



**FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**

**Campus de Presidente Prudente**

**“USO E GESTÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM ARAGUAÍNA/TO”**

Luís Eduardo Bovolato

Presidente Prudente

2007



**FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**

**Campus de Presidente Prudente**

**“USO E GESTÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM ARAGUAÍNA/TO”**

Luís Eduardo Bovolato

Orientador: Prof. Dr. João Osvaldo Rodrigues Nunes

Tese de Doutorado elaborada junto ao Curso de Pós-Graduação em Geografia, Área de Concentração: Produção do Espaço Geográfico, na Faculdade de Ciências e Tecnologia/Unesp – Campus de Presidente Prudente/SP, como um dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Geografia.

Presidente Prudente

2007

B781u Bovolato, Luis Eduardo.  
Uso e gestão de águas subterrâneas em Araguaína/TO / Luis Eduardo Bovolato. – Presidente Prudente : [s.n.], 2006  
139 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia

Orientador: Prof. Dr. João Osvaldo Rodrigues Nunes

1. Geografia. 2. Água subterrânea. 3. Expansão urbana. 4. Vulnerabilidade de aquíferos. I. Bovolato, Luis Eduardo. II. Nunes, João Osvaldo Rodrigues. III. Título. CDD (18.ed.) 910

Ficha catalográfica elaborada pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação  
UNESP – FCT – Campus de Presidente Prudente

**BANCA EXAMINADORA**



---

 Prof. Dr. João Osvaldo Rodrigues Nunes  
 (Orientador)





---

 Prof. Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli




---

 Profa. Dra. Encarnita Salas Martin




---

 Prof. Dr. Antonio Carlos Vitte (UNICAMP)




---

 Prof. Dr. Marcos Tadeu de Freitas Saita (UFOP)




---

 Luis Eduardo Bovolato

Presidente Prudente (SP), 16 de março de 2007

 Resultado: APROVADO

## AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho é fruto da busca permanente pelo aprimoramento profissional e da inquietação daqueles que entendem que a Ciência deve estar, acima de tudo, a serviço do bem estar de toda a sociedade.

Muitas pessoas contribuíram direta ou indiretamente para a realização desta tese de doutorado. Gostaria de destacar e agradecer o apoio das seguintes pessoas:

. a Universidade Federal do Tocantins, através de seu Reitor, professor Dr. Alan Barbiero pela confiança em mim depositada;

. a todos os colegas professores e técnicos-administrativos do Curso de Geografia, Campus de Araguaína – Universidade Federal do Tocantins, pelo apoio e incentivo;

. à Companhia de Saneamento do Estado do Tocantins – SANEATINS, nas pessoas do gerente da Unidade de Araguaína, Engenheiro José Vicente, da Química Maria Luzinete, e Maurílio, Técnico de Laboratório, pelo inestimável apoio e suporte no fornecimento de informações e nas etapas de coleta e análises de amostras de água dos poços profundos;

. ao Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto, através do Laboratório de Geoquímica Ambiental, onde realizamos a maior parte das análises químicas, e em especial à colega Aline Guimarães, mestranda do DEGEO e que gentilmente processou as amostras no ICP;

. ao professor e amigo Marcos Tadeu de Freitas Suita pelo apoio durante minha estada em Ouro Preto e que por seu intermédio conseguimos a viabilização das análises no laboratório desta instituição;

. ao amigo Fernando Morais, doutorando em Geologia da UFOP, meu ex-orientando de PIBIC e que de forma muito atenciosa me recebeu em Ouro Preto;

. ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da FCT/Unesp, Campus de Presidente Prudente, por acreditar em nossa proposta de trabalho;

. aos amigos e professores da FCT/UNESP, Tadeu Tommaselli e Manoel Carlos Godoy pelas inestimáveis contribuições e pelo prazeroso convívio;

. ao grande amigo e orientador João Osvaldo, um agradecimento muito especial pela confiança em mim depositada e pela sua enorme contribuição a este trabalho;

. à minha família, Pollyana, José Henrique, Cristiane, Cláudia, Guido Luís, Enzo, Fonseca, Richard, tia Neide e em especial à minha mãe. Muito obrigado dona Nair. Sem o amor, a atenção e o carinho de todos vocês esta jornada seria muito mais difícil. É a você mamãe a quem dedico todo este trabalho.

Obrigado.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b>	i
<b>LISTA DE TABELAS</b>	iv
<b>LISTA DE FOTOGRAFIAS</b>	vi
<b>RESUMO</b>	vii
<b>ABSTRACT</b>	ix
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	20
2.1 Objetivo geral .....	20
2.2 Objetivos específicos .....	20
<b>3. JUSTIFICATIVA</b> .....	21
<b>4. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	23
4.1 Contaminação da água subterrânea .....	28
4.2 Processos de transporte e atenuação de contaminantes .....	35
4.3 Interações físicas com o solo .....	37
4.4 Reações químicas .....	40
4.5 Processo de diluição .....	42
4.6 Componentes do manejo da água subterrânea e suas variáveis .....	42
<b>CAPÍTULO 1</b>	
5. Água, meio ambiente, saneamento e saúde .....	47
5.1 Doenças crônicas e tratamento de água .....	54
5.2 Epidemiologia e a Geografia.....	59
5.3 O complexo patogênico de Max. Sorre e a relação com as águas subterrâneas.....	60
<b>CAPÍTULO 2</b>	
6. A gestão do saneamento no Brasil .....	64
6.1 Período anterior a 1968 – Modelo institucional público-privado .....	64
6.2 Criação do Sistema Financeiro do Saneamento – SFS e da Política Nacional de Saneamento .....	66
6.3 O Plano Nacional de Saneamento – PLANASA .....	67
6.4 O PLANASA na Nova República .....	69
6.5 As políticas de saneamento a partir de 1990 .....	70
6.6 Tendências atuais.....	72

6.7 A política brasileira de privatização.....	73
6.8 Aspectos ligados à gestão da água subterrânea .....	73
6.8.1 Aperfeiçoando o gerenciamento da água subterrânea – estrutura institucional e dimensão social .....	76
6.8.2 Objetivos técnicos e alvos da gestão .....	77
<b>7. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>80</b>
7.1 Identificação das fontes de informações e coleta de dados .....	80
7.2 Levantamento, mapeamento e análise dos dados ambientais .....	80
7.3 Análise das informações e tabulação dos dados .....	82
<b>CAPÍTULO 3</b>	
<b>8. O MEIO FÍSICO .....</b>	<b>83</b>
8.1 Aspectos físicos da região em estudo .....	83
8.1.1 Clima .....	83
8.1.2 Geologia .....	84
8.1.2.1 Formação Motuca .....	88
8.1.2.2 Formação Sambaíba .....	89
8.1.2.3 Formação Mosquito .....	91
8.1.3 Geomorfologia .....	93
8.1.4 Solos .....	100
<b>CAPÍTULO 4</b>	
<b>9. ARAGUAÍNA E O SISTEMA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO.....</b>	<b>103</b>
9.1 Captação, tratamento e distribuição de água potável em Araguaína .....	105
9.2 Outras fontes potencialmente poluentes das águas subterrâneas na área urbana de Araguaína.....	113
<b>CAPÍTULO 5</b>	
<b>10. ARAGUAÍNA E AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS .....</b>	<b>116</b>
10.1 Balanço hídrico .....	116
10.2 Hidrogeologia .....	118
10.3 Aplicação da metodologia “GOD”.....	131
10.4 Caracterização geoquímica das águas subterrâneas de Araguaína.....	137
<b>11. RESULTADOS E CONCLUSÕES .....</b>	<b>146</b>
<b>12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>152</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>160</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	Principais fontes potencialmente poluentes .....	33
<b>Tabela 2</b>	Doenças relacionadas à ingestão de água de má qualidade .....	52
<b>Tabela 3</b>	Frações granulométricas dos principais tipos de solos da área urbana de Araguaína .....	102
<b>Tabela 4</b>	Projeção de crescimento populacional de Araguaína - IBGE .....	105
<b>Tabela 5</b>	Poços profundos em produção (operados pela SANEATINS) na área urbana de Araguaína .....	109
<b>Tabela 6</b>	Características dos principais ambientes hidrogeológicos .....	119
<b>Tabela 7</b>	Dados técnicos dos poços profundos operados pela SANEATINS em Araguaína .....	122
<b>Tabela 8</b>	Fatores hidrogeológicos que controlam a vulnerabilidade à contaminação de aquíferos .....	132
<b>Tabela 9</b>	Aplicação da metodologia “GOD” para os poços profundos da área urbana de Araguaína .....	135
<b>Tabela 10</b>	Propriedades físico-químicas e principais cátions e ânions das águas dos poços profundos de Araguaína .....	138
<b>Tabela 11</b>	Principais elementos químicos secundários presentes nas águas de poços profundos de Araguaína .....	139

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Planta de situação da cidade de Araguaína .....	19
<b>Figura 2</b>	Distribuição da água no planeta.....	24
<b>Figura 3</b>	Ciclo hidrológico .....	25
<b>Figura 4</b>	Províncias hidrogeológicas do Brasil.....	28
<b>Figura 5</b>	Diferentes formas de contaminação da água subterrânea .....	32
<b>Figura 6</b>	Perfil de degradação do solo e zona saturada e não saturada.....	36
<b>Figura 7</b>	Distribuição dos sistemas de captação de água no Estado do Tocantins .....	36
<b>Figura 8</b>	Diagrama conceitual mostrando os volumes de água e de lodo produzidos em uma ETA de ciclo completo que utiliza sais de alumínio ou ferro como coagulante e algumas opções de tratamento do lodo e disposição dos resíduos... ..	57
<b>Figura 9</b>	Organograma do sistema de abastecimento de água em Araguaína.....	58
<b>Figura 10</b>	Temperatura e precipitação pluviométrica média anual (1988 – 2003) em Araguaína/TO.....	84
<b>Figura 11</b>	Divisão tectônica simplificada da região de Araguaína .....	86
<b>Figura 12</b>	Mapa geológico para a região de Araguaína/TO .....	87
<b>Figura 13</b>	Mapa geomorfológico do Estado do Tocantins.....	96
<b>Figura 14</b>	Unidades de compartimentação geomorfológica da região de Araguaína .....	97
<b>Figura 15</b>	Carta hipsométrica de Araguaína.....	99
<b>Figura 16</b>	Planta de localização dos poços profundos em Araguaína.....	108
<b>Figura 17</b>	Representação gráfica dos elementos do balanço hídrico de Araguaína (1988-2003) .....	117
<b>Figura 18</b>	Bloco diagrama mostrando basaltos da Formação Mosquito.....	123
<b>Figura 19</b>	Planta de isóbatas das litologias que compõem o sistema aquífero em Araguaína .....	124
<b>Figura 20</b>	Topo da superfície potenciométrica do aquífero.....	126

<b>Figura 21</b>	Localização dos poços profundos, isóbatas, linhas de fluxo e geometria do aquífero Sambaíba.....	127
<b>Figura 22</b>	Direção preferencial do escoamento superficial gerado a partir das cotas de superfície .....	128
<b>Figura 23</b>	Áreas de recarga do Aquífero Sambaíba para a região de Araguaína .....	130
<b>Figura 24</b>	Metodologia “GOD” para a avaliação de vulnerabilidade à contaminação de água subterrânea .....	134
<b>Figura 25</b>	Carta de vulnerabilidade à contaminação da água subterrânea para Araguaína .....	136
<b>Figura 26</b>	Sistema de classificação hidrogeológica para águas naturais usando o diagrama trilinear de PIPER .....	141
<b>Figura 27</b>	Diagrama de PIPER para as águas subterrâneas de Araguaína .....	142
<b>Figura 28</b>	Concentração dos principais constituintes iônicos das águas subterrâneas de Araguaína .....	143
<b>Figura 29</b>	Esquema geral de manejo de recursos hídricos subterrâneos .....	150

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

<b>Foto 1</b>	Afloramento de arenito da Formação Sambaíba (Rod. BR-153) nas proximidades do acesso à TO-222 .....	90
<b>Foto 2</b>	Contato litológico de arenito da Formação Sambaíba e crosta laterítica...	91
<b>Foto 3</b>	Arenito traçado por basalto da Formação Mosquito (Rod. BR-153) nas proximidades do acesso à TO-222 .....	92
<b>Foto 4</b>	Perfil de latossolo vermelho produto da alteração de basalto da Formação Mosquito .....	101
<b>Foto 5</b>	Vista parcial da cidade de araguaína.....	104
<b>Foto 6</b>	Sistema de cloração/desinfecção “Hidrogerox”.....	109
<b>Foto 7</b>	Sistema de cloração/desinfecção “Hidrogerox” e dosador de cloro à direita na parede .....	110
<b>Foto 8</b>	Central de Produção I (Unidade de tratamento e distribuição para os reservatórios) .....	111
<b>Foto 9</b>	Reservatório Apoiado I do Bairro São João (1.500 m <sup>3</sup> ) .....	112
<b>Foto 10</b>	Reservatório Elevado do Distrito Industrial de Araguaína – DAIARA ....	112
<b>Foto 11</b>	Poço PTP 13, Centro de Produção I .....	120

## RESUMO

A água subterrânea é de grande importância em termos econômicos e de saúde pública, tanto em áreas urbanas como em zonas rurais. A expansão urbana e as atividades associadas, principalmente para aquelas cidades cujo abastecimento é feito exclusivamente a partir da captação subterrânea, têm provocado transformações físicas e químicas nas reservas de água subterrânea, principalmente porque os efeitos da ocupação territorial estão diretamente ligados ao suprimento de água potável e à prática de disposição de efluentes no solo. A variabilidade e a intensidade da poluição das águas subterrâneas guarda relação com a vulnerabilidade do aquífero, com as características dos esgotos e do arranjo dos sistemas de saneamento. A degradação da qualidade da água subterrânea por sua vez impacta a disponibilidade de suprimento de água. Este trabalho permitiu analisar a qualidade das águas subterrâneas na cidade de Araguaína frente ao processo de expansão urbana, cidade esta desprovida de um sistema de esgotamento sanitário. Utilizando uma metodologia já consagrada na literatura para a estimativa da vulnerabilidade à contaminação de aquíferos, produziu-se uma carta de vulnerabilidade para a área urbana de Araguaína e seu entorno. Esta carta de vulnerabilidade à contaminação poderá ser utilizada como ferramenta auxiliar em estudos de ordenamento territorial e planejamento urbano.

Palavras-chave: água subterrânea; expansão urbana; vulnerabilidade de aquíferos

## **ABSTRACT**

Groundwater is a matter of great concern with regard to economic issues and public health such in urban areas as in agricultural zones. The urban expansion and the related activities, mainly for those cities whose supply is made exclusively from the underground withdrawal, have raised physical and chemical transformations in the underground water wells, mainly because the territorial occupation effects are directly related to drinkable water supply and the practice that discharge effluent into the ground. The groundwater pollution variability and intensity is related to the aquifer vulnerability, sewers features and sanitation systems arrangement. Consequently, the degradation of underground water quality impacts the water supply availability. In this paper was possible to analyze the underground water quality in Araguaína city according to the urban expansion process. Beside, this city doesn't have a sewage system. Using a well-known literature methodology to estimate the aquifer contamination wear point, it was developed a vulnerability chart to Araguaina urban area and its around. This chart of vulnerability to contamination could be used as an auxiliary tool in studies of territorial ordering and urban planning.

**Key-words:** groundwater; urban expansion; aquifer vulnerability

## 1. INTRODUÇÃO

A água subterrânea é de grande importância em termos econômicos e de saúde pública tanto em áreas urbanas como em zonas rurais. Não há estatísticas exatas a respeito do volume de água utilizada para abastecimento público proveniente da captação subterrânea, embora algo em torno de 50% de toda a água urbana consumida no mundo seja de origem subterrânea (Clarke *et al*, 1995).

Devido ao custo de extração relativamente baixo e qualidade geralmente boa, as águas subterrâneas têm freqüentemente sido a fonte preferencial de suprimento em sistemas públicos de abastecimento, sendo também para fins de irrigação, industrial e no consumo privado residencial.

A urbanização e a industrialização têm, entretanto, provocado transformações físicas e químicas nas reservas de água subterrânea, principalmente porque os efeitos da ocupação territorial estão associados ao suprimento de água potável e à prática de disposição de efluentes na zona não saturada, que constitui o ambiente onde as respostas às ações humanas se configuram nas mais variadas formas.

As consequências entre a captação de água em núcleos urbanos e a disposição de esgotos não estão limitados ao espaço geográfico ocupado pelas cidades. Com a sua expansão, as atividades urbanas podem degradar as suas áreas periféricas, influenciando negativamente as áreas que se constituem em pontos de recarga dos sistemas hídricos subterrâneos, quer seja através do esgotamento sanitário “*in situ*”<sup>1</sup>, quer seja através de descargas industriais, disposição de resíduos sólidos urbanos e, em menor proporção, devido à infiltração de cursos superficiais poluídos.

Muita atenção tem sido dada aos impactos da urbanização sobre os cursos d’água superficiais, em especial na forma de elevação dos picos de escoamento superficial<sup>2</sup> e da

---

<sup>1</sup> “*in situ*” se refere à disposição de esgotos no solo através de fossas, valas, sumidouros, etc.

<sup>2</sup> Também é utilizado “*runoff*” como sinônimo de escoamento superficial.

deterioração da qualidade de suas águas. Entretanto, a urbanização também afeta o sistema de água subterrânea de duas principais formas:

- por mudanças radicais no padrão e na razão de recarga dos aquíferos;
- pelos impactos adversos na qualidade desta recarga.

Estas mudanças, entretanto, não podem ser medidas diretamente, sendo difíceis de serem quantificadas e podem estarem relacionadas ao uso e ocupação pretéritos da superfície.

Um fato comum em relação aos processos envolvidos na urbanização é a crescente impermeabilização (através da compactação dos solos e pavimentação asfáltica), de uma significativa parcela de sua área superficial.

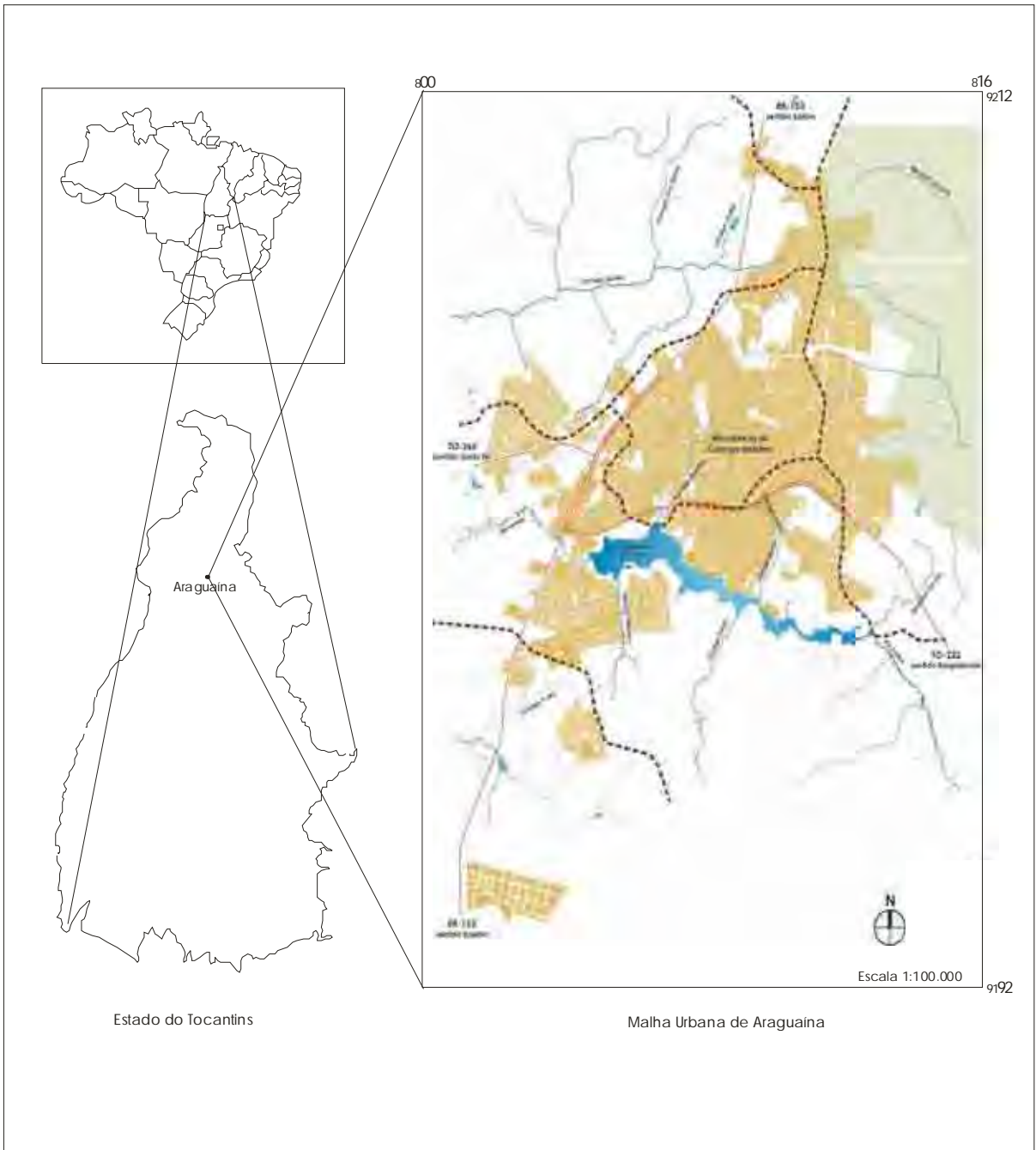
A infra-estrutura urbana de saneamento e drenagem, que é fundamental quando se considera o ciclo hidrológico em ambiente urbano, expande-se com o tempo e varia amplamente em função dos diferentes padrões de desenvolvimento urbano.

As mudanças na recarga dos aquíferos causadas pela urbanização por sua vez influenciam os níveis da água subterrânea e os regimes de fluxo nos aquíferos (FETTER, 1988). Isto pode levar décadas, uma vez que o ritmo com que os aquíferos retornam é muito mais lento do que o ritmo do ciclo hidrológico em ambiente urbano.

Alguns processos relacionados à urbanização (pavimentação asfáltica, adensamento populacional, etc) podem causar mudanças radicais na qualidade desta recarga. Esta tem sido a causa de problemas, essencialmente difusos, relacionados à contaminação da água subterrânea por compostos nitrogenados (manifestados comumente como nitrato, mas às vezes como amônia), elevação dos níveis de salinidade (especialmente sódio e cloreto) e elevadas concentrações de carbono orgânico dissolvido que, por sua vez, causa o aumento da solubilidade do ferro e de outros metais (Foster *et al*, 1999). Também é muito comum a contaminação da água subterrânea por hidrocarbonetos e compostos orgânicos sintéticos, além de bactérias patogênicas e vírus.

A variabilidade e a intensidade da poluição das águas subterrâneas guarda relação com a vulnerabilidade do aquífero, com as características dos esgotos e do arranjo dos sistemas de saneamento. A degradação da qualidade da água subterrânea por sua vez impacta a disponibilidade de suprimento de água.

Esta breve introdução à temática da contaminação da água subterrânea em áreas urbanas, leva ao estudo do comportamento do aquífero que abastece a cidade de Araguaína/TO (Figura 1) no que diz respeito à qualidade de suas águas. Nesta cidade todo o abastecimento público de água potável é feito através da captação em poços profundos e, uma vez que a cidade não possui redes coletoras de esgotos, todo o esgotamento sanitário consiste na disposição “*in situ*” dos efluentes domésticos e industriais. Esta situação, dependendo das características dos perfis de solo e rocha que se sobrepõem às rochas armazenadoras e fornecedoras de água subterrânea, podem levar ao comprometimento da qualidade dessas águas através da contaminação por elementos estranhos ao sistema hídrico subterrâneo natural.



**Figura 1.** Planta de situação da cidade de Araguaína/TO

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral desse estudo é avaliar a vulnerabilidade quanto a contaminação do aquífero que abastece a cidade de Araguaína, bem como promover uma discussão a respeito do uso e gerenciamento dos aquíferos frente ao processo crescente de expansão urbana e seus possíveis impactos na qualidade da água subterrânea.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- a) avaliar a qualidade da água consumida pela população dos pontos de vista bacteriológico e físico-químico;
- b) compreender o comportamento hidrodinâmico do aquífero que abastece a cidade de Araguaína;
- c) avaliar a eficiência e adequação da gestão dos recursos hídricos subterrâneos em Araguaína;
- d) fornecer subsídios ao poder público com vistas ao estabelecimento de uma política de proteção e preservação dos mananciais hídricos subterrâneos frente à expansão urbana.

### 3. JUSTIFICATIVA

Hoje no Brasil 81,24% (IBGE,2000) da população se concentra nos centros urbanos e influencia a organização espacial e cultural de outras áreas a partir de suas necessidades (SILVA, 1997). Este modelo de desenvolvimento resultou no crescimento desproporcional dos que não têm acesso pleno a bens de consumo, informação e serviços públicos. No Brasil urbano, cerca de 40,5 milhões de pessoas não têm acesso a água tratada. Dos 9.848 distritos brasileiros, 5.751 deles não são atendidos por redes coletoras de esgotos e mais de 60 milhões de brasileiros não são atendidos por serviços de coleta de lixo (IBGE,2000).

As condições de precariedade de saneamento, aglomeração e circulação de pessoas potencializam a manifestação de inúmeras doenças, muitas delas anteriormente circunscritas ao espaço rural, e atualmente adaptadas a certas condições de transmissão em focos urbanos.

A Organização Mundial de Saúde (2000) define saneamento como o “controle de todos os fatores do meio físico, que exercem efeito deletérico sobre seu bem estar físico, mental e social. Portanto, é evidente que a definição de saneamento é indissociável do conceito de saúde”. A implantação de um sistema de saneamento significa interferir no meio ambiente de maneira a interromper o ciclo de transmissão de inúmeras doenças, e, dentro do possível, não permitir que ele se inicie.

Modernamente, a oferta de saneamento associa sistemas constituídos por uma infraestrutura física (obras e equipamentos) e uma estrutura educacional, legal e institucional que abrangem os seguintes serviços:

- Abastecimento de água às populações, com qualidade compatível com a proteção de sua saúde e em quantidade suficiente para a garantia de condições básicas de conforto;
- Coleta, tratamento e disposição ambientalmente adequada e sanitariamente segura dos esgotos sanitários, nestes incluídos os rejeitos provenientes das atividades doméstica, comercial, industrial e pública;

- Coleta, tratamento e disposição ambientalmente adequada e sanitariamente segura dos resíduos sólidos provenientes destas mesmas atividades;
- Coleta de águas pluviais e controle de empoçamentos e inundações;
- Controle de vetores de doenças transmissíveis (insetos, roedores, etc).

Considerando que a realidade de Araguaína, localizada ao norte do Estado do Tocantins, não difere em muito da realidade de milhares de municípios brasileiros no que se refere ao saneamento básico, as atenções se voltam para questões que afetam diretamente a qualidade de vida das populações.

No caso de Araguaína, a população urbana de mais de 105 mil habitantes (IBGE, 2000) é significativa, considerando-se a precariedade da disposição de águas residuárias e a importância da captação de água subterrânea. Estas condições tornam relevante uma pesquisa aplicada à análise de uma questão fundamental relacionada à proteção de reservas hídricas subterrâneas, identificada com a preocupação com o meio ambiente e com a saúde da população no seu sentido mais amplo.

#### 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

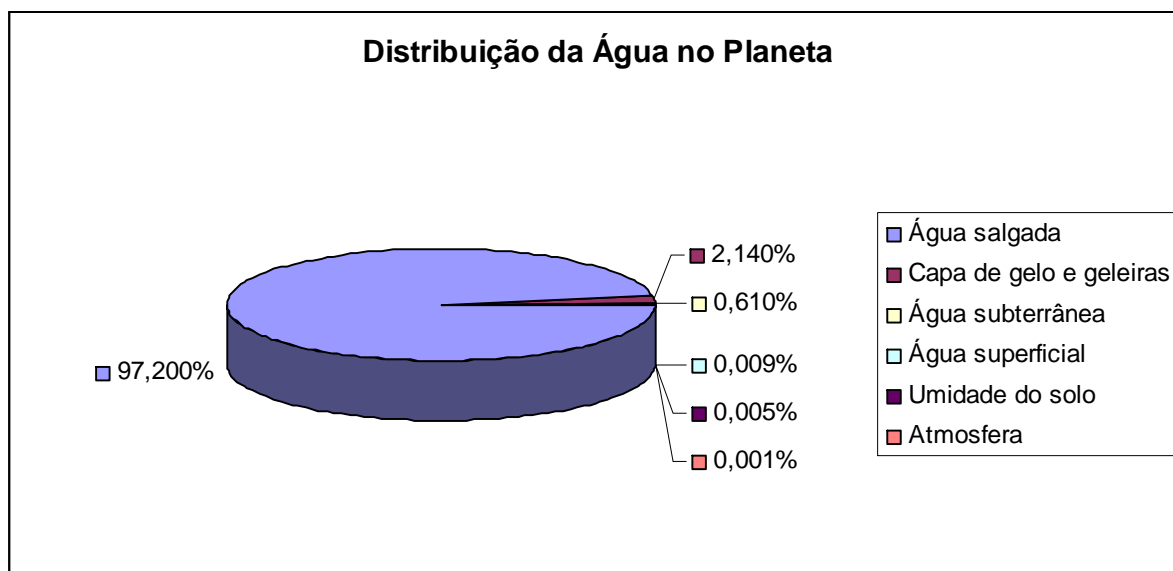
A urbanização ao mesmo tempo em que exige demandas cada vez maiores de água em qualidade e quantidade suficientes, é acompanhada por volumes correspondentes de esgotos. Na maior parte dos casos, esses esgotos não tem destinação adequada, sendo lançados em rios, lagos ou no solo sem nenhum tratamento. Isso leva ao comprometimento das condições ambientais, com reflexos imediatos na saúde das populações (DRANGERT E CONIN, 2004). Segundo dados fornecidos pela WHO & UNICEF (2000), a maior parte dos esgotos domésticos de áreas urbanas não sofrem qualquer tipo de tratamento (65% na Ásia, 86% na América Latina e 100% na África).

A grande tarefa da humanidade é proteger as fontes de águas subterrâneas uma vez que elas se constituem nos principais mananciais para grande parcela da população mundial. Estima-se que mais de 1,5 bilhão de pessoas em núcleos urbanos e uma grande parcela da população rural tenham suas necessidades supridas pelo manancial subterrâneo (HIRATA, 2003). De acordo com estimativas da Organização das Nações Unidas, já somos seis bilhões de pessoas. Portanto, os cuidados com a água subterrânea são de fundamental importância em todos os aspectos das atividades humanas (WHO & UNICEF, 2000).

Cerca de 97,2% de toda a água na superfície da Terra é salgada. Menos de 2,8% é doce e está distribuída entre as calotas polares e as geleiras (2,14%), os aquíferos (0,61%), rios e lagos (0,009%), umidade do solo (0,005%) e na atmosfera (0,001%). Desta forma, apenas 1% da água doce é um recurso aproveitável pela humanidade, o que representa 0,007% de toda a água na superfície do planeta (Figura 2).

O aproveitamento das águas subterrâneas é descrito desde épocas remotas. No Velho Testamento há numerosas referências às águas subterrâneas, nascentes e poços (TODD, 1980). Tolmann (1937) descreveu os grandes túneis de águas subterrâneas ou

“cannats” na Pérsia e no Egito, datados de 800 a.C. A perfuração de poços profundos com varas de bambu teve início em cerca de 5.000 a.C na China.

