



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

VULNERABILIDADE E RISCO À POLUIÇÃO DO  
SISTEMA AQUÍFERO MÉDIO – ENTRE CRATO E  
MISSÃO VELHA, BACIA DO ARARIPE, CEARÁ

**Nirlando de Oliveira Viana**

**Orientador: Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante**

Fortaleza, Agosto de 2007



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

# VULNERABILIDADE E RISCO À POLUIÇÃO DO SISTEMA AQUÍFERO MÉDIO – ENTRE CRATO E MISSÃO VELHA, BACIA DO ARARIPE, CEARÁ

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Geologia.  
Área de Concentração em Hidrogeologia.

**Nirlando de Oliveira Viana**

**Orientador: Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante**

Fortaleza, Agosto de 2007

Esta Dissertação representa um dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Geologia do Departamento de Geologia/UFC, área de concentração em Hidrogeologia. A mesma encontra-se a disposição dos interessados na Coordenação do Curso de Pós-Graduação.

A citação de qualquer trecho deste relatório é permitida desde que se faça de acordo com as normas da ética científica.

Dissertação defendida e aprovada em 23 de Agosto de 2007.

**BANCA EXAMINADORA:**

Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante  
Departamento de Geologia / CC / UFC

Prof. Dr<sup>a</sup>. Maria Marlúcia Freitas Santiago  
Departamento de Física / CC / UFC

Prof. Dr. Francisco de Assis Matos de Abreu  
Departamento de Geologia / CC / UFPA

**MESTRANDO:**

Nirlando de Oliveira Viana

*“Nunca desista antes de tentar. Siga em frente. Não olhe para trás, senão para recolher as lições que o passado tem para lhe dar, como estímulos para o seu futuro. Se cair, levante-se. Se atrasar, não desanime. Se os outros vão à sua frente, siga-os. Mas, vá sempre caminhando em direção aos horizontes do bem e da verdade. Vá com as forças que Deus lhe deu, mais depressa ou mais vagarosamente, porém, vá sempre em frente, certo que seu destino não é chegar já, mas, é chegar bem ao endereço da sua felicidade.”*

J. S. Nobre.

### DEDICATÓRIA

A Deus, pelo dom da vida  
À minha esposa Fernanda e filho Augusto  
Aos meus pais, José Nirvando e Maria Madalena  
Às minhas irmãs Nirlena e Nirlanda.



## ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE FOTOS

LISTA DE QUADROS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE SIGLAS

RESUMO

ABSTRACT

## ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1.	LOCALIZAÇÃO E ACESSO	2
1.2.	OBJETIVOS	4
1.3.	ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS	4
2.	REVISÃO DA LITERATURA TÉCNICA	7
3.	METODOLOGIA DE TRABALHO	12
3.1.	ARQUIVO DE DADOS DE POÇOS TUBULARES	12
3.2.	CONFEÇÃO DE MAPAS PRELIMINARES	13
3.3.	ETAPAS DE CAMPO	13
3.4.	TRATAMENTO E INTEGRAÇÃO DOS DADOS	14
3.4.1.	Elaboração de Mapas Diversos	14
3.4.1.1.	<i>Mapa dos Sistemas Aquíferos</i>	14
3.4.1.2.	<i>Mapa de Nível Estático</i>	14
3.4.1.3.	<i>Mapa da Superfície Potenciométrica</i>	15
3.4.1.4.	<i>Mapa de Vulnerabilidade Natural</i>	15
4.	ASPECTOS GEOAMBIENTAIS	17
4.1.	ASPECTOS CLIMÁTICOS	17
4.2.	GEOMORFOLOGIA	23
4.3.	SOLOS	24
4.4.	VEGETAÇÃO	26
4.5.	RECURSOS HÍDRICOS	28
4.5.1.	Águas Subterrâneas	28
4.5.2.	Águas Superficiais	30
5.	GEOLOGIA	31
5.1.	ESTRATIGRAFIA DE SEQÜÊNCIA	31
5.2.	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	33
5.2.1.	Embasamento Cristalino	33
5.2.2.	Formação Mauriti	34
5.2.3.	Grupo Vale do Cariri	34
5.2.3.1.	<i>Formação Brejo Santo</i>	34
5.2.3.2.	<i>Formação Missão Velha</i>	35
5.2.3.3.	<i>Formação Abaiara</i>	35
5.2.4.	Grupo Araripe	36
5.2.4.1.	<i>Formação Rio da Batateira</i>	36
5.2.4.2.	<i>Formação Santana</i>	36

5.2.4.3. <i>Formação Arajara</i>	37
5.2.4.4. <i>Formação Exu</i>	38
5.2.5. Depósitos Cenozóicos - Terciário/Quaternário	38
5.3. ARCABOUÇO ESTRUTURAL	40
6. HIDROGEOLOGIA	42
6.1. ALUVIÕES E COBERTURAS TÉRCIO-QUATERNÁRIAS	47
6.2. SISTEMA AQÜÍFERO SUPERIOR	48
6.3. AQUICLUDES BREJO SANTOS E SANTANA	50
6.4. SISTEMA AQÜÍFERO INFERIOR	50
6.5. SISTEMA AQÜÍFERO MÉDIO	51
6.5.1. Situação de Exploração das Águas Subterrâneas do Sistema Aquífero Médio.	55
6.5.2. Distribuição Temporal da Perfuração dos Poços Tubulares.	57
7. FONTES POTENCIAIS DE POLUIÇÃO	58
7.1. FONTES DE POLUIÇÃO	59
7.1.1. Fontes Pontuais de Poluição	59
7.1.1.1. <i>Indústrias</i>	59
7.1.1.2. <i>Atividade Doméstica</i>	60
7.1.1.3. <i>Mineração</i>	61
7.1.1.4. <i>Postos de Combustíveis</i>	63
7.1.1.5. <i>Lixões</i>	66
7.1.1.6. <i>Lagoas de Estabilização</i>	70
7.1.1.7. <i>Cemitérios</i>	71
7.1.1.8. <i>Construção de Poços Tubulares</i>	73
7.1.1.9. <i>Galvanoplastia</i>	75
7.1.2. Fontes Lineares de Poluição	77
7.1.2.1. <i>Águas Superficiais Poluídas</i>	77
7.1.2.2. <i>Acidentes em Rodovias</i>	79
7.1.3. Fontes Difusas de Poluição	79
7.1.3.1. <i>Saneamento Básico</i>	80
7.1.3.2. <i>Atividades Agrícolas</i>	81
8. VULNERABILIDADE NATURAL À POLUIÇÃO	83
8.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA VULNERABILIDADE NATURAL DOS AQÜÍFEROS NA ÁREA ESTUDADA	85
8.1.1. Classes da Vulnerabilidade Natural	87
8.2. O SISTEMA AQÜÍFERO MÉDIO	90
8.2.1. Mapa da Distribuição dos Poços com Perfis Litológicos	90
8.2.2. Mapa do Nível Estático	92
8.2.3. Mapa da Superfície Potenciométrica	95
8.2.4. Vulnerabilidade Natural do Sistema Aquífero Médio	97
9. RISCO DE CONTAMINAÇÃO DO SISTEMA AQÜÍFERO MÉDIO	103
9.1. OCUPAÇÃO POPULACIONAL URBANA	103
9.2. INDÚSTRIAS	103
9.3. MINERAÇÃO	104

9.4. POSTOS DE COMBUSTÍVEIS	104
9.5. LIXÕES	104
9.6. SANEAMENTO BÁSICO	105
9.7. POÇOS TUBULARES	105
9.8. AGRICULTURA	105
9.9. MAPA DE CARGAS POLUÍDORAS	106
10. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	108
11. BIBLIOGRAFIA	113
ANEXO	
01- Arquivo de Dados de Poços Tubulares	

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	- Localização da área de estudo, Vale do Cariri, Ceará – Brasil.	3
Figura 4.1	- Precipitações pluviométricas por estações situadas dentro da área de estudo.	18
Figura 4.2	- Aspectos das isoietas médias anuais (mm/ano) na área do Sistema Aquífero Médio, área de estudo.	19
Figura 4.3	- Hietograma de precipitações médias mensais (mm), no período de 1974 a 2006, na área de estudo.	20
Figura 4.4	- Variação mensal da temperatura, em Barbalha.	21
Figura 4.5	- Variação da evaporação média mensal, em Barbalha.	21
Figura 4.6	- Variação média da umidade relativa do ar, em Barbalha.	22
Figura 4.7	- Variação média da insolação, em Barbalha.	22
Figura 4.8	- Unidades geomorfológicas da área de estudo.	24
Figura 4.9	- Mapa de solos na área de estudo.	26
Figura 4.10	- Cobertura vegetal na área de estudo	28
Figura 5.1	- Geologia da área de estudo.	39
Figura 5.2	- Arcabouço estrutural da Sub-Bacia do Cariri - Bacia do Araripe – Ceará.	41
Figura 6.1	- Sistemas Hidrogeológicos e distribuição espacial dos poços tubulares na área de estudo.	43
Figura 6.2	- Distribuição dos poços tubulares por município na área de estudo.	53
Figura 6.3	- Profundidade dos poços tubulares no Sistema Aquífero Médio, área de estudo, de acordo com a classificação da SRH/CE.	54
Figura 6.4	- Níveis estático e dinâmico dos poços tubulares do Sistema Aquífero Médio, área de estudo.	55
Figura 6.5	- Situação dos poços tubulares no Sistema Aquífero Médio, na área de estudo.	56
Figura 6.6	- Evolução temporal da construção dos poços no Sistema Aquífero Médio na área de estudo.	57
Figura 7.1	- Relação entre população urbana e produção de resíduos sólidos por dia nos municípios, na área de estudo.	69
Figura 8.1	- Sistema de avaliação do índice de vulnerabilidade natural do aquífero.	86
Figura 8.2	- Vulnerabilidade natural do Sistema Aquífero Médio e aquíferos subjacentes.	89
Figura 8.3	- Distribuição dos poços com perfil construtivo e litológico no Sistema Aquífero Médio na área de estudo.	91
Figura 8.4	- Porcentagem dos poços tubulares correlacionando-se a nota adotada para o nível estático.	93
Figura 8.5	- Variação do nível estático (m) no Sistema Aquífero Médio na área de estudo.	94
Figura 8.6	- Superfície potenciométrica na área do Sistema Aquífero Médio.	96
Figura 8.7	- Variação dos índices de vulnerabilidade natural no Sistema Aquífero Médio, na área de estudo.	100
Figura 8.8	- Índices de Vulnerabilidade do Sistema Aquífero Médio.	101
Figura 9.1	- Classificação das cargas potenciais de poluição na área de estudo, Vale do Cariri, Ceará - Brasil.	107

### LISTA DE FOTOS

Foto 1.1	Fonte João Coelho, no Caldas em Barbalha. 461609W / 9184402S (03/05/2007).	6
Foto 6.1	Poço amazonas no município de Barbalha. 468760W / 9195274S. (03/05/2007).	48
Foto 7.1	Afloramento da Formação Rio da Batateira, nível de argila, exploração de argila para fabricação de cerâmica vermelha, Barbalha – CE. 454103W / 9203124S. (03/05/2007).	62
Foto 7.2	Separador de água/óleo utilizado em posto de combustível com área de lavagem de carros. 464027W / 9201612S. (03/05/2007).	66
Foto 7.3	Rejeito do lava-jato lançado na rua e escoando para as “elevadas”. 464027W / 9201612S. (03/05/2007).	66
Foto 7.4	Aspecto geral do lixão no município de Crato. 455355W / 9206304S. (03/05/2007).	67
Foto 7.5	Aspecto geral do lixão no município de Juazeiro do Norte. 465734W / 9209168S. (04/05/2007).	68
Foto 7.6	Lagoa de estabilização da estação de tratamento de efluentes de Barbalha, por trás passa o rio Salamanca. 468354W / 9193422S. (03/05/07).	71
Foto 7.7	Cemitério de Barbalha em área de recarga do aquífero Rio da Batateira. 466171W / 9191762S. (03/05/2007).	72
Foto 7.8	Poço PT-03 da CAGECE na margem esquerda do rio dos Macacos poluído com esgoto doméstico. 466512W / 9201622S. (03/05/2007).	74
Foto 7.9	Detalhe do lançamento de efluentes domésticos no rio Batateira em Crato. 453614W / 9201444S. (03/05/2007).	78
Foto 7.10	Aspectos da poluição de efluentes domésticos no riacho dos Macacos. 466512W / 9201622S. (03/05/2007).	78
Foto 7.11	Cultivo de cana de açúcar no município de Barbalha. 467050W / 9192910S. (04/05/2007).	82
Foto 7.12	Usina Manuel Costa Filho, município de Barbalha. 471610W / 9192710S. (04/05/2007).	82
Foto 8.1	Exemplificação da tomada do nível estático. (10/12/2005).	92

### LISTA DE QUADROS

Quadro 5.1	Seqüência tectono sedimentar, cronoestratigrafia, litoestratigrafia e descrição litológica da Bacia do Araripe, Ceará.	32
Quadro 6.1	Parâmetros dimensionais dos sedimentos nos compartimentos estruturais na Sub-Bacia do Cariri.	45
Quadro 6.2	Características hidrogeológicas na Bacia do Araripe.	46

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1	- Estações pluviométricas situadas nos municípios de Crato, Juazeiro do Norte, Barbalha e Missão Velha – Ceará.	18
Tabela 6.1	- Principais parâmetros dos poços associados ao sistema hidrogeológico, na área de estudo.	54
Tabela 6.2	- Situação dos poços cadastrados na área de estudo.	56
Tabela 7.1	- Empresas industriais ativas, por municípios, na área de estudo – 2004-2005.	60
Tabela 7.2	- Processos junto ao DNPM na fase de concessão de lavra, na área de estudo.	61
Tabela 7.3	- Número de processos por substâncias nos municípios pertencentes a área de estudo.	63
Tabela 7.4	- Número de postos de combustíveis cadastrados nos municípios da área de estudo.	64
Tabela 7.5	- Postos de combustíveis visitados na área de estudo.	65
Tabela 7.6	- Tipo de disposição e produção dos resíduos sólidos por município, na área de estudo.	69
Tabela 7.7	- Tipo de tratamento realizado nas estações de tratamento de efluente (ETE), em cada município.	70
Tabela 7.8	- Resultado das análises de efluente das indústrias de folheados em Juazeiro do Norte antes da implantação do tratamento prévio antes de ser lançado na rede de esgoto.	76
Tabela 7.9	- Resultado das análises de efluente das indústrias de folheados em Juazeiro do Norte após a implantação do tratamento prévio antes de ser lançado na rede de esgoto.	76
Tabela 7.10	- Dados do saneamento básico por município, área de estudo	80
Tabela 8.1	- Classes da vulnerabilidade natural do Sistema Aquífero Médio, aluviões e coberturas, na área de estudo.	87
Tabela 8.2	- Índice de vulnerabilidade natural do Sistema Aquífero Médio na área de estudo.	98

## LISTA DE SIGLAS

CAGECE – Companhia de Água e Esgoto do Ceará  
COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará  
CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - Serviço Geológico Brasileiro  
CRAJUBAR – Eixo Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha  
DEGEO/UFC – Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará  
DNOCS - Departamento Nacional de Obras Contra as Secas  
DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral  
FUNASA – Fundação Nacional de Saúde  
FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e recursos Hídricos  
GPS - Global Positioning System  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IFOCS - Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas  
IPLANCE – Fundação Instituto de Pesquisa e Informação do Ceará  
PETROBRAS - Petróleo Brasileiro SA  
SOEC - Superintendência de Obras do Estado do Ceará  
SOHIDRA – Superintendência de Obras Hidráulicas do Estado do Ceará  
SRH/CE – Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará  
SUDENE - Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste  
UTM - Universal Transverse Mercator

## RESUMO

---

É crescente a preocupação com o meio ambiente, onde se destaca neste trabalho a preocupação com a vulnerabilidade e risco à poluição do Sistema Aquífero Médio, que representa um dos melhores sistemas aquífero do estado do Ceará. A área de estudo situa-se na região entre Crato e Missão Velha, Vale do Cariri, Ceará, à 538 km da capital. O acesso a partir de Fortaleza pode ser realizado por via terrestre através da BR-116 ou pela CE-060, conhecida como estrada do algodão e por via aérea, trecho Fortaleza – Juazeiro do Norte. O objetivo do trabalho foi avaliar a vulnerabilidade e risco à poluição do Sistema Aquífero Médio. A metodologia adotada foi básica, dividida em seis etapas: revisão da literatura, elaboração de um arquivo de dados de poços do Sistema Aquífero Médio, confecção de mapas preliminares, etapas de campo, tratamento e integração dos dados e, por fim, a elaboração da Dissertação de Mestrado. Na Bacia do Araripe tem-se, da base para o topo, as seguintes formações geológicas: Mauriti, Brejo Santo, Missão Velha, Abaiara, Rio da Batateira, Santana, Arajara e Exu. A partir da caracterização das formações geológicas, a imprecisão na descrição de grande parte dos perfis geológicos dos poços tubulares, e a pequena profundidade alcançada pelos mesmos, chegando a 360m, adotou-se a divisão hidrogeológica proposta por MONT`ALVERNE *et al.* (1986) para a Bacia Sedimentar do Araripe: Sistema Aquífero Superior (Formações Exu e Arajara); Aquiclude Santana; Sistema Aquífero Médio (Formação Rio da Batateira, Abaiara e Missão Velha); Aquiclude Brejo Santo e Sistema Aquífero Inferior (Formação Mauriti e parte basal da Formação Brejo Santo). A metodologia adotada para elaboração do mapa de vulnerabilidade natural do Sistema Aquífero Médio foi a GOD, onde se utilizam três parâmetros básicos: “G” condição do aquífero (livre, semi-confinado, confinado ou não há aquífero); “O” caracterização global do aquífero quanto ao grau de consolidação e natureza litológica (da zona não saturada); e “D” profundidade do nível estático ou topo do aquífero confinado (zona não saturada). Os Índices de Vulnerabilidade do Sistema Aquífero Médio variaram de Negligível a Extremo sendo, no geral, de Negligível a Baixo, explicados pela ocorrência de camadas argilosas dando uma maior proteção natural ao sistema. A elaboração do Mapa de Vulnerabilidade Natural



à Contaminação facilitou a identificação das áreas mais ou menos susceptíveis à contaminação. A Zona de Alta Vulnerabilidade situa-se entre as sedes dos municípios de Juazeiro do Norte e Barbalha. As cargas poluidoras foram quantificadas pelo número de atividades antrópicas potenciais de emissão de poluentes, em cada município, sendo classificadas em três índices: Elevado, Moderado e Baixo. Juazeiro do Norte é o que apresenta um maior risco de poluentes, seguido por Crato, Barbalha e Missão Velha. A porção do Sistema Aquífero Médio na área de estudo que apresenta um maior risco de contaminação por apresentar Zona de Alta Vulnerabilidade e Elevadas cargas de poluentes situa-se no município de Juazeiro do Norte, e em seqüência de risco por município tem-se Barbalha, Crato e Missão Velha.

## ABSTRACT

---

It is increasing in the entire globe, the preoccupation with the environment, where we emphasize in this work the preoccupation with the vulnerability and risk to pollution of Medium Aquifer System in the region between Crato and Missão Velha towns, Cariri Valley, Araripe Basin, Ceará. The studied area is located at the south portion of Ceará State, in the basis of Araripe Plateau, which influences very much its weather. The access, from Fortaleza, can be done by terrestrial through the BR-116 or CE-060 highway, known as cotton road, and by aerial way. The objective of the work is to evaluate the vulnerability and risk to pollution of Medium Aquifer System. The methodology adopted is basic, divided in six stages: literature revision, elaboration of a well archive of the area, confection of preliminary maps, field stages, treatment and integration of data. The water supply on the area is in almost entirely done by groundwater. In the southern region of Ceará is situated one of the best Aquifer Systems that is the Medium Aquifer System, target of the research. The formation of Araripe Basin began at the Paleozoic going until the Mesozoic, where it has from the bottom to the top the following geologic formations: Mauriti, Brejo Santo, Missão Velha, Abaiara, Rio da Batateira, Santana, Arajara and Exu. Starting by the characterization of the geologic formations, the inaccurate description of most part of the geologic sections of the drilled wells and the shallow depth reached by the wells, it was adopted the following hydrogeologic division in Araripe Sedimentary Basin: Superior Aquifer System (Exu and Arajara Formations); Santana Aquiclude; Medium Aquifer System (Rio da Batateira, Abaiara and Missão Velha Formations); Brejo Santo Aquiclude; and Inferior Aquifer System (Mauriti Formation and bottom part of Brejo Santo Formation). The methodology adopted to the elaboration of the vulnerability and natural risk map of the Medium Aquifer System was the GOD, where is used three basic parameters: "G" aquifer condition (free, semi-confined, confined or there is no aquifer); "O" global characterization of the aquifer in relation to consolidation degree and lithologic nature (of the unsaturated zone); and "D" depth until the freatic level or confined aquifer top (unsaturated zone). The indices of the vulnerability of Medium Aquifer System had varied of

Negligível the Extremity of vulnerability, being in the generality of Negligível and Baixa, explained for the occurrence of argillaceous layers giving a bigger natural protection to the system. The elaboration of the map of natural vulnerability the contamination facilitated the identification of the areas more or less susceptíveis to the contamination. The polluting load risk was taken in consideration to the number of some potential activities of pollution, not taking in consideration the amount of polluting loads, being possible to make a comparative degree of risk between the cities. The area of the city of Juazeiro do Norte is the one that presents a bigger risk of contamination for presenting zones of High vulnerability and raised loads of pollutants, followed of Barbalha, Crato and Missão Velha.

## 1. INTRODUÇÃO

---

Os estudos para um melhor conhecimento da vulnerabilidade dos aquíferos e da utilização das águas subterrâneas vêm crescendo em todo o globo terrestre, devido à necessidade de buscar novos conhecimentos para proteção das águas subterrâneas e uso sustentável desse recurso, como forma de complementação aos recursos hídricos superficiais e, muitas vezes, atuando como um meio para abastecimento prioritário, que é o caso da área em estudo.

O estado do Ceará está localizado no nordeste do Brasil, possuindo uma área de 148.000 km<sup>2</sup> e encontrando-se incluso no polígono das secas, com regime pluviométrico marcado por irregularidades de chuvas no tempo e no espaço. Nesse cenário, a água constitui um bem natural de elevada limitação ao desenvolvimento socioeconômico e, até mesmo, à subsistência da população. A ocorrência cíclica de secas e seus efeitos catastróficos no âmbito regional são por demais conhecidos e remontam aos primórdios da história do Brasil.

No interior do Ceará encontram-se pequenos grupos de bacias sedimentares encravadas em depressões estruturais do Escudo Pré-Cambriano. Dentre outras, a Bacia Sedimentar do Araripe situada na porção sul do estado, com o Sistema Aquífero Médio representando o principal sistema armazenador de água subterrânea do Ceará, tendo sido a sua área de ocorrência no Vale do Cariri selecionada para o desenvolvimento desta dissertação.

O trabalho enfoca os aspectos da vulnerabilidade e risco natural do Sistema Aquífero Médio à poluição, levantando, discutindo, disponibilizando dados, gerando informações, na tentativa de diagnosticar áreas com diferentes graus de vulnerabilidade e risco de contaminação a partir de impactos decorrentes do uso e ocupação desordenada do meio físico.

Este trabalho foi realizado no contexto do Projeto “Comportamento das Bacias Sedimentares da Região Semi-Árida do Nordeste Brasileiro” (Convênio UFC/CPRM/FINEP).

## 1.1. LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área de pesquisa situa-se na porção sul do estado do Ceará a 538 km da capital Fortaleza. Está inserida na Bacia Sedimentar do Araripe, posicionada no trecho entre os municípios de Crato, Barbalha, Juazeiro do Norte e Missão Velha. Perfaz uma área total de 702 km<sup>2</sup>, compreendida num polígono de quatro vértices com coordenadas cartográficas UTM de longitude 487433 a 449766, e latitude 9187339 a 9206000 inclusa na carta planialtimétrica 1:100.000, SB.24-Y-D-III (Folha Crato – SUDENE, 1972). Nela está delimitada a área do Sistema Aquífero Médio. (Figura 1.1).

Os municípios que compõem a área de estudo estão limitados ao norte pelos municípios de Farias Brito, Caririaçu e Aurora; a leste por Abaiara e Milagres; a sul por Porteiras, Brejo Santos, Chapada do Araripe e o estado do Pernambuco; e a oeste pelo município de Nova Olinda.

A escolha dessa área deu-se a partir da análise prévia de diversos fatores: à importância que as águas subterrâneas têm para essa região, onde situa-se um dos melhores sistema aquífero do estado, denominado Sistema Aquífero Médio; o abastecimento público que é realizado por água subterrânea; a concentração populacional formada pelo eixo CRAJUBAR (Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha), que num futuro próximo tem como cenário provável a junção com Missão Velha, formando uma grande área metropolitana. Em razão disso considerando o crescimento populacional desordenado desse espaço aumenta-se o risco de contaminação pelos resíduos gerados pelo homem, merecendo assim uma preocupação no presente e no futuro com as águas subterrâneas.

O acesso à área, a partir de Fortaleza, pode ser realizado por via aérea e terrestre. Por terra, é feito pela BR-116, passando por Icó e Barro, onde, no entroncamento após a cidade de Milagres, segue-se pela rodovia estadual CE-293; outra opção é pela CE-060, conhecida como estrada do algodão. A área é servida também pela rodovia estadual CE-293, com revestimento asfáltico, interligando as quatro sedes municipais presentes na área. Demais vilas, lugarejos, sítios e fazendas estão interligados por estradas asfaltadas e/ou carroçáveis. Por via aérea existem vôos saindo do aeroporto Internacional Pinto Martins em Fortaleza para o aeroporto em Juazeiro do Norte.

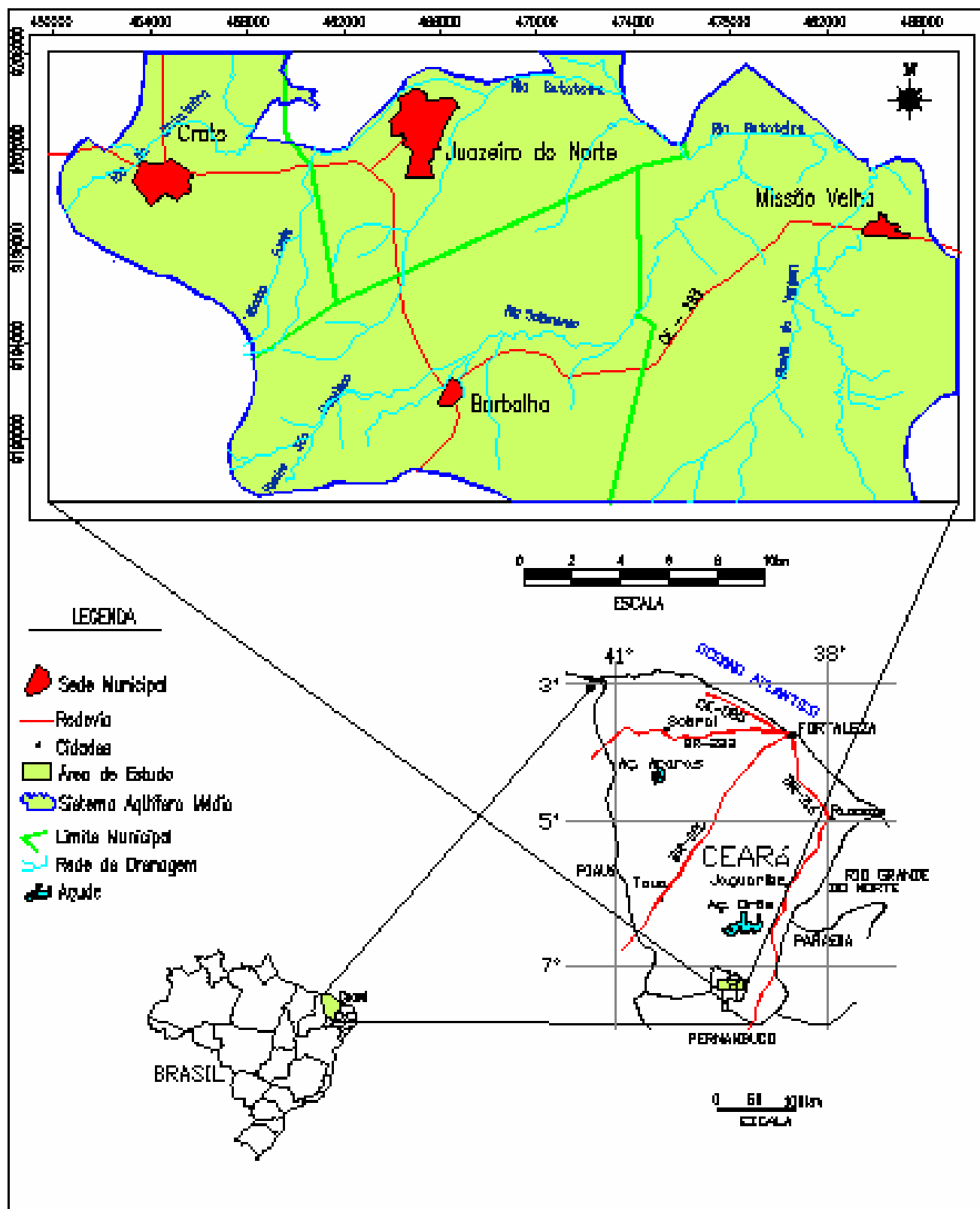


Figura 1.1 - Localização da área de estudo, Vale da Cariri, Ceará - Brasil.

## 1.2. OBJETIVOS

O trabalho teve como objetivo geral fazer uma caracterização do Sistema Aquífero Médio, avaliando sua vulnerabilidade e risco à poluição causada por atividades antrópicas.

Os objetivos específicos foram:

- ✓ Montagem e consistência de um arquivo com dados de poços;
- ✓ Mapa de distribuição dos poços tubulares;
- ✓ Caracterização da situação das obras de captação;
- ✓ Elaboração de mapa de nível estático;
- ✓ Elaboração de mapa da superfície potenciométrica;
- ✓ Elaboração do mapa de vulnerabilidade e risco à poluição.

## 1.3. ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS

A área de estudo localiza-se na região do Cariri, e comporta os municípios de Crato, Juazeiro do Norte, Barbalha e Missão Velha. O eixo dos três primeiros municípios é denominado CRAJUBAR, o qual assume uma posição estratégica como pólo agropecuário, comercial e industrial no Vale do Cariri. O município de Missão Velha, por estar posicionado espacialmente nas proximidades desse eixo, potencialmente poderá ser incluído nesse pólo de negócio com o passar dos anos. Essa região é conhecida como uma das mais importantes e dinâmicas em desenvolvimento no estado do Ceará.

De acordo com o IBGE (2000), a população urbana em Juazeiro do Norte era de 202.227; Crato 83.917, Barbalha 30.669 e em Missão Velha de 12.785.

Segundo estudo do IBGE (2005), o Produto Interno Bruto dos quatro municípios, que mede o valor de bens e serviços finais produzidos, alcançou a soma de R\$ 1.058.581,00 equivalente a 53,59% da região do Cariri.

Em 2003 existiam nesses municípios 1.164 estabelecimentos industriais. O consumo de energia industrial em Juazeiro do Norte era de 17.609 mwh, comercial 24.829 mwh e residencial 51.022 mwh. No Crato, esse

consumo era de 23.357 mwh residencial, 16.456 mwh industrial e 12.721 mwh comercial. Em Barbalha, esse consumo chegou a 45.035 (mwh) residencial, 7.134 (mwh) indústria e 25.022 comércios e em Missão Velha, esse consumo era de 3.027 (mwh) para residências, 176 (mwh) nas indústrias e 745 (mwh) no comércio. No ano de 2004 e 2005 teve um decréscimo dessas indústrias, passando para 952 e 920 respectivamente (IPECE, 2006)

As sedes municipais possuem uma infra-estrutura que contempla abastecimento d'água, energia elétrica, telefone, correios, agências bancárias, hospitais, pousadas, hotéis, faculdades, ensino regular e outros.

Segundo o IBGE (2003), a atividade agrícola nessa região é constituída pelas culturas da cana-de-açúcar, algodão herbáceo, banana, arroz, manga e feijão com área total irrigada de 7.185 ha. A cana-de-açúcar é a cultura que ocupa a maior área na região (aproximadamente 5.000 ha) concentrada nos municípios de Barbalha e Missão Velha (60%) e o restante, em Crato e em Juazeiro do Norte. Como fruticultura, a banana é a fruta mais produzida na região.

O setor pecuário do Cariri contempla atividades como bovinocultura, identificada como a mais intensa da região, com 44.701 cabeças; ovinocaprinocultura representada com 5.866 (ovinos) e 3.993 (caprinos).

O Vale do Cariri destaca-se no estado do Ceará pelas suas potencialidades para o turismo ecológico e o científico acervo paleontológico e arqueológico, decorrentes de um acervo paisagístico (região serrana) com belíssimos balneários, a exemplo do Caldas em Barbalha, que representa uma das raras estâncias hipotermal e mineral do nordeste com cinco fontes naturais com águas de temperatura de 26°C (Foto 1.1); as romarias ao Horto, que abriga a estátua do Padre Cícero, em Juazeiro do Norte, sendo responsável pela movimentação de mais de um milhão de pessoas vindas de todo o país, especialmente da Região Nordeste. As características culturais e históricas, o rico artesanato e as manifestações folclóricas representam outras opções de turismo na região. A festa de Santo Antonio em Barbalha é outra data em que pessoas de várias partes do Brasil se encontram para celebrar a festa do Santo Casamenteiro, carregando o pau da bandeira, tradição local.





Foto 1.1 – Fonte João Coelho, no Caldas em Barbalha. 461609W / 9184402S (03/05/2007).

A rede de ensino do 1º e 2º graus está constituída por 6.529 estabelecimentos públicos e privados; três entidades de ensino técnico e quatro entidades de ensino superior. No setor de saúde, são 104 postos de saúde e 16 instituições hospitalares.

O tratamento do esgotamento sanitário é realizado de maneira incipiente, onde cada município tem o seu sistema. Não existe uma rede de escoamento pluvial adequada na área, o que no início das chuvas provoca vários pontos de alagamento.

Os resíduos sólidos da população urbana são coletados pelo sistema de coleta das prefeituras e levados para os lixões existentes em cada município.

O abastecimento público de água é realizado totalmente por água subterrânea, sendo a CAGECE (Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará) responsável nas cidades de Juazeiro do Norte, Barbalha e Missão Velha, e o SAAEC (Serviço Autônomo de Água e Esgoto do Crato) no município do Crato.

O uso e a ocupação do meio estão distribuídos em uma extensa área de preservação, formada pela floresta da Chapada do Araripe, situada ao sul da área de estudo, com vegetação de alto porte, no topo da chapada; a ocupação dos centros municipais é desordenada.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA TÉCNICA

---

Um levantamento de referências bibliográficas foi feito abrangendo assuntos inerentes a Bacia Sedimentar do Araripe, com temas dos mais diversos, sendo selecionados os de maior relevância para desenvolvimento do trabalho. Além de trabalhos realizados na bacia, foram consultados trabalhos pertinentes ao assunto em outras regiões, utilizando a internet como uma ferramenta na investigação de trabalhos desenvolvidos no mesmo sentido da presente pesquisa.

Considerando todos os trabalhos desenvolvidos na bacia em nível de geologia regional, destacam-se os de ALMEIDA & HASUI (1984), CORDANI *et al.* (1984), MATOS (1987), PONTE (1991a e 1991b); na paleontologia destacam-se BEURLIN (1962 e 1971); na sedimentologia, os de FEITOSA (1987) e ASSINE (1990); na geotectônica, os trabalhos de FORTES (1983), RAND (1983), RAND & MANSO (1984), GUERRA (1986) e BRITO NEVES (1990); na estratigrafia, os de ASSINE (1990), PONTE & APPI (1990). Na hidrogeologia, de interesse maior para esta pesquisa, o primeiro trabalho no início do século XX foi realizado para identificar os problemas constantes de água na região, devido a seca (SMALL, 1913).

