



Universidade Federal do Pará
Centro de Geociências
Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE
DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO AQUÍFERO FREÁTICO DA CIDADE
DE BRAGANÇA, PARÁ**

TESE APRESENTADA POR

HEMERT SANTOS AMORIM

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em
Ciências na Área de GEOQUÍMICA E PETROLOGIA.

Data de Aprovação: 17.08.2000

Comitê de Tese:

.....
JOSÉ FRANCISCO DA FONSECA RAMOS (Orientador)

.....
ANTONIO CARLOS FELICE NICOLA S. TANCREDI

.....
RUBÉN JOSÉ LARA

AGRADECIMENTOS

Agradeço às forças naturais pelo privilégio da existência e pelo constante gozo da vida.

A meus familiares, em particular a Waldenira, minha mãe, que de uma forma impar soube transmitir o amor que sente pelos seus filhos e fez-me conhecer o amor. A José Cândido, meu pai, por todos os seus conselhos, dos quais infelizmente só segui alguns. A Cristina, minha Irmã, pela paciência de me aturar, e a todos pela eterna amizade.

Ao Professor e agora amigo Dr. José Francisco da Fonseca Ramos, pela orientação, sugestões e apoio no decorrer dos trabalhos.

A Adriana Bordalo pela atenção, paciência e carinho que sempre dispensou a mim.

Ao Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará pelo espaço físico e apoio cedido durante as análises laboratoriais, sobretudo na pessoa de Leila, Antônio, Natalino e Rose.

Ao CNPq pela concessão de 1 ano e meio de bolsa dentre os dois anos de trabalho.

Ao Projeto MADAM pelo apoio logístico durante os trabalhos de campo.

A prof.a. Vera Braz e a todos os funcionários da Divisão de Controle Ambiental do Departamento de Engenharia Química, especialmente aos amigos Mônica e Denilson,.

A todos os profissionais que me auxiliaram nos trabalhos de campo como o prof. Geraldo das Virgens, geólogo Guilherme Pontes, engenheiro cartógrafo Paulo Amaral e a amiga e agora mãe Jedryane Line.

A toda comunidade bragantina pela sua hospitalidade e principalmente a família do amigo Ari (Rato), Mama, Vinícius e Pedro (pelos ótimos fins de tarde).

Agradeço ainda por todos os momentos de ócio às margens do rio Guamá.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	i
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	iv
LISTA DE ABREVIATURAS.....	v
RESUMO.....	1
ABSTRACT.....	3
1 – INTRODUÇÃO.....	5
1.1 – APRESENTAÇÃO E OBJETIVOS.....	5
2 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	7
2.1 – LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....	7
2.2 – ASPECTOS SÓCIO ECONOMICOS.....	7
2.3 – ASPECTOS GEOAMBIENTAIS.....	9
2.3.1 – Parâmetros Meteorológicos.....	9
2.3.2 – Vegetação.....	12
2.3.3 – Solos.....	12
2.3.4 – Hidrologia.....	13
2.3.5 – Geologia.....	13
2.3.6 – Hidrogeologia.....	17
2.3.7 – Geomorfologia.....	17
2.4 – SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE BRAGANÇA.....	18
2.4.1 – A Comunidade e o Abastecimento de Água.....	21
2.5 – SANEAMENTO BÁSICO.....	25
3 – MATERIAIS E MÉTODOS.....	29

3.1 – AMOSTRAGEM.....	29
3.1.1 – Técnicas de Coleta.....	29
3.2 – MÉTODOS QUÍMICO-ANALÍTICOS.....	31
3.3 – DETERMINAÇÃO DAS VARIÁVEIS NECESSÁRIAS À OBTENÇÃO DA VULNERABILIDADE NATURAL DO AQUÍFERO FREÁTICO.....	33
3.4 – MÉTODO DE CARACTERIZAÇÃO DO FLUXO DO AQUÍFERO FREÁTICO.....	34
4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
4.1 – VERIFICAÇÃO DOS RESULTADOS ANALÍTICOS.....	36
4.2 – HIDROQUÍMICA.....	42
4.2.1 – Constituintes Químicos.....	49
4.2.1.1 – Cátions.....	49
4.2.1.2 – Ânions.....	51
4.2.1.3 – Compostos de Nitrogênio.....	56
4.3 – CLASSIFICAÇÃO DA ÁGUA.....	59
4.4 – RELAÇÕES IÔNICAS.....	62
4.4.1 – Relação r_{Cl}/r_{Na} e $r_{Cl}/(r_{Na} + r_{K})$.....	62
4.4.2 – Relação $(r_{Ca} + r_{Mg})/r_{HCO_3}$ e r_{Ca}/r_{HCO_3}.....	65
4.5 – BACTERIOLOGIA.....	67
4.6 – VULNERABILIDADE NATURAL DO AQUÍFERO FREÁTICO.....	70
4.7 – FLUXO DO AQUÍFERO FREÁTICO.....	74
5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	77
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS		Pg
Figura 1	Mapa de Localização da Cidade de Bragança	8
Figura 2	Parâmetros meteorológicos da região bragantina	11
Figura 3	Mapa geológico de Bragança	16
Figura 4	Rio Chumucuí e Captação das águas do Rio Chumucuí	19
Figura 5	Estação de Tratamento de Água e Ponte da PA-112 sobre o Rio Chumucuí	20
Figura 6	Poço tubular comunitário	22
Figura 7	Poço tubular profundo no bairro Cereja	23
Figura 8	Poços tubulares rasos (T10 e NT3)	24
Figura 9 A	Vista da orla do Rio Caeté em frente à Bragança	26
Figura 9 B	Aspecto do escoamento das águas servidas em bairro periférico de Bragança	26
Figura 10	Aspecto da ocupação urbana	27
Figura 11	Aspecto da ocupação urbano na área do igarapé do Cereja	28
Figura 12	Mapa de pontos visitados	30
Figura 13	Aspecto dos poços escavados E1 e E10	38
Figura 14	Poço escavado E7	39
Figura 15	Poço escavado E2	40
Figura 16	Poços tubulares rasos T1 e T7	41
Figura 17	Valores de pH e STD	46
Figura 18	Valores de condutividade elétrica e resíduo seco	47
Figura 19	Diagrama STD x Condutividade elétrica	48
Figura 20	Diagrama de estabilidade dos compostos de enxofre	53
Figura 21	Diagrama de estabilidade dos compostos de ferro	56
Figura 22	Conteúdo de nitrato das águas	58
Figura 23	Diagrama de Piper e Durov	60
Figura 24	Diagrama de Shöeler	61
Figura 25	Diagramas lineares de rCl/rNa e $rCl/(rNa + rK)$	64
Figura 26	Diagramas lineares de $rHCO_3/rCa$ e $rHCO_3/rCa + rMg$	66
Figura 27	Coliformes fecais e total	68
Figura 28	Esquema de determinação do índice de vulnerabilidade	72
Figura 29	Mapa de vulnerabilidade	73
Figura 30	Mapa de equipotencial hidráulico	76

TABELAS

Tabela 1	Cadastro do poços visitados	37
Tabela 2	Constituintes químicos principais	43
Tabela 3	Parâmetros químicos principais	44
Tabela 4	Relações iônicas entre constituintes químicos	63
Tabela 5	Parâmetros para o índice de vulnerabilidade natural	71
Tabela 6	Potencial hidráulico dos pontos visitados	75

LISTA DE ABREVIATURAS

Mç99	Período de precipitação máxima (mês de março de 1999)
Out99	Período de precipitação mínima (mês de outubro de 1999)
PçT	Poço Tubular Raso (de 9 a 24m)
PçE	Poço Escavado ou Amazonas (Poço de até 16 m, com diâmetro de 1 a 1,5 m).
E1 a E10	Poço escavado com amostra para análise físico-química e bacteriológica
T1 a T10	Poço tubular raso com amostra para análise físico-química e bacteriológica
NT1 a NT4	Poço tubular raso para medida de nível estático
NE1 a NE5	Poço escavado para medida de nível estático
T ⁻	Somatória dos ânions em meq/L
T ⁺	Somatória dos cátions em meq/L
ppm	Parte por Milhão \cong 1mg/L.
mg/L	Miligramas por Litro
meq/L	Miliequivalente por litro
pH	Concentração efetiva do íon hidrogênio (H ⁺)
Eh	Potencial de Oxidação-Redução
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
RS	Resíduo Seco
NMP/100mL	Número mais provável de coliformes por 100 mL da amostra
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais
PRIMAZ	Programa de Integração Mineral em Municípios da Amazônia
COSANPA	Companhia de Saneamento do Pará

RESUMO

Este trabalho é um estudo das águas subterrâneas do aquífero freático da zona urbana da cidade de Bragança, localizada na microregião Bragantina do Nordeste Paraense, cujo objetivo é a caracterização geoquímica e a avaliação da sua qualidade para consumo humano.

O clima da região litorânea do nordeste do Pará é de monção, quente e úmido, com moderada estação seca, originando períodos sazonais de máxima e mínima precipitação, março/1999 e outubro/1999 respectivamente. Nestes períodos foram realizadas coletas sistemáticas de água para análise de parâmetros físico-químicos e bacteriológicos, totalizando 20 amostras, sendo 10 em poços escavados, com até 16 m de profundidade, e 10 em poços tubulares rasos, de 9 a 50 m, revestidos por tubos de PVC.

As análises revelaram que as águas dos poços estudados são ácidas, pobres em bases, e apresentam $\text{pH} \cong 5$. São em 80 % brandas ou corrosivas e o seu baixo conteúdo de STD, 269,8 mg/L, as classifica como doce. Isso contribui para os baixos valores de condutividade elétrica, 266,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e resíduo seco, assinalando uma relação direta entre esses parâmetros, inclusive com valores numéricos similares. Os valores de alcalinidade são baixos e compatíveis com os resultados de pH e HCO_3^- .

Dentre os constituintes químicos principais, os mais abundantes são o íon cloreto $\cong 41$ mg/L e o íon sódio $\cong 27,9$ mg/L, o que resulta em mais de 83% das amostras classificadas como cloretadas-sódicas, com menor proporção do tipo mista. A boa correlação linear entre cloreto e sódio $r\text{Cl}/r\text{Na} \cong 1$ assinala a influência de aerossóis marinhos ou aporte desses íons através de drenagens da área, sob influência das oscilações de maré. A relação entre os principais constituintes iônicos dissolvidos na água é $r\text{Na} > r\text{Ca} > r\text{Mg}$ e $r\text{Cl} > r\text{SO}_4 > r\text{HCO}_3^-$.

São águas pobres em ferro e 50% das amostras são oligosulfatadas. Os compostos de nitrogênio são melhor representados na forma de nitrato, que atinge até 26,8 mg/L de NO_3^- .

As águas possuem boa qualidade físico-química, com todos os parâmetros dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação vigente, com exceção dos valores ácidos de pH em mais de 95% das mostras. Nas águas de muitos poços o conteúdo de bactérias do grupo coliforme fecal e total é superior aos padrões exigidos de potabilidade.

Os bairros Cereja, Centro, Alegre, Morro e Riozinho são mais susceptíveis à contaminação hídrica subterrânea em função da alta vulnerabilidade do aquífero freático, devido a maior predominância de sedimentos terrígenos arenosos, constituintes predominantes da estratigrafia rasa desta área, e da pouca profundidade do nível d'água. A vulnerabilidade tende a diminuir nas zonas periféricas da cidade e partes dos bairros Taira, Vila Sinhá, Vila Nova, Samaumapara, Aldeia, Padre Luiz e Perpétuo Socorro que apresentam vulnerabilidade moderada. No extremo nordeste da área, parte dos bairros Perpétuo Socorro e Padre Luiz, a vulnerabilidade é baixa.

O fluxo subterrâneo freático da área escoia de sudoeste (SW) para nordeste (NE), com o fluxo local alimentando as águas do rio Caeté.

Em parte dos bairros Riozinho, Aldeia e Vila Sinhá, as águas do aquífero freático afloram à superfície do terreno. Estas geralmente são zonas ciliares, de inundações periódicas, e muito vulneráveis a contaminações de origem antropogênica.

ABSTRACT

This study refers to the groundwater of the urban zone of the town of Bragança, situated in the northeast of Pará State. It targets the geochemical characterization and the evaluation of the groundwater quality for the human consumption.

The climate of the coast zone in northeast Pará is of monsoon, warm and humid, with a moderate dry season, producing seasonal periods of maximal and minimal precipitation in march and october, respectively. During the both periods in 1999, systematic water sampling was carried out for the analysis physical-chemical and bacteriological parameters, amounting 20 samples. Ten of them belong to dug well up to 16m depth and shallow tubular well of 9 to 50 m depth, covered by PVC tubes.

The analyses revealed acid waters, poor in bases and $\text{pH} \cong 5$. They are 80% soft or corrosive and their low content on TDS of 269.8 mg/L classifies them as fresh water. This is in accordance with the low values of electrical conductivity (266.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$) and dry residue. The alkalinity value are low, compatible to the results for pH and HCO_3^- .

Among the main chemical components, the most abundant are the chloride and sodium ions, resulting over 83% of the samples classified as chloridic-sodics, and a small proportion of mixed type. The good liner correlation among chloride and sodium $r_{\text{Cl}}/r_{\text{Na}} \cong 1$ signify the influence of the sea aerosols or the input of the ions through the drainage under the forces of the tide. The relationship amongst the principal ionic dissolved components in the water is the follow: $r_{\text{Na}} > r_{\text{Ca}} > r_{\text{Mg}}$ and $r_{\text{Cl}} > r_{\text{SO}_4} > r_{\text{HCO}_3}$.

The waters are poor in iron and 50% of the samples are oligosulfated. The nitrogen compounds are mostly nitrate, reaching up to 26.8 mg/L NO_3^- .

The waters have good physical-chemical quality and their parameters respect the potability patterns established by law, with exception of the acid pH values in over 95% of the samples. In the water of the many wells the content of bacteria of the faecal and total coliform group is greater then the limits of the drinking water.

The neighbourhoods Cereja, Centro, Alegre, Morro and Riozinho are more susceptible to the contamination of the groundwater due to the high vulnerability of the unconfined aquifer,

compound predominantly by sand sediments at shallow level, and of the small depth of the water table. The vulnerability tends to decrease to moderate in the outlying zones of the city covering parts of the neighbourhoods Taira, Vila Sinhá, Vila Nova, Samaumapara, Aldeia, Padre Luiz and Perpétuo Socorro. In the northeast end of the area, part of the neighbourhoods Perpétuo Socorro and Padre Luiz the vulnerability is low

The flow of the unconfined aquifer of the area drain from southwest (SW) to northeast (NE), feeding the Caeté river.

In part of the neighbourhood Riozinho, Aldeia and Vila Sinhá, the water of the unconfined aquifer outflows in the soil surface. These are ciliary zones undergoing periodic flooding, therefore very vulnerable to contamination of anthropogenic origin.

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - APRESENTAÇÃO E OBJETIVOS

Este trabalho foi realizado na cidade de Bragança, um centro urbano com cerca de 49.500 habitantes na mesoregião do nordeste paraense. A população urbana aumenta significativamente com a chegada de turistas que freqüentam a praia de Ajuruteua e/ou participam de festas tradicionais em algumas épocas do ano. O atual quadro populacional e o crescimento urbano periférico desordenado, sobretudo desencadeado na última década, propicia uma grande demanda de recursos hídricos, em parte mitigada pela rede de distribuição da COSANPA e pela exploração, por uma parcela significativa da comunidade, do aquífero freático pertencente aos sedimentos do Grupo Barreiras. Esta exploração é marcada pelo imediatismo consumista, com o predomínio do descontrole e o uso de mecanismos inadequados de exploração, acarretando riscos à qualidade e ao consumo da água subterrânea.

O presente trabalho procura efetuar a caracterização da qualidade das águas do aquífero freático da zona urbana da cidade, através de coleta sistemática de amostras de água, realizada no ano de 1999 em dois períodos sazonais distintos: período chuvoso (março de 1999) e período seco (outubro de 1999). As amostras de água foram obtidas de poços escavados e poços tubulares rasos e determinaram-se os teores das espécies químicas Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- , SO_4^{-2} , HCO_3^- e PO_4^{-3} , além de ferro total e compostos de nitrogênio (NH_4^+ , NO_2^- e NO_3^-). Foram determinados ainda outros parâmetros físico-químicos relevantes como a temperatura da água, pH, Eh, sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica, alcalinidade e dureza, além de parâmetros bacteriológicos utilizando-se os grupos coliformes fecais e totais. Essas variáveis ou parâmetros são importantes para a avaliação da qualidade e potabilidade da água para consumo.

Procurou-se definir também os parâmetros hidrogeológicos necessários à determinação do grau de vulnerabilidade da água subterrânea segundo a proposta de Foster & Hirata (1993), possibilitando a confecção do mapa de vulnerabilidade natural do aquífero freático da zona urbana da cidade.

Em cada ponto de coleta, mediu-se o nível estático da água subterrânea para os períodos de máxima e mínima precipitação pluviométrica e ainda a cota altimétrica do poço, para a

confeção do mapa de equipotencial hidráulico e, subseqüentemente, a determinação do sentido do fluxo subterrâneo freático.

Para melhor visualização dos resultados os dados obtidos são apresentados em tabelas, e/ou estão plotados em gráficos binários. Foram utilizados ainda diagramas específicos aplicados a hidroquímica o que facilita a definição das características físico-químicas da água e sua classificação.

Com a integração dos resultados dos estudos realizados e das informações disponíveis acerca dos recursos hídricos da região de Bragança, procurou-se fazer uma avaliação preliminar das condições de exploração das águas do aquífero freático da zona urbana da cidade e da problemática referente ao abastecimento público, do ponto de vista qualitativo e quantitativo.

2 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

2.1 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área de estudo está inserida no município de Bragança, pertencente a mesoregião do Nordeste Paraense e integra a microregião Bragantina (Figura 1). Seus limites municipais fazem-se a sul com o município de Santa Luzia do Pará e Viseu, a leste com Augusto Correia, a oeste com Tracuateua e a norte com o oceano Atlântico. O município está compreendido entre os paralelos 0°25'00" e 1°50'00" S e os meridianos 47°01'00" e 46°30'00" W de Greenwich, perfazendo uma área de 2.344 Km².

A cidade de Bragança, sede do município, está localizada nos domínios do estuário do rio Caeté, à sua margem esquerda. Está compreendida entre os paralelos 01°01'21" e 01°04'46" S e os meridianos 46°45'06" e 46°48'18" W de Greenwich. Possui uma superfície urbana aproximada de 8,7 Km² e encontra-se, em uma média aproximada, a 29 m acima do nível do mar.

A cidade de Bragança dista 210 km de Belém. O acesso é feito pela rodovia federal BR-316 passando pelos municípios de Castanhal e Capanema, a partir do qual prossegue-se pela rodovia estadual PA-242 até a sede do município, num percurso de 55 Km.

Bragança ainda possui conexão rodoviária com as localidades de Tracuateua (PA-450), Santa Luzia do Pará (PA-112), Viseu (PA-242 Leste) e Ajuruteua (PA-458).

O acesso por via fluvial é possível através do rio Caeté, que suporta embarcações de pequeno e médio porte.

2.2 - ASPECTOS SÓCIO ECONÔMICOS

O município de Bragança tem sua economia centrada em três ramos do setor primário: a agricultura, com destaque para a produção de mandioca e arroz; o extrativismo (principalmente o animal, com pesca de peixes e crustáceos e o vegetal, com a produção de lenha) e a pecuária, cujo rebanho bovino fica em torno de 30.000 cabeças. O município possui prefeitura e as secretarias municipais de Educação, Saúde, Agricultura, Obras, Administração, Finanças, Alimentação Escolar e Ação Social. Cerca de 35 indústrias estão instaladas no município.

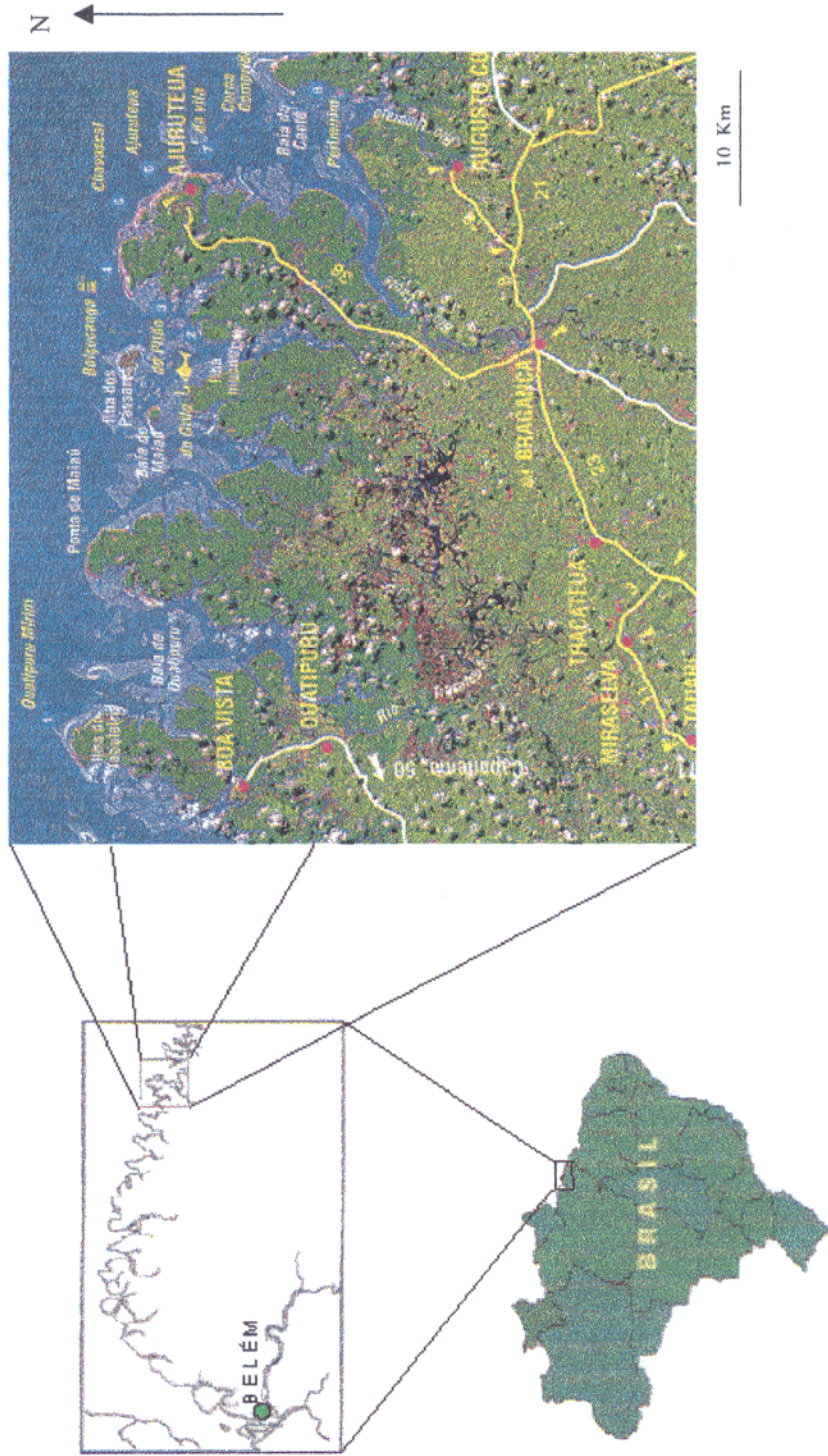


Figura 1 – Mapa de localização da cidade de Bragança (NE do Pará) (Modificado de Guia de Praias/97, 1997)

A cidade de Bragança, fundada em 1753, destaca-se como um dos polos culturais mais antigos do estado do Pará, tendo como as principais manifestações folclóricas a Marujada (parte da festa de São Benedito) e o círio de Nossa Senhora de Nazaré. Como principal atração turística, encontra-se a 36 Km da cidade, através de estrada asfaltada, a praia de Ajuruteua. A área educacional é atendida por uma escola agrícola municipal, 162 escolas municipais de ensino fundamental e 120 escolas estaduais (sendo 32 na área urbana), ofertando ensino médio e fundamental, além de supletivo. O ensino superior é oferecido pelo Campus da Universidade Federal do Pará, com cursos regulares e no sistema modular, além de especialização (Monteiro, 1998).

O município possui uma densidade demográfica de 36,19 hab/km², resultante de uma população de 84.826 habitantes, sendo que 49.412 (58,25%) residem na sede municipal. A infraestrutura urbana da cidade é composta por cinco hospitais, vários postos de saúde, um terminal rodoviário, centrais de atendimento (REDECELPA, COSANPA, TELEMAR, HEMOPA e ECT), delegacias de polícia (rodoviária, civil e militar), inúmeros hotéis, postos de gasolina, agências bancárias (CEF, BB e BASA), bares, restaurantes, igrejas e boates, além de entidades civis e duas emissoras de radiodifusão.

Este quadro sócio-econômico exige uma oferta significativa e adequada de recursos hídricos de boa qualidade, uma vez que apenas uma parte da população local dispõe de água encanada, verificando-se assim uma carência acentuada destes recursos na sede municipal.

2.3 - ASPECTOS GEOAMBIENTAIS

2.3.1 - Parâmetros Meteorológicos

As informações sobre o clima e parâmetros meteorológicos como precipitação pluviométrica, evaporação, umidade relativa e temperatura do ar tem relevante importância neste trabalho visto que as águas subterrâneas do aquífero freático possuem íntima relação com estas variáveis devido ao intrincado ciclo hidrológico.