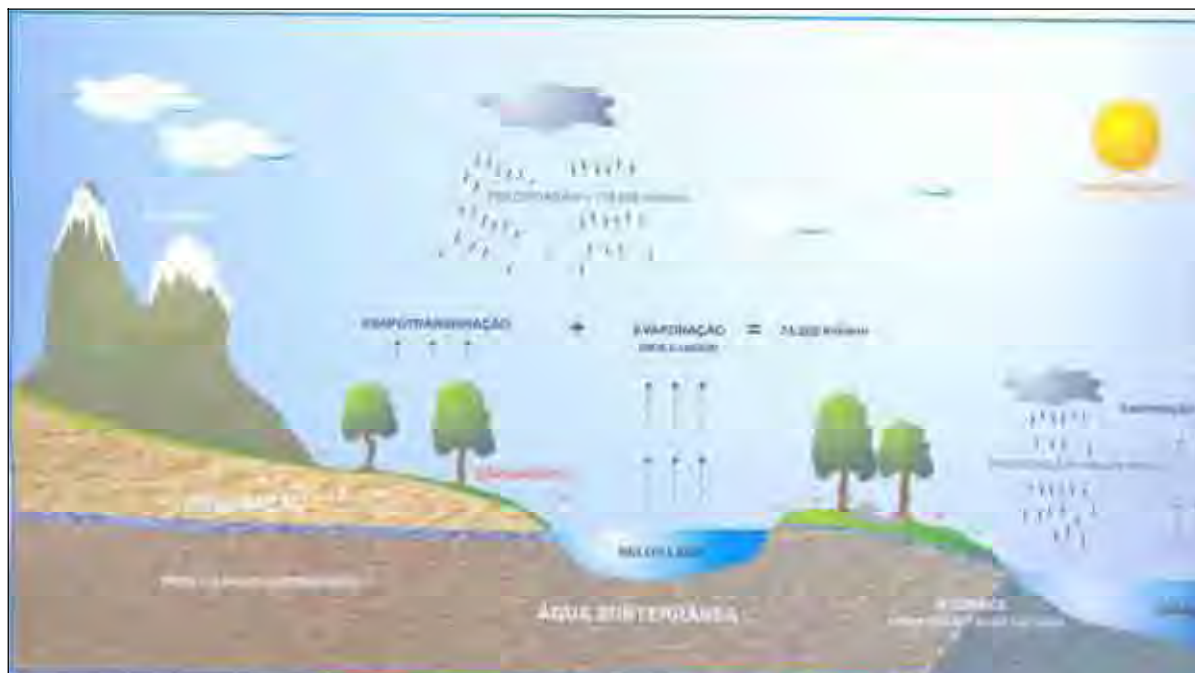


**Figura 2.** Distribuição da água no planeta (Fonte: [www.portal.unesco.org/education](http://www.portal.unesco.org/education))

A utilização das águas subterrâneas antecedeu em muito a compreensão de sua origem, ocorrência e movimento, estimulando os filósofos gregos, tais como Homero, Tales de Mileto, Platão e Aristóteles, a formularem diversas hipóteses na tentativa de explicar a origem da água subterrânea (TODD, 1980).

As teorias gregas persistiram ao longo da Idade Média, sem avanço até o final da Renascença. A teoria da água do mar dos gregos, suplementada pelos processos de vaporização e condensação dentro da Terra, foi reafirmada pelo filósofo francês René Descartes (1596 – 1650).

Atingiu-se compreensão melhor do ciclo hidrológico (Figura 3) na última metade do século XVII. Durante o século XVIII, foram estabelecidos os fundamentos da geologia, que forneceram as bases da ocorrência e movimento das águas subterrâneas.



**Figura 3.** Ciclo hidrológico (Fonte: BORGHETTI *et al*, 2004)

É o engenheiro hidráulico francês Henry Darcy (1803 – 1858), estudando o movimento da água através da areia, quem definiu a relação conhecida como Lei de Darcy, que governa o fluxo das águas subterrâneas na maioria das formações aluvionares e sedimentares e no solo, também, quando saturado (TODD, 1980).

A partir daí, a compreensão dos fenômenos hidrogeológicos torna-se mais significativa, com avanço progressivo nos conhecimentos sobre a dinâmica das águas subterrâneas.

As rochas possuem uma grande variação de condutividade hidráulica. Próximo à superfície há poucas ou quase nenhuma formação geológica que seja absolutamente impermeável. Intemperismo, fraturamento e soluções, têm afetado as rochas em algum grau. O movimento da água subterrânea pode ser excessivamente lento em unidades de baixa condutividade hidráulica (FETTER, 1988).

Um aquífero é uma unidade geológica que pode armazenar e transmitir água a razões suficientemente rápidas para suprir razoáveis quantidades de poços. A permeabilidade intrínseca de aquíferos deveria variar de cerca de  $10^{-2}$  darcy para mais. Areias inconsolidadas

e seixos, arenitos, calcários e dolomitos, basaltos e rochas plutônicas e metamórficas fraturadas são exemplos de unidades rochosas conhecidas como aquíferos.

Uma camada confinante é uma unidade geológica que possui pouca, ou quase nenhuma permeabilidade intrínseca (abaixo de  $10^{-2}$  darcy). As camadas confinantes são divididas em aquitardes, aquiocludes e aquífugo. Um *aquitarde* é uma camada de baixa permeabilidade que pode armazenar água subterrânea e também transmiti-la lentamente de um aquífero a outro. Um *aquioclude* é também uma unidade de baixa permeabilidade, mas está localizada no limite superior ou inferior de um sistema de fluxo de água subterrânea. Um *aquífugo* é uma unidade absolutamente impermeável que não irá transmitir qualquer quantidade de água. (FETTER, 1988).

As águas subterrâneas representam a parcela da hidrosfera que ocorre na subsuperfície da Terra. Elas têm três origens principais: meteórica, conata e juvenil.

As águas subterrâneas de origem meteórica são aquelas provenientes da recarga natural pela infiltração de uma fração das precipitações (chuva, neve e neblina), que caem nos domínios emersos da Terra. As águas conatas são aquelas contidas nos sedimentos desde as épocas de formação dos depósitos e são, por isso, chamadas de “água de formação”. As águas juvenis são aquelas geradas por processos magmáticos, integrando-se ao gigantesco mecanismo de circulação das águas da Terra por meio dos mecanismos geológicos de circulação de massa e energia, relacionados com a tectônica de placas. Entretanto, a quantidade de água de origem juvenil é insignificante, comparativamente aos volumes de água subterrânea de origem meteórica (FETTER, op cit.)

Dois aspectos são de fundamental importância em relação à disponibilidade de águas subterrâneas de uma região. Os fatores geológicos, que regulam as condições de ocorrência (aquiífero livre, confinado ou intermediário), as características hidráulicas e hidrodinâmicas das rochas da área (porosidade e permeabilidade intergranular ou primária,

de fissuras ou secundária), a extensão, espessura e profundidade dos aquíferos, entre outros aspectos. Por sua vez, a quantidade e o regime de ocorrência das precipitações determinam as taxas e os processos de recarga (REBOUÇAS, 2002).

A magnitude da recarga dos aquíferos, que é proporcional ao excedente hídrico, depende das condições de infiltrabilidade do solo e de suas relações de proporcionalidade com a intensidade das chuvas. A infiltrabilidade é, regra geral, imposta pela característica de permeabilidade do solo, relevo, cobertura vegetal, pelas formas de uso e ocupação do território, bem como pelas formas de ocorrência dos aquíferos.

Segundo Lerner (1997), os principais mecanismos de recarga dos aquíferos são:

- *recarga direta*: água adicionada às reservas de água subterrânea proveniente do excesso de umidade do solo através da percolação vertical através da zona vadosa;
- *recarga indireta*: percolação da água proveniente das camadas inferiores de cursos d'água superficiais;
- *recarga localizada*: uma forma intermediária de recarga da água subterrânea, resultante da concentração de água nas proximidades da superfície na ausência de canais bem definidos.

No Brasil, os níveis de conhecimento hidrogeológico são relativamente limitados sobre a maior parte do território, podendo-se, no entanto, subdividi-lo em províncias hidrogeológicas (Figura 4), províncias estas representadas a partir da integração de dados geológicos, geomorfológicos e climáticos.



**Figura 4.** Províncias hidrogeológicas do Brasil. Fonte: DNPM/CPRM (1983)

#### 4.1 Contaminação da água subterrânea

A água subterrânea apresenta geralmente excelente qualidade química e física, sendo apta ao consumo humano, muitas vezes sem tratamento prévio. A contaminação ocorre quando alguma alteração na água coloca em risco a saúde ou o bem estar de uma população (HIRATA, 2003).

Entre os compostos inorgânicos, o nitrato é o contaminante de ocorrência mais ampla em aquíferos. As fontes mais comuns deste contaminante são os sistemas de esgotamento sanitário “*in situ*” (fossas, latrinas, valas) e a aplicação de fertilizantes nitrogenados na agricultura. A grande preocupação ambiental associada ao nitrato está no fato dele possuir grande mobilidade e persistência em condições aeróbicas. Os metais pesados (incluindo cádmio, cromo, chumbo e mercúrio) apresentam baixa mobilidade em muitos ambientes naturais, embora seus comportamentos possam mudar em função de mudanças nas condições físico-químicas (pH e Eh).

Os compostos orgânicos sintéticos são, pela toxicidade, aqueles de maior preocupação ambiental. Os padrões de potabilidade existentes não incluem todas as substâncias utilizadas pela sociedade industrial. Isso decorre da evidência médica insuficiente que permita o estabelecimento de recomendações seguras.

Alguns compostos orgânicos halogenados, utilizados amplamente como solventes e desengraxantes e alguns hidrocarbonetos, podem causar problemas irremediáveis aos aquíferos. Estes compostos são altamente tóxicos e bastante persistentes em subsuperfície.

Outros contaminantes bastante comuns nas águas subterrâneas são os microorganismos patogênicos, incluindo as bactérias e vírus. Para a mensuração da qualidade da água tanto superficial como subterrânea, é usado o padrão de contagem de coliformes. Embora estas bactérias sejam inofensivas ao homem, elas são usadas como referência devido à sua grande abundância nas fezes de animais de sangue quente. Portanto, a detecção de coliformes nas águas é um indicador de contaminação recente.

Estudo realizado por BOVOLATO (1998) sobre as águas de poços rasos existentes na área urbana de Araguaína mostrou que os percentuais de contaminação por coliformes totais e fecais eram bastante elevados (90 a 94%), com reflexos na saúde da população, tomando como parâmetro a incidência de parasitoses nos consumidores de água de má qualidade.

Eventualmente, a contaminação das águas subterrâneas pode ocorrer por mecanismos naturais. A interação entre a água e a rocha faz com que a água se enriqueça de certas substâncias, algumas das quais em concentrações que a tornam não potável. Estes problemas, embora não tão comuns, ocorrem em aquíferos onde a matriz mineral apresenta concentração elevada dessas substâncias e o ambiente freqüentemente propicia a sua solubilização. Os contaminantes mais comuns são ferro, manganês e flúor, e em

concentrações menores arsênio, cromo, cádmio, níquel, zinco, cobre, entre outros (FREEZE & CHERRY, 1979).

O solo participa ativamente da atenuação da quantidade de muitas substâncias, mas não de todos os contaminantes da água subterrânea. O processo de atenuação continua em menor grau no restante da zona não-saturada<sup>3</sup>, especialmente onde os sedimentos não consolidados, em oposição a rochas fraturadas (pouco reativas), estão presentes. Tanto o solo como o restante da zona não saturada são as linhas de defesa natural contra a poluição da água subterrânea. Isso ocorre não somente pela sua posição e participação na recarga, mas também pelo ambiente mais favorável à atenuação e eliminação de poluentes e pela presença de grande quantidade de microorganismos (MACFARLANE *et al*, 1983).

Segundo Rebouças (2002), a água na zona não-saturada movimenta-se normalmente de forma lenta, restrita aos menores poros. As velocidades normalmente não excedem a 0,2 m/dia em curtos períodos de tempo e menores ainda para períodos mais longos. As condições químicas geralmente são aeróbicas e freqüentemente alcalinas, permitindo:

- interceptação, sorção<sup>4</sup> e eliminação de microorganismos patogênicos;
- degradação da carga de metais pesados e outros químicos inorgânicos, através da precipitação (como carbonatos, sulfatos e hidróxidos), sorção e trocas iônicas e;
- sorção e biodegradação de muitos hidrocarbonetos sintéticos naturais.

Tais processos continuam, em menor grau, na zona saturada. Nesta zona a redução das concentrações ocorre principalmente pela diluição, resultado da dispersão que acompanha o fluxo da água subterrânea.

A atenuação de contaminantes não é a mesma para todos os aquíferos. Alguns corpos rochosos ou depósitos sedimentares oferecem melhor proteção que outros, devido às características litológicas e hidráulicas da zona não-saturada ou do aquífero. Desta forma, a

---

<sup>3</sup> Zona não saturada é a zona em subsuperfície onde os poros contêm água e ar.

<sup>4</sup> Fixação de moléculas de uma substância (o adsorvato) em outra substância (o adsorvente)

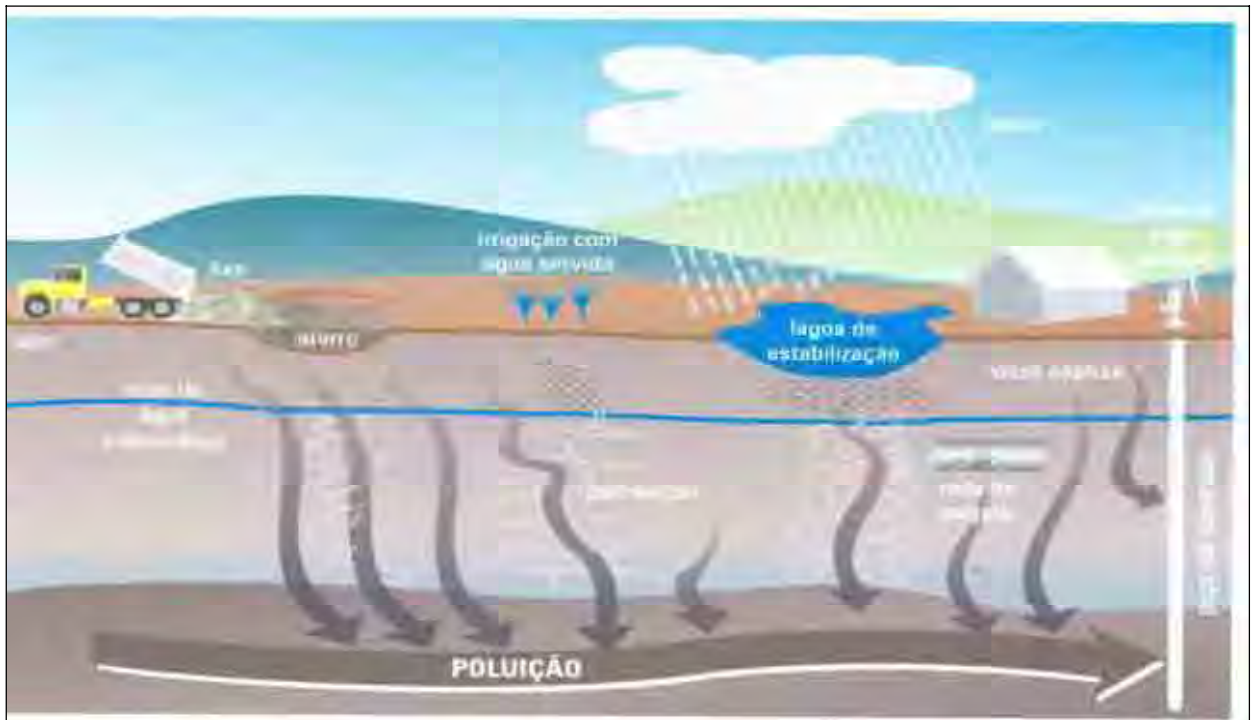
vulnerabilidade à poluição de um aquífero é uma característica intrínseca que determina a sensibilidade do aquífero em ser contaminado.

A vulnerabilidade natural de um aquífero à contaminação é definida como a sua maior ou menor suscetibilidade em ser afetado por uma carga poluidora (FOSTER e HIRATA, 1988). É considerado um conceito inverso ao de capacidade de assimilação de um corpo de água receptor, com a diferença de o aquífero possuir uma cobertura não saturada que proporciona uma proteção adicional. Esta componente de análise do meio físico é muito importante, uma vez que destaca as regiões cujos aquíferos têm maior necessidade de proteção.

O conceito de vulnerabilidade de aquíferos pode ser visto num contexto mais amplo, associado ao conceito de contaminação ambiental, cujo conhecimento assume grande importância quando são ressaltados seus efeitos ambientais e toxicológicos devido às elevadas concentrações de algumas substâncias, à possibilidade de bio-acumulação em organismos e à sua persistência no ambiente (GUNTHER, 1999).

Assim, os riscos à saúde decorrem da exposição da população local aos contaminantes, seja por meio da propagação da contaminação ou quando áreas contaminadas são reutilizadas, especialmente quando o novo usuário não tem conhecimento de sua contaminação anterior.

As atividades mais importantes no contexto latino-americano associadas à contaminação de aquíferos, estão relacionadas aos sistemas de esgotamento sanitário “*in situ*”, ou aquelas que infiltram os efluentes diretamente no solo, como deposição inadequada de resíduos sólidos, vazamentos de postos de venda de combustíveis, entre outras (Figura 5).



**Figura 5.** Diferentes formas de contaminação da água subterrânea. Fonte: SILVA, R.B.G. (2004)

Sistemas “*in situ*” de esgotamento sanitário, como fossas sépticas, latrinas, fossas ventiladas e secas, entre outras, são adequadas para a disposição de efluentes domésticos em zonas rurais, vilas e pequenas cidades a um custo bastante reduzido, comparativamente à redes de esgoto e estações de tratamento de efluentes.

Uma lista das principais fontes potencialmente poluentes é apresentada na Tabela 1:

**Tabela 1.** Principais fontes potencialmente poluentes.

<b>Atividades</b>	<b>Distribuição característica da carga contaminante</b>	<b>Principal contaminante</b>
<b>Urbana (a)</b>		
Saneamento <i>in situ</i>	u/r P-D	n f o
Lagoas de oxidação	u/r P	o f n m
Lixiviados de lixões/aterros sanitários	u/r P	o s h m
Tanques de combustível	u/r P-D	oh
<b>Indústria (b)</b>		
Vazamento de tanques/tubos (b)	u P-D	o h
Derramamento acidental	u P-D	o h
Lagoas de efluentes	u p	o h s m
Lixiviado de resíduos sólidos (chorume)	u/r P	o h s m
<b>Agrícola (c)</b>		
1. Áreas de cultivo		
- com agroquímicos	r D	n o
- com irrigação	r D	n o s
- com lodos/resíduos	r D	n o s
2. Beneficiamento de gado e outros animais		
- lagoas de efluentes sem revestimento	r P	f o n

Fonte: Hirata, R. **Recursos Hídricos**. In: Teixeira, W. *et al* (Org.), 2003.

(a) Pode incluir componentes industriais	f - patógenos fecais
(b) Pode também ocorrer em áreas não industriais	o - compostos orgânicos sintéticos e/ou carga orgânica
(c) Intensificação apresenta aumento no risco de contaminação	s – salinidade
u/r - Urbano/Rural	P/L/D - pontual/linear/difuso
n – nutrientes	m - metais pesados
h – hidrocarbonetos	

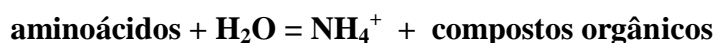
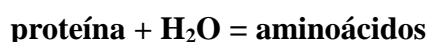
Os efluentes domésticos possuem elevadas concentrações em carbono orgânico, cloreto, nitrogênio, sódio, magnésio, sulfato e alguns metais, incluindo ferro, zinco e cobre, além de concentrações variadas de microorganismos patogênicos. Destes compostos, os que apresentam os maiores riscos à água subterrânea são o nitrogênio e os microorganismos patogênicos.

Segundo Nolan *et al* (1997), compostos nitrogenados podem ser convertidos em nitratos pela ação de bactérias presentes no solo, tendo como fonte principal nas áreas urbanas os esgotos domésticos. Como os nitratos apresentam alta mobilidade, sob condições

de alta pluviosidade e dependendo da vulnerabilidade do aquífero, podem alcançar a água subterrânea em tempo de meses (GODOY, 1999).

Os nitratos no solo e nas águas subterrâneas resultam da degradação microbiana de substâncias orgânicas nitrogenadas, como proteínas e uréia as quais são então biologicamente oxidadas para nitritos e nitratos num processo de duas etapas (STEVENSON & WAGNER, 1970):

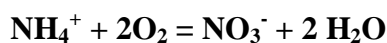
- 1) Hidrólise de proteína:



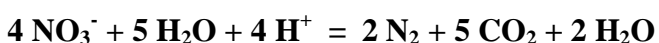
- 2) Amonificação da uréia:



Dá-se a oxidação com atuação de microorganismos nitrificantes na seguinte reação:



A denitrificação (STUMM & MORGAN, 1996), ocorre menos nos solos e mais na zona saturada, em mudança de Eh com o ambiente tendendo a ser menos oxidante:



Ainda segundo Stumm & Morgan (1996), as plantas superiores assimilam os nitritos do solo após reduzir os nitratos a nitritos e esta reação é catalizada pela enzima *nitrate reductase*. Outras bactérias podem também reduzir nitratos a nitritos. Todavia, como o nitrito é facilmente oxidado para nitrato, a concentração de nitritos em águas superficiais é geralmente bastante reduzida.

Concentrações excessivas de nitrato na água para consumo humano apresentam riscos à saúde humana. Isso ocorre quando bactérias do sistema digestivo transformam nitrato em nitrito. O nitrito oxida o ferro presente na hemoglobina das células vermelhas do sangue, afetando a sua capacidade de transportar oxigênio, desenvolvendo a chamada hemoglobinemia ou cianose infantil (em crianças com menos de um ano de idade). Também

é possível o desenvolvimento de câncer a partir da reação com aminas e ácidos (BURT & TRUDGILL, 1993).

As atividades industriais podem também, através da disposição incorreta de seus resíduos, contaminar as águas subterrâneas, sendo que a diversidade dos compostos químicos que chegam aos sistemas naturais é imensa, muitos dos quais ainda não constando das normas e padrões de potabilidade para consumo de água, sendo que, para muitos compostos químicos, não são conhecidos seus efeitos e seus limites de concentração toleráveis para o organismo humano.

A deposição de resíduos sólidos de origem doméstica ou industrial tem causado muitos incidentes de contaminação da água subterrânea. Em vários casos, resíduos industriais perigosos, que podem conter metais pesados e solventes orgânicos, são colocados em áreas destinadas aos resíduos domésticos. Outras vezes, a deposição clandestina de substâncias tóxicas, comum em muitas regiões, dificulta a avaliação precisa dos riscos para os aquíferos e da qualidade dos líquidos provenientes do chorume e que podem percolar pelas camadas subsuperficiais.

Outra atividade que tem apresentado potencial elevado de contaminação das águas subterrâneas é a atividade agrícola, através da utilização intensiva de agrotóxicos e fertilizantes nitrogenados.

#### **4.2 Processos de transporte e atenuação dos contaminantes**

O acesso de contaminantes às águas subterrâneas depende do resultado de ações naturais de defesa que se processam no meio poroso não saturado, em especial na zona biologicamente ativa do solo. Essas ações são atribuídas a interações físicas com o solo (zona não-saturada) que retardam o processo de contaminação e reações químicas com os contaminantes que podem reduzir total ou parcialmente a concentração dos mesmos.

As interações físicas são produzidas graças a fenômenos de filtração mecânica, sorção e intercâmbio de íons, enquanto que as ações atenuadoras são atribuídas principalmente a reações de hidrólise, precipitação e complexação, além de transformações bioquímicas.

A Figura 6 ilustra a importância relativa de cada um desses processos nas zonas não-saturada e saturada.



**Figura 6.** Perfil de degradação do solo e zona saturada e não-saturada (FOSTER e HIRATA, 1988)

O solo participa ativamente da atenuação de muitos, mas não todos, contaminantes da água subterrânea. O processo de atenuação continua em menor grau na zona não-saturada, especialmente onde sedimentos não consolidados, em oposição a rochas fraturadas (pouco reativas), estão presentes (Figura 6). Tanto o solo como a zona não-saturada formam a primeira linha de defesa natural contra a poluição da água subterrânea.

Isso ocorre não somente pela sua posição estratégica, mas também pelo ambiente mais favorável à atenuação e eliminação de poluentes e pela presença de grande quantidade de microorganismos (HIRATA, 2003). Na figura 6, a espessura da linha vertical (em azul)

corresponde à maior ou menor atuação do processo indicado. Onde a linha é mais espessa, significa que naquela porção o processo é mais eficaz.

No caso de contaminantes persistentes e móveis, como os nitratos, a zona não saturada exerce pouca influência, podendo apenas aumentar o tempo de trânsito dos mesmos. Em situações como esta, a zona saturada é mais eficiente na redução da concentração dos contaminantes mediante o mecanismo de diluição pelas águas do fluxo subterrâneo. Todos os processos assinalados para a zona não saturada ocorrem na zona saturada, porém com uma intensidade muito menor.

#### **4.3 Interações físicas com o solo**

Uma forma bastante comum de interação física com o solo é a filtração mecânica. Neste processo as partículas em suspensão tais como silte, argilas, algas e microorganismos podem ser retidas pelo solo na zona não saturada. A filtração será tanto mais eficaz quanto mais fina for a textura dos sedimentos e mais uniforme for a distribuição do tamanho de partículas do solo. Neste aspecto, os terrenos siltosos e argilosos são os que exercem maior ação protetora sobre os aquíferos.

O termo sorção corresponde ao somatório de absorção e adsorção. É o processo pelo qual os contaminantes atravessam os interstícios do meio poroso e tendem a ficar aderidos à superfície do sólido por forças eletrostáticas ou ligações químicas fracas, podendo difundir-se até o interior da estrutura rochosa. Ou seja, um componente se desloca da fase líquida se acumulando na fase sólida presente, que em termos práticos de transporte de contaminantes no solo, significa um retardamento com diminuição da velocidade dos contaminantes em relação às águas.

Os adsorventes mais comuns são os minerais de argila, hidróxidos de ferro e manganês, substâncias orgânicas e microorganismos. Para preservação e auto-purificação das

águas subterrâneas os processos de adsorção do solo e em zonas subsaturadas de um modo geral, são de primeira importância (FENZL, 1986). A retenção dos contaminantes propiciada pela adsorção permite um maior tempo de permanência dos mesmos no terreno, o que facilita a ocorrência de outros fenômenos atenuadores como oxidação, ação bacteriana e intercâmbio de íons.

O intercâmbio iônico é uma forma de interação dos contaminantes com o solo no qual alguns íons em dissolução trocam de posição com outros que formam parte do sólido. A capacidade de adsorção de um trocador ou a capacidade de troca de uma substância, depende da intensidade dos seus íons trocáveis.

Por troca iônica entende-se o processo pelo qual íons retidos na superfície de uma fase sólida são permutados com quantidades equivalentes de íons em solução numa fase líquida, ou pertencentes a outra fase sólida em contacto com a primeira. No solo, a CTC - Capacidade de Troca Catiônica - é devida à superfície específica e às cargas inerentes ou acidentais de colóides eletronegativos, como os minerais de argila, a sílica coloidal e o húmus.

A retenção de íons sob a forma permutável explica-se essencialmente por adsorção eletrostática. Numa solução coloidal os íons de troca ( $\text{Ca}^{2+}$ ;  $\text{K}^+$ ;  $\text{Mg}^{2+}$ ;  $\text{Na}^+$ ) envolvem cada partícula coloidal até a maior ou menor distância da superfície desta (OLIVEIRA *et al*, 1992). Chama-se camada dupla difusa ao conjunto formado pelas cargas da superfície da partícula coloidal e pelos íons de troca, cuja concentração diminui consoante a distância à superfície das partículas.

Uma parte substancial da argila do solo e as substâncias húmicas propriamente ditas estão no estado coloidal. Os minerais de argila e os colóides húmicos são eletronegativos,

mas em determinadas condições podem desenvolver certo número de cargas positivas, sendo sempre a carga efetiva destes colóides negativa, pois há predominância de cargas negativas. Muitos solos desenvolvem cargas de um e outro tipo, o que é evidenciado pela propriedade do complexo coloidal absorver cátions (carga +), para o que é necessária a existência de cargas negativas, ânions, o que resulta de cargas positivas. De modo geral, quando o pH aumenta, aumentam as cargas negativas e diminuem as cargas positivas do complexo coloidal do solo, verificando-se o contrário quando o pH diminui.

Os fenômenos de retenção e troca iônica no solo estão mais ou menos intimamente relacionados com vários processos físicos e químicos. Neles têm lugar, tais como alterações dos minerais, eluviação (processo de deposição de materiais do solo, removidos de um horizonte para outro inferior), variação da consistência e volume do material do solo com o teor em água e absorção de elementos nutritivos pelas raízes.

Os cátions de troca são designados por bases de troca do solo e os mais importantes são o cálcio, o magnésio e o potássio. Estes predominam em solos de reação alcalina e neutra. Nos solos ácidos, os cátions de troca dominante são alumínio e/ou hidrogênio; em muitos solos minerais ácidos o alumínio é o principal cátion de troca. Isto resulta da instabilidade das argilas que se alteram com a liberação de alumínio, que fazia parte da estrutura cristalina e passa a ocupar posições de troca, embora o alumínio tenha baixa mobilidade.

Em solos ferralíticos, formados como resultado da intensa alteração dos minerais primários e cuja fração mineral é constituída essencialmente por caulinita e/ou sesquióxidos (óxidos em que 2 átomos de um elemento estão combinados com 3 átomos de oxigênio), a reserva de bases na fração mineral é mínima e pode encontrar-se quase totalmente esgotada.

Admite-se que os cátions de troca estão em contínuo movimento em torno do seu ponto de ligação à fase sólida. Se um cátion de solução se aproxima da superfície de adsorção quando um cátion de troca está relativamente afastado desta, será imediatamente adsorvido em substituição do chamado cátion de troca. Atendendo ao mecanismo de adsorção catiônica, pode definir-se a capacidade de troca catiônica do solo como a quantidade de cátions necessária para neutralizar as cargas negativas de uma quantidade unitária de solo em determinadas condições, principalmente para um determinado pH.

A adsorção catiônica nos minerais de argila deve-se à existência:

- de cargas negativas intrínsecas ou permanentes, resultantes de substituições isomórficas, ou seja, da substituição de um "corpo" por outro de igual constituição química e com forma cristalina análoga;
- de um modo geral pode dizer-se que a capacidade de troca catiônica dos minerais de argila é independente do pH enquanto este for inferior a 5. A partir de pH 6, aumentam as cargas negativas dependentes do pH, de modo que a capacidade de troca catiônica cresce progressivamente, atingindo o máximo para pH por volta de 10.

#### **4.4 Reações químicas**

As reações químicas que se processam no solo e zona não saturada em geral, constituem-se em mecanismos de defesa muito importante sobre a ação de contaminantes tanto de natureza inorgânica como orgânica. Tratando-se de contaminantes inorgânicos, como é o caso de metais pesados, as reações podem afetar a solubilidade dos mesmos e precipitá-los; já os contaminantes orgânicos ficam sujeitos à degradação.