A Companhia de Água e Esgoto do Ceará - CAGECE iniciou, em 1957, investigações para abastecimento de água por captação das fontes na cidade de Santana do Cariri-CE e, posteriormente, a Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE, em 1967 promoveu diversos estudos para avaliação hidrogeológica na região da Bacia do Araripe. A CAGECE, à partir da década de 1970, iniciou estudos para avaliação hidrogeológica em diversos municípios do Cariri, com o intuito de garantir o abastecimento d'água para a população. Atualmente a CAGECE é responsável pelo abastecimento dos municípios de Juazeiro do Norte, Barbalha e Missão Velha e a SAAEC pelo Crato.

Dos trabalhos da SUDENE destaca-se o de GASPARY *et al.* (1967), que realizaram um estudo geral das águas subterrâneas do Vale do Jaguaribe, incluindo cadastro de poços, mapas geológicos e hidrogeológicos, hidroquímico e avaliação de reservas com condições de exploração.

Determinaram para a Bacia do Alto Jaguaribe, incluindo o Cariri e a Chapada, reservas em torno de  $4,5 \cdot 10^9 \text{ m}^3$  e escoamento de  $41 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ .

MARQUES *et al.* (1984) investigaram uma área ao sul do *Graben* Crato-Juazeiro, nas localidades de Gravatá, Cacimba e Baixa Grande. No vale do riacho Gravatá, o objetivo era avaliar o potencial hidrogeológico dos arenitos da Formação Exu. Foram realizadas 60 sondagens elétricas verticais (SEVs), cujos resultados detectaram que o aquífero é raso e descontínuo, com espessura média em torno de 10 m. O trabalho mostrou que a parte inferior da Formação Exu é constituída por sedimentos argilosos, de baixa condutividade hidráulica e em grandes áreas é formada por arenito duro, silicificado, impróprio para construção de poços escavados.

CAGECE (1984a e 1984b) fez uma investigação hidrogeológica para abastecimento público de água subterrânea no município de Juazeiro do Norte-CE, área inserida na Sub-Bacia do Cariri. O estudo teve a finalidade de investigar a geometria da Formação Missão Velha, possibilitando a escolha de áreas de melhor transmissividade para locação de novos poços, e contribuiu para o mapeamento de falhamentos que limitam lateralmente a extensão do aquífero e correlaciona a seqüência geológica com a litológica estudada.

Projetos que utilizaram os métodos aeromagnéticos foram promovidos pelo DNPM/CPRM, com os trabalhos de RAND (1983), RAND & MANSO (1984) e OLIVEIRA (1983). A PETROBRÁS, em seu trabalho de investigação de bacias sedimentares, aproveitou as informações dos trabalhos existentes e propôs 10 linhas sísmicas de reflexão, resultando na perfuração do poço lito-estratigráfico (2-AP-1-CE), no município de Araripe-CE, que com a associação destes resultados permitiu novas interpretações geológicas.

MONT'ALVERNE *et al.* (1996) trabalharam com objetivo de avaliar o potencial hidrogeológico da Bacia do Araripe, e a determinar parâmetros que permitissem a racionalização da captação das águas subterrâneas para consumo humano, industrial e agrícola. Geologicamente, foram definidas unidades estratigráficas e grandes lineamentos estruturais responsáveis pela estruturação da bacia. Hidrogeologicamente, foram definidos os sistemas aquíferos, suas reservas, recursos e disponibilidades. Foram cadastrados 1.485 poços tubulares e 344 fontes naturais.

LEITE (1997) estudou a dinâmica de salinização das águas armazenadas em dois sistemas aquíferos, o Sistema Aquífero Médio Poroso e o Sistema Aquífero Inferior Fraturado. As águas dos dois sistemas eram bicarbonatadas mistas, mas diferiam quanto aos elevados valores de condutividade elétrica, sendo maior no Sistema Aquífero Inferior Fraturado.

Dissertações de Mestrado e Teses de Doutorado foram defendidas na Universidade Federal do Ceará - UFC, com enfoque nos recursos de água subterrânea. STUDART (1991) correlacionou valores de pluviometria com vazões de duas fontes localizadas no município de Barbalha-CE, observando uma defasagem de 06 meses entre elas, e resposta hidráulica vertical rápida. As medidas foram quinzenais, no período de 02 anos. Medidas de trício indicam idade de águas na faixa de 22 anos, para um fluxo horizontal lento (SILVA, 1992).

SILVA (1996) estudou a dinâmica das águas subterrâneas do Cariri, utilizando medidas isotópicas de carbono-14, carbono-13, oxigênio-18, trício e deutério, medidas químicas dos íons maiores, condutividade elétrica e perfis geológicos. A partir desses dados, foi elaborado um modelo fenomenológico de circulação de água em toda a bacia, identificando três tipos diferentes de exutórios: *i*) fontes situadas no contato das Formações Exu e Arajara; *ii*) fontes da Formação Arajara, e; *iii*) fontes no contato das Formações Arajara e Santana. Foi identificado, também, a existência da recarga dos aquíferos mais profundos através de infiltração local das águas pluviais nas áreas de recarga e por percolação na Chapada do Araripe.

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

MENDONÇA (1996), através de uma bateria de 17 (dezessete) poços em Juazeiro do Norte-CE, identificou conexões hidráulicas entre os aquíferos Rio da Batateira e Missão Velha.

VERÍSSIMO (1999) mostrou a importância das águas subterrâneas para o desenvolvimento socioeconômico do eixo CRAJUBAR, Cariri ocidental – estado do Ceará, mostrando preocupação com a vulnerabilidade e risco à poluição das unidades hidro-estratigráficas classificadas por ele.

SABIÁ (2000), estudando o gerenciamento das fontes d'águas do Cariri, destacou a grande importância das mesmas para o desenvolvimento agrícola, rural e cultural. O autor fez monitoramento das vazões, das fontes do Bom Jesus e João Coêlho no Caldas em Barbalha e Farias em Arajara, e constatou a defasagem entre a precipitação na chapada e vazão na fonte Farias de aproximadamente 05 meses e no Caldas de 01(um) mês.

MENDONÇA (2001), estudou os cursos hídricos da Chapada do Araripe, com a finalidade de entender o funcionamento dos aquíferos da Chapada do Araripe, quantificar suas reservas e avaliar a vulnerabilidade à poluição. SÁ (2004) realizou um estudo das águas subterrâneas no município de Barbalha, levantando dados práticos e propondo um modelo de gerenciamento das águas subterrâneas no município.

A COGERH (2003) implantou um sistema de monitoramento dos poços, gerenciando uma área piloto do Aquífero Missão Velha, Bacia Sedimentar do Cariri, onde foi gerado um arquivo de poços para a área piloto.

Um cadastro de poços foi realizado pela SRH e COGERH – CE (2003), juntamente com o da CPRM – Serviço Geológico do Brasil (1997), que utilizamos para aquisição dos dados dos poços para elaboração e consistência do Arquivo de Dados de Poços (ANEXO 01).

De acordo com SCUDINO (1997) e CAVALCANTE (1998), os métodos mais utilizados para a gestão da qualidade das águas, sob o aspecto de vulnerabilidade natural e potencial de poluição são: SIA - "Surface Impoundment Assessment" (LE GRAND, 1964); LSR - "Landfill Site Rating" (LE GRAND, 1964); "Waste-Soil-Site Interaction Matrix" (PHILIPS *et al.*, 1977); SRS - "Site Ranking System" (HAGERTY *et al.*, 1973); HRS - "Hazard Ranking System" (CALDWELL *et al.*, 1981); SRM - "Site Rating Methodology", (RAO *et al.*, 1985); "Pesticide Index" (RAO *et al.*, 1985); "DRASTIC" (ALLER *et al.*, 1987); IMPACT, (CUSTÓDIO, 1992) e GOD (FOSTER *et al.*, 1987; FOSTER & HIRATA, 1993).

O método *GOD* (FOSTER, *et al.* 1987; FOSTER & HIRATA, 1993) é o mais simples e adaptado para áreas com poucos dados, e utiliza três parâmetros básicos: G: (*Groundwater occurrence*) – condição do aquífero (livre, semi-confinado, confinado e ausente); O : (*Overall of lithology of aquiperm*) - caracterização global do aquífero quanto ao grau de consolidação e natureza litológica (da zona não saturada) e D : (*Depth*) - profundidade até o nível freático ou topo do aquífero confinado (zona não saturada).

### 3. METODOLOGIA DE TRABALHO

---

Com base nos objetivos propostos para a realização da presente dissertação, os mesmos foram desenvolvidos seguindo as etapas e metodologias descritas a seguir.

#### 3.1. ARQUIVO DE DADOS DE POÇOS TUBULARES

A elaboração do arquivo de dados de poços deu-se a partir da extração dos dados das fichas construtivas dos poços tubulares da CAGECE, somado a base de dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), na página eletrônica [www.cprm.br](http://www.cprm.br), onde a consulta é feita como pesquisa textual, iniciando com a seleção do estado, e em seguida o município. Foi também utilizado o arquivo de poços cadastradas em 2002/2003 na Companhia de Gerenciamento dos Recursos Hídricos – COGERH, no âmbito do Projeto “Implantação de um sistema de monitoramento dos poços, gerenciando uma área piloto do Aquífero Missão Velha na Bacia Sedimentar do Cariri”. Foi realizada consistência desses dados, e posteriormente adicionados dados obtidos através de etapas de campo realizadas no período de 2005/2007 dentro do Projeto Comportamento das Bacias Sedimentares da Região Semi-Árida do Nordeste Brasileiro (Convênio UFC/CPRM/FINEP).

Até o presente, o arquivo de dados de poços tubulares do Sistema Aquífero Médio conta com 1126 poços, sendo que desse total, conseguimos apenas 57 poços com perfis litológicos. Nesse arquivo foram ordenados o número de ordem, município, proprietário, endereço, coordenadas UTM, altitude, ano de construção, profundidade, diâmetro do revestimento, nível estático e nível dinâmico, rebaixamento, vazão, capacidade específica, altura da boca, situação da obra e uso.

Os dados foram tabulados, consistidos e trabalhados (elaboração de tabelas, gráficos e cálculos) com a utilização do *software* Excel (2003).

### **3.2. CONFECÇÃO DE MAPAS PRELIMINARES**

Esta etapa serviu para a compilação e edição de mapas antes das etapas de campo, sendo elaborado mapas de geologia, geomorfologia, solos, vegetação, distribuição dos poços tubulares, e outros, a partir de dados existentes. Na confecção desses mapas utilizou-se o programa *AutoCad 2002*. Esses mapas foram confeccionados para serem verificados sua precisão em campo, proporcionando assim um melhor conhecimento da área de estudo.

### **3.3. ETAPAS DE CAMPO**

Foram realizadas três etapas de campo no período 2005/2007, a saber: uma de reconhecimento da área; a segunda para medidas em campo e, por fim, a terceira para a integração das questões levantadas durante a pesquisa correlacionando com observações em campo, cadastro de fontes de poluição, e registro fotográfico dos aspectos diversos. Todas as idas ao campo foram de fundamental importância para conclusão da Dissertação.

Na primeira viagem ao campo fez-se um reconhecimento da área, utilizando-se dos mapas produzidos anteriormente os quais foram confirmados em campo sua veracidade, etapa essa que serviu também para verificar a acuracidade dos dados cadastrados no arquivo de poços (ANEXO 01) cuja mesmo só foi finalizado com a conclusão das etapas de campo.

Na segunda etapa foi realizado cadastramento complementar dos poços, com localizações em coordenadas UTM, utilizando GPS *Garmim Etrex* e medidas de nível estático com medidor de nível d'água da JACIRI.

Na terceira etapa foram rediscutidos os aspectos hidrogeológicos, identificados e cadastrados as principais fontes potenciais de risco de poluição na região, utilizando câmera digital no registro das mesmas, associando assim ao mapa dos índices de vulnerabilidade natural dos aquíferos.



### **3.4. TRATAMENTO E INTEGRAÇÃO DOS DADOS**

Após realizada a revisão bibliográfica, o Arquivo de Dados de Poços, as etapas de campo, fez-se a integração e discussão dos dados obtidos, utilizando *softwares* específicos, gerando e finalizando mapas técnicos temáticos elaborados preliminarmente, concluindo os objetivos propostos.

#### **3.4.1. Elaboração de Mapas Diversos**

Na confecção dos mapas que compõem a presente Dissertação foi utilizado o software *AutoCad* 2002. Nos mapas onde foi necessária a determinação das isolinhas através do método da krigagem (interpolação matemática de dados, traçando linhas de isovalores) a exemplo dos mapas de vulnerabilidade e precipitação pluviométrica foi utilizado o software *Surfer* 8.

##### ***3.4.1.1. Mapa dos Sistemas Aquíferos***

Na elaboração deste mapa utilizamos a classificação de MONT'ALVENE *et al.* (1996), que classifica os aquíferos em Sistemas Aquíferos Superior, Médio, Inferior e Aquícludes.

A partir dos objetivos do trabalho, traçamos o limite do Sistema Aquífero Médio, plotamos os poços tubulares do arquivo de dados de poços e construímos um mapa com os limites dos sistemas aquíferos e a distribuição espacial dos poços tubulares. Para traçar o contorno desse mapa utilizou os contornos litológicos do mapa litológico da CPRM (2003).

##### ***3.4.1.2. Mapa de Nível Estático***

Na elaboração desse mapa, utilizamos os níveis estáticos de 57 poços selecionados no arquivo de dado, com perfil litológico, sendo traçados os contornos de diferentes níveis estáticos, onde relacionamos aquelas que apresentam níveis mais rasos como sendo as áreas mais susceptíveis a contaminação, e áreas com níveis mais profundos como sendo as áreas de menor risco.

#### **3.4.1.3. Mapa da Superfície Potenciométrica**

A partir das cotas do terreno em 207 poços selecionados para avaliação, foi estabelecida a diferença da cota do terreno e o nível estático, e definido o valor da superfície potenciométrica em cada poço. Após a elaboração desse mapa pode ser visualizada a direção do fluxo subterrâneo na região.

#### **3.4.1.4. Mapa de Vulnerabilidade Natural**

A metodologia adotada nessa Dissertação para elaboração do mapa de vulnerabilidade foi a GOD. Neste método para calcular o índice de vulnerabilidade natural do aquífero, segundo FOSTER & HIRATA (1993) e FOSTER *et al.* (2003), deve-se levar em consideração: a) G => O tipo de ocorrência da água subterrânea (ausente, surgente, confinado, semi-confinado e não confinado (coberto), e não confinado); b) O => As características em termos litológicos e grau de consolidação dos estratos acima da zona saturada (não consolidadas - sedimentos, e consolidadas - rochas porosas e rochas compactas); c) D => a profundidade do nível estático ou o teto do aquífero confinado ( $\leq 10m$ ,  $>10 - \leq 20m$ ,  $>20 - \leq 40m$  e  $> 40m$ ). O índice de vulnerabilidade é obtido pelo produto entre os três parâmetros avaliados. A partir dos mapas foi possível analisar às áreas mais ou menos susceptíveis a contaminação. Para representação espacial utilizou-se cores diferentes identificando no mapa a intensidade da vulnerabilidade.

A partir dos dados extraídos das fichas construtivas/litológicas utilizadas, foram tabulados com a utilização do *software Excel*, 2003 e transferidos para o *Surfer 8*, para avaliação da Vulnerabilidade Natural pelo método da *Krigagem*. A execução inicia-se do seguinte modo: No menu “*File*” (arquivo) criou-se o arquivo na opção “*New*” (novo) na opção secundária “*Worksheet*” (planilha de trabalho). Em seguida este é salvo na extensão “.dat” e este é fechado. Abre-se um novo arquivo desta vez na opção “*Plot*” (demarcação de pontos) e pode-se gerar o mapa com os pontos no menu “*Map*” (mapa) opção “*Post*” (e ainda um “*overlay*” (é a sobreposição de duas imagens) com outras variáveis em forma de espacialização com

preenchimento colorido ou com hachuras distintas por meio de linhas curvas). Para este passo faz-se necessário o “*Gridding*” do arquivo “.dat” gerado anteriormente transformando-o em um arquivo com extensão “.grb”. Este processo faz-se no menu “*Grid*” na opção “*Data*”, então se seleciona o arquivo “.dat” e escolhe as colunas correspondentes para se gerar determinado cartograma e por fim pressiona-se “OK”, com um clique do “*mouse*” ou ainda pressionando a tecla <enter> no teclado. Após este processo pode-se gerar mapas espacializados (georreferenciados em SIG – Sistema de Informação Geográfica) cada qual com a sua temática, desde que se faça o seu devido “*gridding*” da coluna e do arquivo, usando-se a opção “*Data Columns*” e as opções X, Y e Z para se fazer a escolha da coluna, e em seguida a opção “*Gridding Method*”, “*Kriging*” e “OK”. Uma vez feito esse processo gera-se o cartograma usando-se o menu “*Map*” e a opção “*Contour*” e aí se escolhe o arquivo com extensão “.grd”.

## **4. ASPECTOS GEOAMBIENTAIS**

---

As características gerais do meio ambiente na área de estudo estão definidas a partir da avaliação dos aspectos geoambientais, considerando o clima, geomorfologia, solos, vegetação, recursos hídricos e a geologia, que será discutida no capítulo seguinte. Cada componente apresenta suas características fundamentais e atributos, sendo que a partir dessas características obteve-se um melhor conhecimento geoambiental da região.

### **4.1. ASPECTOS CLIMÁTICOS**

O clima na região sofre variações térmicas localizadas, ocasionadas pelas mudanças do relevo, sendo individualizado por regiões denominadas de Planalto Sertanejo e Chapada do Cariri. Segundo a classificação de KÖPPEN (1948), o clima regional insere-se nos tipos BSh” e Aw’ respectivamente. O tipo BSh” é caracterizado por duas estações distintas: uma chuvosa no verão e outra seca no inverno; o tipo Aw’ o da Chapada do Cariri é caracterizado por ser quente e úmido com chuvas no outono.

Inserida na região fisiográfica do Planalto Sertanejo, a área de estudo apresenta um clima semi-árido. Para traçarmos um mapa de distribuição espacial das precipitações na área de estudo, elaboramos uma tabela a partir dos dados obtidos em cinco estações pluviométricas da FUNCEME (Crato, Lameiro, Juazeiro do Norte, Barbalha e Missão Velha) localizadas dentro da área de estudo e oito outras situadas nas proximidades da área de estudo (Tabela 4.1).

Na Tabela 4.1 estão os valores das precipitações pluviométricas anuais (mm/ano) em treze estações pluviométricas na região. Os postos estão identificados por nome, seu posicionamento na região com coordenadas UTM, e mostrados os intervalos dos anos de leitura das chuvas para cada estação, e identificados os anos de menor e maior intensidade de chuvas para cada posto. No geral observa-se que as maiores chuvas na região ocorreram nos anos de 1985 (30%) e 2004 (62%); as chuvas de menor intensidade ocorreram em variados anos (1981, 1982, 1983, 1993, 1997, 2002, 2003, 2005) não apresentando uma correlação mais consistente de grandes secas na região.

Tabela 4.1 - Estações pluviométricas situadas nos municípios de Crato, Juazeiro do Norte, Barbalha e Missão Velha - Ceará.

Nº de Ordem	Município	Nome do Posto	Coordenadas		Intervalo de Dados (Anos)	Estatística da Precipitação Pluviométrica Anual (mm/ano)			
			Lat. / S	Long. / W		Nº de Anos	Mínimo (ano)	Máximo (ano)	Média
1	Crato	Dom Quintino	9222584	448494	2001-2006	6	589,0 (2003)	989,4 (2004)	716,6
2	Crato	Ponta da Serra	9213378	454025	2001-2006	6	543,0 (2003)	1331,0 (2004)	787,0
3	Crato	Crato *	9200482	455877	1974-2006	33	568,1 (1993)	1970,0 (1985)	1130,2
4	Crato	Lameiro *	9200480	454037	1994-2006	13	668,5 (1997)	1577,0 (2004)	1133,8
5	Juazeiro do Norte	Juazeiro do Norte *	9202332	465075	1974-2006	33	523,2 (1983)	1660,3 (1985)	938,7
6	Juazeiro do Norte	Sítio Novo	9211542	463228	2001-2006	6	582,6 (2005)	1286,2 (2004)	919,5
7	Juazeiro do Norte	Vila São Gonçalo	9207864	476113	2001-2006	6	539,2 (2005)	1161,3 (2004)	720,9
8	Barbalha	Caldas	9185748	463247	2001-2006	6	545,1 (2002)	1620,0 (2004)	836,3
9	Barbalha	Barbalha *	9189434	466924	1974-2006	33	564,2 (1982)	2147,5 (1985)	1049,2
10	Missão Velha	Missão Velha *	9198656	485316	1974-2006	33	594,0 (1981)	1885,6 (1985)	1005,4
11	Missão Velha	Jam acaru	9182074	485321	1988-2006	19	628,0 (1993)	1489,6 (2004)	1042,5
12	Missão Velha	Quim ami	9206028	490834	2001-2006	6	434,0 (2005)	1145,0 (2004)	772,6
13	Missão Velha	Gemeleiro de S. Sebastião	9182072	477964	2001-2006	6	666,8 (2003)	1289,9 (2006)	1014,0

Fonte: FUNCEME, 2007

\* - Posto pluviométrico instalado dentro da área de estudo.

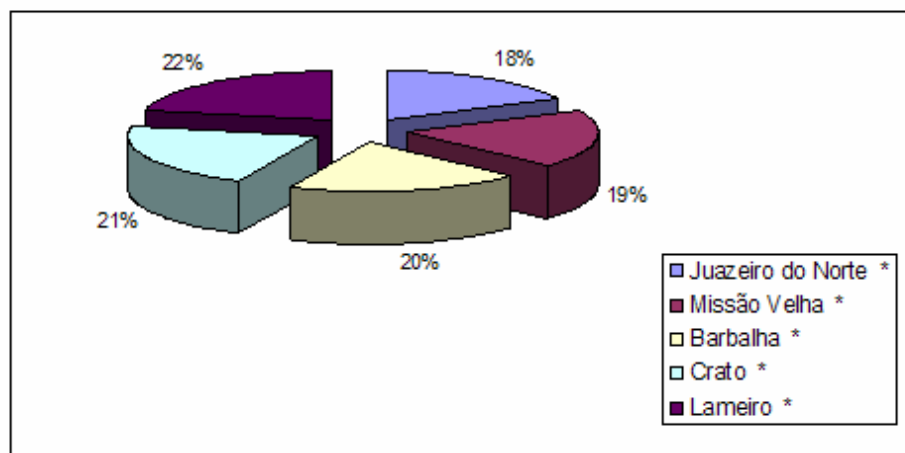


Figura 4.1 - Precipitações pluviométricas por estações situadas dentro da área de estudo.

Na Figura 4.1 é mostrado o percentual de chuvas para as cinco estações presentes na área de estudo, onde se observa que não existe uma grande variação das chuvas na região, porém tendo uma tendência de maiores chuvas associado a morfologia, ou seja as estações mais próximas da chapada apresentam maiores precipitações.

A distribuição espacial das precipitações está representada no mapa de isoietas médias anuais (Figura 4.2), elaborada a partir dos dados da Tabela 4.1.

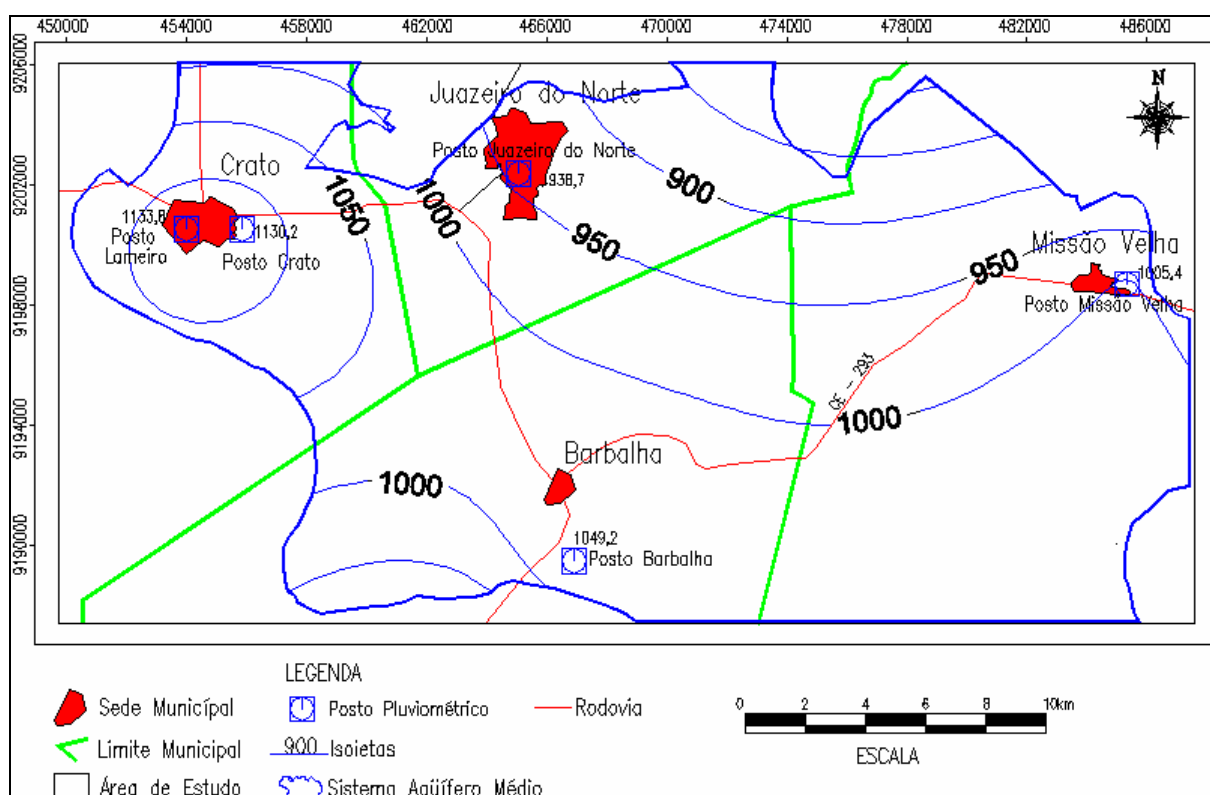


Figura 4.2 – Aspectos das isoietas médias anuais (mm/ano) na área do Sistema Aquífero Médio, área de estudo.

Observa-se uma zona com índices pluviométricos superiores a 1100 mm/ano circundando a cidade de Crato, e outra variando de 1050 a 1100 mm/ano, abrangendo grande parte restante do município. Uma zona intermediária entre 1000 e 1050mm/ano distribui-se numa faixa sul-central com direção leste-oeste, onde o posto de Barbalha está no topo dessa zona e o posto Missão Velha na base. Os municípios de Juazeiro do Norte e Missão Velha apresentam, no geral, precipitações médias anuais inferiores a

1000mm/ano. Na área de estudo, a menor intensidade pluviométrica é a nordeste, ou seja, na porção mais distante da Chapada do Cariri, onde é comum precipitação acima de 1150mm/ano (FUNCEME, 2007).

Na Figura 4.3 temos um hietograma elaborado com base nos valores médios de precipitações mensais obtidos de quatro estações (Crato, Juazeiro do Norte, Barbalha e Missão Velha) na área de estudo, com valores de precipitações de 1974 a 2006, totalizando 33 anos. Não utilizamos a estação de Lameiro em Crato, pois ela tem dados somente de 1994 a 2006, totalizando apenas 13 anos.

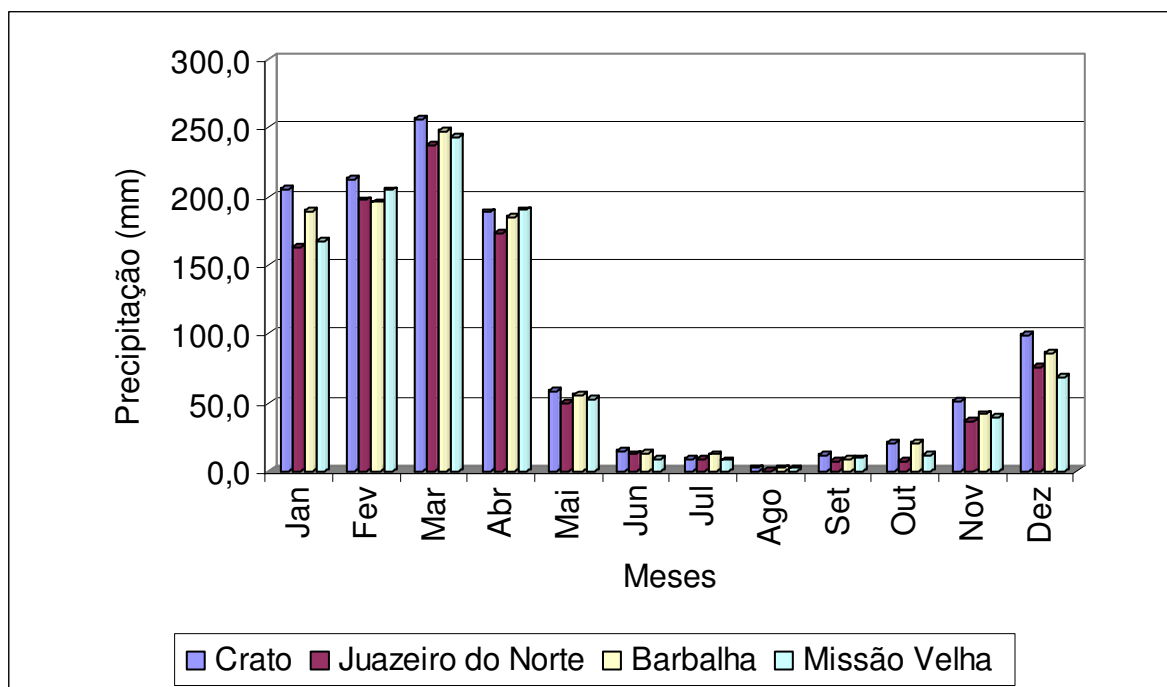
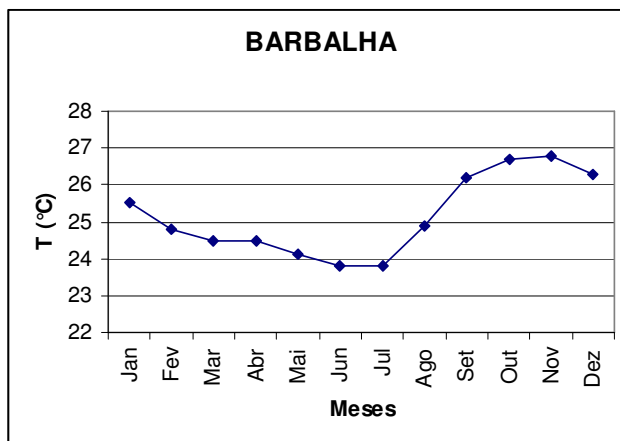


Figura 4.3- Hietograma de precipitações médias mensais (mm), no período de 1974 a 2006, na área de estudo.

Segundo dados da FUNCEME, nos últimos 33 (trinta e três) anos (1974 a 2006) os índices pluviométricos variaram, em média, entre a mínima de 0,3mm (Agosto, posto Juazeiro do Norte) e a máxima de 256,6mm (Março, posto Crato). As maiores precipitações ocorreram na quadra chuvosa janeiro / fevereiro / março / abril, com chuvas irregulares durante o resto do ano, com característica do clima semi-árido.

Os dados de temperatura, evaporação, umidade relativa do ar e insolação, foram obtidos da estação da FUNCEME, em Barbalha.

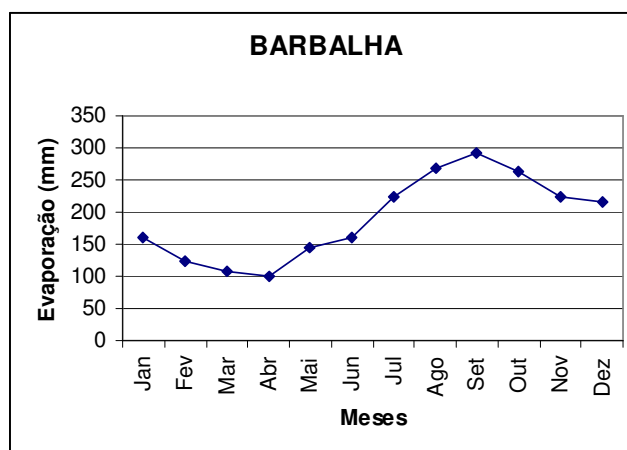
A média anual das temperaturas médias do período de 1980 a 2006 em Barbalha foi de 25,2 °C, com a mínima de inverno (junho e julho) de 23,8°C imediatamente após o período chuvoso. A época mais quente corresponde ao período seco, apresentando média mensal de 26,8 °C, (Figura 4.4).



Fonte: FUNCEME, 2007.

Figura 4.4 – Variação mensal da temperatura, em Barbalha.

A evaporação varia de mínima de 100,5mm no mês de abril e a máxima de 276,4mm no mês de setembro, apresentando um total de 2288,6mm/ano (Figura 4.5), em relação a uma precipitação média anual, das cinco estações na área de estudo, de 1051,5mm/ano (Tabela 4.1).

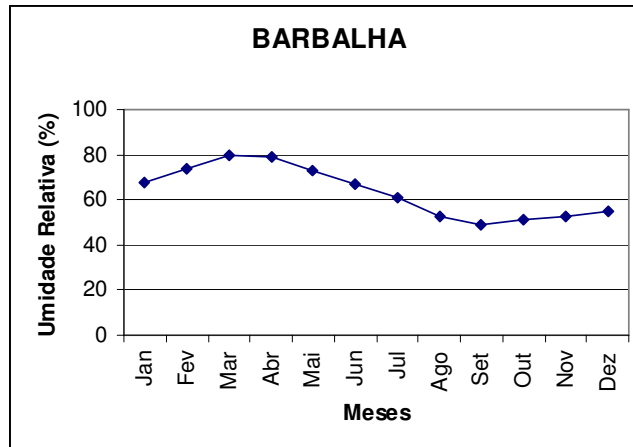


Fonte: FUNCEME,2007

Figura 4.5 – Variação da evaporação média mensal, em Barbalha.

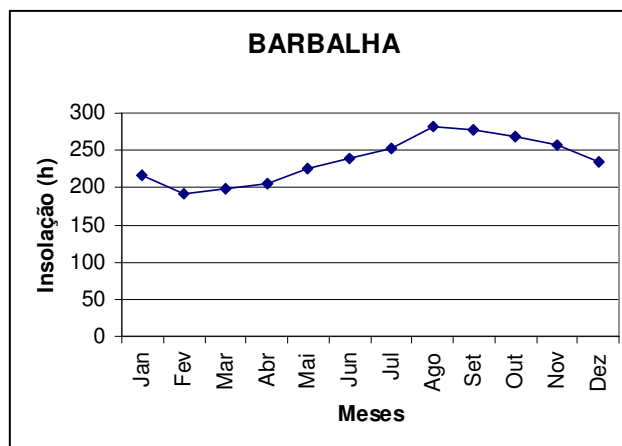


A umidade relativa do ar variou da mínima de 49% (setembro) a máxima de 80% (março), com média anual de 63,6% (Figura 4.6). A insolação apresentou um valor total anual de 2.848 horas, com mínima de 191,9 horas no mês de fevereiro e máxima de 281,8 horas no mês de agosto (Figura 4.7).



Fonte: FUNCEME, 2007.

Figura 4.6 – Variação média da umidade relativa do ar, em Barbalha.



Fonte: FUNCEME, 2007.

Figura 4.7 – Variação média da insolação, em Barbalha.

## 4.2. GEOMORFOLOGIA

O relevo apresenta formas variadas dependendo de vários fatores que atuaram na sua formação, dentre eles a geologia. A região do Cariri caracteriza-se por duas unidades geomorfológicas (SOUZA, 1997): a Chapada do Araripe e o Planalto Sertanejo (Figura 4.8).

