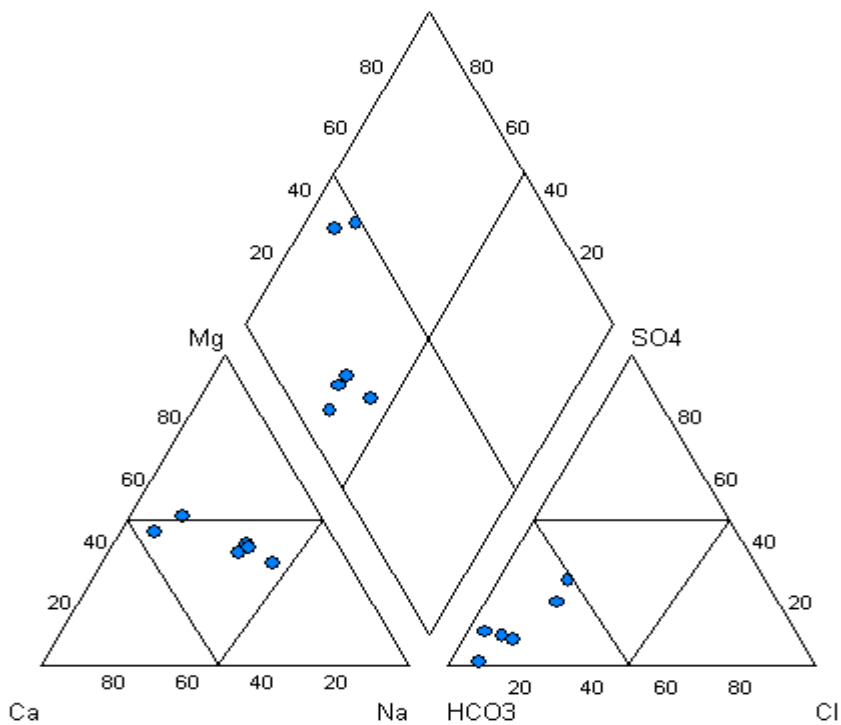


Figura 4.9 - Diagrama de Piper com amostras coletadas em Barbalha, agosto de 2008.

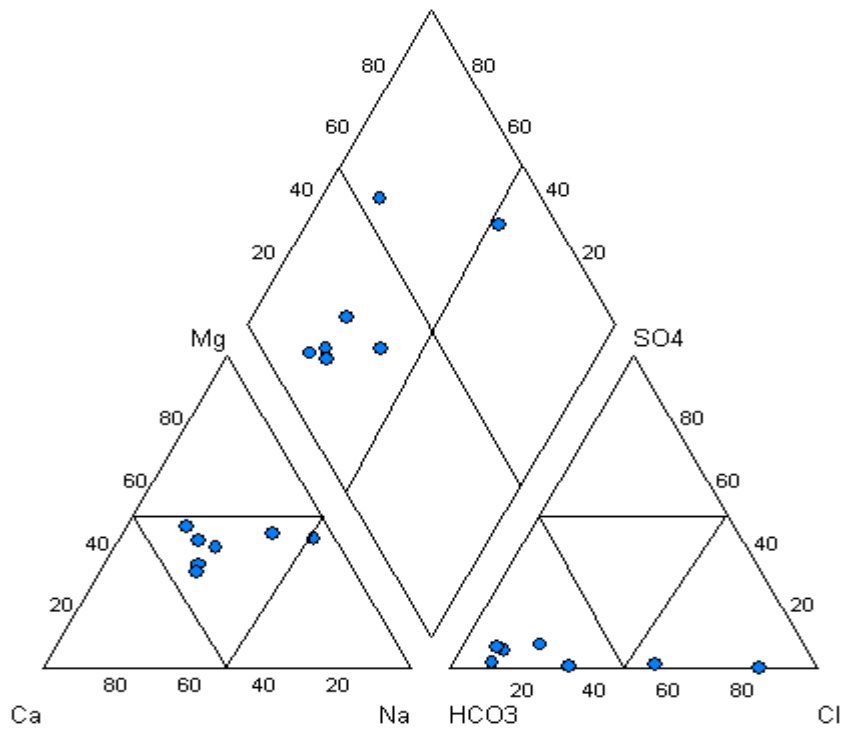


Figura 4.10 - Diagrama de Piper com amostras coletadas em Missão Velha, dezembro de 2007.