O clima da região litorânea do nordeste do Pará é do tipo Am2 (segundo subdivisão da classificação de KÖPPEN), caracterizado pelo clima de monção, quente e úmido com moderada estação seca (Martorano *et al.*, 1993).

Os dados obtidos entre os anos de 1991 e 1996 na estação climatológica da cidade de Tracuateua pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)(Quaresma, 1998) são apresentados na Figura 2.

A precipitação pluviométrica média anual é de 2.086,3 mm, com a estação seca prolongando-se de agosto a dezembro, com 3,3% da precipitação anual. O período chuvoso, bem acentuado e com fortes chuvas, estende-se de janeiro a julho e corresponde a 96,7% da precipitação média anual.

Devido a baixa latitude, os raios solares atingem a região semi-verticais em todas as épocas do ano, o que resulta numa temperatura média anual para esta região de 26,8° C. A média dos valores mínimos é de 22,4° C., e dos máximos 31,2° C, com uma amplitude térmica média de 8,8° C. Nos meses de outubro a janeiro observam-se os valores médios mais elevados, atingindo até 33,1° C em dezembro, enquanto que a média mais baixa de 21,5° C foi observada entre os meses de fevereiro e setembro.

A variação térmica é influenciada pelo regime pluviométrico e pela umidade relativa do ar, que nesta região oscila entre 68,5% e 96,4%, em outubro e março respectivamente.

No mês de junho são registrados os menores valores de evaporação na região, ficando a média em 41,6 mm. Os valores de evaporação mais elevados (média dos valores máximos igual a 58,2 mm) foram registrados no mês de julho.

As chuvas mostram um comportamento sazonal na região, o que influencia diretamente a taxa de infiltração da água no solo e conseqüentemente a recarga do aquífero freático.

Quaresma (1998), utilizando-se dos dados de precipitação e temperatura expostos acima, realizou o balanço hídrico da região nordeste do Pará. Os resultados encontrados mostram que de janeiro até o final do mês de julho a precipitação é maior que a evapotranspiração potencial, significando que há excesso de água no solo, o que propicia o escoamento superficial e a infiltração para os aquíferos. Já no período compreendido entre os meses de agosto e dezembro verifica-se o contrário, com que a evapotranspiração potencial maior que a precipitação pluviométrica, ocasionando a retirada e deficiência da água no solo.

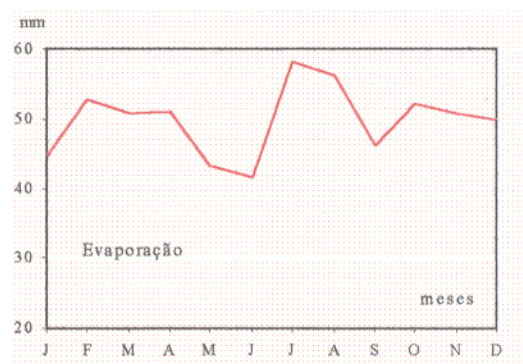
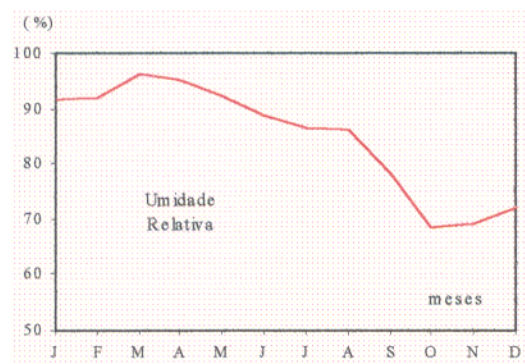
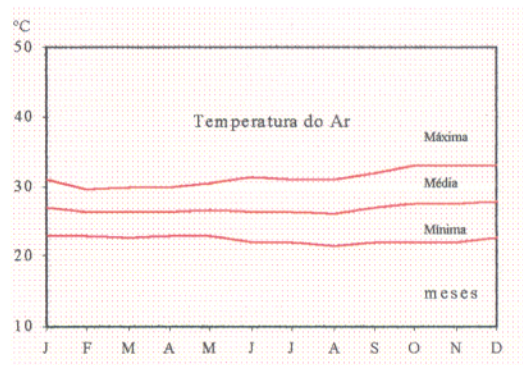
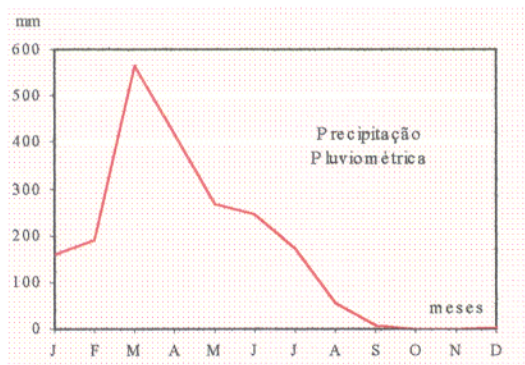


Figura 2 – Parâmetros meteorológicos da região bragantina obtidos na estação climatológica de Tracuateua entre os anos de 1991 e 1996 pelo IMET (Quaresma, 1998).

2.3.2 - Vegetação

Na região nordeste do Pará distinguem-se diversos tipos de revestimento florístico, definidos principalmente pela influência da água do mar, da textura e nível do solo e das diferenças no regime de inundações.

Segundo Lima & Tourino (1995), nos trechos onde predomina a água salgada formam-se os manguezais, com uma composição botânica pouco variada, dominando as espécies *Rhizophora mangle* L., *Avicennia nitida* Jacq (Siriúba) e a *Laguncularia racemosa* Gaertn. Nas áreas de águas salobra, contíguas ao manguezais, dominam os Apicuns, constituídos de espécies herbáceas halófilas que se instalam por trás dos manguezais, onde a terra firme se aproxima do litoral. Nas áreas de água doce, dependendo da textura do solo e do regime das inundações, desenvolvem-se os Campos Naturais Inundáveis (que não apresentam uma fisionomia uniforme); as Matas de Várzea Alta (com maior diversidade de espécies: a *Hevea brasiliensis* Muell (seringueira), a *Carapa guianensis* Aubl (andiroba) e a *Ceiba pentandra* Gaertn. (samaumeira) entre outras); as Matas de Várzeas (onde encontram-se exemplares tanto da várzea alta quanto do igapó) e Igapó (onde há a predominância de palmeiras, destacando-se o *Euterpe oleracea* Mart. (açazeiro) e o *Mauritia flexuosa* L. (buritizeiro).

Na área urbana da cidade de Bragança pouco restou da vegetação nativa, salvo pequenos trechos de matas ciliares que acompanham o curso dos igarapés da Caixa D'água e Cereja.

A destruição da vegetação nativa pelo crescimento urbano desordenado causa profundas conseqüências pedológicas, refletidas no empobrecimento e na degradação do solo e hidrografia, provocando o assoreamento e a descaracterização dos cursos fluviais com a erosão das margens por ação de fortes fluxos em épocas de intensa precipitação.

2.3.3 - Solos

A extensa área geográfica do município de Bragança abrange vários tipos de solos, fortemente ácidos, com boa drenagem, permeáveis e de baixa fertilidade natural, destacando-se o latossolo amarelo, podzol hidromórfico e o conchessionário laterítico que, juntos, ocupam cerca de 85% do território municipal. Ocorrem ainda os tipos glesalino e os solos indiscriminado de mangue (Almeida & Silva, 1998 e Quaresma, 1998)

O latossolo amarelo, predominante, apresenta baixa potencialidade para as culturas anuais, principalmente em função da prática de agricultura itinerante (corte e queimada). No entanto, para as culturas perenes (pimenta do reino, mamão, coco da Bahia e frutas regionais), apresenta uma potencialidade média. Na parte norte do município predominam os solos indiscriminados de mangue e de baixadas inundáveis, associados ao encharcamento periódico do terreno. O solo hidromórfico aluvial é proveniente da deposição fluvial e do arraste na bacia hidrográfica. No solo glesalino a produtividade é baixa para culturas perenes e média para culturas anuais, sendo apropriado para o cultivo do arroz de várzea. Os solos do município estão atualmente cobertos por agriculturas temporárias e permanentes, pastagens artificiais, campos naturais, capoeiras e florestas de manguezais (Almeida & Silva, *op. cit.*, Quaresma, *op. cit.*).

2.3.4 - Hidrologia

A cidade de Bragança é banhada pela bacia hidrográfica do rio Caeté, que é fortemente influenciada pelo influxo e refluxo marinho, ou seja, sofre grande influência da maré, constituindo o sistema estuarino do rio Caeté. Sua nascente localiza-se no município de Nova Timboteua (sul da Zona Brangantina). Este rio possui descargas que variam sazonalmente de 4,8 a 93,3 m³/s, com trechos navegáveis por embarcações de até 200 toneladas (IDESP, 1973). Na região Brangantina fluem ainda outras correntes fluviais menores como os rios Tracuateua, Jejuí, Cajueiro, Urumajó, Chauí, Cipó-Apára, Jejuí, Jenipau-Açú, Jenipau-Mirim, Quatipuru e Chumucuí, que desaguam nos campos naturais, no rio Caeté ou no oceano Atlântico (Quaresma, 1998 e Almeida & Silva, 1998). Os principais afluentes que fazem parte da bacia hidrográfica do rio Caeté, dentro da área urbana de Bragança, são os igarapés do Cereja, da Caixa D'Água, do Galego e do Abacateiro.

2.3.5 - Geologia

A região em estudo encontra-se nos domínios da bacia costeira cretácea Bragança-Vizeu, com uma espessura de cerca de 4.500 m, sendo assoalhada por rochas do embasamento Pré-Cambriano, sedimentos Cambro-Ordovicianos (Formação Bequimão) e unidades Eo-Paleozóicas (Aranha *et al.*, 1990).

Segundo Aranha *et al.* (*op. cit.*), a Formação Codó-Grajaú, marca a fase inicial de individualização da bacia durante o Neo Aptniano (Schmider & Sad¹ *apud* Aranha *et al.*, 1990). A Formação Itapecuru em sua porção inferior (constituída de conglomerados e arenitos) e superior (constituída por carbonatos e pelitos marinhos, resultado da grande ingressão marinha) marcam os ciclos deposicionais do Mesozóico nesta Bacia.

De acordo com Igreja (1991), a Bacia Bragança-Vizeu originou-se a partir da articulação de grandes blocos do embasamento Pré-Cambriano, e apresenta três grandes seqüências sedimentares: (1) Seqüência Piriá-Camiranga (Paleozóico Inferior); (2) Seqüência Itapecuru (Cretáceo) e (3) Seqüência Pirabas-Barreiras (Terciário).

A Formação Pirabas (Mioceno Inferior) constitui uma das faunas marinhas mais representativas do Cenozóico Brasileiro devido a seu alto conteúdo fossilífero (Maury² *apud* Góes *et al.* 1990). As variações lito-paleontológicas levaram vários autores à diversas proposições e subdivisões faciológicas. Ferreira (1967) subdividiu esta formação em três fácies: Fácies Castelo (Inferior), constituída de calcários puros diversificados, coquinas, micritos, biohermitos e dolomicritos; Fácies Capanema (superior), constituída de margas, micritos, bioclásticos, folhelhos rítmicos e arenitos calcíferos e Fácies Baunilha Grande (intermediária), representada por argilas negras com vegetais piritizados e carcinólitos. Góes *et al.* (1990) definiram sete fácies, sendo estas: biocalcirudito, biocalcarenito estratificado e não estratificado, margas e subordinadamente biohermitos, folhelhos e calcilutitos.

A designações Grupo Barreiras e Pós-Barreiras são utilizadas para compor a estratigrafia cenozóica do NE do Pará.

Góes & Truckenbrodt (1980) dividiram o Grupo Barreiras do Mioceno em três litofácies: Fácies Argilo-arenosas (com interdigitação de camadas argilosas, areno-argilosas, argilo-arenosas e arenosas limpas, maciças estratificadas); Fácies Arenosas (constituída de arenitos amarelados de granulometria média e mal selecionados característicos das partes basais e medianas); Fácies Conglomeráticas (constituída de seixos de rochas cristalinas com matriz areno-argilosas), que assenta-se discordantemente sobre as rochas Pré-Cambrianas.

¹ SCHNEIDER, R.L. & SAD, A.R.E. 1979 – *Sulfetos Metálicos da Formação Codó*. Programa de Avaliação Preliminar. Rio de Janeiro. PETROMISA/GEREX (Relatório Interno).

² MAURY, C.J. 1925 – *Fósseis Terciários do Brasil*. Descrição de novas formas cretáceas. Rio de Janeiro. Serviço de Geologia e Mineração do Brasil. p. 1-5 (Mon. Div. Geol. Min., 4)

Igreja *et al.* (1988) subdividiram o Barreiras nas Ilhas de Caratateua e Mosqueiro e na costa de Belém em três camadas principais: Camada Argilo-arenosa, Camada Areno-argilosa e Areno-conglomerática e Camada Arenosa (Pós-Barreiras). Rossetti *et al.* (1989) subdividiram-no em treze fácies, admitindo que o Grupo Barreiras depositou-se segundo o modelo de leques aluviais, planícies de areias e planícies de lama, tendo provável influência de maré na porção mais distal do sistema.

Segundo Rossetti *et al.* (1989), o Pós-Barreiras corresponde a uma fácies areno-argilosa, geralmente maciça, caracterizada por arenitos argilosos, mal selecionados, com grânulos e seixo de quartzo dispersos. Geralmente não se distinguem estruturas, mas nas proximidades do litoral podem-se observar estruturas de dissipação de dunas eólicas. O contato com o Barreiras se faz por superfície erosiva, marcada por níveis detríticos. Apresenta características deposicionais sugestivas da atuação de movimentos de gravidade, além de eólico na faixa litorânea. A idade mais aceita para esta unidade é holocênica, obtida a partir da datação de conchas (Simões³ *apud* Rossetti *et al.* 1989).

Souza Filho (1995) definiu a estratigrafia do Quaternário da Planície Costeira Bragantina, na qual identificou onze unidades morfoestratigráficas (Planície de Inundação, *Levee*, Barra de Canal, Manguezal de Supramaré, Pântano Salino, Manguezal de Intermaré, Planície Arenosa, Barra em Pontal, Dunas Costeiras, *Chenier* e Praia) e quatro fácies estratigráficas (Areia Fluvial, Areia e Lama estuarina marinha, Areia e Lama com estratificação heterolítica e Areia Lamosa mosqueada). Esta planície tem como embasamento o Planalto Costeiro, formado pelo grupo Barreiras.

Tomando como base cartográfica o mapa geológico do município de Bragança confeccionado pela CPRM (Almeida, 1998), é apresentado na Figura 3, o mapa geológico da área onde encontra-se a Cidade de Bragança. Nesta dominam sedimentos Terciários siliciclásticos constituídos principalmente de materiais pelíticos e psamíticos como argilas, arenitos, conglomerados e siltitos de ambiente continental marinho e fluvial do Grupo Barreiras. Ocorrem ainda sedimentos inconsolidados representados por detritos areno-argilosos, argilo-arenosos de cor variegada do período Quaternário

³ SIMÕES, M.F. 1981 – Coletores, pescadores e ceramistas do litoral do Salgado (Pará). *Bol. Mus. Para. Emilio Goeldi; Nova Sér. Antropol.* (78): 1-33.

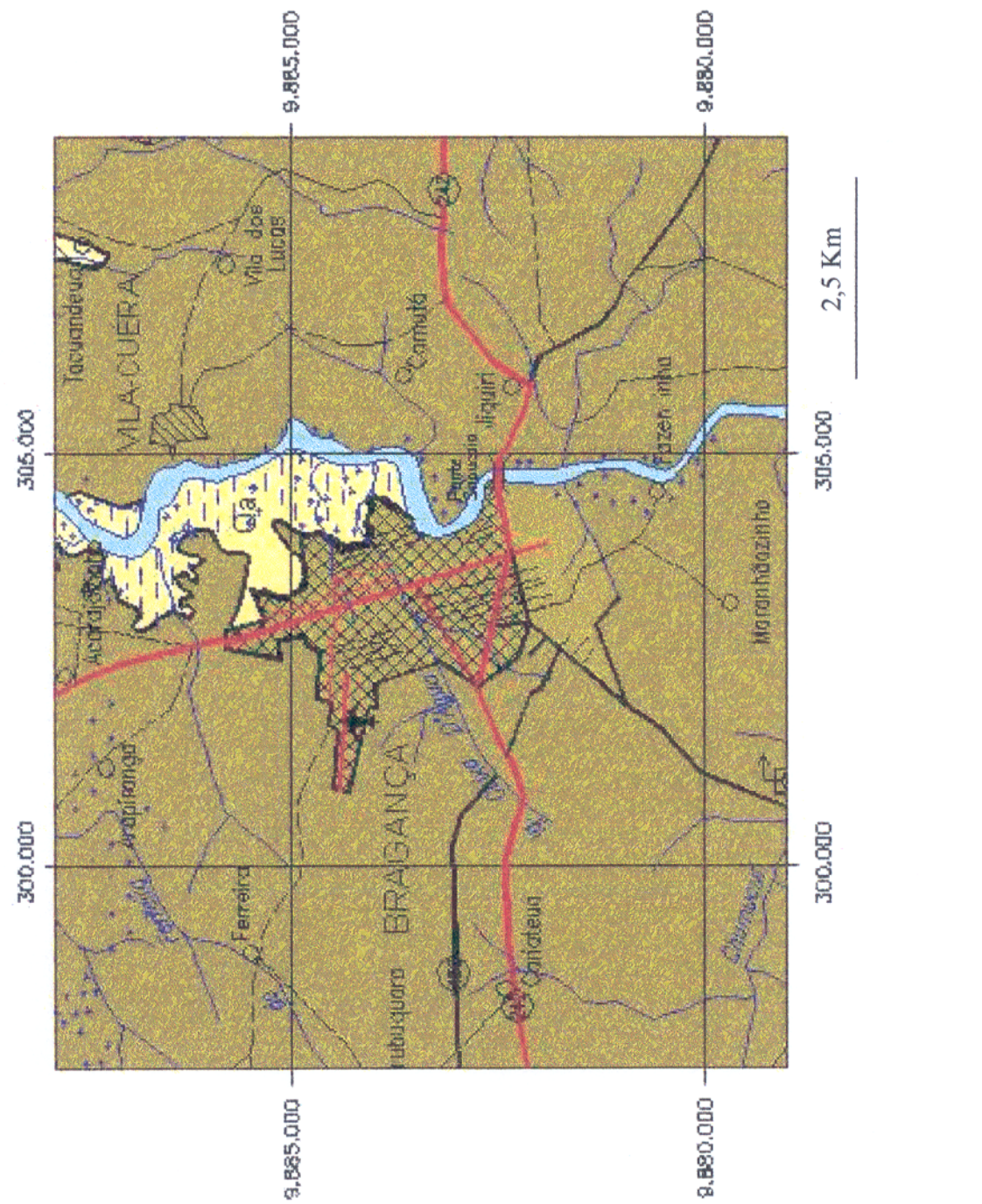


Figura 3 – Mapa geológico da área às proximidades da Cidade de Bragança (Adaptado de Almeida, 1998)

2.3.6 - Hidrogeologia

Os recursos hidrogeológicos de Bragança são muito utilizados para atender uma boa parte da população local. No entanto, poucos trabalhos foram feitos com a finalidade de se conhecer as características hidrogeológicas locais, destacando-se os estudos realizados pelo IDESP (1973), Serra & Tancredi (1982) e o mais recente realizado pela CPRM, resultando no Diagnóstico dos Recursos Hídricos da Cidade de Bragança, que é parte integrante do PRIMAZ (Souza, 1998).

Serra & Tancredi (1982) utilizando técnicas de geofísica (método de eletroresistividade), testes de bombeamento e análises físico-químicas, observaram que os poços escavados com profundidade máxima de 12 m atingem areias grossas e/ou cascalhos, constituindo aquíferos com alta permeabilidade, o que fornece grande quantidade de água (vazões elevadas). Nesses poços o nível estático varia de 4 a 10 m, sendo que em alguns locais ele encontra-se na superfície do terreno. Em poços pouco profundos, da ordem de 50 a 100 m, tem-se excelentes vazões. As águas obtidas são de boa qualidade físico-química, com exceção dos valores de pH (ácidos) e dos teores de Fe, que apresentam-se acima dos padrões recomendados pela OMS. O método de Eletroresistividade permitiu a identificação de zonas mais favoráveis à implantação de poços.

Souza (1998) realizou um estudo preliminar dos mananciais de superfície e dos recursos hídricos subterrâneos da Cidade de Bragança, constando de cadastramento de poços, análises físico-químicas e bacteriológicas, classificação das águas e proposta técnica para a construção de poços tubulares.

2.3.7 - Geomorfologia

A geomorfologia do nordeste do estado do Pará tem sido estudada em muitos trabalhos específicos e multidisciplinares, destacando-se os de Barbosa & Pinto (1973), IDESP (1973), Costa *et al.* (1977), Franzinelli (1982), Senna *et al.*⁴ e Franzinelli⁵ *apud* Souza Filho (1995).

⁴ SENNA, C.S.F.; BASTOS, M.N.C.; OLIVEIRA, J.R.; LOBATO, L.C.; SANTOS, R.T.; MORAES, P.G. 1991 – Geomorfologia. In: Secretaria de Meio Ambiente & IBAMA. Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro. *Macrozoneamento Costeiro do Estado do Pará*. Belém, SECTAN/IBAMA/CRN. p. 59-67. Relatório Técnico/91

⁵ FRANZINELLI, E. 1992 – Evaluation of the geomorphology of the coast of the State of Pará, Brazil. In: PROST, M.T. *Évolution des Littoraux de Guyane et de la Zone Caraïbe Méridionale Pendant le Quaternaire*. Paris, p. 203-230.

Souza Filho (1995) subdividiu a Costa Bragantina em quatro unidades morfológicas:

Planalto Costeiro: é constituído por sedimento do Grupo Barreiras. Apresenta uma superfície plana arrasada, suavemente ondulada e fortemente dissecada, com cotas entre 50 e 60m que diminuem progressivamente em direção a Planície Costeira ao norte.

Planície Aluvial: estende-se ao sul do limite da influência das marés. É constituída pelo canal fluvial meandrante do rio Caeté, *Levee* e Planícies de Inundação.

Planície Estuarina: É limitada ao sul pela Planície Aluvial e ao norte pela zona onde dominam os processos marinhos, sendo recortada por canais estuarinos (compartimentados em Funil Estuarino, Seguimento retilíneo e Meandrante e, Canal de Curso Superior), Córregos de Marés e Planícies de Inundação (Manguezais de Inter-maré).

Planície Costeira: Limitada ao sul por falésias mortas esculpidas no Planalto Costeiro e ao norte pela zona onde dominam os processos marinhos, constituindo-se dos ambientes de Pântano Salino (Interno e Externo), Manguezais (de Supra e Inter-maré), *Chenier*, Planície Arenosa, Dunas Costeiras e Praias.

2.4 - SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE BRAGANÇA

Embora a cidade de Bragança, como a maioria das cidades do norte/nordeste paraense, esteja situada em uma região onde há riqueza em recursos hídricos, o abastecimento de água se constitui num dos principais problemas comunitários enfrentados pela população bragantina.

Segundo informações gentilmente cedidas pela Coordenadoria de Operações no Interior da Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA), o sistema de abastecimento de água é composto de vários elementos ativos (Figuras 4 e 5), sendo que o ponto de captação de água bruta do rio Chumucuí, afluente pela margem esquerda do rio Caeté, dista cerca de 4 km do centro urbano e localiza-se no trecho em que este rio intersecta a rodovia PA-112. A captação é feita através de duas bombas centrífugas de eixo vertical prolongado, aduzindo para a Estação de Tratamento de Água (ETA), numa produção de 570m³/h. Esta ETA, concebida dentro dos padrões convencionais, possui quatro filtros tipo Russo de fluxo ascendente com capacidade de 150m³ de filtração cada.



A



B

Figura 4 – Aspecto da captação de água do Rio Chumucuí para tratamento e distribuição na Cidade de Bragança:

(A) Rio Chumucuí e (B) Sistema de captação no trecho onde este rio intersecta a PA-112.



A



B

Figura 5 – Aspecto da captação de água do Rio Chumucuí para tratamento e distribuição na Cidade de Bragança:
(A) Estação de Tratamento de Água (ETA) e (B) Ponte sobre o Rio Chumucuí na PA-112.

A água recebe aplicação de sulfato de alumínio, cal hidratado, cloro líquido e fluor. Após estes procedimentos a água vai para uma Estação Elevatória de Água Tratada (EEAT) com capacidade de 400m³, a partir da qual, através de uma adutora de ferro fundido de 4.000m x 400mm, é lançada no Reservatório Elevado de distribuição, construída em concreto armado com capacidade de 2.000.000 de litros, localizado no bairro do Morro, e operando através do sistema de distribuição.

A Rede de Distribuição é do tipo em malha (materiais de PVC e Ferro Fundido), com diâmetros de 60 a 400mm e 97.000m de extensão.

Estão conectados à Rede 6.000 consumidores ativos, o que, segundo a Companhia, alcança um nível de atendimento de 70% da população urbana.

De acordo com Tancredi (1996), as águas subterrâneas têm custo de captação, em geral, 50% inferior aos custos da água superficial. Elas têm a vantagem de serem depuradas naturalmente pelo solo e subsolo que percolam, o que não é alcançado em termos técnicos, científicos e principalmente econômicos com os métodos convencionais de tratamento de águas captadas em rios e mananciais de superfície (Rebouças, 2000).