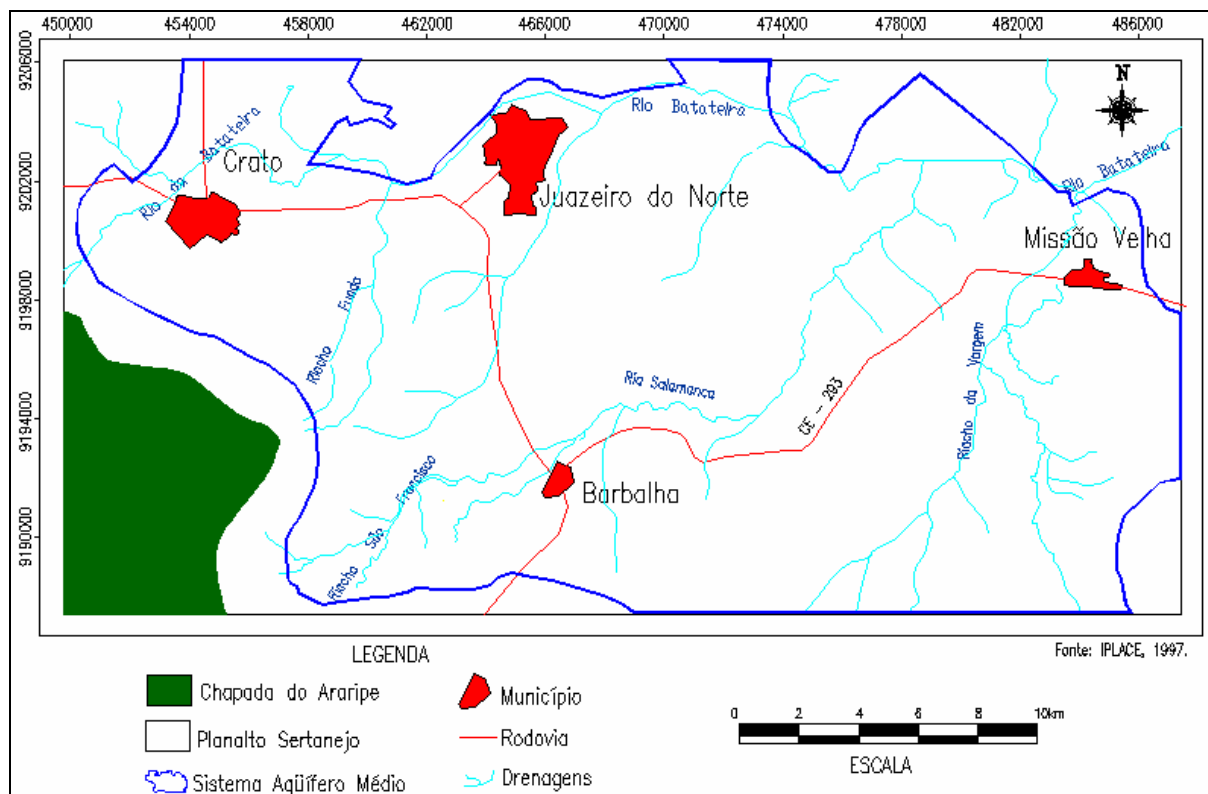
O estado do Ceará apresenta três elevações morfológicas sedimentares mais representativas, que são as chapadas do Araripe, Apodi e Ibiapaba. Pequena porção da Chapada do Araripe situa-se na parte sudoeste da área de estudo.

A Chapada do Araripe é sustentada por rochas cretáceas pertencentes ao Grupo Araripe. Os níveis altimétricos variam entre 800 e 1000m. De topografia bastante uniforme, o topo da chapada apresenta-se horizontal e estreitamente influenciado pela estratificação dos arenitos e siltitos da Formação Exu. Os rebordos da chapada estão quase sempre associados aos folhelhos com concreções calcárias e argilitos da Formação Santana.

O Planalto Sertanejo apresenta-se em forma semicircular bordejando o alto relevo da Chapada do Araripe, com cotas em torno de 350m. Apresenta relevo de topo plano, com índice de dissecação variando de 250 a 750m e drenagem de fraca intensidade.

Na área, esse planalto destaca-se por um aspecto geomorfológico representado pelos interflúvios tabulares esculpidos no sopé da chapada, em siltitos, arenitos, margas, folhelhos e calcários.

Os litotipos, a disposição das camadas e o suave mergulho ( $\approx 5^\circ$ ) para norte favorecem a ocorrência de fontes naturais, responsáveis pela alimentação dos rios e riachos da área.



**Figura 4.8 – Unidades geomorfológicas da área de estudo.**

### 4.3. SOLOS

Os primeiros trabalhos realizados no detalhando do conhecimento dos solos foram direcionados para a agricultura, pois o conhecimento dos solos constitui base importante para o desenvolvimento de varias atividades, em especial ligadas à agricultura. Os estudos de identificação, caracterização, classificação e mapeamento dos solos proporcionaram melhorias nos projetos agrícolas, irrigação, reforma agrária, conservação do solo e estudo dos recursos hídricos. Estudos realizados no estado do Ceará por LEITE & MARQUES (1997) definiram quatro classes de solos na área de estudo (Figura 4.9).

a) Latossolo Vermelho-Amarelo Álico – são solos desenvolvidos sobre arenitos da Formação Exu. São profundos, com textura média a argilosa, bem drenados, cores variando de vermelha até amarela, apresentando perfis do tipo ABC, com pouca diferenciação de horizontes. Para o uso agrícola, esses solos deverão ser tratados com técnicas de calagem com a finalidade de reduzir os efeitos tóxicos nas culturas. Podem ser utilizados para culturas cíclicas

(milho, feijão, mandioca), pastagem e fruticultura. Esses solos ocupam a área do topo da Chapada do Araripe, fator limitante para uso e ocupação, uma vez que se trata de zona de preservação permanente.

b) Litólicos Eutróficos – são solos desenvolvidos sobre a Formação Santana. Apresentam fertilidade natural, fortes restrições quanto à profundidade efetiva, presença de rocha, deficiência hídrica, grande suscetibilidade à erosão e declividade elevada (> 25%). Podem ser utilizados para culturas de milho, feijão e algodão.

c) Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico – inclui solos profundos, com textura variando de areia média a argilosa, cores entre vermelha/amarelada, amarela e vermelha. Têm como material de origem os sedimentos da Formação Brejo Santo e Rio da Batateira. Apresentam potencial elevado para agricultura, com restrições quanto ao relevo. Possuem alta suscetibilidade à erosão e deficiência hídrica, necessitando de adubação complementar. Pode ser utilizado para culturas de milho, feijão, mandioca, algodão e pastagem.

d) Aluviais Eutróficos – são solos poucos desenvolvidos, formados a partir da deposição de sedimentos fluviais não consolidados, de natureza e granulometria bastante variada, distribuindo-se ao longo das planícies dos principais rios da área. Possuem bom potencial agrícola, são propícios à irrigação desde que devidamente controlados, face ao risco de inundações nos períodos chuvosos. É utilizado em culturas de cana-de-açúcar, algodão e horticultura.

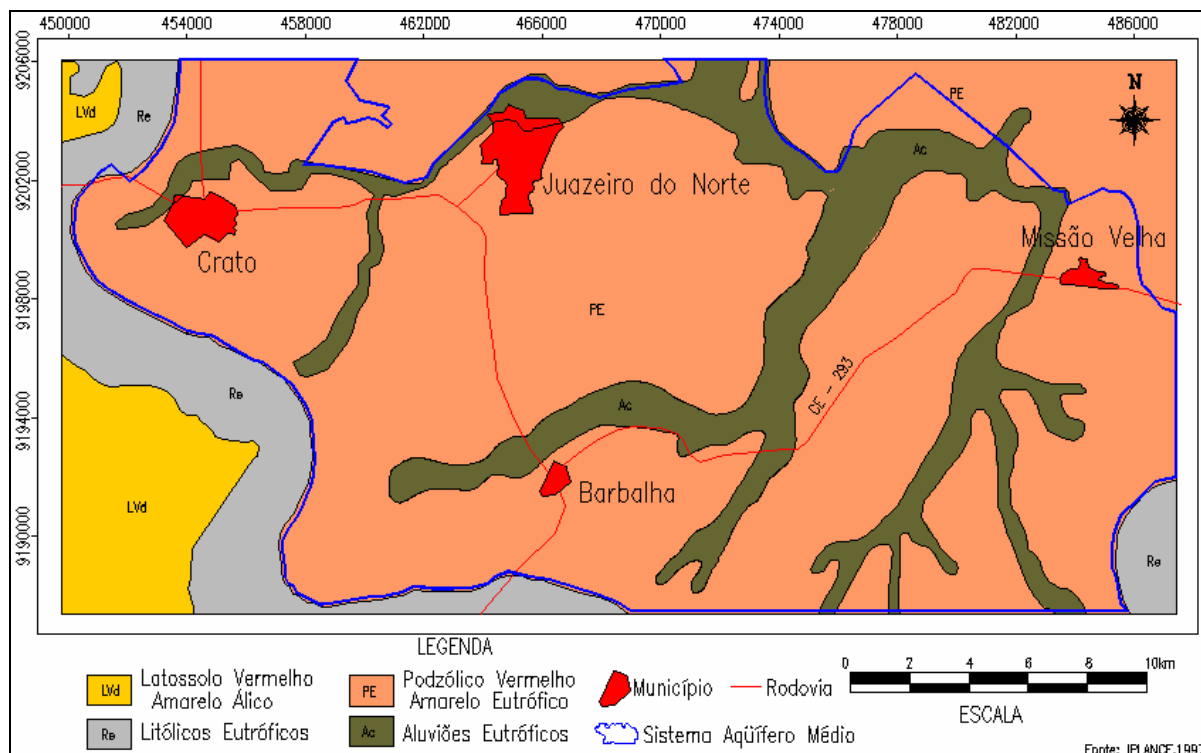


Figura 4.9 – Mapa de solos na área de estudo.

#### 4.4. VEGETAÇÃO

O estado do Ceará é a unidade política com maior percentual (70%) de semi-aridez em seu território. Em todo o mundo, observa-se a evolução das condições naturais caminhando na direção do aumento de aridez, confirmado pelos registros dos dados meteorológicos, pela intensa erosão observada nas camadas superiores dos solos e pelas perdas evidenciadas nas espécies da flora e fauna, algumas delas registradas, hoje, apenas fossilizadas.

A Chapada do Araripe é uma área de preservação permanente, situando-se em altitudes em torno dos 900,0m, com um clima mais ameno, proporcionando um equilíbrio natural para o desenvolvimento de varias espécies vegetal e animal. Ao lado da evolução ambiental proporcionada pelas condições naturais, nas áreas da chapada que estão fora da área de preservação permanente, ocorre um acelerado processo das ações provocadas pelo homem que sem diretrizes norteadoras da utilização dos recursos naturais, aplica métodos extrativistas sem o respeito à natureza, esquecendo que uma vez degradada uma área leva muito tempo para a recuperação desses recursos, somado aos altos custos na tomada de medidas mitigadoras.

A região do Cariri é constituída por quatro tipos de vegetação, ordenados do topo da Chapada do Araripe (sul) para o vale da bacia (norte), segundo FIGUEIREDO (1997), são: Floresta Subcaducifólia Tropical Xeromorfa (Cerrado), Floresta Subperenifólia Tropical Plúvio-Nebular (Mata Úmida), Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial (Mata Seca) e Floresta Caducifólia Espinhosa (Caatinga Arbórea) (Figura 4.10).

Floresta Subcaducifólia Tropical Xeromorfa (Cerrado) - ocorre na Chapada do Araripe, entre os níveis 800 e 1.000 m. As espécies vegetais apresentam características externas tais como: cascas suberosas, folhas largas, brilhantes e persistentes. Algumas espécies mais comuns são representadas pela Janaguba (*Himatanthus drasticus*), Faveira (*Dimorphandra gardneriana*), Piqui (*Caryocar coriaceum*), Louro-bravo (*Ocotea glomerata*) e Murici (*Byrsonima sericea*).

Floresta Subperenifólia Tropical Plúvio-Nebular (Mata Úmida) - localiza-se na vertente da chapada, denominada de Serra Úmida. A altitude e a exposição aos ventos úmidos são os principais determinantes da existência dessa floresta, considerando-se, ainda, a importância da água subterrânea, cuja ressurgência nas encostas da chapada contribui para a permanência da vegetação florestal. As árvores apresentam caules retilíneos, espessos, cobertos com líquens, orquídeas e samambaias. Algumas espécies mais comuns são representadas pelo Ingá (*Inga bahiensis*), Guabiraba (*Campomanesia dichotoma*), Pinheiro (*Podocarpus sellowii*) e Erva do Mato (*Palicourea aenveofusca*).

Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial (Mata Seca) – ocorre nas zonas abaixo das vertentes da chapada. As espécies são da mata úmida e da caatinga arbórea, cuja faixa de amplitude ecológica permite viver nesse ambiente, que reúne as espécies da mata seca. Algumas espécies mais comuns são representadas pelo Pau-D'arco-Roxo (*Tabebuia impetiginosa*), Mulungu (*Erythrina velutina*) e Timbaúba (*Enterolobium contortisiliquum*).

Floresta Caducifólia Espinhosa (Caatinga Arbórea) - caatinga é um termo indígena que denomina um tipo de vegetação xerófila que ocorre no semi-árido do Nordeste do Brasil. No Ceará, associada à unidade denominada "Carrasco", cobre cerca de 70% do estado e ocupa as áreas abaixo das matas secas. Os indivíduos apresentam porte da ordem de 20 m, espessura dos

caules maiores e a densidade é menor que as outras caatingas (800 indivíduos/ha). Algumas espécies mais comuns são representadas pela Aroeira (*Myracrodruon*), Imbu (*S. Tuberosa*) e Jucá (*C. Ferrea*).

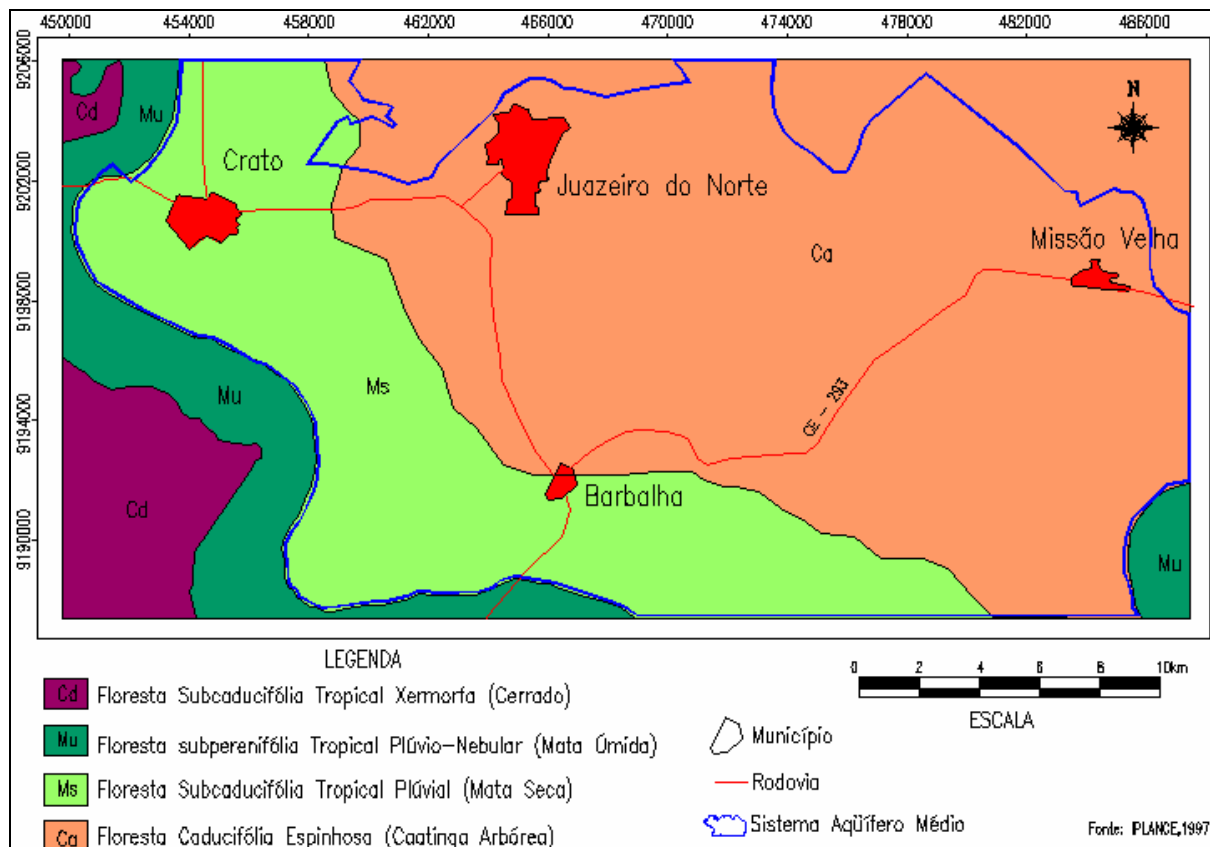


Figura 4.10 – Cobertura vegetal na área de estudo.

## 4.5. RECURSOS HÍDRICOS

Os recursos hídricos se dividem em subterrâneos e superficiais, integradas no ciclo hidrológico. Na região do Cariri as águas subterrâneas representam a base do desenvolvimento socioeconômico da região e constituem o principal mineral explorado pelas comunidades, ficando as águas superficiais em segundo plano.

### 4.5.1. Águas Subterrâneas

Um dos melhores sistemas aquíferos do estado do Ceará está na região do Cariri. O abastecimento público de água nas cidades de Juazeiro do Norte,

Crato, Barbalha, Missão Velha e mais 11 municípios é proveniente de água subterrânea, através de poços profundos (> 50m) ou fontes naturais, gerenciados principalmente pela CAGECE e empresas como o SAAEC, prefeituras municipais e FNS.

Na área em estudo pode-se distinguir três domínios hidrogeológicos distintos: rochas sedimentares, rochas cristalinas e depósitos aluvionares.

As rochas sedimentares são as mais importantes como sistemas aquíferos. Caracterizam-se por possuírem uma porosidade primária e, nos termos arenosos, uma elevada permeabilidade intrínseca ( $10^{-8} - 10^{-6} \text{cm}^2$ ), traduzindo-se em unidades geológicas com excelentes condições de armazenamento e fornecimento d'água. Na região do Cariri, o Sistema Aquífero Médio é considerado a unidade hidrogeológica mais importante e mais utilizada para abastecimento, detendo vazões que alcançam até  $300 \text{ m}^3/\text{h}$ . A Formação Mauriti, que faz parte do Sistema Aquífero Inferior, apresenta-se como alternativa para captação de água subterrânea.

As rochas cristalinas representam o que é denominado comumente de “aquífero fissural”. Como basicamente não existe uma porosidade primária nesse tipo de rocha, a ocorrência da água subterrânea é condicionada por uma porosidade secundária representada por fraturas e fendas, o que se traduz por reservatórios aleatórios, descontínuos e de pequena extensão. Dentro deste contexto, em geral, as vazões produzidas por poços são pequenas e a água, em função da falta de circulação e dos efeitos do clima semi-árido, na maior parte das vezes, apresenta valores de salinização superiores ao sistema sedimentar. Essas condições atribuem um baixo potencial hidrogeológico para as rochas cristalinas sem, no entanto, diminuir sua importância como alternativa de abastecimento em casos de pequenas comunidades ou como reserva estratégica em períodos prolongados de estiagem. Esse sistema é representado pelas rochas cristalinas do embasamento Pré-Cambriano, constituídas por granitos e gnaisses-migmatítico.

LEITE (1997) fez um estudo comparativo de salinização das águas armazenadas no Sistema Aquífero Médio Poroso e do Sistema Aquífero Inferior Fraturado, encontrando águas bicarbonatadas mistas para os dois sistemas com diferenças quanto ao valor de condutividade elétrica, sendo maiores no Sistema Aquífero Inferior Fraturado.



Os depósitos aluvionares são representados por sedimentos areno-argilosos recentes, que ocorrem margeando as calhas dos principais rios e riachos que drenam a região, e apresentam, em geral, uma boa alternativa como manancial, tendo uma importância relativa alta, do ponto de vista hidrogeológico, principalmente em regiões semi-áridas com predomínio de rochas cristalinas. Normalmente, a alta permeabilidade intrínseca ( $10^{-7} - 10^{-5} \text{cm}^2$ ), dos termos arenosos compensa as pequenas espessuras, produzindo vazões significativas.

#### 4.5.2. Águas superficiais

As drenagens superficiais da região encontram-se inseridas na Bacia Hidrográfica do rio Salgado, sendo formadas pelos rios Bastiões, Cariús e Salgado, que atravessam todo o Cariri; os rios Batateiras, Granjeiro, Salgadinho e Carás, na região compreendida entre Crato e Juazeiro do Norte, e os rios Salamanca e Santana, em Barbalha, desaguam no rio Salgado. No município de Missão Velha, a principal drenagem superficial é o rio Salamanca, destacando-se ainda os riachos Batateira, Lameirão, dos Porcos, Seco, Missão, Vargem, Santana e do Jenipapeiro de Cima, este último na divisa com o município de Aurora.

De acordo com MONT'ALVENE *et al.* (1996), as drenagens da Bacia do Araripe são alimentada pelas fontes perenes da borda da chapada, onde foram identificadas 265 fontes, com vazão total medida de 4.690,8 m<sup>3</sup>/h.

A hidrografia da bacia sedimentar que abrange o Cariri é caracterizada pelos seguintes fatores: ausência de rede de drenagem na parte superior da chapada; setor torrencial nas vertentes da chapada até as planícies, com contribuições em forma de fontes pontuais ou difusas; e zona de espraiamento (aluviões) depois das vertentes, onde são depositadas as cargas das torrentes (MONT'ALVENE *et al.*, 1996).

Nos quatro municípios existem mais de 36 espelhos d'água entre açudes e lagoas. Os principais açudes são: Manuel Balbino em Juazeiro do Norte e Thomás Osternes em Crato, com capacidade máxima de armazenamento de 37.181.000 e 28.787.000 m<sup>3</sup>, respectivamente.

## 5. GEOLOGIA

---

A Bacia Sedimentar do Araripe é uma bacia de evolução policíclica, apresentando rochas datadas desde o Silúrio-Devoniano no Paleozóico até o Cretáceo no Mesozóico. Está instalada sobre as rochas pré-cambrianas da denominada Província Borborema. Cobre uma área com cerca de 11.000 km<sup>2</sup>, e territorialmente engloba parte dos estados de Pernambuco, Ceará e Piauí, sendo o Ceará detentor da maior porção da bacia sedimentar.

### 5.1. ESTRATIGRAFIA DE SEQÜÊNCIA

A Bacia Sedimentar do Araripe está implantada sobre os Dobramentos da Província Borborema (BRITO NEVES, 1990). O desenvolvimento evolutivo tectono-estratigráfico da bacia engloba cinco seqüências, e de acordo com PONTE (1997) são: Gama, Pré-Rifte, Rifte, Pós-Rifte e Zeta (Quadro 5.1).

A Seqüência Gama apresenta idade presumível Siluro-Devoniana (SOARES *et al.*, 1987, apud MONT'ALVERNE *et al.*, 1996) e é a porção basal da Bacia do Araripe, estágio de formação em condições de plataforma estável, sendo constituída pelos arenitos da Formação Mauriti, representada por um sistema deposicional fluvial entrelaçado (arenitos médios a grosseiros) e eólico (arenitos finos).

A Seqüência Pré-Rifte é representada na bacia pelas formações Brejo Santo e Missão Velha, constituída por um sistema deposicional denominado flúvio-eólico-lacustrino. Esta seqüência constitui o estágio tectônico no Jurássico Superior que antecedeu o rifteamento Eo-Cretácio.

A Seqüência Rifte é constituída por um sistema deposicional flúvio-lacustre representada pela Formação Abaiara, sendo constituída por uma alternância de arenitos argilosos, finos a médios, siltitos, argilitos e folhelhos de cores variegadas.

A Seqüência Pós-Rifte é separada pela discordância Pré-Aptiana, compreendendo um ciclo deposicional transgressivo/regressivo dividido em três sistemas deposicionais distintos: Sistema Depositional Flúvio-Lacustre-Carbonático representado pela Formação Rio da Batateira e Membro Crato da

Formação Santana; Sistema Depositional Lagunar-Evaporítico e Marinho, incluindo os membros Ipubi e Romualdo da Formação Santana e, finalmente, o Sistema Depositional Flúvio Entrelaçado e Meandrante representado pelas Formações Arajara e Exu.

A Seqüência Zeta compreende as deposições no Cenozóico (Terciário-Quaternário).

Quadro 5.1 - Seqüência tectono sedimentar, cronoestratigrafia, litoestratigrafia e descrição litológica da Bacia do Araripe, Ceará.

Seqüência Tectono Sedimentar	Cronoestratigrafia		Litoestratigrafia		Descrição Litológica
	Era	Período	Grupo	Formação	
Seqüência Zeta	Cenozóica	Quaternário		Aluviões	Areia e cascalho
				Coberturas (arenosas e areno-argilosas) Depósitos de Tálus	Lateritas, arenitos e argilitos
		Terciário		Sedimentos das formações Arajara e Santana	
Seqüência Pós-Rifte	Mesozóica	Cretáceo	Araripe	Exu	Arenitos argilosos de granulometria variável, com leitões intercalados de arenitos grosseiros
				Arajara	Arenitos finos, argilosos ou caulíníticos e siltitos amarelos, estratificados
		Santana		Margas e folhelhos cinza, calcários, gipsita e anidrita	
		Rio da Batateira		Arenitos médios a grosseiros, mal classificados, argilosos e siltitos cinzas.	
-----Discordância Pré-aptiana-----					
Seqüência Rifte	Mesozóica	Cretáceo	Vale do Cariri	Abaicara	Arenitos argilosos intercalados com siltitos e folhelhos castanhos
Seqüência Pré-Rifte		Jurássico Superior		Missão Velha	Arenitos brancos, grosseiros, friáveis, mal selecionados, contendo madeira fóssil
				Brejo Santo	Folhelhos e siltitos variegados, com intercalações de arenitos finos, argilosos.
-----Discordância Pré-mesozóica-----					
Seqüência Gama	Paleozóica	Devoniano Siluriano		Mauriti	Arenitos quartzosos, grosseiros a médios, com estratificação cruzada
-----Discordância Pré-Siluriano-----					
Embasamento Pré-cambriano					Granitos, migmatitos, gnaisses, etc.

Fonte: Adaptada e Modificada de MONT'ALVERNE, 1996 e VERISSIMO, 1999.

## **5.2. UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS**

A estratigrafia da Bacia do Araripe adotada nesta Dissertação é a utilizada por PONTE (1990, 1992 e 1997) e por MONT'ALVERNE *et al.* (1996), onde é considerada a litoestratigrafia formal e a estratigrafia genética, que parte da identificação de seqüências tectono-estratigráficas naturais e dos sistemas deposicionais.

A coluna litoestratigráfica da bacia é constituída pelo embasamento cristalino Pré-Cambriano, Formação Mauriti; Grupo Vale do Cariri composto pelas Formações Brejo Santo, Missão Velha e Abaiara; Grupo Araripe: Formações Rio da Batateira, Santana, Arajara e Exu; e Depósitos Cenozóicos Tércio/Quaternários (Quadro 5.1 e Figura 5.1).

Na tentativa de exemplificarmos a profundidade média das espessuras das camadas utilizamos os dois poços estratigráficos existentes, um construído pela PETROBRAS em 1986, no município de Araripe (poço 2-AP-1-CE) e o poço 4-BO-1-PE construído pelo DNPM em 1994, no município de Bodocó – PE, os quais atingiram o embasamento cristalino, respectivamente a 1.490 e 916 m de profundidade, em contato direto com a Formação Brejo Santo, não tendo sido detectada, portanto, a Formação Mauriti (MONT'ALVERNE *et al.*, 1996).

### **5.2.1. Embasamento Cristalino**

As rochas cristalinas do embasamento Pré-Cambriano na área de estudo afloram na porção norte da cidade de Juazeiro do Norte, ocupando 5 km<sup>2</sup>. Constituem-se de granitos e gnaiss-migmatítico.

Tomando por base dos poços localizados na chapada, 2-AP-1-CE, no município de Araripe-CE, e o 4-BO-1-PE, no município de Bodocó-PE, os quais atingiram o embasamento cristalino a 1.490 e 916 m de profundidade, respectivamente. Portanto, essa profundidade é muito variável devido aos basculamentos tectônicos ocorrida na região do Cariri.

### **5.2.2. Formação Mauriti**

Na área de estudo, a Formação Mauriti ocorre na parte noroeste da cidade de Juazeiro do Norte (2,7km<sup>2</sup>), e ao norte de Missão Velha (29,3 km<sup>2</sup>), totalizando uma área de 32 km<sup>2</sup>.

Litologicamente é constituída por uma seqüência monótona de arenitos claros, quartzosos e/ou feldspáticos, de granulometria média a grossa, com grãos subangulares, mal selecionados, com estratificação cruzada. As associações de litofácies sugerem um sistema deposicional fluvial entrelaçado e eólico.

Essa formação faz contato direto com as rochas Pré-Cambrianas e é superposta discordantemente pela Formação Brejo Santo. A espessura varia entre 10 e 50 m (BEURLEN, 1963 e VEIGA, 1966). Nos poços 2-AP-1-CE e 4-BO-1-PE não foi detectada a referida formação.

### **5.2.3. Grupo Vale do Cariri**

Segundo PONTE & APPI (1990), o termo Grupo Vale do Cariri serve para designar o pacote de sedimentos terrígenos de idade neo-jurássica a eocretácia, limitado discordantemente pela Formação Mauriti, na base, e pelo Grupo Araripe no topo, sendo constituído pelas Formações Brejo Santo, Missão Velha e Abaiara.

#### **5.2.3.1. Formação Brejo Santo**

É designada como uma seqüência de folhelhos, argilitos e arenitos que ocorrem tipicamente nos arredores da cidade de Brejo Santo-CE, aflorando no leste da Bacia do Araripe. Na área de estudo, ocorre ao norte (13,3km<sup>2</sup>), a oeste (4,7km<sup>2</sup>) da cidade de Juazeiro do Norte, e ao leste de Missão Velha (7km<sup>2</sup>) totalizando 25km<sup>2</sup>. Através do poço 2-AP-1-CE, PONTE & APPI (1990) atribuem uma espessura entre 200 e 400 m.

Litologicamente é constituída na base, por uma alternância de arenitos finos com estratificações cruzadas, siltitos e argilitos vermelhos, contendo, localmente, intercalações de arenitos vermelhos. No topo, ocorrem argilitos e

folhelhos vermelhos, ou marrom-escuros, estratificados, com raros leitos de folhelhos verdes e fossilíferos. Seu contato inferior é com os arenitos da Formação Mauriti e o superior com a Formação Missão Velha.

#### **5.2.3.2. Formação Missão Velha**

Segundo PONTE & APPI (1990), as melhores exposições desta formação podem ser vistas próximo à cidade de Missão Velha-CE, de onde se origina o nome. Na área em estudo, ocorre em 43km<sup>2</sup> na cidade de Missão Velha e ao norte da mesma. Ela é constituída por arenitos grosseiros, mal selecionados, de coloração esbranquiçada ou amarelada, mostrando estratificação cruzada e leitos conglomeráticos. Através do poço 2-AP-1-CE, observa-se uma espessura de 187 m.

Segundo PONTE (1990), o conjunto de litofácies sugere um sistema deposicional flúvio-lacustre e eólico. Seu contato inferior é com a Formação Brejo Santo (Jurássico Superior) e o superior é com a Formação Abaiara (Cretácio Inferior).

#### **5.2.3.3. Formação Abaiara**

A Formação Abaiara (Cretácio Inferior) representa o pacote de sedimentos que constitui a parte superior do Grupo Vale do Cariri e ocorre tipicamente ao sul da cidade de Abaiara-CE. Suas áreas de exposição são pequenas, concentrando-se no Vale do Cariri. Baseado no poço 2-AP-1-CE atribui-se a essa unidade uma espessura de 124m. Na área em estudo não existe afloramentos dessa formação.

Ela é constituída por intercalações bem estratificadas de arenitos micáceos cinza, amarelos ou avermelhados, argilosos e friáveis com siltitos, argilitos e folhelhos de cores variegadas (verde oliva, vermelho, cinza e amarelo).

O conjunto de litotipos e o conteúdo fossilífero (ostracodes de biozonas) dessa formação são indicativos de sedimentação de origem lacustre rasa, deltáico-lacustre, de planícies de inundação fluvial e fluviais meandrantas, de baixa energia (PONTE, 1992). Seu contato inferior é com a

Formação Missão Velha (Jurássico Superior) e o superior com a Formação Rio da Batateira (Cretácio Médio).

#### **5.2.4. Grupo Araripe**

Segundo PONTE & APPI (1990), o Grupo Araripe é constituído pelas Formações Rio da Batateira, Santana, Arajara e Exu, todas do Cretáceo Médio.

##### ***5.2.4.1. Formação Rio da Batateira***

O termo Rio da Batateira foi proposto por PONTE & APPI (1990) para definir a seção terrígena basal da seqüência Pós-Rift que constitui o Grupo Araripe. O nome deriva de uma seção-tipo que aflora por cerca de 3 km ao longo do rio da Batateira, a partir da vila da Batateira na zona suburbana da cidade do Crato-CE em direção à Chapada do Araripe. Através do poço 2-AP-1-CE, foi identificada uma seção de 198m dessa unidade, entre os intervalos de 514 a 712m de profundidade. Na área de estudo, aflora ocupando 40% da área (275km<sup>2</sup>).

A descrição litológica inicia-se do topo para a base por bancos de arenitos brancos e amarelos, médios a grosseiros, mal selecionados, com estratificações cruzadas. Intercalam-se arenitos médios e siltitos argilosos bem estratificados. Encerra-se com uma camada de folhelhos verde-oliva e negros, orgânicos e fossilíferos.

O conjunto litológico dessa formação é indicativo de sedimentação de origem flúvio-lacustre-carbonática, definido por PONTE & APPI (1990). Seu contato inferior é com a Formação Abaiara (Cretácio Inferior) e o superior com a Formação Santana.

##### ***5.2.4.2. Formação Santana***

Depois de várias discussões entre vários estudiosos quanto a divisão em subunidades da Formação Santana, PONTE & APPI (1990) a subdividiram em três membros: Crato, Ipubí e Romualdo, com as seguintes características:

- Membro Crato - identificado como a base da Formação Santana e constituído, da base para topo, por folhelhos cinza, castanho-escuros e negros, calcíferos, laminados e calcários micríticos cinza-claros e creme argilosos. Tem espessura média de 50m. SILVA (1983) denominou esses sedimentos de "Lago Araripe" por representarem fácies centrais de um sistema deposicional lacustre.

- Membro Ipubi - apresenta uma espessura média de 30m, constituído por bancos de gipsita e anidrita, com intercalações de folhelhos cinza e verdes. Segundo SILVA (1983), a camada evaporítica representa o clímax de uma seqüência sedimentar em um lago interior com águas salinas e é onde se encontram os grandes jazimentos de gipsita.

- Membro Romualdo - é constituído por folhelhos, margas e calcário de cor cinza-esverdeada, com um horizonte cabonático contendo peixes fossilizados. A espessura do membro Romualdo varia de 2 a 15m segundo MORAES *et al.* (1976 apud MONT'ALVERNE *et al.*, 1996). Essa formação tem sua área de domínio na parte oeste, contornando a chapada, com 41km<sup>2</sup>, e uma pequena porção a leste (6km<sup>2</sup>), totalizando 47km<sup>2</sup> da área em estudo.

#### **5.2.4.3. Formação Arajara**

A denominação de Formação Arajara foi adotada por PONTE & APPI (1990) para classificar a seção que aflora ao longo da estrada Crato-Arajara, daí a origem do nome, e nos cortes da rodovia federal BR-316, a oeste de Araripina-PE. Aflora numa faixa quase contínua, por toda extensão da bacia, bordejando o sopé da escarpa da Chapada do Araripe, ocupando uma área de 18 km<sup>2</sup>.

Litologicamente é constituída de siltitos, argilitos, arenitos finos argilosos e/ou cauliniticos, bem estratificados, exibindo estruturas sedimentares (marcas onduladas, laminações cruzadas e eventualmente estruturas de fluidização) e coloração variegada, predominando as tonalidades vermelha e amarela sobre as demais.