Os processos de precipitação afetam principalmente o  $\text{Fe}^{++}$  e  $\text{Mn}^{++}$  existentes na água. Os compostos de  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  e  $\text{Mn}(\text{OH})_3$  insolúveis podem ser produzidos em um meio oxidante com pH entre 6 e 8. Nesta precipitação facilmente são arrastados por co-precipitação muitos íons de metais pesados como os de Cu (cobre), Pb (chumbo), Zn (zinco), As (arsênio), W (tungstênio) e V (vanádio) e, também, os ânions  $\text{F}^-$  e  $\text{PO}_4^{4-}$ . Em zona redutora ou pouco oxidante, a geração de  $\text{H}_2\text{S}$  e  $\text{S}^-$  anaeróbio ou por decomposição, pode eliminar todos ou parte dos íons  $\text{Fe}^{++}$ , precipitando-os como  $\text{FeS}$ , além de precipitar também outros íons metálicos pesados associados a sulfetos muito insolúveis (CUSTÓDIO E LLAMAS, 1983).

Os metais traços<sup>5</sup> tendem a formar espécies hidrolizadas e complexos pela combinação com ânions inorgânicos como  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{NO}_3^-$ . Em ambientes de água subterrânea contaminadas com compostos orgânicos, complexos orgânicos podem também ser importantes. Nestes casos, a mobilidade dos contaminantes é alterada, assim como o comportamento do meio.

As reações químicas de óxido-redução têm maiores influências na diminuição de contaminação por produtos orgânicos e nitrogenados. A simples mudança de um ambiente oxidante para um redutor pela presença de matéria orgânica sólida ou dissolvida pode solubilizar ou precipitar metais do ambiente como ferro e magnésio (FETTER, 1988).

As transformações bioquímicas estão associadas ao processo de óxido-redução e à degradação de muitos produtos orgânicos. Sob condições redutoras (meio anaeróbico) e com a participação de bactérias especializadas, são produzidos  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  e  $\text{CH}_4$ . Em um meio oxidante, certos tipos de bactérias precipitam o  $\text{Fe}^{+++}$  em forma de  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  insolúvel.

---

<sup>5</sup> Metais traços são elementos químicos em concentrações muito pequenas (ppm/ppb).

#### 4.5 Processo de diluição

Diluição é um processo que implica na diminuição da concentração dos contaminantes e está ligada ao fluxo subterrâneo, mecanismos de advecção<sup>6</sup> e dispersão hidrodinâmica. Na advecção, há um deslocamento dos contaminantes na mesma direção dos escoamentos subterrâneos, enquanto que na dispersão (que é o responsável pela diluição) verifica-se o espalhamento dos contaminantes com a progressiva diminuição das concentrações máximas. O processo de dispersão hidrodinâmica ocorre em associação com a difusão molecular que se refere ao movimento aleatório das partículas (browniano), com transferência de massa contaminante até as zonas de menor concentração (FEITOSA & J. M. FILHO, 2000).

#### 4.6 Componentes do manejo da água subterrânea e suas variáveis

Segundo Rebouças (2002), o manejo das águas subterrâneas implica em diversas variáveis do ponto de vista do gerenciamento integrado.

A variável “produção” corresponde à função mais tradicional de produção de água para consumo humano, industrial ou irrigação. Estima-se que 300 milhões de poços foram perfurados no mundo durante os últimos 25 anos e que mais de 50% da sua população consome exclusivamente água subterrânea. Por sua vez, dos 270 milhões de hectares irrigados no mundo, cerca de um terço é abastecido por poços ( REBOUÇAS op. cit.).

A variável “ambiental” é reconhecida a partir da percepção de que a urbanização, industrialização e atividades agrícolas, com uso intensivo de insumos químicos modernos podem afetar a qualidade das águas em geral.

---

<sup>6</sup>Advecção: é o processo através do qual a água subterrânea carrega consigo os solutos dissolvidos. A quantidade de soluto transportado depende de sua concentração na água subterrânea, do volume de água fluindo e da velocidade da água subterrânea.

Atualmente, os fatores que podem afetar a qualidade das águas subterrâneas já começam a ser tratados nas suas devidas dimensões, na medida em que já se tem um melhor conhecimento dos processos que regulam os impactos sobre o solo/subsolo e águas subterrâneas (FETTER, 1993).

A variável “quantidade de recarga”, identificada com a taxa de recarga/descarga, é entendida como uma espécie de duto utilizado para transportar água entre zonas de recarga artificial ou natural e áreas de extração excessiva. A otimização do aproveitamento da recarga vem sendo realizada com sucesso na Austrália, Centro-Oeste Americano, Norte da África e Oriente Médio, tendo em vista assegurar a extração dos volumes de águas subterrâneas definidos pelas variáveis de decisão (COHEN, 1995).

Uma das variáveis está relacionada ao aspecto do gerenciamento integrado das águas superficiais e subterrâneas de áreas metropolitanas, inclusive mediante práticas de recarga artificial com excedentes da capacidade das estações de tratamento, os quais acontecem durante os períodos de menor consumo, com infiltração de águas pluviais e esgotos tratados. Estes volumes infiltrados serão bombeados para atender picos sazonais de demandas, períodos de escassez relativa e situações de emergência resultantes de acidentes naturais (OECD, 1989).

Outra variável corresponde à utilização da capacidade filtrante e de depuração biogeoquímica das zonas não saturada e saturada na percolação da água subterrânea. Para tanto os poços são implantados a distâncias adequadas de rios perenes, lagoas, lagos ou reservatórios, para extrair água naturalmente clarificada e purificada, reduzindo substancialmente os custos dos processos convencionais de tratamento.

A variável “energética” corresponde à utilização da água subterrânea aquecida pelo gradiente geotermal, como fonte de energia elétrica ou termal. A utilização e/ou reutilização

das águas subterrâneas aquecidas vem sendo uma alternativa energética muito empregada nos Estados Unidos, Japão e Rússia.

Uma outra variável, corresponde à utilização do aquífero para estocar excedentes de água. Estes excedentes são de diversas naturezas, distinguindo-se aquele identificado com o represamento subterrâneo dos excessos nas enchentes, que ocorrem durante as enchentes dos rios, correspondentes à capacidade máxima das estações de tratamento durante os períodos de baixa demanda, ou aquele referente ao reuso de efluentes domésticos e/ou industriais tratados. Esta otimização é amplamente utilizada no Centro Oeste Americano, Califórnia, Israel, Austrália e Espanha e outros contextos de clima árido ou semi-árido (MARGAT, 1998).

Na Primeira Conferência Mundial da Água, realizada em Mar Del Plata, em 1977, calculava-se que 70% das comunidades carentes de abastecimento de água potável poderiam ser atendidas de forma mais barata pelo manancial subterrâneo. Não obstante, durante a Década Internacional da Água Potável e Saneamento (1980 – 90), pouco progresso foi feito neste sentido, continuando-se a privilegiar os projetos cada vez mais caros de captação, adução e tratamento da águas dos rios ou lagos (REBOUÇAS, 2002).

Nos Estados Unidos, a utilização das águas subterrâneas é relativamente controlada nos níveis federal e estadual. Foram perfurados em média 400.000 poços por ano nas últimas décadas, para a irrigação de aproximadamente 13 milhões de hectares, abastecimento de 39% dos serviços municipais de água, 75% da população rural e indústrias.

Cerca de dois terços do volume anual de 300 milhões de metros cúbicos são extraídos nos estados da Califórnia, Texas, Nebraska, Idaho, Arizona e Flórida. A cidade de Tucson (Arizona), com uma população de 400.000 habitantes, depende integralmente da água subterrânea (USGS, 1992).

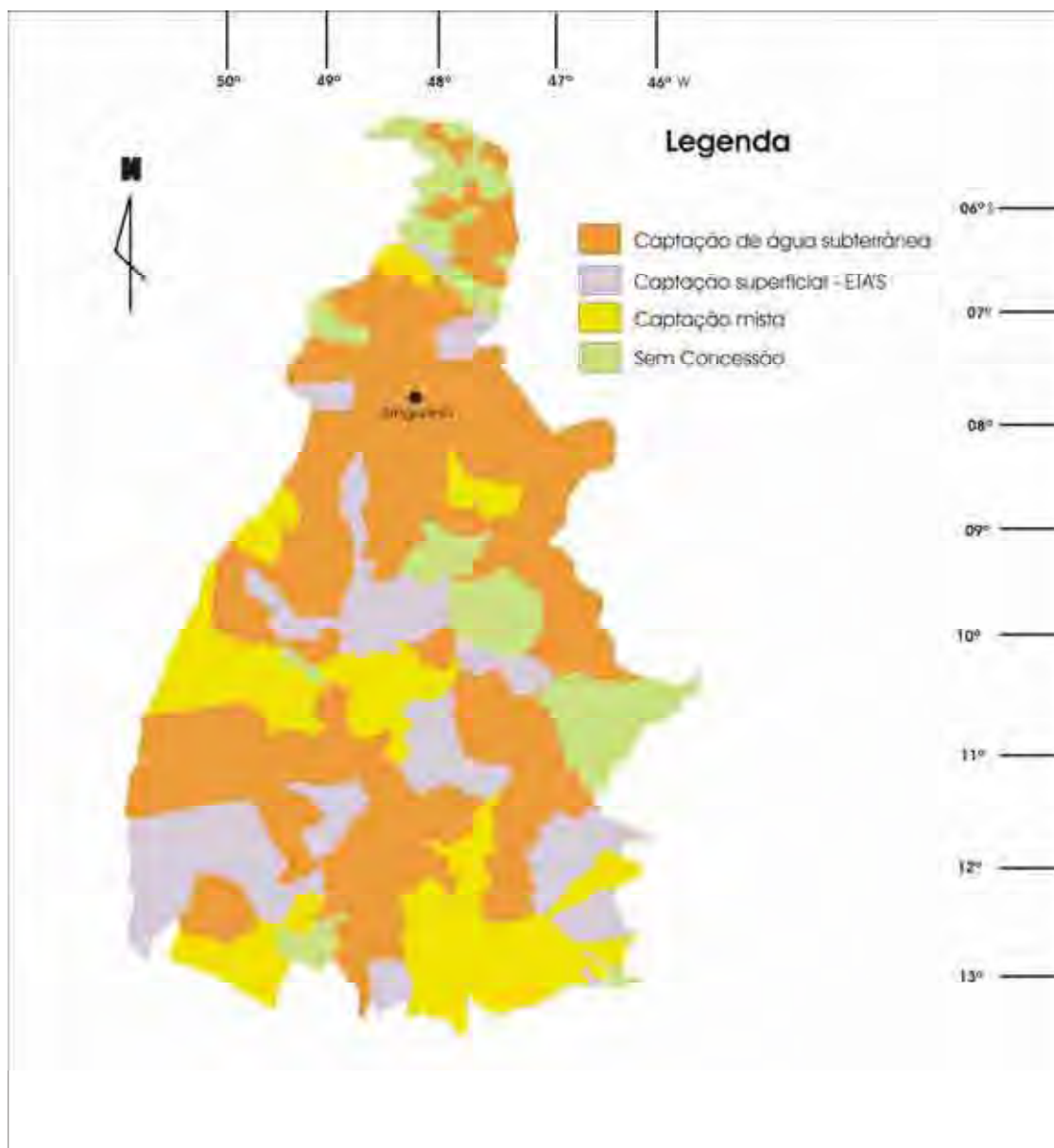
Na Comunidade Econômica Européia, a utilização das águas subterrâneas é controlada. O atendimento dos serviços públicos é prioritário, abastecendo em média 75% dos sistemas. Em alguns países como Dinamarca, Suécia, Bélgica, Alemanha e Áustria, chega a ser superior a 90% (OECD, 1989).

Na cidade do México, o volume extraído dos poços é da ordem de 50 m<sup>3</sup>/s, abastecendo cerca de 80% da demanda dos quase 20 milhões de habitantes (GARDUÑO & ARREGUIN-CORTES, 1994).

Na Austrália, 60% da população depende totalmente das águas subterrâneas, com uso preponderante para abastecimento público e irrigação (HARBERMEHL, 1985).

No Brasil, a falta de controle efetivo da utilização das águas subterrâneas, tanto em âmbito federal como estadual, dificulta a avaliação do seu grau de utilização. Vale ressaltar que de acordo com os dados do “Atlas do Saneamento” (IBGE, 2000), cerca de 54,66% da população brasileira se abastece com água subterrânea, sendo que na região Norte, 73,47% da população se utiliza da captação em poços rasos (cisternas) e poços profundos.

No Estado do Tocantins grande parte da população urbana é abastecida por sistemas que captam a água subterrânea, conforme mostrado na Figura 7.



**Figura 7.** Distribuição dos sistemas de captação de água no Estado do Tocantins (Saneatins, 2004)

## CAPÍTULO 1

### 5. Água, meio ambiente, saneamento e saúde

Segundo Pitton (2003), o “meio ambiente urbano” refere-se ao ambiente construído, uma vez que o “ambiente natural” está desaparecendo das cidades, sobrepujado pelas formas concretas de ocupação do território. Assim, os custos sociais e ecológicos estão mais presentes nas cidades, pois o estilo de desenvolvimento tem privilegiado os espaços urbanos, e em consequência, os interesses que estes representam.

A cidade é o clímax das mudanças, visto que, quando uma cidade se constrói, em função da escala e da velocidade do processo de ocupação do solo, a interferência abrupta que provoca no processo natural, reduz as condições de renovabilidade e impede que a natureza consiga absorver tais modificações (Mello, 1996:106).

No Brasil, seguindo a tendência mundial, o crescimento da população urbana nas últimas décadas ocorreu de forma contínua e acelerada, sendo que as cidades de porte médio (população entre 100 a 500 mil habitantes) são as que experimentaram as maiores taxas de crescimento anual (4,8%), contra apenas 0,9% das metrópoles (PITTON, 2003).

O baixo padrão de qualidade ambiental dominante, devido aos processos inadequados de urbanização típicos das regiões metropolitanas, está se reproduzindo nas cidades de pequeno e médio porte, tornando-as multiplicadores da degradação ambiental. Dentre os vários problemas relacionados à degradação ambiental, estão aqueles relacionados à contaminação dos recursos hídricos e a sua interface com a saúde pública.

O conceito de promoção de saúde proposto pela Organização Mundial de Saúde (OMS), desde a Conferência de Ottawa, em 1986, é visto como o princípio orientador das ações de saúde em todo o mundo. Assim, parte-se do pressuposto de que um dos mais importantes fatores determinantes da saúde são as condições ambientais.

O conceito de saúde entendido como um estado de completo bem estar físico, mental e social, não restringe o problema sanitário ao âmbito das doenças. Hoje, além das

ações de prevenção e assistência, considera-se cada vez mais importante atuar sobre os fatores determinantes da saúde. É este o propósito da promoção da saúde, que constitui o elemento principal das propostas da Organização Mundial de Saúde e de Organização Pan-Americana de Saúde (OPAS).

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), saneamento é o controle de todos os fatores do meio físico do homem, que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre o seu bem estar físico, mental e social. A própria OMS define saúde como o estado de completo bem estar físico, social e mental, e não apenas a ausência de doença.

A utilização do saneamento como instrumento de promoção da saúde pressupõe a superação dos entraves tecnológicos, políticos e gerenciais que têm dificultado a extensão dos benefícios aos residentes em áreas rurais e municípios de localidades de pequeno porte.

A maioria dos problemas sanitários que afetam a população mundial está intrinsecamente relacionada com o cuidado com o meio ambiente. Um exemplo disso é a ocorrência de diarreia que com mais de quatro bilhões de casos por ano, se constitui um mal realmente preocupante para a humanidade. Entre as causas primordiais dessa doença destacam-se as condições inadequadas de saneamento (WHO & UNICEF, 2000).

No Brasil, as doenças resultantes da falta ou inadequação de saneamento, especialmente em áreas pobres, tem agravado o quadro epidemiológico. Males como cólera, dengue, esquistossomose e leptospirose são exemplos disso.

Segundo Branco (1989), não há dúvida de que a água constitui elemento indissociável do meio ambiente, tanto do chamado “ambiente natural” quanto dos “ambientes antrópicos”, como as cidades, o campo e outros ambientes ocupados e modificados pelo homem.

O principal papel que a disponibilidade de água desempenha em relação às estruturas e funções dos ambientes, notadamente os ambientes terrestres, diz respeito ao

fornecimento da substância em estado líquido para a sobrevivência de plantas e animais. Isto é válido também com relação às necessidades biológicas de água do ser humano.

Entretanto, o ser humano não se satisfaz apenas com a água que bebe. Ele a utiliza para sua higiene pessoal, para lavar utensílios e demais usos domésticos. Há a necessidade ainda de água para uso público e industrial. Todos esses usos fazem da água salubre um recurso indispensável para a manutenção e funcionamento das economias e da vida. Segundo Hogan & Vieira (1995), o fator ambiental mais importante, sobretudo no âmbito domiciliar, é a qualidade da água.

A água para consumo humano deve ser objeto da mais rigorosa padronização de qualidade, de modo a que não se torne comprometedora da saúde pública. Mais do que isso, segundo uma prática que vem sendo adotada em quase todo o mundo, a água dita “potável” deve não apenas ser inócua à saúde, como também portadora de substâncias “protetoras” desta última, como é o caso da aplicação de compostos de flúor como preventivos da cárie dentária.

Os padrões de qualidade de água referem-se a um certo número de parâmetros capazes de refletir, direta ou indiretamente, a presença efetiva ou potencial de algumas substâncias ou microrganismos que possam comprometer a qualidade da água do ponto de vista de sua estética e de sua salubridade.

Do ponto de vista da salubridade, exige-se que a água não contenha organismos patogênicos ou substâncias químicas em concentrações tóxicas ou que possam tornar-se nocivas à saúde pelo uso continuado da água. Do ponto de vista estético, as exigências se referem aos aspectos físicos e organolépticos que tornem a água repugnante ao consumidor, induzindo-o a usar águas de melhor aparência, porém sem controle de salubridade.

Os valores máximos permitidos em relação às normas e padrões de potabilidade de água destinada ao consumo humano são estabelecidos pela Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde (em anexo).

Graças à sua extraordinária capacidade de dissolução e transporte das mais variadas formas de matérias seja em solução, seja em fina suspensão, a água representa o elemento ideal nas funções de limpeza de ambientes, constituindo, ao mesmo tempo, o veículo de toda sorte de impurezas, estando estas, nas formas de substâncias tóxicas ou de microorganismos patogênicos.

Desde épocas remotas, povos como os da Mesopotâmia, do Oriente distante ou do Egito, desenvolveram diferentes processos de filtração ou de simples armazenamento como métodos de eliminação de microorganismos patogênicos. É conveniente lembrar, porém, que tais microorganismos não se desenvolvem espontaneamente nos rios ou outros corpos d'água, mas são aí introduzidos graças às práticas do emprego da água como elemento de lavagem e destino final de resíduos das habitações ou de áreas contaminadas por excrementos de origem humana.

Trata-se de um círculo vicioso, em que os patogênicos introduzidos nos mananciais a partir de pessoas portadoras de doenças entéricas, retornam ao ambiente domiciliar através dos sistemas de captação de água, contaminando populações saudáveis.

Esse processo cíclico foi intensificado a partir da segunda metade do século XIX, na Inglaterra com a chamada “reforma sanitária”, com o uso generalizado da descarga hidráulica dos vasos sanitários, ligando-os aos sistemas de drenagem pluvial que, até então, eram usados quase que exclusivamente para o escoamento de águas de chuva (LIMA, 1952). A partir daí, outros países da Europa passam a utilizar este sistema.

Datam de então as grandes epidemias bacterianas de veiculação hídrica, como a febre tifóide e o cólera, que dizimaram populações na Europa a partir do ano de 1850.

Embora houvesse suspeitas da íntima relação entre a qualidade da água e doenças, somente conseguiu-se prová-la cientificamente após a investigação de John Snow a respeito de uma epidemia de cólera que se propagou num bairro de Londres em 1849, causando a morte de 521 pessoas em apenas 10 dias. Empregando método simplesmente epidemiológico, Snow provou a importância da água do poço da Rua Broad na disseminação da doença entre as pessoas que a ingeriam (CRISTOVÃO, 1974).

No Brasil, apenas em 1927, na cidade de São Paulo, é feita pela primeira vez a cloração das águas de abastecimento público (REBOUÇAS, 2002).

Ainda segundo Rebouças (op. cit), o aspecto mais relevante da questão, entretanto, é o da evidente redução da incidência de doenças entéricas nas populações, na medida em que estas foram sendo beneficiadas com o tratamento das águas de abastecimento.

Apesar deste avanço em relação à saúde pública de maneira geral, o Brasil apresenta altos índices de incidência de doenças intestinais transmitidas pela água. Esses índices se refletem nas elevadas taxas de mortalidade infantil.

Uma série de doenças podem ser associadas a água, seja em decorrência de sua contaminação por excretas humanos ou de outros animais, ou pela presença de substâncias químicas nocivas a saúde humana.

Tradicionalmente as doenças relacionadas com a água são classificadas em dois grupos (CETESB, 1974):

- 1) **doenças de transmissão hídrica:** são aquelas em que a água atua como veículo do agente infeccioso. Os microorganismos patogênicos atingem a água através dos excretas de pessoas ou animais infectados, causando problemas principalmente no aparelho intestinal do homem. Essas doenças podem ser causadas por bactérias, vírus, protozoários e helmintos.

- 2) **doenças de origem hídrica:** são aquelas causadas por determinadas substâncias químicas, orgânicas ou inorgânicas, presentes na água em concentrações inadequadas, em geral superiores às especificadas nos padrões para água de consumo humano. Essas substâncias podem existir naturalmente no manancial ou resultarem da poluição. São exemplos de doenças de origem hídrica o saturnismo, provocado pelo excesso de chumbo na água e a metahemoglobinemia ou cianose infantil, decorrente da ingestão de águas com concentração excessiva de nitrato.

A Tabela 2, na sequência, mostra os principais agentes etiológicos implicados em doenças de transmissão hídrica:

**Tabela 2.** Doenças relacionadas à ingestão de água de má qualidade

	<b>ORGANISMOS</b>	<b>DOENÇAS</b>
	<u>Salmonella typhi</u>	Febre tifóide
	<u>Salmonella sp</u>	Salmoneloses
	<u>Shigella</u>	Shigeloses (desenteria bacilar)
<b>Bactérias</b>	<u>Escherichia coli</u>	Gastroenterites
	<u>Mycobacterium tuberculosis</u>	Tuberculose
	<u>Legionella pneumophila</u>	Doença dos legionários
	<u>Leptospira</u>	Leptospirose
	<u>Enterovírus</u>	Poliomielite, Gastroenterites
	<u>Rotavírus</u>	Gastroenterites
<b>Vírus</b>	<u>Vírus da hepatite A</u>	Hepatite A
	<u>Adenovírus</u>	Doenças respiratórias, Conjuntivites
	<u>Entamoeba histolytica</u>	Amebíase
<b>Protozoários</b>	<u>Giardia lamblia</u>	Giardíase
	<u>Ascaris lumbricoides</u>	
	<u>Enterobius vermicularis</u>	Verminoses
<b>Helmintos</b>	<u>Strongyloides stercoralis</u>	
	<u>Trichuris trichiura</u>	
	<u>Schistosoma mansoni</u>	Esquistossomose

\*Fonte: CETESB – Companhia de Saneamento Ambiental. In: Qualidade, padrões de potabilidade e poluição. São Paulo, 1974.

Estas questões relativas à qualidade da água para consumo humano, saneamento e saúde passaram a fazer parte de amplas discussões e ocuparam lugar de destaque na Agenda 21 – plano de metas em termos de desenvolvimento para o século XXI – produzida pela Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD – 92, Rio de Janeiro).

Na “Agenda 21”, em seu capítulo 18 – “Proteção da qualidade e abastecimento de água: aplicação de métodos integrados para o desenvolvimento e gestão dos recursos hídricos”, considera, na área programática B – “Abastecimento de água e saneamento”, que “aproximadamente 80% de todas as doenças de origem hídrica e mais de um terço das mortes em países em desenvolvimento, são causadas pelo consumo de água contaminada e que, em média, um décimo do tempo produtivo de cada pessoa é sacrificado por essas doenças”. Salienta, também, que “em países em desenvolvimento, excretas humanas e esgotos são importantes fatores de deterioração da qualidade da água, e que a introdução de tecnologias adaptadas para a construção de sistemas de tratamento de esgotos traria melhorias significativas, em termos de saúde pública e meio ambiente”.

Também no Capítulo 21 – “Gestão ambientalmente adequada de resíduos líquidos e sólidos”, é abordada a necessidade de ampliar os sistemas de coleta, tratamento e disposição de resíduos líquidos e sólidos. Na área programática C – “Promoção do tratamento e disposição ambientalmente adequada de resíduos” é ressaltado que “menos de 10% dos resíduos urbanos recebem alguma forma de tratamento e apenas uma pequena porção do tratamento proporcionado está de acordo com qualquer padrão aceitável. Deve ser dada prioridade ao tratamento de esgotos e excretas, devido aos riscos à saúde humana que representam”. Na mesma área programática – “Ampliação da cobertura dos serviços de saneamento”, ressalta que é grande o número de crianças que morrem diariamente por doenças associadas à falta de esgotos.

Os impactos são particularmente severos entre as populações pobres das áreas urbanas. Entretanto, os impactos da gestão inadequada de efluentes sobre o ambiente e a saúde, se estendem além das conurbações desprotegidas, resultando na contaminação do ar, solo e água em extensas áreas. Ampliar e melhorar a coleta e disposição de resíduos é ação fundamental para se exercer o controle dessa forma de poluição.

### **5.1 Doenças crônicas e tratamento de água**

Como consequência da revolução química ocorrida logo após a Segunda Guerra Mundial, que introduziu na sociedade, no ambiente e nos corpos de água superficiais e subterrâneos, milhares de compostos orgânicos sintéticos, surgiram os riscos de doenças crônicas, associados às concentrações desses elementos e que não são removidos das águas pelos sistemas convencionais de tratamento.

Huepper (1960) advertiu: “É óbvio que, com o aumento rápido da urbanização e da industrialização e a crescente demanda dos recursos hídricos disponíveis em rios, lagos e águas subterrâneas, os riscos de câncer, oriundos do consumo de água contaminada, crescerão consideravelmente no futuro próximo”. A reação da sociedade face a esta nova ameaça à saúde pública, foi, no início, bastante lenta. Ainda hoje, muitos países não tomaram consciência da gravidade que os micropoluentes orgânicos representam para a saúde pública dos consumidores de sistemas públicos de água.

Apenas em 1962, com a publicação do livro de Rachel Carlson, “Silent Spring”, chamando a atenção para a presença de compostos orgânicos sintéticos nos mananciais de água potável e seus efeitos crônicos sobre a saúde pública, é que os cientistas e tomadores de decisão começaram a analisar as possíveis consequências e as medidas cabíveis para se evitar efeitos danosos à saúde pública.

O próprio Congresso Americano, preocupado com esta questão, aprovou em 1974 o “Safe Drinking Water Act”, através de Lei Pública 93-523. Esta legislação requereu que a Agência de Proteção Ambiental Americana (USEPA) adotasse uma regulamentação provisória, adaptando e revisando os parâmetros dos padrões de uso de água até então utilizados, à medida que novos conhecimentos a respeito da ação destes compostos orgânicos sobre a saúde das pessoas fossem conhecidos.

Atualmente, o Serviço de Saúde Pública dos Estados Unidos regulamenta cerca de 130 parâmetros para fixar os padrões de uso da água para consumo humano. A tendência provável é que, em torno do ano 2020, aproximadamente 200 parâmetros estarão sendo regulamentados (REBOUÇAS, 1998).

Os diversos efeitos adversos que podem ser causados pela presença de pequenas doses de compostos químicos na água podem ser resumidos nos seguintes:

- a) **tóxicos**: causando efeitos danosos a quaisquer sistemas biológicos, injuriando seriamente qualquer função biológica, ou produzindo a morte. Esses efeitos podem resultar de condições agudas (exposição de curto prazo a uma dosagem elevada), condições crônicas (exposição de longo termo a doses muito baixas), ou condições subcrônicas (doses e períodos de exposição intermediários);
- b) **neurotóxicos**: exercendo um efeito destrutivo ou tóxico no tecido nervoso;
- c) **carcinogênicos**: causando ou induzindo crescimento descontrolado de células anômalas, vindo a provocar tumores malignos;
- d) **mutagênicos**: causando alterações hereditárias do material genético das células;
- e) **teratogênicos**: causando deformações congênitas não hereditárias (defeitos de nascimento) em fetos.

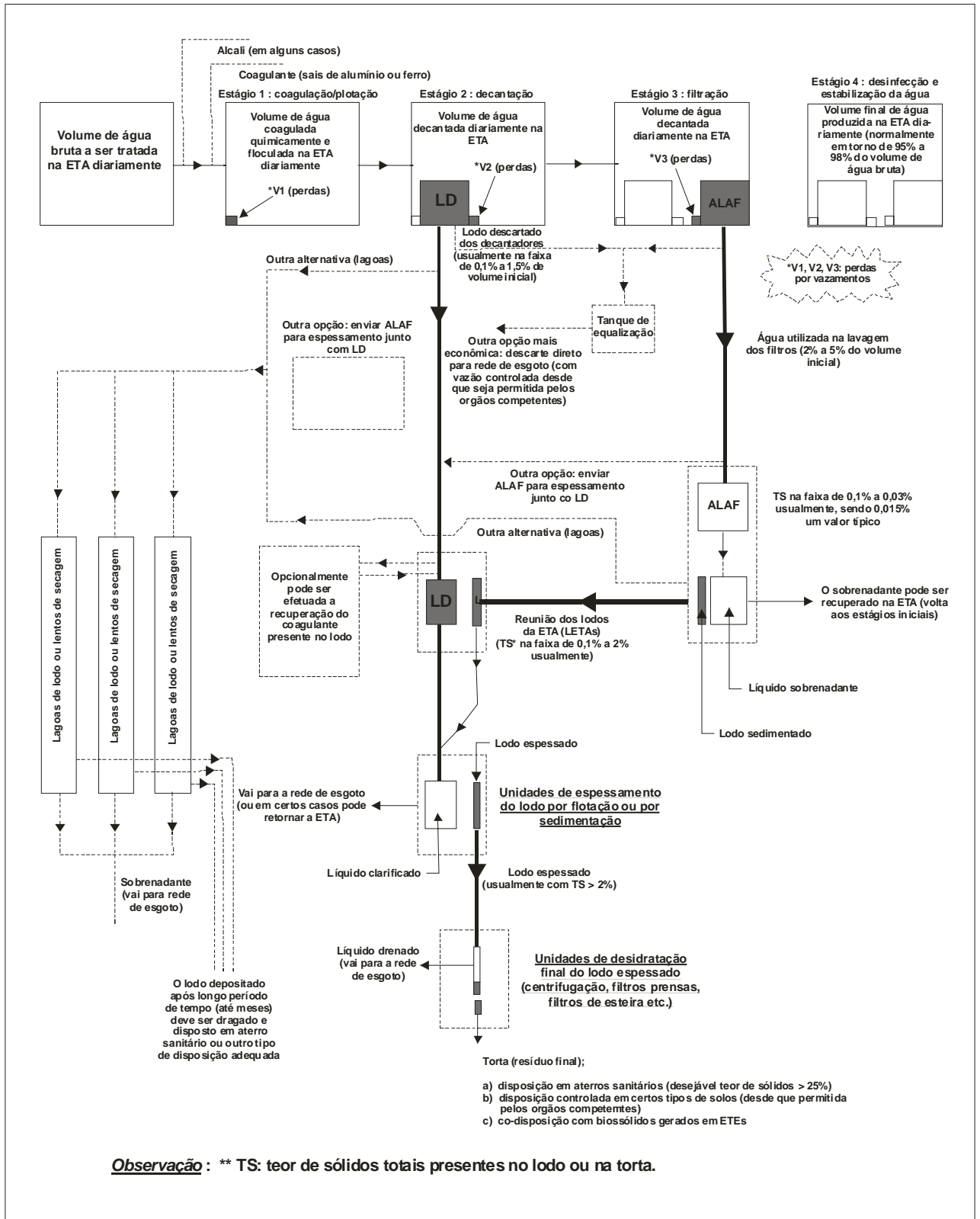
No Brasil, a grande maioria das estações de tratamento de água emprega a metodologia genericamente designada de “tratamento convencional”.