2.4.1 – A Comunidade e o Abastecimento de Água.

Mesmo sendo atendida pela rede de distribuição de água da companhia estadual, a cidade de Bragança sofre com a escassez de recursos hídricos para o suprimento da demanda urbana, especialmente nos bairros periféricos da cidade. Nesses bairros são construídos poços tubulares rasos para distribuição de água aos moradores, que obedecem o *horário da água* (Figura 6).

No bairro Cereja, grande parte da população carente utiliza a água proveniente de um poço tubular com profundidade aproximada de 100m e que jorra a aproximadamente 1m acima do nível do solo, através de tubulação de aço 8” (oito polegadas) durante 24 h por dia. A água deste poço possui boa qualidade físico-química e bacteriológica e é aproveitada para os mais variados fins, sendo a única fonte deste recurso para algumas famílias (Figura 7).

Outras alternativas encontradas pela população para suprir sua necessidade de abastecimento de água são poços tubulares rasos e poços escavados ou Amazonas, que captam água do aquífero freático.

Os poços tubulares rasos (Figura 16) são perfurados de forma artesanal pelo proprietário ou pessoa que desenvolve esta atividade informalmente na sede do município. Em geral, são revestidos por tubos de PVC com diâmetro de 4", alcançam profundidades que vão de 12 a 50m, sendo a maioria de 24m. Possuem filtros serrilhados de 3 a 4m de comprimento e 1mm de abertura. Atingem o aquífero livre constituído de arenitos do Grupo Barreiras. Nestes poços



Figura 6 – Poço tubular raso construído para distribuição de água através de torneiras comunitárias no bairro Perpétuo Socorro

são utilizadas unidades de bombeamento constituídas de bombas injetoras ou centrífugas, que garantem vazões de 1 a 6 m³/h (Souza, 1998). O uso da água é normalmente para atender os anseios domésticos e/ou pequenos comércios e até mesmo empreendimentos maiores que requerem uma demanda maior de água, tais como escolas e hospitais. Nestes casos são perfurados dois ou três poços para suprir a demanda. É comum nas residências com poços tubulares rasos a existência de uma torneira externa localizada em frente à casa. Esta bica supre a necessidade de água potável daqueles moradores que possuem apenas tubulações com água fornecida pela companhia de abastecimento público, mas que só a utilizam para higiene pessoal.

Algumas instituições, principalmente escolas e centros comunitários, também constroem poços tubulares rasos e cedem suas águas à comunidade (Figuras 8A e 8B).



Figura 7 – Poço tubular artesiano com 100 m de profundidade utilizado pela comunidade do bairro Cereja



A



B

Figura 8 – Poços tubulares rasos com torneiras para utilização comunitária de água. Em (A) poço T10 no Centro Educacional Coração de Jesus bairro Taíra e em (B) poço NT3 na Escola Estadual de 1º Grau Augusto Correa bairro Samaumapara.

Os poços escavados ou Amazonas geralmente possuem diâmetros que variam entre 0,75m e 1,50m, com profundidades de 2 a 16m e nível estático oscilando de 0 a 15m, dependendo das condições climáticas locais (precipitação) e da altimetria. Estes poços são muito utilizados pela população de baixa poder aquisitivo para todos os fins. É comum encontrá-los localizados à jusante de fossas negras e, às suas proximidades, serem instaladas pias e tanques utilizados para lavagens em geral. (Figuras 13, 14 e 15)

2.5 - SANEAMENTO BÁSICO

Segundo Quaresma (1998), a Cidade de Bragança não dispõe de sistema de saneamento básico. As águas servidas e pluviais escoam por tubulações e sarjetas para os cursos que deságuam no rio Caeté (Figura 9). Na margem deste rio, em frente a sede municipal, é comum se observar sucatas abandonadas de embarcações de ferro. Os dejetos humanos são depositados em fossas negras ou sépticas, geralmente escavadas nos quintais das residências e em locais impróprios. Os rejeitos do matadouro público são lançados inadequadamente no solo e cerca de 30% do lixo urbano não coletado são depositados á céu aberto, em terrenos baldios, ruas etc., constituindo um alto risco de contaminação dos recursos hídricos e propiciando a proliferação de organismos patogênicos à saúde da população. Áreas de ocupação em terrenos alagadiços também são comuns (Figura 10 e 11).



A



B

Figura 9 – Aspecto do saneamento urbano da cidade de Bragança: (A) orla do Rio Caeté em frente a cidade e (B) escoamento superficial de águas servidas em bairro da periferia



Figura 10 – Ocupação urbana em área de alagamentos periódicos no bairro Padre Luiz.



Figura 11 – Aspecto da ocupação urbana na área do igarapé do Cereja no bairro homônimo

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - AMOSTRAGEM

Foram selecionados vinte (20) pontos de coleta de amostras, sendo dez (10) em poços escavados (PçE) e dez (10) em poços tubulares rasos (PçT), de modo que tais pontos fossem representativos e dessem uma idéia da qualidade da água subterrânea consumida na área urbana da cidade de Bragança. A Figura 12 mostra o mapa de pontos de amostragem e sua distribuição na área.

As coletas para análise físico-química e bacteriológica foram executadas de acordo com a variação sazonal, no mês de março de 1999 (Mç99, período de máxima precipitação) e no mês de Outubro de 1999 (Out99, período de estiagem máxima), com a finalidade de retratar as características hidroquímicas do ápice máximo e mínimo da reserva reguladora do aquífero freático.

Foram determinados os seguintes parâmetros: pH, condutividade elétrica, temperatura, sólidos totais dissolvidos (STD), resíduo seco, dureza, alcalinidade, acidez, CO₂ livre, ferro total (Fe_T), fosfato, cloreto, sulfato, bicarbonato, íon amônio, nitrito, nitrato, cálcio, sódio, potássio e magnésio. Foram feitas ainda análises microbiológicas de coliformes fecais e total.

3.1.1 - Técnicas de Coleta.

A coleta e a preservação da amostras no campo foram feitas conforme as recomendações de CETESB (1977) e CETESB (1978), as quais estão sumarizadas abaixo:

- ⇒ As medidas de pH, Eh, condutividade elétrica e STD foram executadas *in situ*.
- ⇒ Para a determinação da alcalinidade, acidez, fosfato e sulfato, foram coletados 1000mL de água de cada ponto, em frascos de polietileno totalmente cheios, sem bolhas de ar e hermeticamente fechados até o momento das análises. Estas amostras foram mantidas a baixa temperatura sem substâncias para preservação.

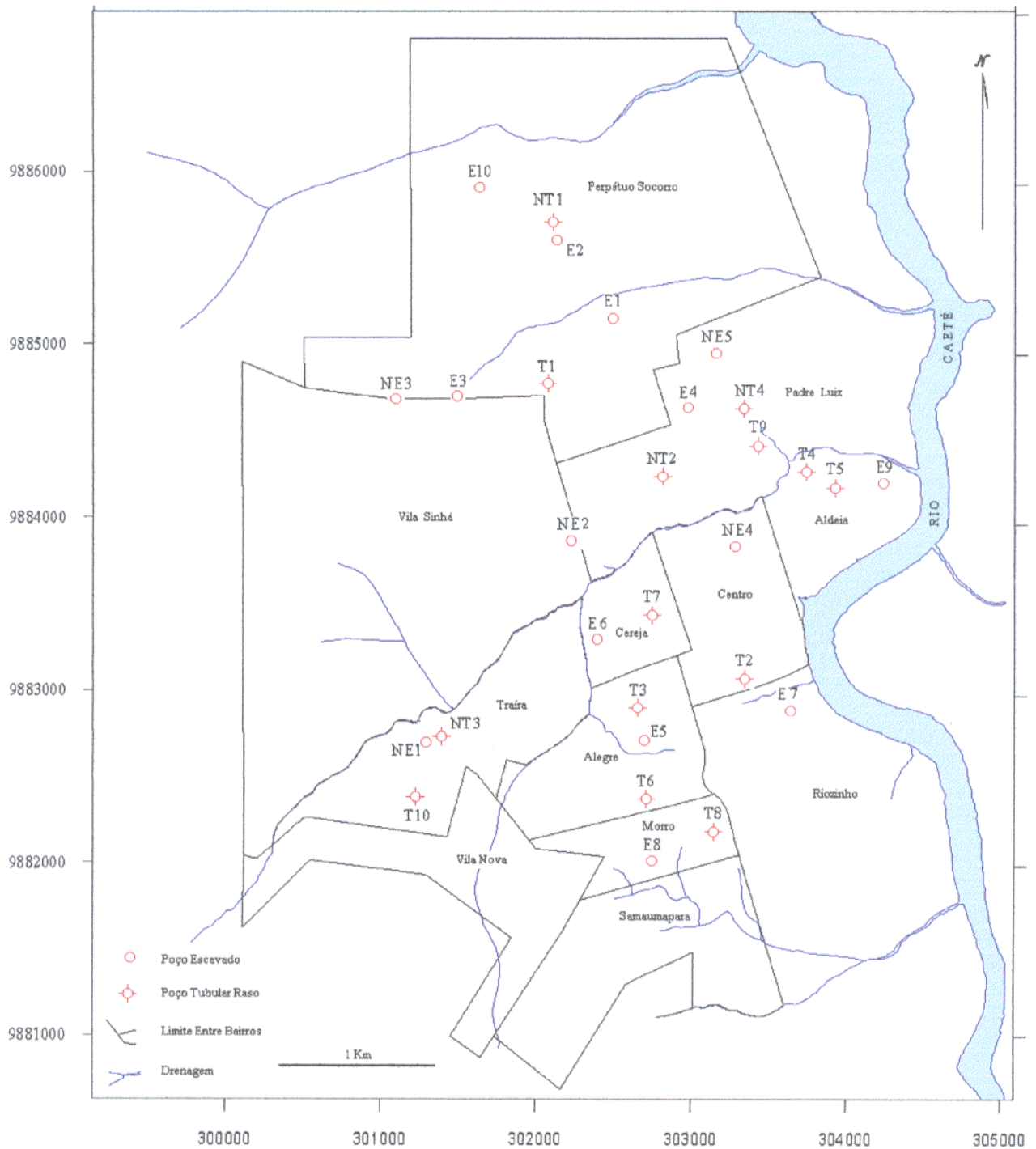


Figura 12 - Mapa dos pontos visitados durante as etapas de campo: Poços escavados (E1 a E10) e poços tubulares rasos (T1 a T10) com análise físico-química, bacteriológica, medida de nível estático e altimetria; (NT1 a NT4 e NE1 a NE5) somente com medidas de nível estático e altimetria.

⇒ As amostras para determinação de Fe_T foram preservadas com adição de ácido nítrico concentrado (2 mL de HNO_3 0,2 N por 200 mL de amostra) até pH menor que 2, sendo coletados 250 mL de água em frasco de polietileno totalmente cheio e hermeticamente fechado.

⇒ Para análise dos íons Ca^{+2} , Na^+ , K^+ e Mg^{+2} por espectrofotometria de absorção atômica, coletaram-se em frascos de polietileno, 250 mL de água de cada ponto. Para sua preservação no local de coleta foi adicionado ácido nítrico até um pH inferior a 2. As determinações foram realizadas em até sete dias após a coleta.

⇒ Foram coletados 2000 mL em frascos de polietileno completamente cheio e hermeticamente fechado para a determinação de NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ e Cl^- . Estas análises, além da alcalinidade e acidez, foram realizadas num período de até 24 horas após a coleta das amostras.

⇒ Para a análise bacteriológica de coliformes fecais e total foram utilizados frascos de polietileno com capacidade de 250mL, previamente esterilizados. No momento da coleta os frascos e as torneiras/bicas foram flameados e em seguida preenchidos com até 4/5 do seu volume. Estes recipientes foram imersos em gelo e mantidos assim até o momento das análises (sempre inferior a 24 horas após a coleta).

3.2 - MÉTODOS QUÍMICO ANALÍTICOS

As medidas de pH, Temperatura, Eh, STD e condutividade elétrica foram efetuadas com um condutivímetro de marca HANNA, utilizando-se o método eletrométrico.

A alcalinidade total foi determinada utilizando-se o método volumétrico, pela titulação com o ácido sulfúrico, fenolftaleína e o indicador metil orange (APHA/AWWA/WPCF, 1975).

A acidez foi determinada através do método volumétrico pela titulação com hidróxido de sódio, usando-se fenolftaleína como indicador.

A dureza foi obtida através de cálculo, utilizando-se a soma dos valores das concentrações, em ppm, de Ca e Mg conforme Custodio & Llamas (1976).

O cloreto foi determinado pelo método de Møhr, baseado na titulação com nitrato de prata, solução padrão de cloreto de sódio (0,0141 N) e solução indicadora de cromato de potássio

O ferro total foi determinado por colorimetria, utilizando-se ortofenantrolina, e leitura em espectrofotômetro Beckmam DU-6, com faixa de utilização de 0,02 a 4,0 mg/L.

O resíduo seco é apresentado em ppm e foi obtido através de cálculo segundo Cutodio & Llamas (1976) utilizando a expressão:

$$RS = \sum \text{Cátions (T}^+) + \sum \text{Ânions (T}^-) - \frac{1}{2} \text{HCO}_3^-$$

O sulfato foi determinado pelo método turbidimétrico, utilizando-se cloreto de bário em meio ácido, com leitura em espectrofotômetro ZEIS PM6. Faixa de utilização a partir de 1mg/L.

O fosfato foi determinado pelo método do ácido ascórbico, com leitura em espectrofotômetro Beckmam du-6. $\lambda = 880 \text{ nm}$. (APHA/AWWA/WPCF, 1975).

O bicarbonato foi obtido por cálculo a partir da alcalinidade segundo Cutodio & Llamas (1976) de acordo com a fórmula:

$$\text{HCO}_3^- = 1,22 \times \text{Alcalinidade}$$

O CO₂ Livre foi determinado através de cálculo a partir dos valores de alcalinidade e pH segundo Cutodio & Llamas (1976) utilizando-se a fórmula:

$$\text{CO}_2 \text{ Livre} = 10^{\log(0,203 \times \text{Alcalinidade}) - \text{pH} + 7}$$

Os metais Ca⁺², Mg⁺², Na⁺ e K⁺ foram determinados por espectrometria de absorção atômica, utilizando-se espectrômetro Perkin Elmer 3300 e lâmpadas de cátodo oco dos elementos a serem determinados. As amostras para a determinação de Ca⁺² e Mg⁺² foram preparadas com uma solução padrão de Sr 10.000 ppm, na razão de 10 mL da amostra para 1mL de Sr 10.000 ppm. Foi semelhante o procedimento para Na⁺ e K⁺, utilizando-se solução padrão de Cs 10.000 ppm na mesma razão. As amostras foram nebulizadas em chama de ar acetileno. Foram utilizados

os seguintes comprimentos de onda: Na (589,6 nm), Mg (285,1 nm), Ca (422,7 nm) e K (776 nm).

O Nitrito foi determinado pelo método da sulfanilamida e N(1-naftil) Etilenodiamina, empregando tubo de 1/2" para leituras espectrofotométricas utilizando-se $\lambda = 543$ nm. Limite detectável: 0,01 a 0,1 mg/L NO_2^- em N. Para maiores concentrações dilui-se as amostras.

O Nitrato foi obtido pelo método do ácido fenol dissulfônico. Leitura em espectrofotômetro Coleman Jr. 3 utilizando-se $\lambda = 480$ nm para concentrações de até 12 mg/L de NO_3^- em N. Para maiores concentrações, diluem-se as amostras.

O Nitrogênio Amoniacal foi obtido pelo método do ácido bórico, no qual a amostra é previamente neutralizada com uma solução tampão de fosfato até $\text{pH} \approx 7$ e mantida a $\text{pH} \approx 7,4$ durante a destilação. Nesta operação a extremidade por onde sai o destilado deve estar imersa na solução indicadora de ácido bórico, e posteriormente é titulada com ácido sulfúrico 0,02N até a viragem do indicador.

As técnicas analíticas utilizadas seguiram as normas técnicas estabelecidas pela CETESB (1978) e APHA/AWWA/WPCF (1975).

3.3 - DETERMINAÇÃO DAS VARIÁVEIS NECESSÁRIAS A OBTENÇÃO DA VULNERABILIDADE NATURAL DO AQUÍFERO FREÁTICO

A caracterização da vulnerabilidade baseou-se na proposta de Foster & Hirata (1993) que engloba sucessivamente os três fatores:

- 1 - O tipo de ocorrência da água subterrânea (ou a condição do aquífero);
- 2 - A característica dos estratos acima da zona saturada (em termos de grau de consolidação e tipo litológico) e;
- 3 - A profundidade do nível da água.

Os parâmetros (1) e (2) foram determinados através de perfilagem geofísica nos poços tubulares rasos, utilizando-se um perfilador de raios gama, o qual possibilita o cálculo numérico do teor de argila ou argilosidade dos estratos (Feitosa & Monoel Filho, 1997).

A profundidade do nível d'água, que neste trabalho é representada pelo nível estático (N.E), ou melhor, pela superfície potenciométrica do aquífero freático, foi determinada utilizando-se um medidor de nível manual, constituído de um carretel com cabo elétrico flexível,

revestido de plástico e marcado com subdivisões centimétricas. Na extremidade descendente tem-se um eletrodo sensor, que em contato com a água do poço sinaliza visualmente acendendo uma lâmpada acoplada ao carretel.

3.4 – MÉTODO DE CARACTERIZAÇÃO DO FLUXO DO AQÜÍFERO FREÁTICO

Segundo Feitosa & Monoel Filho (1997), devido a baixa velocidade dos fluidos nos meios porosos subterrâneos (da ordem de alguns centímetros por dia), a energia mecânica do líquido por unidade de massa, composta basicamente por três formas de energia (cinética, potencial gravitacional e de pressão) é chamada de potencial hidráulico ou potencial de fluido (Φ) definido por :

$$\Phi = g.z + P / \rho$$

Onde: g é a força da gravidade p é a pressão
 Z é a cota altimétrica ρ é a massa específica

Este potencial é uma quantidade física capaz de ser medida em cada ponto do escoamento, sendo que este sempre corre dos pontos de maior para os pontos de menor potencial, independente da direção no espaço. A pressão P é dada por $P = P_0 + \rho g (h - z)$, e em hidrogeologia considerando-se P_0 (pressão atmosférica) como nula, então tem-se que:

$$\Phi = g h$$

O potencial hidráulico em um ponto qualquer é simplesmente a carga hidráulica do ponto (h) multiplicada pela aceleração da gravidade (g). Na superfície terrestre g é praticamente constante e Φ e h são perfeitamente correlacionáveis. Desse modo a carga hidráulica pode ser

considerada como um potencial. A carga hidráulica é a soma de duas parcelas: a carga de elevação z (altitude ou cota do ponto) e a carga de pressão P/γ (metros da coluna d'água acima do ponto). Em termos práticos, no caso de aquíferos não confinados, a carga na superfície freática corresponde ao próprio nível d'água, tomando como *datum* o nível do mar.

Assim, mediu-se o nível d'água dentro dos poços (N.E)(item 3.3) e determinou-se a cota altimétrica (z) de cada poço através de nivelamento geométrico a partir de uma referência de nível (RN) localizada na Igreja Matriz da Cidade de Bragança. Desse modo, o potencial hidráulico em cada poço foi estabelecido de acordo com a seguinte relação:

$$\Phi = z - N.E.$$

4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 1 são apresentados todos os pontos visitados durante os trabalhos de campo, com a localização e as características dos pontos visitados. Os poços utilizados para coleta de amostra para análise química, físico-química e bacteriológica são representados pela letra “E” (escavado) e “T” (tubular) seguidas do número de identificação do poço. Além destes, foram utilizados poços escavados e tubulares para medida do nível d’água (nível estático), representados pela sigla NE e NT respectivamente, seguidas do número de identificação do poço.

As Figuras 13, 14, 15 e 16 mostram alguns poços escavados e poços tubulares rasos utilizados no estudo das águas subterrâneas do aquífero freático da cidade de Bragança.

4.1 – VERIFICAÇÃO DOS RESULTADOS ANALÍTICOS

Mesmo que as análises físico-químicas tenham sido efetuadas de acordo com os padrões analíticos adequados, no que concerne as técnicas de amostragem, preservação e análise química, faz-se necessário uma verificação, no intuito de se acurar os resultados obtidos. A verificação de uma análise hidroquímica completa se inicia com a realização do balanço iônico entre cátions e ânions, acompanhado do cálculo do erro percentual analítico (Custódio & Llamas, 1976).

No balanço iônico deve-se esperar que a soma em meq/L dos cátions seja igual a soma em meq/L dos ânions, admitindo-se que o desvio percentual desta igualdade ou erro percentual máximo seja de 10%, considerando uma condutividade elétrica de até 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Feitosa & Monoel Filho, 1997). O coeficiente de erro analítico (e%) é determinado da seguinte maneira:

$$e\% = \left| \frac{rT^+ - rT^-}{rT^+ + rT^-} \right| \times 100$$

Onde:

rT^+ = Concentração total dos cátions em miliequivalente grama por litro (meq/L)

rT^- = Concentração total dos ânions em miliequivalente grama por litro (meq/L)

Tabela 1 - Cadastro dos poços estudados e algumas características importantes no âmbito deste trabalho.

Sigla	Coordenadas UTM		LOCALIZAÇÃO		CARACTERÍSTICAS DO POÇO						
	E	N	Logradouro	Bairro	Tipo	Tipo de Aquífero	Cota Altimétrica (m)	Prof. do Nivel Freático (m)	Out99	Revestimento	Tipo de solo
E1	302484	9885187	Av. Nazareno Ferreira Nº 2888	Perpétuo Socorro	Escavado	Freático	5,19	1,40	3,00	SR	Areno argiloso
E2	302128	9885627	Rua Zacarias Correia Nº 2830	Perpétuo Socorro	Escavado	Freático	4,46	2,70	4,05	SR	Areno argiloso
E3	301492	9884703	Pass. Projetada c/ Santos Dumont S/N (Esquina)	Vila Sinha	Escavado	Freático	16,59	5,65	6,30	Tijolo	Arenoso
E4	302888	9884634	Trav. Santiago c/ General Guirão Nº 982	Padre Luiz	Escavado	Freático	SD	2,45	3,10	SR	Areno argiloso
E5	302892	9882714	Rua Olandia Lima Nº 869 c/ Rua Pedro II	Alegre	Escavado	Freático	17,37	2,80	3,70	Tijolo	Arenoso
E6	302385	9882388	Rua Belo c/ Rua Professor Motaes S/N	Cereja	Escavado	Freático	9,61	0,25	0,35	Tijolo	Areno argiloso
E7	303625	9882897	Rua Dr. Chermont Nº 230 c/ Trav. Dois de Outubro	Riozinho	Escavado	Freático	6,31	0,00	0,00	SR	Arenoso
E8	302746	9882017	Rua Paz de Carvalho Nº 373 c/ Trav. Leopoldo Silva	Morro	Escavado	Freático	23,48	7,80	9,00	SR	Areno argiloso
E9	304237	9884205	Rua Belo da Sônia Ferreira S/N	Aldéia	Escavado	Freático	1,94	0,00	0,50	SR	Argilo arenoso
E10	301848	9885915	Trav. Projetada 58 Nº 3386 c/ Trav. Projetada 48	Perpétuo Socorro	Escavado	Freático	SD	1,40	2,00	SR	Arenoso
T1	302087	9884788	Trav. Santos Dumont Nº 315	Perpétuo Socorro	Tubular	Freático	16,17	8,63	9,35	Tubo de PVC	Arenoso
T2	303340	9883090	Rua 13 de Maio (Metalúrgica)	Centro	Tubular	Freático	23,93	13,48	13,60	Tubo de PVC	Arenoso
T3	302857	9882814	Trav. Dr. Gutermes Nº 350	Alegre	Tubular	Freático	18,55	8,44	9,58	Tubo de PVC	Arenoso
T4	303748	9884286	Alameda Leandro Ribeiro (Campus da UFPA)	Aldéia	Tubular	Freático	4,50	1,99	2,85	Tubo de PVC	Argilo arenoso
T5	303923	9884195	Av. G. Hermes Nº 02 c/ Av. Torres	Aldéia	Tubular	Freático	4,38	1,81	2,60	Tubo de PVC	Argilo arenoso
T6	302710	9882386	Rua D. Pedro II S/N	Alegre	Tubular	Freático	27,24	12,88	13,75	Tubo de PVC	Argilo arenoso
T7	302744	9883463	Av. Cônego Clementino Nº 1071	Cereja	Tubular	Freático	19,44	9,90	10,90	Tubo de PVC	Arenoso
T8	303144	9882202	Av. Cônego Clementino c/ Leopoldo Silva (Esquina)	Morro	Tubular	Freático	SD	15,20	15,85	Tubo de PVC	Areno argiloso
T9	303430	9884443	Rua João Paulo Ribeiro Nº 19 (Próx. a V. S. Franco)	Padre Luiz	Tubular	Freático	8,44	3,00	3,45	Tubo de PVC	Areno argiloso
T10	301222	9882412	Centro Educacional Coração de Jesus	Taira	Tubular	Freático	SD	12,96	14,35	Tubo de PVC	Areno argiloso
NT1	302083	9885730	Rua Zacarias Correia Nº 892	Perpétuo Socorro	Tubular	Freático	4,46	2,50	3,85	Tubo de PVC	Areno argiloso
NT2	302809	9884257	Trav. Paulo Ribeiro Nº 519	Padre Luiz	Tubular	Freático	11,93	3,65	4,50	Tubo de PVC	Arenoso
NT3	301324	9882688	E. E. de 1º Grau Augusto Correia	Samaumapara	Tubular	Freático	24,51	8,15	9,09	Tubo de PVC	Areno argiloso
NT4	303336	9884644	Rua Visconde de Souza Franco Nº 144	Padre Luiz	Tubular	Freático	9,12	2,85	3,60	Tubo de PVC	Argilo arenoso
NE1	301281	9882706	Pass. Bancrieva S/N	Taira	Escavado	Freático	24,51	7,85	6,70	SR	Areno argiloso
NE2	302236	9883872	Rua Sinha Ferreira Nº 566	Vila Sinha	Escavado	Freático	SD	0,00	0,35	Tijolo	Argilo arenoso
NE3	301083	9884696	Tv. Santos Dumont (Próximo a pista de pouso)	Perpétuo Socorro	Escavado	Freático	26,23	13,30	15,60	Tijolo	Arenoso
NE4	303287	9883842	Rua Dr. Chermont S/N	Centro	Escavado	Freático	6,82	13,30	SD	Tijolo	Argilo arenoso
NE5	303155	9884646	Rua Santos Dumont Nº 818	Padre Luiz	Escavado	Freático	9,44	1,44	2,70	SR	Argilo arenoso

M99 e Out99 = Período dos trabalhos em campo (Chuvoso e Seco respectivamente).
SR = Sem Revestimento

E1 a E10 = Poço Escavado
T1 a T2 = Poço Tubular
NT e NE = Poços para medição do nível estático
SD = Sem Dados



A



B

Figura 13 – Aspecto de alguns poços escavados E1 (A) e E10 (B) utilizados no estudo das águas subterrâneas da cidade de Bragança.