PONTE & APPI (1990) atribuem uma espessura de 100m identificada nos poços 2-AP-1-CE e 4-BO-1-PE (intervalo de 237,0 a 337,0m de



profundidade). A espessura da formação, levando-se em conta os dados de superfície, é difícil de ser estimada, pois na maioria das vezes encontra-se recoberta por depósitos de tálus provenientes dos arenitos de Formação Exu. Baseado em estudos paleoclimatológicos, LIMA (1978 *apud* PONTE & APPI, 1990) diz que essa unidade se depositou em condições climáticas quentes e áridas.

#### **5.2.4.4. Formação Exu**

Esta formação representa o topo da Chapada do Araripe, sendo constituída por uma seqüência monótona de arenitos vermelhos friáveis, argilosos, em geral caulínicos, de granulometria variável. Apresenta leitões intercalados de arenitos grosseiros a conglomeráticos. O conjunto desses litotipos constitui bancos grosseiramente acamadados, com estratificações cruzadas, evidenciando litofácies típicas de depósitos fluviais (PONTE & APPI, 1990).

Os afloramentos dessa formação ocupam uma área de 39km<sup>2</sup>, apresentando espessuras com valores entre 150 a 200m na parte leste da chapada, e em torno de 100m na parte oeste. Através dos poços 4-BO-1-PE e 2-AP-1-CE foram identificadas, em sub-superfície, espessuras de 237 e 243m, respectivamente (PONTE & APPI, 1990).

#### **5.2.5. Depósitos Cenozóicos - Terciário/Quaternário**

Os sedimentos cenozóicos encontram-se representados pelas coberturas Tércio-Quaternárias arenosas, areno-argilosas e areno-siltico argilosas, denominados de depósitos de Tálus e pelas aluviões Quaternárias abrangendo uma área de 218km<sup>2</sup>.

As coberturas terció-quaternárias do Vale do Cariri estão relacionadas, principalmente, à Formação Rio da Batateira. Os depósitos quaternários compreendem as aluviões dos rios existentes na bacia, destacando-se, entre eles, Batateira, Salamanca, Vagem, Salgadinho, Jenipapeiro, São Miguel, Violeta e Mameluco.

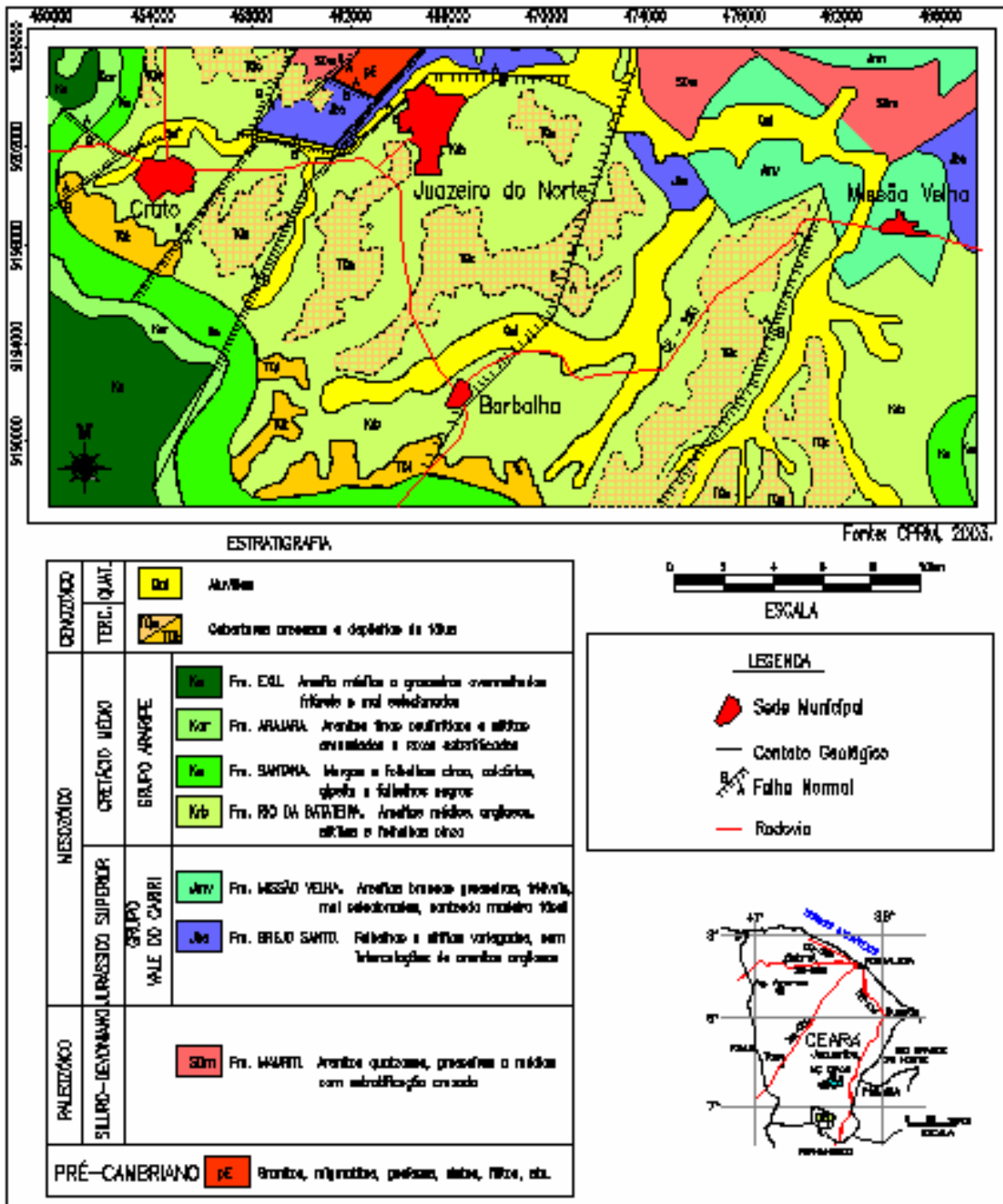


Figura 5.1 – Geologia da área de estudo.

### 5.3. ARCABOUÇO ESTRUTURAL

Os primeiros trabalhos desenvolvidos na Bacia do Araripe estavam relacionados a definição da sua estratigrafia sedimentar, não havendo preocupação com a análise do sistema tectono-estrutural. BRAUN, 1966 (*apud* MONT'ALVENE, *et al.* 1996) considerando o sistema tectônico existente entre as unidades sedimentares presentes na bacia, dividiu a coluna estratigráfica em dois compartimentos estruturais, cuja denominação foi Grupo Pré-Tectônico (Silúrio-Devoniano/Jurássico) e o Grupo Pós-Tectônico (Cretáceo).

Os trabalhos que foram mais aceitos quanto ao aspecto tectono-estrutural nesta região foram os trabalhos de GHIGNONE *et al.* (1986), BRITO NEVES (1990) e PONTE FILHO (1992).

GHIGNONE *et al.* (1986), estudando a porção da bacia que corresponde ao Vale do Cariri, individualizaram sete blocos estruturais distintos, denominando-os de Missão Velha; Crato-Corredores; Mauriti; Mararupá-Anauá; Brejo Santo; Serrote das Cacimbas e São Miguel. Mesmo tendo definido e descrito todos esses blocos, afirmam que as feições estruturais mais importantes eram: 1 ) o bloco de Crato-Corredores, subdividido em blocos menores, com “grabens e horsts” arqueados; 2 ) o Meio-Graben de Serra das Cacimbas; 3) o Horst de Mauriti, localizado entre os dois primeiros. Continuando com a análise estrutural, concluem que os blocos restantes representam centros de resistência ao aprofundamento e, em consequência, consignam falhamentos secundários, incidentes sobre as vias principais de abatimento.

BRITO NEVES (1990) coloca a Bacia do Araripe como tipicamente cratônica policíclica. Com o auxílio de mapas sísmicos, gravimétricos, esquemáticos-estruturais e geológicos, identifica, de oeste para leste, os blocos estruturais de direção NE-SW, denominados de Alto Araripina-Quinquererê (herdado de embasamento), Alto Dom Leme, Horst de Barbalha, Alto de Milagres, Horst de Mauriti-Brejo Santo, Fronteira PB-CE; e Sub-Bacias/Baixos de Feira Nova, Crato-Juazeiro, Missão Velha, Mararupá-Anauá e São Miguel-Serrote das Cacimbas.

PONTE FILHO (1992) distinguiu dois compartimentos estruturais superpostos: o Inferior ou Riftes Neocomianos, caracterizado por bacias do tipo rifte, (eo-cretácicas) ocupando depressões de embasamento, e o Superior representado pela cobertura tabular, sub-horizontal meso-cretácica que constitui a Chapada do Araripe.

Estruturalmente, a sub-bacia do Cariri é formada por quatro “Grabens” unitários (Crato-Juazeiro, Missão Nova, Jenipapeiro e Serrote das Cacimbas-Palestina), sendo eles colaterais, assimétricos, com orientações que variam de N40° a 55°E, separados por três “horsts” (Barbalha, Abaiara e Brejo Santo-Mauriti), que formam cristas intrabacinais, limitadas por falhas tencionais e planares (Figura 5.2).

A sub-bacia do Cariri, localiza-se sob a cobertura tabular meso-cretácica da chapada do Araripe e é representada pelas formações Brejo Santo, Missão Velha e Abaiara. Tem direção NE-SW, com limites a leste pelo Horst de Dom Leme e a oeste pela plataforma Araripina-Pajeú. Recobrimo, discordante, os riftes neocomianos e o embasamento circudante, encontra-se a cobertura tabular sub-horizontal meso-cretácica formada pelas Formações Rio a Batateira, Santana, Arajara e Exu. As maiores profundidades (1.400m) foram estimadas por métodos geofísicos gravimétricos e estão no “Graben” Crato-Juazeiro (PONTE & PONTE FILHO, 1996). A área de estudo está situada no “Graben” Crato-Juazeiro e “Horst” Barbalha (Figura 5.2).

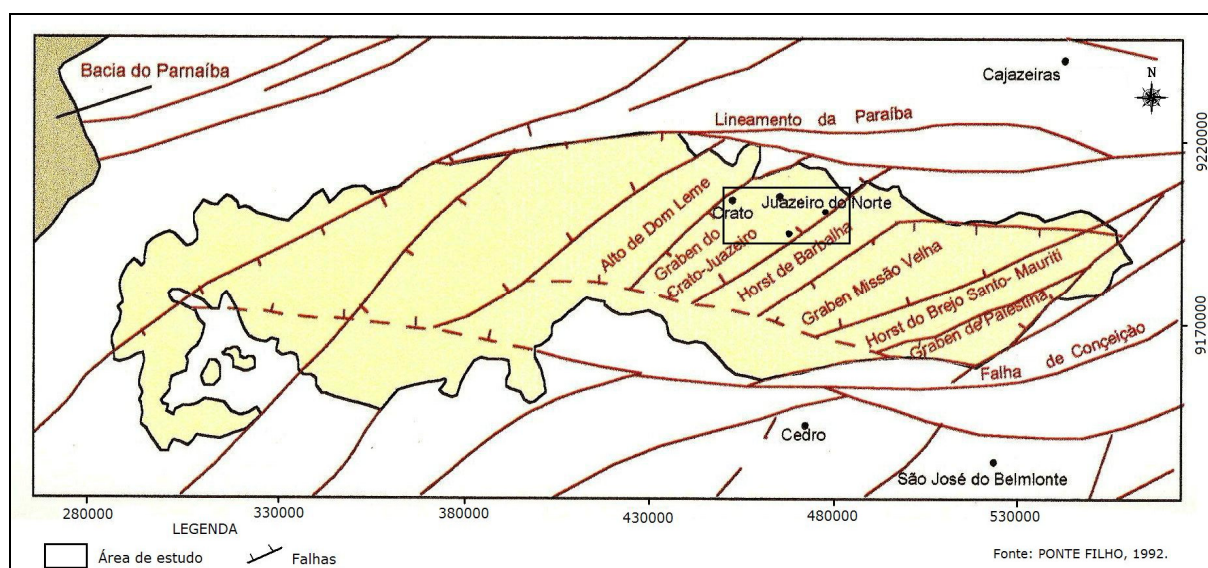


Figura 5.2 – Arcabouço estrutural da Sub-Bacia do Cariri - Bacia do Araripe – Ceará.

## 6. HIDROGEOLOGIA

---

Em termos de importância hidrogeológica, a região do Cariri é de grande interesse em virtude de contemplar um dos melhores sistemas aquíferos do estado, somado a pequena profundidade, sendo susceptível de exploração a partir de poços com profundidade média de 80m no Sistema Aquífero Médio. Por um lado, temos essa facilidade de exploração porém, por outro, temos uma maior vulnerabilidade do sistema aquífero em algumas porções da área de estudo, associado ao nível d'água raso do aquífero.

Optamos por adotar a classificação sugerida por MONT'ALVERNE *et al.* (1996) no trabalho realizado pelo DNPM, Recife, intitulado "Projeto Avaliação Hidrogeológica da Bacia Sedimentar do Araripe", que classificaram cinco sistemas hidrogeológicos.

A Bacia Sedimentar do Araripe apresenta uma diversidade litológica caracterizada por alternâncias de arenitos, siltitos, calcários, argilitos e folhelhos. A partir dessa diversidade litoestratigráfica, identifica-se a formação de uma alternância de aquíferos, aquíferos e aquícludes, que apresentam características variáveis também com relação à localização; isto é, variam espacialmente, mostrando descontinuidades verticais e laterais.

MONT'ALVERNER *et al.* (1996) considerando a similitude de características hidrogeológicas, a imprecisão na descrição de grande parte dos perfis litológicos e a pequena profundidade dos poços tubulares, adotou a seguinte divisão hidrogeológica na Bacia do Araripe (Figura 6.1):

- a. Sistema Aquífero Superior (Formações Exu e Arajara), apresenta aproximadamente 320m de espessura;
- b. Aquíclode Santana tem aproximadamente 180m de espessura;
- c. Sistema Aquífero Médio (Formações Rio da Batateira, Abaiara e Missão Velha) tem aproximadamente 500m de espessura;
- d. Aquíclode Brejo Santo tem aproximadamente 400m de espessura, e;
- e. Sistema Aquífero Inferior (Formação Mauriti e parte basal da Formação Brejo Santo) com 60 a 100m de espessura.

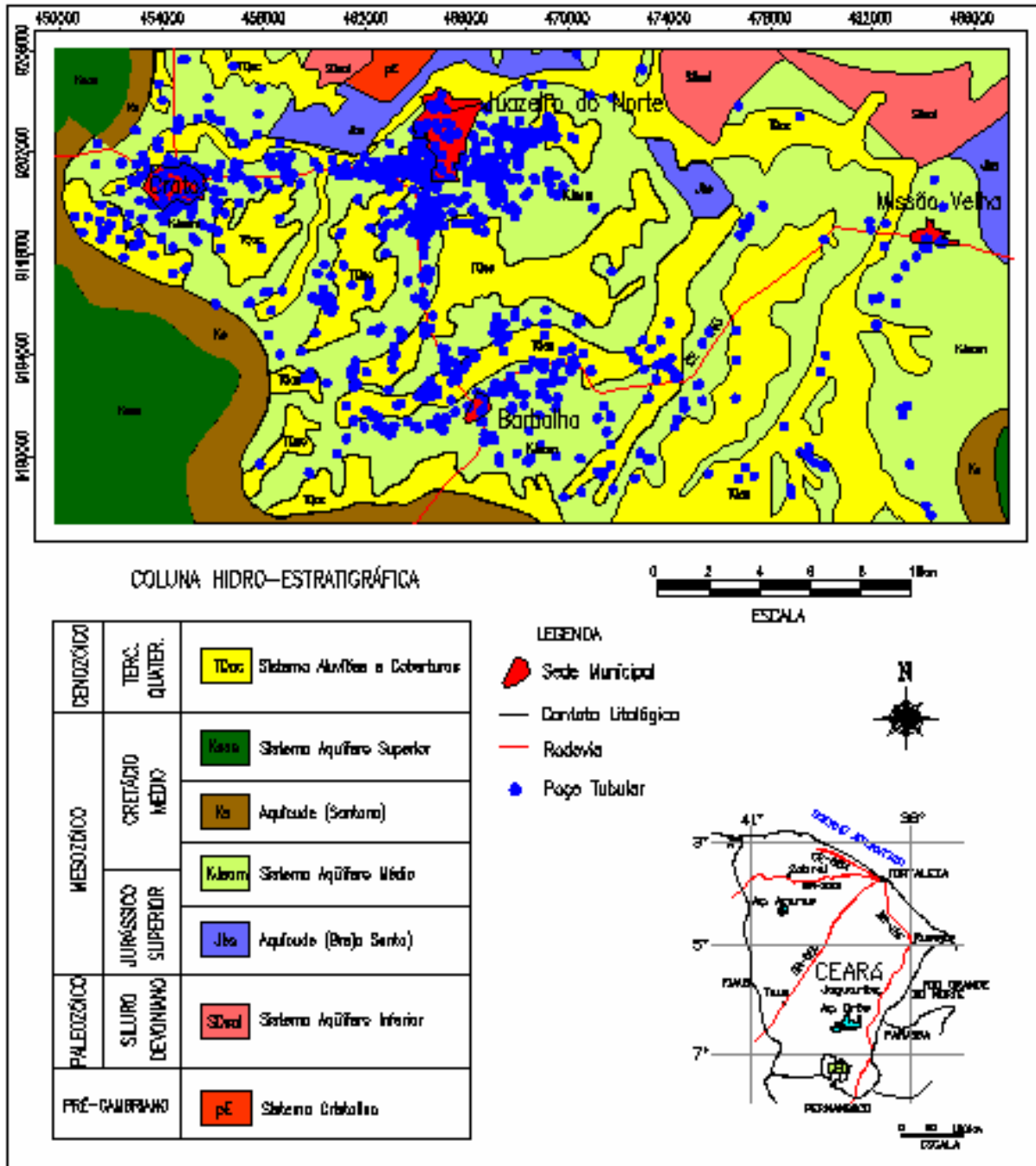


Figura 6.1 - Sistemas Hidrogeológicos e distribuição espacial das poças tubulares na área de estudo.

A utilização por alguns moradores de águas mais rasas na região tanto para consumo humano como para irrigação, ocorre no sistema representado pelas aluviões e as coberturas terció-quaternárias em parte da área.

A partir de vários perfis sísmicos apresentados por PONTE (1993, *apud* MONT'ALVERNE *et al.*, 1996), foi feita uma avaliação aproximada dos depósitos sedimentares acumulados em cada situação estrutural da bacia (Quadro 6.1).

Neste capítulo são abordados, resumidamente, os sistemas aquíferos identificados por MONT'ALVERNE *et al.* (1996), sendo dado destaque para o Sistema Aquífero Médio em função de estar situado em uma maior porção da área de estudo, ressaltando-se que o Arquivo de Dados de Poços elaborado para esta Dissertação só contém dados desse sistema aquífero.

No Quadro 6.2 é apresentado um resumo das características hidrogeológicas dos sistemas aquíferos, sendo individualizadas as formações geológicas e os períodos de formação dos sedimentos na Bacia do Araripe.

Compartimentos Estruturais	Área km <sup>2</sup>	Fm. Mauriti		Fm. Brejo Santo		Fm. M. Velha + Fm. Abaiara		Fm. Rio da Batateira		V.S. Total x10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup>
		Espessura Média(m)	V.S. x10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup>	Espessura Média(m)	V.S. x10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup>	Espessura Média(m)	V.S. x10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup>	Espessura Média(m)	V.S. x10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup>	
Graben do Crato – Juazeiro	245,0	79,5	19,5	397,4	97,4	248,7	61,0	197,4	48,4	226,3
Horst de Barbalha	145,0	24,7	3,6	222,2	32,2	98,7	14,3	98,7	14,3	64,4

Fonte: MONT' ALVERNE, 1996, modificado.

V. S. = Volume de Sedimentos

Quadro 6.1 – Parâmetros dimensionais dos sedimentos nos compartimentos estruturais na Sub-Bacia do Cariri.



Quadro 6.2 - Características hidrogeológicas na Bacia do Araripe.

	PERÍODO	FORMAÇÃO	CONSTITUIÇÃO LITOLÓGICA	CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS
Aluviões e Coberturas	QUATERNÁRIO	Aluviões	Areia e cascalho	Condutividade hidráulica média a alta. Recarga direta dos rios e chuvas. Bom para poços de grandes diâmetros e tubulares rasos
	TERCIÁRIO	Coberturas Arenosas	Lateritas, arenitos e argilitos	Condutividade hidráulica baixa a média. Tem função de realimentar o aquífero subjacente. Recomendado para poços escavados de grandes diâmetros.
Depósito de Tálus		Sedimentos das formações Arajara e Santana		
Sistema Aquífero Superior	CRETÁCEO	Exu	Arenitos argilosos, caulíníticos, de granulometria variável. Leitões intercalados de arenitos grosseiros.	Condutividade hidráulica alta. Recarga direta da chuva para os aquíferos subjacentes através das fontes e infiltração direta. Fraca potencialidade hidrogeológica. Espessura entre 150 a 200 m. Nível estático muito profundo
		Arajara	Siltitos, argilitos, arenitos finos argilosos ou caulíníticos	Condutividade hidráulica baixa. Recebe água por infiltrações através da Fm. Exu. Fraca potencialidade hidrogeológica. Espessura média de 100 m.
Aquiclude		Santana	Folhelhos, calcários, margas, níveis de gipsita e anidrita	Condutividade hidráulica baixa. Potencialidade hidrogeológica fraca. Espessura média 180 m.
		Sistema Aquífero Médio	Rio da Batateira	Arenitos médios a grosseiros, mal classificados. Arenitos médios e siltitos argilosos.
Abaiara	Arenitos argilosos intercalados com siltitos e folhelhos castanhos.		Condutividade hidráulica média. Recarga direta da chuva e dos rios. Média potencialidade hidrogeológica. Espessura média 90 m.	
Sistema Aquífero Inferior	JURÁSSICO	Missão Velha	Arenitos brancos grosseiros, friáveis, mal selecionados, contendo madeira fóssil	Condutividade hidráulica alta e de excelente potencialidade hidrogeológica. Alimentação direta da chuva e dos rios. Atende demanda de até 300m <sup>3</sup> /h de vazão. Espessura em torno 100 m.
		Brejo Santo	Folhelhos e siltitos variegados, com intercalações de arenitos finos argilosos e vermelhos.	Condutividade hidráulica fraca. Espessura em torno de 350 m.
	SILURO DEVONIANO	Mauriti	Arenitos quartzosos, grosseiros a médios, com estratificação cruzada.	Condutividade hidráulica média. com espessura em torno de 65 m.

Fonte: Veríssimo, 1999, modificado.

## **6.1. ALUVIÕES E COBERTURAS TÉRCIO-QUATERNÁRIAS**

Este sistema aquífero é representado pelas aluviões e coberturas arenosas e areno-argilosas no Tércio-Quaternário, possuindo média a alta permeabilidade e média potencialidade hídrica.

As aluviões ocorrem margeando as calhas das principais drenagens que cortam a área, situadas na parte norte, sul do lado leste, com direção sudoeste-nordeste, abrangendo uma área de 90,8 km<sup>2</sup>. Sua expressão maior está nas margens do rio Batateira que drena os municípios de Crato e Juazeiro do Norte, e do rio Salamanca, no município de Barbalha, ambas variando predominantemente entre 1 e 2 km de largura.

É comum a construção de poços amazonas nessas aluviões, com a finalidade do uso na irrigação, para cultivo principal da cana-de-açúcar. Normalmente, as zonas aluvionares apresentam altas permeabilidades e porosidades que compensam as pequenas espessuras.

As coberturas arenosas e areno-argilosas do Tércio-Quaternário ocorrem por toda a porção central da área (127,2km<sup>2</sup>) e tem como principal função a realimentação dos aquíferos subjacentes. Situam-se predominantemente entre as cotas 440 a 480m, pediplano da chapada.

A recarga desse sistema é feita principalmente pela precipitação pluviométrica direta e de drenagens influentes, provindas das fontes naturais no topo da chapada, base da Formação Exu. Como exutórios tem-se a rede de drenagem efluente e a recarga dos aquíferos subjacentes.

As aluviões e coberturas constituem-se na alternativa mais barata em termos de captação de água, onde os poços são construídos manualmente. São de pequena profundidade (<10m) e grandes diâmetros. No campo foi visitado um poço amazonas no município de Barbalha, com aproximadamente 21m de diâmetro, 8m de profundidade e 3m de lâmina d'água, onde a parede de revestimento estava quebrada de um lado (Foto 6.1).



Foto 6.1 – Poço amazonas no município de Barbalha. 468760W / 9195274S. (03/05/2007).

Esse sistema não será detalhado, pois na maioria dos casos a captação é feito por poço amazonas, onde o Arquivo de Dados de Poços (ANEXO 01) possui apenas poços tubulares. Esse sistema é o que apresenta um elevado risco e vulnerabilidade a contaminação na região, por apresentarem os níveis d'água mais rasos e boa permeabilidade do sistema que facilitam a infiltração de contaminantes, devendo assim se ter o máximo de cuidado com o lançamento de poluentes.

## 6.2. SISTEMA AQÜÍFERO SUPERIOR

Esse sistema não apresenta características hidrodinâmicas uniformes nas duas formações envolvidas, pois a Exu apresenta maior permeabilidade do que a Arajara, explicada pela composição litológica, sendo a primeira mais arenosa, e a segunda mais argilosa, funcionando mais como um aquitardo de que um aquífero. Esse sistema pertencente ao Grupo Araripe do Cretácio

Médio, com 57km<sup>2</sup> de exposição. Espacialmente, ocorre na porção oeste e sudeste da área.

A Formação Exu constitui o topo da chapada, com altitudes entre 900 e 1.000 m e a Arajara ocorre bordejando o sopé da chapada, com cotas variando entre 760 e 900 m. MONT'ALVERNE *et al.* (1996) atribuem a esta unidade uma espessura média de 320 m e mergulho suave de 5° para norte, sendo confirmado pelo maior número de fontes naturais que escoam para o lado norte no estado do Ceará.

Existem diferenças na espessura de um local para outro, devendo-se, em primeiro lugar, a processos erosivos no topo da superfície e, em segundo, a ocasionais basculamentos tectônicos sofridos por blocos, provocados por reativação dos falhamentos que ocorreram no Neocomiano (MONT'ALVERNE *et al., op. cit.*).

A recarga desse sistema é realizada pela precipitação pluviométrica direta, observando-se ausência de drenagem no topo da chapada provocada pela presença de um solo muito arenoso e poroso. A recarga é de aproximadamente 100x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ano em toda a chapada do Araripe (MONT'ALVERNE *et al., op. cit.*).

Como descarga têm-se a evapotranspiração e as fontes naturais, classificadas como exutórios naturais formados a partir da infiltração de água no topo da chapada, que desce por gravidade até o contato com a Formação Arajara, de caráter argiloso. Do total de 344 fontes cadastradas por MONT'ALVERNE *et al. (op. cit.)*, cerca de 85% (294) escoam para o Ceará, com vazão média de 18 m<sup>3</sup>/h, contribuindo com 44x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ano. Nos municípios de Barbalha e Crato encontram-se nove (9) fontes de maiores vazões, com valores superiores a 100 m<sup>3</sup>/h, e em Missão Velha uma (01) com vazão de 352m<sup>3</sup>/h.

Na área de estudo não foi localizado nenhum poço nesse sistema. No município de Ipubi, existe um poço captando água de uma camada arenosa de 9 m de espessura na base da Formação Arajara (poço de Serrolândia I) com profundidade de 178 m; nível estático de 93,4 m e uma vazão de 1,2 m<sup>3</sup>/h.

### **6.3. AQUICLUDES BREJO SANTO E SANTANA**

Este sistema apresenta predominância de litotipos de baixa permeabilidade (calcários, argilitos, folhelhos e níveis de gipsita) e pequena potencialidade hídrica (níveis arenosos e fraturas), constituído pelas formações Brejo Santo (Jurássico Superior) e Santana (Cretáceo Médio) classificado como aquíclode, isto é formação geológica que pode conter água (até mesmo em quantidades significativas) mas é incapaz de transmiti-la em condições naturais.

A Formação Brejo Santo aflora ao norte (13,3 km<sup>2</sup>), a oeste (4,7 km<sup>2</sup>) da cidade de Juazeiro do Norte e ao leste de Missão Velha (7 km<sup>2</sup>), totalizando 25km<sup>2</sup>. Apresenta-se entre as cotas de 400 a 440 metros, com espessura em torno de 300 metros. É designada como uma seqüência de folhelhos, argilitos e arenitos.

A Formação Santana aflora nas porções sudoeste e noroeste da área, bordejando o sopé da chapada, correspondendo a 41 km<sup>2</sup> de parte aflorante e cotas variando entre 560 a 650m e uma pequena porção a leste (6km<sup>2</sup>). Estudos realizados por MONT'ALVERNE *et al.* (1996) indicam uma espessura em torno de 200 metros. Essa formação é constituída por folhelhos cinza, castanho-escuros e negros, calcíferos, laminados e calcários micríticos cinza-claros e creme argilosos, bancos de gipsita e anidrita, com intercalações de folhelhos cinza e verdes, com um horizonte carbonático contendo fósseis de peixes.

Apesar desse sistema ser formado por material pelítico, ele pode ser explotado de maneira restrita nas intercalações arenosas e nas cavidades abertas dentro do calcário. A recarga ou renovação nesse sistema é impossibilitada devido às espessas camadas impermeáveis (MONT'ALVERNE *et al.*, *op. cit.*).

### **6.4. SISTEMA AQUÍFERO INFERIOR**

Este sistema aquífero é caracterizado predominantemente pela Formação Mauriti, que aflora numa reduzida área na parte noroeste da cidade de Juazeiro do Norte e ao norte de Missão Velha, resultando em 32km<sup>2</sup> (5%

do total da área); porém, esta camada arenítica silicificada ocorre na sua maior parte mergulhando para sul por sob a seqüência estratigráfica representada pelas Formações Brejo Santo, Missão Velha, Abaiara e Rio da Batateira, com uma espessura média de 66m. Logo abaixo dessa formação, ocorre o embasamento cristalino.

Além da Formação Mauriti, a base da Formação Brejo Santo pertence ao sistema aquífero inferior, que é composta por arenitos finos, estratificações cruzadas, siltitos e argilitos vermelhos.

Existem diferenças na espessura de um local para outro, ocasionadas pelos basculamentos tectônicos representados pelos grabens e horst, conforme o Quadro 6.1 (página 46).

A recarga desse sistema é realizada através das drenagens existentes e pela precipitação pluviométrica direta na área livre em que aflora a Formação Mauriti, pois na zona confinada a camada situada diretamente sobre a mesma é a Formação Brejo Santo, predominantemente argilosa, impedindo a circulação descendente da água do Sistema Aquífero Médio que lhe é sobreposto.

Como exutórios naturais têm-se as ressurgências dos cursos d'água superficiais na forma de escoamento de base da rede fluvial da região e a descarga artificial que é a exploração pelo homem através de poços.

## **6.5. SISTEMA AQUÍFERO MÉDIO**

Na presente pesquisa este sistema corresponde ao de maior importância, pois congrega as formações que apresentam diversas permeabilidades tendendo para elevadas ( $10^{-8}$  –  $10^{-6}$  cm<sup>2</sup>) e grande potencialidade hídrica subterrânea (arenitos grossos a médios, micáceos) sendo constituída pelas Formações Missão Velha, Abaiara e Rio da Batateira. É responsável pelo abastecimento das populações de vários municípios, dentre elas as de Crato, Barbalha, Juazeiro do Norte e Missão Velha. Ocorre em toda porção central da área, aflorando e sobre os sedimentos aluvionares e coberturas terciário-quadernárias, totalizando 536km<sup>2</sup> (76% do total da área).

Existem variações na espessura do sistema, conforme Quadro 6.1, ocasionadas pelos processos de erosão.

A alimentação dessa unidade é realizada diretamente nas áreas aflorantes pelas águas da chuva, e através da infiltração de águas dos rios influentes, alimentados pelas fontes, muito comuns no “pé” da Chapada do Araripe.

Estudos realizados por MONT’ALVERNE *et al.* (1996) atribuem para a região entre Crato e Missão Velha, correspondendo aproximadamente a área de estudo, uma vazão de escoamento natural de  $2,88 \text{ m}^3/\text{s}$ , com uma recarga anual de  $90,8 \times 10^6 \text{ m}^3$ , mais a contribuição das fontes de  $2,32 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ , perfazendo um total de  $93,1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ .

Constituem-se como exutórios naturais os rios efluentes e a evapotranspiração, representando uma pequena parcela e, em maiores proporções, tem-se a exploração das águas subterrâneas através de poços tubulares que representa o exutório artificial. A descarga do sistema aquífero para os rios ocorre no período de estiagem, através de infiltração inversa, ou seja, quando o rio se torna influente, podendo ser comprovado através do rebaixamento de nível estático, observado nos poços da região. Considerando como volume de descarga o mesmo que o de recarga, o volume final de descarga seria a recarga menos o volume explorado nos poços situados na área.

Após a caracterização do sistema aquífero abordaremos as características hidrogeológicas utilizando dados dos 1126 poços cadastrados no Arquivo de Dados de Poços (ANEXO 01) que estão captando água desse sistema aquífero. A distribuição desses poços na área pode ser vista na Figura 6.1 (página 44).

A consistência dos 1126 poços deu-se a partir da aquisição dos dados em órgãos que trabalham na construção e/ou pesquisa das águas subterrâneas, plotados no mapa geológico. Uma vez o poço posicionado no litotipo aflorante pertencente ao Sistema Médio, foi observada a profundidade consociando com as espessuras médias sugeridas por MONT’ALVERNE *et al.*, (1996) nas porções de horst e graben da Bacia do Araripe. Os poços que não passaram nessa avaliação foram eliminados. Assim admite-se que todos os poços cadastrados no Arquivo de Poços da presente Dissertação estão captando águas do Sistema Aquífero Médio.

Baseando-se na distribuição espacial dos poços, e considerando que esse sistema aquífero ocorre em 76% da área (superfície e subsuperfície), existem 1126 poços explorando água subterrânea desse sistema, onde 42% (476 poços) apresentam dados de vazão, produzindo uma vazão média de 31,0 m<sup>3</sup>/h.

Considerando o número total de poços e a divisão municipal na área de estudo, representada pelos municípios de Crato (250 poços), Juazeiro do Norte (529 poços), Barbalha (287 poços) e Missão Velha (60 poços), o maior número de poços situa-se no município de Juazeiro do Norte (47%) e o de menor é o município de Missão Velha 5% (Figura 6.2), mostrando maior demanda para o município de Juazeiro do Norte.

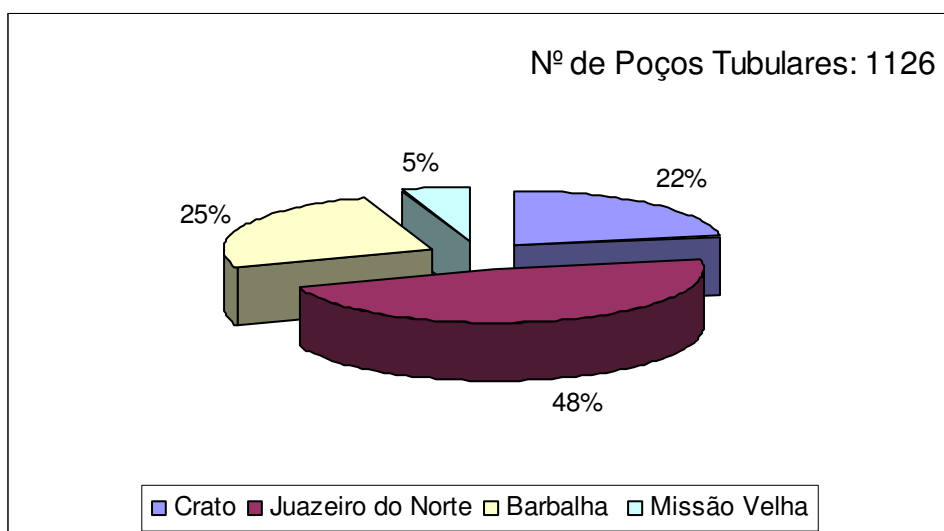


Figura 6.2 – Distribuição dos poços tubulares por município na área de estudo.