Na prática da engenharia sanitária nacional se convencionou chamar de “tratamento convencional” os sistemas constituídos das operações e processos unitários de coagulação, floculação, sedimentação, filtração, desinfecção com cloro e equilíbrio de carbonatos (Figura 8).

Sistemas com estas características são utilizados para a remoção de cor, partículas suspensas, principalmente as coloidais, que conferem turbidez às águas e, através da desinfecção de organismos patogênicos, caracterizados em função do grupo coliforme. Uma porcentagem muito pequena de substâncias orgânicas naturais ou sintéticas, associadas a partículas que conferem turbidez, podem ser removidas através de adsorção aos flocos formados durante as operações de coagulação-floculação. Alguns metais pesados, tais como ferro e manganês, que apresentam pequena solubilidade aos níveis de pH normalmente utilizados, são também removidos, embora em pequenas porcentagens (LIMA, 1952).

Entretanto, não se pode garantir que esses sistemas convencionais de tratamento sejam capazes de remover porcentagens significativas de metais pesados e compostos orgânicos sintéticos e alguns naturais. Elementos extremamente tóxicos tais como o cádmio, mercúrio e chumbo, apresentam solubilidade mínima a valores de pH bastante altos (em torno de 9,0) e só podem ser removidos em sistemas especialmente projetados para esta finalidade. Da mesma maneira, não são removidos os micropoluentes orgânicos sintéticos, tais como os organo-fosforados e organo-clorados, compostos benzênicos, fenólicos, ésteres e aromáticos polinucleares.

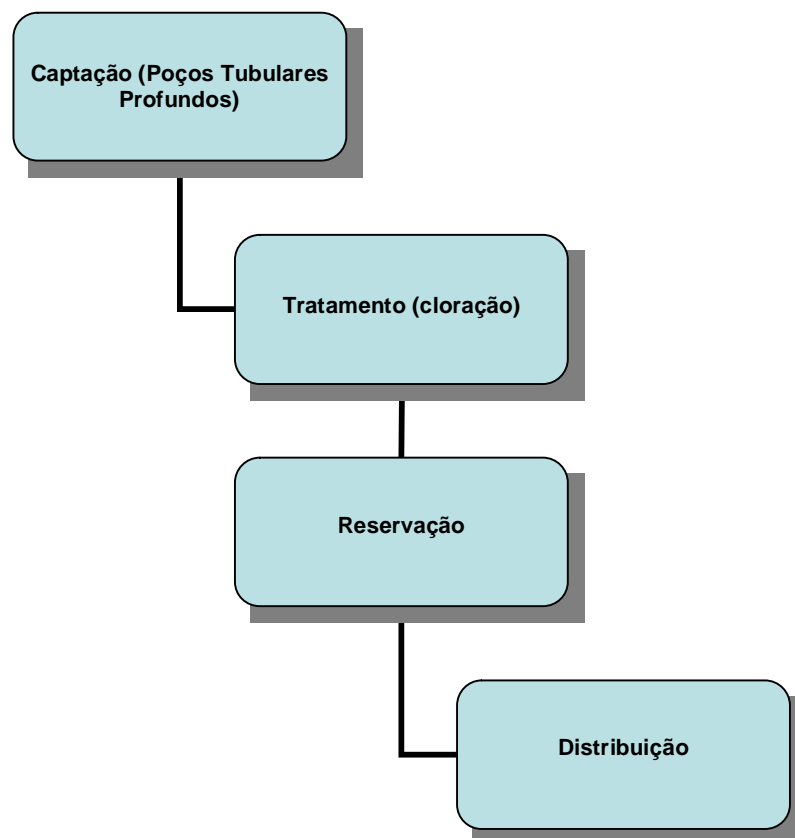
Portanto, o conceito de “tratamento convencional” deve ser adaptado às verdadeiras características da maioria dos mananciais, quer sejam superficiais ou subterrâneos.



**Figura 8.** Diagrama conceitual mostrando os volumes de água e de lodo produzidos em uma ETA de ciclo completo, que utiliza sais de alumínio ou ferro como coagulante e algumas opções de tratamento do lodo e disposição final dos resíduos.

O controle da qualidade das águas de abastecimento público normalmente é executado pelo próprio produtor, que é o chamado “controle operacional” e visa à adaptação sucessiva do processo produtivo para o atendimento de padrões de qualidade pré-estabelecidos. Um segundo instrumento de controle é designado “legal” e deve ser efetuado por uma entidade absolutamente distinta, autônoma e independente que, com laboratórios e corpo técnico próprio, efetue, rotineiramente, a atividade de monitoramento, a fim de se verificar se o produtor está atendendo aos padrões estabelecidos pela legislação correspondente.

Em Araguaína, o tratamento de água distribuída à população consiste apenas de cloração, sendo apresentado na Figura 9 o organograma do sistema de distribuição de água.



**Figura 9.** Organograma do sistema de abastecimento de água em Araguaína.  
Fonte: SANEATINS, 2006

## 5.2 Epidemiologia e a Geografia

Em meio às suas muitas crises epistemológicas, a Geografia se viu impelida a uma reconstrução teórica, à procura de paradigmas que fundamentassem uma definição mais precisa de seu objeto de estudo, o espaço geográfico (SANTOS,1996). Este espaço é, necessariamente, produto de uma série de decisões que orientam sua organização segundo os critérios hegemônicos em uma dada formação econômica, social, cultural e ambiental. Por isso, este objeto de estudo presta-se a enfoques interdisciplinares, envolvendo a sociologia, a história, a economia, o urbanismo, bem como disciplinas da área ambiental (geologia, geomorfologia, ecologia, etc), que exigem da Geografia um permanente intercâmbio conceitual.

Assim, a Geografia não se restringe a elaborar com maior ou menor grau de sofisticação metodológica meras descrições da paisagem; ocupa-se, prioritariamente, em compreender os processos sociais, econômicos, culturais e ambientais subjacentes às formas de organização espacial que se analisam, empregando associadamente métodos e conceitos de diversas ciências. Inclui entre seus objetivos, por isso, a organização de campos de investigação interdisciplinar.

Os contatos iniciais entre a Geografia e a Epidemiologia, ambas ainda sob a influência predominante da tradição positivista do século XIX, resultou nos primeiros trabalhos sistemáticos de Geografia Médica, voltados à descrição minuciosa da distribuição regional das doenças, empregando amplamente recursos cartográficos.

Os primeiros esforços de aproximação entre a Geografia e a Epidemiologia resultaram, essencialmente, em um intercâmbio de métodos de análise (cartografia, bioestatística, climatologia, etc), sem haver, no entanto, o desenvolvimento de conceitos que permitissem uma real articulação interdisciplinar. Desta aproximação inicial surgem

trabalhos de caráter descritivo, que se ocupam em estudar padrões de distribuição regional das doenças.

Na perspectiva da análise integrada das relações que se estabelecem no espaço geográfico, tomamos como base as múltiplas interfaces do sítio, e, por conseguinte, o processo de expansão urbana. É sob esta ótica que se insere o escopo desta tese, na tentativa de compreender como a dinâmica da sociedade, ao expandir-se sobre o espaço geográfico da cidade de Araguaína, pode causar impacto (contaminação, degradação, etc.) nos mananciais de águas subterrâneas. Nesta abordagem, a “paisagem” é a categoria de análise geográfica.

Assim, procura-se estabelecer um elo entre a Geografia e a Epidemiologia, tomando como base a obra de Maximillien Sorre (1951), pois atualmente são raras as obras na Geografia que tratam de problemas epidemiológicos relacionados às águas subterrâneas.

### **5.3 O complexo patogênico de Max. Sorre e a relação com as águas subterrâneas**

O estudo das relações entre o homem e o meio, a que poderíamos chamar de Geografia, é empreendido por numerosos pensadores desde, pelo menos, a Antigüidade Clássica. A descrição de lugares, das paisagens e das sociedades humanas nelas instaladas marca, por exemplo, a *História*, de Heródoto (HERÔDOTOS, 1985). Se definirmos estas obras como geográficas, talvez pudéssemos definir “*Dos ares, dos mares e dos lugares*”, de Hipócrates, como a primeira obra conhecida a tratar de Geografia Médica.

Na França, Maximillien (Max.) Sorre, geógrafo acadêmico de sólida formação clássica, publica em 1943 o primeiro volume (de uma série de três) de sua obra máxima, “*Les fondements de la géographie humaine*”, que trata de seus fundamentos biológicos. Sorre orientava-se, essencialmente, por uma preocupação teórica: fornecer bases conceituais à geografia médica que permitisse investigações de natureza interdisciplinar. A semelhança

entre ambos os esquemas conceituais é evidente, especialmente porque ambos partem de uma interpretação ecológica das relações entre o homem e o meio.

“*Les fondements de la géographie humaine*”, em cujo primeiro tomo Sorre lança as bases teóricas de sua Geografia Médica, é um dos empreendimentos intelectuais mais notáveis da Geografia neste século, uma vez que estabelece inúmeros pontos de contato entre a geografia e as Ciências Sociais e Biológicas, contato que marcaria a obra geográfica de Sorre (MORAES, 1984). Nos limites teóricos impostos pela abordagem ecológica das relações entre o homem e o meio, que marca a obra de Sorre, o conceito de **complexo patogênico** ou **complexo geográfico**, amplia o poder analítico e explicativo de uma Geografia antes restrita quase exclusivamente à descrição do meio físico.

O papel do homem na gênese e desintegração dos complexos não se restringe à sua atuação como hospedeiro ou vetor das doenças (ou seja, ao plano biológico). Sorre ocupa-se com a ação humana de transformação do ambiente e com seu possível impacto epidemiológico, mas subordina a análise da atividade humana de transformação do espaço à sua noção ecológica de gênero de vida, conceito este de influência lablachiana.

Na perspectiva ecológica de Sorre, as relações entre o homem e o meio compreendem a ação da natureza (meio físico e biológico) sobre o homem e a ação humana, modelando a natureza. Neste sentido, o conceito de “paisagem” se insere como uma categoria de análise geográfica, complementando o conceito de “complexo patogênico” ou “complexo geográfico”.

Segundo Nunes (2002), o conceito de paisagem foi desenvolvido cientificamente pelos geógrafos alemães desde meados do final do século XIX, como sendo um objeto

concreto, perfeitamente observável, que mantém uma visão de unicidade e conjunto com elementos e fatores que envolvem o meio natural.

No início, o conceito de paisagem surge na Geografia com uma forte base vinda dos naturalistas, como é o caso de Humboldt. Com o passar do tempo o conceito incorporou elementos não somente naturais mas também de ordem antrópica.

Carl Troll (1950) no artigo “A paisagem geográfica e sua investigação”, caracterizou a paisagem como o local onde se expressam todos os fenômenos observáveis da superfície terrestre, sendo o espaço a sua unidade. A paisagem é concebida como uma unidade orgânica que deve ser estudada no seu ritmo temporal e espacial (NUNES, 2002).

Bertrand (1982:462) em seu artigo “Paisage y Geografia Física Global”, destaca que a compreensão da paisagem não deve ser tomada somente pelos seus atributos naturais, mas também por uma concepção de paisagem total, onde incluem as ações antrópicas.

Portanto, a relação entre o consumo de água subterrânea como um recurso natural e o seu papel social, está imbricada com o conceito de “complexo patogênico” e de “paisagem” quando levamos em consideração as múltiplas possibilidades de transformações exercidas pelas sociedades sobre o meio físico, e em especial os ambientes sub-superficiais, e as conseqüências geradas.

Desta forma, a Geografia estuda o espaço geográfico, ou seja, o espaço transformado pela dinâmica da sociedade. Assim, não há espaço físico isento de ação do homem organizado em sociedade, indiferente às decisões espaciais humanas. A base explicativa da Geografia não está na elucidação de uma teia infindável de influências recíprocas entre o homem e o meio, mas especialmente nas necessidades históricas, sociais,

culturais, econômicas e ambientais, que produzem um determinado modo de organizar o espaço geográfico.

A idéia de ação humana organizando o espaço não é estranha à noção de complexo patogênico, trata-se somente de aprofundá-la, de recolocá-la a serviço de uma epidemiologia que procura compreender os processos subjacentes aos fenômenos que analisa. Tomá-la, em suma, como aquilo a que se destinava originalmente: o complexo patogênico como um conceito sintético, de interação, sujeito às reformulações críticas que se tornarem necessárias à medida que se aprimoram as técnicas e os conceitos empregados pela Geografia.

Trazendo o conceito de complexo patogênico para o tema central desta tese, pode-se estabelecer uma íntima relação entre as conseqüências advindas do processo de expansão urbana e a captação de águas subterrâneas, do ponto de vista da manutenção de suas qualidades naturais, e as possibilidades de degradação frente às práticas inadequadas de destinação de efluentes domésticos, industriais e resíduos sólidos.

Inúmeras doenças podem ser provocadas pela ingestão da água de má qualidade, fato que se enquadra no universo de estudo da epidemiologia e, por conseguinte, da própria Geografia Médica num sentido mais amplo.

## **CAPÍTULO 2**

### **6. A GESTÃO DO SANEAMENTO NO BRASIL**

As políticas brasileiras de saneamento básico passaram por um processo de desenvolvimento bastante lento que, de acordo com suas atribuições institucionais e características financeiras podem ser agrupadas em cinco períodos básicos:

#### **6.1 Período anterior a 1968 – Modelo institucional público-privado**

Segundo Rebouças (2002), até o início da década de 30, o Estado brasileiro delegava a prestação de serviços públicos a concessionárias estrangeiras, que operavam transportes ferroviários, produção e distribuição de energia elétrica, transporte urbano (bondes), telefonia e outras atividades de interesse coletivo, incluído o abastecimento de água e o esgotamento sanitário nos centros de maior porte. Em 1934, com a edição do Código de Águas (Decreto nº 24.643 de 10 de julho de 1934), o governo começou a intervir no setor e pouco a pouco, as empresas concessionárias foram nacionalizadas e estatizadas. Em 1942, o Governo Federal criou a Fundação Serviço Especial de Saúde Pública (FSESP, hoje Fundação Nacional de Saúde), para implantar sistemas de saneamento básico nos municípios mais pobres das regiões menos desenvolvidas e implementar programas de educação sanitária, além de reformular o Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS) e o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS).

O Plano Trienal de Desenvolvimento, promulgado pelo Governo Federal para vigorar no período 1963-1965 previa “apoio aos programas de saneamento”. O Plano Trienal, entretanto, foi muito pouco efetivo, exaurindo-se muito antes de 1964, quando os militares assumiram o poder.

No governo Castelo Branco foi formulado, para o período 1964-1966, o Programa de Ação Econômica do Governo (PAEG), que entre os seus cinco objetivos básicos

estabeleceu metas e designou recursos para o abastecimento urbano de água e para esgotamento sanitário. O fator mais importante desse período, foi a criação, através da Lei nº 4.380 de 21 de agosto de 1964, do Banco Nacional da Habitação, que a partir de 1968, passou a abrigar o Sistema Financeiro da Habitação (SFH) e o Sistema Financeiro do Saneamento (SFS).

Iniciou-se, então, o Programa de Abastecimento de Água para Pequenas Comunidades, que contou com empréstimos do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID). Porém, o mecanismo financeiro que viria dar suporte a toda a política de saneamento foi criado pela Lei nº 5.107 de 13 de setembro de 1966: O Fundo de Garantia por Tempo de Serviço (FGTS), que substituiu a estabilidade de emprego de trabalhadores com mais de dez anos de serviço consecutivos na mesma empresa. Mediante o depósito mensal de 8% sobre o salário dos empregados, este instrumento proporcionou a dupla função de fundo indenizatório em caso de demissão e fonte de financiamento da política habitacional de interesse social. Em 1969, o BNH foi autorizado a aplicar recursos do FGTS em saneamento.

Igualmente importante para o saneamento foi o Decreto Lei nº 200/67, que encarregou o Ministério do Interior de formular e implantar uma política nacional para o saneamento. Esta responsabilidade foi delegada ao BNH, que estabeleceu diretrizes para a aplicação dos recursos federais no setor, que até então eram aplicados de maneira desordenada, por diversos órgãos federais.

Em 1964 e 1966 foram realizados os estudos para o Plano Decenal de Desenvolvimento Econômico e Social (1967/1976), jamais adotado oficialmente, mas que serviu de base para a definição de políticas públicas, incluindo algumas de caráter institucional e econômico-financeiras para o setor de saneamento.

O governo Costa e Silva, empossado em 15 de março de 1967, não deu sequência ao Plano Decenal, elaborando o Programa Estratégico de Desenvolvimento (PED),

originalmente previsto para o período 1967-1970 e que foi substituído pelo plano denominado “Metas e Bases para a Ação do Governo”, com início no governo Médici em 30 de outubro de 1969. Todos esses planos continham diretrizes básicas para o setor de saneamento.

A Lei nº 5.138, de 26 de setembro de 1967 instituiu uma política nacional para o setor e criou o Conselho Nacional de Saneamento, estabelecendo que a política, formulada em harmonia com a Política Nacional de Saúde, compreenderia o conjunto de diretrizes administrativas e técnicas destinadas a fixar a ação governamental no campo de saneamento e abrangeria: a) saneamento básico, compreendendo abastecimento de água, sua fluoretação e destinação dos dejetos; b) esgotos pluviais e drenagem; c) controle da poluição ambiental, inclusive lixo; d) controle das modificações artificiais das massas de água e; e) controle de inundações e de erosões. Este Conselho teve atuação bastante limitada, cabendo as atribuições de planejamento, coordenação e controle da Política Nacional de Saneamento ao Ministério do Interior e ao BNH.

## **6.2 Criação do Sistema Financeiro do Saneamento – SFS e da Política Nacional de Saneamento**

O Sistema Financeiro do Saneamento iniciou suas atividades em 1968, dispondo exclusivamente de recursos próprios do BNH e das dotações orçamentárias, a fundo perdido, do Governo Federal. Em 1969, a junta militar formada pelos ministros da Marinha, Exército e Aeronáutica, que governou o país de 31 de agosto de 1969 a 30 de outubro de 1969, editou, com base no Ato Institucional nº 12, o Decreto-Lei nº 949, de 13 de outubro, que autorizou o BNH a “aplicar, nas operações de financiamento para saneamento, além de seus próprios recursos, os do Fundo de Garantia por Tempo de Serviço – FGTS”.

A utilização dos recursos do FGTS viabilizou o Sistema e permitiu a criação de diversos programas de financiamento que, em 1971, foram aperfeiçoados e ordenados, definitivamente, sob a égide do Plano Nacional de Saneamento – o Planasa.

### **6.3 O Plano Nacional de Saneamento – PLANASA**

Em 1971, o Banco Nacional de Habitação instituiu o Planasa, a partir de diretrizes e instrumentos gestados no período 1968-1970, dando uma forma definitiva às políticas federais para o saneamento e permitindo avanços consideráveis no setor.

Além de atuar de forma planejada e coordenada, o Planasa fundamentava-se num conjunto de objetivos permanentes e de princípios básicos.

Os objetivos permanentes foram formulados no sentido de eliminar o déficit de saneamento básico em núcleos urbanos, permitir auto-sustentação financeira, instituir uma política tarifária para equilibrar receitas e despesas, promover o desenvolvimento institucional das companhias estaduais de saneamento básico (CESBs) e realizar programas de desenvolvimento tecnológico para alcançar soluções alternativas de baixo custo.

Os princípios básicos visavam a extensão dos serviços de saneamento básico a todos os núcleos urbanos e níveis de renda da população, estabelecer um programa dinâmico associado a critérios políticos, técnicos, operacionais e econômico-financeiros para garantir os objetivos sociais desejados, planejar e coordenar o setor em nível nacional, promover a participação da iniciativa privada no setor, através de empresas projetistas, consultores, empreiteiras, etc, e promover a exploração dos serviços de abastecimento de água e esgotos sanitários através de companhias estaduais transformadas em empresas com caráter “caracteristicamente industrial”.

O arranjo institucional do Planasa integrava o seguinte conjunto de órgãos e instituições:

- o BNH, órgão central responsável pela coordenação e operação do Sistema Financeiro do Saneamento, análise e aprovação a programações estaduais de investimentos, análise de estudos de viabilidade técnica, os estudos tarifários realizados pelas empresas estaduais e fiscalização das CESBs sob os pontos de vista técnico, contábil e financeiro;
- os governos estaduais que se responsabilizavam pela constituição e controle acionário das CESBs e pela formação dos fundos estaduais de água e esgoto;
- as CESBs, que constituíam a base do sistema, sendo os agentes promotores e executores do Planasa, planejando e executando os investimentos na esfera estadual, a partir da concessão recebida dos municípios;
- os agentes financeiros, instituições bancárias, que eram incumbidos de repassar os empréstimos do BNH/SFS às CESBs e aos Fundos de Financiamento para Água e Esgoto (FAEs);
- os órgãos técnicos eram contratados pelo BNH para auxiliar seus setores técnicos na análise de projetos de engenharia e fiscalização de obras;
- empresas particulares eram encarregadas de elaborar projetos de engenharia, construir obras, produzir equipamentos e materiais;
- aos governos municipais competia conceder a exploração dos serviços às CESBs e, na fase inicial do Planasa, contribuir com recursos financeiros para a formação dos FAEs.

Ao final do ciclo dos governos militares, ou seja, em 1984, o Planasa enfrentou uma fase de dificuldades, principalmente em relação à falta de adesão de municípios e problemas tarifários. Os municípios que se recusaram a aderir eram, geralmente, de médio e grande porte. Nesta mesma época, esses municípios criaram a Associação dos Serviços Municipais

de Água e Esgoto (Assemae), integrada por mais de mil municípios que não se filiaram ao Planasa e que, por esta razão, não recebiam recursos do BNH/SFS.

As medidas para o controle da inflação, que atingia níveis elevadíssimos na década de 80, levaram à contenção das tarifas e dos preços dos serviços e bens produzidos pelo setor público, fazendo com que as tarifas de água e esgoto deixassem de se situar em níveis adequados.

Passados os períodos de carência dos empréstimos e os primeiros anos de retorno das aplicações, as CESBs e os governos estaduais tiveram dificuldades em saldar os seus compromissos, tornando-se cada vez mais inadimplentes. Dessa maneira, o volume de investimentos do Planasa reduziu-se significativamente no período 1983-1986.

A manutenção de tarifas realistas foi outra dificuldade encontrada. De imediato, observou-se que grande parte da população de baixa renda não disporia de recursos para pagar o preço necessário para água e saneamento.

#### **6.4 O PLANASA na Nova República**

Ao longo do governo da Nova República, o Planasa sofreu diversas e importantes modificações, devidas, em grande parte, ao ambiente político criado pela redemocratização, que abriu espaços para a reinvidicação política.

Foi criado em 1985, para tratar das questões urbanas, o Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente (MDU), anexou o BNH, o Planasa, os programas habitacionais do SFH e os assuntos de ambiente, funções desmembradas do antigo Minter (Ministério do Interior).

A reinvidicação da Associação dos Serviços Municipais de Águas e Esgotos (Assemae), de que os órgãos municipais autônomos participassem do Planasa, foi atendida. As mesmas condições estabelecidas para os governos e as CESBs passaram a vigorar para os

municípios, isto é, o BNH emprestava 50% dos investimentos e as prefeituras arcavam com igual percentual, sendo facultada a criação de fundos municipais de financiamento.

Em 1985, o BNH criou o Programa de Saneamento para Populações de Baixa Renda (Prosanear), visando estender os serviços de saneamento às áreas urbanas, principalmente periféricas.

Por outro lado, a crescente visão democrática do país não se compatibilizava com a estrutura do Planasa, concebido num clima político de autoritarismo, com um modelo centralizado e rígido, insensível às disparidades regionais e a características específicas dos municípios participantes.

As pressões por reformulações mais profundas do Planasa começaram a se ampliar. Em 16 de outubro de 1985, pela Portaria GM nº 142/85, o MDU criou a Comissão de Reformulação do Sistema Financeiro do Saneamento, composta por representantes do próprio MDU, BNH, DNOS, FSESP, SEPLAN, SEMA, ABES, Assemae e outras entidades.

Face aos rumos político-institucionais e econômico-financeiros do período, os problemas do SFS e do Planasa, iniciados no final dos anos 70, agravaram-se na primeira metade da década de 80 e atingiram seu ápice no período de 1985-1989, sem que quaisquer medidas relevantes fossem tomadas para solucioná-los.

### **6.5 As políticas de saneamento a partir de 1990**

No início do governo Collor, foi extinto o Ministério do Interior e, com ele, todos os órgãos ligados às questões urbanas e ao saneamento. A gestão das questões urbanas ficou restrita ao binômio saneamento e habitação, entregues, respectivamente, às novas secretarias nacionais de Saneamento e Habitação, abrigadas no também recém criado Ministério da Ação Social.

Esta caótica conjuntura institucional fragmentou as responsabilidades pela gestão do setor, inclusive quanto aos recursos do FGTS, face a uma nova reformulação de seu Conselho Curador.

A extinção do Planasa foi ditada pela Resolução nº 076/92 que aprovou a regulamentação referente à unificação das antigas linhas de crédito da área de saneamento (Refinag, Refinesg, Fidren, Prodisan e Finest) em um único programa denominado Programa de Saneamento para Núcleos Urbanos – Pronurb. Ao mesmo tempo, regulamentou o Prosanear e determinou que o Pronurb e o Prosanear fossem operados com os recursos do FGTS, da rubrica “saneamento”, somando-se aos recursos do Banco Mundial associados ao Prosanear.

Além de todos os problemas estruturais que o caracterizaram, o Planasa se constituiu em instrumento valioso para a elevação da cobertura e da qualidade dos serviços de saneamento em todo o país. Permitiu que o BNH desse destinação adequada aos recursos do FGTS, e mobilizou recursos externos e dos governos estaduais e canalizou, durante certo período, alocações a fundo perdido da União, para fazer crescer o financiamento dos investimentos.

O Pronurb, na condição de sucessor do Planasa, tem o objetivo de atender com saneamento básico (água, esgoto, drenagem e saneamento integrado) à população dos centros urbanos, principalmente dos segmentos de baixa renda.

Entretanto, em função da generalizada inadimplência tanto dos estados quanto das CESBs, do baixo retorno dos empréstimos contratados e da redução da arrecadação líquida do FGTS, o Pronurb vem encontrando dificuldades em promover investimentos compatíveis com o crescimento populacional e a necessidade de reduzir os déficits existentes.

Torna-se necessário, portanto, para alterar significativamente o panorama crítico do setor de saneamento, promover ampla reformulação das políticas públicas referentes a ele,

modernizando o setor para a retomada das inversões dentro de um contexto inteiramente novo.

## **6.6 Tendências atuais**

Segundo Hespanhol (1997), consolidado o esgotamento do Planasa e o reconhecimento das dificuldades operacionais do Pronurb, as ações se concentraram na busca de um novo modelo de institucionalização do setor de saneamento básico.

A Consulta Nacional sobre a Gestão do Saneamento Urbano e do Meio Ambiente, coordenado pelo Instituto Brasileiro de Administração Municipal – IBAM (1994) reunida em Brasília entre 10 e 20 de outubro de 1994, elaborou propostas para a melhoria da gestão integrada do saneamento e do ambiente.

Diversas ações, projetos de lei e programas, em nível federal, foram então implementados e desenvolvidos, visando promover a reorganização e modernização do setor, dentre os quais o PLC-199, Projeto de Lei da Câmara, de 1993, que dispunha sobre a Política Nacional de Saneamento – PNS, criando o Conselho Nacional de Saneamento e estabelecendo o Fundo Nacional de Saneamento.

Também foi desenvolvido o PLS-266, Projeto de lei do Senado, de 1996 onde “estabelece as diretrizes gerais para o exercício do poder concedente e a prestação dos serviços públicos de saneamento básico e dá outras providências”

Em 1992 inicia-se o “Projeto de Modernização do Setor de Saneamento - PMSS, mediante cooperação entre a então Secretaria de Saneamento do Ministério do Bem-Estar Social – SNS/MBES e o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA e co-financiada pelo Banco Mundial, cujo objetivo era promover a modernização do setor de saneamento no Brasil e a retomada dos investimentos na área.

## **6.7 A política brasileira de privatização**

A grande maioria dos serviços públicos de água e saneamento brasileiros é afetada por uma extensa variedade de problemas que geram baixos níveis de desempenho e produtividade. Esses problemas são de ordem institucional, econômico-financeiros, comerciais, técnicos, operacionais, de recursos humanos e ambientais. Um outro problema que pode ser agregado é o falta de competitividade, pelo fato desses sistemas se constituírem em monopólios naturais.

Uma alternativa para proporcionar serviços de maneira mais eficiente, que vem sendo amplamente adotada, tanto em países industrializados como aqueles em diversos estágios de desenvolvimento, é a de delegar algumas, ou todas as funções associadas aos serviços de água e esgoto a empresas privadas, companhias de utilidade pública financeiramente autônomas ou a associações de usuários de água.

Esta prática foi retomada no Brasil principalmente após o início do Governo de Fernando Henrique Cardoso, com a concessão a empresas privadas dos serviços de água e esgoto, sob as mais variadas modalidades de contratos de privatização.

O Estado do Tocantins adotou este modelo quando privatizou a empresa de saneamento do Tocantins – SANEATINS, passando parte de seu capital a uma empresa de iniciativa privada, tornando-a uma empresa de economia mista.

## **6.8 Aspectos ligados à gestão da água subterrânea**

Segundo Rebouças (1994), no Período Colonial a água subterrânea era captada livremente, por meio de poços escavados e nascentes, para abastecimento doméstico e animal. A partir da chegada da Corte Portuguesa ao Brasil, em 1808, a perfuração de poços passou a ser autorizada nas Províncias de São Paulo e Rio Grande do Sul, para prospecção de

carvão, petróleo, produção de água para fabricação de cerveja e uísque “bourbon” principalmente. Nas Províncias do Nordeste, afetadas pelas secas, a autorização foi dada para abastecimento das populações.

No Período Imperial, 1822-1889, a perfuração de poços para qualquer uso passou a depender de autorização central.

Com a República, 1889, o uso das águas, em geral, ficou livre de qualquer controle federal ou estadual. A Lei de Direito da Água no Brasil – o Código de Águas – só foi promulgada em 10 de julho de 1934, ou seja, quase meio século depois, fundamentalmente para atender aos reclamos das nascentes companhias hidrelétricas.