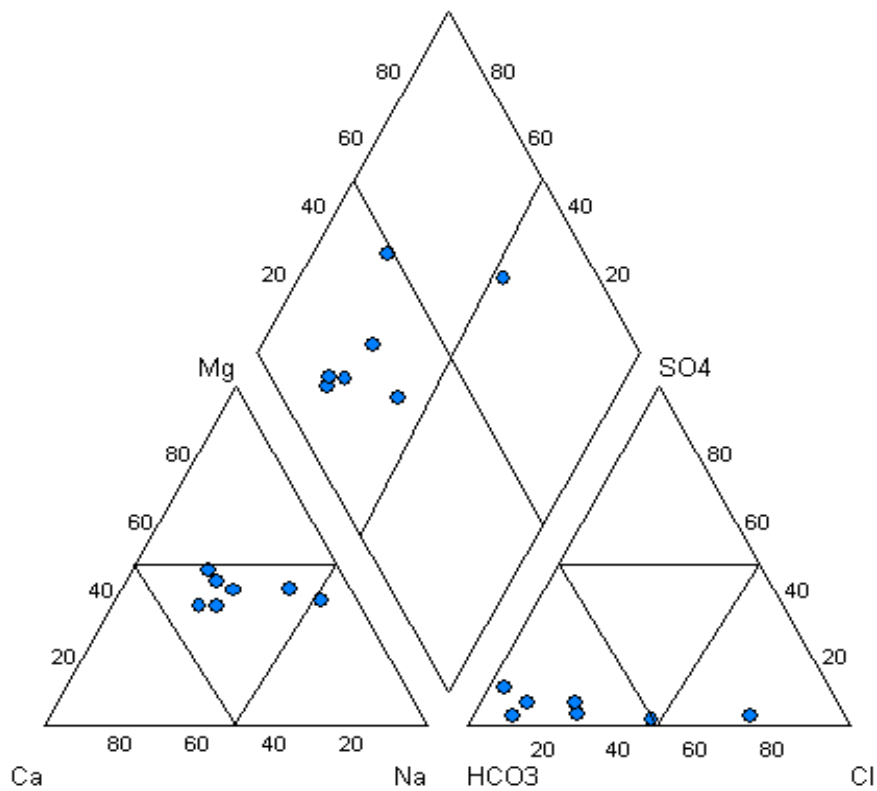


Figura 4.11 - Diagrama de Piper com amostras coletadas em Missão Velha, agosto de 2008.

4.3. Qualidade da água

4.3.1. Para o Consumo Humano

Comparando os valores dos resultados apresentados nas Tabelas 5.1 a 5.10 com os Valores Máximos Permitidos de acordo com a resolução CONAMA nº 396 (2008), mostrados no Quadro 4.1, observa-se que das amostras de águas de ambos os municípios são potáveis com exceção das amostras de número 6 dos municípios de Barbalha (Tabela 4.3) e Missão Velha (Tabela 4.5) que apresentam concentração de nitrito, respectivamente, de 11,9 e 35,42 mg/L, acima de 3,3 mg/L, o VMP para as águas apropriadas ao consumo humano. Este resultado mostra que a ação antrópica é leve, visto que o amônio, nitrito e nitrato aparecem em baixas concentrações, com exceção destas amostras.

Quadro 4.1 - Valores Máximos Permitidos (CONAMA, 2008).

Parâmetro	VMP (mg/L)		Parâmetro	VMP (mg/L)	
	Consumo humano	Irrigação		Consumo humano	Irrigação
STD	1.000	-	Nitrato	45	-
Cloreto	250	100-700	Nitrito	3,3	3,3
Sódio	200	-	Ferro	0,3	5,0

4.3.2. Para o uso na irrigação

Os diagramas de Adsorção de Sódio versus Condutividade Elétrica das figuras 4.12 e 4.13, que classificam as águas para o uso na irrigação, mostram que as águas subterrâneas do aquífero de Missão Velha são de baixo risco de sódio e baixo e médio risco de salinidade nos dois municípios.

As águas do município de Barbalha são do tipo C2S1 com baixo Risco de Sódio e de salinidade médio, adequadas ao uso na irrigação em solos com moderada lixiviação, enquanto que as águas do município de Missão Velha são dos tipos C1S1 e C2S1; portanto, parte como as de Barbalha e parte tem sódio baixo e salinidade baixa, adequado ao uso em solos de até permeabilidade extremamente fraca.