Figura 14 – Poço escavado (E7) utilizado para uso doméstico e para amostragem e determinação das variáveis aqui estudadas. Nota-se que o nível da água neste poço (nível estático do aquífero freático) aflora à superfície do terreno (N.E igual a zero).



Figura 15 – Poço escavado (E2) utilizado para consumo doméstico e para amostragem e determinação das variáveis aqui estudadas. Nota-se frequentemente o descaso com a higiene às proximidades dos poços, bem evidente neste exemplo, visto que o poço não é revestido, não possui cobertura e a latrina encontra-se à poucos metros de distância.



A



B

Figura 16 – Aspecto de alguns poços tubulares rasos T1 (A) e T7 (B) que captam água do aquífero freático e foram utilizados no estudo das águas subterrâneas da cidade de Bragança.

Na Tabela 2 são apresentados os valores dos coeficientes de erro analítico para todas as amostras analisadas. Verifica-se que para ambos os períodos de coleta, na grande maioria das amostras, o coeficiente encontra-se dentro do limite percentual aceitável. Os valores acima de 10% podem ser reflexo da baixa concentração iônica destas águas (<5 meq/L), ou mesmo da presença de certos íons não analisados em concentrações significativas.

Uma outra maneira de se verificar a precisão dos resultados analíticos é utilizando-se a relação entre condutividade elétrica (CE) e o resíduo seco (RS) das águas analisadas (Custódio & Llamas, 1976).

$$A = CE / RS$$

Desta relação resulta a constante "A", que varia de 0,86 a 1,72 (à 18 °C). Esta constante é também influenciada pela acidez e pela temperatura da água coletada. Nas amostras de água de Bragança os valores são coincidentes com o intervalo aceito como valores normais e nenhuma exceção foi observada. A Tabela 3 apresenta os valores encontrados nas águas dos poços visitados.

4.2 - HIDROQUÍMICA

São aqui apresentados e discutidos todos os parâmetros e componentes hidroquímicos analisados nas amostras coletadas dos poços tubulares rasos (PçT) e poços escavados (ou Amazonas) (PçE), referente aos dois períodos sazonais distintos: período chuvoso ou de grande precipitação pluviométrica (Mç99) e período seco ou de estiagem pluviométrica (Out99).

As águas subterrâneas do aquífero freático da cidade de Bragança são ácidas. Os valores de pH variaram de 4,15 a 6,40. Os menores valores foram medidos no período de estiagem, cuja média é 4,9. No período chuvoso o pH das águas apresentou pequeno aumento, e o valor médio observado foi 5,58 (Tabela 2, Figura 17A).

Tabela 2 - Constituintes químicos principais das águas subterrâneas do aquífero frático da cidade de Bragança expressos em mg/L e meq/L, referentes a Mç99 e Out99, correspondente aos períodos chuvoso e seco respectivamente.

Amostras	Período Chuvoso (Mç99)														T ⁺	T ⁻	Fe _{total} mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	NO ₂ ⁻ mg/L	Fe _{total} mg/L	T ⁺	T ⁻	ERRO %				
	Ni ²⁺ mg/L	K ⁺ mg/L	Ca ²⁺ mg/L	Mg ²⁺ mg/L	PO ₄ ³⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L	NH ₄ ⁺ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	NO ₂ ⁻ mg/L	Fe _{total} mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	NO ₂ ⁻ mg/L										Fe _{total} mg/L	T ⁺ meq/L	T ⁻ meq/L	ERRO %
E1	23.0	1.0000	5.0	0.1282	5.0	0.2500	2.3	0.1917	ND	ND	33.5	0.9571	4.58	0.0955	1.28	0.0210	0.49	0.0272	13.60	0.2516	<0.01	0.0002	0.0030	0.0030	1.5971	1.3254	9.3
E2	8.0	0.3478	0.3	0.0077	2.0	0.1000	0.4	0.0333	ND	ND	6.0	0.1714	3.86	0.0804	1.46	0.0239	0.20	0.0111	13.90	0.2242	<0.01	0.0002	0.0630	0.0630	0.5000	0.5002	0.0
E3	10.8	0.4696	3.0	0.0769	5.0	0.2500	1.4	0.1167	ND	ND	12.5	0.3571	4.19	0.0873	2.56	0.0420	0.30	0.0167	16.50	0.2661	<0.01	0.0002	0.0030	0.0030	0.9298	0.7527	10.5
E4	35.0	1.5217	7.2	0.1846	8.0	0.4000	1.5	0.1250	ND	ND	35.2	1.0057	20.32	0.4233	5.86	0.0961	0.36	0.0200	14.40	0.2323	0.01	0.0002	0.0050	0.0050	2.2514	1.7575	12.3
E5	43.0	1.8696	9.0	0.2308	38.0	2.9000	8.0	0.6667	0.07	0.0023	75.0	2.1429	56.00	1.1667	134.63	2.2070	<0.1	0.0056	16.00	0.2581	<0.01	0.0002	0.0030	0.0030	5.6726	5.7772	-0.9
E6	35.0	1.5217	7.0	0.1795	20.0	1.0000	3.0	0.2500	ND	ND	54.0	1.5429	30.61	0.6378	25.62	0.4200	2.73	0.1517	17.10	0.2758	0.04	0.0009	0.2570	0.2570	3.1029	2.8773	3.8
E7	26.0	1.1304	6.0	0.1538	28.0	1.4000	2.8	0.2333	ND	ND	28.5	0.8143	25.00	0.5208	78.14	1.2810	1.40	0.0778	5.30	0.0855	<0.01	0.0002	0.0108	0.0108	2.9954	2.7018	5.2
E8	22.0	0.9565	4.0	0.1026	11.0	0.5500	1.0	0.0833	ND	ND	32.0	0.9143	17.00	0.3542	12.81	0.2100	0.12	0.0667	9.12	0.1471	0.01	0.0002	0.077	0.077	1.6991	1.6258	2.2
E9	32.0	1.3913	10.0	0.2564	11.0	0.5500	2.0	0.1667	ND	ND	49.0	1.4000	20.78	0.4329	6.83	0.1120	1.60	0.0889	13.86	0.2235	0.01	0.0002	0.049	0.049	2.4333	2.1686	6.2
E10	8.0	0.3478	1.0	0.0256	2.0	0.1000	1.6	0.1333	ND	ND	6.0	0.1714	4.00	0.0833	5.61	0.0920	0.60	0.0333	12.20	0.1968	0.01	0.0002	0.0125	0.0125	0.6401	0.5437	8.1
T1	15.0	0.6522	2.0	0.0513	1.0	0.0500	1.1	0.0917	ND	ND	16.0	0.4571	3.40	0.0708	1.28	0.0210	1.00	0.0111	12.50	0.2016	<0.01	0.0002	ND	ND	0.8562	0.7508	6.6
T2	16.0	0.6957	4.5	0.1154	21.0	1.0500	2.0	0.1667	0.09	0.0029	18.0	0.5143	22.30	0.4646	30.87	0.5061	3.36	0.1867	14.40	0.2323	<0.01	0.0002	ND	ND	2.2144	1.7203	12.6
T3	21.0	0.9130	4.8	0.1231	11.0	0.5500	2.0	0.1667	ND	ND	18.6	0.5314	15.80	0.3292	27.57	0.4520	2.70	0.1500	13.60	0.2194	<0.01	0.0002	0.0044	0.0044	1.9028	1.5321	10.8
T4	14.0	0.6087	4.2	0.1077	5.0	0.2500	1.0	0.0833	ND	ND	15.0	0.4286	8.60	0.1792	3.17	0.0520	0.20	0.0111	13.00	0.2097	<0.01	0.0002	ND	ND	1.0608	0.8696	9.9
T5	21.0	0.9130	4.2	0.0821	10.5	0.5250	1.0	0.0833	0.01	0.0003	26.0	0.7429	16.70	0.3479	1.54	0.0252	<0.2	0.0111	13.90	0.2242	<0.01	0.0002	ND	ND	1.6145	1.3407	9.3
T6	23.0	1.0000	3.1	0.1051	3.5	0.1750	1.6	0.1333	0.02	0.0006	37.0	1.0571	3.36	0.0700	1.24	0.0203	<0.2	0.0111	14.10	0.2274	<0.01	0.0002	0.1216	0.1216	1.4246	1.3738	1.7
T7	20.8	0.9045	5.8	0.1487	12.6	0.6300	2.0	0.1667	0.45	0.0142	26.5	0.7571	19.20	0.4000	10.49	0.1720	1.00	0.0556	13.90	0.2242	<0.01	0.0002	ND	ND	1.9053	1.5678	9.7
T8	28.0	1.2174	6.0	0.1538	10.3	0.5150	2.0	0.1667	ND	ND	40.0	1.1429	18.42	0.3837	7.20	0.1180	0.84	0.0467	14.18	0.2287	0.01	0.0002	0.077	0.077	2.0996	1.8735	5.7
T9	26.0	1.1304	5.0	0.1282	6.0	0.3000	1.0	0.0833	ND	ND	29.8	0.8514	10.87	0.2265	5.12	0.0859	1.12	0.0622	13.60	0.2194	0.01	0.0002	0.106	0.106	1.7042	1.3814	10.5
T10	8.6	0.3739	0.5	0.0128	1.0	0.0500	1.0	0.0833	ND	ND	7.2	0.2057	1.50	0.0313	4.27	0.0700	0.05	0.0028	12.04	0.1942	0.01	0.0002	ND	ND	0.5228	0.5014	2.1

Amostras	Período Seco (Out99)														T ⁺	T ⁻	Fe _{total} mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	NO ₂ ⁻ mg/L	Fe _{total} mg/L	T ⁺	T ⁻	ERRO %				
	Ni ²⁺ mg/L	K ⁺ mg/L	Ca ²⁺ mg/L	Mg ²⁺ mg/L	PO ₄ ³⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L	NH ₄ ⁺ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	NO ₂ ⁻ mg/L	Fe _{total} mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	NO ₂ ⁻ mg/L										Fe _{total} mg/L	T ⁺ meq/L	T ⁻ meq/L	ERRO %
E1	30.0	1.3043	5.0	0.1282	6.0	0.3000	2.0	0.1667	0.02	0.0006	41.5	1.1857	9.3	0.1938	7.08	0.1161	1.26	0.0700	25.1	0.4044	0.01	0.0002	<0.01	<0.01	1.9692	1.9007	1.8
E2	15.0	0.6522	2.0	0.0513	3.0	0.1500	1.0	0.0833	0.02	0.0006	16.8	0.4800	7.6	0.1583	3.17	0.0520	1.00	0.0556	6.5	0.1047	0.01	0.0002	<0.01	<0.01	0.9223	0.7958	11.0
E3	42.0	1.8261	4.0	0.1026	14.0	0.7000	3.0	0.2500	0.01	0.0003	64.0	1.8286	10.6	0.2208	7.08	0.1161	1.00	0.0556	6.2	0.0998	0.01	0.0002	<0.01	<0.01	2.9342	2.2658	12.9
E4	20.0	0.8696	8.5	0.2179	15.0	0.7500	3.0	0.2500	0.01	0.0003	32.5	0.9286	12.5	0.2604	9.39	0.1598	1.96	0.1089	25.1	0.4044	0.01	0.0002	<0.01	<0.01	2.1964	1.7478	11.4
E5	48.0	2.0670	12.0	0.3077	62.0	3.1000	10.0	0.8333	0.39	0.0123	95.0	2.7143	78.0	1.6250	29.04	0.4761	1.00	0.0056	17.1	0.2756	0.016	0.0002	<0.01	<0.01	6.3396	5.1036	10.8
E6	35.0	1.5217	8.0	0.2051	22.0	1.1000	3.5	0.2917	0.17	0.0054	60.0	1.7143	38.0	0.7917	20.74	0.3400	3.22	0.1789	22.1	0.3568	0.228	0.0050	0.06	0.06	3.2974	3.2131	1.3
E7	29.0	1.2609	7.0	0.1795	30.0	1.5000	3.0	0.2500	0.21	0.0066	34.0	0.9714	29.2	0.6083	56.12	0.2561	1.00	0.0556	21.8	0.3515	0.01	0.0002	<0.01	<0.01	3.3109	2.9395	5.9
E8	32.0	1.3913	5.0	0.1282	15.5	0.7750	1.6	0.1333	0.14	0.0044	38.5	1.1000	18.4	0.3833	15.62	0.2561	1.00	0.0556	12.1	0.1950	0.01	0.0002	0.68	0.68	3.0837	2.4588	11.3
E9	36.0	1.6522	11.0	0.2026	1.2	0.0308	3.0	0.1500	0.14	0.0044	53.0	1.5143	28.4	0.3917	9.15	0.1500	2.24	0.1244	12.1	0.1950	0.01	0.0002	0.68	0.68	3.0837	2.4588	11.3
E10	18.0	0.7626	1.2	0.0308	3.0	0.1500	1.0	0.0833	0.14	0.0044	14.8	0.4229	15.4	0.3208	11.71	0.1920	1.00	0.0556	0.1	0.0016	0.01	0.0002	0.02	0.02	1.1023	0.9419	7.8
T1	23.0	1.0000	4.0	0.1026	5.0	0.2500	2.0	0.1667	0.01	0.0003	28.0	0.8000	4.6	0.0958	0.98	0.0161	0.05	0.0111	21.5	0.3473	ND	ND	0.03	0.03	1.5303	1.2595	9.7
T2	17.0	0.7391	5.0	0.1282	24.0	1.2000	3.0	0.2500	0.01	0.0003	24.0	0.6857	29.7	0.6188	25.01	0.4100	2.10	0.1167	18.6	0.2997	0.009	0.0001	0.02	0.02	2.4540	2.0146	9.4
T3	24.0	1.0435	5.0	0.1282	15.0	0.7500	2.0	0.1667	0.01	0.0003	30.0	0.8571	17.5	0.3646	24.16	0.3961	1.30	0.0722	17.7	0.2855	0.019	0.0003	0.07	0.07	2.1606	1.9039	6.3
T4	20.0	0.8696	5.1	0.1308	15.0	0.7500	1.3	0.1083	0.02	0.0006	31.0	0.8857	17.7	0.3688	3.90	0.0639	1.70	0.0944	18.3	0.2950	0.016	0.0003	0.03	0.03	1.9531	1.6143	9.5
T5	23.0	1.0000	4.8	0.1231	15.0	0.7500	2.0	0.1667	0.01	0.0003	34.0	0.9714	18.9	0.3946	2.68	0.0499	2.60	0.0111	20.7	0.3331	ND	ND	0.4	0.4	2.0598	1.7433	8.1
T6	26.0	1.1304	4.6	0.1179	11.0	0.5500	2.0	0.1667	0.01	0.0003	47.6	1.3600	4.2	0.0875	3.17	0.0520	0.05	0.0111	23.3	0.3738	0.019	0.0003	0.05	0.05	1.9762	1.8759	2.6
T7	27.0	1.1739	7.0	0.1795	16.0	0.8000	2.0	0.1667	0.02	0.0006	38.0	1.0857	23.1	0.4813	8.54	0.1400	1.40	0.0778	16.2	0.2615	ND	ND	0.02	0.02	2.3978	1.9690	9.8
T8	50.0	2.1739	8.0	0.2051	16.0	0.8000	3.0	0.2500	0.01	0.0003	77.4	2.2126	23.7	0.4944	2.56	0.0420	2.97	0.1322	21.2	0.3406	ND	ND	0.04	0.04	3.5613	3.0918	7.1
T9	30.0	1.3043	6.0	0.1538	6.0	0.3000	1.0	0.0833	0.01	0.0003	43.5	1.2429	17.5	0.3646	3.66	0.0600	2.30	0.1650	17.7	0.2855	0.029	0.0005	0.1	0.1	2.0065	1.9357	1.3
T10	12.0	0.5217	3.4	0.0859	7.3	0.3635	1.4	0.1158	0.01	0.0003	16.3	0.4654	5.9	0.1219	4.68	0.0767	0.24	0.0133	16.8	0.2711	0.009	0.0001	0.04	0.04	1.1003	0.9536	8.1

Tabela 3 - Principais parâmetros das águas subterrâneas do aquífero freático da cidade de Bragança expressos em suas respectivas unidades. Coletas referente aos períodos chuvoso (Mç99) e seco (Out99).

Amostras	Temperaturas		pH	Eh mv	Cond. Elétrica µS/cm	STD mg/L	RS mg/L	Dureza Total mg/L de CaCO ₃	Alcalinidade mg/L	Amêlez mg/L	CO ₂ Livre	Coliforme Total		Coliforme Fecal A - COND/RSL NMP/100ml.
	°C											NMP/100ml.		
Período Chuvoso (Mç99)														
E1	29.0		4.60	128.0	55.6	53	92.4	22.08	1.05	36.89	3.44	9.1	3.6	1.06
E2	28.0		4.99	130.0	85.0	80	79.3	6.67	1.20	22.93	3.34	>16	ND	1.07
E3	31.1		5.06	118.0	92.7	86	84.7	18.33	2.10	16.95	5.01	1.50	3.6	1.09
E4	28.6		5.10	110.0	55.3	56	53.1	26.25	4.80	51.30	10.21	7.3	ND	1.04
E5	27.8		7.21	40.0	140.0	177	109.7	178.33	110.35	9.97	212.71	1100	466	1.28
E6	27.4		5.91	82.0	76.7	88	75.2	62.50	21.00	32.9	40.80	240	23	1.92
E7	28.1		6.28	74.0	70.0	92	92.9	81.67	64.05	54.83	123.89	9.2	9.2	1.32
E8	26.2		6.18	79.5	64.2	60	53.6	31.67	10.50	51.84	20.18	ND	ND	1.20
E9	27.6		5.39	136.0	103.0	96	92.6	33.85	5.60	82.75	11.47	SA	SA	1.11
E10	29.2		4.20	135.0	14.0	17	14.2	11.67	4.60	34.58	10.72	1100	1500	0.99
T1	29.8		4.99	140.0	72.4	66	65.4	7.08	1.05	32.90	3.05	ND	ND	1.11
T2	30.1		6.11	84.0	75.5	70	54.6	60.83	25.30	59.82	48.94	ND	ND	1.38
T3	28.9		6.28	50.0	57.0	68	54.2	33.83	22.60	46.86	43.53	ND	ND	1.05
T4	29.1		5.85	96.0	36.0	38	36.4	16.67	2.60	52.05	5.19	ND	ND	0.99
T5	29.4		5.47	120.0	64.2	60	59.2	30.42	1.26	57.82	2.97	ND	ND	1.08
T6	27.7		5.46	155.0	73.4	70	69.4	15.42	1.02	75.77	2.52	ND	ND	1.06
T7	28.6		6.40	101.0	88.0	91	85.8	39.83	8.6	74.77	16.27	3.6	ND	1.03
T8	28.9		5.98	93.8	115.0	112	108.4	34.08	5.9	42.87	11.46	3.6	ND	1.06
T9	28.2		5.56	124.5	77.0	79	76.4	19.17	4.2	59.82	8.58	9.1	ND	1.01
T10	28.6		4.6	140.0	33	34	31.9	6.67	3.5	49.8	8.10	ND	ND	1.03
Período Seco (Out99)														
E1	28.1		4.15	165.0	268.0	294	290.5	23.33	5.80	32.18	13.09	ND	ND	0.92
E2	27.6		4.25	161.0	102.2	112	110.4	11.67	2.60	23.54	6.79	ND	21	0.93
E3	28.6		4.56	141.0	130.0	142	138.5	47.50	5.80	38.88	12.68	ND	ND	0.94
E4	27.8		5.01	115.0	275.0	258	253.3	50.00	7.70	19.44	15.92	ND	3.6	1.09
E5	28.2		7.11	0.04	732.0	790	775.5	196.60	23.80	0.05	45.03	ND	1108	0.93
E6	28.0		5.59	0.82	385.0	366	355.6	69.58	17.00	19.44	33.37	3.6	1500	0.94
E7	27.9		5.71	74.0	309.0	338	309.9	87.50	46.00	23.76	89.46	ND	9.1	1.00
E8	28.1		4.48	148.0	234.0	229	221.2	45.42	12.80	41.56	26.33	ND	3.6	1.06
E9	28.6		4.41	150.0	431.0	422	417.4	51.25	7.50	38.88	16.13	43	93	1.03
E10	27.4		4.34	154.00	34.0	30	24.1	11.67	9.60	26.35	20.27	ND	2400	1.41
T1	29.1		4.26	164.0	190.3	185	184.5	20.83	0.80	40	3.29	ND	3.6	1.03
T2	29.0		5.42	96.4	248.0	244	231.5	72.50	20.50	29.6	40.32	7.3	15	1.07
T3	31.1		5.74	77.7	234.0	228	215.9	45.83	19.80	26	38.64	ND	ND	1.08
T4	27.4		5.14	110.0	282.0	275	273.0	42.92	3.20	19	7.06	3.6	9.1	1.03
T5	28.8		4.38	157.3	280.0	274	272.7	45.83	2.20	50	5.88	ND	3.6	1.03
T6	27.8		4.15	170.9	291.0	285	283.4	35.83	2.60	58	6.89	ND	ND	1.03
T7	28.6		5.26	105.0	306.0	300	295.7	48.33	7.00	32	14.31	ND	9.1	1.03
T8	30.6		4.84	130.6	329.0	322	320.7	52.50	2.10	22	5.23	ND	ND	1.03
T9	27.1		5.08	116.2	258.0	252	247.7	19.17	3.00	16	6.74	ND	ND	1.04
T10	29.5		4.19	168.4	66	51	48.7	23.97	3.84	24	9.25	ND	ND	1.36

E1 a E10 = Poços Escavados

T1 a T10 = Poços Tubulares Rascos

SA = Sem Amêlez

ND = Não Detectado

RS = Resíduo Seco

STD = Sólidos Totais Dissolvidos

Valores próximos a estes foram encontrados nos poços estudados para o diagnóstico dos recursos hídricos da cidade de Bragança realizado pela CPRM, (Souza, 1998).

O baixo conteúdo de sais destas águas em Mç99 (média de STD = 74,5 mg/L) são compatíveis com os baixos valores de pH e certamente contribuiu para os baixos valores de condutividade elétrica (média de 72,4 $\mu\text{S/cm}$ neste período). Em Out99 as águas apresentaram maior conteúdo de STD (média de 269,8 mg/L) e maior condutividade elétrica (média de 266,3 $\mu\text{S/cm}$)(Tabela 3, Figuras 17B e 18A). Tal resultado deve-se ao maior conteúdo de sais no meio aquoso, provocado pela diminuição da infiltração e circulação no período de menor precipitação pluviométrica, o que pode acarretar em maior concentração destes no aquífero.

O resíduo seco (Figura 18B) se correlaciona com a condutividade elétrica e STD (Figuras 18A e 17B), inclusive com o resultado numérico bastante próximo daqueles observados para tais parâmetros nos períodos sazonais considerados, o que reflete e ratifica a relação direta entre eles, melhor visualizada no diagrama da Figura 19, com as águas de Mç99 mais pobres em STD e com os menores valores de condutividade elétrica.

As Figuras 17 e 18 mostram que as águas dos PçT apresentam pequena amplitude nos resultados de STD, RS, condutividade, indicando que as variações químicas das águas coletadas neste tipo de fonte são mais suaves. Já nos PçE notam-se variações significativas, influenciadas por fatores externos ao aquífero.

Os baixos valores de alcalinidade encontrados em ambos os períodos sazonais (Tabela 3) com média \cong 12 mg/L de CaCO_3 e muitos resultados abaixo de 10 mg/L, independem do tipo de poço amostrado e são compatíveis com os baixos valores de pH dessas águas. Apresentam uma relação direta com os resultados igualmente baixos de HCO_3^- (Tabela 2) e que, provavelmente, são resultantes da dissociação do ácido carbônico (H_2CO_3) proveniente da dissolução do CO_2 na água. Este, no entanto, provém da atmosfera e principalmente da oxidação por bactérias da matéria orgânica no solo. Os maiores valores de alcalinidade encontrados (Amostras E5, E6, E7, T2 e T3), atingindo até 110,3 mg/L de CaCO_3 na amostra E5, em Mç99, correspondem aos maiores resultados de pH e HCO_3^- , devido provavelmente a sensível contribuição de cátions básicos como Na^+ , K^+ , Ca^{+2} e Mg^{+2} , que tendem a aumentar a alcalinidade da água (Hem, 1970).