A Constituição Federal de 1988 muito pouco modificou o texto do Código de Águas de 1934. Uma das poucas alterações feitas foi a extinção do domínio privado das águas, ou seja, todos os corpos d’água, a partir de outubro de 1988, passaram a ser de domínio público. Uma outra modificação foi o estabelecimento de apenas dois domínios públicos no Brasil: i) o domínio da União (art. 20), para os rios ou lagos que banhem mais de uma unidade federada, que sirvam de fronteira entre essas unidades, ou de fronteiras entre o território do Brasil e o de um país vizinho ou dele provêm ou para ele se estendem; e ii) como bens dos estados (art. 26), as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes ou em depósitos em seus territórios, ressalvadas neste caso as decorrentes de obras da União.

Na estruturação da Administração Federal, ocorrida em 1995, foi criado o Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal e, neste, a Secretaria Nacional de Recursos Hídricos (SNRH), cabendo-lhe, entre outras, as seguintes atribuições: planejamento, coordenação, supervisão e controle das ações relativas aos recursos hídricos; formulação e execução da política nacional de recursos hídricos.

As ações desta Secretaria culminaram com a Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de

Gerenciamento de Recursos Hídricos. O seu texto proclama, com muita clareza, os princípios básicos adotados hoje em dia em todos os países que avançaram na gestão de seus recursos hídricos, tais como: 1) adoção da bacia hidrográfica como unidade físico-territorial de planejamento; 2) usos múltiplos integrados da água; 3) reconhecimento da água como um bem natural finito e vulnerável; 4) reconhecimento do seu valor econômico, indutor do uso racional; 5) gestão descentralizada e participativa.

Porém, embora muito se fale de gestão integrada, a Lei nº 9.433/97 coloca em destaque as águas superficiais, sem considerar a sua real indissociabilidade com as águas subterrâneas no ciclo hidrológico. Como resultado, a inclusão da água subterrânea neste diploma legal ficou sendo meramente “cartorial”, na medida em que apenas institucionaliza o extrativismo empírico e improvisado vigente. Título I, Capítulo IV, Seção III, art. 12 – Estão sujeitos a outorga pelo Poder Público os seguintes usos de recursos hídricos, II: - extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo. No Título III – Das Infrações e Penalidades, art. 49: constitui infração das normas de utilização de recursos superficiais ou subterrâneos, V perfurar poços para a extração de água subterrânea ou operá-los sem a devida autorização; art. 50, IV: embargo definitivo, com renovação da outorga, se for o caso, para repor *incontinenti*, no seu antigo estado, os recursos hídricos, leitos e margens, nos termos dos art. 58 e 59 do Código das Águas ou tamponar os poços de extração de água subterrânea.

Desta forma, a abordagem extrativista tradicional da água subterrânea deverá ser rapidamente substituída pelo planejamento/gerenciamento integrado das condições de uso e conservação das águas disponíveis – atmosféricas, superficiais ou subterrâneas – na bacia hidrográfica ou na unidade física-territorial em questão.

### **6.8.1 Aperfeiçoando o gerenciamento da água subterrânea - estrutura institucional e dimensão social**

Segundo Foster (2002), para melhorar a gerência da água subterrânea, especialistas consideram como pré-requisito a existência de uma forte infra-estrutura institucional, e a maioria a vêem como desejável. A estrutura ideal incluiria uma legislação que pudesse:

- fornecer uma definição clara do direito de uso da água (separando-a da posse da terra) com concessão de licenças e cobrança de taxas para a exploração da água subterrânea de uma maneira específica;
- estabelecer que a descarga de efluentes líquidos na superfície, a disposição de resíduos sólidos e outras atividades potencialmente poluentes, necessitam de um consentimento legal e/ou um planejamento aprovado;
- criação de uma agência regulatória ou administrativa nacional ou local com conhecimento técnico, recursos financeiros, e uma retaguarda de amparo legal para supervisionar os vários processos em licenciamento e para assegurar seu cumprimento.

As agências regulatórias existentes no mundo em desenvolvimento são frequentemente limitadas pelos seguintes fatores:

- inadequada mão de obra e recursos financeiros limitados para monitorar os volumes de captação de água subterrânea, níveis e qualidade em campo; executando a inspeção da qualidade do suprimento de água potável e descarga de efluentes e inspecionando atividades potencialmente poluentes;
- solucionar a falta de conhecimento hidrogeológico a respeito do aquífero em termos de recarga e armazenamento, dos efeitos das várias escalas de exploração e do nível provável de riscos potenciais de poluição.

Ainda segundo Foster (2002), a presença de uma infra-estrutura legal adequada não é garantia de gestão e proteção satisfatórias das águas subterrâneas. Na prática, onde a água subterrânea é demandada, há poucos exemplos pelo mundo de práticas de gerenciamento pró-ativo e de proteção deste recurso. As limitações ou a complacência são particularmente difundidas, e a aplicação de medidas regulatórias varia consideravelmente entre os países e também, em alguns casos, entre a capital e outras cidades do mesmo país.

Entretanto, há alguns exemplos de autoridades municipais executando ações ligadas ao controle da captação de água subterrânea e/ou para a sua proteção baseado em decretos do governo local e no interesse comum. Embora longe do ideal, tais arranjos podem ser eficientes, particularmente onde a autoridade municipal age em comum acordo com grupos de usuários da água e grupos de diretores de indústrias locais. Uma providência desejável seria a nomeação de um especialista independente (consultor) por um contrato temporário de trabalho.

A mudança administrativa fundamental é na forma de exercer um grau de controle eficiente sobre o grande número de usuários deste recurso e as descargas poluentes. Para se obter um efetivo progresso, as agências regulatórias e as autoridades municipais têm que gerar um clima social favorável para a promoção de políticas sustentáveis de alocação e proteção da água subterrânea. Para esta finalidade, necessitam incluir acordos com a finalidade de criar a consciência pública, de tal sorte que as partes interessadas dialoguem a respeito da água subterrânea enquanto recurso e da necessidade de se introduzir medidas de gerenciamento.

### **6.8.2 Objetivos técnicos, alvos da gestão e o Estado como ente regulador**

O objetivo básico do gerenciamento deveria ser atacar de forma balanceada a manutenção da qualidade e disponibilidade do suprimento de água, preservando a infra-

estrutura urbana, e assegurando a eliminação segura dos resíduos. Estes objetos podem traduzir-se nos seguintes objetivos, na medida em que se relacionam à água subterrânea (FOSTER, 2002):

- melhorar a sustentabilidade da exploração da água subterrânea enquanto recurso nas áreas urbanas e seu entorno, no sentido mais restrito do termo, prevenindo a degradação aparente ou irreversível de sistemas aquíferos;
- fazendo uso mais eficiente dos recursos disponíveis e evitando o descontrole na exploração destes recursos e na descarga de contaminantes na superfície. Exploração inadequada, gestão mal orientada da captação da água subterrânea e da disposição de rejeitos tóxicos poderão causar prejuízos econômicos e legais complexos em longo prazo, além de representar perigos à saúde.

Tal aproximação é aplicável a uma grande gama de ambientes hidrogeológicos e a um conjunto de pequenos problemas comuns no cenário de muitas cidades. Entretanto, os gestores dos recursos hídricos urbanos, quando existem, têm aceitado que os benefícios de se limitar a captação da água subterrânea e de moderar a carga contaminante em subsuperfície, somente podem ser conseguidos em longo prazo, principalmente onde os problemas já estão estabelecidos. Nestes casos são incluídas cidades desprovidas de redes coletoras de esgoto, com expansão de severos problemas de contaminação da água subterrânea.

Os objetivos definidos são provavelmente aceitáveis à maioria dos administradores de recursos nacionais e agentes fiscalizadores. Entretanto, estes objetivos não se dirigem completamente ao caso da equidade da disponibilidade de suprimento de água subterrânea e no uso da superfície para a disposição de efluentes e resíduos. Além disso, não consideram que os direitos prioritários deveriam ser protegidos contra atividades subsequentes.

Em termos práticos hidrogeológicos e ambientais, os gestores dos recursos hídricos urbanos necessitam atingir os seguintes alvos para alcançar os objetivos estratégicos:

- Controlar os níveis da água subterrânea nos aquíferos situados abaixo das áreas urbanas dentro de limites toleráveis, pelo controle da magnitude e uso da água subterrânea bombeada;
- Moderar a carga contaminante em subsuperfície a padrões aceitáveis considerando a vulnerabilidade do aquífero local à poluição; planejar o uso do solo a fim de reduzirem-se as fontes potenciais da poluição, e exercer um controle seletivo sobre a descarga de efluentes e outras fontes de poluição existentes.

Além disso, os agentes fiscalizadores necessitam equilibrar o uso de instrumentos regulatórios diretos e de instrumentos econômicos (incentivos e sanções financeiras) para alcançar estes objetivos.

Segundo Hespanhol (1997), à medida que o Estado reduz, através da privatização, suas funções de gestor do setor de água e saneamento, deverá obrigatoriamente assumir e aprimorar as de organismo regulador.

O ente regulador deverá exercer papéis fundamentais, tanto na fase de licitação como durante o período de vigência da concessão (em se tratando da transferência para a iniciativa privada a exploração dos serviços de água e esgoto). Portanto, a gestão e o uso dos mananciais de captação de água para abastecimento público passam por uma política complexa de regulação. O Estado tem papel fundamental na condução das políticas públicas de forma a disciplinar o uso deste recurso, no caso em questão, a água subterrânea.

## 7. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

De acordo com os objetivos traçados para este estudo, foram selecionadas algumas técnicas e estabelecidos alguns critérios no sentido de melhor sistematização e organização das informações com vistas ao cumprimento do cronograma de trabalho, que compreendeu as seguintes etapas:

**7.1 Identificação das fontes de informações e coleta de dados** - consistiu de levantamento bibliográfico da literatura existente sobre a temática abordada e identificação de fontes de informações.

**7.2 Levantamento, mapeamento e análise de dados ambientais** - esta etapa correspondeu à coleta e levantamento de dados a respeito das características físicas da área pesquisada, construção de bases cartográficas, carta geológica (adaptação) e geomorfológica, perfis estratigráficos, dados climatológicos e ensaios físicos de perfis de solos. Também nesta fase foram realizadas coletas e análises físico-químicas (pH, turbidez, sólidos totais dissolvidos, principais cátions e ânions e elementos químicos secundários) e bacteriológicas (coliformes totais e fecais) de amostras de água de todos os poços profundos que abastecem a área urbana.

A construção da carta de compartimentação geomorfológica deu-se a partir da interpretação de pares de fotografias aéreas da região, na escala 1: 60.000, em branco e preto, datadas de 1967. Utilizou-se para os trabalhos de foto interpretação estereoscópio de espelho, com posterior visita em campo para conferência dos limites dos principais compartimentos.

A carta geológica foi adaptada de uma base geológica elaborada pela CPRM – Programa de Levantamentos Geológicos Básicos, Folha Araguaína, 1994, escala 1: 250.000. Utilizando este mapa geológico, foi possível delimitar as áreas de afloramento das rochas da

Formação Sambaíba na região de Araguaína. A partir desta delimitação, confeccionou-se a carta de área de recarga do aquífero principal.

De posse dos dados obtidos dos poços profundos, tais como localização, profundidade, coluna estratigráfica, níveis estático e dinâmico e vazão de produção, foi possível elaborar perfis geológicos e a carta de vulnerabilidade à contaminação da água subterrânea.

A geometria do aquífero principal e da camada de basalto que confina localmente o aquífero foi delimitada utilizando o programa “Visual Groundwater”. Os níveis piezométricos dos poços profundos e o mapa de vetores de fluxos foram gerados pelo programa “Surfer<sup>7</sup>”, a partir de uma base de dados construída com as informações dos poços. Esta base de dados consiste de localização (coordenadas UTM), níveis estáticos e camadas rochosas.

Quanto aos aspectos climáticos, foram utilizados os dados fornecidos pela Estação Climatológica Principal de Araguaína, operada pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) que permitiu a elaboração dos gráficos de temperatura e precipitação média anual e cálculo do balanço hídrico para a região, utilizando metodologia desenvolvida por Thornthwaite & Mather (1955).

Quanto ao aspecto pedológico, a partir das principais unidades de compartimentação geomorfológica, foram selecionados pontos de amostragem com o objetivo de identificar a fração granulométrica dos principais grupos de solos que ocorrem na área de pesquisa.

A fração granulométrica ou textural, em que se identificam os percentuais de areia, silte e argila das amostras de solo foram obtidas através do método da pipetagem (EMBRAPA, 1999).

---

<sup>7</sup> Nome comercial pertencente à Golden Software

A coleta, reservação, análises bacteriológicas e físico-químicas de amostras de água dos poços profundos foram efetuadas segundo os padrões estabelecidos pela American Public Health Association - APHA (1995), para amostras de água para consumo humano.

No laboratório da SANEATINS em Araguaína foram realizadas as análises bacteriológicas (presença/ausência de coliformes totais e fecais) utilizando o reagente Collilert. Também neste mesmo laboratório foram efetuadas análises para a determinação de pH, temperatura, cor, turbidez, nitrato e sulfato (utilizando espectrofotômetro marca HACH, modelo DR-2010 para  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ ).

No Laboratório de Solos e Construção Civil do Senai em Araguaína, foram efetuadas as análises de alcalinidade através do método de titulação (APHA, 1995). Neste mesmo laboratório foram realizados os ensaios texturais de amostras de solo.

Os demais elementos químicos (principais cátions, ânions e metais) foram analisados no Laboratório de Geoquímica Ambiental, Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto, utilizando o Espectrofotômetro de Emissão Atômica com Fonte Plasma, marca Spectro, modelo Ciros CCD com Visão Radial, tendo as amostras sido coletadas e filtradas em filtros de seringa ( $0,45 \mu\text{m}$ ) e acidificadas com ácido nítrico a 10% para efeitos de preservação das mesmas.

Para a tabulação dos dados hidrogeoquímicos e definição dos tipos de água segundo as concentrações de cátions e ânions, utilizou-se o programa AQUACHEM 4.0<sup>8</sup>.

**7.3 Análise das informações e tabulação de dados** - após a tabulação das informações e cruzamento de dados, deu-se início à fase de redação da tese de doutorado.

---

<sup>8</sup> Desenvolvido pela **Waterlloo Hydrogeologic Company**

## **CAPÍTULO 3**

### **8. O MEIO FÍSICO**

#### **8.1 Aspectos Físicos da região de estudo**

O estudo das características físicas da área de pesquisa e de suas inter-relações é de fundamental importância para a compreensão do comportamento hidrogeológico do aquífero que abastece Araguaína, quer seja do ponto de vista de sua maior ou de sua menor vulnerabilidade aos agentes potencialmente poluentes.

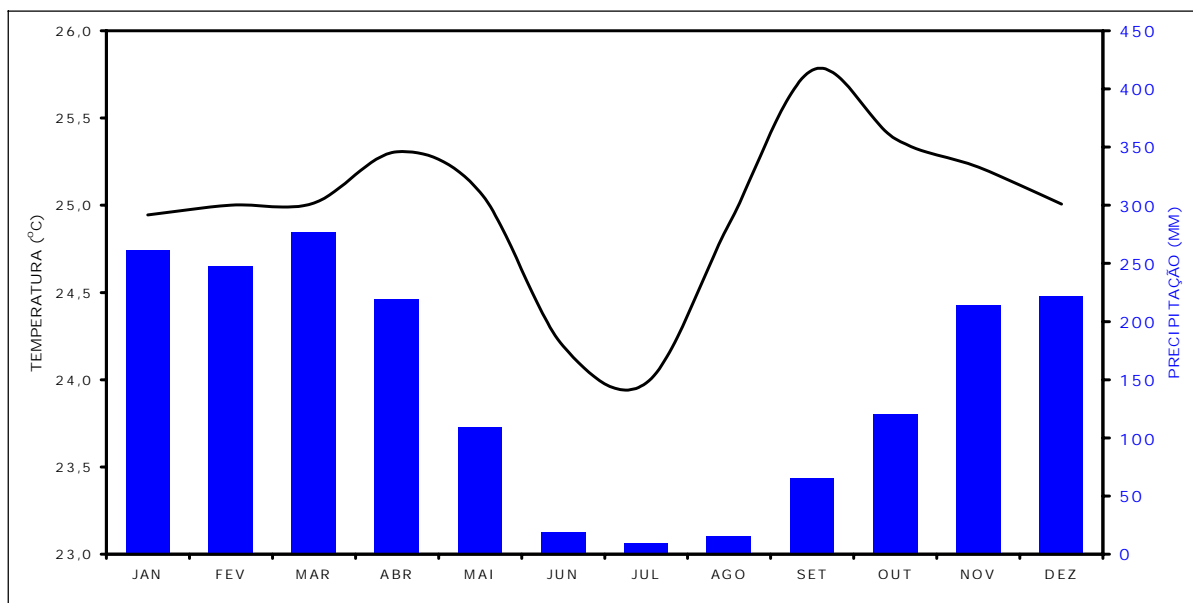
##### **8.1.1 Clima**

Os valores médios de temperatura para o município de Araguaína, no período de 1988 a 2003, oscilaram entre 24,5° C a 25,7° C. A temperatura média anual é de 25°C.

Quanto ao regime de precipitação, apresenta um período úmido e outro seco ao longo do ano, sendo que de outubro a maio ocorre o período chuvoso e de junho a setembro o período de estiagem.

Os maiores valores de precipitação média ocorrem durante o mês de março. Os meses de junho e julho são os mais secos, sendo a menor média ocorre no mês de julho, com 9,1 mm. O total médio anual de precipitação em Araguaína é de 1777,9 mm.

A figura 10 representa o comportamento dos valores de temperatura e precipitação ao longo do período de 1988 a 2003, com base nos dados fornecidos pelo INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, através da Estação Meteorológica de Araguaína.



**Figura 10.** Temperatura e precipitação pluviométrica média anual (1988 – 2003) em Araguaína/TO. Fonte: INMET – Estação Meteorológica de Araguaína.

Segundo a classificação climática de Koeppen, o clima de Araguaína é do tipo Am, com temperatura média do mês mais frio superior a 18 °C e com uma estação chuvosa bem definida seguida de uma estação seca bem intensa (características monçônicas).

### 8.1.2 Geologia

Com base na interpretação da carta geológica “Folha Araguaína – SB-22-Z-D”, na escala 1:250.000, elaborada pela Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais – CPRM, através do “Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil” – PLGB/Programa Grande Carajás, foi possível compreender o arcabouço tectono-estrutural da região. Os limites da Folha Araguaína abrangem as coordenadas 7° 00’ S e 48° 00’ W Gr e 8° 00’ S e 49° 30’ W Gr, Meridiano 51° W Gr, Datum vertical: Imbituba/SC; Datum horizontal: Córrego Alegre/MG.

Silva e Sá (1982) efetuaram uma interpretação dos mapas aerogeofísicos obtidos pelo Projeto Aerogeofísico Brasil - Canadá - PLGB (Plano de Levantamentos Geológicos Básicos) da região norte do Estado do Tocantins e sudeste do Pará. Reconheceram três

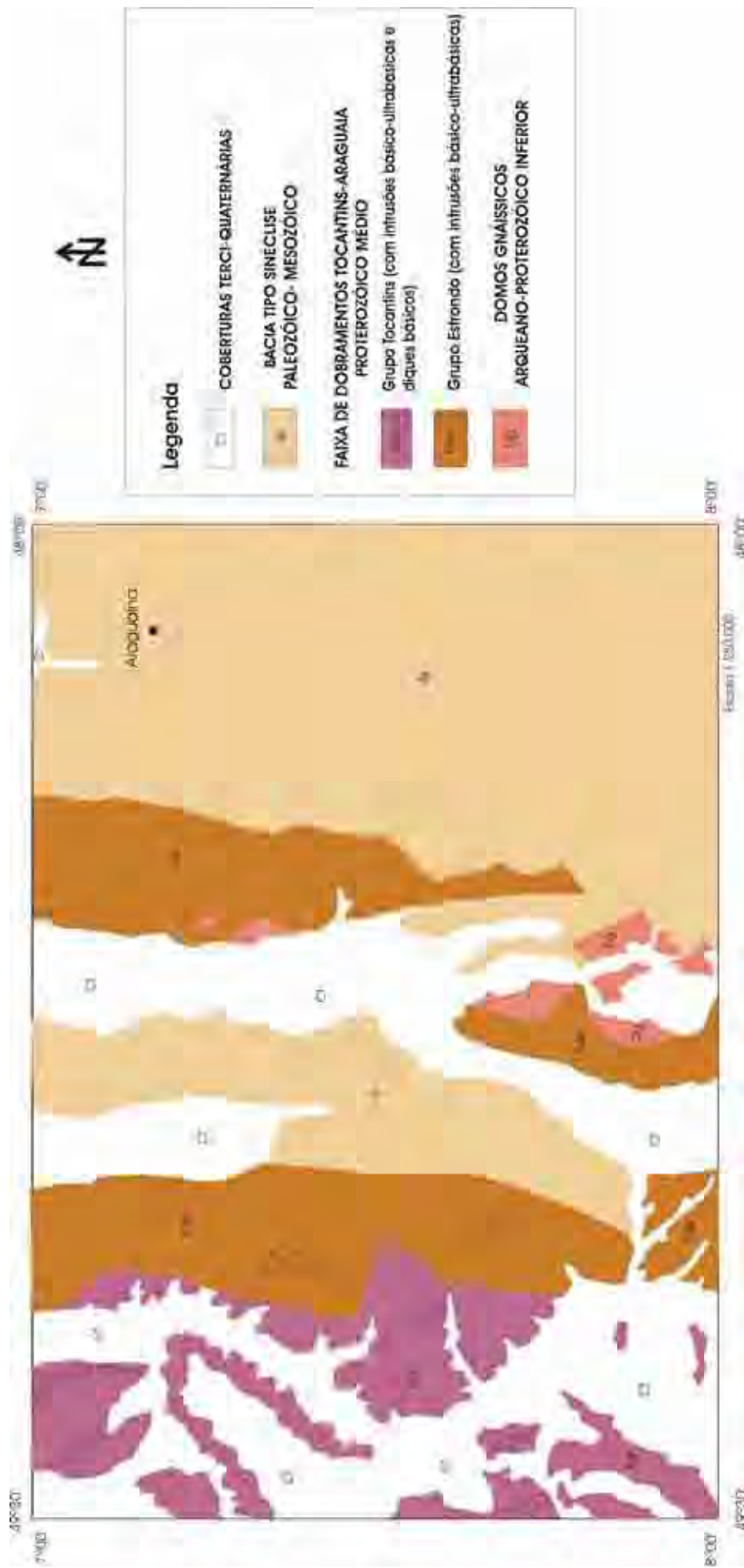
domínios magnéticos levando em conta o relevo, amplitude e frequências das anomalias, tamanho e forma das linhas de contorno, nível geral de intensidade do campo magnético e direção de tendência das anomalias em diferentes zonas da área. Assim, caracterizando claramente os domínios do Cráton, da Faixa Orogênica Tocantins-Araguaia e da Sinéclise do Parnaíba, que constituem as grandes unidades geotectônicas da região (Figura 11).

Caçando estas unidades, foram registrados outros eventos deposicionais mais recentes, representados pelas coberturas arenosas e/ou detrítico-lateríticas, de idade terciária e quaternária e aluviões de idades quaternárias, agrupadas nas unidades designadas Coberturas Tércio-quaternárias e Depósitos aluvionares.

A cidade de Araguaína e seu entorno está assentada sobre rochas pertencentes à Sinéclise do Parnaíba ou Bacia Sedimentar do Parnaíba, representando uma ampla depressão intracratônica, cuja característica original é a deposição horizontalizada de seus estratos, tendo sido implantada, provavelmente, durante o siluriano, com a subsidência da área cratônica devido a fraturamentos N-S, NE-SW e NW-SE, responsáveis pela evolução estrutural da bacia, originados a partir dos primeiros pulsos tectônicos que ocasionaram a separação da América do Sul do Continente Africano.

O pacote sedimentar da Sinéclise do Parnaíba foi subdividido em três ciclos deposicionais, perfazendo nove formações, separadas muitas vezes por discordâncias regionais. Esse pacote, assim subdividido, permite estabelecer, em termos de episódios cronoestratigráficos, a história geológica da bacia.

Afloram nos domínios da área urbana de Araguaína e seu entorno, rochas pertencentes às Formações Motuca, Sambaíba e Mosquito (Figura 12), que serão descritas mais detalhadamente por serem mais importantes do ponto de vista hidrogeológico.



**Figura 11.** Divisão lito-tectônica simplificada da região de Araguaína/TO. Fonte: CPRM (1994).

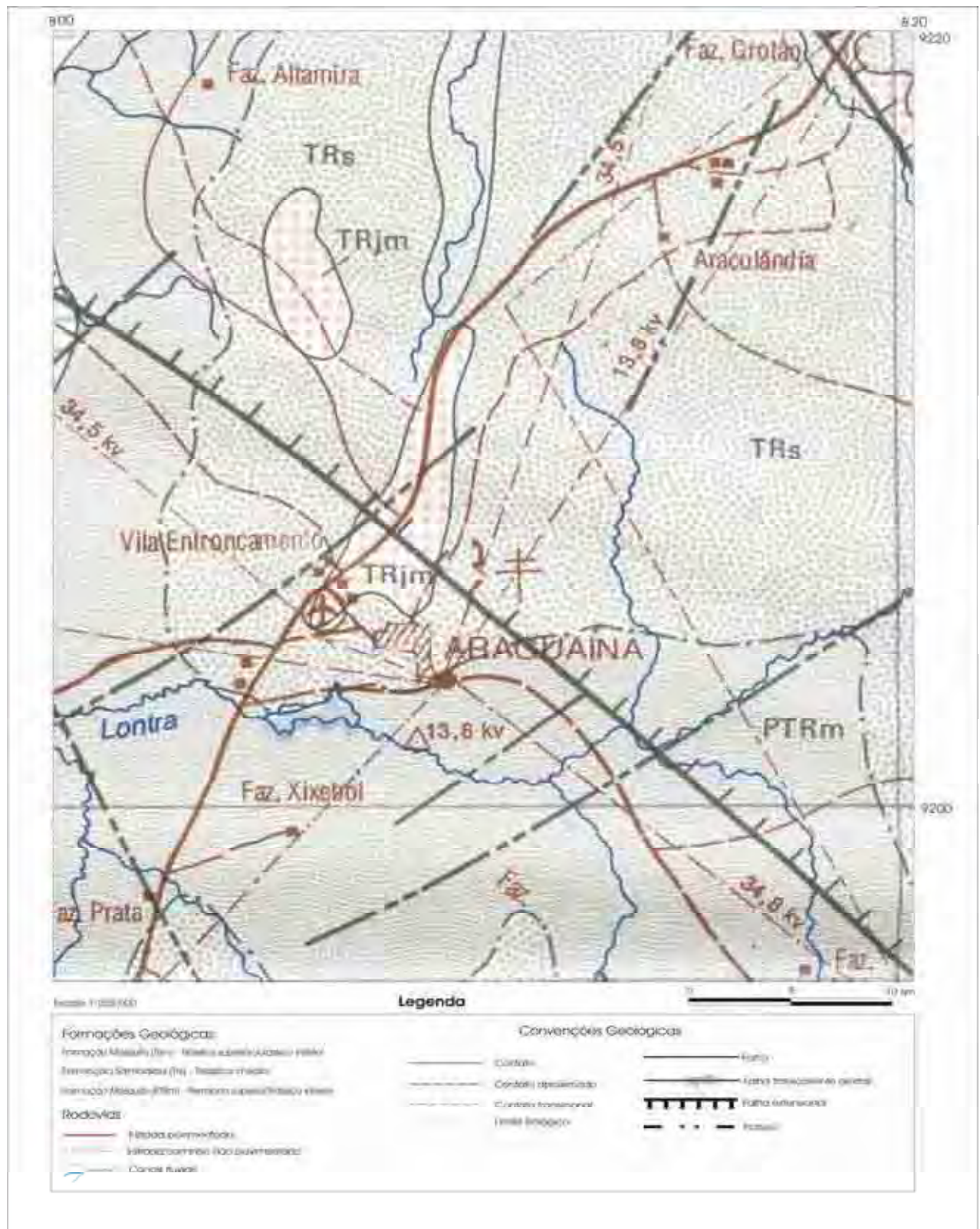


Figura 12. Mapa geológico para a região de Araguaína/TO. Fonte: CPRM, 1994

### 8.1.2.1 Formação Motuca

A Formação Motuca é constituída por folhelhos de coloração vermelho-tijolo, com lentes delgadas de calcário e anidrita, sobrepostos à Formação Pedra de Fogo e encontrados próximo à fazenda Motuca, entre São Domingos e Benedito Leite, no Maranhão. É dividida em três membros: o inferior e o superior, arenosos, e, o intermediário, constituído de folhelhos, calcários e anidrita.

Consideram-se pertencentes à base desta formação os arenitos eólicos com madeira petrificada (*Psaronius*), atribuídos por muitos autores, como topo da Formação Pedra de Fogo.

O contato com a Formação Sambaíba é concordante, por vezes interdigitado, marcado pela alternância de arenitos argilosos e siltitos da Formação Motuca com arenitos eólicos daquela formação. O contato concordante com a Formação Sambaíba é geralmente gradativo ou transicional, às vezes, brusco.

A Formação Motuca é constituída de arenitos com intercalações de argilitos, folhelhos e siltitos, bem como níveis de calcário, gipsita e anidrita.

Na base da seqüência ocorrem essencialmente arenitos finos a médios, róseos a avermelhados, com estratificação cruzada de médio a grande porte, silicificados, contendo às vezes restos de madeira petrificada. São friáveis e apresentam grãos subarredondados a esféricos e foscos.

Na parte intermediária, a litologia é composta essencialmente de siltitos e folhelhos esverdeados, às vezes avermelhados, bem laminados, com intercalações finas de calcário argiloso. Em algumas partes ocorrem intercalações de gipsita ou laminação de calcita fibrosa.

Na parte superior, a seqüência é representada por arenitos, com intercalações de siltitos e argilitos vermelhos. Os arenitos são vermelhos, às vezes róseos e brancos, finos a médios, com grãos subangulosos ou subarredondados, foscos, imersos numa matriz mais fina. As estruturas sedimentares verificadas são estratificações plano-paralelas e cruzadas acanaladas.

Sugere-se que os sedimentos da Formação Motuca sejam de origem continental eólica e fluvial, e, também, evaporítica de mar remanescente.

Outros autores consideram a Formação Motuca como de origem continental, flúvio-eólica, tendo havido algumas incursões marinhas, com implantação de ambientes lagunares, representados por gipsita e calcários da seção intermediária da formação.

As características apresentadas pelos sedimentos da Formação Motuca na área objeto da pesquisa, sugerem ambientes continentais eólicos e flúvio-lacustrinos. A cor extremamente vermelha é indicativa de deposição em ambientes oxidantes, considerando-a como tendo se depositado entre o Permiano Superior e o Triássico.

#### **8.1.2.2 Formação Sambaíba**

Utilizou-se o termo Sambaíba para designar os arenitos aflorantes, formando mesetas próximas a cidade de Sambaíba, no Estado do Maranhão, considerando-os como parte superior da Formação Melancieira e datando-os como do Cretáceo ( CPRM, 1994)

Mesner e Wooldridge (1964) elevaram esses arenitos à categoria de formação, admitindo para os mesmos uma idade triássica inferior, devido à sua posição entre os estratos Motuca (Permiano) e Pastos Bons (Triássico Superior).

Seus contatos com a Formação Motuca são concordantes e geralmente interdigitados. Alguns pontos da área estão capeados por basaltos da Formação Mosquito.