Para caracterizarmos os poços tubulares construídos no Sistema Aquífero Médio temos os valores mínimo, máximo e médio de alguns parâmetros dos poços que são: profundidade, nível estático (NE), nível dinâmico (ND), rebaixamento (s), vazão (Q) e capacidade específica (Tabela 6.1).



Tabela 6.1 - Principais parâmetros dos poços tubulares associados ao sistema hidrogeológico na área de estudo.

Sistema Aquífero Médio						
Parâmetros	Prof. (m)	NE (m)	ND (m)	s (m)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Q/s [(m <sup>3</sup> /h)/m]
Mínimo	8,0	jorrante	5,3	0,10	0,10	0,01
Máximo	360,0	97,0	130,0	117,13	300,00	317,00
Média	81,7	24,1	38,8	14,90	30,50	3,60
Nº de dados	847,0	517,0	497,0	497,00	476,00	437,00

Prof.: profundidade; NE: nível estático; ND: nível dinâmico; s: rebaixamento; Q: vazão e Q/s: capacidade específica.

Adotando-se a classificação constante no Decreto N° 23.068, de 11 de fevereiro de 1994 da SRH/CE relativo a profundidade de poço tubular, temos que dos 847 dados de profundidade de poços no Sistema Aquífero Médio, observa-se que variam de 8 a 360m, com média de 81,7m, sendo que apenas 1% (10 poços) apresentam profundidade inferior a 20m (poço raso); 21% (169 poços) variam de 20 a 50m (mediamente profundos), e a maioria (78%) (668 poços) apresenta profundidade superior a 50m (poços profundos) (Figura 6.3).

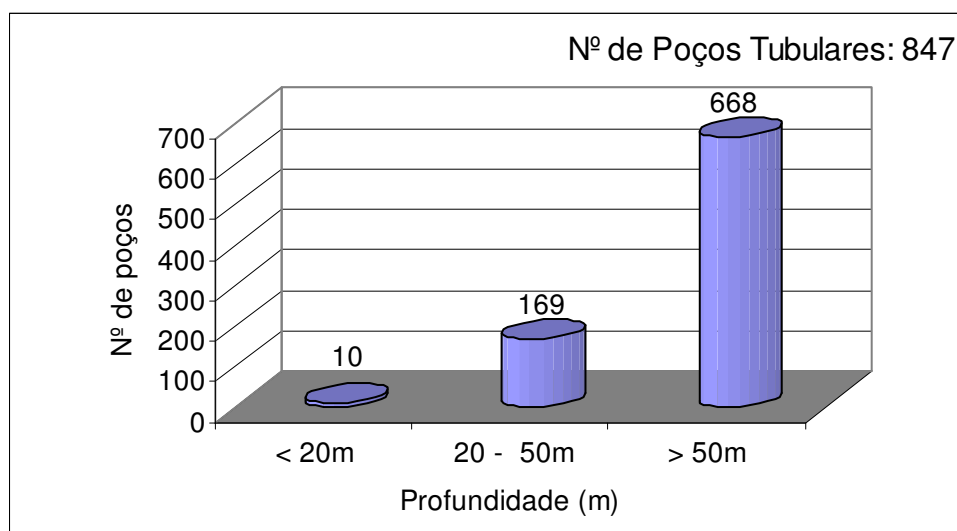


Figura 6.3 – Profundidade dos poços tubulares no Sistema Aquífero Médio, área de estudo, de acordo com a classificação da SRH/CE.

Dos 1126 poços, 517 (45,91%) apresentam dados de nível estático que variam de jorrante (jorro não medido) (4 poços) a 97 m, com média de 24,1m. Dos 497 com nível dinâmico conhecido observa-se que os valores variam de

5,3 a 130m com média de 38,8m (Figura 6.4). O rebaixamento que é a diferença entre o nível dinâmico e o nível estático, varia de 0,10m a 117,1m com média de 14,9m.

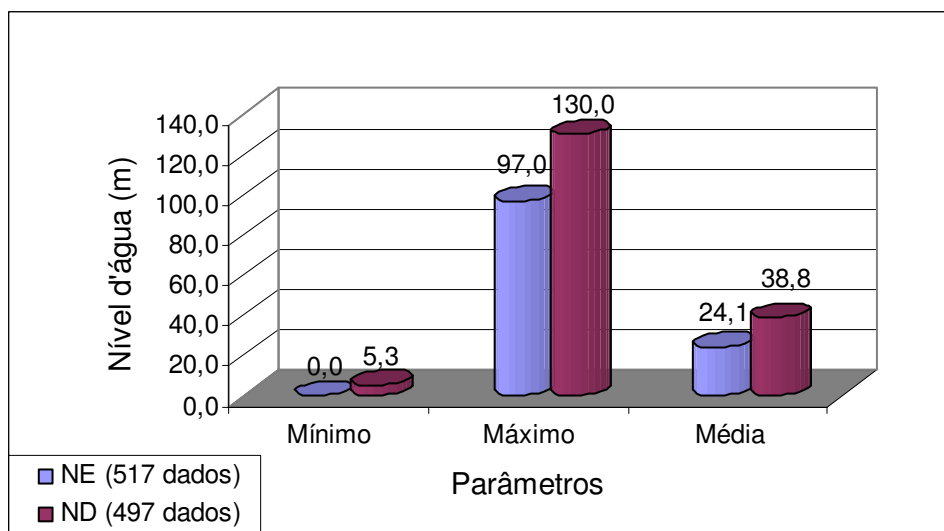


Figura 6.4 – Níveis estático e dinâmico dos poços tubulares do Sistema Aquífero Médio, área de estudo.

O Sistema Aquífero Médio apresenta as melhores vazões de exploração no Ceará, sendo que dos 476 dados de vazão observa-se que a mínima é de 0,1 m<sup>3</sup>/h (poço n° 750, localizado na vila Padre Cícero em Juazeiro do Norte, profundidade de 60,0m, abandonado) e a máxima é de 300,0m<sup>3</sup>/h (poço n° 128, localizado no São Raimundo em Crato, profundidade de 125,7m, desativado).

### 6.5.1. Situação de Exploração das Águas Subterrâneas do Sistema Aquífero Médio.

Na avaliação da situação dos poços foi possível identificar, à partir do arquivo de dados, a seguinte situação: 780 poços (82,19 %) em uso, 91 (9,59%) desativados, 52 (5,48%) abandonados e 26 (2,74) não instalados (Tabela 6.2).

Tabela 6.2 - Situação dos poços cadastrados na área de estudo.

Situação	Particular		Público		Nº de Dados	
	Nº de poços	(%)	Nº de poços	(%)	Nº de poços	(%)
Abandonado	38	5,32	14	5,96	52	5,48
Desativado	55	7,70	36	15,32	91	9,59
Em Uso	604	84,59	176	74,89	780	82,19
Não Instalado	17	2,38	9	3,83	26	2,74
Total	714	100,00	235	100,00	949	100,00

De acordo com os dados da Tabela 6.2, podemos observar a responsabilidade por parte dos poderes público e particular com as obras de captação, observando-se que 82,19% estão em uso, concluindo-se que existe uma preocupação com essas obras, explicada pela necessidade da população que em quase sua totalidade consome água subterrânea nessa região.

Na Figura 6.5 pode ser visualizada a porcentagem dos valores da situação atual dos poços correlacionada ao uso privado e público. Existe uma proporcionalidade direta tanto no uso privado quanto no público de obras, sendo as em uso > desativadas > abandonadas > não instaladas.

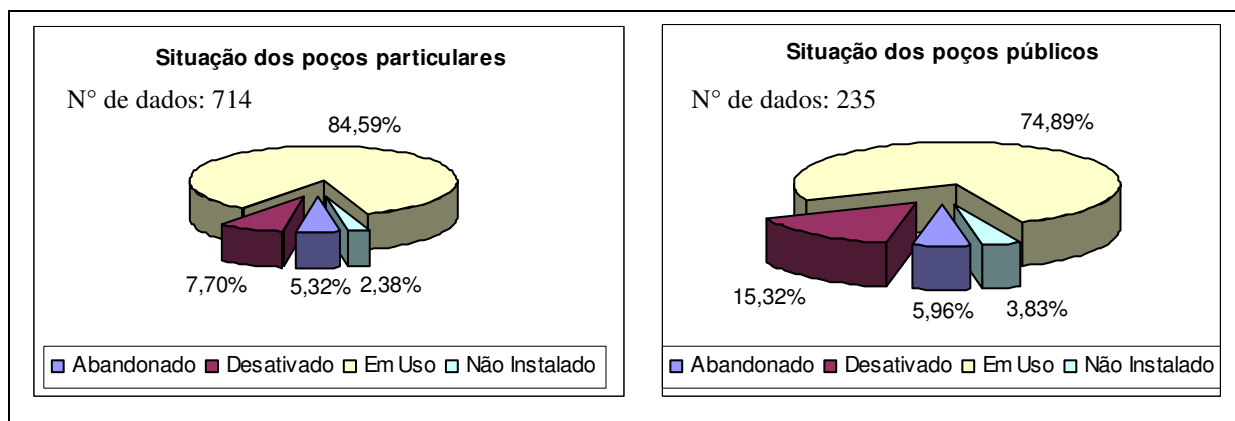


Figura 6.5 – Situação dos poços tubulares no Sistema Aquífero Médio, na área de estudo.

Se considerarmos os poços desativados e não instalados como obras passíveis de entrarem em funcionamento para a exploração das águas subterrâneas em qualquer época, quer seja ou não em estiagem, é possível a contribuição de mais 117 poços, representando 10,40% do total das obras cadastradas. Então, na área, seriam 897 poços em funcionamento.

### 6.5.2 Distribuição Temporal da Perfuração dos Poços Tubulares

A construção de poços na área iniciou-se em 1928 no município de Crato / Colégio Diocesano (poço n° 136) com a obra sendo construída pelo IFOCS, hoje DNOCS.

Dos 1126 poços cadastrados, 690 (61,27%) poços apresentam dados do ano de construção, que variam de 1928 a 2007, sendo que o maior número de obras foi executado na década de oitenta, fato este associado ao crescimento populacional e à ocupação do espaço físico. (Figura 6.6).

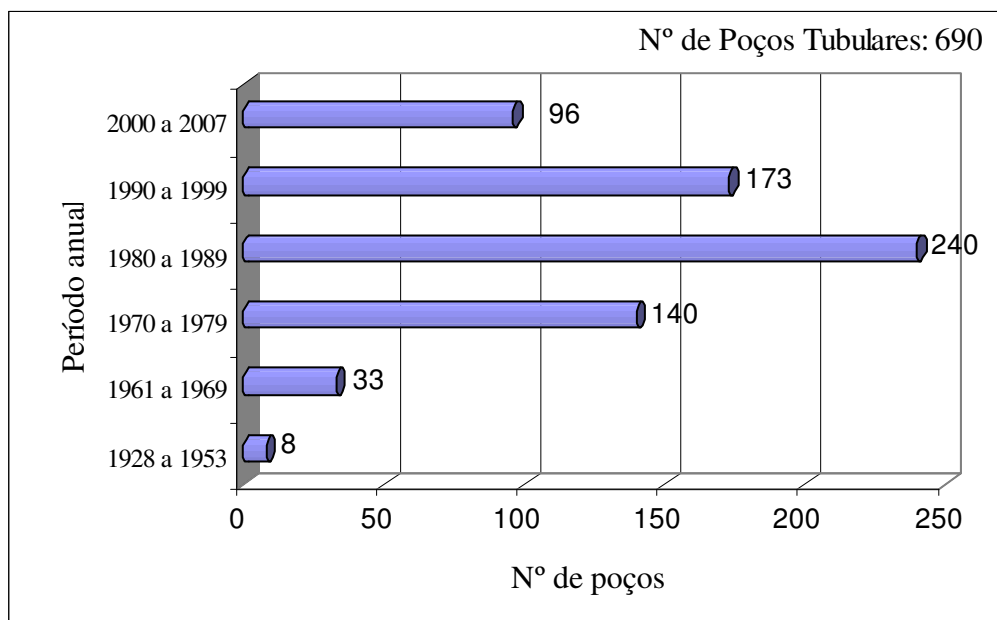


Figura 6.6 - Evolução temporal da construção dos poços no Sistema Aquífero Médio na área de estudo.

## 7. FONTES POTENCIAIS DE POLUIÇÃO

---

O homem sempre usou a natureza de maneira desordenada sem se preocupar com o meio ambiente, até mesmo porque não se observava mudanças bruscas. Assim, o processo de degradação provocado pelo próprio homem fez com que a natureza reagisse de maneira brusca. Daí, em consequência dos acontecimentos de alguns fenômenos naturais, o homem vem buscando novas tecnologias de contenção dessas degradações ambientais cada vez mais intensas. Conhecemos o potencial quantitativo e qualitativo das águas subterrâneas que temos no mundo então, está mais do que na hora de nos conscientizarmos e protegermos esse bem de necessidade primária para todas as espécies de vida.

A água subterrânea é uma solução diluída de inúmeros elementos e compostos sólidos, líquidos ou gasosos em proporções diversas, que ocorre em sub-superfície, sendo apresentado a seguir as fontes potenciais de poluição que causam risco de contaminação aos aquíferos.

A definição e diferenciação entre poluição, poluente e contaminação d'água, de acordo com FEITOSA *et al.* (2000) é que a poluição é uma alteração artificial da qualidade físico-química da água, suficiente para superar os limites preestabelecidos para um determinado fim; poluente é toda e qualquer substância que ameaça a saúde, a segurança e o bem-estar, que traz prejuízo para a vida aquática, altera as características de águas receptoras para determinados fins ou modifica normas de qualidade preestabelecida; e por fim água contaminada é a que possui organismos patogênicos, substâncias tóxicas e/ou radioativas, em teores prejudiciais à saúde do homem.

Por definição, toda água contaminada é poluída, mas nem toda água poluída é contaminada. A água poluída depende do ponto de vista do qual se encara o problema, ou seja uma água pode ser considerada poluída para um determinado fim e não para outro.

No geral, as águas subterrâneas são bem mais protegidas dos poluentes do que as águas superficiais, pois a camada de solo/rocha subjacente e a formação aquífera atuam como um filtro físico e químico. A facilidade de um poluente atingir a água subterrânea dependerá dos seguintes fatores: tipo de aquífero, profundidade do nível estático ou topo do aquífero, permeabilidade

da zona de aeração, teor da matéria orgânica sobre o solo, tipo dos óxidos e minerais de argila existentes no solo e fontes de contaminação existente na área, dentre outros.

As fontes potenciais de poluição capazes de atingir as águas subterrâneas podem ter diversas origens. Considerando que os aquíferos são corpos tridimensionais, geralmente mais extensos do que profundos, diferentemente dos cursos d'água superficiais, a forma da fonte poluidora tem importância fundamental nos estudos de impacto ambiental. A partir de suas características físico-químicas e de sua posição espacial na área de estudo, presente em determinado litotipo aflorante, poderão vir a representar uma fonte comprovada ou efetiva de poluição para as águas subterrâneas.

## **7.1. FONTES DE POLUIÇÃO**

Quanto aos tipos de fontes de poluição têm-se três: pontual, linear e difusa. As atividades desenvolvidas pelo homem produzem resíduos, os quais não são devidamente condicionados em locais apropriado, sendo lançados de maneira desordenada no meio ambiente, causando poluição.

### **7.1.1. Fontes Pontuais de Poluição**

São as que atingem o aquífero através de uma atividade que lança sua carga poluidora de forma concentrada numa pequena superfície, é de fácil identificação, como: indústrias, atividades domésticas, mineração, postos de combustível (tanque subterrâneos e lavagens de carro), lixões, lagoas de estabilização, cemitérios, construção de poços tubulares, galvanoplastia, etc. Estas fontes são responsáveis por poluições altamente concentradas na forma de plumas.

#### **7.1.1.1. Indústria**

Os efluentes industriais são poluentes orgânicos e inorgânicos, dependendo da atividade industrial. As cargas contaminantes de poluentes das indústrias não foram quantificadas, porém as fontes de efluentes industriais

encontrados na área são: curtume, matadouros, fábricas de têxteis (que utilizam tintas e químicos tóxicos), galvanoplastia e outras. Estas indústrias produzem grandes quantidades de diferentes tipos de poluentes.

Os poluentes industriais provenientes de lixeiras de resíduos sólidos mal localizados introduzem poluentes no meio ambiente através da descarga direta e da lixiviação para os aquíferos, podendo poluir também através de águas usadas contendo produtos químicos, elementos radioativos, ou em acidentes que liberam produtos químicos. Elas apresentam grandes riscos ambientais para os mananciais de água.

Segundo dados do Anuário Estatístico do Ceará – 2006, no ano de 2005 existiam na área de estudo 920 estabelecimentos, sendo 98,0% (903) dessas indústrias localizadas no eixo CRAJUBAR, sendo 71,0% (658), localizadas em Juazeiro do Norte, que representa o maior parque industrial da região (Tabela 7.1). Por consequência, representa o município com maior risco de poluentes para as águas subterrâneas.

Tabela 7.1 - Empresas industriais ativas, por municípios, na área de estudo - 2004-2005.

Municípios	2004	2005
Crato	185	184
Juazeiro do Norte	681	658
Barbalha	68	61
Missão Velha	18	17
Total	952	920

Fonte: IPECE, 2006.

#### **7.1.1.2. Atividade Doméstica**

A atividade doméstica pode contaminar a água subterrânea de várias maneiras. Dentre os poluentes domésticos um poluente conhecido, sobre o qual não existe uma preocupação com o descarte, é o óleo das frituras. No geral o óleo é jogado na pia ou por outro ralo aberto, sendo esse um dos maiores erros cometidos pelo usuário, pois um litro de óleo contamina cerca de um milhão de litros de água, correspondendo ao consumo aproximado de uma pessoa no período de 14 anos, considerando um consumo de 200 L/dia; a maneira menos prejudicial ao meio ambiente de descartar é colocando em uma garrafa, fechá-la e colocá-la no lixo normal (SABESP, 2007).

### 7.1.1.3. Mineração

A mineração é uma atividade altamente impactante, com conseqüências danosas não apenas ao meio natural, como à água, o solo, à vegetação, aos animais, entre outros, mas também, à paisagem e aos próprios seres humanos. Embora muito importante para a obtenção de matérias-primas que fazem parte indispensável do nosso dia-a-dia, a mineração é uma atividade que deve ser licenciada e controlada. Qualquer empresa que se dedique a lavra de minérios sejam eles: areia, argila, ouro (origina grandes quantidades de mercúrio nas águas), ferro, granito e outros, se deve ter a licença do órgão ambiental competente, o qual, por sua vez, exigirá que sejam tomadas medidas que minimizem os impactos da atividade, bem como recuperação da área.

Na região do Cariri a produção mineral se caracterizava por minérios não-metálicos de emprego direto na construção civil como calcário (cimento, cal), gipsita (gesso), calcário laminado (pedra Cariri), granito (rochas ornamentais), argila (cerâmica) e água mineral. Existem 16 processos de concessão de lavra junto ao DNPM, na área de estudo (Tabela 7.2).

Tabela 7.2 – Processos juntos ao DNPM na fase de concessão de lavra, na área de estudo.

Município	Local	Substância	Fase
Crato	Arajara	Calcário	Concessão de Lavra
	Sítio Santa Rita	Calcário	Concessão de Lavra
	Batateira	Água mineral	Concessão de Lavra
Juazeiro do Norte	Fábrica da Cajuína São Gerardo	Água Mineral	Concessão de Lavra
Barbalha	Santa Rita	Argila, Calcário e Gipsita	Concessão de Lavra
	Riacho do Meio	Calcário	Concessão de Lavra
	Água Fria	Calcário	Concessão de Lavra
	Sítio Malhada	Argila	Concessão de Lavra
	Caldas	Argila e Calcário	Concessão de Lavra
	Sítio São Joaquim	Argila e Calcário	Concessão de Lavra
	Arajara	Calcário	Concessão de Lavra
	Sítio Lambedor	Argila	Concessão de Lavra
	Sítio Santa Rita	Calcário	Concessão de Lavra
	Arajara, Água Fria	Calcário	Concessão de Lavra
	Farmace	Água Mineral	Concessão de Lavra
	CBE- Comp. Bras. de Equip.	Argila e Calcário	Concessão de Lavra
Missão Velha	-----	-----	-----

Fonte: DNPM, 2007



As atuais minerações com concessão de lavra na região não são muito impactantes comparadas à minerações que se utilizam de processos químicos na extração. Na mineração de argila (Foto 7.1) o que ocorre é a retirada de camadas impermeabilizantes, provocando naturalmente um aumento da vulnerabilidade naquele local. A exploração de calcário provoca uma nuvem de poeira que é transportada pelo ar para locais mais distantes, sendo fixada ao solo, lixiviada pelas águas pluviais, e indo em direção as águas superficiais ou infiltrando-se em sub-superfície deixando a água com maior dureza.



Foto 7.1 - Afloramento da Formação Rio da Batateira, nível de argila, exploração de argila para fabricação de cerâmica vermelha, Barbalha – CE. 454103W / 9203124S. (03/05/2007).

A partir de 2006 vêm sendo requeridas novas áreas de pesquisas para minério de cobre, as quais estão com a autorização para pesquisa, mostrando uma tendência para exploração de metais na região. A Tabela 7.3 mostra o número de processos por substância incluindo concessão de lavra (16 processos), licenciamento (32 processos), disponibilidade (9 processos) e autorização de pesquisa (29 processos), no total de 86 processos, porém apenas 16 com concessão de lavra.

Tabela 7.3 – Número de processos por substâncias nos municípios pertencentes a área de estudo.

Substâncias	Municípios			
	Crato	Juazeiro do Norte	Barbalha	Missão Velha
Água Mineral	2	3	4	-----
Areia	2	4	2	3
Areia e Argila	-----	1	-----	-----
Arenito	-----	-----	1	2
Argila	11	-----	3	-----
Argila e Calcário	-----	-----	3	-----
Argila, Calcário e Gipsita	-----	-----	1	-----
Calcário	3	-----	5	-----
Cascalho	-----	2	-----	-----
Granito	2	2	-----	1
Minério de Cobre	5	13	-----	10
Saibro e Granito	-----	1	-----	-----
Total	25	26	19	16

Fonte: DNPM, 2007.

#### 7.1.1.4. Postos de Combustíveis

O problema de poluição das águas subterrâneas a partir dos postos de combustíveis vem sendo discutido há mais de três décadas pelos ambientalistas do mundo todo e só no início da década de noventa é que no Brasil foi divulgado e discutido os problemas ocasionados por tanques subterrâneo de combustíveis. A partir daí, obrigou-se, à troca de tanques antigos por tanques novos reforçados com sensores de detecção de vazamentos. A atividade de comércio varejista de combustíveis (postos de gasolina) está submetida a legislação ambiental desde a Lei Federal n.º 6.938/81, regulamentada pelo Decreto Federal n.º 99.274/90, visto que comprovadamente é uma atividade potencialmente poluidora pela armazenagem de combustíveis (produtos perigosos), lavagem de veículos, troca de óleo, geração de resíduos e emissões atmosféricas, além do risco de incêndio e acidentes ambientais.

Os postos de combustíveis são regulamentados pela Portaria da Agência Nacional de Petróleo, ANP n.º116/2000, considerando os postos de revenda, regulamentados, que caracterizam-se pelo exercício da atividade de revenda a varejo de combustíveis automotivos em seu próprio estabelecimento. Na Tabela 7.4 pode ser observado o número de postos de

combustíveis cadastrados na ANP, bem como o número de posto com cadastro pendente (28 postos) e regularizados (62 postos).

Tabela 7.4 – Número de postos de combustíveis cadastrados nos municípios da área de estudo.

Municípios	Número de postos de revenda de combustível cadastrados		
	Cadastro legalizado	Cadastro pendente	Total
Crato	21	17	38
Juazeiro do Norte	28	8	36
Barbalha	8	3	11
Missão Velha	5	-----	5
Total	62	28	90

Fonte: site, [www.anp.gov.br](http://www.anp.gov.br). Dezembro, 2006.

OLIVEIRA (1992) afirma que as experiências em diferentes países têm mostrado que os tanques subterrâneos, sem proteção catódica e que armazenam hidrocarbonetos, apresentam vazamentos aos 20 anos de vida útil, em média, e que nos Estados Unidos existem entre 3 e 5 milhões de tanques, dentre os quais mais de 375.000 com vazamentos.

No Ceará, segundo dados da ANP (Dezembro/2006), existem 800 postos cadastrados. Nos quatro municípios que compõem a área do trabalho existiam 62 postos de combustíveis com seus cadastros regulares. É notável a presença de postos de combustíveis, principalmente nos centros urbanos, situados sobre os terrenos sedimentares existentes na área, sendo um risco potencial de poluição/contaminação para as águas subterrâneas.

Em campo visitamos aleatoriamente onze postos de combustíveis na área de estudo, onde anotamos as coordenadas, o número de bombas e observamos se havia ou não lavagem de carro (Tabela 7.5).

Considerando o número de bombas de combustíveis nos postos visitados, para conhecermos os combustíveis mais usados, temos o uso da gasolina comum (32%), seguido do diesel (28%), álcool (21,5%) e gasolina aditivada (18,5%).

Tabela 7.5 – Postos de combustíveis visitados na área de estudo.

Posto de Combustível	Coordenadas		Número de Bombas					Lavagem de Carros
	UTM W	UTM S	Gas. Com.	Gas. Adt.	Álcool	Diesel	Total	
Mãe de Deus	465237	9204548	2	1	1	2	6	Sim
Salesiano	464344	9202828	3	1	3	1	8	Não
Casarão	464453	9197778	2	1	1	2	6	Não
Pioneiro	484398	9198692	1	-----	1	1	3	Sim
MDT	464027	9201612	1	1	1	2	5	Sim
Galeão	453645	9201460	2	-----	1	2	5	Sim
Palmeiral	456011	9201680	1	1	1	2	5	Sim
Verdes Canaviais	466746	9192414	2	1	1	1	5	Não
Dois Irmãos	466776	9192392	2	2	2	1	7	Sim
Juazeiro Motor	464526	9203150	2	2	1	2	7	Sim
Trevo	463930	9201206	3	2	1	2	8	Não

Observa-se que cada bomba de abastecimento representa um tanque de combustível subterrâneo, cuja capacidade de armazenamento varia de 10.000L a 25.000L.

Outro ponto potencial de poluição são as lavagens de carros, onde podemos constatar que 64% dos postos visitados tem área reservada para estas atividades. Na lavagem a água de rejeito sai com muito óleo e outros produtos químicos utilizados, e muitas vezes essa água é lançada direto nas “*elevadas*” que percorrem as ruas indo desaguar nas drenagens. Algumas empresas fazem um pré-tratamento desse rejeito com o separador de água/óleo (Foto 7.2), porém mesmo assim, escorre óleos para as “*elevadas*” (Foto 7.3).

Na troca de óleo dos veículos os funcionários muitas vezes não tem os cuidados necessários, o que causa derramamentos de óleos no chão que é lavado com água, sendo lançado nas ruas, que infiltram no aquífero freático.





Foto 7.2 – Separador de água/óleo utilizado em posto de combustível com área de lavagem de carros. 464027W / 9201612S. (03/05/2007).



Foto 7.3 – Rejeito do lava-jato lançado na rua e escoando para as “elevadas”. 464027W / 9201612S. (03/05/2007).

#### 7.1.1.5. Lixões

Por definição, aterro sanitário é um local reservado para a disposição final de resíduos sólidos gerados pela atividade humana, que deve ser implantado em áreas de terrenos preparadas para receber o lixo, com tratamento para os gases e líquidos resultantes da decomposição dos materiais, de maneira a proteger o solo, a água e o ar. Neles são dispostos resíduos domiciliares, comerciais, hospitalares, industriais, de construções, ou dejetos sólidos retirados do esgoto. Porém, na área de estudo, não existem aterros sanitários e sim lixões, os quais também são depósitos de lixo, porém sem nenhum tratamento, com a diferença de que são institucionalizados, isto é, autorizados pelas Prefeituras. No Brasil esse problema é gravíssimo, pois

mais de 40% dos municípios depositam seu lixo em lixões, segundo a pesquisa de saneamento ambiental do IBGE de 2000.

Esses depósitos causam poluição do solo, das águas e do ar, pois as queimas espontâneas são constantes. Muita gente pensa que, se o lixão está longe de sua casa, ele não está lhe causando problemas. Isso é um grave engano. A poluição causada por um lixão atinge muitos quilômetros em volta, já que as águas e o ar movimentam-se. O lixão traz, ainda, mais um problema: atraem a população mais carente e desempregada, que passa a se alimentar dos restos encontrados no lixo e a sobreviver dos materiais que podem ser vendidos. Esse tipo de degradação humana não pode mais ser permitida e somente a erradicação total dos lixões vai solucionar essa situação.

Nos lixões em Crato (Foto 7.4) e em Juazeiro do Norte (Foto 7.5) observa-se diversos tipos de resíduos sólidos, porém predominam plásticos, borrachas, tecidos e restos de alimentos. As condições de vida dos catadores é precária, onde podem ser observados catando o lixo ao lado de urubus; as refeições são feitas no próprio local e, muitas vezes, utilizando restos de alimentos encontrados no lixo. Alguns optam por morarem em barracos feitos de madeira e papelão no próprio lixão.



Foto 7.4 – Aspecto geral do lixão no município de Crato. 455355W / 9206304S. (03/05/2007).





Foto 7.5 – Aspecto geral do lixão no município de Juazeiro do Norte. 465734W / 9209168S. (04/05/2007).

Sabendo que sua qualidade de vida e saúde está sendo afetada por essa situação, a comunidade deve exigir das autoridades locais pra implantação de aterros sanitários.

A massa heterogênea de resíduos de várias origens forma um composto que chamamos de lixo que varia em função da comunidade que o produz. O principal poluidor das águas subterrâneas produzido pelo lixo é o chorume (líquido oriundo da decomposição da matéria orgânica) potencial poluente das águas subterrâneas.

O aterro sanitário deve ser constituído de um sistema de drenagem de efluentes dos líquidos percolados (chorume) acima de uma camada impermeável de polietileno de alta densidade, sobre uma camada de solo compactado para evitar o vazamento de material líquido para o solo evitando, assim, a contaminação das águas de sub-superfície. O chorume deve ser tratado e/ou recirculado (reinserido ao aterro). O aterro sanitário deve possuir em seu interior um sistema de drenagem de gases que possibilite a coleta do biogás, que é constituído por metano, gás carbônico (CO<sub>2</sub>) e água (vapor), entre outros, e é formado pela decomposição dos resíduos. Este efluente deve ser queimado ou beneficiado. No Protocolo de Kyoto é sugerida a cobertura dos aterros sanitários, fazendo com que as águas pluviais não infiltrem no interior do mesmo, o que aumentaria os volumes de chorume.

Sabendo que não existe aterro sanitário nos municípios que compõem a área de estudo (Crato, Juazeiro do Norte, Barbalha e Missão Velha), a produção aproximada de resíduos sólidos urbano dos quatro municípios,

considerando-se o valor de 0,5kg/hab/dia, são mostradas na Tabela 7.6. A relação por município entre população urbana e produção de resíduos sólidos/dia pode ser observada na Figura 7.1.

É de extrema importância, quando da implantação de aterros sanitários ou lixões, levar-se em consideração as características do solo, da topografia do terreno, do clima, a hidrogeologia local e também os mapas de vulnerabilidade e risco à contaminação dos aquíferos.

Tabela 7.6 – Tipo de disposição e produção dos resíduos sólidos por município, na área de estudo.

Município	Tipo de disposição	População Urbana (2000)	Resíduos sólidos	
			(t/dia)	(t/ano)
Crato	Lixão	83.917	41,96	15.315
Juazeiro do Norte	Lixão	202.227	101,11	36.905
Barbalha	Lixão	30.669	15,33	5.595
Missão Velha	Lixão	12.785	6,39	2.332
Total		329.598	164,79	60147

Fonte: IPECE, 2000. t = tonelada

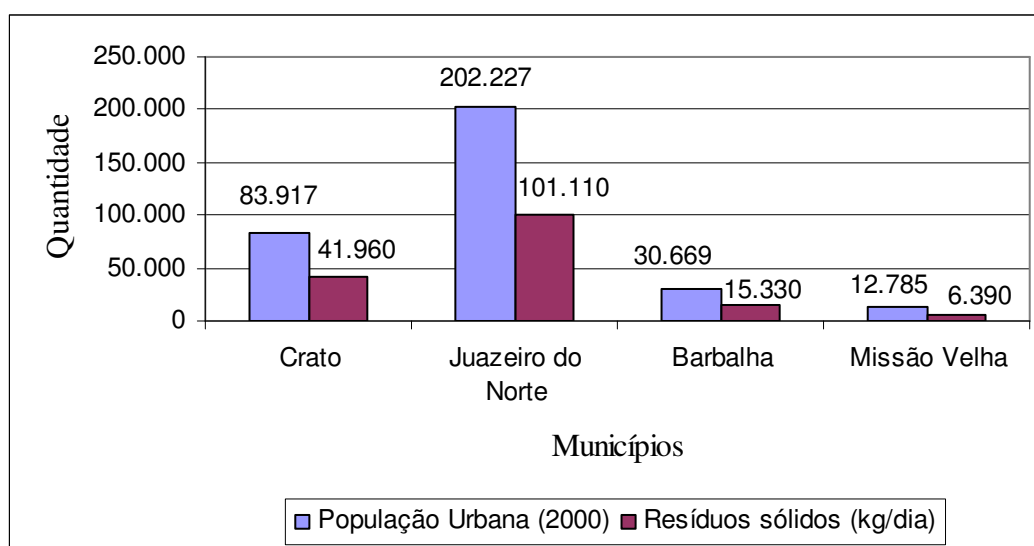


Figura 7.1 - Relação entre população urbana e produção de resíduos sólidos por dia nos municípios, na área de estudo.



### 7.1.1.6. Lagoas de Estabilização

A Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) que, no Brasil, se designa oficialmente também por Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), são estações que tratam as águas residuais de origem doméstica e/ou industrial, comumente chamadas de esgotos sanitários ou despejos industriais, para depois serem escoadas para o mar, ou rio, com um nível de poluição aceitável, conforme a legislação vigente para o meio ambiente receptor.

A maioria dos lagos de estabilização tem uma base constituída de materiais naturais, impermeabilizados; entretanto, essas condições permitem infiltração equivalente a 10–20 mm/d, sendo as lagoas as mais freqüentes causas de contaminação das águas subterrâneas (MILLER & SCALF, 1974 apud FOSTER & HIRATA, 1993).

A descarga de esgotos é proporcional à população existente, onde a urbanização é provavelmente a maior ameaça em termos de poluição na Bacia do Araripe, devido aos problemas da descarga de esgotos. A parte urbana de Juazeiro é maior, com 202.227 habitantes, sendo, então, necessário um estrutura maior de saneamento e de lagoas de estabilização. (Tabela 7.7).

Tabela 7.7 – Tipo de tratamento realizado nas estações de tratamento de efluente (ETE), em cada município.

MUNICÍPIO	População Urbana (2000)	TIPO DE TRATAMENTO
CRATO <sup>1</sup>	83.917	01 ETE Lagoas de estabilização ( 01 Facultativa + 02 Maturação )
JUAZEIRO <sup>2</sup>	202.227	01 ETE Lagoas de estabilização ( 02 Anaeróbias + 02 Facultativas + 01 Maturação / 01 ETE Decanto Digestores / 02 ETE's RAFA
BARABALHA <sup>2</sup>	30.669	01 ETE Lagoas de estabilização ( 01 Facultativa + 02 Maturação )
MISSAO VELHA <sup>2</sup>	12.785	01 ETE Lagoas de estabilização ( 01 lagoa facultativa + 03 maturação )

Fonte: 1 – SAAEC; 2 – CAGECE.