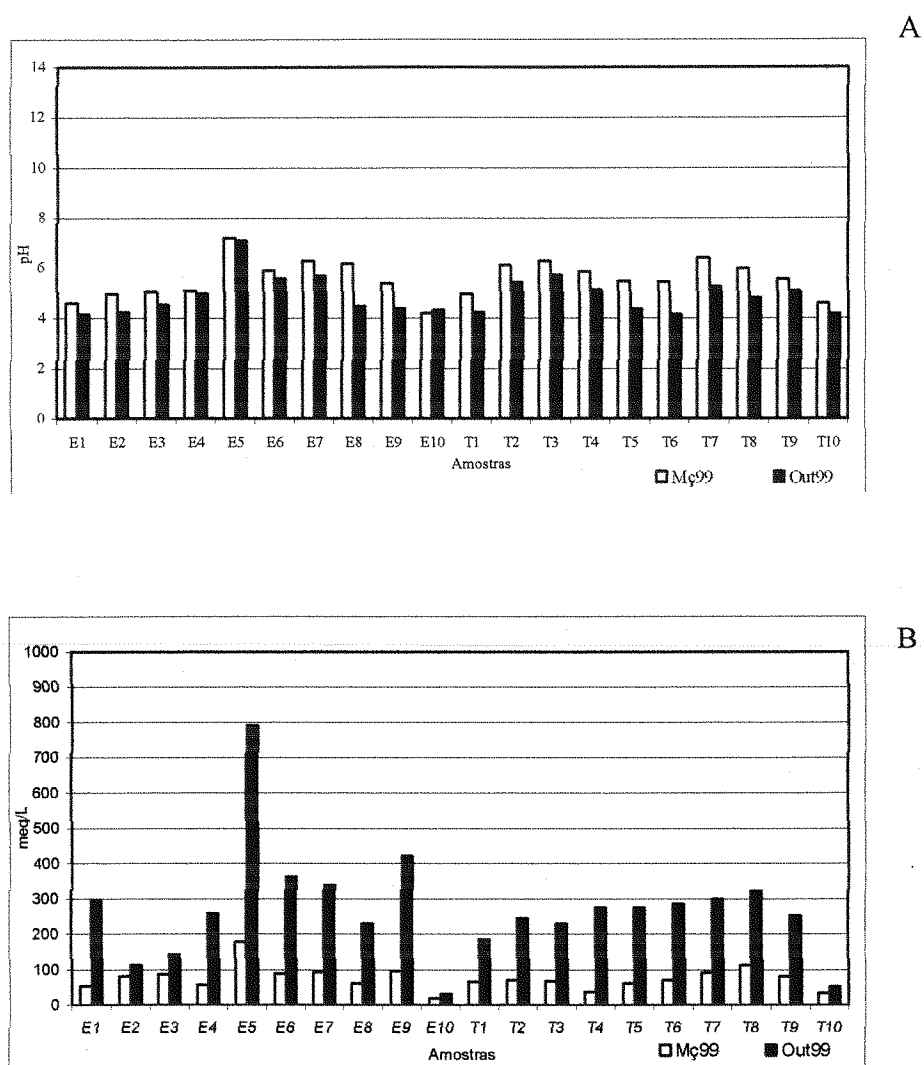


Figura 17 – Variação nos valores de pH (A) e conteúdo de sólidos totais dissolvidos STD (B) das águas analisadas.

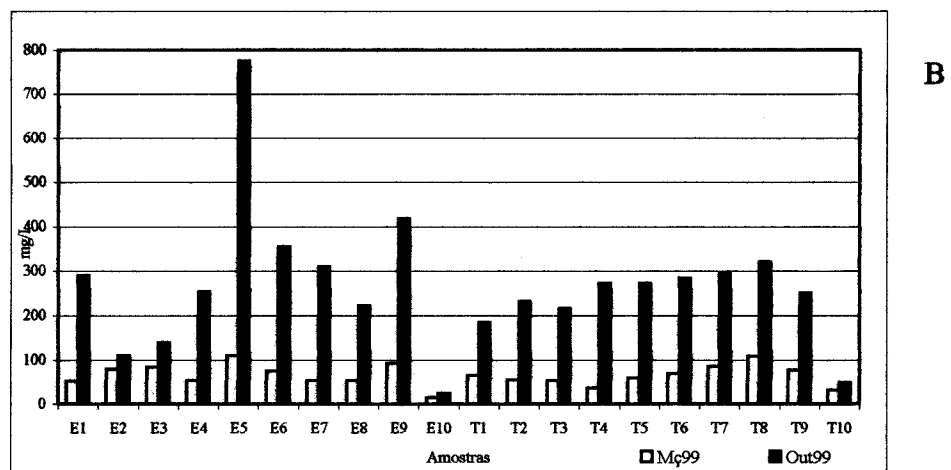
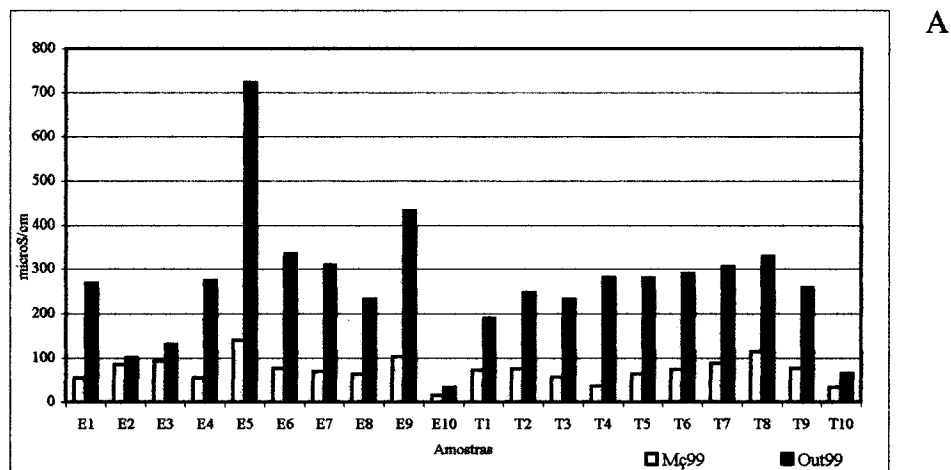


Figura 18 – Variação nos valores de condutividade elétrica (A) e resíduo seco (B) das águas analisadas.

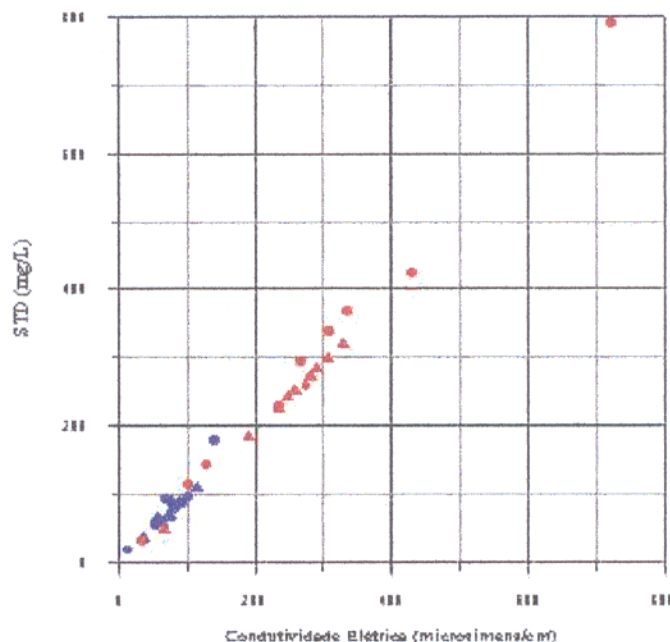


Figura 19 – Relação entre os valores de sólidos totais dissolvidos e condutividade elétrica das águas analisadas

Os valores de HCO_3^- encontrados são em sua maioria baixos ($< 10 \text{ mg/L}$), seguindo as mesmas características e variações apresentadas pela alcalinidade, uma vez que os valores obtidos foram calculados a partir de relações químicas que envolvem a alcalinidade (item 3.2).

Os valores de dureza aqui apresentados são expressos em mg/L de CaCO_3 e relacionam-se apenas às contribuições de Ca^{+2} e Mg^{+2} , embora a presença de cátions metálicos bivalentes como Sr^{+2} , Si^{+2} , Fe^{+2} e Mn^{+2} também influenciem-na (Sawyer & McCarty⁶ *apud* Braz, 1985). Segundo Custódio & Llamas (1976), águas com dureza menor que 50 mg/L de CaCO_3 são chamadas brandas, sendo esta a classificação de 80% das amostras aqui analisadas. Águas pouco duras, como 15% das águas dos poços amostrados, apresentam dureza até 100 mg/L de CaCO_3 e as águas duras (dureza até 200) abrangem 5% das amostras analisadas. Esta característica percentual

⁶ SAWYER, C.N. & MCCARTY, P.L. 1978 – *Chemistry for Environmental engineering*. 3º Ed. McGraw-Hill. 532p.

não se altera com a variação sazonal, e os PçE foram mais susceptíveis a dureza elevada. Águas duras são propensas a incrustações, já as águas moles são consideradas corrosivas.

4.2.1 - Constituição Química

Após confirmada a coerência entre os valores numéricos da somatória em meq/L entre cátions e ânions nas águas (item 4.1), são aqui apresentados os resultados analíticos das espécies químicas predominantes, o que auxilia nas considerações acerca das influências ambientais e enriquece a discussão sobre as particularidades químicas da água.

4.2.1.1 - Cátions

As espécies catiônicas analisadas são representantes dos metais alcalinos e alcalinos terrosos (Na^+ e K^+ , Ca^{+2} e Mg^{+2}) e NH_4^+ (que será discutido no item 4.2.1.3).

⇒ Sódio (Na^+)

O sódio é o cátion mais abundante nas águas analisadas (Tabela 2), variando de 8 a 43 mg/L em Mç99, com valor médio igual a 21,8 mg/L de Na^+ . Com a estiagem (Out99), os valores apresentam um sensível aumento e variam de 12 a 48 mg/L, sendo a média igual a 27,9 mg/L de Na^+ . Os PçT apresentaram valores mais regulares que os PçE, sugerindo pouca influência de fenômenos externos ao aquífero. A difícil precipitação deste elemento devido a sua alta solubilidade contribui significativamente para sua predominância nas águas analisadas. A proximidade da área com o litoral deve ser considerada, já que este é o cátion mais abundante na água do mar (Custódio & Llamas, 1976) e possui uma boa correlação com o Cl (Figura 26A).

⇒ Potássio (K^+)

Os valores obtidos para o íon K^+ (Tabela 2) variam de 0,3 a 10 mg/L nas águas coletadas em Mç99, com média igual a 4,6 mg/L. No período de Out99 os valores sofreram um aumento pouco significativo, sendo a média igual a 5,8 mg/L, e os valores encontrados variaram de 1,2 a 12 mg/L de potássio. Não foram observadas concentrações preferenciais em função do tipo de poço amostrado. Embora seja um elemento de solubilidade bastante elevada e ser abundante em

diversos tipos de rochas, o íon K^+ não é encontrado em altos teores nas águas naturais em função de ser facilmente afetado por processos de troca iônica, além de ser adsorvido por argilominerais para fazer parte de sua estrutura (o que o diferencia do sódio) e ser frequentemente adsorvido, de forma pouco reversível, pela matéria orgânica no solo (Hem, 1970 e Custódio & Llamas, *op. cit.*).

⇒ Cálcio (Ca^{+2})

Os valores encontrados para cálcio (Tabela 2) variam de 1 a 28 mg/L em Mç99, com o valor médio igual a 11,6 mg/L. Na coleta de Out99 os valores de cálcio sofreram um ligeiro aumento ficando entre 3 e 30 mg/L, com a média igual a 15,8 mg/L. Foi observada uma fraca tendência a teores mais elevados de cálcio nos PçE, no entanto pouco significativa. Este cátion é o principal responsável pela dureza da água e sua química está associada aos íons CO_3^{-2} e HCO_3^- , precipitando-se ou dissociando-se em função das variações de pH e/ou da pressão parcial de CO_2 (Custódio & Llamas, *op. cit.*). Embora em águas subterrâneas este cátion seja o mais abundante segundo Hem (*op. cit.*), nas águas subterrâneas aqui estudadas é notável a predominância de íons sódio.

⇒ Magnésio (Mg^{+2})

O íon Mg^{+2} possui comportamento químico similar ao do íon Ca e contribui, junto com este, para a dureza das águas. Sua concentração no meio aquoso dependerá da litologia dos terrenos atravessados. Altas concentrações podem indicar influência de terrenos dolomíticos, ataque de minerais ferromagnesianos, influências de água do mar ou enriquecimento aparente em função da precipitação de $CaCO_3$ (Hem, *op. cit.*). A concentração de Mg^{+2} em águas subterrâneas é normalmente pouco expressiva em função de sua escassez geoquímica (Fenzl, 1988). Os valores encontrados (Tabela 2) variaram de 0,4 a 3 mg/L no período de Mç99, com valor médio igual a 1,9 mg/L. Em Out99 o conteúdo deste íon nas águas analisadas variou de 1 a 3 mg/L, com valor médio igual a 2,54 mg/L. Estes baixos valores são coerentes para águas subterrâneas sem influência de litotipos que forneçam aporte considerável de íons Mg^{+2} . A amostra E5 apresentou valor anômalo de Mg^{+2} em relação as demais amostras nos dois períodos considerados, chegando a 10 mg/L (E5) em Out99.

Estes resultados sugerem que as águas não se encontram em contato com litotipos ricos em espécies (cátions) com propriedades básicas, que tenderiam a aumentar a alcalinidade da água, tendo como resultado a diminuição da acidez e o aumento do pH.

Embora estas espécies sejam constituintes principais das águas subterrâneas, não chegam a influenciar significativamente os parâmetros físico-químicos analisados.

4.2.1.2 - Ânions

Foram analisados os seguintes ânions Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , NO_3^- e NO_2^- , que geralmente encontram-se associados àquelas espécies catiônicas de maior afinidade química. Os ânions NO_3^- e NO_2^- serão discutidos no item 4.2.1.3, referente aos compostos nitrogenados, e o HCO_3^- foi apresentado e discutido juntamente com os resultados de alcalinidade total.

⇒ Cloreto (Cl^-)

O cloreto é o ânion mais abundante nas águas analisadas (Tabela 2). Variou de 6 a 54 mg/L em Mç99, com valor médio igual a 28,3 mg/L de Cl^- . No período de Out99 verificou-se que os teores de cloreto foram sensivelmente mais concentrados, indo de 14,8 a 64 mg/L de Cl^- , com a média dos teores igual a 41 mg/L no período seco. Em ambos os períodos de amostragem os PçE apresentaram grande irregularidade nos teores deste íon, visto que o menor e o maior valor encontrado foram em amostras coletadas neste tipo de poço, o que pode indicar maior influência externa ao aquífero, tanto de aporte de íons, quanto de diluição dos mesmos.

A concentração de cloreto nas águas é extremamente variável e é função, principalmente, da natureza dos terrenos atravessados. A concentração deste íon nas rochas é bem menor do que qualquer outro constituinte maior das águas naturais, e a sua fonte mais importante está relacionada com rochas sedimentares evaporíticas ou águas conatas (Hem, 1970). Embora o seu aporte para as águas subterrâneas seja em função da lixiviação dos litotipos percolados pela água, a qual, neste caso, percola os sedimentos do Grupo Barreiras, que não possuem fontes naturais deste íon associadas, a predominância de cloreto nas águas analisadas deve-se certamente a proximidade da região em estudo ao oceano Atlântico e a influência que este possui sobre as drenagens da área, através dos movimentos de maré. Esta influência marinha também pode ser

feita através de aerossóis carregados pelas brisas que alcançam a cidade. A boa correlação que o íon cloreto tem com o Na^+ ratifica este pressuposto (Figura 26A).

O sabor é o principal inconveniente que o excesso do íon cloreto confere a água, principalmente quando associado ao sódio. A Portaria Nº 36 (Brasil, 1990) estabelece em 250 mg/L de cloreto como valor máximo permitido para consumo humano.

⇒ Sulfato (SO_4^{-2})

O conteúdo de sulfato nas águas naturais é bastante variável, chegando até a 300 mg/L em áreas ricas em minerais de sulfato como a gipsita e anidrita. Já em áreas pobres em sulfatos minerais, a concentração nas águas fica entre 30 e 50 mg/L (Hem, 1970). Nas precipitações atmosféricas o sulfato provém de sais cíclicos, poeiras continentais e emanações vulcânicas e industriais (Fenzl, 1988).

Nas amostras coletadas em Mç99 a concentração de sulfato variou de 1,5 a 30,6 mg/L, sendo a média dos valores igual a 13,2 mg/L (Tabela 2). No período seco os teores de sulfato apresentaram-se sensivelmente mais concentrados e os valores foram de 4,2 a 38 mg/L de sulfato, com o valor médio igual a 17,5 mg/L. Em relação as demais, a amostra E5 apresentou valor anômalo e mais elevado, chegando até 78 mg/L de sulfato em Out99. Não foi observada qualquer tendência química em relação ao tipo de poço amostrado.

Uma importante fonte deste íon para as águas subterrâneas é a decomposição de substâncias orgânicas no solo com a participação da fauna microbiológica que possibilita reações de oxidação e redução dos compostos de enxofre. Dependendo das condições do meio aquoso, estes compostos podem estar presentes sob as formas SO_4^{-2} , HSO_4^- , HS^- , $\text{H}_2\text{S}_{(\text{aquoso})}$ e S^{-2} (Hem, *op. cit.*; Fenzl, *op. cit.*). A Figura 20 mostra o diagrama de estabilidade dos diversos compostos de enxofre definido por Hem (*op. cit.*), no qual as amostras analisadas foram plotadas e todas coincidiram com o campo de estabilidade do sulfato, sugerindo que nas condições de pH e Eh das águas do aquífero em questão estes compostos estão sob forma iônica SO_4^{-2} .

A Portaria Nº 36 (Brasil, 1990) estabelece em 400 mg/L de sulfato como valor máximo permitido para água potável.

⇒ Fosfato (PO_4^{-3})

Assim como o nitrogênio e o enxofre, o fósforo pode ocorrer sob muitos estados de oxidação. Nas águas naturais pode estar presente sob a forma de tripolifosfatos, pirofosfatos ou ortofosfatos, sendo freqüentemente analisado como PO_4^{-3} . Embora o fósforo, juntamente com o carbono, nitrogênio e potássio, seja um nutriente essencial ao metabolismo animal e vegetal, sua concentração em águas naturais é baixa. Possui grande tendência em originar formas iônicas complexas com muitos íons, ligações fortes com minerais de argila e hidróxidos metálicos (principalmente de Fe). A fonte mais significativa deste elemento para as águas naturais é de natureza antropogênica, sendo os produtos agroquímicos, produtos de higiene e limpeza, assim como os dejetos urbanos os que mais contribuem para a sua inserção no meio aquoso superficial, o que, muitas vezes, leva a eutroficação dos corpos d'água (Fenzl, 1988; Hem, 1970).

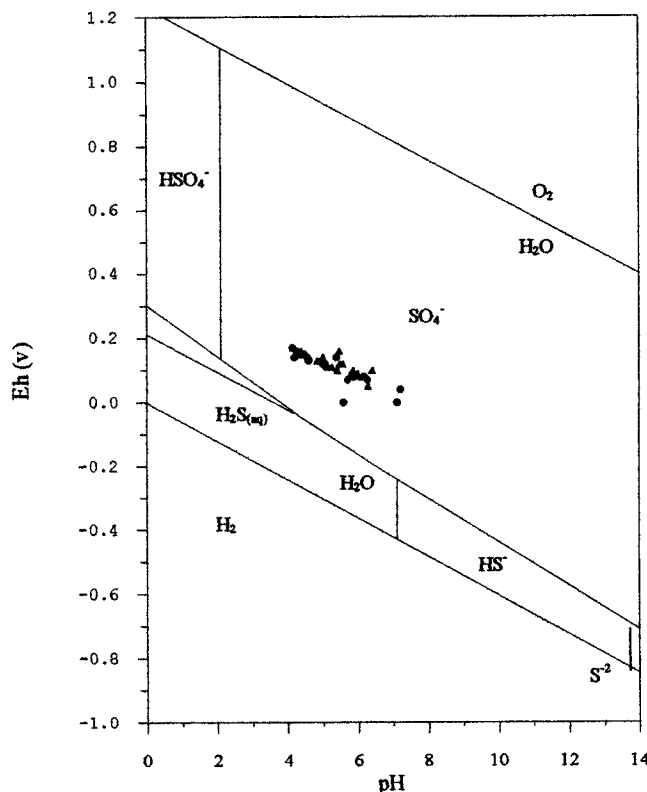


Figura 20 - Diagrama de estabilidade dos compostos de enxofre (Hem, 1970)

onde foram plotadas todas as amostras coletadas

Em 75% das amostras coletadas em Mç99 não foi detectado fosfato (Tabela 2). Nas demais amostras (E5, T2, T5, T6 e T7) os teores foram baixos, sendo que o valor máximo alcançado foi de 0,45 mg/L de fosfato nesta última amostra. Em Out99 foram detectados teores abaixo de 0,02 mg/L em todas as amostras dos PçT. Já nos PçE, 50% das águas coletadas apresentaram teores entre 0,14 e 0,39 mg/L de fosfato (amostras E5, E6, E7, E8, E9 e E10). O fato dos teores nos poços tubulares terem diminuído no período de estiagem (enquanto seria de se esperar uma maior concentração) sugere que a entrada de fosfato neste tipo de poço seja resultado da lixiviação de produtos de limpeza e higiene (sabão, detergente etc.) utilizados nas proximidades dos poços, tratando-se portanto de uma anomalia pontual e de pequena magnitude. Isto também é válido para os poços escavados, cuja precariedade de higiene e/ou estrutura adequada na área próxima a eles, resultou em teores elevados de fosfato, certamente devido a lixiviação do tipo acima explanada.

A resolução Nº 20 (CONAMA, 1986) estabelece 0,025 mg/L de fosfato total para as águas da classe I, e não se refere a limites para as águas da classe especial.

⇒ Ferro Total

O ferro é um constituinte naturalmente abundante e amplamente distribuído em rochas e solos. Nas rochas ígneas é um componente essencial de muitos minerais, tais como piroxênio, anfibólio, biotita e magnetita. Em rochas sedimentares é o quarto elemento mais abundante nos folhelhos, o quinto nos arenitos e o sexto nos carbonatos. Na composição média da água do mar é o vigésimo elemento em abundância (Hem, *op. cit.*). Para a biosfera é um elemento essencial ao metabolismo de plantas e animais (Piucci & Fenzl, 1981).

Nas águas subterrâneas, dependendo das condições (acidez, temperatura, Eh, pH, etc...) a que está submetido, o ferro pode ocorrer como ferro ferroso (Fe^{+2}), ferro férrico (Fe^{+3}) ou como algum complexo orgânico, sendo mais comum o estado ferroso devido a deficiência em oxigênio a aos baixos valores de Eh, condições favoráveis a permanência de Fe^{+2} em solução. Nessas águas, o teor de ferro geralmente é bem mais elevado do que em águas superficiais, podendo variar desde traços (0,01mg/L) até dezenas de mg/L (Piucci & Fenzl, *op. cit.*).

Os teores de ferro total (Fe_T) detectados nas amostras de água foram muito baixos. No período chuvoso, o teor variou de 0,003 a 0,25 mg/L de Fe_T , não sendo detectado em 30% das amostras dos PçT. No período seco, todas as amostras apresentaram teor inferior a 0,01 mg/L,

com apenas uma exceção (Amostra E5) apresentando 0,4 mg/L de Fe_T . Não foram observadas variações químicas nos teores de Fe_T em função do tipo de poço amostrado nem em relação ao período sazonal de coleta.

O diagrama Eh x pH, embora seja simplificado e utilizado para condições experimentais, pode ser utilizado para se reconhecer as condições de estabilidade e solubilidade do íon ferro em águas subterrâneas (Hem, 1970). A Figura 21, na qual as amostras analisadas foram plotadas, mostra que estas coincidiram com o campo de estabilidade do íon ferroso (Fe^{+2}), sugerindo que esta seja a forma iônica predominante de ferro nas condições de pH e Eh das águas do aquífero em questão.

Altos teores de ferro em água para consumo não prejudicam a saúde humana, pois este não apresenta toxicidade, sendo que em condições normais o metabolismo do homem necessita de 5 a 6 mg de ferro por dia (Piucci & Fenzl, 1981). A Portaria Nº 36 (Brasil, 1990) e a resolução Nº 20 (CONAMA, 1986) estabelecem 0,3 mg/L de Fe solúvel como valor máximo permitido para água potável. Este limite foi estabelecido em função de problemas ligados a engenharia hidráulica e aspectos sanitários, além do gosto desagradável que o excesso de ferro atribui às águas de consumo.