A Formação Sambaíba constitui-se de arenitos finos a médios, bem classificados e selecionados com grãos foscos e colorações avermelhadas a róseas (Fotografia 1). Exibem ainda, estratificação cruzada tangencial, de médio e grande porte. Esses arenitos são constituídos essencialmente de quartzo e, ocasionalmente, caulim (possivelmente provenientes da alteração de feldspatos) e minerais de argila, que podem estar presentes na matriz do arenito em função de variações nas condições deposicionais.

Localmente, ocorrem níveis de arenitos finos, bem selecionados, com estratificação cruzada planar. No contato com os basaltos, por metamorfismo de contato, apresentam-se duros, silicificados e, às vezes, vitrificados.

No topo das superfícies tabulares sustentadas pelos arenitos da Formação Sambaíba é comum o desenvolvimento de carapaças ferruginosas (crosta laterítica) sobre os arenitos desta formação, conforme mostra a fotografia 2.

Geralmente, os depósitos eólicos são formados por arenitos finos a médios, limpos, pouco argilosos, com grãos bem arredondados e bem selecionados, foscos, exibindo estratificação cruzada tangencial de grande porte e, muitas vezes, de alto ângulo.

Essas características constituem uma importante ferramenta para a identificação da deposição dos arenitos Sambaíba, considerando que essa formação é representada por camadas de arenitos onde tais feições são bastante comuns, o que permite interpretar essa seqüência, como formada em regiões de dunas e/ou interdunas de um ambiente desértico.



**Fotografia 1.** Afloramento de arenito da Formação Sambaíba (Rod. BR-153) nas proximidades do acesso à TO-222

Por se tratar de um pacote afossilífero, diversos autores baseiam-se no seu posicionamento estratigráfico, entre as Formações Motuca e Mosquito, para lhe inferir uma idade Triássica.



**Fotografia 2.** Contato litológico de arenito da Formação Sambaíba e crosta laterítica.

A sua importância para este trabalho consiste no seu potencial hidrogeológico, uma vez que os poços profundos perfurados nos arenitos da Formação Sambaíba possuem alta produção. Portanto, se constitui em um excelente aquífero a profundidades relativamente pequenas (60 metros quando capeado pelo basalto da Formação Mosquito).

### **8.1.2.3 Formação Mosquito**

Aguiar (1964) descreve os derrames basálticos, com intercalações de arenito no leito do rio Mosquito a sul de Fortaleza dos Nogueiras, Estado do Maranhão, e propõe a designação de Formação Mosquito para identificá-los.

Outros autores adotam a proposição de Aguiar (op. cit) admitindo que a unidade é constituída essencialmente de basaltos toleíticos, amigdalólides, tendo apenas uma intercalação sedimentar lenticular restrita. Sua espessura é variável, chegando a atingir 175 metros na região de Imperatriz (MA).

O contato com a Formação Sambaíba é discordante e mostra efeito térmico, marcado por endurecimento e silicificação do arenito. De um modo geral, houve uma contemporaneidade

de deposição arenito/basalto, como foi observado em alguns afloramentos da área, evidenciados pelos arenitos trapeados (Fotografia 3).



**Fotografia 3.** Arenito trapeado por basalto da Formação Mosquito (Rodovia BR-153, proximidades do acesso à TO-222)

Ocorre na área sob a forma de derrames de diques e/ou sills. Nos derrames basálticos observam-se intercalações de arenitos avermelhados, bem estratificados, finos e parcialmente silicificados.

O basalto apresenta coloração variando de cinza-escuro a marrom-avermelhado, estrutura quase sempre maciça e textura afanítica, algumas vezes amigdaloidal. Sua decomposição apresenta coloração arroxeadada, com as amígdalas aparecendo como pontos brancos, dentro do material argiloso resultante.

Os dados de campo, petrográficos e geocronológicos sugerem que essas rochas têm sua formação e evolução relacionada à abertura do Oceano Atlântico, que culminou com a separação da América do Sul do continente africano.

Segundo os dados geocronológicos os processos tectônicos e sedimentares acima descritos tiveram lugar a partir do Triássico, à semelhança do que foi encontrado para a Bacia do Paraná.

### 8.1.3 Geomorfologia

O tratamento geomorfológico em escala regional realizado por alguns autores, permitiu o detalhamento e a definição de algumas unidades. Mamede *et al* (1981), Brasil e Alvarenga (1988) e IBGE (1993) denominaram o Planalto do Interflúvio Araguaia-Tocantins para toda a região do Bico do Papagaio. Na Folha Araguaína o referido planalto foi cartografado em duas unidades distintas, com o desmembramento do seu prolongamento norte, agora denominado Planalto Residual do Araguaia, fundamentado no fato deste não representar uma posição interfluvial entre as depressões do Araguaia e Tocantins, localizando-se basicamente na Depressão do Araguaia.

Del'Arco *et al* (1995), individualizaram para a área de abrangência da Folha Araguaína, três domínios morfoestruturais, duas regiões geomorfológicas, cinco unidades geomorfológicas e dois tipos de modelados com características genéticas distintas e formas de relevo de diversos índices morfométricos.

Os domínios morfoestruturais representam grandes conjuntos estruturais que geram arranjos regionais de relevo, guardando relação de causa entre si. Na Folha Araguaína três domínios morfoestruturais podem ser individualizados: os complexos metamórficos e seqüências vulcano-sedimentares do Arqueano; as bacias sedimentares paleo-mesozóicas; e o Azonal das áreas aluviais.

A cidade de Araguaína está localizada no Domínio das Bacias Sedimentares Paleomesozóicas e Meso-cenozóicas correspondente à Sinéclise do Parnaíba e as Coberturas Tércio-quadernárias e Quaternárias.

A Bacia do Parnaíba (do tipo Sinéclise) foi implantada durante o Siluriano, a partir da subsidência da área cratônica, representando uma ampla depressão, com a característica original de deposição horizontalizada de seus estratos. É observada por meio de seqüências sedimentares e vulcânicas fanerozóicas, exumadas pelos processos morfogenéticos subseqüentes, dispostas de

forma alongada na direção N-S. Compreendem as formações, da base para o topo, Pimenteiras, Cabeças, Longá, Poti, Piauí, Pedra de Fogo, Motuca, Sambaíba e Mosquito (derrames basálticos, diques e sills de diabásio). O magmatismo fissural associado à Formação Mosquito, marcou o início das manifestações tectônicas modernas que culminaram com a reativação de falhas e elaboração de novas estruturas tectônicas, representadas na Folha pelo Gráben do Muricizal, posteriormente exumado.

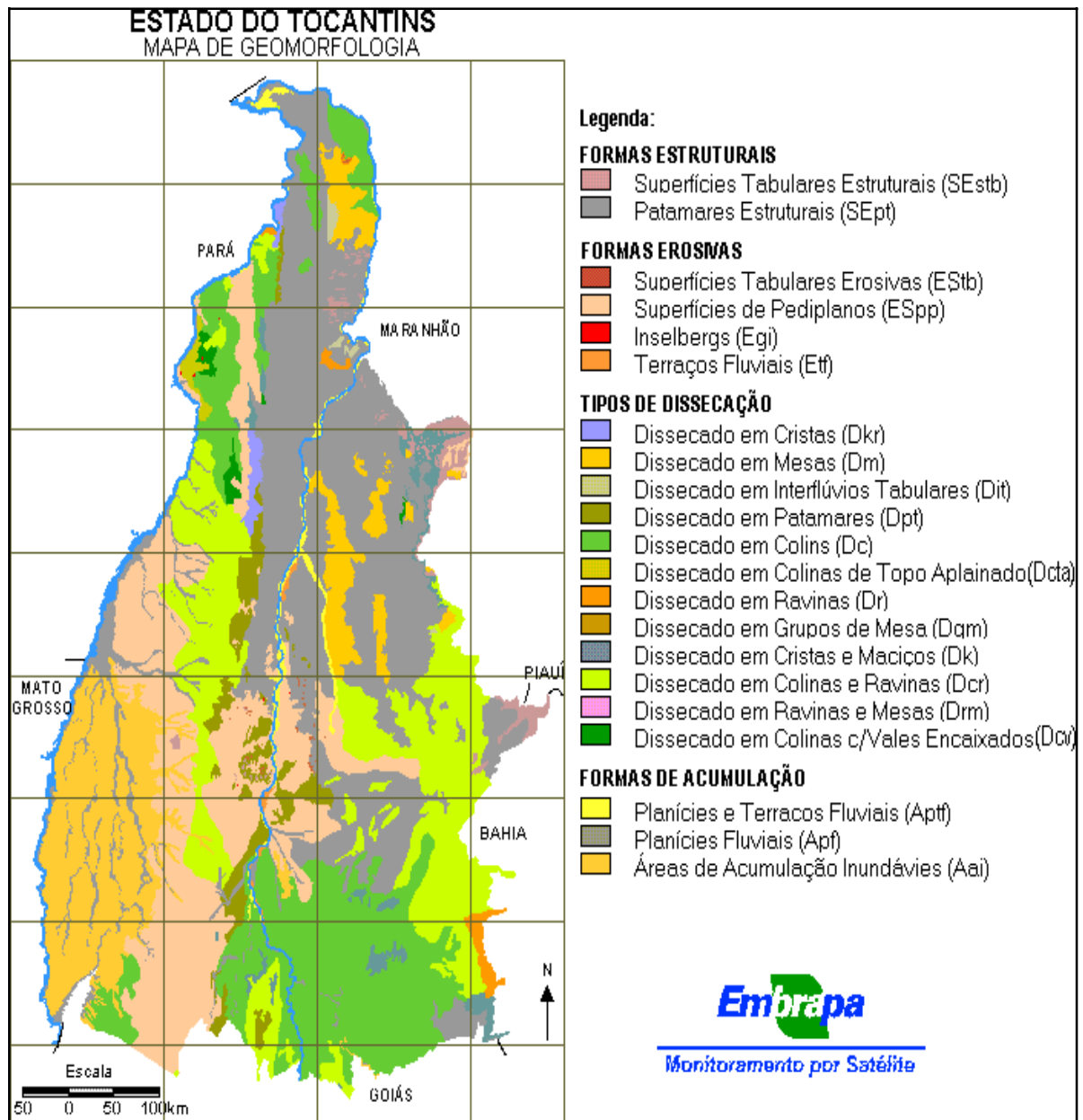
A cidade de Araguaína e seu entorno faz parte da região geomorfológica denominada Planaltos da Bacia do Parnaíba, sendo representada pela unidade geomorfológica Chapada do Meio Norte, em seu nível inferior.

A denominação chapada foi adotada para a unidade porque, do ponto de vista geomorfológico, a chapada é um planalto sedimentar típico, relacionado a grandes superfícies horizontais, com acamamento estratificado. Caracteriza-se pela presença de sedimentos da Formação Sambaíba (arenitos de granulação fina a média), e da Formação Motuca (arenitos com intercalações de argilitos, folhelhos e siltitos), com predomínio de superfícies tabulares e formas convexas, verificando-se níveis de pedimentos detríticos parcialmente ou pouco coluvionados que normalmente sotopõem as seqüências areníticas ou siltosas das formações sedimentares predominantes.

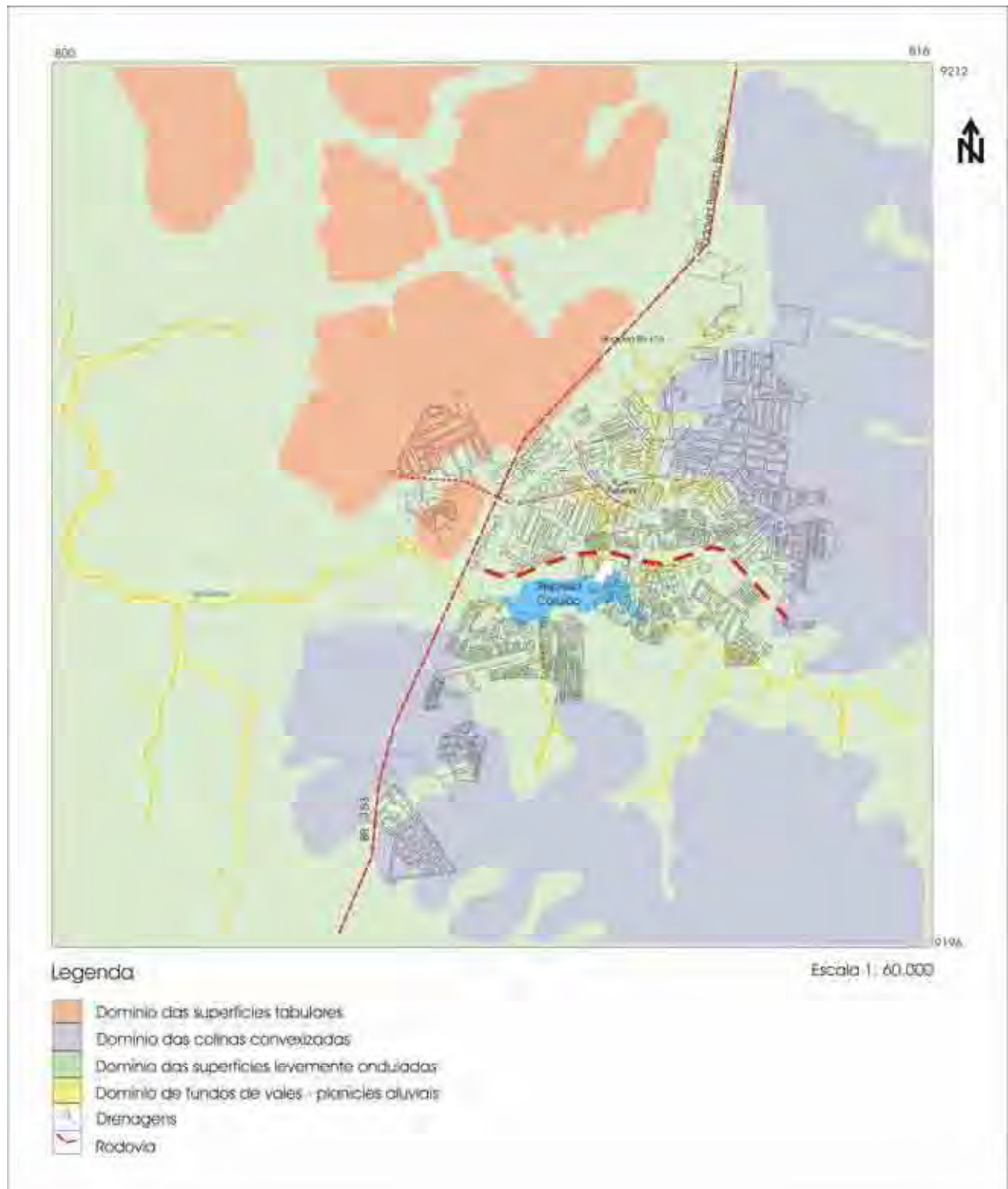
Outro trabalho importante analisado é o Mapa das Unidades do Relevo Brasileiro elaborado por Ross (1985). O autor, através dos conceitos de morfoestrutura e morfoescultura do relevo, associados aos aspectos morfoclimáticos atuais, apresenta cinco unidades morfo-estruturais: Cinturões Orogênicos; Bacias Sedimentares; Bacias Sedimentares Cenozóicas; Depressões Tectônicas, Núcleos Cristalinos Arqueados e Intrusões, e, Coberturas Residuais de Plataforma. Para cada uma das unidades morfo-estruturais apareceram várias unidades morfo-esculturais (planaltos, depressões e planícies litorâneas e fluviais), que, conseqüentemente, estão associadas a diversas formas de relevo (colinas, morros, escarpas, etc.).

Assim, o município de Araguaína encontra-se localizado na Bacia Sedimentar do Parnaíba (morfoestrutura) e na Depressão do Tocantins (morfoescultura) (Figura 13).

Com o objetivo de identificar as unidades de relevo em escala de maior detalhe para Araguaína e seu entorno, com base na interpretação de pares de fotografias aéreas na escala 1:60.000 de 1967, elaborou-se a carta de compartimentação geomorfológica da região de Araguaína (Figura 14).



**Figura 13.** Mapa geomorfológico do Estado do Tocantins (EMBRAPA, 2004).

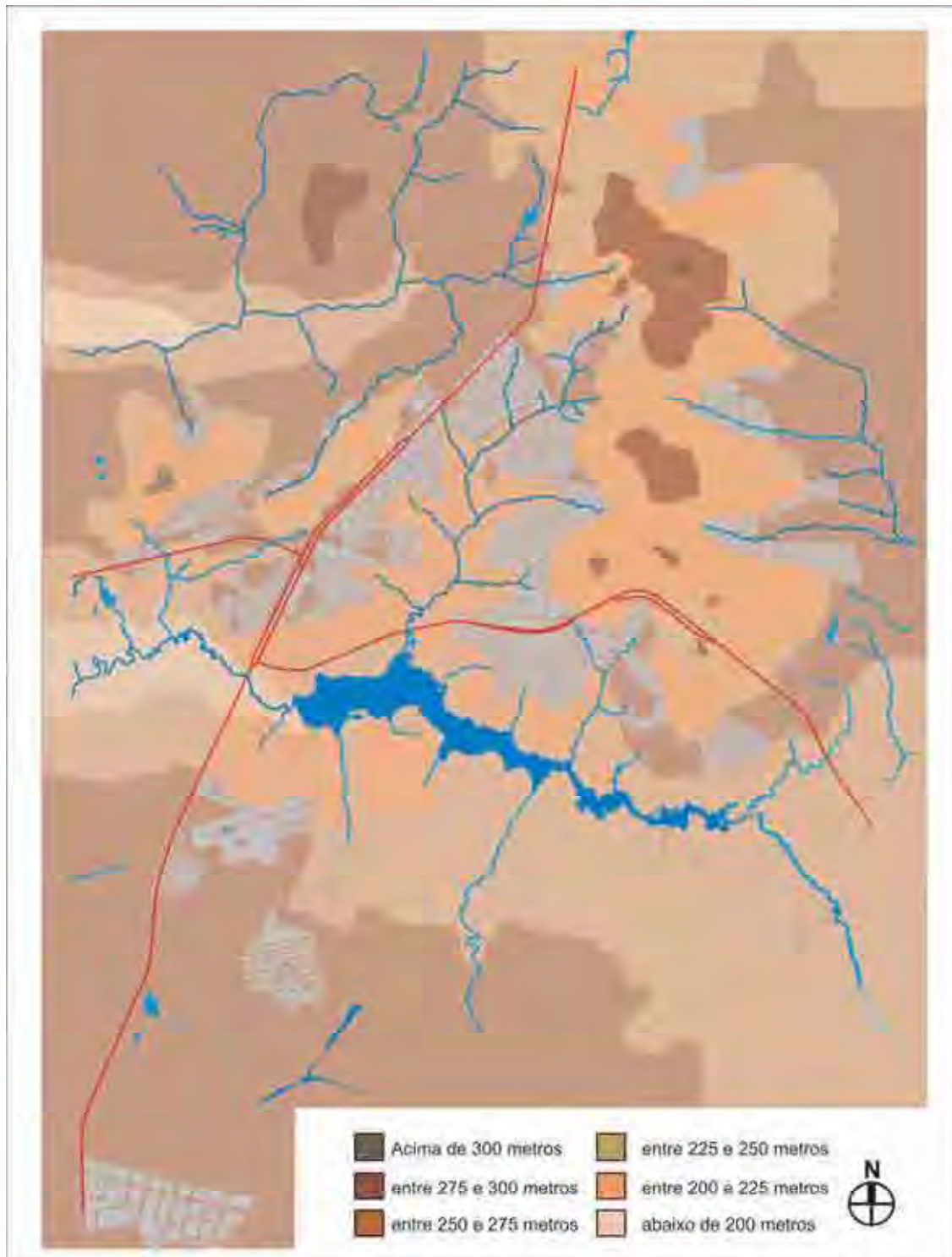


**Figura 14.** Unidades de compartimentação geomorfológica da região de Araguaína/TO.

A compartimentação fisiográfica permitiu a delimitação de unidades que apresentam características e propriedades específicas que determinam respostas diferenciadas às intervenções antrópicas e de processos geodinâmicos.

Toda a malha urbana da cidade de Araguaína desenvolveu-se nos domínios de três principais compartimentos que são: colinas convexizadas; superfícies levemente onduladas, e, os fundos de vale. As superfícies tabulares, que se constituem em outro domínio geomorfológico, embora com menor representação em termos de distribuição espacial, não tem sido intensamente ocupadas.

A partir da interpolação das curvas de nível para a área urbana de Araguaína, produziu-se a carta hipsométrica (Figura 15), que mostra os diferentes compartimentos topográficos em relação às cotas altimétricas. Percebe-se que toda a malha urbana se desenvolve-se entre cotas que variam de 200 a 300 metros de altitude.



**Figura 15.** Carta hipsométrica de Araguaína. Escala aproximada 1:100.000 (Fonte: Plano Diretor de Araguaína, 2004)

#### 8.1.4 Solos

Segundo dados fornecidos pelo mapeamento de solos do Estado do Tocantins (escala 1:250.000) inserido no “Projeto de Gestão Ambiental Integrada – Bico do Papagaio”, executado pela Secretaria do Planejamento e Meio Ambiente do Estado do Tocantins – SEPLAN, predominam em Araguaína e seu entorno duas classes predominantes de solos segundo a classificação da EMBRAPA (1999):

- a) associação de latossolo vermelho distrófico típico A moderado textura argilosa (Fotografia 3) + argissolo vermelho-amarelo distrófico típico álico A moderado textura média/argilosa cascalhenta;
- b) neossolo quartzarênico órtico típico distrófico e álico A moderado.

Os latossolos vermelhos são solos muito profundos, minerais e não hidromórficos, com sequência de horizontes A-Bw-C, geralmente com pequena diferenciação entre esses horizontes.

A cor do horizonte diagnóstico usualmente é vermelho com matiz 2,5YR podendo ser vermelho escuro (10R), com valores variando entre 3 a 5 e croma variando de 4 a 6. Segundo Oliveira *et al* (1992) os teores de  $Fe_2O_3$  provenientes do ataque sulfúrico na TFSA são inferiores a 18% quando argilosos ou muito argilosos.

São usualmente de textura argilosa por todo o perfil, podendo ocorrer horizontes superficiais de textura média. Em termos de estrutura, no horizonte B, geralmente apresenta-se fraca, média, em blocos subangulares; sua consistência úmida é friável, plástica e pegajosa quando molhada. Quanto ao horizonte A, este geralmente é moderado, com estrutura granular.



**Foto 4.** Perfil de latossolo vermelho produto da alteração de basaltos da Formação Mosquito.

Do ponto de vista analítico são solos predominantemente distróficos, geralmente com baixos valores de capacidade de troca catiônica.

Os neossolos quartzarênicos compreendem solos minerais, geralmente profundos, não hidromórficos, essencialmente quartzosos, com textura arenosa ou areia franca ao longo de pelo menos uma profundidade de 2,0 m da superfície. Nesses solos os perfis são muito simples, limitando-se a diferenciação morfológica à expressão de um horizonte A formado em materiais arenosos, de constituição invariavelmente quartzosa. Em termos de distribuição, concentram-se nas porções leste, sul e sudeste da área urbana, predominantemente.

As areias presentes são variáveis, geralmente com destaque das frações mais grosseiras e compoendo texturas das classes areia. São solos que geralmente apresentam horizonte A moderado sobreposto a um horizonte C solto ou muito friável, pouco diferenciado, que pode ser amarelado, avermelhado ou de coloração desbotada.

Devido à constituição essencialmente quartzosa, esses solos possuem baixas concentrações de macro e micronutrientes para as plantas, além de não disporem de reservas nutricionais que possam ser liberadas gradativamente. Portanto, apresentam baixa capacidade de troca de cátions, raramente ultrapassando valores de 2  $\text{cmol}_c\text{Kg}$  de solo nos horizontes

subsuperficiais, embora haja um significativo aumento da superfície em função de contribuição de matéria orgânica. As areias quartzosas são normalmente distróficas e álicas.

Com o objetivo de melhor caracterizar os dois principais tipos de solos (Latosolo Vermelho e Neossolo Quartzarênico) presentes na área urbana de Araguaína, dois furos com trado manual foram realizados, onde coletaram-se quatro amostras, em intervalos de 1,0 em 1,0 metro.

De acordo com os resultados das análises texturais (Tabela 3), inseridos no Diagrama das classes texturais da EMBRAPA (1999) pode-se constatar os seguintes aspectos:

**Tabela 3.** Frações granulométricas dos principais tipos de solos da área urbana de Araguaína.

AMOSTRA	FRAÇÃO AREIA (%)	FRAÇÃO SILTE (%)	FRAÇÃO ARGILA (%)	CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL
SJ-01 (1,0 m)	94,38	4,93	1,00	Areia
SJ-01-A (2,0 m)	95,00	4,60	0,40	Areia
MJ-01 (1,0 m)	27,09	23,90	49,02	Argila
MJ-01-A (2,0 m)	32,39	7,30	60,32	Argila pesada

\*Fonte: Laboratório de Solos e Construção Civil – SENAI/DR-TO

Os resultados mostram que há predomínio da fração areia nas amostras de solo denominadas “SJ” (neossolo quartzarênico) tanto para as profundidades de 1,0 e 2,0 metros, classificando estes solos do ponto de vista textural em “Areia”. Perfis de solo com este tipo de classe textural, apresentam alta porosidade e permeabilidade dos líquidos percolantes. Portanto, cuidados especiais devem ser tomados na construção de poços tubulares profundos no sentido da proteção sanitária dos mesmos, tais como revestimento do poço e construção de laje sanitária.

Para as amostras denominadas “MJ” (Latosolo Vermelho), verifica-se que a fração granulométrica predominante é a argila, principalmente ao longo do horizonte B. Este grupo de solos é classificado texturalmente como “Argila e Argila pesada”.

A presença maior de argila ao longo do perfil limita a infiltração de águas residuais, fazendo com que o tempo de permanência dos esgotos domésticos neste horizonte seja maior. Consequentemente, os processos de atenuação são favorecidos, fato que pode minimizar os efeitos de possível contaminação do aquífero.

## **CAPÍTULO 4**

### **9. ARAGUAÍNA E O SISTEMA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO**

O início do povoamento da região que mais tarde viria a ser a cidade de Araguaína data de 1866, com a chegada de agricultores procedentes do Estado do Piauí, liderados por Tomás Batista. Em 1925 chegaram as famílias de Manoel Barreiro, João Brito, Guilhermino Leal e José Lira.

Esses primeiros habitantes dedicavam-se ao cultivo de café às margens do Rio Lontra e, nesta localidade, nasceu o povoado que viria a ser denominado por Lontra, subordinando-se jurídica e administrativamente ao município de São Vicente de Araguaia. Posteriormente, coube ao município de Boa Vista do Tocantins, hoje Tocantinópolis, administrar o próspero povoado.

Este domínio durou pouco tempo até a emancipação do município de Babaçulândia, quando o povoado de Lontra passou a ser administrado por Filadélfia. Devido ao rápido desenvolvimento do povoado, este foi elevado à categoria de Distrito no ano de 1958, pela Lei Municipal nº 20, com o nome de Araguaína. Mas foi a partir de 14 de novembro de 1958, com a Lei do Estado de Goiás nº 2.125, que o Distrito recebeu autonomia político-administrativa, passando à categoria de Município, tendo sua instalação efetivada em 1º de janeiro de 1959.

Em 1960, com a abertura da Rodovia Belém-Brasília, a economia do município passa a crescer rapidamente, apoiada principalmente pelas atividades pecuárias.

Em 1972, foi apresentada pelo Presidente da Comissão da Amazônia, da Câmara Federal dos Deputados, o Projeto de Redivisão da Amazônia Legal, do qual constava a criação do Estado de Tocantins, aprovada em 27 de julho de 1988, pela Comissão de Sistematização e pelo Plenário da Assembléia Nacional Constituinte. Seu primeiro Governador, José Wilson Siqueira Campos, tomou posse em 1º de janeiro de 1989, na cidade de Miracema do Tocantins, escolhida como capital provisória do novo Estado, até que a cidade de Palmas, a atual capital, fosse construída.

Segundo dados do IBGE (2000), o município de Araguaína conta com uma área total de 4.000,4 km<sup>2</sup>. Situa-se ao norte do Estado do Tocantins, às margens da rodovia BR-153 (Belém-Brasília). Sua sede municipal tem como coordenadas geográficas 07° 11' 28'' S e 48° 12' 26'' W e altitude média de 227 metros (fotografia 4).



**Fotografia 5.** Vista parcial da cidade de Araguaína.

Araguaína tem uma população de 113.143 habitantes (IBGE, 2000), sendo que 105.874 na área urbana e 7.269 na área rural. A densidade demográfica verificada no município, em 2000, foi de 28,99 hab/km<sup>2</sup>, enquanto a taxa de crescimento anual no período 1996/2000 ficou em 1,79%. Na área urbana, a densidade populacional salta para 660,77 hab/km<sup>2</sup> (6,6 hab/ha).

As projeções de crescimento da população urbana baseadas nos dados dos censos de 1990, 1996 e 2000 do IBGE, mantidas as atuais taxas de crescimento, são apresentadas na Tabela 4.

**Tabela 4.** Projeção de crescimento populacional de Araguaína - IBGE (2000)

<b>Ano</b>	<b>População</b>
2004	117.284
2005	119.882
2006	122.480
2007	125.078
2008	127.676
2009	130.274
2010	132.871
2011	135.469
2012	138.067
2013	140.665
2014	143.263
2015	145.860
2016	148.459
2017	151.056
2018	153.654
2019	156.252
2020	158.850
2021	161.448
2022	164.046
2023	166.644
2024	169.242

\*Fonte: IBGE, 2000.

Araguaína vem se destacando no cenário regional como um pólo de atração econômica. Pela sua posição estratégica, atrai pessoas oriundas das regiões do sul do Pará e sul do Maranhão, principalmente pela oferta de serviços (comércio e saúde) e, mais recentemente, pela oferta de cursos de nível superior. Estes novos componentes, associados aos segmentos econômicos mais tradicionais como a criação de gado e atividades ligadas à esta cadeia produtiva, têm movimentado a economia do município.

Atualmente, o município dispõe de uma rede de ensino que contempla desde o ensino fundamental até o universitário. Em 2003, foram 26.523 matrículas no ensino fundamental, 9.696 matrículas no ensino médio e aproximadamente 4.000 matrículas no ensino superior. Na área de saúde, a cidade conta com um total de 42 estabelecimentos de saúde públicos e privados e 698 leitos à disposição da população.

### **9.1 Captação, tratamento e distribuição de água potável em Araguaína**

Araguaína teve a implantação de seu primeiro serviço de captação, tratamento e distribuição de água potável em 1973, quando ainda pertencia ao Estado de Goiás, através da

Companhia de Saneamento e Águas de Goiás (SANEAGO). Até esta data todo o abastecimento urbano era realizado através de sistemas individuais, com a captação de água do aquífero freático.

Com a chegada dos serviços de abastecimento da SANEAGO, foram abertos os primeiros poços profundos e instalados os equipamentos necessários para o tratamento, armazenamento e distribuição de água. A opção pela utilização de água subterrânea através da captação em poços profundos deu-se por duas razões principais: a primeira delas de ordem econômica, uma vez que a água subterrânea, na maioria das vezes, dispensa a construção de estações de tratamento convencionais, barateando seu custo final, além da rapidez na construção dos poços. A segunda razão pela opção por poços profundos é de caráter geológico; as características litológicas e estruturais das rochas pertencentes à Bacia Sedimentar do Parnaíba na região de Araguaína conferem boas condições de armazenamento e fornecimento de água subterrânea.