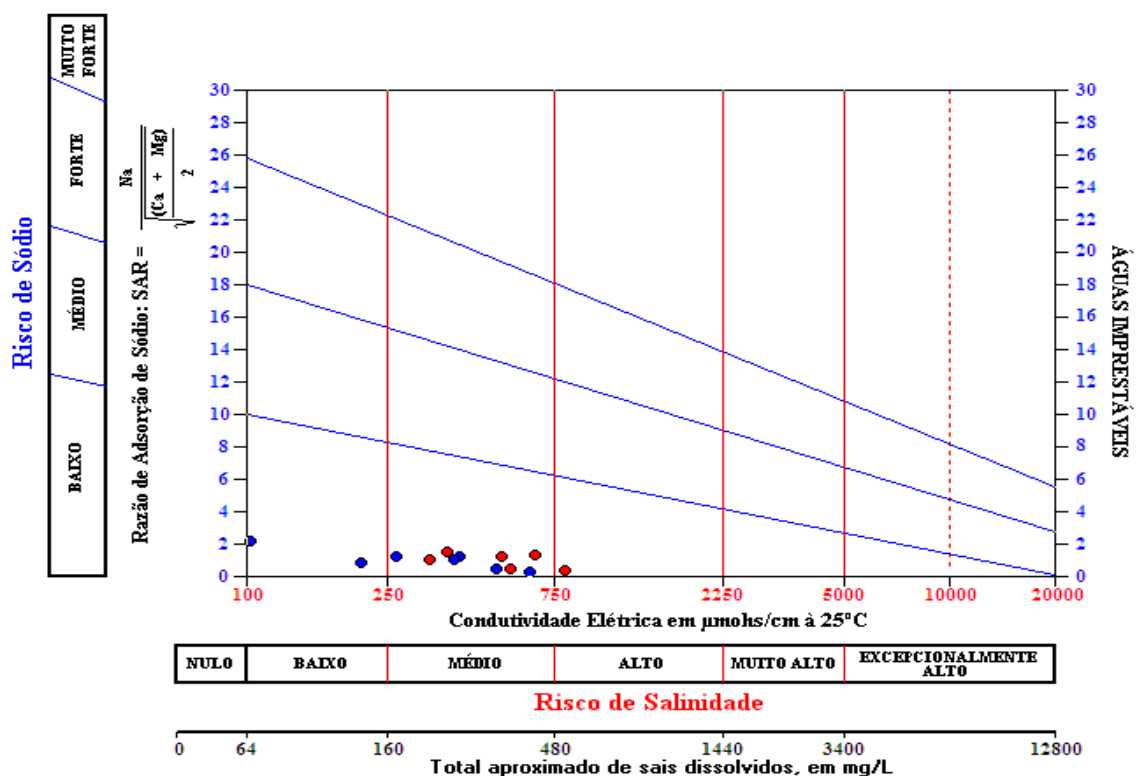


Figura 4.12 - Razão de Adsorção de Sódio vs Condutividade Elétrica em água subterrânea do aquífero Missão Velha no município de Barbalha.