Dentre os efeitos prejudiciais referentes ao teor de ferro elevado destacam-se, entre outros, o gosto adstringente e metálico das águas, manchas em roupas e instalações sanitárias, diminuição da vazão em função de incrustações em filtros, canalizações, reservatórios e registros. A proliferação de bactérias de ferro talvez seja, provavelmente, o maior infortúnio na utilização de água com este elemento. Embora estas não sejam patogênicas, suas colônias apresentam inconvenientes higiênicos e podem acumular e/ou hospedar outras bactérias prejudiciais a saúde do homem (Piucci & Fenzl, *op. cit.*).

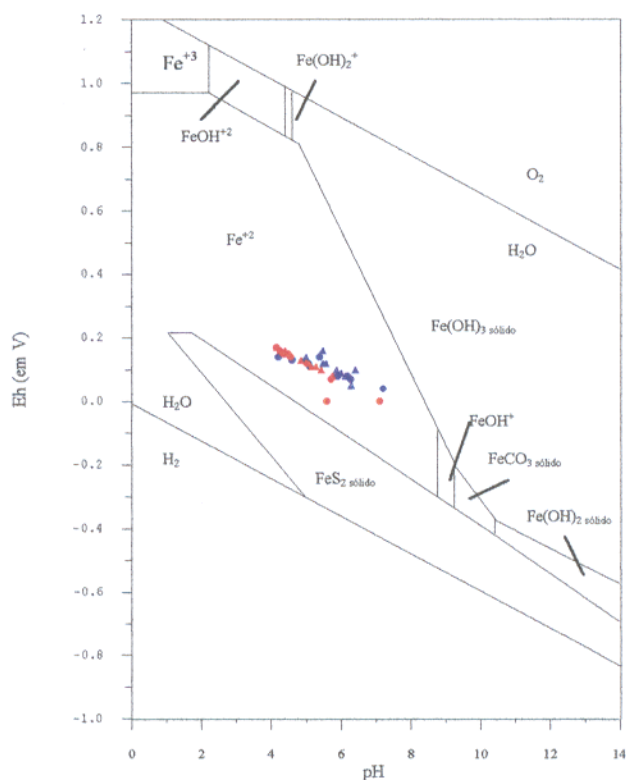


Figura 21 - Diagrama de estabilidade dos compostos de ferro segundo (Hem, 1970) onde foram plotadas todas as amostras coletadas

4.2.1.3 - Compostos de Nitrogênio

Cerca de 78% da atmosfera terrestre é composta por nitrogênio e apenas uma pequena quantidade deste elemento encontra-se disperso nas rochas. O ciclo do nitrogênio no ecossistema é afetado por processos bióticos e abióticos, sendo a assimilação pela microbiota o mecanismo mais importante para disponibilizar este elemento, a partir da atmosfera, para a reprodução e crescimento de plantas e animais. O nitrogênio pode ocorrer em vários estados de oxidação, variando de -3 a $+4$. Contudo, as espécies mais importantes nos estudos das águas naturais são o nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-) e o íon amônio (NH_4^+) (Hem, 1970; Bouchard *et al.*, 1992).

Concentrações de nitrato em águas subterrâneas são frequentemente inferiores a 3 mg de nitrato-N/L. Quando são encontradas concentrações acima deste *background*, normalmente são o resultado da disposição inadequada de rejeitos das industriais (químicas, de alimentos, etc.), silvicultura, agricultura e dejetos humanos (principalmente de tanques sépticos). Há um consenso

de que a maior contribuição antropogênica para a contaminação das águas subterrâneas por compostos nitrogenados, sobretudo nitrato, provém principalmente de atividades de fertilização do solo para a agricultura e áreas pastoris (Bouchard *et al.*, 1992).

Em áreas desprovidas de sistema de esgoto, a disposição de dejetos domésticos é quase que exclusivamente através de tanques sépticos ou áreas de infiltração. Os efluentes destes tanques geralmente apresentam entre 50 e 70 mg de N/L, com cerca de 75% de nitrogênio como ion amônio e 25% como nitrogênio orgânico. Estes efluentes são expostos com freqüência a condições oxidantes, ocasionando a transformação destes compostos em nitrato (Bouchard *et al.*, *op. cit.*), forma iônica mais estável nestas condições, o qual pode ser facilmente transportado para o aquífero freático.

No período chuvoso (Mç99) os teores de nitrato nas águas estudadas variaram de 5,3 a 16,5 mg/L de nitrato- NO_3^- /L. Na coleta realizada em Out99 foi observado um pequeno aumento nos teores de nitrato, o qual variou de 6,2 a 26,8 mg/L de nitrato- NO_3^- /L. Nos PçT os valores encontrados foram bastante semelhantes entre si, o que propiciou uma pequena amplitude e certa regularidade nos resultados analíticos (Figura 22). No entanto, nas amostras dos PçE, esta variação foi bem significativa ocasionando irregularidade e grande amplitude nos resultados, sendo este fato mais evidente nas amostras coletadas em Out99. Os poços E1, E4 e E7, apresentaram os maiores valores de nitrato da área, verificados no período de Out99.

Os resultados analíticos referente aos teores de nitrito foram todos iguais ou menores que 0,01 mg/L, independente do tipo de poço amostrado e/ou período de coleta.

O teor de ion amônio (NH_4^+) encontrado variou de 0,05 a 3,36 mg/L no período chuvoso, com a média igual a 0,9 mg/L. No período seco o teor deste ion variou de 0,05 a 3,22 mg/L de NH_4^+ (variação similar ao período chuvoso). No entanto, o valor médio foi sensivelmente mais elevado (1,53 mg/L de NH_4^+).

As espécies reduzidas de nitrogênio são pouco expressivas nas amostras analisadas. A característica oxidante da água do aquífero em questão, confirmada principalmente nos resultados de Eh, oxigênio dissolvido e ferro total, é propícia aos processos de oxidação das espécies de nitrogênio, resultando no predomínio do ion nitrato, bem mais estável nestas condições (Hem, 1970 e Bouchard *et al.*, *op. cit.*). A falta de informações sobre a microbiota e a característica mineralógica da zona vadosa e saturada, limita a discussão sobre as transformações químicas sofridas pelas espécies de nitrogênio presentes nas águas analisadas.

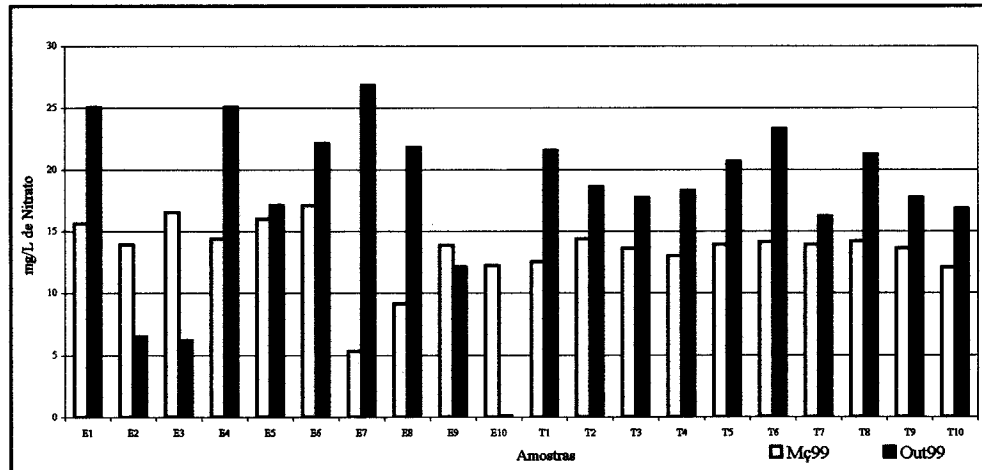


Figura 22 – Conteúdo de nitrato das águas subterrâneas captadas de poços escavados e tubulares rasos

A Portaria Nº 36 (Brasil, 1990) e a Resolução Nº 20 (CONAMA, 1986) estabelece que as água para consumo humano devem possuir no máximo 45 mg/L de nitrato-NO₃⁻/L ou 10 mg/L de nitrato em N. Segundo o resultado aqui apresentado, as águas do aquífero freático possuem indícios de futura contaminação por compostos nitrogenados, sobretudo nitrato, visto que em condições naturais a concentração deste composto é baixa. Esta contaminação seria proveniente dos efluentes de fossas negras e/ou sépticas instaladas às proximidades dos poços, muitas vezes à montante destes, o que facilitaria sua contaminação, aliada a alta mobilidade deste composto nas condições de físico-químicas do aquífero freático em questão.

Consumidores de água com concentração de nitrato acima de 45 mg/L podem desenvolver a patologia chamada metahemoglobinemia. Esta doença é o resultado da transformação da hemoglobina em metahemoglobina quando o ferro ferroso presente na hemoglobina é oxidado a ferro férrico prejudicando o transporte de oxigênio pelo sangue (Bouchard *et al.*, 1992). As crianças menores de seis meses são mais vulneráveis ao desenvolvimento desta enfermidade.

4.3 - CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS

De acordo com os objetivos do trabalho, as águas subterrâneas podem ser classificadas de inúmeras maneiras (Hem, 1970; Custódio & Llamas, 1976; Fenzl, 1988 e Feitosa & Manoel Filho, 1997).

Existem classificações que necessitam de alguns poucos parâmetros e fornecem informações pouco específicas, mas são suficientes para avaliar a qualidade da água para as várias possibilidades de uso agrícola, industrial e doméstico.

As águas analisadas são todas destinadas ao consumo humano para uso comunitário e/ou preponderantemente ao consumo doméstico de pequenas residências. Assim, as classificações aqui apresentadas limitam-se a este tipo de consumo.

Com o resultado da análise dos principais constituintes construiu-se o digrama de Piper (Figura 23A), no qual foram plotadas todas as amostras coletadas nos dois períodos sazonais (Mç99 e Out99), sendo, respectivamente, os períodos de máxima e mínima precipitação. Este digrama é utilizado para classificar e comparar os distintos grupos de água quanto aos íons dominantes, principalmente quando se trabalha com um grande número de análises químicas (Custódio & Llamas, 1976).

Quanto aos ânions, as águas são predominantemente cloretadas (83,5%), sem distinção de períodos sazonais ou tipo de poço amostrado. Verifica-se que as demais são mistas, do tipo cloretada sulfatada (5%) e cloretada bicarbonatada (12,5%).

O sódio é o cátion principal na maioria das amostras, gerando uma predominância de águas sódicas (85%), seguidas pelo tipo mista sódica cálcica (25%) e cálcica sódica (12,5%).

Utilizando-se os constituintes principais para classificar as águas, o digrama de Durov (Chilingar⁷ *apud* Fenzl, 1988), mostrado na Figura 23B, apresenta a mesma classificação sugerida com o diagrama de Piper. O que ratifica a classificação aqui apresentada.

Todas as amostras apresentam teor de resíduo seco menor que 1.000 ppm, o que as classifica como doce (Tabela 3).

⁷ CHILINGAR, G.V. 1956 – Durov's classification of natural waters and chemical composition of atmospheric precipitation in URSS: A review – Trans. amer. Geophys. Union. Washington. 37: 139 - 196

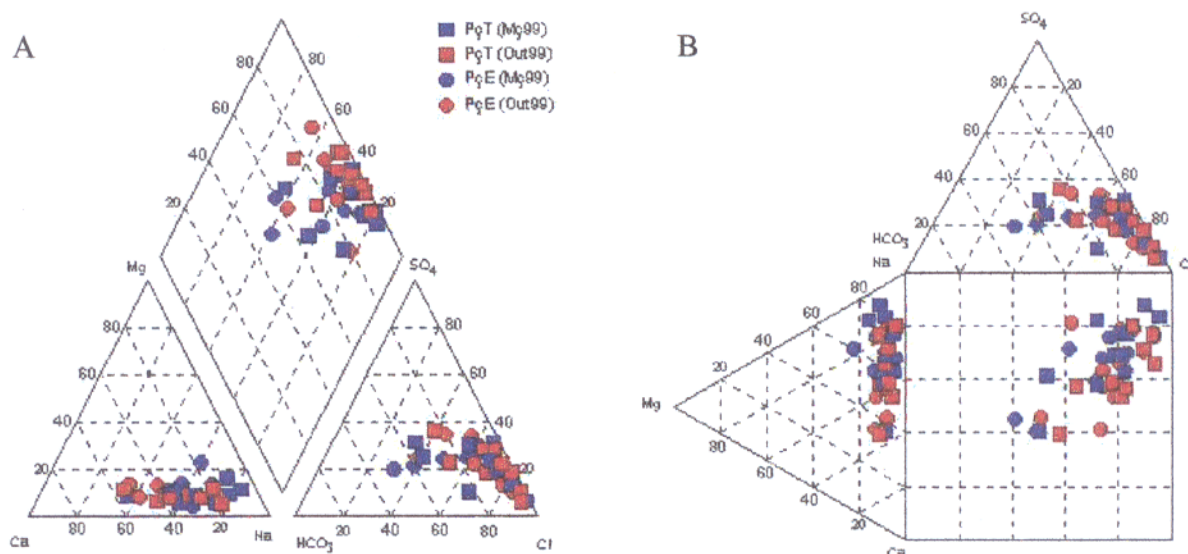


Figura 23 – Amostras de água dos poços escavados e tubulares rasos plotadas no diagrama de Piper (A) e Durov (B).

De acordo com o conteúdo de cloretos (Custódio & Llamas, 1976), a maior parte das amostras coletadas em Mç99 (70%) são de água hipocloretada. Água cloretada e cloretada média, perfazem, cada uma, 15% do total de amostras (Tabela 2). Nota-se que as águas do PçT seguem preferencialmente a tendência principal, e as variações encontradas referem-se as águas dos PçE. Já no período de estiagem, Out99, 60% das águas (35% de PçT e 25% de PçE) são classificadas como hipocloretada as demais (40%) são cloretada média, sendo 15% de PçT e 25% de PçE.

As águas foram avaliadas segundo seu conteúdo de sulfato (Custódio & Llamas, *op. cit.*) e verificou-se que a maioria das amostras (50%) coletadas em Mç99 são do tipo hiposulfatadas, seguidas pelo tipo sulfatada normal (35%) e sulfatada (15%). A predominância de água hiposulfatada (60%) acentua-se no período de Out99, e o restante das amostras encontram-se distribuídas em sulfatada normal (20%), sulfatada (15%) e até hipersulfatada (5%), sendo esta última verificada em PçE.

O índice de saturação de Langelier (Custódio & Llamas, *op. cit.* e Fenzl, 1988) mostra que as águas subterrâneas da área apresentam valores negativos, caracterizando-as como essencialmente corrosiva (Tabela 1). Este resultado é compatível com aqueles observados acerca das condições de dureza destas águas. São classificadas como brandas 80%, 15% pouco duras e

finalmente águas duras são 5%. Estas proporções não se alteram com a variação sazonal, e os PçE são mais susceptíveis a dureza elevada.

A Figura 24 apresenta o diagrama semi-logarítmico de Shöeller modificado (Custódio e Llamas, 1976), no qual foram plotadas as amostras de água subterrânea coletadas nos poços escavados e tubulares rasos, mostrando a concentração dos constituintes principais em unidades de meq/L. É possível se observar a tendência das concentrações absolutas, bem como a relação entre os constituintes, sendo que a característica predominante nestas águas é de $rNa > rCa > rMg$ e $rCl > rSO_4 > rHCO_3$.

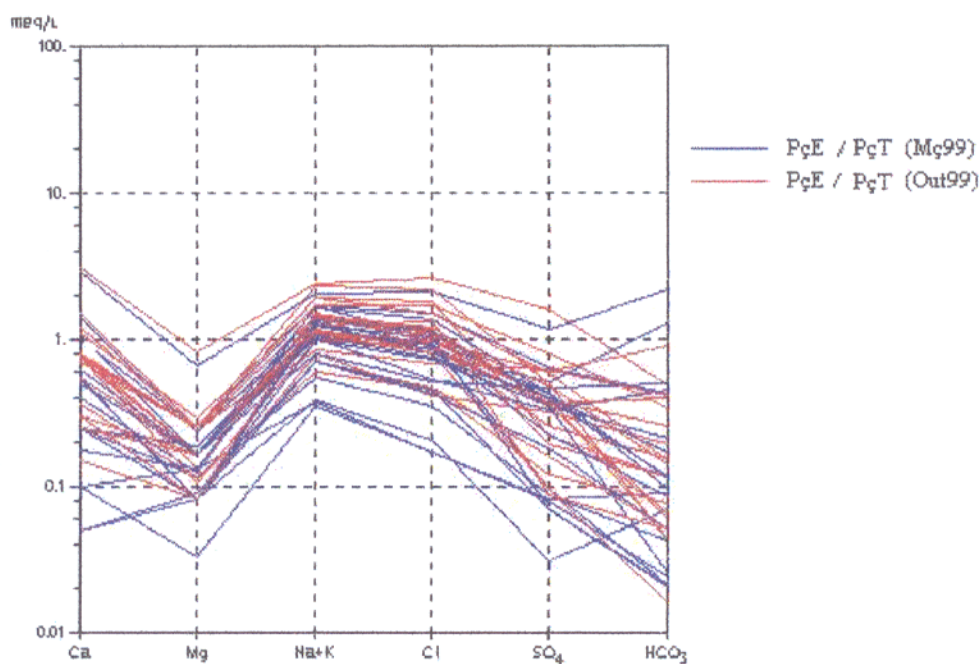


Figura 24 – Amostras de águas dos poços estudados plotadas no diagrama de Shöeller (Custódio e Llamas, 1976)

4.4 - RELAÇÕES IÔNICAS

A partir dos valores da Tabela 2 foram calculadas as relações rCl/rNa , $rCl/(rNa+rK)$, $rHCO_3/rCa$ e $rHCO_3/(rCa+rMg)$, as quais são apresentadas na Tabela 4. A relação entre os íons dissolvidos podem auxiliar na distinção entre os componentes de origem atmosférica e aqueles provenientes do intemperismo de minerais. No entanto, fatores como o pH das águas, clima, estrutura e composição dos minerais, formação de complexos químicos, troca iônica, adsorção, processos biológicos e todas as interações químicas possíveis de ocorrer no meio considerado, dificultam a compreensão dos resultados, visto que tais interações são atuantes e pouco conhecidas. A relação entre os íons é também usada com frequência na caracterização da cunha salina e na influência de aerossóis marinhos em aquífero freático.

Os teores são apresentados em meq/L e são melhor observados em diagramas com escala bilogártrica (Figuras 25 e 26), em função da maior predominância de valores <2 meq/L. A escala linear mostrou-se inadequada visto que a maioria dos pontos situavam-se próximos a origem dos diagramas, dificultando a visualização conjunta das amostras.

4.4.1 - Relações rCl/rNa e $rCl/(rNa+rK)$

A Figura 25A mostra que a maior parte das águas analisadas encontram-se muito próximo a reta $rNa = rCl$, indicando uma relação $rCl/rNa \cong 1$. Esse resultado independe do tipo de poço amostrado e não se observa qualquer tendência ou agrupamento em função do período sazonal de coleta. Uma relação semelhante foi obtida para águas de chuva com influência marinha nos estudos de Stallard⁸ e Stallard & Edmond⁹ *apud* Souza (1996). Relação similar foi obtida em águas de diversas fontes no nordeste paraense e em água de chuva da região da serra do Piriá, onde uma influência de aerossóis marinhos é bastante provável devido a proximidade com o mar (Souza, 1996). A concentração e a íntima relação entre estes dois elementos deve-se provavelmente a influência de sais cíclicos de origem marinha (Tancredi, 1996).

⁸ STALLARD, R.F. 1980 – *Major Element Geochemistry of the Amazon River System*. Ph. D. Thesis, M.I.T.; Woods Hole, 366p.

⁹ STALLARD, R.F. & EDMOND, J.M. 1981 – Chemistry of the Amazon. Precipitation chemistry and the marine to the dissolution load at the time of peak discharge. *Jour. Geophys. Res.*, 86 (C10): 9844-9858.

Tabela 4 – Relação iônica entre constituintes químicos (em meq/L) das águas de poços escavados (E1 a E10) e tubulares rasos (T1 a T10) coletadas nos dois períodos sazonais didstintos: período chuvoso (Mç99) e seco (Out99)

Amostras	rCl/rNa		rCl/(rNa + rK)		rHCO ₃ /rCa		rHCO ₃ /(rCa + rMg)	
	Mç99	Out99	Mç99	Out99	Mç99	Out99	Mç99	Out99
E1	0.96	0.91	0.85	0.83	0.08	0.39	0.05	0.25
E2	0.49	0.74	0.48	0.68	0.24	0.35	0.18	0.22
E3	0.76	1.00	0.65	0.95	0.17	0.17	0.11	0.12
E4	0.66	1.07	0.59	0.85	0.24	0.21	0.18	0.15
E5	1.15	1.30	1.02	1.13	0.76	0.15	0.62	0.12
E6	1.01	1.13	0.91	0.99	0.42	0.31	0.34	0.24
E7	0.72	0.77	0.63	0.67	0.92	0.61	0.78	0.53
E8	0.96	0.79	0.86	0.72	0.38	0.33	0.33	0.28
E9	1.01	0.92	0.85	0.78	0.20	0.19	0.16	0.15
E10	0.49	0.54	0.46	0.52	0.92	1.28	0.39	0.82
T1	0.70	0.80	0.65	0.73	0.42	0.06	0.15	0.04
T2	0.74	0.93	0.63	0.79	0.48	0.34	0.42	0.28
T3	0.58	0.82	0.51	0.73	0.82	0.53	0.63	0.43
T4	0.70	1.02	0.60	0.89	0.21	0.09	0.16	0.07
T5	0.81	0.97	0.75	0.86	0.05	0.06	0.04	0.05
T6	1.06	1.20	0.96	1.09	0.12	0.09	0.07	0.07
T7	0.84	0.92	0.72	0.80	0.27	0.18	0.22	0.14
T8	0.94	1.02	0.83	0.93	0.23	0.05	0.17	0.04
T9	0.75	0.95	0.68	0.85	0.28	0.20	0.22	0.16
T10	0.55	0.89	0.53	0.77	1.40	0.21	0.53	0.16

Águas com $rCl/rNa > 1$, ou seja, plotadas abaixo da linha $rNa = rCl$, são menos freqüentes, predominando aquelas acima da linha de isovalores, com o conteúdo de $rNa > rCl$. Isto pode ser resultado de possíveis fontes de Na nos sedimentos do Grupo Barreiras, tais como argilominerais do grupo da smectita, que se somariam ao aporte de Na oriundo dos aerossóis e/ou aporte marinho de qualquer natureza, fonte mais provável e significativa de Cl para estas águas.

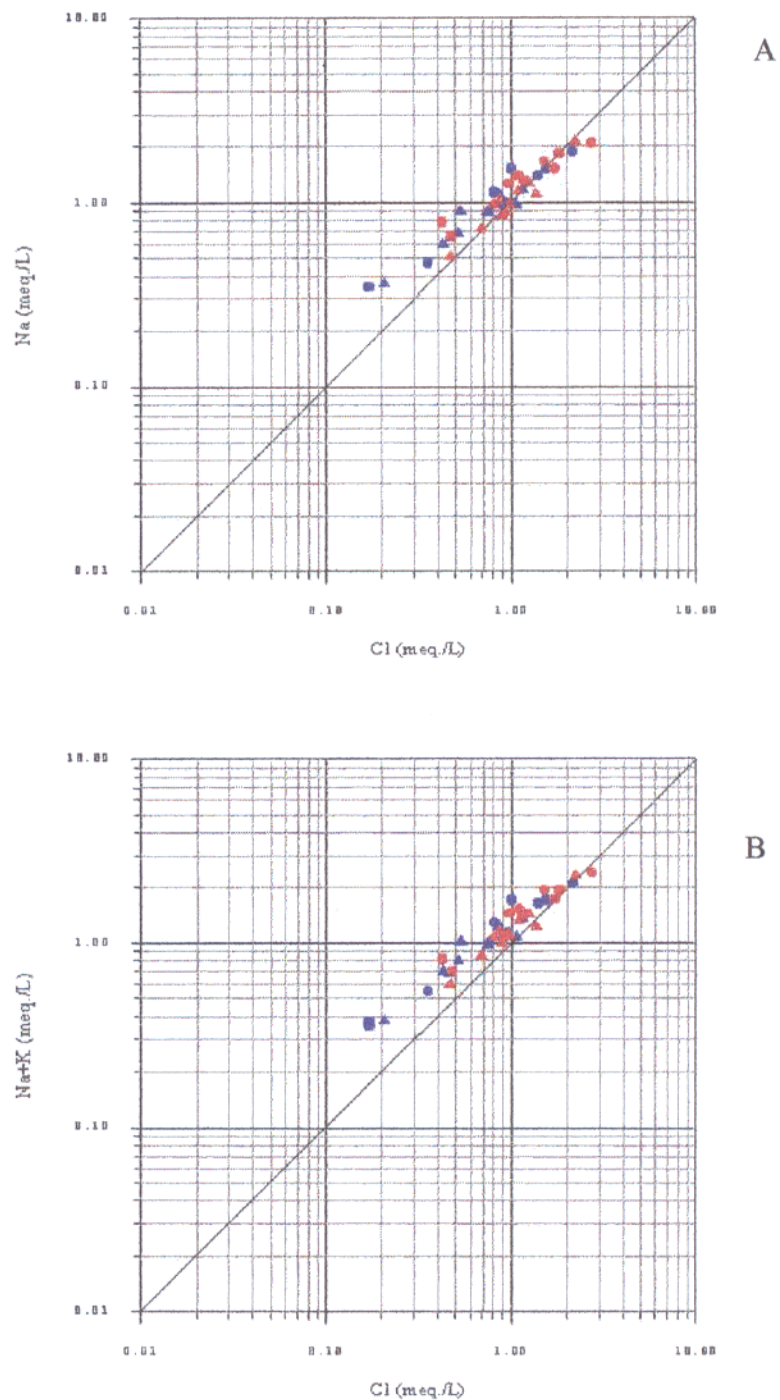


Figura 25 – Diagrama da razão iônica (A) rCl/rNa e (B) $rCl/(rNa+rK)$, para águas dos poços escavados e tubulares rasos, coletadas nos dois períodos sazonais distintos: período chuvoso (Mç99) e seco (Out99).