No município de Barbalha a lagoa de estabilização (Foto 7.6) situa-se às margem do rio Salamanca a noroeste de Barbalha, e seus efluentes são

lançados neste rio. Existe o risco potencial de poluição das águas subterrâneas.



Foto 7.6 – Lagoa de estabilização da estação de tratamento de efluentes de Barbalha, por trás passa o rio Salamanca. 468354W / 9193422S. (03/05/07).

#### **7.1.1.7. Cemitérios**

No Brasil é muito comum o sepultamento em jazidos no subsolo, sendo estes potenciais fontes de poluição para as águas subterrâneas.

A legislação faz exigências na implantação e operação de cemitérios, porém existe o risco potencial de contaminação das águas subterrâneas por microorganismos que proliferam durante a decomposição dos corpos, e elementos químicos diversos. No geral, a localização dos cemitérios nem sempre obedece a projetos fundamentados em estudos geológicos e hidrogeológicos, os quais são exigidos por lei.

Os organismos mais susceptíveis a transmitirem doenças via meio hídrico são *clostridium* (tétano, gangrena gasosa, toxi-infecção alimentar), *mycobacterium* (tuberculose), as *enterobactérias salmonella typhi* (febre

tifóide), *salmonella paratyphi* (febre paratifóide), *shigella* (disenteria bacilar) e o vírus da hepatite A (PACHECO, 2000).

Existem outras praticas de destino dos corpos de maneira mais compatível com as normas sanitárias, que é a a prática da cremação, cada vez mais frequente, porém não muito aceita no Brasil. Outra forma de sepultamento que vem sendo difundido no Brasil são os cemitérios verticais, onde os corpos são colocados em lóculos de diferentes modelos suspensos, assim evitando-se que os necrochorume migre para as águas subterrâneas. A legislação brasileira exige um controle rigoroso na implantação de cemitérios, onde nos verticais deverá ter sistema de controle de poluição atmosférica, programa de combate aos vetores, bem como apresentar projeto de tratamento do líquido oriundo da decomposição dos corpos.

Nos quatro municípios que compõem a área de estudo, existem sete cemitérios, onde o principal problema está associado a localização. Situam-se sobre o Sistema Aquífero Médio que engloba as formações Rio da Batateira e Missão Velha, com elevada permeabilidade e grande potencialidade hídrica subterrânea (arenitos grossos a médios).

O cemitério de Barbalha (Foto 7.7), que está dentro de uma área de recarga, fica no relevo mais alto que, com o passar do tempo, sofreu com o processo de erosão, daí sendo construído andaes de contenção. Este cemitério está situado sobre os sedimentos da Formação Rio da Batateira, onde toda carga contaminante oriunda do cemitério pode percola em direção ao Vale do Cariri (Foto 7.7), classificado como sendo a área mais vulnerável a poluição.



Foto 7.7 – Cemitério de Barbalha em área de recarga do aquífero Rio da Batateira. 466171W / 9191762S. (03/05/2007).

A exploração de água subterrânea por poços tubulares e cacimbas nas áreas adjacentes aos cemitérios é efetiva. Assim, recomenda-se que seja cobrado do órgão ambiental responsável, um monitoramento desses poços, através de análises físico-química e bacteriológicas, além da variação dos níveis d'águas, dentre outros.

#### **7.1.1.8. Construção de Poços Tubulares**

A construção de poços profundos aparentemente não provoca nem um tipo de poluição. Porém, um poço é uma obra de engenharia hidrogeológica, requerendo para sua construção um projeto técnico, baseado no conhecimento hidrogeológico local, acompanhado por um Geólogo para fundamentar a correta locação, perfuração, completação, desenvolvimento e teste de bombeamento (CAVALCANTE, 1998).

Com a falta de acompanhamento técnico ocorre a má construção de poços o que causa a interligação da zona superficial com zonas mais profundas, podendo o mesmo constituir-se em um meio direto de poluição das águas subterrâneas, particularmente em áreas sedimentares, a exemplo da região do Cariri, onde estão localizados os melhores aquíferos do estado. Um erro na construção dos poços coloca as águas subterrâneas sob o risco de poluição. Normalmente os poços mal construídos não são vistoriados e os poços abandonados não são tamponados.

VERISSIMO (1996) constatou que um poço tubular construído no município do Crato, utilizado para abastecimento público, de responsabilidade da prefeitura, está situado às margens de um córrego alimentado por esgotos domésticos, lançados à margem do mesmo. Os resultados da análise físico-química da água deste poço mostram valores dentro dos padrões de potabilidade, porém a análise bacteriológica confirmou a presença de bactérias do tipo *Klebsiella Sp* (6,3 NMP/100 mL). Este fato pode estar relacionado a um contato direto da zona superficial poluída com o aquífero através do poço.



A locação do poço deve ser feita com critérios, evitando-se as proximidades de rios ou riachos, indústrias, fossas e lixões, e ter conhecimento da qualidade da água de poços próximos ao local.

A construção de poços é um trabalho criterioso, onde deve-se primeiramente localizar um poço o mais afastado possível de fontes poluidoras. Uma vez não sendo possível, deve-se fazer um trabalho criterioso na perfuração para se observar níveis já poluídos. Se for o caso, estes devem sempre ser cimentados no espaço anelar, poço / formação geológica por medida sanitária em superfície, ao redor do poço, deve ser construído com raio médio de 1,00m uma sapata de proteção sanitária com 5% de declive do centro para as bordas, com altura mínima de 0,15 m sobre a superfície natural do terreno. Com isto, o poço está protegido contra a contaminação por enxurrada ou por outro agente poluente que porventura possa penetrar o aquífero através do espaço entre as paredes do furo e do revestimento, evitando-se, assim, maiores custos ao final do projeto.

Em Juazeiro do Norte alguns poços estão construídos na margem do rio dos Macacos, o qual na atualidade é poluído por esgoto doméstico. Como exemplo temos o poço PT – 03/1976 operado pela CAGECE (Foto 7.8), sendo um ponto potencial de condutor de águas rasas poluídas para águas mais profundas.



Foto 7.8 – Poço PT-03 da CAGECE na margem esquerda do rio dos Macacos poluído com esgoto doméstico. 466512W / 9201622S. (03/05/2007).

### **7.1.1.9. Galvanoplastia**

A galvanoplastia é a tecnologia responsável pela transferência de íons metálicos de uma dada superfície sólida ou meio líquido denominado eletrólito, para outra superfície, seja ela metálica ou não. Este processo usa a corrente elétrica, sendo chamado de “eletrólise”. A eletrodeposição está relacionada ao revestimento de superfícies, é esse o processo utilizado na prateação, niquelação, cromação, etc.

No processo são utilizados vários metais pesados que são prejudiciais ao ser humano, onde as empresas muitas vezes lançam esses efluentes a céu aberto sem um tratamento prévio. Os níveis de metais pesados estabelecido pela Portaria 154/2002 da SEMACE para serem lançados na rede de esgoto pelas empresas que trabalham com folheados são: 1,5mg/L de cobre, 2,0mg/L de níquel, 5,0mg/L de zinco e 0,1 mg/L de cádmio. A CAGECE como um dos órgãos responsável pelo tratamento dos efluentes na área de estudo, foi alvo de muitas reclamações por exalar mau cheiro na estação de tratamento, além do estabelecido pelo órgão ambiental, causando incômodos para a população local,romeiros e turistas. Fez-se análises de metais pesados, onde os pontos de coletas foram nas saídas de algumas empresas de folheados, sendo constatado que as mesmas estavam lançando metais pesados além do permitido pelas normas vigentes.

As primeiras análises forma realizadas no mês de maio em 2005, onde foram detectados valores elevados de metais pesados, sendo então exigido da SEMACE uma cobrança de pré-tratamento dos efluentes dessas empresas antes de serem lançados na rede coletora de esgoto da CAGECE. Após a regulamentação por parte dessas empresas, foram feitas novas coletas e análises nos meses e novembro e dezembro do mesmo ano, sendo observado uma redução brusca (Tabelas 7.8 e 7.9).

Sabendo dessa quantidade de metais pesados liberados por essas empresas de folheados na área de estudo, o fato torna-se bastante preocupante pois existem varias empresas trabalhando de forma clandestina que provavelmente liberam altos teores de metais pesados que são lançados nas “elevadas”, seguindo para as drenagens e possivelmente, infiltrando-se nos aquíferos.

Tabela 7.8 – Resultado das análises de efluente das indústrias de folheados em Juazeiro do Norte antes da implantação do tratamento prévio antes de ser lançado na rede de esgoto.

Nº	Empresa	Endereço	Data da coleta	Resultado			
				Cobre (mg/L)	Níquel (mg/L)	Zinco (mg/L)	Cádmio (mg/L)
1	França Jóias	Av. Pref. C. Cruz, 2582	19/05/05	1.634,28	Nd<0,2	38,25	0,04
2	Nivaldo Banhos	Rua Coronel Raul,680	19/05/05	26.694,65	19,96	156,58	0,33
3	Bernadino Jóias	Rua do Limoeiro, 232	19/05/05	6.750,74	1.933,11	12	0,05
4	Célio Celso de Souza	Av. Ailton Gomes, 2296	20/05/05	863,06	843,89	69,94	0,07
5	Bernadino Jóias	Rua do Limoeiro, 232	20/05/05	12.218,17	5.218,97	56,06	0,15
6	Garrincha Banhos	Rua da Conceição, 1400	20/05/05	1.069,70	194,77	13,1	0,03
7	Naldo Banhos	Rua Santa Inês, 69	20/05/05	630,79	171,28	3,43	Nd<0,01
8	DPZ Jóias e Folheados	Rua Santa Bento, 1651	20/05/05	147,19	Nd<02	Nd<0,5	0,03
9	MM Folheados	Rua Santa Luzia, 1977	20/05/05	333,5	91,32	Nd<0,5	0,04
10	Adauto Banhos	Rua das Flores, 136	20/05/05	91,1	266,23	Nd<0,5	0,03
11	Lohanna Jóias	Rua da Conceição, 1367	20/05/05	350,47	615,42	5,69	0,03
12	Germanos Folheados	Rua Ailton Gomes, 2174	20/05/05	984,83	115,81	211,66	0,04
Níveis estabelecidos pela Portaria 154/2002 da SEMACE				1,5	2,0	5,0	0,1

Fonte: CAGECE, 2005

Tabela 7.9 - Resultado das análises de efluente das indústrias de folheados em Juazeiro do Norte após a implantação do tratamento prévio antes de ser lançado na rede de esgoto.

Nº	Empresa	Endereço	Data da coleta	Resultado			
				Cobre (mg/L)	Níquel (mg/L)	Zinco (mg/L)	Cádmio (mg/L)
1	Lohanna Jóias	Rua da Conceição, 1367	17/11/05	0,16	1,61	0,07	0,04
2	MM Folheados	Rua Santa Luzia, 1977	17/11/05	45,7	4,57	0,14	0,029
3	Bernadino Jóias	Rua do Limoeiro, 232	17/11/05	13,2	2,64	0,59	0,037
4	DPZ Jóias e Folheados	Rua São Bento, 1651	21/11/05	12,6	2,64	0,59	Nd
5	França Jóias	Av. Carlos Cruz, 2582	21/11/05	0,07	0,068	0,02	0,02
6	MS Jóias	Rua Ioni Rodrigues, 903	21/11/05	0,23	0,23	67,95	0,17
7	Célio Celso de Souza	Av. Ailton Gomes, 2296	02/12/05	0,26	0,26	Nd	0,037
8	Mazinho Banhos	Rua N. Srª. do Carmo	02/12/05	13,2	2,64	Nd	0,037
Níveis estabelecidos pela Portaria 154/2002 da SEMACE				1,5	2,0	5,0	0,1

Fonte: CAGECE, 2005.

### **7.1.2. Fontes Lineares de Poluição**

São as provocadas pela infiltração de águas superficiais de rios e canais contaminados. A possibilidade desta poluição ocorrer dependerá do sentido de fluxo hídrico existente entre o curso d'água e o aquífero. É necessário enfatizar que, ao longo de um mesmo curso, há lugares onde o fluxo se dá do aquífero para o talvegue e outros onde se passa o inverso, isto é, as águas do rio se infiltram em direção ao aquífero. A existência de poços em funcionamento nas proximidades do curso d'água poderá forçar a infiltração de água contaminada no aquífero invertendo o seu fluxo ou aumentando sua velocidade.

#### ***7.1.2.1. Águas Superficiais Poluídas***

Os poluentes podem alcançar as águas superficiais através do lançamento direto, precipitação ou escoamento pela superfície do solo. As principais fontes de poluição das águas superficiais são os esgotos domésticos, os esgotos industriais, as águas pluviais carreando impurezas da superfície do solo ou contendo esgotos lançados nas galerias, os resíduos sólidos, os agrotóxicos, os fertilizantes, os detergentes, a precipitação de poluentes atmosféricos (sobre o solo ou a água) e as alterações nas margens dos mananciais, provocando o carreamento de solo, como conseqüência da erosão.

Na região estudada devido a ausência de saneamento básico em algumas porções, observa-se que rios, riachos e canais são geralmente utilizados como ponto de descarga final de esgotos domésticos, efluentes industriais e lixo de diversas origens. Para um curso d'água ter a capacidade de depurar uma carga contaminante é necessário ter um fluxo constante.

A região do Cariri tem seu abastecimento de água realizado fundamentalmente (95%) por poços profundos e fontes. Os cursos d'água mais importantes na área são: rio da Batateira, riacho dos Macacos, rio Salamanca e riacho da Vargem.



O rio da Batateira que atravessa a cidade do Crato é alimentado pelas fontes que nascem na chapada e recebem contribuições de efluentes das propriedades que localizam as suas margens (Foto 7.9).



Foto 7.9 – Detalhe do lançamento de efluentes domésticos no rio Batateira em Crato. 453614W / 9201444S. (03/05/2007).

A cidade de Juazeiro do Norte é margeada, na parte leste, pelo riacho dos Macacos (Foto 7.10) e na parte oeste e norte, pelo rio da Batateira (riacho Salgadinho), que constituem os principais meio receptores de esgotos domésticos e industriais.



Foto 7.10 – Aspectos da poluição de efluentes domésticos no riacho dos Macacos. 466512W / 9201622S. (03/05/2007).

O curtume Santo Augustinho, localizado na cidade de Juazeiro do Norte, lança seus efluentes no riacho Salgadinho que passa ao lado oeste da cidade.

A cidade de Barbalha está situada às margens do rio Salamanca, onde em suas aluviões se localizam a estação de tratamento de efluente e o plantio da cana-de-açúcar.

Em Missão Velha o riacho da Vargem situa-se a oeste do centro urbano, onde o lançamento de efluentes é menor, comparado aos outros municípios na área de estudo, pois a ocupação populacional também é inferior.

As águas superficiais e subterrâneas, muitas vezes, se interligam. Em algumas situações, os mananciais de superfície proporcionam a recarga dos reservatórios subterrâneos, enquanto, em outras, as águas do subsolo descarregam em recursos hídricos superficiais. Assim, um manancial de superfície, poluído, pode causar a poluição de um aquífero subterrâneo, e vice-versa.

Processos como a eutrofização, causam um excesso de nutrientes para o corpo hídrico, o que leva à proliferação excessiva de algas que, ao entrarem em decomposição, levam ao aumento do número de microorganismos e à conseqüente deterioração da qualidade da água (rios, lagos, etc).

#### **7.1.2.2. Acidentes em Rodovias**

As vias de acesso de trânsito intenso resultam na geração de grande carga potencial de efluentes particulados, tais como resíduos de pneus, que são ricos em metais pesados, resíduos de combustíveis, acúmulo de lixo e riscos de acidentes no transporte de materiais tóxicos. A precipitação pluviométrica se encarrega da distribuição desse material.

A rodovia estadual principal na área de estudo é a CE-293, onde o tráfego é bastante intenso, pois a região do Cariri constitui um dos principais pólos econômicos do Ceará, além de dar acesso para os estados do Piauí e Pernambuco.

#### **7.1.3. Fontes Difusas de Poluição**

A poluição proveniente das fontes difusas se caracteriza por ser de baixa concentração e atingir grande área.

### 7.1.3.1. Saneamento Básico

Com a expansão populacional na região os órgãos competentes se têm mostrado preocupados com a contaminação provocada pela ausência de uma rede de coleta de esgoto adequada, onde temos implantado em boa parte dos centros urbanos conforme a Tabela 7.10. A ausência de rede de coleta de esgoto leva a população a utilizar-se de fossas sépticas ou lançar as águas servidas nos córregos, rios e lagoas. Isso constitui significativa fonte poluidora, representada por uma infiltração direta de bactérias e vírus para os aquíferos subjacentes.

Tabela 7.10 – Dados do saneamento básico por município, área de estudo.

MUNICÍPIO	POPULAÇÃO URBANA (2000)	Nº DE LIGAÇÕES	REDE COLETORA (m)	VAZÃO (L/s)	VAZÃO MÁXIMA (l/s)	POPULAÇÃO ATENDIDA
CRATO	83.917	Sem informações (SAAEC)				
JUAZEIRO	202.227	18.467	196.888	110	260,77	83.102
BARBALHA	30.669	546	46.634	10,16	146,97	2.457
MISSAO VELHA	12.785	463	2.200	8,4	50,28	2.084

Fonte: CAGECE, 2007.

A implantação da rede de coleta de esgoto se iniciou no município de Juazeiro, onde hoje temos um número significativo de ligações (18.467) mas que ainda é muito pouco, pois atende apenas 83.102 habitantes. Mesmo com esse número de ligações, observa-se na área dos centros urbanos a existência de “*elevadas*” nas ruas, sendo uma triste realidade em uma região que detém uma das maiores potencialidades hídricas do estado do Ceará.

Antes da CAGECE implantar o sistema de abastecimento público nos município de Juazeiro do Norte, Barbalha e Missão Velha e a SAAEC em Crato, as pessoas se abasteciam de água através de cacimbas rasas, que passaram posteriormente a receber o esgoto doméstico causando a poluição das águas rasas.

### **7.1.3.2. Atividade Agrícola**

Os poluentes resultantes das atividades agrícolas incluem nitrogênio, fósforo, inseticidas e herbicidas, bem como resíduos venenosos que são potenciais de infiltrar nos aquíferos mais rasos.

O cultivo de cana de açúcar (Foto 7.11) compreende a maior parte das atividades agrícolas na área de estudo, sendo trabalhados 5.000 ha, concentradas nos municípios de Barbalha e Missão Velha, onde são utilizados extensivamente fertilizantes e pesticidas orgânicos e inorgânicos.

Fertilizantes como nitrogênio (N), potássio (K) e fósforo (P) tem sido largamente utilizado, pois são fortes nutrientes para o solo. O nitrogênio representa mais da metade de toda a composição usada, isto devido os fertilizantes minerais serem mais dispendiosos. O nitrogênio é utilizado na forma de nitrato (N-NO<sub>3</sub>), que é lixiviado pela água e pode atingir extensas áreas.

A Usina Manuel Costa Filho (Foto 7.12), localizada no município de Barbalha e atualmente desativada, quando em atividade processava 2.500 toneladas de cana-de-açúcar por dia, consumindo 200 m<sup>3</sup>/h de água (SILVA, 1996). Segundo OITICICA *et al* (1977 apud VERÍSSIMO 1999), para cada 1.000 kg de cana-de-açúcar processados, são produzidos 70 litros de álcool, 910 litros de vinhaça e 300 kg de bagaço. Então, quando em atividade, a usina gerava 2.275m<sup>3</sup>/dia de vinhaça que eram armazenados em grandes tanques e, posteriormente, lançados nos canaviais como adubo, por aspersão, sem um controle adequado. As 750 toneladas/dia de bagaço eram consumidas pelas caldeiras como combustível, produzindo energia.

Na atividade agrícola, também é necessária a proteção das plantas contra insetos, fungos e ervas daninhas, daí a utilização dos pesticidas. Há décadas é comum o uso indiscriminado dos pesticidas em lavouras, jardins e parques, podendo contaminar as águas subterrâneas pela migração através do solo, em direção ao aquífero. O maior, ou menor, grau de contaminação está relacionado com o manuseio e a intensidade no uso dos produtos contaminantes. Os pesticidas são substâncias químicas empregadas no combate as pragas e conforme seu uso biológico podem ser classificadas em inseticidas, formicidas, herbicidas e outros. Os inseticidas mais usados na



agricultura, em ordem de magnitude de tempo de persistência nas águas, são os componentes orgânicos DDT (Dioclorodifenitricloroetano – 4 anos), BHC (Hexaclorido Bezeno – 3 anos), Aldrim (2 a 3 anos) e Paration (1 ano). Estudos específicos quanto a contaminação dos aquíferos na região, pelo uso de pesticidas, não foram até o momento realizados.



Foto 7.11 - Cultivo de cana de açúcar no município de Barbalha. 467050W / 9192910S. (04/05/2007).



Foto 7.12 - Usina Manuel Costa Filho, município de Barbalha. 471610W / 9192710S. (04/05/2007).

## 8. VULNERABILIDADE NATURAL À POLUIÇÃO

---

A utilização que o homem tem feito dos recursos naturais nem sempre ocorreu considerando suas características e a capacidade de recuperação dos mesmos, mas recentemente, o homem passou a preocupar-se com os problemas ambientais. O surgimento de problemas ambientais graves, com reflexos sobre o próprio homem, levou-o a procurar compreender melhor os fenômenos naturais e a entender que deve agir como parte integrante do meio ambiente.

A água é um recurso natural essencial à vida no planeta, mas é utilizada também como insumo básico da imensa maioria das atividades econômicas. É encontrada na natureza em quantidades que variam aleatoriamente no tempo e no espaço, sendo também extremamente vulnerável à deterioração qualitativa.

Os trabalhos desenvolvidos por SILVA (1996) e SANTIAGO *et al.* (1996) sobre a dinâmica das águas subterrâneas do Cariri, utilizando medidas isotópicas de carbono 14, carbono 13, oxigênio 18, trício e deutério, análises químicas dos íons mais abundantes e condutividade elétrica, permitiram identificar e descrever a circulação e mistura de paleoáguas (entre 8 e 12 mil anos) infiltradas na chapada e armazenadas diretamente nas diferentes formações aquíferas, com águas pluviais recentes infiltradas diretamente no Vale do Cariri nestas formações, levando assim a verificar a existência de águas subterrâneas na Bacia do Araripe que levam aproximadamente 10 mil anos para circular nos aquíferos da região. Estas condições fazem com que reflitamos sobre a situação da super-exploração das águas subterrâneas, a emissão de poluentes e a nos preocupar em tomar medidas protecionistas para preservar os aquíferos.

Por ser uma substância fluida, o uso da água em um local afeta não apenas usuários no local, mas também aqueles situados ao longo da direção de fluxo. Além disso, é crescente, em nível mundial, o fenômeno de escassez dos recursos hídricos, situação que também vem ocorrendo no nordeste brasileiro. Como foi ressaltado anteriormente, a Bacia Sedimentar do Araripe é favorecida pelo elevado armazenamento de água subterrânea, porém é constante as reclamações de falta d'água por parte dos moradores. Assim, a

CAGECE, órgão responsável pelo abastecimento de grande parte dos municípios pertencentes à bacia, sempre está construindo poços nessa região, pois a demanda é crescente. Sabendo que a exploração na região é intensa e que a cada dia a CAGECE e particulares constroem mais poços para suprir suas necessidades de água, ressalta-se a importância de um monitoramento contínuo dos níveis das águas e da qualidade, adquirindo assim dados para desenvolvimento de uma gestão de uso das águas subterrâneas. O princípio básico para gestão é o monitoramento contínuo dos poços na região.

Por esta razão, os estudos referentes aos recursos hídricos subterrâneos são fundamentais e necessitam de maior atenção, para evitar futuras situações de degradação deste recurso.

O termo vulnerabilidade natural está intrinsecamente ligado às características hidrogeológicas próprias de cada unidade litológica, que irão fornecer resistência a modificações quanto a ações antrópicas imprevistas, associadas à ocupação do meio físico e ao tipo de carga contaminante que possa vir afetar a unidade aquífera (VERÍSSIMO, 1996).

A metodologia adotada para avaliar a vulnerabilidade natural na área de estudo foi a GOD (FOSTER *et al.* 1987; FOSTER & HIRATA, 1993), adaptada as condições da região e o número de dados existentes.

Em princípio, realizamos uma avaliação do Sistema Aquífero Médio e as camadas sobrejacentes levando em consideração os aspectos regionais do tipo de aquífero, litotipo aflorante e variação do nível d'água; e, por fim, avaliamos a vulnerabilidade à contaminação do referido sistema na faixa entre os municípios de Crato e Missão Velha, considerando a zona não saturada, tipo de aquífero e litotipo aflorante, adotando-se valores para cada item desse analisado e a posterior obtenção do índice de vulnerabilidade natural do aquífero com base em dados pré-existentes de 57 poços com fichas de dados construtivos e litológicos nesse sistema, representando 5,0% do número de poços cadastrados (1126) no arquivo de poços (ANEXO 01).

## 8.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA VULNERABILIDADE NATURAL DOS AQUÍFEROS NA ÁREA ESTUDADA

Para a avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos inclusos no Sistema Aquífero Médio e os sobrepostos utilizamos os critérios propostos por FOSTER (*et al. op. cit.*) e VERÍSSIMO (1999) adaptados às condições da área de estudo, e somado à novas considerações (Figura 8.1).

Foi utilizado o fluxograma GOD (Figura 8.1) para a região do Cariri. No fluxograma de avaliação do índice de vulnerabilidade natural do aquífero a análise parte da situação de ocorrência das águas subterrâneas, onde para cada uma é adotado um determinado valor numérico que varia de 0,0 a 1,0 indo de ausente a não confinado (livre), respectivamente, onde os valores mais elevados (aquíferos livres) estão associados aos de maior risco de contaminação. A próxima avaliação é relacionada ao litotipo representante do aquífero, onde é dividido em materiais não consolidados (sedimentos) e consolidados (rochas porosas), cuja valor varia de 0,3 a 1,0, indo de materiais de baixa permeabilidade e transmissividade a materiais inconsolidados de alta permeabilidade e transmissividade. O parâmetro de profundidade do nível estático, ou topo do aquífero confinado é classificado em quatro índices: 0,4 (>40m); 0,6 (>20 – ≤40m); 0,8 (>10 – ≤20m); e 1,0 (≤10m), sendo necessário dados dos poços construídos em uma determinada formação aquífera.

Os tipos de aquíferos na área representam sistemas livres, com valores de índice entre 0,9 a 0,5.

Os litotipos aflorantes são basicamente areia, cascalho, arenitos finos, médios, grosseiros e quartzosos, siltitos, argilitos, folhelhos, com valores de índice entre 0,9 a 0,6.

Os níveis estáticos variaram do índice 0,4 a 1,0.

O cruzamento dessas três informações gerou-se a Tabela 8.1, onde estão os valores e índices de vulnerabilidade de cada unidade geológica, e os dados para a avaliação e diagnóstico comparativo de aquíferos da área estudada apontando quem é mais ou menos vulnerável.



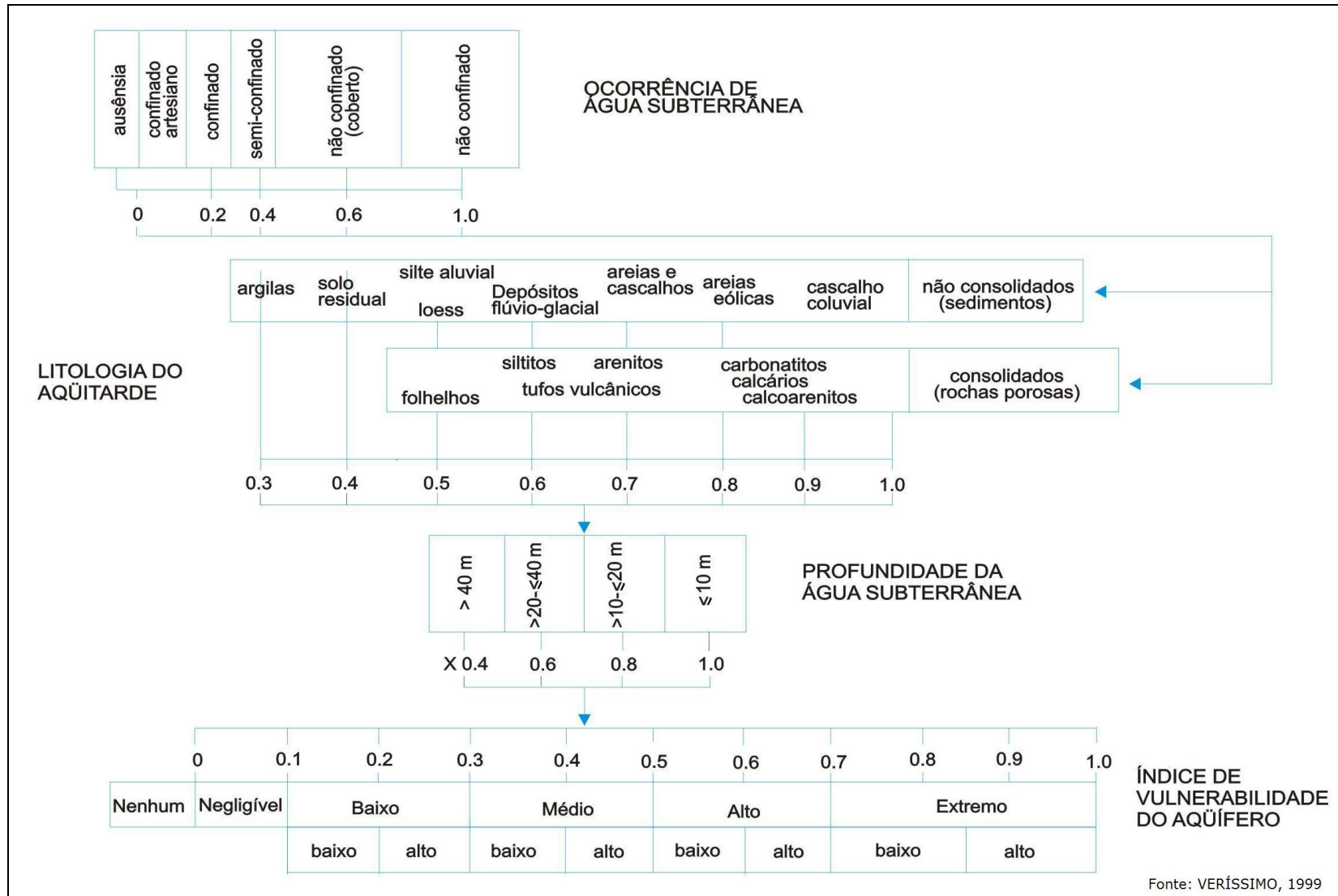


Figura 8.1 – Sistema de avaliação do índice de vulnerabilidade natural do aquífero.

Tabela 8.1 - Classes da vulnerabilidade natural do Sistema Aquífero Médio, aluviões e coberturas, na área de estudo.

Sistema Aquífero	Unidade Geológica	Tipo de Aquífero	Litotipo	Nível d'água	Índice	Classe
Aluviões e Coberturas	Aluviões	0,9	0,9	1	0,81	Extremo - baixo
				0,8	0,65	Alto - alto
				0,6	0,49	Médio - alto
				0,4	0,32	Médio - baixo
	Coberturas Arenosas	0,8	0,7	1	0,56	Alto - baixo
				0,8	0,45	Médio - alto
				0,6	0,34	Médio - baixo
				0,4	0,22	Baixo - alto
	Depósito de Tálus	0,6	0,6	1	0,36	Médio - baixo
				0,8	0,29	Baixo - alto
				0,6	0,22	Baixo - alto
				0,4	0,14	Baixo - baixo
Sistema Aquífero Médio	Rio da Batateira	0,7	0,7	1	0,49	Médio - alto
				0,8	0,39	Médio - baixo
				0,6	0,29	Baixo - alto
				0,4	0,19	Baixo - baixo
	Missão Velha	0,8	0,8	1	0,64	Alto - alto
				0,8	0,51	Alto - baixo
				0,6	0,38	Médio - baixo
				0,4	0,26	Baixo - alto

A partir de uma descrição regional dos tipos de aquíferos e litotipos em cada unidade geológica, adotamos um índice para cada um, ficando o índice do nível d'água variável, o qual faz com que em uma mesma unidade apresente varias classes de vulnerabilidade natural. A exemplo da Formação Rio da Batateira quando o nível d'água é igual ou inferior a 10m é classificado como de Médio-alto índice de vulnerabilidade e quando o nível é superior aos 40m temos um Baixo-baixo índice de vulnerabilidade (Tabela 8.1).

A avaliação do tipo de aquífero, e litologia aflorante considerando os aspectos regionais, nos dá uma idéia de quem é potencialmente mais ou menos vulnerável. Porém para uma avaliação buscando uma maior aproximação da realidade é necessária a aquisição de perfis litológicos, assim podendo ser identificado os parâmetros locais.

### 8.1.1. Classes de Vulnerabilidade Natural

Para traçarmos um mapa das classes de vulnerabilidade natural, as quais foram adotadas levando em consideração as características regionais litológicas de cada formação, tipo de aquífero e nível d'água. Para as aluviões e coberturas terciário-quaternárias adotamos o nível estático inferior a 10m,

baseado em observações no campo, onde temos a exploração feita por poços amazonas rasos; para os aquíferos do Sistema Aquífero Médio adotamos entre 20 e 40m, pois o nível estático médio dos poços nesse sistema é de 24,1m, (Figura 8.2).

No mapa de classes de vulnerabilidade, foram classificadas quatro classes (Extrema, Alta, Média e Baixa) com a variação de alto ou baixo.

Extremo-baixo: corresponde aos sedimentos aluvionares, constituídos de areia e cascalho, com boa permeabilidade e porosidade. Possuem no geral níveis estáticos rasos, inferiores a 10m, observado em campo em alguns poços amazonas. Esses fatores facilitam uma eventual migração de um elemento poluente, caracterizando esta área como de extremo índice de vulnerabilidade.

Alto – baixo: compreende as coberturas arenosas que ocorrem por toda a parte central da área, sendo constituídas de lateritas, arenitos e argilitos. Possui permeabilidade e porosidade média, nível estático raso, constituindo-se em uma fonte alternativa, para exploração de água subterrânea.

Médio - Baixo: corresponde a região onde afloram os depósitos de tálus. Ocorre na parte sudoeste, próximo ao topo e sopé da chapada do Araripe e são formados por sedimentos das formações Arajara e Santana, apresentando condutividade hidráulica de baixa a média, porém com os níveis estáticos rasos. Os sedimentos da Formação Missão Velha, que são constituídos de arenitos brancos grosseiros, friáveis e mal selecionados, também foram classificados como sendo de Médio-Baixo índice de vulnerabilidade, onde os níveis estáticos são mais profundos, ocorrem na porção norte no município de Missão Velha e possuem uma alta condutividade hidráulica e potencialidade hidrogeológica.

Baixo - alto: compreende os sedimentos da Formação Rio da Batateira, sendo constituída de arenitos médios a grosseiros, mal classificados, siltitos argilosos e uma camada de folhelhos. Possui diferentes permeabilidade e porosidade, tendo a maior área de exposição.