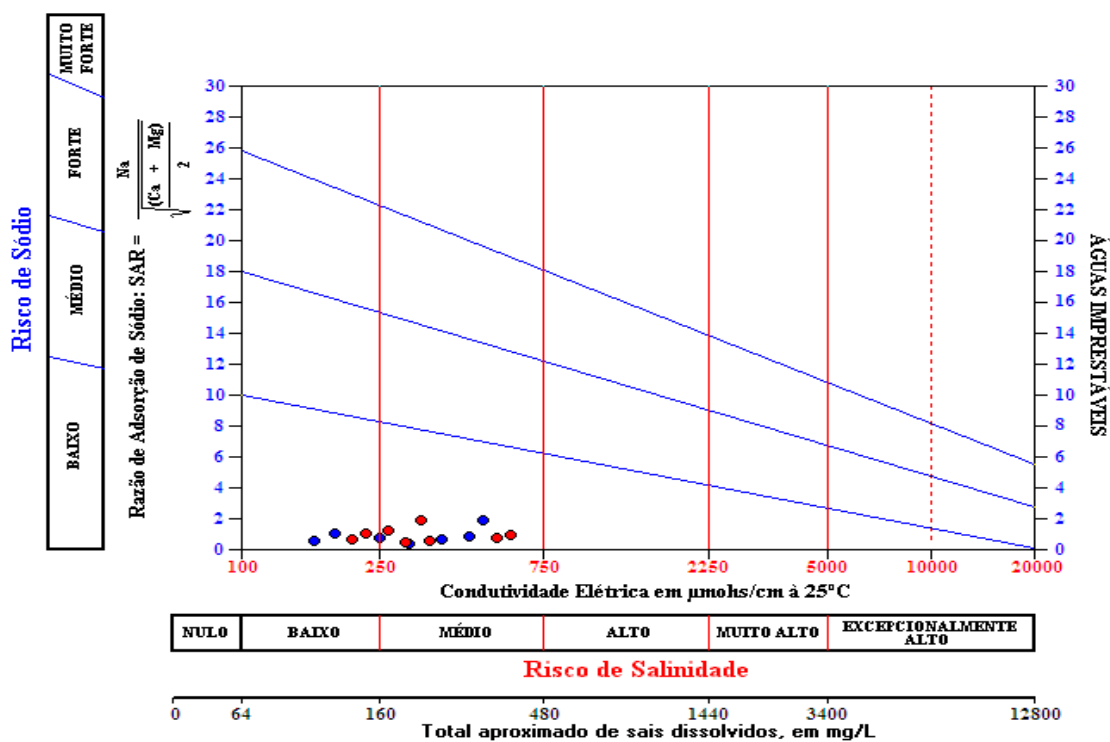


Figura 4.13 - Razão de Adsorção de Sódio vs Condutividade Elétrica em água subterrânea do aquífero Missão Velha no município.

5. CONCLUSÃO

O aquífero de Missão Velha na área de estudo mostrou-se capaz de abastecer comunidades com água potável, com exceção de duas amostras, uma em cada município também quanto ao uso para irrigação, o aquífero apresentou águas apropriadas para essa finalidade em todas as amostras.

Embora as águas dos municípios de Barbalha e Missão Velha sejam do mesmo aquífero, o tectonismo regional pode mudar levemente a sedimentologia da Formação Missão Velha o que modificaria os processos geoquímicos de interação das águas subterrâneas com as rochas da formação.

Há uma pequena diferença nas concentrações iônicas e na condutividade elétrica nas águas dos dois municípios e nas duas coletas, uma no final do período seco e outra no final do período chuvoso. Essa pequena diferença se deve ao intervalo de tempo de somente seis meses entre as duas coletas, que certamente não é suficiente para produzir todos os processos de interação água/rocha.

O tipo químico predominante determinado nas amostras de água dos dois municípios e nas duas coletas é de águas bicarbonatadas mistas. Isso mostra que elas são recentes e o processo de mineralização ocorre durante a recarga. Portanto, o principal processo de mineralização das águas ocorre nas águas de recarga e processos internos geoquímicos são menos intensos pelo menor tempo de residência das águas. Com as análises dos dados obtidos e o tratamento proposto neste trabalho esta é a informação que pode ser obtida sobre os processos de mineralização.

É importante ressaltar que apesar da água do aquífero de Missão Velha ser potável quanto à análise físico-química, precisa ser feita também a análise bacteriológica, conforme a Resolução do CONAMA (2008). Em locais onde possa haver ação antrópica produzindo a entrada de metais pesados e de BTEX estes também dever ser analisados.

Estas conclusões se referem ao conjunto de amostras analisadas. Pela grande extensão do aquífero Missão Velha e pelo tectonismo da área não é possível estender estes resultados para todas as águas deste aquífero; no entanto, dão um indício de como

são, em geral as águas subterrâneas na Formação Missão Velha sem os efeitos antrópicos que são, em geral pontuais.

6. BIBLIOGRAFIA

ALEXANDRE, G.A.L. & SZIKSZAY, M., O Comportamento Geoquímico do As, Cu, Pb e Zn em Solos com Culturas de Uvas, **Rev. Bras. Toxicologia**, v.12, n1, p.6, 1999.

APHA, **Standard Methods for the examination of water and wastewater**, 18, ed, AWWA -WPCP, 2005.

BRAILE, P. M. & CAVALCANTI, J. E.W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo: CETESB, 764p, 1979.

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente, **Resolução 396** de 03/04/2008, Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências, 11, 2008.

_____, Conselho Nacional do Meio Ambiente, **Resolução 357** de 17/03/2005, Dispõe sobre a classificação de corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências, 23 p, 2005.

CPRM, Serviço Geológico do Brasil/UFC –**Hidrogeologia da porção oriental da Bacia Sedimentar do Araripe**. In: Comportamento das bacias sedimentares da região semi-árida do nordeste brasileiro. 117p, 2007.

DNPM, Departamento Nacional de produção Mineral, **Programa nacional de estudos dos distritos mineiros: projeto avaliação hidrogeológica da Bacia Sedimentar do Araripe**. Recife, 101p. 1996.

FNS, Fundação Nacional de Saúde, **Manual Técnico de Análise de Água para Consumo Humano**. Brasília, 211 p. 1999.