A Figura 25B (diagrama $rCl/(rNa+rK)$) não apresenta alteração nos resultados, mostrando-se muito similar ao diagrama rCl/rNa , o que deve-se ao baixo teor de K. Este elemento é comumente afetado por troca iônica e frequentemente adsorvido, de forma pouco reversível, por argilominerais e matéria orgânica do solo. Isto confirma o Na como o metal alcalino predominante nas águas estudadas, e encontra-se consonante com os resultados obtidos por Souza (1996).

4.4.2 - Relações $rHCO_3/(rCa+rMg)$ e $rHCO_3/rCa$

O diagrama $rHCO_3/(rCa+rMg)$ (Figura 26A) mostra que os pontos representativos das águas analisadas encontram-se essencialmente acima da linha de isovalor ($rHCO_3 = (rCa+rMg)$) e relativamente afastados desta. Valores próximo a 1 são pouco frequentes, e quando ocorrem são em amostras pobres em STD. No diagrama $rHCO_3/rCa$ (Figura 26B) a distribuição dos pontos segue a mesma disposição encontrada no diagrama da Figura 26A, indicando que a contribuição do íon Mg é pouco significativa.

Este resultado revela uma baixa correlação entre os íons Ca e (Ca+Mg) com HCO_3 , com predomínio significativo de Ca. Assim, é improvável que ocorra qualquer influência de aporte iônico proveniente da dissolução de material carbonático oriundo da subjacente Formação Pirabas. Águas com aporte de íons provenientes de áreas com domínio de rocha carbonática apresentariam boa correlação entre Ca e HCO_3 , e os pontos seriam plotados próximos a reta de isovalores (Souza, 1996; Stallard, 1980 e Stallard & Edmond, 1981 *apud* Souza, 1996)

Não são visíveis agrupamentos ou tendências em função do período de coleta ou do tipo de poço amostrado.

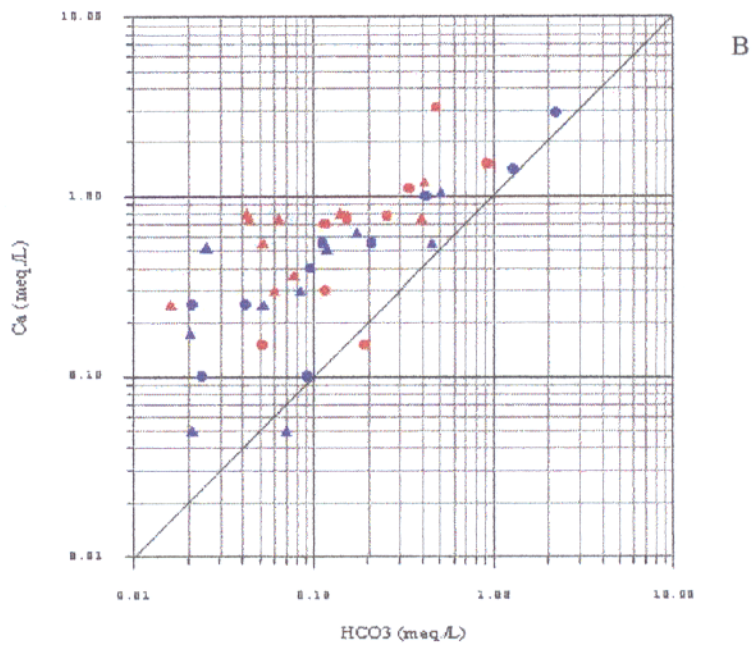
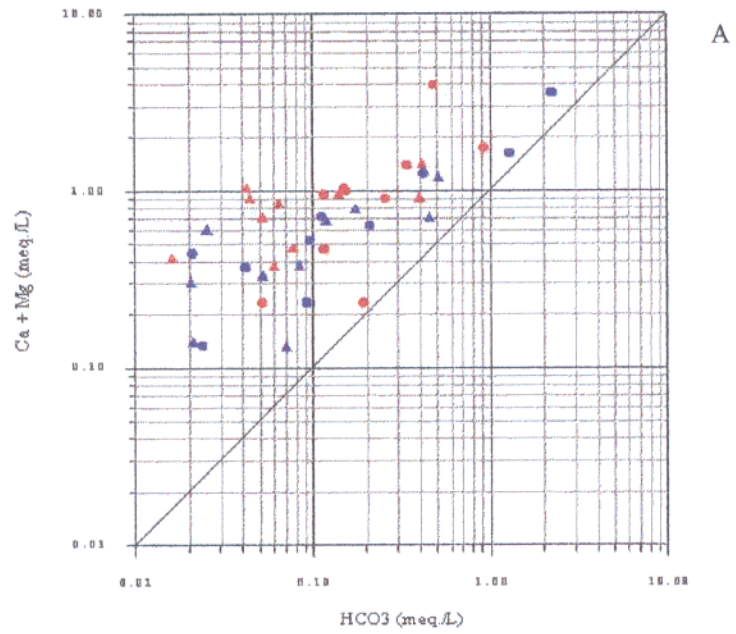


Figura 26 - Diagramas lineares A) $r\text{HCO}_3 \times r\text{Ca}+r\text{Mg}$ e B) $r\text{HCO}_3 \times r\text{Ca}$ para as águas subterrâneas dos poços de Bragança

4.5 - BACTERIOLOGIA

Sabe-se que a água é um dos veículos que mais contribuem para a disseminação das mais diversas doenças, sendo a responsável direta pela transmissão de agentes causadores de enfermidades como a cólera, poliomielite, hepatite infecciosa, desintéria bacilar, febre tifóide, amebíase e giardiase, entre outras gastroenterites adquiridas com a ingestão de águas contaminada (Battalha, 1994)

A água também serve como um meio propício a procriação e desenvolvimento de vários outros organismos, como insetos, que após o seu período de crescimento funcionam como transmissores de doenças como a malária, dengue, filariose e febre amarela, além daquelas desenvolvidas apenas pelo contato com a água contaminada como a escabiose, tracoma e esquistossomose.

Um grupo importante de organismos encontrado no trato intestinal dos animais de sangue quente é o coliforme fecal (sendo o seu representante mais freqüente e importante a *Escherichia coli*). Este tipo de bactéria se reproduz exclusivamente no intestino, não causa doenças, participa inclusive no processo digestivo e ainda possui coeficiente de mortalidade igual aos das bactérias patogênicas intestinais. Uma pessoa adulta expele diariamente entre 50 e 400 bilhões de bactérias coliforme, chegando a constituir a maior parte do volume fecal. Assim, a presença destes organismos na água é um bom indicador de que a mesma teve algum tipo de contato com excrementos e conseqüentemente está sujeita a possuir alguma bactéria patogênica (Battalha & Parlato, 1977).

Alguns membros do grupo coliforme podem ocorrer com certa abundância no solo. Eles compõe o grupo coliforme total e não indicam contato com material fecal, no entanto, podem indicar as precárias condições de higiene dos locais onde as águas de consumo foram expostas.

Nas águas analisadas foi constatada a presença de organismos coliformes fecais e totais (Tabela 3, Figura 27A e 27B).

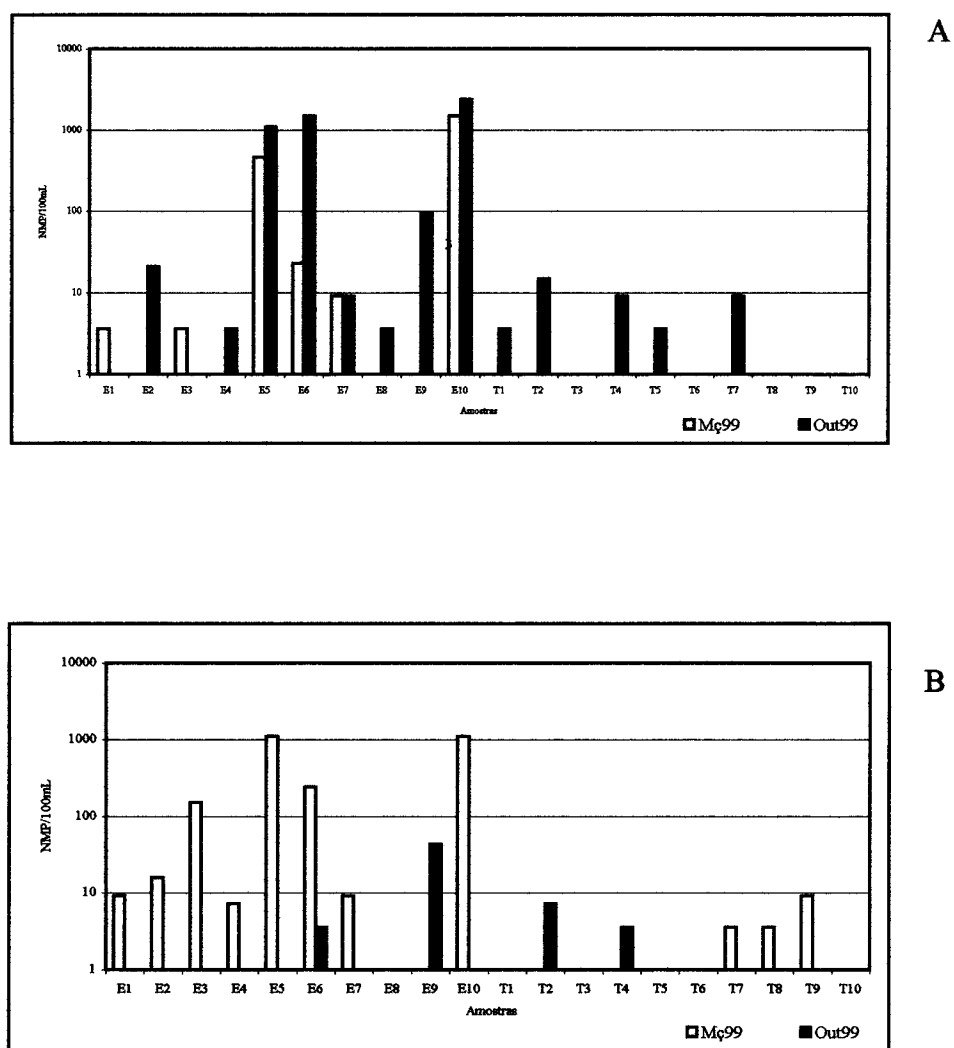


Figura 27 – Número mais provável (NMP) de coliformes fecais (A) e coliformes totais (B) por 100 mL da amostra das águas dos poços de Bragança.

A presença de coliformes fecais foi constatada em 35% das amostras coletadas em Mç99, sendo todas em águas de PçE. Nas amostras dos PçT estes organismos não foram detectados. A presença de coliformes totais também foi observada, notando-se que a maior ocorrência dá-se nos PçE (em 80% destes poços) e em 30% dos PçT.

Das amostras coletadas em Out99, 65% tinham a presença de organismos coliformes fecais, sendo 25% em PçT e 40% em PçE, com o NMP/100mL (número mais provável por 100 mL da amostra) maior neste último. Neste período 40% das amostras apresentaram coliformes totais, com 20% do total destes organismos nos PçE e PçT respectivamente.

Os PçT são melhor protegidos contra agentes bacteriológicos aéreos do que os PçE, razão pela qual as águas dos PçT apresentaram o NMP/100mL menor que aquelas dos PçE, independente do período sazonal.

Verificando a Tabela 3 nota-se que os valores mais elevados para coliforme fecal ocorrem nos poços E5, E6 e E10, sendo esses valores acentuados em Out99. Diante de tal fato considera-se que a maior incidência de organismos coliformes nos PçE, certamente deve-se às péssimas condições de higiene observadas, visto que a maioria encontra-se aberto e conseqüentemente sujeito aos vários tipos de contaminação aérea, sobretudo no período de maior estiagem, quando a diminuição e/ou ausência de precipitação pluviométrica, aliada a uma elevação relativa da temperatura média, favoreceria a concentração destes organismos, ocasionando a presença de um elevado número de microorganismos por 100mL da amostra.

Segundo a Portaria Nº 36 (Brasil, 1990) e a Resolução Nº 20 (CONAMA, 1986) a água para consumo humano deve ter ausência de bactérias dos grupos coliforme fecal e total em 100mL da amostra. Quando tem-se a presença destes organismos a água é considerada imprópria para o consumo humano. O que é verificado aqui em muitas das amostras coletadas, em especial nas águas dos PçE.

4.6 - VULNERABILIDADE NATURAL DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Com o intuito de estabelecer bases para o planejamento e ordenamento territorial urbano no que concerne a proteção do aquífero livre contra os inúmeros agentes poluentes, determinou-se a vulnerabilidade natural desse aquífero na área urbana da cidade de Bragança.

A caracterização da vulnerabilidade baseou-se na proposta de Foster & Hirata (1993), que engloba sucessivamente três fatores: (1) o tipo de ocorrência da água subterrânea (ou a condição do aquífero), (2) a característica dos estratos acima da zona saturada (em termos de grau de consolidação e tipo litológico) e (3) a profundidade do nível da água.

Os parâmetros (1) e (2) foram determinados através de perfilagem geofísica nos poços tubulares, utilizando-se o perfil de raios gama, que possibilita o cálculo numérico do teor de argila ou argilosidade dos estratos (Feitosa & Manoel Filho, 1997).

A Tabela 5 apresenta os parâmetros utilizados na determinação da vulnerabilidade natural do aquífero, assim como o índice e o grau de vulnerabilidade em cada ponto observado.

A Figura 28 mostra o esquema utilizado para a determinação do índice de vulnerabilidade, resultado do produto dos três parâmetros utilizados.

O mapa da Figura 29 indica que a região central da cidade (principalmente os bairros Cereja, Centro, Alegre, Morro e Riozinho) são mais susceptíveis a contaminação hídrica subterrânea em função da alta vulnerabilidade do aquífero freático, observada numa faixa que se estende de SE a NW. Isto deve-se, principalmente, devido a maior predominância de sedimentos terrígenos arenosos, constituinte predominante da estratigrafia rasa desta região.

Tabela 5 - Parâmetros utilizados na obtenção do índice de vulnerabilidade natural, que permitiu a confecção do mapa de vulnerabilidade do aquífero freático

Poço	Tipo de Ocorrência	Litologia da Zona Vadosa	Profundidade da Água (m)		Índice de Vulnerabilidade		Grau de Vulnerabilidade
			Mq99	Out99	Mq99	Out99	
E1	Não Confinado (Coberto)	Areno argiloso	1.40	3.00	0.36	0.35	Moderada
E2	Não Confinado (Coberto)	Areno argiloso	2.70	4.05	0.35	0.33	Moderada
E3	Não Confinado	Arenoso	5.65	6.30	0.68	0.67	Alta
E4	Não Confinado (Coberto)	Areno argiloso	2.45	3.10	0.29	0.29	Baixa
E5	Não Confinado	Arenoso	2.80	3.70	0.74	0.71	Extrema
E6	Não Confinado (Coberto)	Areno argiloso	0.25	0.35	0.39	0.39	Moderada
E7	Não Confinado	Arenoso	0.00	0.00	0.75	0.75	Extrema
E8	Não Confinado (Coberto)	Areno argiloso	7.80	9.00	0.36	0.30	Moderada
E9	Não Confinado (Coberto)	Argilo arenoso	0.00	0.50	0.36	0.36	Moderada
E10	Não Confinado	Arenoso	1.40	2.00	0.75	0.75	Extrema
T1	Não Confinado	Arenoso	8.63	9.35	0.63	0.62	Alta
T2	Não Confinado	Arenoso	13.48	13.60	0.58	0.58	Alta
T3	Não Confinado	Arenoso	8.44	9.58	0.63	0.62	Alta
T4	Não Confinado (Coberto)	Argilo arenoso	1.99	2.85	0.39	0.37	Moderada
T5	Não Confinado (Coberto)	Argilo arenoso	1.81	2.60	0.36	0.35	Moderada
T6	Não Confinado (Coberto)	Areno argiloso	12.88	13.75	0.30	0.30	Moderada
T7	Não Confinado	Arenoso	9.90	10.90	0.60	0.60	Alta
T8	Não Confinado (Coberto)	Areno argiloso	>15,00	>15,00	0.23	0.23	Baixa
T9	Não Confinado (Coberto)	Areno argiloso	3.00	3.45	0.40	0.40	Moderada
T10	Não Confinado (Coberto)	Areno argiloso	12.96	14.35	0.24	0.23	Baixa
NT1	Não Confinado (Coberto)	Areno argiloso	2.50	3.85	0.35	0.33	Moderada
NT2	Não Confinado	Arenoso	3.65	4.50	0.71	0.70	Extrema
NT3	Não Confinado (Coberto)	Areno argiloso	8.15	9.09	0.34	0.34	Moderada
NT4	Não Confinado (Coberto)	Argilo arenoso	2.85	3.60	0.29	0.28	Baixa
NE1	Não Confinado (Coberto)	Areno argiloso	7.85	8.70	0.36	0.33	Moderada
NE2	Não Confinado (Coberto)	Argilo arenoso	0.00	0.35	0.36	0.36	Moderada
NE3	Não Confinado	Arenoso	13.30	15.60	0.55	0.49	Alta
NE4	PF	PF	PF	PF	PF	PF	PF
NE5	Não Confinado (Coberto)	Argilo arenoso	1.44	2.70	0.30	0.30	Moderada

PF = Poço Fechado

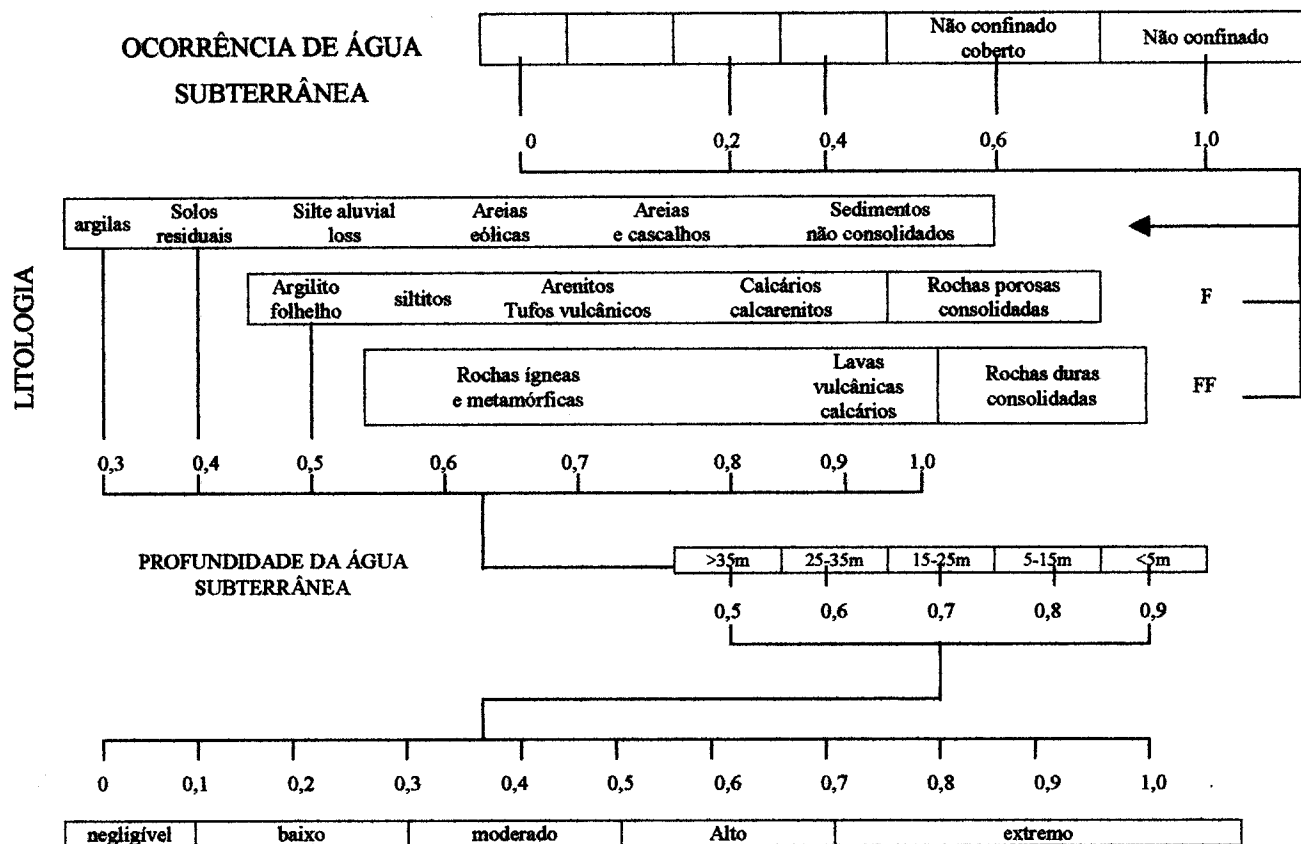


Figura 28 – Esquema de determinação e avaliação do índice de vulnerabilidade natural do aquífero (adaptado de Foster e Hirata, 1993)

A vulnerabilidade tende a diminuir nas partes periféricas da cidade, sobretudo nas porções NE e SW. Parte dos bairros Taíra, Vila Sinhá, Vila Nova, Samaumapara, Aldeia, Padre Luiz e Perpétuo Socorro, apresentam vulnerabilidade moderada e no extremo NE (parte dos bairros Perpétuo Socorro e Padre Luiz) a vulnerabilidade é baixa. Isto provavelmente deve-se a influência dos sedimentos pelíticos do Grupo Barreiras.

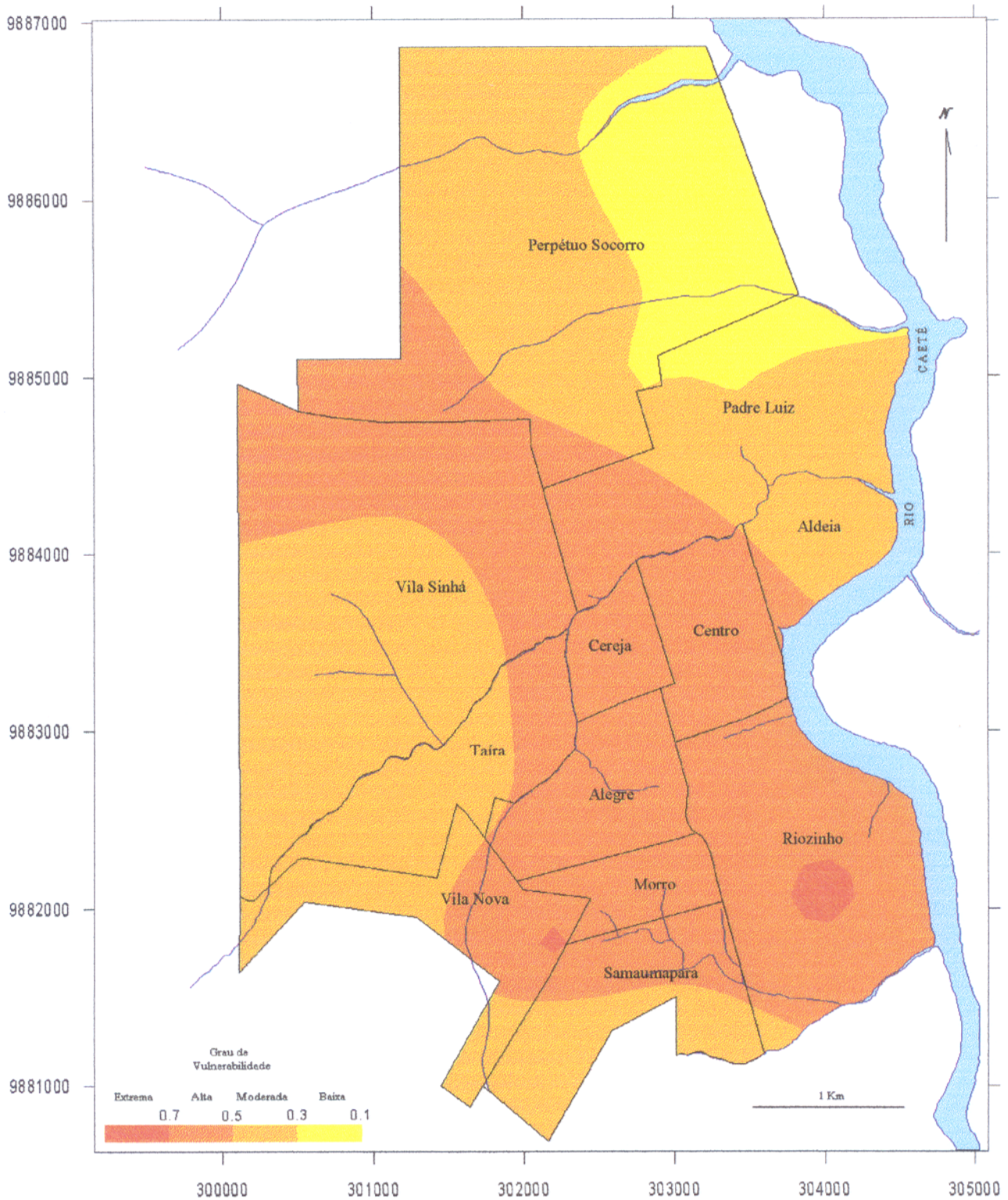


Figura 29 - Mapa de vulnerabilidade natural do aquífero freático da área urbana da cidade de Bragança, tomando como base cartográfica o mapa Projeto Primaz (Sousa, 1998).