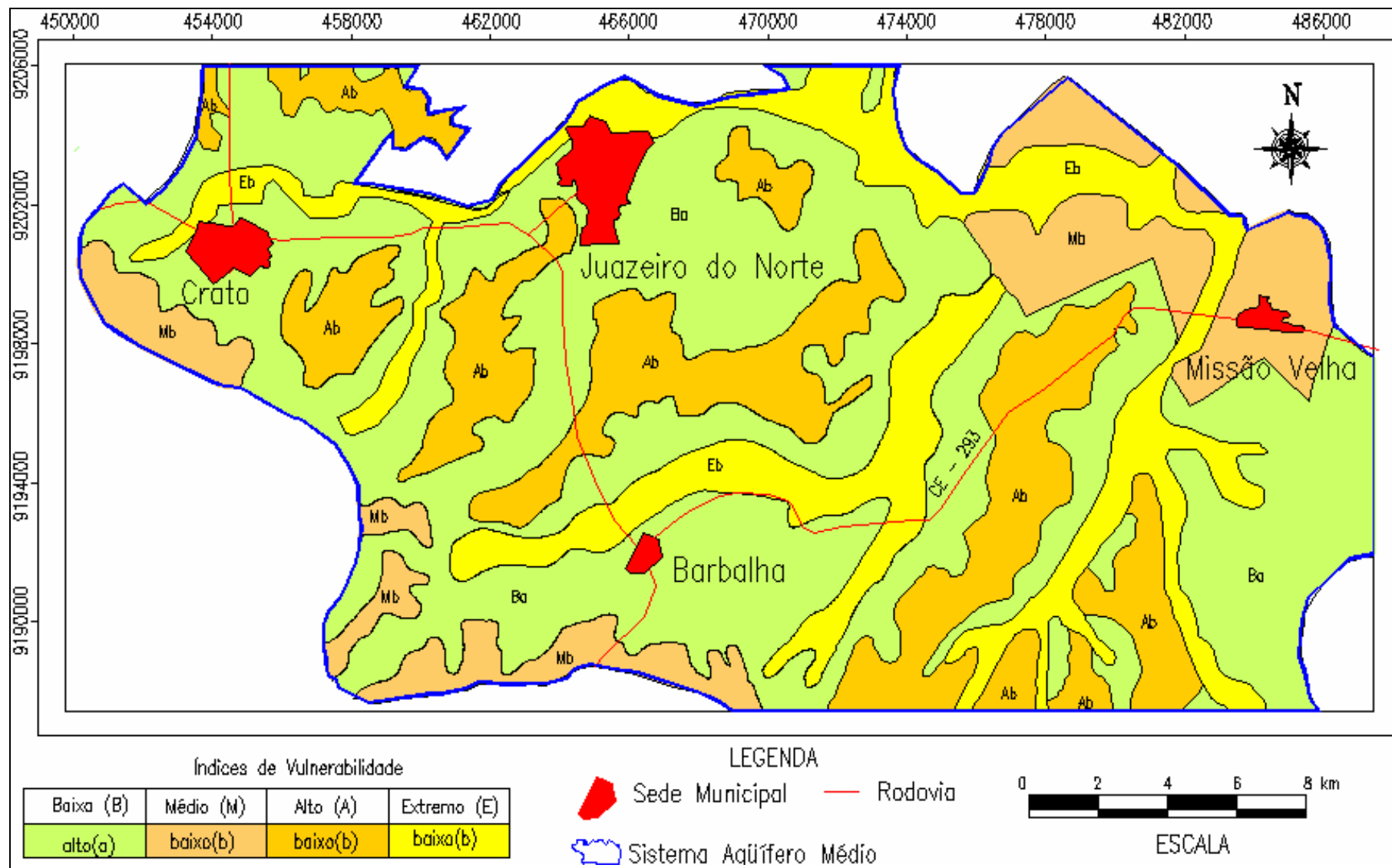


Figura 8.2 – Vulnerabilidade Natural do Sistema aquífero Médio e aquíferos subjacentes.

## **8.2. O SISTEMA AQUÍFERO MÉDIO**

Após a primeira avaliação da vulnerabilidade geral dos aquíferos, realizamos uma avaliação específica do Sistema Aquífero Médio utilizando os perfis litológicos existentes, aplicando-se a metodologia GOD, levando-se em consideração o tipo de aquífero, litotipo aflorante e nível estático ou topo do aquífero confinado ponto a ponto, elaborando uma tabela com os índices de vulnerabilidade, assim conseguindo com que o mapa de vulnerabilidade se aproxime mais da realidade.

Para essa avaliação foram utilizados 57 poços com perfil construtivo, litológico, e que captassem água exclusiva do Sistema Aquífero Médio. A partir desses dados foram elaborados mapas de distribuição dos poços, nível estático, superfície potenciométrica e de vulnerabilidade natural para facilitar o entendimento da avaliação.

### **8.2.1. Mapa da Distribuição dos Poços com Perfis Litológicos**

A partir dos 57 poços (5% dos poços cadastrados), elaborou-se mapa utilizando as coordenadas UTM de cada poço, com o objetivo de visualizar a distribuição espacial dos poços no Sistema Aquífero Médio, onde a maior concentração localiza-se no município de Juazeiro do Norte (Figura 8.3). Como pode ser observado no mapa existem vazios de informações, o que deixa em aberto a possibilidade de novas avaliações, considerando um maior número de dados, sendo possível de todo modo termos uma primeira visão da vulnerabilidade do sistema.

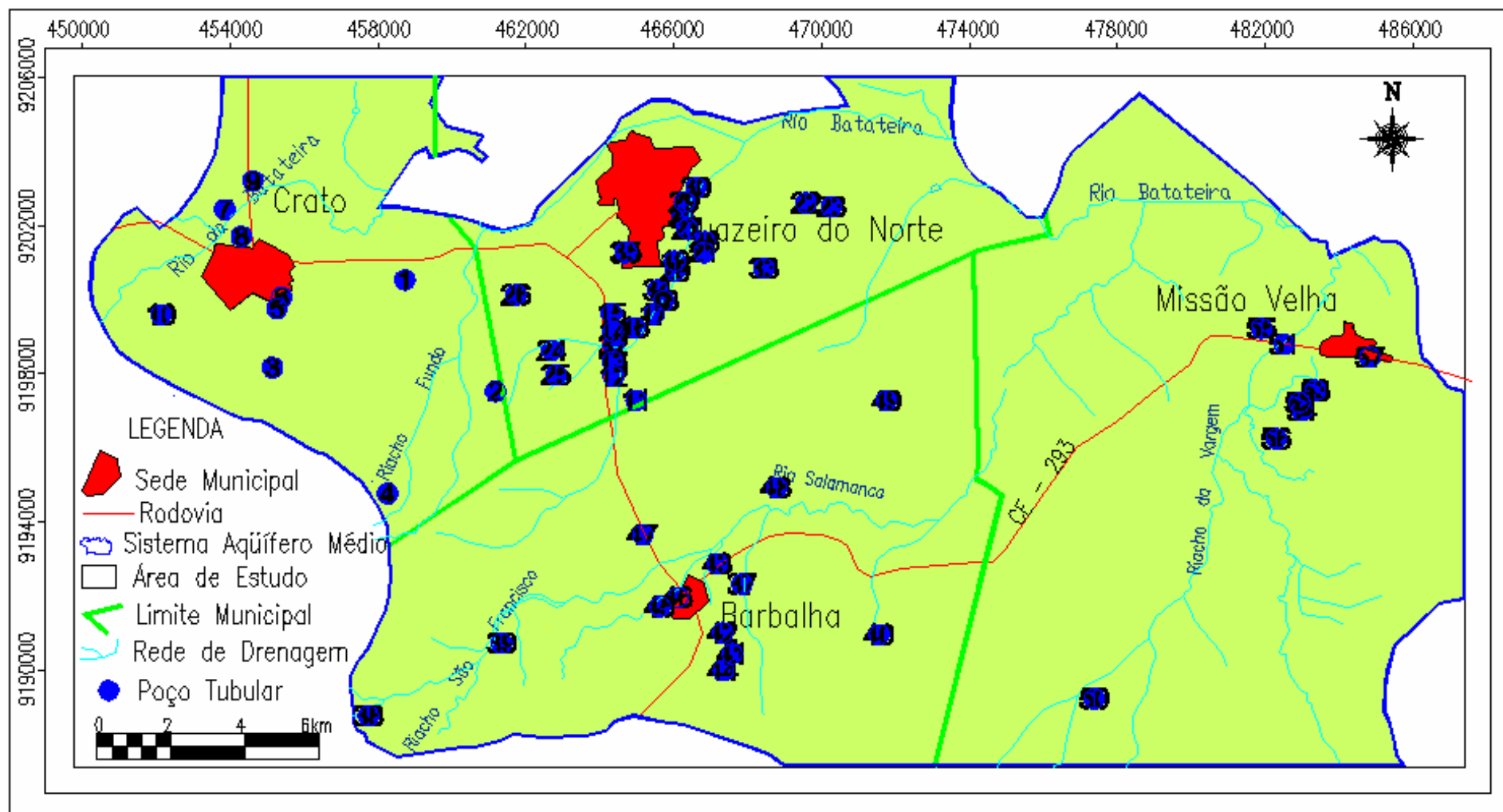


Figura 8.3 – Distribuição dos poços com perfil construtivo e litológico no Sistema Aquífero Médio na área de estudo.

### 8.2.2. Mapa do Nível Estático

O nível estático de 56 poços variou de zero (1 poço surgente, poço nº 774 em Juazeiro do Norte) até 95m (poço nº 1072 em Olho D'água de Fora - Missão Velha).

O nível estático do aquífero corresponde à altura da água quando não influenciada por bombeamento, leitura feita da cota do terreno, medida essa tomada com a utilização de um medidor de nível d'água (Foto 8.1).

Na realização dessa medida em campo sempre deve ser observado se os poços estão ou não sendo bombeados naquele momento; essa medida não pode ser feita com o poço em bombeamento, o que provocaria uma leitura errada, e em vez de termos o nível estático teríamos o dinâmico. Nos poços em bombeamentos, é preciso esperar a recuperação do nível d'água até a posição de equilíbrio.



Foto 8.1 - Exemplificação da tomada do nível estático. (10/12/2005).

Conforme a metodologia proposta por FOSTER & HIRATA (1993) e FOSTER *et al.* (2003), os poços mais rasos têm o valor maior do parâmetro “D”, utilizado para o cálculo de vulnerabilidade. Para adaptar a metodologia GOD à área de estudo foi necessário modificar os intervalos, sendo adotado os sugeridos por VERÍSSIMO (1999) que dividiu em quatro classes, com suas respectivas notas, sendo elas:

- Nota 1,0 - Nível estático menor igual a 10,0m ( $\leq 10,0\text{m}$ ), sendo mais susceptíveis à contaminação superficial. Nesta situação foram identificados 19 poços, representando 34%.

- Nota 0,8 - Nível estático entre  $> 10 - \leq 20\text{m}$ ; obteve-se 14 poços (25%).
- Nota 0,6 – Nível estático entre  $> 20 - \leq 40\text{m}$ ; 10 poços (18%).
- Nota 0,4 – Nível estático superior a 40m ( $> 40\text{m}$ ); 13 poços (23%).

Salienta-se que para os poços com nível estático com maior profundidade, a contaminação se torna mais difícil, já que o contaminante tem que atravessar uma maior espessura da rocha para chegar ao topo do aquífero.

Na Figura 8.4 pode ser visualizada a distribuição percentual dos poços no Sistema Aquífero Médio associado às notas de avaliações para o nível estático.

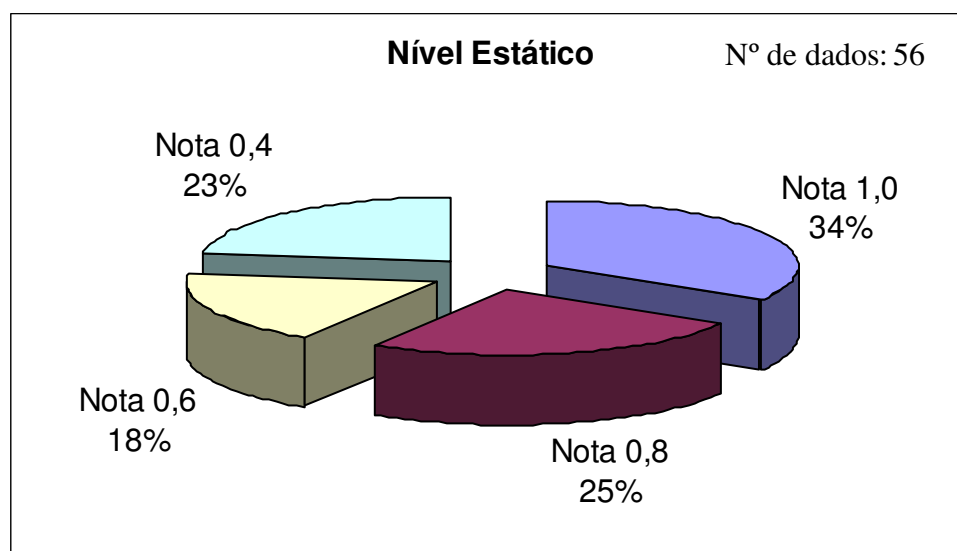


Figura 8.4 – Porcentagem dos poços tubulares correlacionando-se a nota adotada para o nível estático.

Na confecção do mapa de variação do nível estático foram traçadas as isolinhas de 10, 20 e 40m, sendo as variações associadas às cores vermelha, laranja, amarelo e verde, para uma maior percepção visual. O vermelho ( $\leq 10\text{m}$ ) está associado com áreas de níveis mais rasos, por consequência mais vulneráveis a poluição; laranja ( $>10$  a  $\leq 20\text{m}$ ); amarelo ( $>20$  a  $\leq 40\text{m}$ ) e o verde ( $>40\text{m}$ ) áreas com menor risco de vulnerabilidade (Figura 8.5).

Os níveis estáticos do Sistema Aquífero Médio na área de estudo, representados na Figura 8.5, mostram que a zona localizada na porção central do mapa, que inclui a sede de Barbalha e a porção leste da sede municipal de Juazeiro do Norte, é a zona com nível estático mais raso, mais susceptível a contaminação. Nesta área devem ser exigidos maiores cuidados quanto a instalação de aterros sanitários, distritos industriais ou qualquer outra atividade que seja potencialmente poluidora das águas subterrâneas.



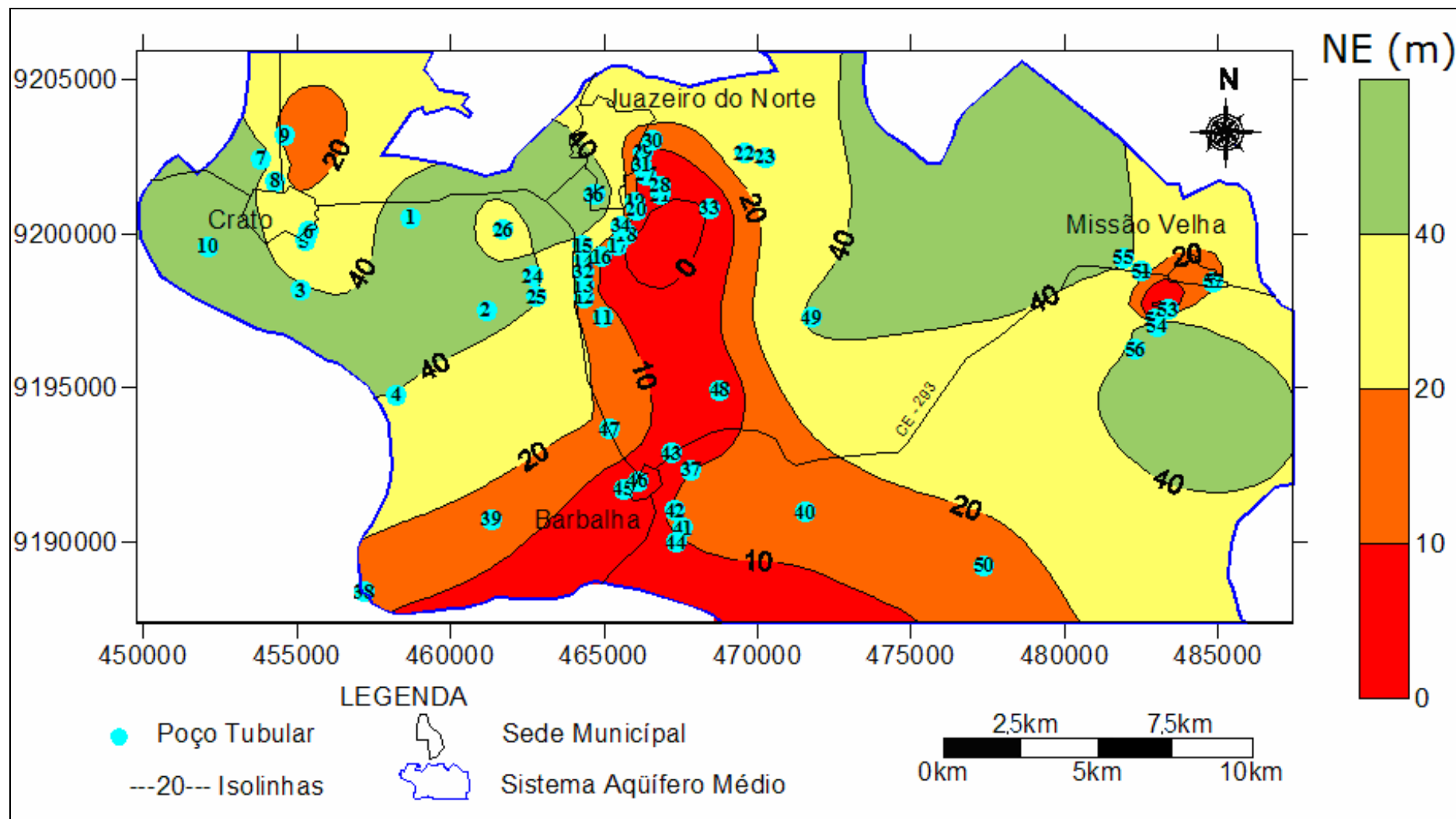


Figura 8.5 – Variação do nível estático (m) no Sistema Aquífero Médio na área de estudo.

### 8.2.3. Mapa da Superfície Potenciométrica

A superfície potenciométrica é o topo da superfície d'água de um aquífero, cujo valor se atribui pela diferença da cota do terreno (em metros) onde situa-se o poço, e o nível estático (em metros).

O mapa da superfície potenciométrica, denominado como rede de fluxo, representa um estudo bidimensional para efeito de visualização e entendimento do escoamento, neste caso sendo traçado e analisado a direção preferencial ao longo da área de estudo (Figura 8.6). A velocidade de escoamento da água pode ser contínua em aquíferos livres e descontínua em aquíferos confinados. Ele foi obtido utilizando o aplicativo *Surfer 8* e utilizando 207 dados.

A partir deste mapa, (Figura 8.6) observa-se que a faixa de variação foi de 275 m (poço nº 1072, em Missão Velha) a 667,5m (poço nº 117, em Crato), indicando as direções dos fluxos subterrâneos de maior pressão para as de menor, sendo dos quadrantes sudoeste para nordeste, ou seja, da Chapada do Araripe para o Vale do Cariri podendo, neste caso, ocorrer deslocamento de contaminantes para nordeste. Devido a ocorrência de grabens e horts na região esse fluxo pode sofrer entroncamentos, assim mudando a direção do fluxo localmente, porém a partir dessa mapa regional temos a visão do fluxo principal na região do Cariri.

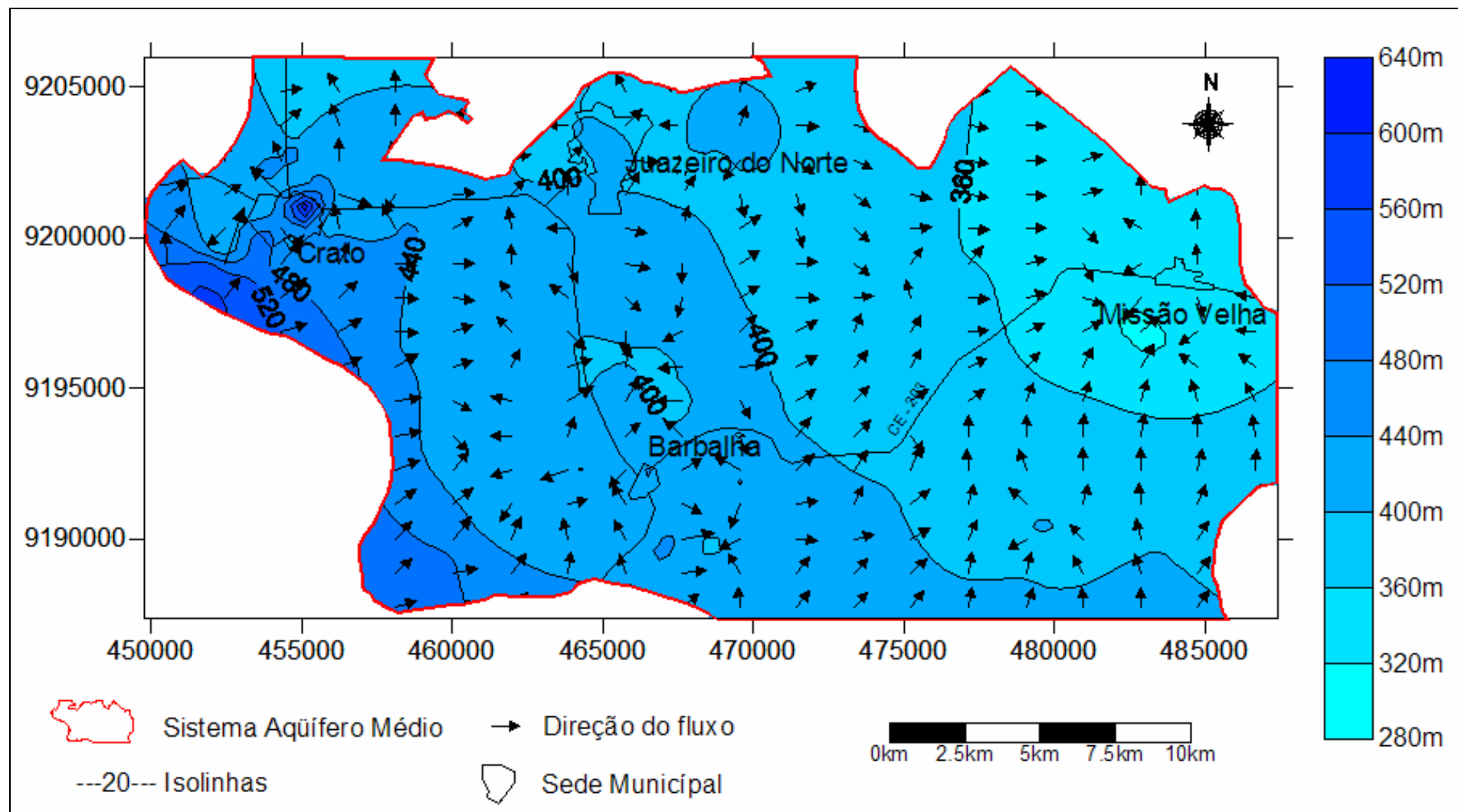


Figura 8.6 – Superfície potenciométrica na área do Sistema Aquífero Médio..

#### **8.2.4. Vulnerabilidade Natural do Sistema Aquífero Médio**

A elaboração do mapa de vulnerabilidade se baseou na metodologia GOD (FOSTER *et al.* 1987; FOSTER & HIRATA, 1993), onde a Tabela 8.2, apresenta os valores calculados que definem os índices de vulnerabilidade para o sistema.

Os dados coletados e calculados para avaliação da vulnerabilidade estão na Tabela 8.2. O número de ordem dos poços na tabela está correlacionado com a numeração do Arquivo de Dados de Poços Tubulares (ANEXO 01), seguido pelo município que o poço foi construído, onde a área de estudo abrange porções dos quatro municípios, sendo que para essa posição correta foi tomada a medida das coordenadas UTM. Na seqüência tem-se o nível estático, o topo do aquífero confinado quando foi utilizado, os índices para o tipo de aquífero, litologia aflorante, nível d'água e a vulnerabilidade natural para cada ponto.

Os poços utilizados para essa avaliação estão captando água do Sistema Aquífero Médio. Na avaliação da vulnerabilidade natural do Sistema Aquífero Médio temos uma variação de negligível a alto. A baixa vulnerabilidade é resultante de níveis argilosos que ocorrem no Vale do Cariri, dando uma proteção maior para os aquíferos, funcionando com impermeabilizantes naturais.

Para representar a distribuição espacial dos índices de vulnerabilidade natural do aquífero (Tabela 8.2), gerou-se um mapa de índice de vulnerabilidade natural, que mostra a subdivisão adotada para classificar as áreas mais ou menos susceptíveis à contaminação na área estudada, (Figura 8.7) onde ocorrem 5 classes de vulnerabilidade (Negligível, Baixa, Média, Alta e Extrema).

A geração deste mapa facilitou a identificação das áreas mais susceptíveis à contaminação, servindo para subsidiar planos futuros de ocupação e uso do solo, buscando os melhores locais para instalação de empreendimento que emitam poluentes, tais como aterros sanitários, distritos industriais, etc.

Tabela 8.2 - Índice de vulnerabilidade natural do Sistema Aquífero Médio na área de estudo.

Nº de Ordem	Nº do Arquivo	Município	UTM W	UTM S	NE (m)	Topo do Aquífero	Aquífero	Litologia	Nota do Nível	IVN
1	22	Crato	458723	9200529	51,50		0,5	0,6	0,4	0,120
2	58	Crato	461175	9197519	43,00		0,4	0,6	0,4	0,096
3	99	Crato	455138	9198161	43,00		0,4	0,5	0,4	0,080
4	106	Crato	458250	9194764	39,82		0,6	0,7	0,6	0,252
5	132	Crato	455259	9199758	18,50		0,6	0,7	0,8	0,336
6	133	Crato	455381	9200065	26,00		0,5	0,4	0,6	0,120
7	161	Crato	453846	9202428	53,80		0,5	0,4	0,4	0,080
8	173	Crato	454298	9201701	21,00		0,5	0,4	0,6	0,120
9	181	Crato	454612	9203197	10,30		0,6	0,7	0,8	0,336
10	250	Crato	452119	9199591	75,00		0,4	0,5	0,4	0,080
11	255	Juazeiro	464980	9197278	14,56		0,3	0,4	0,8	0,096
12	256	Juazeiro	464365	9197926	12,34		0,6	0,6	0,6	0,216
13	257	Juazeiro	464344	9198327	15,41	34,00	0,4	0,5	0,6	0,120
14	259	Juazeiro	464356	9199134	17,32		0,4	0,5	0,8	0,160
15	260	Juazeiro	464314	9199625	34,60	42,00	0,2	0,5	0,4	0,040
16	261	Juazeiro	464938	9199245	8,86	48,00	0,2	0,4	0,4	0,032
17	262	Juazeiro	465461	9199604	4,71	14,00	0,6	0,6	0,8	0,288
18	263	Juazeiro	465727	9199974	1,39	20,00	0,8	0,5	0,6	0,240
19	265	Juazeiro	466026	9201041	7,68		0,6	0,4	1	0,240
20	266	Juazeiro	466038	9200776	4,80		0,6	0,6	1	0,360
21	267	Juazeiro	466816	9201270	2,52		0,9	0,8	1	0,720
22	268	Juazeiro	469580	9202611	30,00		0,3	0,6	0,6	0,108
23	269	Juazeiro	470260	9202499	33,00	61,00	0,2	0,6	0,4	0,048
24	270	Juazeiro	462702	9198622	42,00		0,4	0,6	0,4	0,096
25	271	Juazeiro	462815	9197965	42,00		0,4	0,6	0,4	0,096
26	272	Juazeiro	461731	9200130	33,00		0,6	0,5	0,6	0,180
27	274	Juazeiro	466364	9201913	1,00		0,9	0,8	1	0,720
28	275	Juazeiro	466840	9201563	1,42		0,9	0,8	1	0,720
29	276	Juazeiro	466287	9202639	1,60		0,8	0,8	1	0,640
30	277	Juazeiro	466603	9203030	15,88	30,00	0,4	0,5	0,6	0,120
31	771	Juazeiro	466237	9202222	8,00	40,00	0,3	0,8	0,6	0,144
32	772	Juazeiro	464360	9198764	22,90		0,6	0,4	0,6	0,144
33	774	Juazeiro	468439	9200840	0,00		1	0,6	1	0,600

IVN - Índice de Vulnerabilidade Natural

Tabela 8.2 - Índice de vulnerabilidade natural do Sistema Aquífero Médio na área de estudo.

Nº de Ordem	Nº do Arquivo	Município	UTM W	UTM S	NE (m)	Topo do Aquífero	Aquífero	Litologia	Nota do Nível	IVN
34	775	Juazeiro	465565	9200254	24,26		0,4	0,6	0,6	0,144
35	776	Juazeiro	464715	9201288	61,00		0,4	0,6	0,4	0,096
36	777	Juazeiro	464678	9201262	63,00		0,2	0,6	0,4	0,048
37	780	Barbalha	467846	9192320	10,00		0,7	0,7	0,8	0,392
38	781	Barbalha	457200	9188377	11,37		0,6	0,7	0,8	0,336
39	782	Barbalha	461340	9190720	15,00		0,5	0,4	0,8	0,160
40	783	Barbalha	471556	9190951	12,50		0,6	0,5	0,8	0,240
41	784	Barbalha	467582	9190440	20,01		0,6	0,6	0,6	0,216
42	785	Barbalha	467319	9191006	10,87		0,6	0,6	0,8	0,288
43	786	Barbalha	467177	9192870	6,90		0,8	0,8	1	0,640
44	787	Barbalha	467335	9189978	2,90	10,0	0,4	0,3	0,8	0,096
45	791	Barbalha	465623	9191711	3,60	12,0	0,4	0,4	0,8	0,128
46	793	Barbalha	466111	9191961	5,00		0,8	0,8	1	0,640
47	856	Barbalha	465160	9193650	19,00		0,5	0,6	0,8	0,240
48	1066	Barbalha	468778	9194925	3,20		0,9	0,7	1	0,630
49	1067	Missão V.	471754	9197266	44,00		0,3	0,5	0,4	0,060
50	1068	Missão V.	477381	9189224	12,90		0,8	0,7	0,8	0,448
51	1069	Missão V.	482515	9198794		25,00	0,2	0,8	0,6	0,096
52	1070	Missão V.	482936	9197216	2,50	59,00	0,2	0,3	0,4	0,024
53	1071	Missão V.	483365	9197552	1,38	42,00	0,2	0,3	0,4	0,024
54	1072	Missão V.	483000	9197000	95,00	101,00	0,2	0,3	0,4	0,024
55	1074	Missão V.	481908	9199222	46,40		0,6	0,7	0,4	0,168
56	1077	Missão V.	482307	9196244	42,00	45,00	0,3	0,3	0,4	0,036
57	1079	Missão V.	484840	9198440	18,00	30,00	0,3	0,3	0,6	0,054

IVN - Índice de Vulnerabilidade Natural

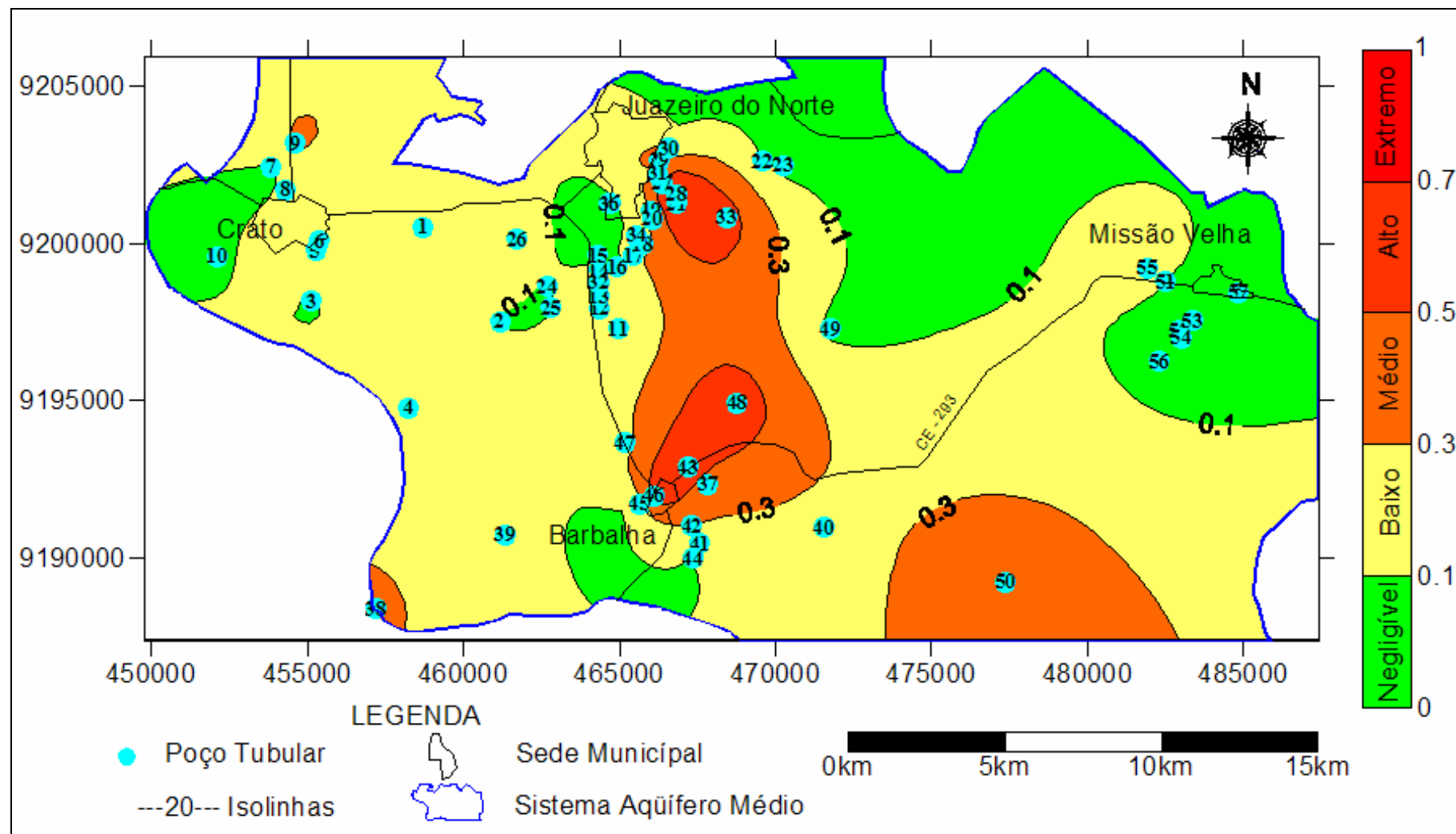


Figura 8.7 – Variação dos índices de vulnerabilidade natural no Sistema Aquífero Médio, na área de estudo.

Na individualização das classes de vulnerabilidade natural utilizando os poços tubulares, tivemos 20 poços (35%), que estão localizados em áreas de Negligível vulnerabilidade natural; 23 poços (40%), em Baixo; Médio com 6 poços (11%); Alto com 5 poços (9%) e Extremo com 3 poços (5%), onde a maioria apresentou índices de vulnerabilidade Negligível e Baixa. (Figura 8.8).

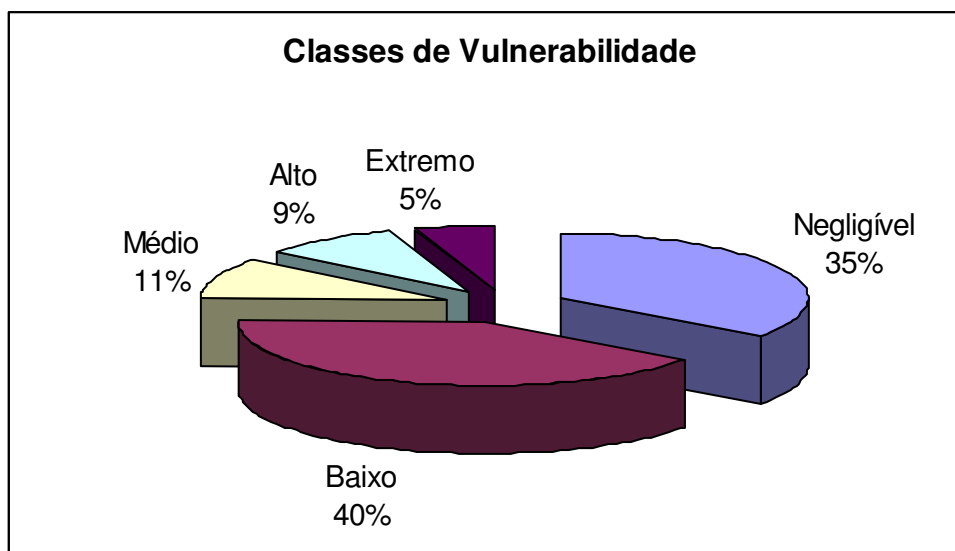


Figura 8.8 – Índices de Vulnerabilidade do Sistema Aquífero Médio.