FRISCHKORN, H.; SANTIAGO, M.M.F.; BRASIL, R. W., Aspectos Hídricos do Cariri. 1990. In: I SÍMPÓSIO SOBRE A BACIA DO ARARIPE E BACIAS

INTERIORES DO NORDESTE, 1990, Crato. **Anais.....** Crato/ DNPM, v. 1, p. 99-110, 1990.

FUNCEME, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, **Dados de precipitação pluviométrica**. Período 2007 a 2008. Site www.funceme.com.br. Consulta 27 de setembro 2010.

HINDI, E. C. **Caracterização hidroquímica e hidrogeológica das fontes cársticas das Bacias dos rios Tumiri, Água Comprida, Fervida e das Onças – Colombo, PR**. 1996. 127 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1999.

HIRATA, R. C. A. **Águas Subterrâneas: uma introdução à gestão de qualidade e quantidade**. **Apostila de curso**. São Paulo: Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica. p. 58, 1991.

HUMPHREY, F. & ALLARD, G. O. **Geologia do Domo de Itabaiana (Sergipe) e sua relação com a geologia da Geossinclinal de Própria, um elemento tectônico recém reconhecido do escudo brasileiro**. Petrobrás/CENPES, Rio de Janeiro, 1969.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **Contagem da população 2007**. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Rio de Janeiro, 311p, 2007.

ISO, International Standard, ISO3696. **Water for Analytical Laboratory Use – Specifications and Test Methods**. 1987.

KÖPPEN, W. & GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes, 1928.

LIMA, C.H. **Dinâmica de Salinização das Águas Subterrâneas na Região dos Inhamuns**. 1996, 81 f. Dissertação (Mestrado em Física) – Centro de Ciência, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1996.

LOGAN, J. **Interpretação de análises químicas da água**, US Agency for Int. Development. Recife. 67p. 1965.

MACEDO, J. A. B. **Métodos laboratoriais de análises físico-químicas & microbiológicas**.

- MENDONÇA, L. A. R.; FRISCHKORN, H., SANTIAGO, M.M.F; MENDES FILHO, J. Hidroquímica das águas da chapada do Araripe. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, **Anais...** Belo Horizonte. SBRH, 1999.
- MANASSÉS, F. **Caracterização Hidroquímica da Água Subterrânea da Formação da Serra Geral na Região Sudoeste do Estado do Paraná.** 2009. 110 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Setor Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná. 2009.
- MS, Ministério da Saúde, **Portaria 518** de 25/03/2004, 33p, 2004.
- OMS, Organização Mundial de Saúde. **Guias para a Calidad Del Água Potable.** OMS v.3, 255 p, 1998.
- RAMALHO, R. S. **Tratamiento de águas residuales.** Barcelona: Ed. Reverte, 705 p. 1996.
- REBOUÇAS, A. da. C. et al., 1999. Águas Doces no Brasil. Academia Brasileira de Ciências, Instituto de Estudos Avançados da USP.
- RIBEIRO J. A. & VERÍSSIMO L. S. **Recursos hídricos e minerais do município de Barbalha-CE:** projeto avaliação ambiental da região do Cariri (projeto AMCARI). Fortaleza: CPRM/DNPM, 1996. 49p. (Série Ordenamento Territorial, v.2).
- SANTIAGO, M.F.; SILVA, C. M. S.; MENDES FILHO, J. and FRISCHKORN, H. Characterization of groundwater in the Cariri (Ceará/Brazil) by environmental isotopes and electric conductivity. **Radiocarbon** ,v. 39, no1, 49 – 60p., 1997.
- SANTIAGO, M.M.F; MENDES FILHO, J.; SILVA, C.M.V.S; FRISCHKORN, H., **Modelo isotópico da dinâmica dos aquíferos do Cariri.** Apêndice In: Projeto Avaliação Hidrogeológica da Bacia Sedimentar do Araripe – Fase I. Recife, 1996
- SANTIAGO, M.M.F; SILVA, C.M.S.V.; FRISCHKORN, H.; MENDES FILHO, J., Comportamento das bacias sedimentares da região semi-árida do nordeste brasileiro. **Hidrogeologia da porção oriental da Bacia Sedimentar do Araripe.** Ed. CPRM, 117 p, 2007.
- SANTIAGO, M.M.F & SILVA, C.M.S.V. **Manual de Análise Hidroquímica e Bacteriológica do Departamento de Física da UFC.** 27 p, 2007.

VIANA, N.O. Vulnerabilidade e Risco à Poluição do Sistema Aquífero Médio – Entre Crato e Missão Velha, Bacia do Araripe, Ceará. 2007. 117 f. Dissertação (Mestrado em Geologia). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza,1996.