No bairro Riozinho, verifica-se uma pequena área com vulnerabilidade extrema, que provavelmente se estende a oeste até o limite com o Morro. Esta área é arenosa e o aquífero freático aflora em alguns pontos (Figura 14), o que certamente contribuiu para o aumento do grau de vulnerabilidade.

A variação sazonal do nível estático não chegou a alterar o grau de vulnerabilidade, visto que o índice obtido, neste caso, é independente do período sazonal.

O mapa de vulnerabilidade obtido é limitado, devido a utilização de um esquema simplificado. De acordo com Foster & Hirata (1993), considera-se que um sistema de classificação e mapeamento da vulnerabilidade de aquíferos, como o apresentado, pode ser útil no âmbito de reconhecimento, uma vez que o mapa confeccionado através deste esquema deve ser interpretado com certa cautela, devido ao índice não se referir a contaminantes móveis e persistentes, que não sofrem retenção significativa ou transformação durante o transporte em subsuperfície.

4.7 – FLUXO DO AQUIFERO FREÁTICO

Utilizando-se uma metodologia simples (item 3.4) determinou-se o fluxo subterrâneo do aquífero freático da área urbana da cidade de Bragança.

A Tabela 6 apresenta o potencial hidráulico em cada poço estudado com base nos dados da Tabela 1 (cota altimétrica e profundidade do nível d'água dentro do poço) e a Figura 30 exhibe o mapa potenciométrico com as linhas de fluxo dentro da área urbana da cidade.

O mapa mostra a distribuição das linhas de fluxo (linhas de equipotencial hidráulico) e as setas indicam o sentido do fluxo subterrâneo. Nota-se que o fluxo dá-se das linhas de maior potencial para as de menor potencial hidráulico, atribuindo um escoamento subterrâneo freático de sudoeste (SW) para nordeste (NE), com o fluxo local alimentando as águas do rio Caeté.

O mapa de fluxo subterrâneo do aquífero freático tem expressiva importância no planejamento municipal. Subsidiaria a expansão urbana ordenada, no que concerne a localização e definição de áreas para construção civil, destinadas a atividades potencialmente perigosas ao sistema de fluidos subterrâneos).

Vale ressaltar que este mapa é uma primeira aproximação do sistema de fluxo nesta área, e que devido a falta de mapa planialtimétrico ou de curvas de nível nesta sede municipal, o valor

das cotas altimétricas foram obtidas através de nivelamento geométrico realizado com teodolito, portanto, passível de desvios nos resultados, visto que este não é o instrumento mais adequado para este tipo de nivelamento.

Uma melhor definição deste sistema de fluidos pode ser realizada com o adensamento dos pontos de coletas de dados e com a confecção de um mapa de curvas de nível detalhado, uma vez que a área estudada possui muita irregularidade topográfica, o que pode mascarar ou fornecer resultados pouco confiáveis nesta escala de trabalho.

Tabela 6 – Potencial hidráulico nos pontos (poços) estudados baseado nos parâmetros da Tabela 1 para os dois períodos sazonais Mç99 e Out99.

POÇOS	Potencial Hidráulico	
	Mç99	Out99
E1	3.79	2.19
E2	1.76	0.41
E3	10.94	10.29
E4	ND	ND
E5	14.57	13.67
E6	9.36	9.26
E7	6.31	6.31
E8	15.68	14.48
E9	1.94	1.44
E10	ND	ND
T1	7.54	6.82
T2	10.45	10.33
T3	10.11	8.97
T4	2.51	1.65
T5	2.57	1.78
T6	14.36	13.49
T7	9.54	8.54
T8	ND	ND
T9	5.44	4.99
T10	11.04	9.65
NT1	1.96	0.61
NT2	8.28	7.43
NT3	16.36	15.42
NT4	6.27	5.52
NE1	16.66	15.81
NE2	ND	ND
NE3	12.93	10.63
NE4	ND	ND
NE5	8	6.74

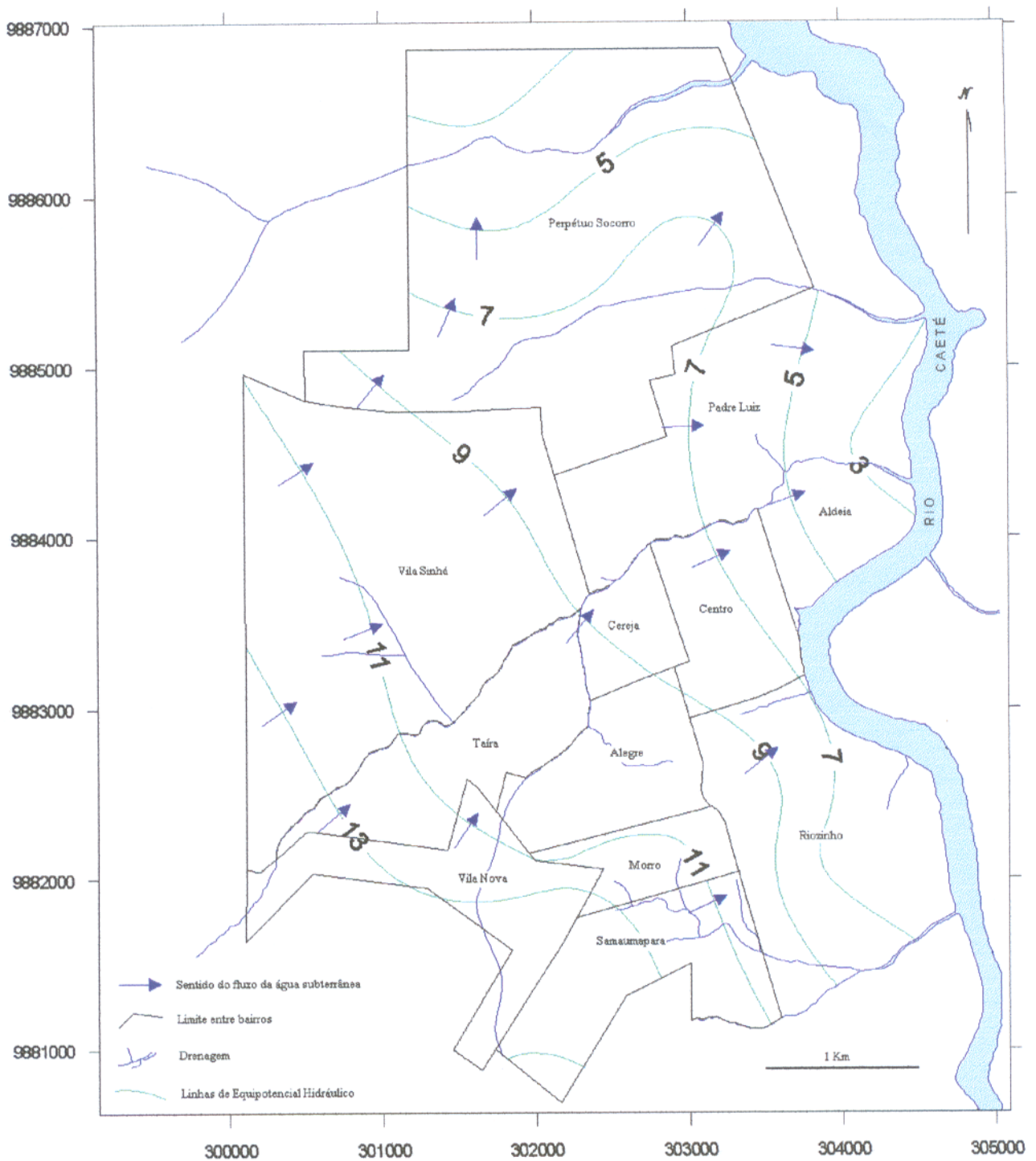


Figura 30 - Mapa de equipotencial hidráulico da área urbana da cidade de Bragança com as setas indicado o sentido do fluxo subterrâneo do aquífero freático, tomando com base cartográfica o mapa do Projeto Primaz (Souza, 1998)

5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aquífero freático da cidade de Bragança é formado por sedimentos siliciclásticos de idade terciária do Grupo Barreiras, constituídos pela alternância de sedimentos arenosos inconsolidados, areno-argilosos e sílticos.

As águas deste aquífero são captadas através de poços escavados ou Amazonas com diâmetros que variam de 0,75 m a 1,50 m. Eles atingem profundidades de 2 a 16 m e seu nível estático oscila de 0 a 15 m. Poços tubulares rasos são comuns na área urbana da cidade e, em geral, são revestidos por tubos de PVC com diâmetro de 4". Alcançam profundidades de 9 a 50m, possuem filtros serrilhados de 3 a 4m de comprimento e 1 mm de abertura. Segundo Souza (1998), são utilizadas unidades de bombeamento aparelhadas com bombas injetoras ou centrífugas que garantem vazões de 1 a 6 m³/h.

As águas são pobres em bases, tendo $\text{pH} \cong 5$. São classificadas como doces, devido ao baixo conteúdo de sais, com o valor médio dos sólidos totais dissolvidos igual a 269,8 mg/L no período seco (Out99). Este resultado certamente contribuiu para baixos valores de condutividade elétrica, que neste mesmo período apresentou média igual a 266,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Os valores de resíduo seco são correlacionáveis com a condutividade elétrica e STD, inclusive com o resultado numérico bastante próximo daqueles observados para estes parâmetros nos períodos sazonais de Mç99, de maior precipitação pluviométrica, e de Out99, período seco, o que reflete e ratifica a relação direta entre eles. Os baixos valores de alcalinidade encontrados, com a média próximo a 12 mg/L de CaCO_3 , são compatíveis com os baixos valores de pH dessas águas, e apresentam uma relação direta com os resultados igualmente baixos de HCO_3^- ($\cong 15$ mg/L de CaCO_3), provavelmente, resultado da dissociação do ácido carbônico (H_2CO_3) proveniente da dissolução do CO_2 .

O cátion mais abundante nestas águas é o sódio, com uma concentração média igual a 27,9 mg/L em Out99, seguida dos íons cálcio, com valor médio igual a 15,8 mg/L, e magnésio, com 2,54 mg/L neste mesmo período sazonal.

O cloreto é o ânion mais abundante com valor médio de 41 mg/L no período seco. Este ânion apresenta boa correlação linear com os resultados de sódio, $r_{\text{Cl}/r_{\text{Na}}} \cong 1$, indicando a influência de aerossóis marinhos ou aporte através de drenagens da área que sofrem influência dos movimentos de maré.

O conteúdo de sulfato é baixo, e mesmo no período seco a média dos valores encontrados não ultrapassa 17,5 mg/L, sendo que 50% das amostras são oligosulfatadas. Em 75% das análises realizadas não foi detectada a presença de fosfato. Em Out99 foram medidos teores abaixo de 0,02 mg/L em todas as amostras dos PçT. Já nos PçE, 50% das águas coletadas apresentaram teores entre 0,14 e 0,39 mg/L de fosfato. A presença deste composto nas águas de alguns poços amostrados pode ser atribuída a lixiviação de produtos de limpeza e higiene (sabão e detergente) utilizados nas proximidades dos poços, tratando-se, portanto, de uma anomalia pontual e de pequena magnitude.

De acordo com a dureza, com valores abaixo de 50 mg/L de CaCO_3 , as águas são brandas ou corrosivas em cerca de 80 % das amostras. São predominantemente do tipo cloretada-sódica, mais de 83%, ocorrendo ainda em menor proporção os tipos mistas, tanto para ânions como para cátions e a relação entre seus principais constituintes iônicos dissolvidos é $r\text{Na} > r\text{Ca} > r\text{Mg}$ e $r\text{Cl} > r\text{SO}_4 > r\text{HCO}_3$.

Estas águas são pobres em ferro, visto que no período seco os resultados para ferro total apresentaram concentrações inferiores a 0,01 mg/L, consequência provável da oxidação deste elemento nos níveis rasos e oxidantes do aquífero.

O nitrato foi o composto de nitrogênio mais abundante detectado nas águas do aquífero freático, atingindo até 26,8 mg/L de NO_3^- em amostra de poço escavado coletada em Out99, sugerindo indícios de futura contaminação por este composto, visto que em condições naturais sua concentração deve ser baixa. Esta contaminação deve ser proveniente dos efluentes de fossas negras e/ou sépticas instaladas às proximidades dos poços, muitas vezes à montante destes, o que facilita sua contaminação, aliada a alta mobilidade deste composto nas condições físico-químicas do aquífero freático em questão.

A presença de organismos do grupo coliforme fecal foi constatada em 35% das amostras coletadas em Mç99 e em 65% daquelas coletadas em Out99. Os PçE são mais vulneráveis a presença de bactérias do grupo coliforme, que não foram encontrados nas amostras de PçT coletadas no período chuvoso. A presença de coliforme total também foi observada, ocorrendo em 80% PçE e em 30% dos PçT. Estes são melhor protegidos contra agentes bacteriológicos aéreos, razão pela qual suas águas apresentaram o NMP/100mL menor que aquelas dos PçE com valores de até 1.100 NMP/100mL de coliformes fecais e 2.400 NMP/100mL de coliformes total.

Verificou-se que a sazonalidade possui pouca influência sobre a concentração dos constituintes principais das águas encontradas, havendo apenas aumentos pouco significativos no período seco (Out99).

O tipo de poço amostrado e principalmente as condições de higiene a que está submetido podem propiciar valores anômalos nos resultados de alguns compostos. Isso é mais freqüente nos poços escavados, cuja precariedade de higiene (ausência de cobertura e revestimento, proximidade a lavabos, banheiros e latrinas) e/ou estrutura inadequada na área ao seu redor facilitam aportes superficiais de efluentes provenientes de chuvas e/ou enxurradas, ou mesmo contaminação aérea de diversos tipos, inclusive de patógenos fecais.

As águas do aquífero freático da zona urbana de Bragança possuem boa qualidade química e físico-química, estando todos compostos e parâmetros aqui analisados dentro dos limites estabelecidos pela legislação vigente referente à potabilidade, com exceção dos valores de pH, que ficaram abaixo do intervalo ideal, segundo a Portaria Nº 36 (Brasil, 1990), de 6,5 a 8,5. Quanto aos parâmetros bacteriológicos, muitos poços apresentaram-se inadequados ao consumo, uma vez que o conteúdo de bactérias do grupo coliforme fecal é superior aos padrões exigidos por lei.

A região central da área urbana da cidade de Bragança, principalmente os bairros Cereja, Centro, Alegre, Morro e Riozinho, é mais susceptível a contaminação hídrica subterrânea em função da alta vulnerabilidade do aquífero freático, devido a maior predominância de sedimentos terrígenos arenosos, constituintes predominantes da estratigrafia rasa desta região, e a baixa profundidade do nível d'água. A vulnerabilidade tende a diminuir nas zonas periféricas da cidade e em partes dos bairros Taíra, Vila Sinhá, Vila Nova, Samaumapara, Aldeia, Padre Luiz e Perpétuo Socorro, que apresentam vulnerabilidade moderada. No extremo NE da cidade, parte dos bairros Perpétuo Socorro e Padre Luiz, a vulnerabilidade é baixa.

Como uma primeira aproximação do sistema de fluxo subterrâneo freático da área, tem-se um escoamento direcionado no sentido sudoeste (SW) para nordeste (NE), com o fluxo local alimentando as águas do rio Caeté.

A vulnerabilidade natural e o fluxo subterrâneo do aquífero freático tem expressiva importância no planejamento municipal e subsidia a expansão urbana ordenada, no que concerne à localização e à definição de áreas para construção civil, destinadas a atividades potencialmente perigosas ao sistema de fluidos subterrâneos.

Em alguns locais, como em parte dos bairros Riozinho, Aldeia e Vila Sinhá as águas do aquífero freático afloram à superfície do terreno. São geralmente zonas ciliares de inundações freqüentes e, portanto, áreas extremamente vulneráveis a contaminações de origem antropogênica. Estas áreas não são adequadas à ocupação urbana e deveriam ser catalogadas em mapas e transformadas em pequenos núcleos ou áreas de proteção ambiental urbana, para se evitar o desenvolvimento de atividades industriais que envolvem risco de contaminação.

São visíveis os problemas gerados pela falta de uma rede de abastecimento de água eficiente e expansivo a toda a comunidade urbana dos bairros centrais e periféricos desta sede municipal. Com o intuito de mitigar este problema, Souza (1998) sugeriu a construção de poços tubulares com 120 m de profundidade, diâmetro de 8 polegadas e vazão de exploração estimada em 80 m³/h, sendo a alternativa mais segura e economicamente viável para solucionar o problema de abastecimento de água da cidade. No bairro do Cereja há pelo menos três poços profundos, sendo que dois encontram-se abandonados, talvez servindo de conduto de contaminantes superficiais a níveis aquíferos mais profundos, e um encontra-se aberto e jorrante, servindo à comunidade de forma improvisada.

A utilização racional dos recursos hídricos existentes na região em estudo mitigaria a demanda comunitária local e contribuiria para evitar o desperdício de um dos recursos naturais mais prospectados no mundo atualmente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, H.G. 1998 – *Mapa geológico do município de Bragança*. Belém: CPRM/PRIMAZ. Escala 1:100.000.
- ALMEIDA, H.G. & SILVA, G.B.C. 1998 – *Sócio economia do município de Bragança*. Belém: CPRM/PRIMAZ. 95p.
- APHA/AWWA/WPCF 1975 - *Standard Methods (for examination of water and wastewater)*. 14th Edition. Washington, D.C. American Public Health Association. 1.193p.
- ARANHA, L.G.F.; LIMA, H.P.; SOUZA, J.M.P.; MARINHO, R.K. 1990 - Origem e evolução das bacias de Bragança-Vizeu, São Luís e Ilha Nova. In: RAJA GABAGLIA, G.P. & MILANI, E.J. *Origem e Evolução das Bacias Sedimentares*. Rio de Janeiro, PETROBRÁS. p. 221-233.
- BARBOSA, G.V. & PINTO, M.N. 1973 – Geomorfologia. IN: BRASIL Projeto RADAM. *Folha SA-23 São Luiz e Parte da Folha SA-24 Fortaleza*. Rio de Janeiro. Capítulo 1, p. 3-37 (Levantamento dos Recursos Naturais, 3)
- BATTALHA, B.L. & PARLATORE, A.C. 1977 – *Controle da Qualidade da Água para Consumo Humano, bases conceituais e operacionais*. São Paulo: CETESB. 198p.
- BATTALHA, B.L. (1994) – *Água, Saúde e Desinfecção*. Ben-Hur Luttenbarck e Tereza Castro Rocha da Costa. São Paulo: CETESB. 59p. (Série Manuais/Secretaria do Meio Ambiente).
- BOUCHARD, D.C.; WILLIAMS, M.K.; SURAMPALLI, R.Y. 1992 – Nitrate Contamination of Groundwater: Sources and Potential Health Effects. *Journal American Work Water association*. 9: 85-90.
- BRAZ, V.M.N. 1985 – *Estudo da qualidade da água de abastecimento da zona urbana de Belém (PA), aplicação à problemática existente no bairro do Jurunas*. Belém. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 167p Tese (Mestrado em Geoquímica).
- CETESB 1977 – *Guia Técnico de Coleta de Amostras de Águas*. Coordenadores: Souza, H.B. & Derísio, J.C. São Paulo. 257p.
- CETESB 1978 – Normalização Técnica NT-07. *Análise Físico-Química de Águas*. São Paulo: CETESB.
- CONAMA 1986 – Resolução Nº 20, de 18 de junho de 1986. *Diário Oficial da União*, 30 de julho de 1990.

- COSTA, J.L.; ARAÚJO, A.A.F.; VILLAS BOAS, J.M.; FARIAS, C.A.S.; SILVA NETO, C.S.; WANDERLEY, V.J.R. 1977 – *Projeto Gurupi*. Belém, DNPM/CPRM. v.1, 258p.
- CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M.R. 1976 – *Hidrologia Subterrânea*. Barcelona: Ed. Omega, v.2
- FEITOSA, F.A.C. & MANOEL FILHO, J. 1997 – *Hidrogeologia: Conceitos e aplicações*. Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE. 412p.
- FENZL, N. 1988 – *Introdução a Hidrogeoquímica*. Belém, UFPA. 189p.
- FERREIRA, C.S 1967 – Contribuição à paleontologia do Estado do Pará. O gênero *Orthaulax Gabb*, 1872 na Formação Pirabas (Molusca Gastrópoda). In: SIMPÓSIO SOBRE A BIOTA AMAZÔNICA, Rio de Janeiro. *Anais*. V. 1, p. 169-185.
- FOSTER, S. & HIRATA, R. 1993 – *Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas, um método baseado em dados existentes*. São Paulo, Ed. Instituto Geológico (Bol., 10). 93p.
- FRANZINELLI, E. 1982 – Contribuição a geologia da costa do estado do Pará (entre as baías de Curuçá e Maiaú). In: SIMPÓSIO QUAT. BRAS, 4. Manaus. 1982. *Atas*. p. 305-322.
- GÓES, A.M. & TRUCKENBRODT, W. 1980 – Caracterização faciológica e interpretação ambiental dos Sedimentos Barreiras na Região Bragantina, Nordeste do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31. Camboriú. *Anais...* SBG. V. 2, p. 766-771.
- GÓES, A.M., ROSSETTI, D.F.; NOGUEIRA, A.C.R.; TOLEDO, P.M. 1990 – Modelo deposicional preliminar para Formação Pirabas. Nordeste do Pará. *Bol. Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências da Terra*, V.2, 15p.
- GUIA DE PRAIAS/97 1997 – *Revista 4 Rodas*. Ed. Abril. 225p.
- HEM, J.D. 1970 – *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water*. 2º Ed. United State Government Printing Office, Washington: 363p.
- IDESP 1973 – *Plano de Desenvolvimento Integrado das Microregiões Homogêneas Guajarina, Salgado e Bragantina*. IDESP, Belém. Vol. I-IV. 1973.
- IGREJA, H.L.S. 1991 – *Aspectos tectono-sedimentares do Fanerozóico do nordeste do Pará e noroeste do Maranhão, Brasil*. Belém. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 191p. Tese (Doutorado em Geologia).

- IGREJA, H.L.S.; BORGES, M.S.; ALVES, R.J.; COSTA Jr., P.S. da; COSTA, J.B.S. 1988 – Estudos neotectônicos nas ilhas de Outeiro e Mosqueiro - Nordeste do Pará. IN: CONG. BRAS. GEOL. 35, Belém. *Anais. SBG.* V. 6, p 2110-2123.
- LIMA, R.R. & TOURINHO, M.M. 1995 – *Várzeas do Nordeste Paraense e Pré-Amazônia Maranhense: Características e Possibilidades Agropecuárias*. Belém. FCAP. Serviço de Documentação e Informação, 1995. 80p.
- MARTORANO, L.G.; PEREIRA, L.C.; CÉZAR, E.G.M.; PEREIRA, I.C.B. 1993 – *Estudos Climático do Estado do Pará, Classificação Climática (KÖPPEN) e Deficiência Hídrica (THORNTHWHITE, MATHER)*. Belém, SUDAM/EMBRAPA, SNLCS. 53p.
- BRASIL 1990 – Gabinete do Ministro - Portaria Nº 36, de 19 de janeiro de 1990. *Diário Oficial da União*, 23 de Janeiro de 1990.
- MONTEIRO, W. 1998 - Bragança 200 anos de Marujada. *Revista Ver-o-Pará*, 11: 58p.
- PIUCCI, J. & FENZL, N. 1981 – Ocorrência, consequência e remoção do ferro nas águas subterrâneas. *Revista Águas Subterrâneas*. P. 29-40.
- QUARESMA, J.B. 1998 - *Estudo e proposta para tratamento de resíduos sólidos*. Belém: CPRM/PRIMAZ, 1998. 39p.
- REBOÇAS, A. C. 2000 – Água Subterrânea: Abastecimento Seguro. *Abas Informa*. 103: 3
- ROSSETTI, D.F.; TRUCKENBRODT, W; GÓES, A.M. 1989 – Estudo Paleoambiental e Estratigráfico dos Sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na Região Bragantina, Nordeste do Pará. *Bol. Mus. Para. Emilio Goeldi. Série Ciências da Terra*. 1: 74.
- SERRA, V.H. & TANCREDI, A.C.F.M.S 1982 – Hidrogeologia de Bragança. IN: SIMP. GEOL. AMAZ. 1, Belém. *Anais. SBG.* V. 2, p. 333-338
- SOUZA, A.M.M. 1998 – *Diagnóstico dos recursos hídricos da cidade de Bragança*. Belém: CPRM/PRIMAZ, 1998. 31p.
- SOUZA, E.L. 1996 – *Fatores controladores do quimismo de águas subterrâneas da região nordeste do Pará*. Belém. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 189p. Tese (Doutorado em Geoquímica).
- SOUZA FILHO, P.W.M. 1995 – *A Planície Costeira Bragantina (NE do Pará): Influência das variações do nível do mar na morfoestratigrafia costeira durante o Holoceno*. Belém. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 123p. Tese (Mestrado em Geologia).

TANCREDI, A.C.F.N.S (1996) – *Recursos hídricos subterrâneos da região de Santarém. Fundamentos para uso e proteção*. Belém. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 141p. Tese (Doutorado em Hidrogeologia).