As situações de Baixo e Negligível zonas de vulnerabilidade natural no Sistema Aquífero Médio são caracterizadas por uma grande variação de níveis argilosos, o que favorece uma proteção maior desse sistema. Vale ressaltar que mesmo na classificação de vulnerabilidade negligível e baixa, na instalação de estabelecimentos que apresentam qualquer tipo de poluente deve ser feito um estudo detalhado, confirmando esses parâmetros.

Área de Índice Negligível de Vulnerabilidade – ocorre na porção noroeste nos municípios de Juazeiro do Norte e Missão Velha, e porções menores distribuídas pela área, essas áreas aquíferas são mais protegidas devido as camadas de argilas que ocorrem na região, causando confinamento localizado do aquífero e topo de aquífero mais profundo. Essa classificação compreende 20 poços (35%). Nessa zona, a água do aquífero está exposta a uma baixíssima susceptibilidade à contaminação.

Área de Índice Baixo de Vulnerabilidade - ocorre em maior proporção na área, com maior intensidade nas porções leste e oeste, sendo observado que ocorre circundando a chapada. Essa classificação resultou da interpretação de 23 perfis de poços (40 %) situados, na sua maioria, na zona de afloramento da Formação Rio da Batateira e em menor proporção



na Formação Missão Velha, que está situada na porção nordeste da área. Nessa zona a água do aquífero está exposta a Baixa susceptividade relativa à contaminação.

Área de Índice Médio de Vulnerabilidade – ocorre na porção central da área, circundando zonas de alta vulnerabilidade. Outra ocorrência é na porção sudeste da área. Essa classificação compreende 6 poços (11%) situados na zona de afloramento da Formação Rio da Batateira. Nessa zona, a água do aquífero está exposta a uma moderada susceptividade à contaminação.

Área de Índice Alto de Vulnerabilidade - ocorre na parte sudeste da sede do município de Juazeiro do Norte e a nordeste da sede de Barbalha, sendo esta zona caracterizada por águas mais rasas, níveis aflorantes arenosos, aquífero livre, susceptível de ficar em contato direto com eventuais poluentes; essa classificação compreende 5 poços (9%) situados na sua maioria na zona de afloramento das aluviões. Nessa zona a água do aquífero está exposta a uma Alta susceptividade à contaminação.

Área de Índice Extremo de Vulnerabilidade - essa classificação compreende 3 poços (5%) e ocorre em pequenas porções isoladas inclusas na zona de Alta vulnerabilidade, caracterizados por apresentarem níveis jorrantes e camadas arenosas. Ocorrem na zona aquífera correspondente aos sedimentos aluvionares, com boas porosidade e permeabilidade. Por possuir o nível estático raso, constitui-se de uma alternativa fácil para exploração de água subterrânea, sendo muito utilizado para grandes plantações de vazante na região, favorecendo a qualquer migração de um elemento poluente, tornando estas áreas com índices Extremos de vulnerabilidade.

## **9. RISCO DE CONTAMINAÇÃO DO SISTEMA AQUÍFERO MÉDIO**

O risco de contaminação é a correlação da vulnerabilidade natural com as cargas poluidoras. As principais fontes poluidoras estão na sede municipal tendo sido realizada uma caracterização do risco por município, propiciando o conhecimento sobre que unidade municipal está sofrendo o maior lançamento de poluentes no meio ambiente.

O número de atividades foi classificado em Reduzido, Moderado e Elevado.

### **9.1. OCUPAÇÃO POPULACIONAL URBANA**

O crescimento desordenado nos centros urbanos causa sério risco ao meio ambiente. Classificamos esse risco como Reduzido (<50.000 habitantes), Moderado (50.000 a 100.000 habitantes) e Elevado (>100.000 habitantes).

A cidade de Juazeiro do Norte com 202.227 habitantes apresenta um Elevado risco, seguido por Crato (83.917hab.) com Moderado risco; Barbalha (30.669 hab.) e Missão Velha (12.785 hab.) com Reduzidos riscos.

### **9.2. INDÚSTRIAS**

A instalação de indústrias na região do Cariri ocorreu inicialmente no município de Juazeiro do Norte. Para avaliarmos o risco dos poluentes das indústrias adotamos intervalos do número de indústrias: Reduzido (< 150 indústrias); Moderado (150 a 400 indústrias); e Elevado (> 400 indústrias.). Nessa avaliação pelo número de indústrias não foi levado em conta o tipo de indústria e suas cargas poluentes.

Juazeiro do Norte apresenta um índice Elevado de risco com 658 indústrias; Crato possui Moderado risco com 184 indústrias; e, o Reduzido risco existe para os municípios de Barbalha (61 indústrias) e Missão Velha (17 indústrias).

### **9.3. MINERAÇÃO**

As atuais minerações com concessão de lavra na região não são muito impactantes. Existem alguns processos no DNPM para minério de cobre, em fase de pesquisa. O município de Barbalha detém o maior número de concessão de lavra de argila (6), calcário (9), gipsita (1) e água mineral (1); em Crato temos a mineração de calcário (2) e água mineral (1); em Juazeiro do Norte existe uma de água mineral; inexistente mineração no município de Missão Velha.

Na avaliação de risco, considerou-se como risco Reduzido para todos os municípios, onde tem-se somente um risco local nas minerações de argila, devido a retirada de uma das proteções naturais.

### **9.4. POSTOS DE COMBUSTÍVEIS**

A partir do cadastro de poços na ANP para os municípios, adotamos índices de risco Reduzido (<10 postos), Moderado (10 a 20 postos) e Elevado (> 20 postos).

Os postos de revenda de combustível com o cadastro legalizado nos municípios de Barbalha (8) e Missão Velha (5) são avaliados de Reduzido risco; nos município de Crato (21) e Juazeiro do Norte (28) como de Elevado risco.

### **9.5. LIXÕES**

Os resíduos sólidos são colocados nos lixões onde a quantidade de resíduos está diretamente correlacionada a população urbana em cada município. Considerando-se 0,500kg/hab/dia, sendo classificado com Elevado risco quando produzido mais de 30.000 t/ano; Moderado risco (15.000 a 30.000 t/ano) e Reduzido (< 15.000 t/ano). Em Juazeiro do Norte (36.905 t/ano) tem um Elevado risco; Crato (15.315 t/ano) apresenta Moderado risco; e os municípios de Barbalha (5.595 t/ano) e Missão Velha (2.332 t/ano) possuem Reduzido risco.

## **9.6. SANEAMENTO BÁSICO**

Levando em consideração a população que não é atendida pela rede de esgoto, temos que a sede do município de Juazeiro do Norte possui 119.125 habitantes não atendidos por serviço de rede de esgoto, e Barbalha com 28.212 habitantes, detentores de índices de Elevados riscos de poluição, pois estão em zona de Alta vulnerabilidade. A sede do município de Missão Velha tem 10.701 habitantes não atendidos pela rede de esgoto, estando o mesmo em uma zona negligível de vulnerabilidade. Em Crato não tivemos informações do número de ligações.

## **9.7. POÇOS TUBULARES**

O contato de águas subterrâneas mais rasas com águas mais profundas causadas por poços mal construídos é um grande problema, pois sobre as zonas com Baixa e Negligível vulnerabilidades ocorrem zonas aluvionares contaminadas por diversos poluentes, sendo necessária uma preocupação na construção de novos poços. Os poços abandonados no total de 52 poços, devem ser avaliados e uma vez não sendo aptos para uso devem ser cimentados, e quando forem aptos para uso devem ser tamponados, evitando-se, assim, que poços abandonados funcionem com condutos de águas rasas contaminadas para níveis mais profundos com água de boa qualidade.

## **9.8. AGRICULTURA**

Atualmente não temos trabalhos que qualifique e quantifique os poluentes que cause risco de poluição das águas subterrâneas pelas práticas da agricultura na região. Sabemos que o cultivo de cana de açúcar é um dos mais comuns na região, sendo utilizado extensivamente fertilizantes e pesticidas orgânicos e inorgânicos em uma área aproximada de 5.000 ha, concentrada nos municípios de Barbalha e Missão Velha.

A região de Barbalha apresenta uma maior preocupação, pois apresenta uma Alta vulnerabilidade.

### **9.9. MAPA DE CARGAS POLUIDORAS**

A partir dos dados das fontes potenciais de poluição elaboramos um mapa de cargas de poluição (Figura 9.1).

O município de Juazeiro do Norte é o que mais preocupa, pois existem zonas de Alta vulnerabilidade e é onde existe o maior número de fontes poluidoras. O município do Crato segue em segundo lugar em números de poluentes, porém Barbalha, devido apresentar áreas com Alta vulnerabilidade vem logo após Juazeiro do Norte. Missão Velha representa o município que é menos vulnerável e que apresenta menos poluentes.

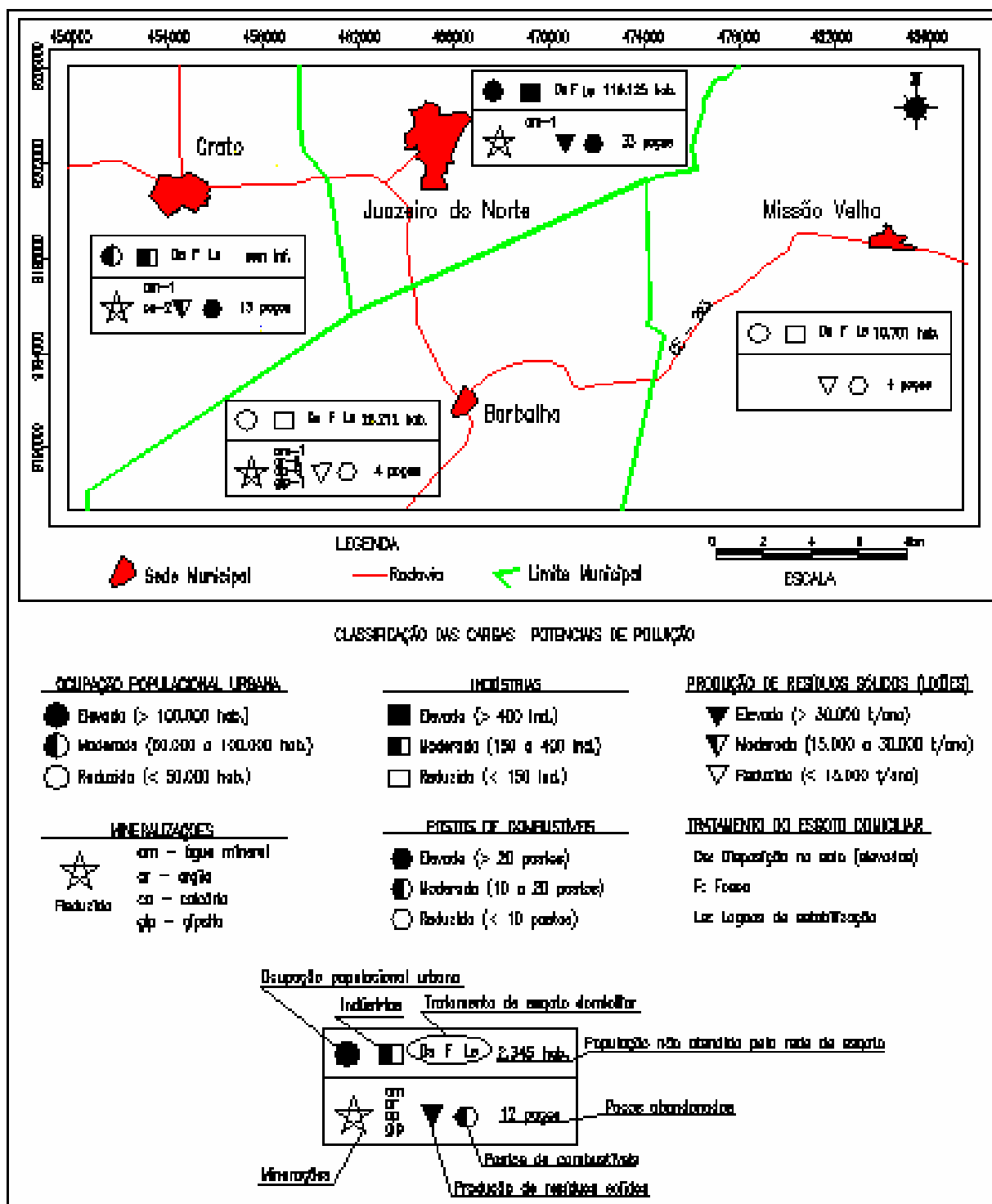


Figura 9.1 – Classificação das cargas potenciais de poluição na área de estudo, Vale da Cariri, Ceará – Brasil.

## 10. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

---

A seguir, são apresentadas as conclusões e recomendações oriundas do que foi exposto nos capítulos anteriores.

Atualmente existem grandes preocupações com a degradação dos elementos do meio ambiente, dentre eles a água subterrânea, onde na região do Cariri temos um dos principais Sistema Aquífero do estado do Ceará. O abastecimento público dos municípios do Crato, Barbalha, Juazeiro do Norte e Missão Velha na área de estudo é feito em sua totalidade por águas subterrâneas provindas do Sistema Aquífero Médio.

A área de estudo está posicionada no Vale do Cariri, na Bacia do Araripe, e em uma pequena porção da chapada, onde o Sistema Aquífero Médio ocorre em toda porção central da área, aflorante e subjacente aos sedimentos aluvionares e coberturas terciário-quadernárias, totalizando 536 km<sup>2</sup> (76% do total da área). O clima é bem diferenciado em quente e úmido com chuvas no outono, na chapada; e no Planalto Sertanejo, chuvas no verão e secas no inverno. As precipitações pluviométricas são maiores nas proximidades da chapada e quando dela se distancia vão se reduzindo. O fluxo subterrâneo segue esse mesmo padrão sofrendo algumas variações devido ao tectonismo que ocorreu na região, formando *grabens* e *horsts*.

A classificação hidrogeológica na região do Cariri baseou-se em sistemas aquíferos, onde temos, do topo para a base, a seguinte distribuição: Sistema Aquífero Superior (Formações Exu e Arajara), Aquicluda Santana, Sistema Aquífero Médio (Formação Rio da Batateira, Abaiara e Missão Velha), Aquicluda Brejo Santo e Sistema Aquífero Inferior (Formação Mauriti e parte basal da Formação Brejo Santo).

No Sistema Aquífero Médio, a Formação Rio da Batateira, camada de topo, é constituída de arenitos médios a grossos, mal classificados, argilosos e siltitos cinza. Na área em estudo esses níveis argilosos são aflorantes em algumas porções, proporcionando uma maior proteção aos aquíferos. A Formação Abaiara é constituída de arenitos argilosos intercalados com siltitos e folhelhos castanhos o que dá uma maior proteção ao aquífero Missão Velha Abaixo; e na base desse sistema tem-se a Formação Missão Velha,

representada por arenitos brancos, grossos, friáveis, mal selecionados, contendo madeira fóssil.

O Arquivo de Poços Tubulares elaborado é constituído de 1126 poços tubulares, potenciais de estarem captando água do Sistema Aquífero Médio. A elaboração desse arquivo deu-se a partir da compilação de cadastro de poços existentes na COGERH, CPRM, CAGECE e em órgãos que trabalham na construção e/ou pesquisa das águas subterrâneas.

Considerando o número total de poços e a divisão municipal na área de estudo, que é representada pelos municípios de Crato (250 poços), Juazeiro do Norte (529 poços), Barbalha (287 poços) e Missão Velha (60 poços), o maior número de poços situa-se no município de Juazeiro do Norte (48%) na área de estudo e o menor está em Missão Velha (5%). A densidade de poços em Juazeiro do Norte preocupa bastante devido este município apresentar um maior número de fontes potenciais de poluentes.

No Sistema Aquífero Médio a vazão varia de 0,1 a 300 m<sup>3</sup>/h com média de 30,5 m<sup>3</sup>/h. O nível estático oscila de jorrante a até 97m, com média de 24,1m. O nível dinâmico varia de 5,3 a 130m, com média de 38,8m. A capacidade específica média é de 3,60[(m<sup>3</sup>/h)/m], variando de 0,01 a 317 [(m<sup>3</sup>/h)/m].

Na área de estudo existem diversas fontes potenciais de poluentes das águas subterrâneas, que foram divididas em fontes pontuais, lineares e difusas. Poluentes esses que, a partir de suas características físico-químicas e de sua posição espacial na área de estudo, presente em determinado litotipo aflorante, poderão vir a representar uma fonte comprovada ou efetiva de poluição para as águas subterrâneas.

Fontes pontuais são as que atingem o aquífero através de uma atividade que lança sua carga poluidora de forma concentrada numa pequena superfície, em forma de plumas, sendo de fácil identificação. Tal situação se observa nas áreas de indústrias, minerações, postos de combustíveis (tanque subterrâneos e lavagens de carro), lixões, lagoas de estabilização, cemitérios, construção de poços tubulares e galvanoplastia.

Fontes lineares são as provocadas pela infiltração de poluentes em zonas lineares. Na região foi observado canais de esgoto a céu aberto, rios poluídos por esgotos domésticos, industriais e hospitalares. A rodovia



estadual CE-293 que é potencialmente uma fonte de aporte de poluentes que por ventura por ela sejam transportados.

Fontes difusas se caracterizam por serem de baixas concentrações e atingir grandes áreas; a exemplo de saneamento básico a agricultura.

Na avaliação da Vulnerabilidade Natural dos aquíferos, observando seus aspectos regionais o aquífero Missão Velha é classificado como de Médio-baixo Índice e o Rio da Batateira é classificado como de Baixo-alto Índice de Vulnerabilidade Natural.

Outra avaliação da vulnerabilidade natural foi feita utilizando-se os perfis dos poços construídos somente no Sistema Aquífero Médio, sendo então observados camadas argilosas no topo do Aquífero Rio da Batateira na área de estudo, as quais dão uma maior proteção ao sistema aquífero, assim se aproximando mais da realidade da vulnerabilidade natural desse sistema.

Fazendo um comparativo das duas avaliações de vulnerabilidade observa-se que para a área de estudo é necessário a obtenção pontual dos dados, utilizando os perfis de poços, pois na região existe uma grande variação nos litotipos, tipo de aquíferos causados pelas energias de transporte na época de formação.

O nível estático foi um dos parâmetros utilizados na avaliação da vulnerabilidade, onde poços com menores profundidades de nível estático são mais susceptíveis à contaminação superficial e poços com níveis mais profundos, denotam um aumento no grau de dificuldade de contaminação das águas subterrâneas.

O mapa de vulnerabilidade associado aos riscos a poluição facilitou a identificação das áreas mais susceptíveis à contaminação, servindo como subsídio para planos futuros de ocupação e uso do solo, apresentando setores mais ou menos apropriados a instalação de estabelecimentos geradores de poluentes, tais como, aterros sanitários e distritos industriais, dentre outros, devendo ser feito novos estudos no posicionamento dessas fontes potenciais de poluição, identificando detalhadamente zonas impermeáveis, caracterizando zonas de Baixa vulnerabilidade.

Na individualização das classes de vulnerabilidade natural utilizando dados dos 57 poços, 20 poços (35%), foram classificados com Negligível risco; Baixo risco para 23 poços (40%); Médio com 6 poços (11%); Alto com

5 poços (9%) e risco extremo com 3 poços (5%). Onde a maioria concentrou nos índices Negligível e Baixo, explicado pelas ocorrências de camadas argilosas no topo do sistema aquífero.

As cargas poluidoras foram analisadas pelo número de atividades potenciais de poluição, sendo classificado em três índices: Elevado, Moderado e Baixo. O município de Juazeiro do Norte é o que apresenta um maior risco de poluentes, seguido pelos municípios de Crato, Barbalha e Missão Velha.

O Sistema Aquífero Médio apresenta Média e Alta Vulnerabilidade Natural à poluição na porção central da área, parte do município de Juazeiro do Norte e uma porção em Barbalha. Na avaliação das cargas poluidoras o município de Juazeiro do Norte apresenta-se como o de maior número de poluentes, sendo então o município mais preocupante. Crato é o segundo em número de cargas poluidoras e Barbalha o terceiro. Porém, devido a região de Barbalha apresentar Média e Alta vulnerabilidade, ela representa um maior risco, ficando após Juazeiro do Norte, seguida de Crato e Missão Velha.

Devido a grande dificuldade de se localizar perfis de poços na área de estudo, onde dos 1126 poços cadastrados, foram encontrados apenas 57 com perfis, sendo recomendado a elaboração de uma cartilha educativa por parte dos órgãos públicos e/ou particulares que trabalham na construção e/ou pesquisa das águas subterrâneas, explicando como as empresas que trabalham na construção de poços devem cadastrar, armazenar os dados construtivos e litológicos dos poços, e enviar para um banco de dados nacional que poderia ser o SIAGAS, banco de dados atualizado pela CPRM – Serviço Geológico do Brasil.

A partir das atividades potenciais de poluição é necessário que seja realizado um cálculo das cargas poluentes emitidas por cada atividade, gerando dados para avaliar as cargas poluentes emitidas e não pelo número de atividades; somado a esse cálculo é interessante a elaboração de um banco de dados pelos órgãos ambientais com coordenadas UTM, facilitando a integração desses dados com outros dados georeferenciados.

A realização de estudos da potabilidade das águas subterrâneas, observando-se íons e bactérias com concentrações acima do permissível, nas proximidades das redes de drenagem poluídas, bem como avaliar a disposição de resíduos perigosos emitidos nas redes de drenagens, que pode interferir na

qualidade das águas captadas pelos poços tubulares, tentando observar quais os níveis das águas que estão contaminados vendo a cimentação necessária para evitar o contato das águas mais rasas poluídas por esgoto doméstico com águas mais profundas. Fiscalização obrigatória pelas autoridades competentes na construção de poços tubulares, utilizando-se das recomendações técnicas relacionadas a locação, perfuração e completação das obras.

Na área do município de Barbalha, onde foi identificada uma zona com Alta Vulnerabilidade, deve ser realizado um estudo de impacto dos produtos químicos utilizados no cultivo da cana-de-açúcar, quantificando cargas poluidoras para as águas subterrâneas, apontando medidas protecionistas para evitar essa contaminação.

Sabendo da importância das águas subterrâneas na região recomenda-se um monitoramento dos poços, associado a um planejamento e gestão integrados com uso e ocupação do meio físico, visando equilibrar a oferta, demanda e proteção das águas subterrâneas, sendo necessário a implantação de programas educacionais para a população local.

É necessário implantar um aterro sanitário para o eixo CRAJUBAR, o qual deve estar localizado em zona de Baixa vulnerabilidade, porém sendo necessário uma nova avaliação detalhada, tentando buscar níveis com camadas mais espessas de argila, além de ser levado em conta todos os elementos de proteção ao meio ambiente na implantação do mesmo.

## 11. BIBLIOGRAFIA

---

- ALMEIDA, F. F. M. & HASUÍ, Y., 1984 – *O pré-cambriano do Brasil*. São Paulo, Editora Edgrad Búcher Ltda. 378p.
- ANP – 2006. *Cadastro de postos de combustíveis na Agência Nacional do Petróleo*. Site [www.anp.gov.br](http://www.anp.gov.br). Pesquisa 5 de julho de 2006.
- ASSINE, M. L. – 1990. *Sedimentação e tectônica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil*. Dissertação de Mestrado. Rio Claro, SP. UNESP. 117p.
- BEURLEN, K., 1962 - *A geologia da Chapada do Araripe*. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 34, n. 3, p. 365-370.
- BEURLEN, K., 1963 - *Geologia e estratigrafia da Chapada do Araripe*. XVII Congresso Brasileiro de Geologia. Recife. Publicação Especial, SBG. p.47.
- BEURLEN, K., 1971- *As condições ecológicas e faciológicas da Formação Santana, na Chapada do Araripe (Nordeste do Brasil)*. Rio de Janeiro. Anais da Academia Brasileira de Ciência, Suplemento n° 43, p. 411-415.
- BRITO NEVES, B. B. de - 1990. *A Bacia do Araripe no contexto geotectônico regional*. 1º Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste. Crato (CE), DNPM – PICG/PROJ.
- CAICEDO, N. – 1996. *Águas Subterrâneas: Contaminação e Remediação – Centro Intamericano de Recursos de Água - XI Seminário – Curso*. UCSAL. Salvador. p.373 – 391.
- CAGECE, 1984 a – *Captação de Juazeiro do Norte – Estudo geofísico por eletroressistividade*. Relatório Técnico. 153p.
- CAGECE, 1984 b – *Captação de Juazeiro do Norte – Condições de exploração dos poços*. Relatório de conclusão. Fortaleza, 55p.
- CAVALCANTE, I.N. – 1998. *Fundamentos hidrogeológicos para gestão integrada de recursos hídricos na Região Metropolitana de Fortaleza, estado de Ceará*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências/USP. São Paulo-SP. 164p.
- COGERH, 2003 – *Cadastro de poços tubulares. Projeto “Implantação de um sistema de monitoramento dos poços, gerenciando uma área piloto do Aquífero Missão Velha na Bacia Sedimentar do Cariri”*. Companhia de Gerenciamento dos Recursos Hídricos.
- CORDANI, V.G., BRITO NEVES, B.B., FUCK, R.A., PORTO, R., THOMAZ, F.A., e CUNHA, F.M.B., 1984 – *Estudo preliminar de integração do pré-*

cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras. Ciência Técnica-Petróleo; Seção Exploração de petróleo.

CPRM, 1999 - *Atlas dos recursos hídricos subterrâneos do Ceará*. Programa Recenseamento de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea no Estado do Ceará. CPRM. Residência de Fortaleza. Fortaleza. Atlas Digital-CD.

CPRM, 2003 - *Atlas digital de geologia e recursos minerais do Ceará*. CPRM & SRH. CD-ROM.

DNPM, 2007 - *Departamento Nacional de Produção Mineral*. Site: [www.dnpm.gov.br](http://www.dnpm.gov.br).

FEITOSA, F. A. C. & MANOEL, J. F. - 2000. *Hidrogeologia - Conceitos e Aplicações*. 2ª Edição. Fortaleza CPRM/REFO, LABHID-UFPE.

FIGUEIREDO, M. A. - 1997. *Vegetação*. In.: CEARÁ. Secretaria de Planejamento e Coordenação - SEPLAN. Fundação Instituto de Planejamento do Ceará - IPLANCE. Atlas do Ceará. Fortaleza. p. 28- 29

FOSTER, S., 1987 - *Fundamental concepts in aquifer vulnerability pollution risk and protection strategy*. CONF. VULNERABILITY OF SOIL AND GROUNDWATER TO POLLUTANTS. Proc...Noordwijk, The Netherlands.

FOSTER, S & HIRATA, C. A. R. - 1993. *Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas: Um método baseado em dados existentes*. Tradução de Ricardo Hirata, Sueli Yoshinaga, Seiju Hassuda, Mara Iratini. São Paulo: Instituto Geológico. 90p. (Boletim, 10).

FUNCEME - 2007. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. *Dados de precipitação pluviométrica*. Período de 1974 a 2006. Site [www.funceme.com.br](http://www.funceme.com.br). Consulta 28 de Janeiro 2007.

GASPARY, J.; ANJOS, N. da F. R. dos; REBOUÇAS, A da C.; MANUEL FILHO, J.; LEAL, O; GARAU, J. P.; GUILLOT, P. - 1967. *Estudo geral de base do vale do Jaguaribe*. SUDEME-ASMIC Hidrogeologia. Recife v7

GHIGNONE, J. I.; COUTO, E. A.; ASSINE, M. L. 1986 - *Estratigrafia e estrutura das bacias do Araripe, Iguatu e Rio do Peixe*. XXXIV Congresso Brasileiro de Geologia. Goiânia, Vol. 1, p.271 - 285.

GUERRA, S.M.S., 1986 - *Análise Morfoestrutural da Bacia do Araripe*. Rio de Janeiro. IBT/PETROBRÁS. 3º Cong. Brás. de Petróleo, TT-119, 12p.

HIRATA, R.C.A., 1994 - *Fundamentos e estratégias de proteção e controle da qualidade das águas subterrâneas. Estudo de casos no estado de São Paulo*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências. 195p

IBGE – 2000. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Senso demográfico*.

IBGE – 2005. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Índices econômicos do estado do Ceará*.

INSTITUTO GEOLÓGICO – 1997. *Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo*. Instituto Geológico, CETESB, DAEE, Secretaria de Estado do Meio Ambiente. coord. por: Ricardo Cersa Aoki Hirata, Caraí Ribeiro de Assis Bastos, Gerôncio Albuquerque Rocha. São Paulo: IG: CETESB. v.1 144p. Série Documentos.

IPECE – 2006. *Anuário Estatístico do Ceará*. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Site: [www.ipece.ce.gov.br](http://www.ipece.ce.gov.br).

LEITE, F. de A. B. & MARQUES, J. N. - 1997. *Solos*. In.: CEARÁ. Secretaria de Planejamento e Coordenação - SEPLAN. Fundação Instituto de Planejamento do Ceará - IPLANCE. Atlas do Ceará. Fortaleza. p. 20 – 21.

LOPES, C. R.M. – 2004. *Qualidade das águas subterrâneas no Vale do Cariri – Área em Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha – Estado do Ceará*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geologia. Centro de Ciências / UFC.

MARQUES, A.A.F., MACEDO, I.P., MARINHO, J.M.L., e OLIVEIRA, R.R., (1984). *Eletroressistividade aplicada à prospecção de água subterrânea na chapada do Araripe-CE*. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 3. Fortaleza. Anais. São Paulo, ABAS, v. 2, p 269-284.

MATOS, R.M.D., 1987 – *Sistema de rifts cretáceos do nordeste brasileiro*. In: Simpósio nacional de estudos tectônicos I. Salvador. Resumos.

MENDONÇA, L. A. R. - 1996. *Modelagem matemática, química e isotópica de uma bateria de poços na cidade de Juazeiro do Norte – Ceará*. Dissertação de Mestrado – Área de Concentração : Recursos Hídricos. Centro de Tecnologia. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 122p.

MENDONÇA, L. A. R.; FRISCHKORN, H.; SANTIAGO, M. M. F.; MENDES FILHO, Q. *Qualidade da água na chapada do Araripe e sua vulnerabilidade*. In: 1º Congresso Mundial Integrado de Águas Subterrâneas, Anais. Fortaleza. ABAS, 2000, 16p.

MONT'ALVERNE, A. A. F.; PONTE, F. C.; COSTA, W. C.; DANTAS, J. R. A; LOPES, C. F.; MELO JUNIOR, A. H.; PONTE, J. S. A ; FILGUEIRA, J. B. M.; SOUZA, S. do R.; SILVA, E. C. C. da - 1996. *Projeto Avaliação hidrogeológica da bacia sedimentar do Araripe*. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Programa Nacional de Estudos dos Distritos Mineiros. - Fase I. Recife. 100p.

- OLIVEIRA, E. de, 1983 – *A chapada do Araripe e sua representação pela gravimetria*. PETROBRAS/CENPES/SEMPEO. Relatório Interno. Rio de Janeiro.
- PACHECO, A.; PELLIZARI, V.; MIDORI, D.; TORRES, S.; MENDES, J. M. B. – 1992. *Os perímetros de proteção sanitária em cemitérios e sua importância para as águas subterrâneas de abastecimento. Estudo preliminar*. In: ABAS, CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 7, Belo Horizonte, Anais.
- PACHECO – 2000. *Cemitérios e meio ambiente*. São Paulo, 102 p. Tese Livre Docência) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- PEQUENO MARINHO. A.M. C. – 1998. *Contaminação de aquíferos por instalação de cemitérios. Estudo de caso do Cemitério São João Batista, Fortaleza – Ceará*. Dissertação de Mestrado – Área de Concentração : Hidrogeologia . Centro de Ciências. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza.
- PONTE, F. C. – 1991a. *Sistemas Depositionais na Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil*. PETROBRÁS-CEMPES-DIVEX-SEBIPE. Rio de Janeiro.
- PONTE, F. C. – 1991b. *Arcabouço estrutural e evolução tectônica da bacia mesozóica do Araripe, no Nordeste do Brasil*. PETROBRÁS-CEMPES-DIVEX-SEBIPE. Rio de Janeiro.
- PONTE, F. C., 1992 - *Origem e evolução das pequenas bacias cretácicas do interior do Nordeste do Brasil*. 2º Simpósio sobre as Bacias Cretácicas Brasileiras. Resumos expandidos. Rio Claro, UNESP, p. 55-58.
- PONTE, F. C. & APPI, C. J. - 1990. *Proposta de revisão da coluna estratigráfica da Bacia do Araripe*. in: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, 1990, Natal, Anais... SBG. V.1, p.211 – 226
- RIBEIRO, J. A. & VERÍSSIMO, L. S. – 1995. Projeto Avaliação Ambiental da Região do Cariri. *Vulnerabilidade natural das unidades aquíferas da região do Cariri*. CPRM. Fortaleza. 30 p.
- RIBEIRO, J. A.; VERÍSSIMO, L. S.; PRADO, F. da S.; RIBEIRO, J. A. P.; ANDRADE, T.T. B. de – 1996. Projeto Avaliação Ambiental da Região do Cariri. *Recursos hídricos e minerais do município de Barbalha-CE..* CPRM. Fortaleza. 50 p.
- SÁ, F. T. de, 2004 – *As águas subterrâneas no município de Barbalha – Ceará – Brasil*. Dissertação de Mestrado em Geologia. Área de concentração em Hidrogeologia. 121p.
- SABESP - 2007. *Sistema de Abastecimento do Estado de São Paulo. Meio Ambiente*. Site. [www.sabesp.gov.br](http://www.sabesp.gov.br).

- SABIÁ, R. J., 2000 – *Gerenciamento das fontes no Cariri: uma perspectiva integrada e multidisciplinar*. Dissertação de mestrado em engenharia civil - recursos hídricos. Centro de tecnologia. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 69p.
- SANTIAGO, M. F.; MENDES FILHO, J; SILVA, C. M. V. S; FRISCHKORN, H. - 1996. *Modelo isotópico da dinâmica dos aquíferos do Cariri..* Apêndice in.: Projeto Avaliação Hidrogeológica da Bacia Sedimentar do Araripe - Fase I. Recife.
- SILVA, C. M. S. V. - 1996. *Modelo fenomenológico para a circulação de água na bacia sedimentar do Cariri com base em isótopos e hidroquímica*. Tese de Doutorado. Departamento de Física. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza.
- SILVA, C. M. V.; SANTIAGO, M. F.; FRISCHKORN, H.; SEREJO, A. N., - 1992. *Contribuição de medidas de trício no conhecimento da hidrologia subterrânea no Cariri*. I Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Recife, nov. 1992, p.287-295
- SANTIAGO, M. F.; MENDES FILHO, J.; SILVA, C. M. V. S.; FRISCHKORN, H., 1996 - *Modelo isotópico da dinâmica dos aquíferos do Cariri*. Apêndice in.: Projeto Avaliação Hidrogeológica da Bacia Sedimentar do Araripe – Fase I. Recife.
- SMALL, H.L. – 1913. *Geologia e suprimento d'água subterrânea no Piauí e parte do Ceará*. Rio de Janeiro: Ministério da Viação e Obras Públicas, Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas, Boletim, Série ID,nº25, 81 p.
- SOUZA, M. J. N., 1997 – *Geomorfologia*. In.: CEARÁ. Secretaria de Planejamento e Coordenação - SEPLAN. Fundação Instituto de Planejamento do Ceará - IPLANCE. Atlas do Ceará. Fortaleza. CD-ROM.
- STUDART, T. M. de C.; - 1991. *Variações sazonais das vazões de fontes da Chapada do Araripe*. Dissertação de Mestrado – Área de Concentração: Recursos Hídricos. Centro de Tecnologia. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 65p.
- SUDENE - 1972. Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. *Cartas plani-altimétrica. SB.24-Y-D-III* (Folha Crato).
- VEIGA, P., 1966 - *Geologia da quadrícula de Juazeiro do Norte (E-082), Folha Crato, Ceará*. Recife, SUDENE (Série Geologia Regional 1).
- VERÍSSIMO, L. S. – 1999. *A importância das águas subterrâneas para o desenvolvimento socioeconômico do eixo CRAJUBAR, Cariri Ocidental – Estado do Ceará*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geologia. Centro de Ciências / UFC.