Com a implantação do Estado do Tocantins em 1989, foi criada a SANEATINS - Companhia de Saneamento do Tocantins, substituindo então a SANEAGO e passando a responsável pelas obras de ampliação dos sistemas de saneamento básico em todo o Estado do Tocantins.

Atualmente estão em operação 22 poços profundos, distribuídos por toda a área urbana (Figura 16), assim como as estações de tratamento (unidades de cloração junto aos poços) e as unidades de armazenamento (Tabela 5). Cabe ressaltar que os poços profundos particulares não estão sendo considerados neste trabalho por não existir cadastro atualizado dos mesmos.

Todo o conjunto de abastecimento de água para a população é composto por sistemas coligados e unidades independentes. Nestas, a água é bombeada do poço para reservatórios elevados, passando por uma unidade conjugada de desinfecção, que consiste na adição de cloro

por um sistema automático denominado Hidrogerox® (Fotografias 5 e 6), que faz a separação do cloro por reação eletrolítica a partir de uma solução de cloreto de sódio (salmoura).



**Tabela 5.** Poços profundos (operados pela SANEATINS) na área urbana de Araguaína

POÇO	LOCAL	PROFUNDIDADE	VAZÃO (m <sup>3</sup> /h)
PTP 01	Bairro Ponte	120	8,0
PTP 02	Laboratório (St. Noroeste)	65	20,0
PTP 03	Distrito Industrial	80	20,0
PTP 06	Bairro de Fátima	114	6,5
PTP 07	Setor Nova Araguaína	110	8,0
PTP 08	Setor JK	120	20,0
PTP 09	Centro de Produção 2	200	160,0
PTP 10	Barros	150	6,3
PTP 12	Centro de Produção 1	105	200,0
PTP 13	Centro de Produção 1	80	200,0
PTP 14	Centro de Produção 1	94	173,8
PTP 16	Centro de Produção 2	195	180,0
PTP 17	Centro de Produção 2	201	200,0
PTP 18	Barros	155	7,00
PTP 19	Centro de Produção 1	100	200,0
PTP 20	Servaz (Bairro São João)	235	110,0
PTP 26	Novo Horizonte (Distrito)	96	11,0
PTP 23	Vila Patrocínio	90	11,0
PTP 24	Barra da Grota	90	4,00
PTP 25	Setor Tiúba	150	70,0
PTP 28	Céu Azul	198	260,0
PTP 29	Maracanã	213	172,0
<b>TOTAL</b>			<b>2.047,6</b>

\* Fonte: Cia. de Saneamento do Tocantins/2004

**Fotografia 6.** Sistema de cloração/desinfecção “Hidrogenox®”



**Fotografia 7.** Sistema de cloração “Hidrogerox®” e dosador de cloro à direita na parede.

São abastecidos por sistemas individuais<sup>9</sup> os setores: Ponte; Bairro de Fátima; Distrito Industrial; Nova Araguaína; Setor Barros; Povoado Barra da Grotta; e, Povoado Novo Horizonte. Ao todo são 2.426 ligações com uma população atendida estimada em 9.704 pessoas.

Para os demais setores da cidade, o abastecimento é realizado a partir da captação nos poços profundos, adução para as Centrais de Produção I (Fotografia 7) e II, onde toda a água passa por processo de desinfecção através da adição de cloro utilizando-se o mesmo sistema das unidades individuais. A partir das Centrais de Produção, a água é aduzida para os reservatórios distribuídos pela cidade e daí para as residências.

---

<sup>9</sup> Sistemas individuais correspondem às unidades de captação (poço profundo e unidade de tratamento) e as unidades de reservação que atendem apenas um setor ou bairro. Portanto, não estão interligados a outros poços e à rede de distribuição.



**Fotografia 8.** Central de Produção I (Unidade de tratamento e distribuição para os reservatórios)

Atualmente, o sistema de armazenamento conta com os reservatórios dos setores Pedra Alta (um reservatório elevado com capacidade para  $100 \text{ m}^3$  e dois reservatórios apoiados com capacidades para  $1.500 \text{ m}^3$  cada); Setor Morumbi com um reservatório apoiado de  $50 \text{ m}^3$ ; Setor Imaculada Conceição com um reservatório apoiado para  $800 \text{ m}^3$ ; Setor Raizal com reservatório elevado de  $100 \text{ m}^3$ ; Vila Patrocínio com reservatório elevado de  $100 \text{ m}^3$ ; Bairro São João com três reservatórios apoiados com capacidades para  $1.500 \text{ m}^3$  (Fotografia 8),  $1.000 \text{ m}^3$  e  $800 \text{ m}^3$ , além de um reservatório elevado de  $100 \text{ m}^3$ , além do reservatório apoiado do Setor Santa Helena com capacidade para  $500 \text{ m}^3$ . Há também os reservatórios elevados em sistemas isolados como no Distrito Industrial de Araguaína (Fotografia 9). Portanto, a capacidade total de armazenamento dos sistemas interligados é de  $8.050 \text{ m}^3$ .



**Fotografia 9.** Reservatório Apoiado I do Bairro São João (1.500 m<sup>3</sup>)



**Fotografia 10.** Reservatório elevado do Distrito Industrial – DAIARA

Segundo informações fornecidas pela Companhia de Saneamento do Tocantins – SANEATINS, Araguaína conta com 29.827 ligações de água, com uma população urbana atendida de 118.275 pessoas. O volume total de água aduzida dos poços profundos em 2004 foi da ordem de 986.900 m<sup>3</sup>/mês, com um tempo médio de bombeamento dos poços de 20,0

horas/dia. No processo de desinfecção da água foram consumidos no mês de agosto de 2005, 61,0 kg de cal, 3.824 kg de sal (cloreto de sódio) e 129 kg de hipoclorito de sódio.

O controle de qualidade da água distribuída à população é feito através de exames laboratoriais. Em vários locais distribuídos pela cidade há pontos de coleta de água para amostragem. São então colhidas amostras de água nestes pontos periodicamente e estas amostras são levadas ao laboratório da SANEATINS em Araguaína. Neste laboratório são realizadas análises bacteriológicas e físico-químicas para garantir que a água distribuída atenda aos padrões de potabilidade estabelecidos pelo Ministério da Saúde.

## **9.2 Esgotamento sanitário e resíduos sólidos na área urbana de Araguaína**

Quanto ao esgotamento sanitário, apenas na Vila Couto Magalhães há uma rede coletora de esgoto e uma lagoa de decantação dimensionada apenas para atender este conjunto de casas populares, em função de exigências do órgão financiador (Caixa Econômica Federal). O restante da população faz uso de sistemas individuais de disposição de esgotos (esgotamento sanitário “*in situ*”), como fossas sépticas, sumidouros e valas.

A construção de fossas, de um modo geral, não atende aos critérios técnicos, sendo freqüentes os casos em que o sistema utilizado suprime a fossa propriamente dita, funcionando apenas com o sumidouro. Com o tempo, as paredes das fossas vão se colmatando, diminuindo ou até cessando sua capacidade de absorção, podendo acarretar o extravasamento do seu conteúdo para as vias públicas.

Para os domicílios que estão localizados próximos às margens dos cursos d'água que cortam a área urbana, o esgoto doméstico é lançado em seus cursos sem nenhum tipo de tratamento. Também é comum a canalização dos esgotos domésticos para a rede de drenagem de águas pluviais.

Em Araguaína, a média diária de produção de resíduos sólidos urbanos é de 90 toneladas (Prefeitura Municipal, 2005), que são recolhidos por uma empresa privada contratada

pela Prefeitura Municipal. Os resíduos são depositados em aterro controlado localizado na porção oeste da cidade, em área não urbanizada.

A coleta de lixo na cidade é regular, sendo diária nos bairros centrais e em dias alternados nos setores periféricos da cidade. O lixo hospitalar tem coleta especial, embora também seja depositado na área do aterro controlado. As células onde são depositados os resíduos sólidos não possuem nenhum tipo de impermeabilização e tampouco há drenos e tubos coletores de chorume e de gases.

Pesquisadores canadenses (MACFARLANE *et al*, 1983) têm alertado para os perigos relacionados à migração de contaminantes produzidos em aterros construídos fora de especificações técnicas. Em regiões úmidas a semi-úmidas, a infiltração através dos aterros mal operacionalizados normalmente resulta na migração de lixiviados inorgânicos em direção aos aquíferos. Em algumas situações, a pluma de contaminação pode se estender a centena de metros, causando séria deterioração de aquíferos utilizados para abastecimento urbano, conforme descrito por Robertson *et al* (1989) em experimento realizado em uma localidade próxima a Cambridge, Ontário, Canadá.

Yates *et al* (1985) também descrevem experimentos realizados no Estado da Flórida/USA, constatando a presença de vírus e outros organismos presentes na água subterrânea provenientes de tanques sépticos.

### **9.3 Outras fontes potencialmente poluentes das águas subterrâneas na área urbana de Araguaína**

Além dos esgotos domésticos e dos resíduos sólidos, outras fontes que possuem alto potencial poluidor e que podem comprometer a qualidade da água subterrânea na área urbana, são os postos de venda de combustíveis, oficinas mecânicas, estabelecimentos de lavagem de automóveis e o cemitério.

Os postos de venda de combustíveis, quando apresentam vazamentos em seus tanques de armazenamento, podem comprometer seriamente o solo, assim como os compostos orgânicos podem migrar em direção ao aquífero, comprometendo seriamente a qualidade da água. Da mesma forma, oficinas mecânicas e lavadores de automóveis, que manuseiam combustíveis e outros produtos graxos derivados de petróleo, se não tiverem uma disposição adequada, podem também comprometer a qualidade da água subterrânea.

Quanto aos cemitérios, estes se constituem em fontes de poluição da água subterrânea a partir da decomposição dos cadáveres e de metais presentes nos caixões (principalmente cromo e cálcio) (MIGLIORINI, 1994). O líquido corporal infiltra-se no solo, caso a base do jazigo não seja concretada, transportando bactérias e até mesmo formando nitrato, que com estes produtos podem comprometer a qualidade da água subterrânea, embora a quantidade dos elementos poluentes possam ser diluídos pelo volume de água armazenado no aquífero.

## **CAPÍTULO 5**

### **10. ARAGUAÍNA E AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

Neste capítulo serão discutidos os aspectos ligados à dinâmica das águas subterrâneas na cidade de Araguaína.

#### **10.1 Balanço hídrico**

A maneira como uma bacia de drenagem desenvolve sua função hidrológica pode ser descrita por uma seqüência de eventos que nela ocorrem. Uma parte da água precipitada, ao cair, poderá ser interceptada pela cobertura vegetal, sendo devolvida à atmosfera pela evapotranspiração; pequena porção poderá evaporar-se imediatamente; outra parcela se infiltrará e a parte restante será drenada através do escoamento superficial.

Da parcela da infiltração parte constituirá a recarga que irá alimentar o freático e os aquíferos mais profundos, garantindo também, em descarga parcial a sobrevivência dos cursos d'água nos períodos de estiagem e uma parte ainda retornará ao nível do solo e retornará à atmosfera por evapotranspiração.

Assim, o balanço hídrico é, dentre outros fatores, de grande importância nos estudos hidrogeológicos. Através dele chega-se a uma estimativa da quantidade de água armazenada no subsolo, água esta que mais tarde irá alimentar os canais fluviais e aquíferos subterrâneos (recarga).

Pelas características climáticas locais, através dos valores médios de precipitação e temperatura, estabelece-se a relação que se constitui no ponto de partida para o cálculo do balanço hídrico, segundo metodologia desenvolvida por Thornthwaite & Mather (1985).

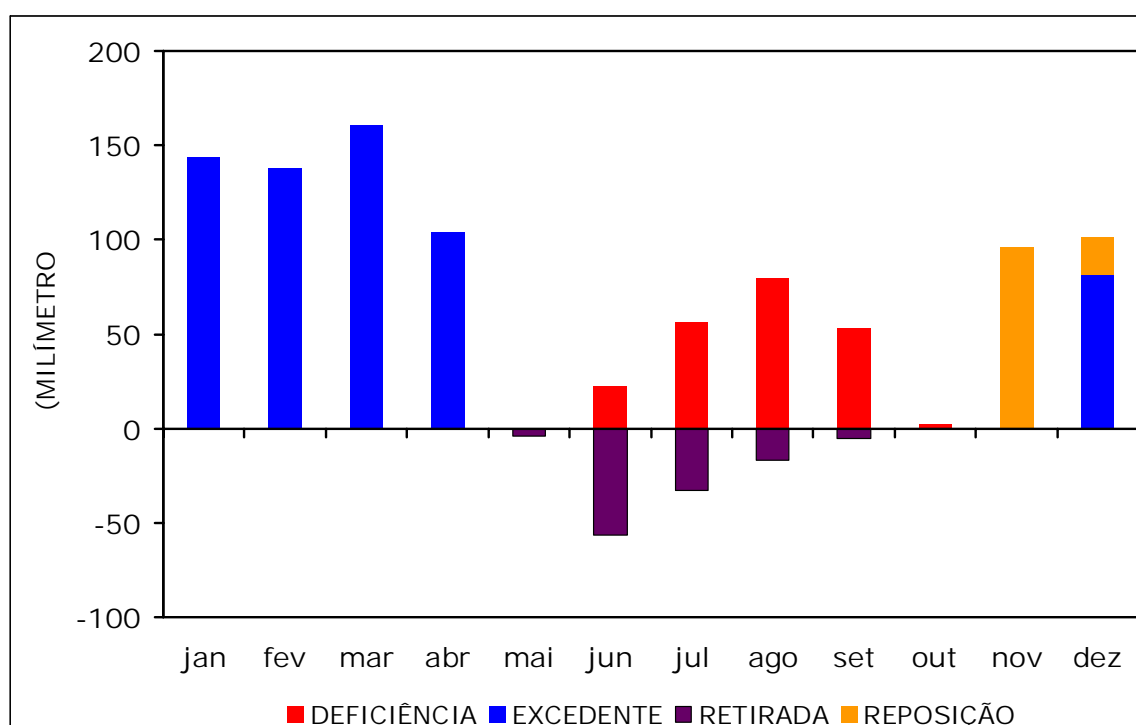
Para a área de pesquisa, caracterizada por duas estações climáticas bem definidas, ou seja, verão chuvoso e inverno seco observam-se entre 1988 a 2003, o valor médio de

precipitação de 1777,9 mm, sendo que o valor médio de temperatura anual para este mesmo intervalo de tempo foi de 25° C (INMET - Estação Climatológica de Araguaína, 2005).

No período de estiagem, entre os meses de junho a setembro, em função da carência de chuvas, ocorre o rebaixamento do nível hidrostático e uma deficiência hídrica acentuada, conforme mostrado no gráfico do balanço hídrico (Figura 17). Também é neste período que ocorre a maior contribuição dos aquíferos para a alimentação dos canais fluviais.

De acordo com o balanço hídrico, nota-se que nos meses mais secos do ano a capacidade de infiltração é maior em função da redução dos níveis de saturação do solo e rocha. A evapotranspiração nesta época do ano é reduzida em função da pouca disponibilidade de água das precipitações.

Para o aquífero se a redução de umidade no solo for mais baixa que a capacidade de campo, a água não chegará até ele.



**Figura 17.** Representação gráfica dos elementos do balanço hídrico de Araguaína/TO (2001-2002). Fonte: INMET – Estação Meteorológica de Araguaína.

No período chuvoso, entre os meses de outubro a maio, o aumento do volume de água é contrabalançado pelo aumento da perda por infiltração, principalmente nos meses de outubro a janeiro, período este em que ocorre a reposição hídrica, com a recarga dos aquíferos. Assim, num primeiro momento, nos primeiros meses chuvosos predomina a infiltração, havendo a reposição hídrica. Com a continuidade das chuvas, atingem-se os altos valores de excedente hídrico durante os meses de dezembro a abril, períodos em que também ocorrem os maiores valores de escoamento superficial. É neste período que ocorre a elevação do nível hidrostático local.

## **10.2 Hidrogeologia**

Das muitas combinações de tipos de aquíferos e regimes climáticos existentes, pode-se condensá-los em seis grandes categorias de ambientes hidrogeológicos, dos quais, encontramos a maior parte das cidades dependentes da água subterrânea no globo. Cada uma das grandes categorias de ambientes hidrogeológicos possui um significado diferente para aquelas cidades localizadas sobre estes ambientes e, desta forma, os efeitos no desenvolvimento urbano podem variar de desprezíveis a críticos (Tabela 6)

O suprimento de água urbano através da água subterrânea somente é possível se as formações geológicas possuírem de moderada a alta permeabilidade, grandes volumes armazenados e sistemas de fluxo. Estes aquíferos mais permeáveis podem ser agrupados em dois tipos (FOSTER & HIRATA, 1988):

- a) sedimentos inconsolidados: incluem a maior parte dos sedimentos aluviais e de planícies costeiras, os quais possuem grande volume de água subterrânea armazenada e permeabilidade suficiente para a sua extração econômica. Sedimentos aluviais intermontanos e depósitos coluviais preenchendo vales elevados também podem se apresentar como aquíferos produtivos;

**Tabela 6.** Características dos principais ambientes hidrogeológicos

<b>Ambiente hidrogeológico</b>	<b>Litologia</b>	<b>Descrição/gênese</b>	<b>Extensão/dimensão</b>
Sedimentos aluvionares e planícies costeiras	Seixos, areias, silte e argila	Detritos inconsolidados depositados pelos maiores rios, deltas e mares rasos; porosidade primária e permeabilidade normalmente muito elevada.	Geralmente ambos, extensos e de espessura significativa.
Colúvios intermontanos	Blocos, seixos, areias	Formados por preenchimento rápido de zonas falhadas e bacias em regiões montanhosas; depósitos são inconsolidados, porosidade primária e/ou permeabilidade de colúvios, basaltos modernos/lavas andesíticas e piroclastos andesíticos/riolíticos normalmente elevados, mas vulcânicos antigos presentes também.	Muito menos extensos que os sedimentos aluviais e de planície costeira mas podem ser bastante espessos.
Depósito sedimentar consolidado	Arenitos	Depósitos compactados marinhos ou continentais formados por rochas consolidadas; grau de consolidação geralmente aumenta com a profundidade/idade de deposição e aumento da compactação reduz a porosidade e permeabilidade primária; porosidade secundária introduzida por fraturas de origem tectônica pode formar uma componente importante.	Difícil generalizar mas podem formar extensos aquíferos com substancial espessura.
	Calcários	Derivados do esqueleto de organismos marinhos (fragmentos de conchas, recifes e detritos de recifes) depositados em mares rasos e compactados formando rochas consolidadas; calcários são frequentemente fissurados e vulneráveis a processos de dissolução, formando cavidades.	Difícil generalizar mas podem formar extensos aquíferos com substancial espessura.
Depósitos calcários costeiros recentes	Calcários e calcarenitos	Geralmente compostos por calcário coralífero e fragmentos de esqueletos e carapaças, pobremente cimentadas; porosidade e permeabilidade podem ser excepcionalmente elevadas.	Área limitada, frequentemente formando aquíferos alongados que margeiam a linha de costa ou formam pequenas ilhas oceânicas.
Depósitos glaciais	Matacões, blocos, seixos, areias, silte e argila	Sedimentos transportados pelo gelo são normalmente mal selecionados e de baixa permeabilidade.	Áreas limitadas, lineares e lateralmente variáveis.
Embasamento alterado	Rochas cristalinas	Intemperismo de antigas rochas ígneas e metamórficas normalmente produz um profundo manto de intemperismo de moderada porosidade e geralmente de baixa permeabilidade, e abaixo a presença de rochas não alteradas que podem ser fraturadas; a combinação resulta em um baixo potencial, mas importante sistema aquífero.	Bastante extensos, porém os aquíferos estão normalmente restritos a espessuras inferiores a 20 m.

\* Fonte: FOSTER, S. et. al (2002)

- b) formações consolidadas: os mais eficientes aquíferos consolidados são de origem sedimentar e incluem alguns calcários e arenitos, mas numerosas formações vulcânicas também se constituem em importantes sistemas aquíferos. Estes aquíferos, especialmente quando fraturados, podem ser altamente permeáveis e suprir grandes volumes de água.
- c) outros ambientes hidrogeológicos geralmente tendem a ser menos permeáveis, embora possam ser utilizados para uso privado industrial e/ou para suprimento doméstico e frequentemente atuam como receptores para a disposição do esgoto “*in situ*”.

Do ponto de vista hidrogeológico, o sistema subterrâneo que abastece a cidade de Araguaína é do tipo “aquífero sedimentar consolidado”, conforme denominação de Foster *et al* (1988) e composto por arenitos da Formação Sambaíba, capeados e às vezes traçados por basaltos da Formação Mosquito. Essa característica determina condições de confinamento do aquífero principal. As características texturais dos arenitos da Formação Sambaíba, com predomínio de grãos de quartzo muito bem selecionados, alto grau de arredondamento e esfericidade, típico de formações eólicas, conferem a estas rochas alta porosidade e permeabilidade. O resultado é um aquífero com alta produtividade, com poços chegando a 260 m<sup>3</sup>/h com profundidades inferiores a 200 metros (Fotografia 10).



**Fotografia 11.** Poço PTP 13, Centro de Produção I.

Um aquífero secundário pode ser definido para a área de pesquisa, sendo aquele formado pelos arenitos da Formação Motuca, capeados por siltitos/argilitos desta mesma formação. Essa característica de cobertura do aquífero por camadas rochosas de baixa permeabilidade confere-lhe condições de confinamento hidráulico, embora sua produção esteja em níveis inferiores ao aquífero Sambaíba.

A interpretação e o conhecimento do comportamento destes dois sistemas de aquíferos que abastecem Araguaína deram-se a partir da interpretação do comportamento geológico/estrutural e das informações obtidas dos poços profundos que abastecem a cidade. O perfil estratigráfico, dados de vazão, níveis estático e dinâmico e profundidade dos poços foram importantes para algumas interpretações (Tabela 7).

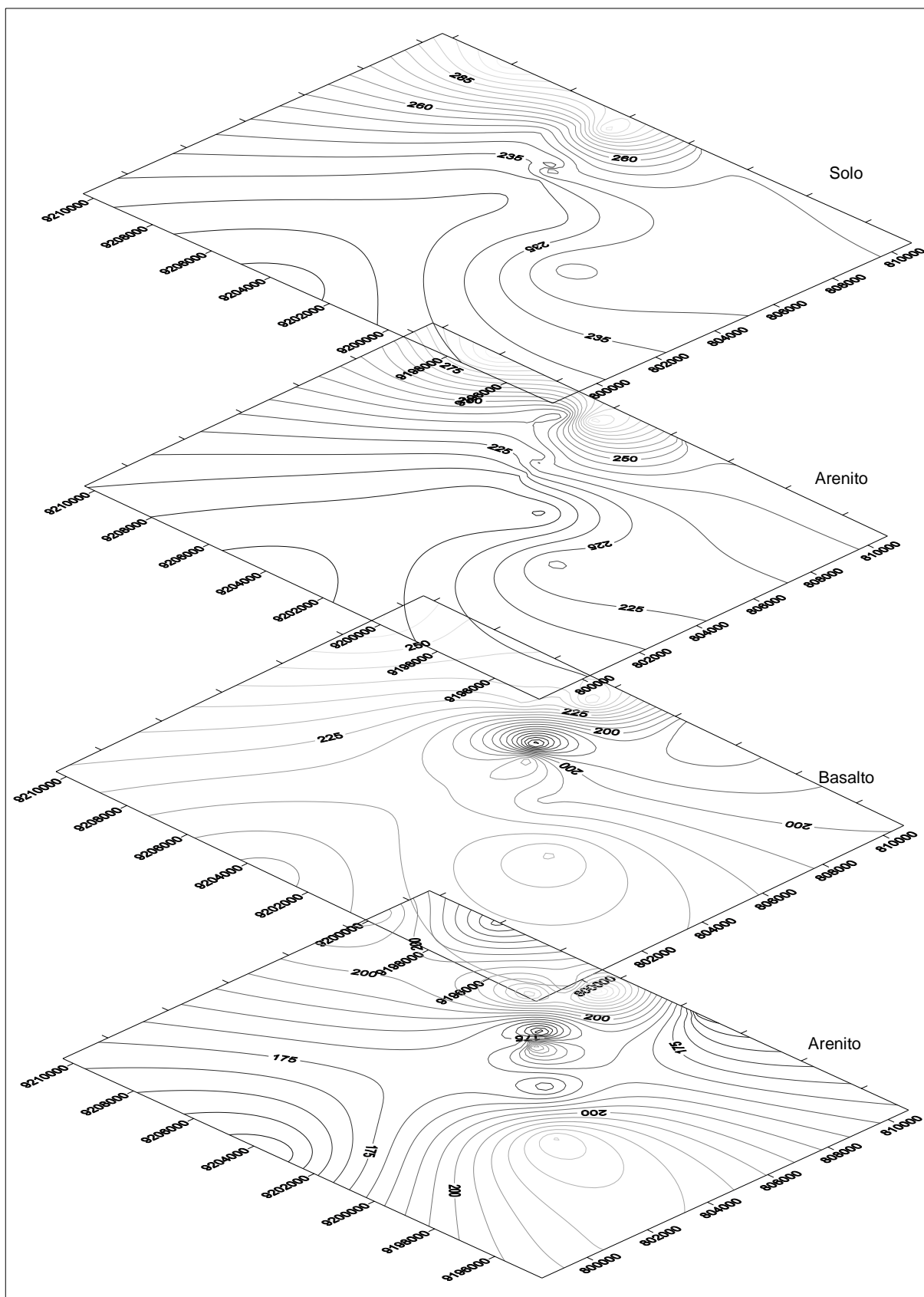
A partir das informações obtidas dos poços profundos, foi possível elaborar o bloco diagrama mostrando a camada de basalto que confina o aquífero (Figura 18) e o mapa de isóbatas das litologias que compõem toda a coluna estratigráfica local (Figura 19).

Uma observação importante é o fato de não estarem disponíveis os perfis estratigráficos de todos os poços operados pela SANEATINS. Isso acontece devido a não exigência da descrição da coluna estratigráfica quando da perfuração dos poços.

**Tabela 7.** Dados técnicos de poços profundos operados pela SANEATINS em Araguaína

POÇO	COORD.	COTA	PROF.	NE	ND	VAZÃO	LITOLOGIA
<b>PTP 01</b>	9194433 800822	231	120,0	8,0	12,0	8,0	Solo (-15m) Argilito (-45m) Arenito (-55m) Argilito (-80m) Arenito (-120)
<b>PTP 02</b>	9204926 808593	245	65,0	2,0	7,0	20,0	Solo (-10m) Argilito (-35m) Arenito (-65m)
<b>PTP 06</b>	9199302 803814	247	114,0	9,0	18,0	6,5	Solo (-16m) Argilito (-21m) Arenito (-56m) Argilito (-114m)
<b>PTP 07</b>	9201305 805508	228	110,0	5,0	8,0	8,0	Solo (-24m) Basalto (-62m) Argilito (-110m)
<b>PTP 10</b>	9210347 809073	276	150,0	48,0	49,0	6,3	Solo (-15m) Basalto (-62m) Arenito (-150m)
<b>PTP 12</b>	9203357 807384	252	105,0	18,0	24,0	200,0	Solo (-15m) Arenito (-105m)
<b>PTP 13</b>	9203383 807425	231	80,0	8,0	18,0	200,0	Solo (-6m) Arenito (-80m)
<b>PTP 14</b>	9203085 806653	227	94,0	6,0	19,0	173,0	Solo (-11m) Basalto (-41m) Arenito (-94m)
<b>PTP 16</b>	9204579 809617	270	195,0	34,0	44,0	180,0	Solo (-33m) Basalto (-66m) Arenito (-195m)
<b>PTP 17</b>	9204560 809344	263	201,0	31,7	38,7	200,0	Solo (-29m) Basalto (-55m) Arenito (-201m)
<b>PTP 19</b>	9203002 806746	232	100,0	21,0	28,0	200,0	Solo (-6m) Siltito (-24m) Arenito (-90m) Argilito (-100m)
<b>PTP 20</b>	9203927 809810	303	235,0	71,0	91,0	110,0	Solo (-4m) Arenito (-48m) Siltito (-52m) Arenito (-70m) Basalto (-128m) Arenito (-228m) Argilito (-235m)
<b>PTP 24</b>	9202339 798502	212	90,0	6,0	41,0	4,0	Solo (-10m) Basalto (-62m) Arenito (-82m) Folhelho (-90m)
<b>PTP 25</b>	9201538 810542	254	150,0	15,0	26,0	70,0	Arenito (-65m) Basalto (-85m) Arenito (-150m)
<b>PTP 28</b>	9201449 810681	245	198,0	34,4	50,0	260,0	Solo (-4m) Arenito (-60m) Basalto (-96m) Arenito (-198m)
<b>PTP 29</b>	9208058 810579	308	213,0	80,0	96,0	172,0	Solo (-4m) Arenito (-62m) Basalto (-140m) Arenito (-208m) Argilito (-213m)



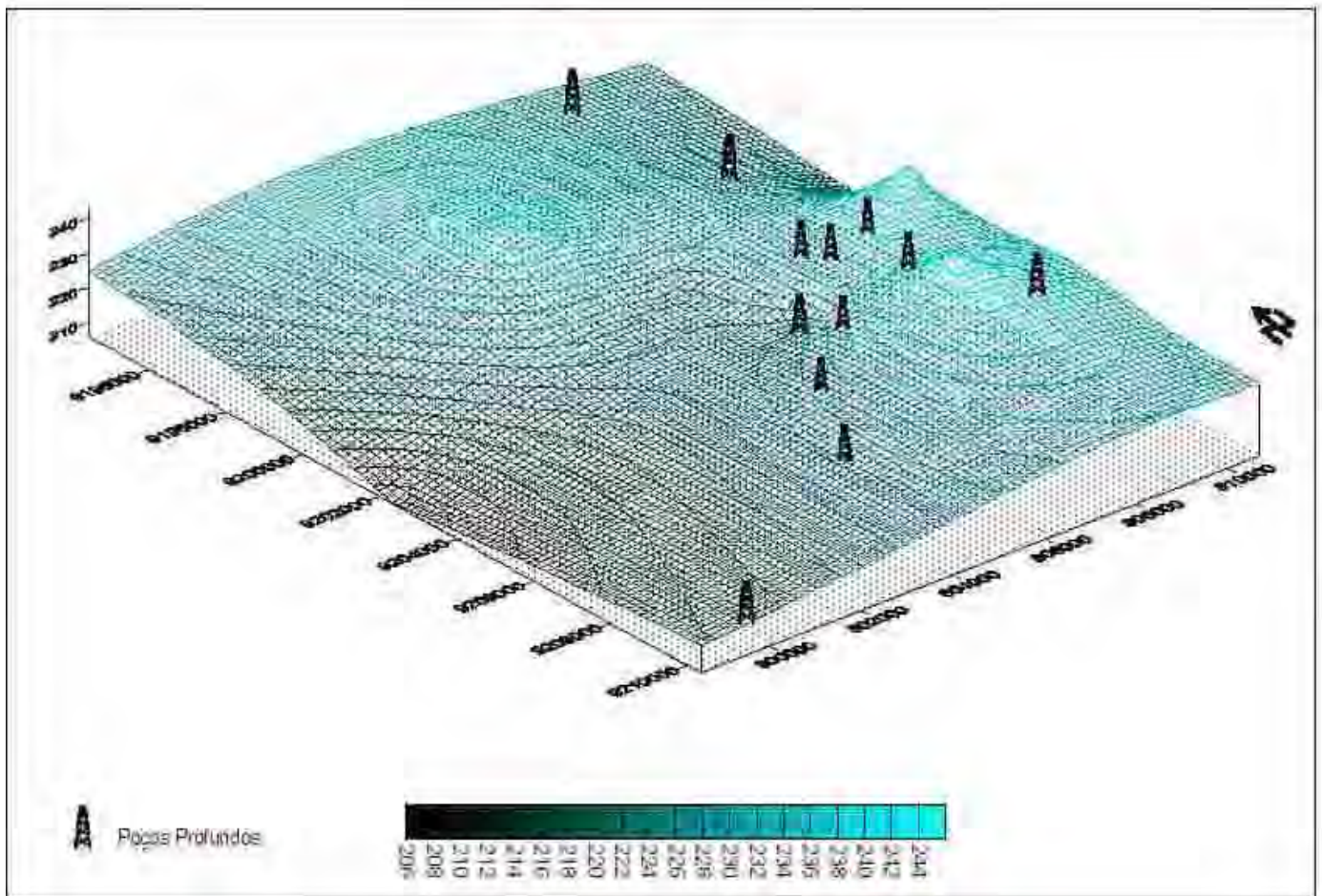


**Figura 19.** Planta de isóbatas do topo das litologias que compõem o sistema aquífero “Sambaíba” em Araguaína.

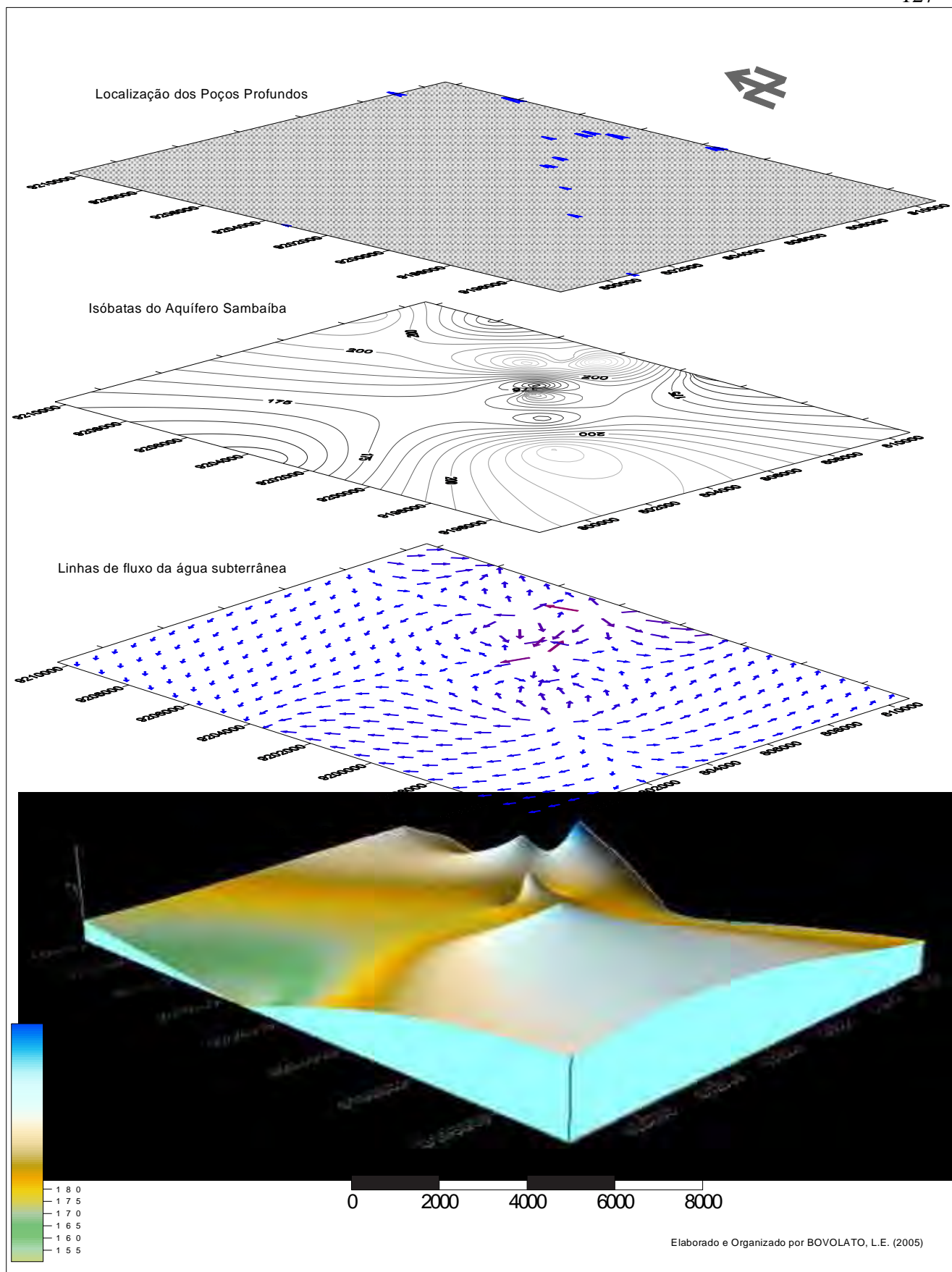
Com a finalidade de se obter uma representação gráfica para melhor visualização do aquífero em subsuperfície, elaborou-se a carta de representação da superfície potenciométrica (Figura 20), além da geometria do aquífero principal e vetores de fluxo (figura 21). Estas representações em “3D” foram geradas a partir dos dados de localização dos poços e dos seus níveis estáticos que estão sob condições de confinamento.

Considerando que o limite da área estudada (área urbana e entorno) situa-se entre as coordenadas 9192000/800000, 9192000/816000 e 9212000/800000, 9192000/816000 (figura 16), as áreas representadas pelas plantas de isóbatas e representação tridimensional do aquífero correspondem a aproximadamente 320 km<sup>2</sup>.

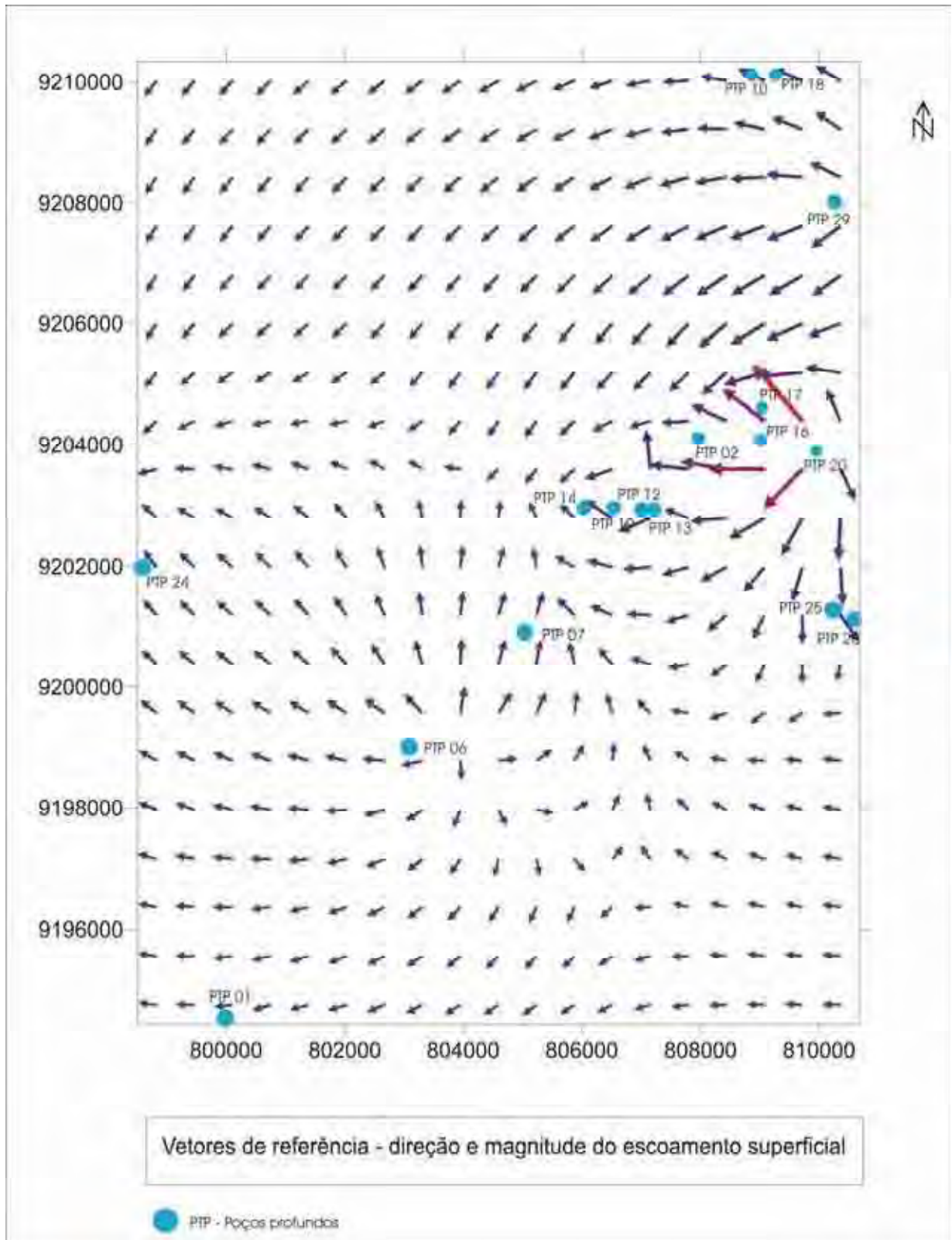
Os vetores de fluxo permitem analisar os sentidos preferenciais do fluxo da água subterrânea, cujo deslocamento acontece das áreas de maior para as áreas de menor carga hidráulica. Pela interpretação do bloco diagrama gerado para o Aquífero Sambaíba (Figura 21), percebe-se que há predominantemente um sentido preferencial de fluxo da água subterrânea (de leste para oeste), convergindo para o nível de base local, que coincide com o Rio Lontra.



**Figura 20.** Topo da superfície potenciométrica



**Figura 21.** Localização dos poços profundos, isóbatas, linhas de fluxo da água subterrânea e geometria do aquífero Sambaíba.



**Figura 22.** Direção preferencial do escoamento superficial gerado a partir das cotas de superfície.

Levando-se em conta as características de confinamento do aquífero principal, com sentido de fluxo preferencial de leste para oeste, constata-se que a superfície potenciométrica, que é a superfície representativa do nível onde a água atinge dentro do poço, eleva-se acima da base da camada de basalto que confina este aquífero. Portanto, a água subterrânea armazenada nos domínios do aquífero Sambaíba, pelo menos localmente, está sob pressão confinante, fato verificado no poço PTP 01 (Bairro Ponte), onde a coluna d'água do poço chega à superfície sem necessidade de bombeamento.

A falha extensional de sentido NW-SE presente na área em estudo é a estrutura geológica que determina, junto com a litologia, o fato de que os poços mais produtivos (maiores vazões) estarem localizados na porção ocidental desta estrutura.

Um outro aspecto que se constitui de fundamental importância para os estudos relacionados à água subterrânea é a recarga dos aquíferos.

O aquífero principal que abastece Araguaína possui suas áreas de recarga direta nos domínios onde afloram os arenitos da Formação Sambaíba e as coberturas arenosas inconsolidadas sobrepostas a esta seqüência sedimentar. Baseado na média de precipitação pluviométrica anual para a região, em torno de 1.800 mm, a quantidade de água que chega ao aquífero é bastante considerável. Pode-se constatar esta reposição hídrica a partir das precipitações observando o comportamento do balanço hídrico para a região.

Não menos importante em termos de recarga de aquíferos é o volume de esgotos depositados “*in situ*” na área urbana. Considerando que mais de 90% do volume dos esgotos domésticos é constituído por água, conforme as características estratigráficas e dos perfis de solos (latossolo vermelho e neossolo quartzarênico) vistos anteriormente, uma parte deste volume de água pode retornar através da infiltração ao aquífero que abastece a cidade.

A partir da carta geológica regional – Folha Araguaína (escala 1:250.000, CPRM, 1994), elaborou-se a carta que delimita as áreas de recarga do aquífero principal (Figura 23).



**Figura 23.** Áreas de recarga do Aquífero Sambaíba para a região de Araguaína. Fonte: Adaptado de CPRM (1994).

As áreas de recarga direta<sup>10</sup> do aquífero Sambaíba estão localizadas principalmente nas porções norte, sul e leste da área urbana de Araguaína, constituindo-se nos locais onde afloram os arenitos da Formação Sambaíba. Considerando a condição de semi-confinamento a confinamento do aquífero que abastece a cidade, do ponto de vista de sua proteção, há uma condição favorável no sentido de que a carga de contaminantes originada principalmente pelos esgotos domésticos, pouco esteja impactando o aquífero.

### 10.3 Aplicação da metodologia “GOD”

O método “GOD” (por suas iniciais em inglês: **G**roundwater hydraulic confinement; **O**verlying strata; **D**epth to groundwater table) para a avaliação da vulnerabilidade à contaminação de aquíferos tem sido amplamente utilizado na América Latina e Caribe desde a década de 90, devido à sua clareza conceitual e simplicidade de aplicação.

O método considera dois fatores básicos:

- a) o grau de inacessibilidade hidráulica da zona saturada;
- b) a capacidade de atenuação dos estratos suprajacentes à zona saturada do aquífero.

Estes fatores não são diretamente medidos; dependem por sua vez da combinação de distintos parâmetros (Tabela 8).

Dado que as informações relacionadas com a maioria destes parâmetros não estão geralmente disponíveis, para o desenvolvimento do mapa de vulnerabilidade à contaminação de aquíferos de uma forma prática, é inevitável realizar uma simplificação dos parâmetros contidos na tabela.

---

<sup>10</sup> **Áreas de Recarga direta** são locais onde afloram rochas da Formação Sambaíba, que se constitui no aquífero principal utilizado para o abastecimento de água potável.

**Tabela 8.** Fatores hidrogeológicos que controlam a vulnerabilidade à contaminação de aquíferos

Componente da vulnerabilidade	Informação Hidrogeológica	
	Idealmente requerida	Normalmente disponível
<b>Inacessibilidade Hidráulica</b>	<i>Grau de confinamento do aquífero</i>	<i>Tipo de aquífero</i>
	<i>Profundidade a água subterrânea ou ao teto do aquífero</i>	<i>Profundidade da água subterrânea ou ao teto do aquífero confinado</i>
	<i>Conteúdo de umidade da zona não saturada</i>	
	<i>Condutividade hidráulica vertical dos estratos da zona não saturada ou das camadas confinantes</i>	
<b>Capacidade de atenuação</b>	<i>Distribuição do tamanho dos grãos e fissuras na zona não saturada ou nas camadas confinantes</i>	<i>Grau de consolidação/fissuramento dos estratos</i>
	<i>Mineralogia dos estratos da zona não saturada ou camadas confinantes</i>	<i>Características litológicas destes estratos</i>

\* Fonte: FOSTER & HIRATA (1988)

Com base em tais considerações, o índice de vulnerabilidade “GOD” (FOSTER *et al.*, 1987; FOSTER E HIRATA, 1988) caracteriza a vulnerabilidade à contaminação de aquíferos em função dos seguintes parâmetros (geralmente disponíveis ou facilmente determinados):

- Grau de confinamento hidráulico do aquífero em consideração;
- Ocorrência do substrato suprajacente (zona não saturada ou camada confinante) em termos de características litológicas e grau de consolidação, que determinam sua capacidade de atenuação de contaminantes;
- Distância até a água determinada como: a profundidade até o nível da água em aquíferos não confinados ou até a profundidade ao teto do aquífero confinado.

Conseqüentemente, a estimativa do índice de vulnerabilidade “GOD” envolve uma série de etapas concretas:

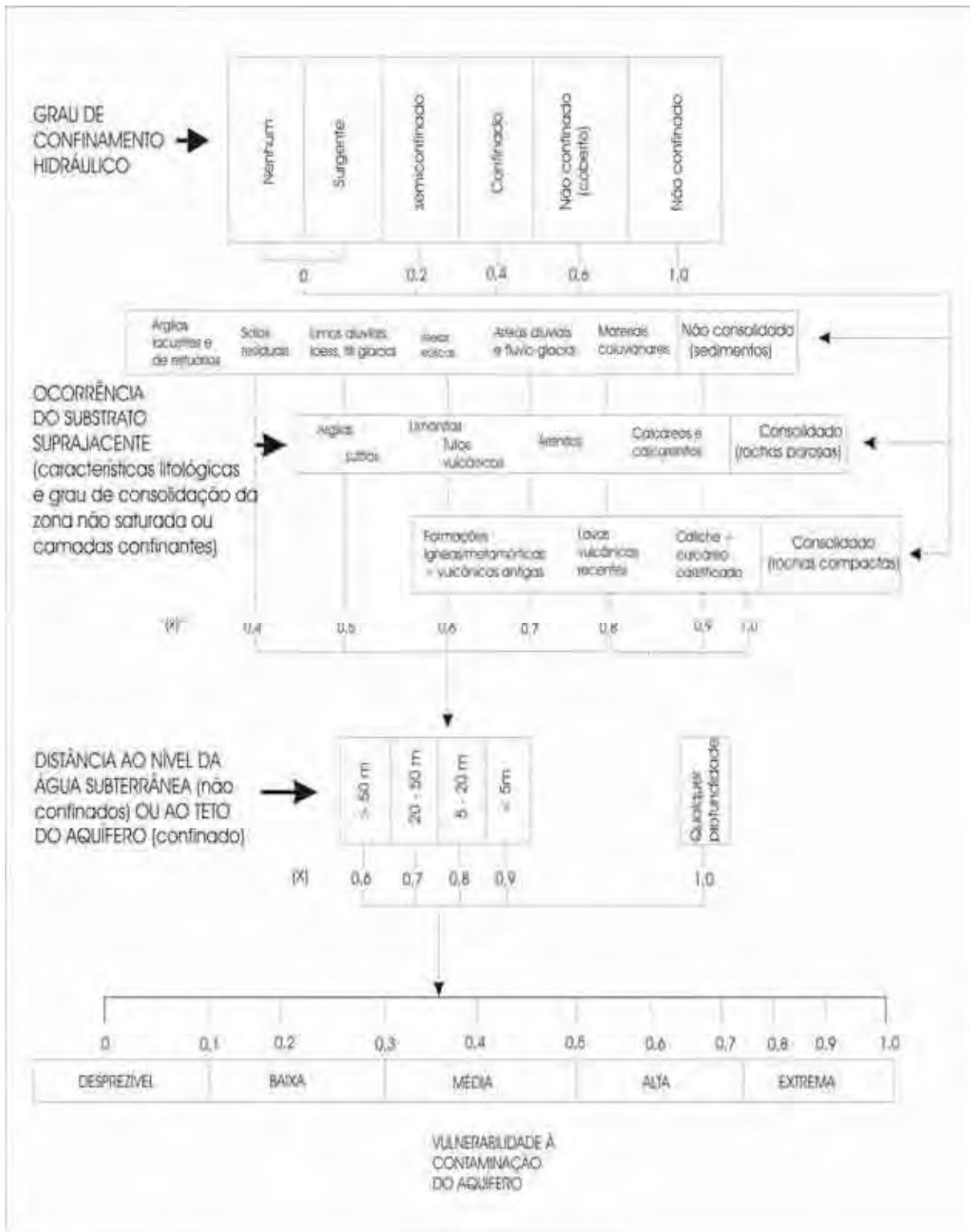
- 1) identificar o grau de confinamento hidráulico do aquífero e atribuir um índice a este parâmetro em uma escala de 0,0 a 1,0;
- 2) especificar as características do substrato suprajacente à zona saturada do aquífero em termos de: (a) grau de consolidação (levando em conta a provável

presença ou ausência de permeabilidade por fissuras) e (b) tipo de litologia (considerando indiretamente a porosidade efetiva, permeabilidade da matriz e conteúdo de umidade na zona não saturada ou retenção específica) e assinalar um índice a este parâmetro na escala de 0,4 a 1,0;

- 3) estimar a distância ou profundidade até o nível da água (em aquíferos não confinados) ou profundidade até o teto do primeiro aquífero confinado, com um índice variando de 0,6 a 1,0.

O índice final integrado de vulnerabilidade de aquíferos “GOD” é o produto dos índices obtidos para cada um destes parâmetros (Figura 24 e Tabela 9).

Com base na metodologia “GOD”, elaborou-se a carta de vulnerabilidade à contaminação de aquíferos para Araguaína e seu entorno (Figura 25), havendo predomínio da classe de vulnerabilidade “baixa”.



**Figura 24.** Metodologia “GOD” para a avaliação de vulnerabilidade à contaminação da água subterrânea. Fonte: FOSTER E HIRATA (1988)

Poço profundo	Grau de confinamento hidráulico	Índice “A”	Substrato Suprajacente (características litológicas e grau de consolidação da zona não saturada ou camadas confinantes)	Índice “B”	Distância ao nível da água subterrânea (não confinados) ou ao teto do aquífero (confinado)	Índice “C”	Produto final (A x B x C)	Classe de vulnerabilidade à contaminação do aquífero
<b>PTP 01</b>	Confinado (artesiano)	0,4	Argilito	0,5	45,0 m	0,7	0,14	baixa
<b>PTP 02</b>	Confinado	0,4	Argilito	0,5	35,0 m	0,7	0,14	baixa
<b>PTP 06</b>	Confinado	0,4	Argilito	0,5	21,0 m	0,7	0,14	baixa
<b>PTP 07</b>	Confinado	0,4	Basalto	0,6	62,0 m	0,6	0,14	baixa
<b>PTP 10</b>	Confinado	0,4	Basalto	0,6	62,0 m	0,6	0,14	baixa
<b>PTP 12</b>	Não confinado	0,6	Solo residual (latossolo)	0,4	3,0 m	0,9	0,21	baixa
<b>PTP 13</b>	Não confinado	0,6	Solo residual (latossolo)	0,4	2,0 m	0,9	0,21	baixa
<b>PTP 14</b>	Confinado	0,4	Basalto	0,6	41,0 m	0,7	0,16	baixa
<b>PTP 16</b>	Confinado	0,4	Basalto	0,6	33,0 m	0,7	0,16	baixa
<b>PTP 17</b>	Confinado	0,4	Basalto	0,6	55,0 m	0,6	0,14	baixa
<b>PTP 19</b>	Semiconfinado	0,2	Siltito	0,5	24,0 m	0,7	0,07	desprezível
<b>PTP 20</b>	Confinado	0,4	Basalto	0,6	128,0 m	0,6	0,14	baixa
<b>PTP 24</b>	Confinado	0,4	Basalto	0,6	62,0 m	0,6	0,14	baixa
<b>PTP 25</b>	Confinado	0,4	Basalto	0,6	85,0 m	0,6	0,14	baixa
<b>PTP 28</b>	Confinado	0,4	Basalto	0,6	96,0 m	0,6	0,14	baixa
<b>PTP 29</b>	Confinado	0,4	Basalto	0,6	140,0 m	0,6	0,14	baixa

Tabela 9. Aplicação da metodologia “GOD” para os poços profundos da área urbana de Araguaína



**Figura 25.** Carta de vulnerabilidade à contaminação da água subterrânea para Araguaína

#### 10.4 Caracterização geoquímica das águas subterrâneas de Araguaína

A qualidade da água subterrânea é tão importante quanto o aspecto quantitativo. A disponibilidade dos recursos hídricos subterrâneos para determinados tipos de uso depende fundamentalmente da qualidade físico-química, biológica e radiológica.

O estudo hidrogeoquímico tem por finalidade identificar e quantificar as principais propriedades e constituintes químicos das águas subterrâneas. O conjunto de todos os elementos que a constituem, permite estabelecer padrões de qualidade, classificando-a assim de acordo com seus limites estudados e seus diferentes usos.

Os processos e fatores que influem na evolução da qualidade das águas subterrâneas podem ser intrínsecos ou extrínsecos ao aquífero.

A água é uma substância quimicamente muito ativa, com grande capacidade de dissolver e reagir com outras substâncias orgânicas ou inorgânicas. As substâncias dissolvidas podem estar sob a forma molecular ou iônica, sendo esta última predominante.

A água subterrânea ao lixiviar os solos e rochas, enriquece-se em sais minerais em solução provenientes da dissolução de seus minerais. Estas reações são favorecidas pelas baixas velocidades de circulação das águas subterrâneas, maiores pressões e temperaturas a que estão submetidas e facilidade de dissolver  $\text{CO}_2$  ao percolar o solo não saturado. Por estas razões, as águas subterrâneas têm concentrações de sais superiores às águas continentais de superfície.

Nas Tabelas 10 e 11 são apresentadas algumas propriedades físico-químicas e as concentrações dos principais cátions e ânions presentes nas águas dos poços profundos de Araguaína, assim como os principais constituintes secundários respectivamente.

**Tabela 10.** Propriedades físico-químicas e principais cátions e ânions das águas dos poços profundos de Araguaína

POÇO	T (°C)	pH	TURB.	TDS	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
PTP 01	28,0	6,8	0,23	130,073	1,19	5,30	13,09	5,01	45,00	8,00	52,00	1,30
PTP 02	27,0	6,1	0,17	162,022	3,37	0,88	15,41	10,37	65,00	0,00	66,00	3,20
PTP 03	29,0	6,2	0,59	85,026	1,95	1,49	9,91	3,85	25,00	9,00	36,00	1,30
PTP 06	28,0	5,5	0,12	60,016	1,31	0,22	3,81	2,25	45,00	0,00	8,00	1,20
PTP 07	28,0	4,9	0,12	58,019	0,48	0,12	0,36	0,05	35,00	0,00	22,00	1,40
PTP 09	29,0	6,3	0,14	75,005	2,71	0,67	9,04	5,81	16,00	1,00	38,00	3,60
PTP 10	28,0	7,2	0,15	44,015	0,97	0,19	1,81	1,18	20,00	0,00	18,00	3,00
PTP 12	27,0	6,0	0,15	60,0	2,06	0,57	7,40	4,24	10,00	1,00	34,00	1,80
PTP 13	27,0	5,9	0,15	102,019	3,34	1,08	9,79	5,10	10,00	1,00	40,00	1,50
PTP 14	27,0	5,8	0,15	51,057	3,22	0,53	5,89	3,73	10,00	1,00	24,00	2,70
PTP 16	29,0	5,5	0,18	41,005	0,72	0,51	2,85	1,27	10,00	1,00	20,00	1,60
PTP 17	29,0	6,0	0,56	45,00	1,32	0,69	5,06	2,27	12,00	1,00	22,00	1,90
PTP 18	28,0	7,2	0,15	95,00	2,23	1,05	14,02	5,75	20,00	1,00	48,00	3,00
PTP 20	29,0	5,4	0,18	34,024	0,90	0,47	3,47	1,62	12,00	1,00	16,00	1,50
PTP 23	29,0	5,0	0,33	34,071	0,46	0,13	0,00	0,00	10,00	2,00	21,00	1,30
PTP 25	30,0	5,8	0,16	54,030	2,26	3,13	5,43	2,18	20,00	3,00	18,00	1,20
PTP 28	31,0	5,9	0,16	71,029	2,34	3,23	5,39	2,15	20,00	8,00	30,00	1,10
PTP 29	30,0	5,2	0,15	24,027	0,71	0,41	1,69	1,01	8,00	1,00	8,00	1,00

Obs.: concentração de cátions, ânions e TDS (Sólidos Totais Dissolvidos) em mg/L.

**Tabela II.** Principais elementos químicos encontrados nas águas de poços profundos de Aquinã

<b>Roo</b>	<b>A</b>	<b>As</b>	<b>Ba</b>	<b>Be</b>	<b>Cl</b>	<b>Co</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Li</b>	<b>Mn</b>	<b>N</b>	<b>Se</b>	<b>Sr</b>	<b>V</b>	<b>Zn</b>
PIP01	267	<1Q	160	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	166	574	238	<1Q	<1Q	690	<1Q	730
PIP02	<1Q	<1Q	1300	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	1,9	<1Q	<1Q	<1Q	570	703	212
PIP03	<1Q	<1Q	3120	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	5130	<1Q	2580
PIP06	<1Q	<1Q	1622	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	106	<1Q	<1Q	<1Q	1227	<1Q	159
PIP07	<1Q	<1Q	991	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	11,71	<1Q	1221	<1Q	<1Q	131	<1Q	1879
PIP09	<1Q	<1Q	380	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	309	<1Q	532
PIP10	<1Q	<1Q	433	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	731	106	1586	<1Q	<1Q	78	<1Q	150
PIP12	<1Q	<1Q	1236	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	3739	<1Q	<1Q	223	<1Q	236
PIP13	<1Q	<1Q	389	<1Q	<1Q	103	<1Q	<1Q	<1Q	1,45	13700	<1Q	<1Q	379	<1Q	192
PIP14	456	<1Q	235	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	1577	103	1302	<1Q	<1Q	1831	<1Q	1191
PIP16	<1Q	<1Q	2611	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	098	<1Q	<1Q	<1Q	925	<1Q	56
PIP17	<1Q	<1Q	252	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	523	<1Q	<1Q	1387	934	<1Q
PIP18	<1Q	<1Q	335	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	304	873	265
PIP20	180	<1Q	239	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	193	<1Q	<1Q	951	<1Q	591
PIP23	<1Q	<1Q	609	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	895	<1Q	236	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	709
PIP25	122	<1Q	2510	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	1,15	<1Q	<1Q	<1Q	368	<1Q	1844
PIP28	1236	<1Q	242	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	1,12	<1Q	<1Q	<1Q	366	<1Q	1773
PIP29	<1Q	<1Q	2134	<1Q	<1Q	<1Q	<1Q	1032	1121	1,08	216	<1Q	<1Q	723	<1Q	1620

Obs: concentração de elementos em µg/L

1Q - limite de qualificação de Equipamento

Analisando os dados físico-químicos e químicos apresentados nas Tabelas 10 e 11, conclui-se que as águas dos poços profundos que abastecem Araguaína possuem temperatura média de 28,5° C, sendo que a menor temperatura é de 27° C e a maior de 31° C, conforme pode ser observado na tabela 9 que representa os poços tubulares profundos (Poço PTP 28 – Setor Céu Azul). Quanto aos valores de turbidez<sup>11</sup> e TDS<sup>12</sup>, as águas apresentam baixos valores, todos inferiores ao limite máximo estabelecido pela Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde que regula os padrões de potabilidade de águas para consumo humano.

Em relação ao pH, que é a medida da concentração hidrogeniônica da água, sendo controlado pelas concentrações do gás carbônico dissolvido e da alcalinidade<sup>13</sup> da água, há predomínio de águas ácidas (pH inferior a 7,0), exceto as águas dos poços PTP's 10 e 18 (Setor Barros) que, com valor de pH 7,2 são consideradas neutras.

Do ponto de vista da qualidade bacteriológica, em nenhum dos poços profundos foi constatada a presença de coliformes totais e fecais.

Após a transformação das concentrações dos principais cátions e ânions de mg/L (miligramas/litro) para meq/L (miliequivalente/litro), as concentrações iônicas de cada uma das amostras de água dos poços profundos foram tratadas no programa “AQUACHEM 4.0” e, a partir deste, gerou-se o Diagrama de Piper.

O Diagrama de Piper é utilizado quando se trabalha com grande número de análises químicas de água, servindo para classificar e comparar os distintos grupos de águas quanto aos íons dominantes, em cálcica, cloretada, bicarbonata, sódica, magnésiana, sulfatada ou mista (Figura 26).

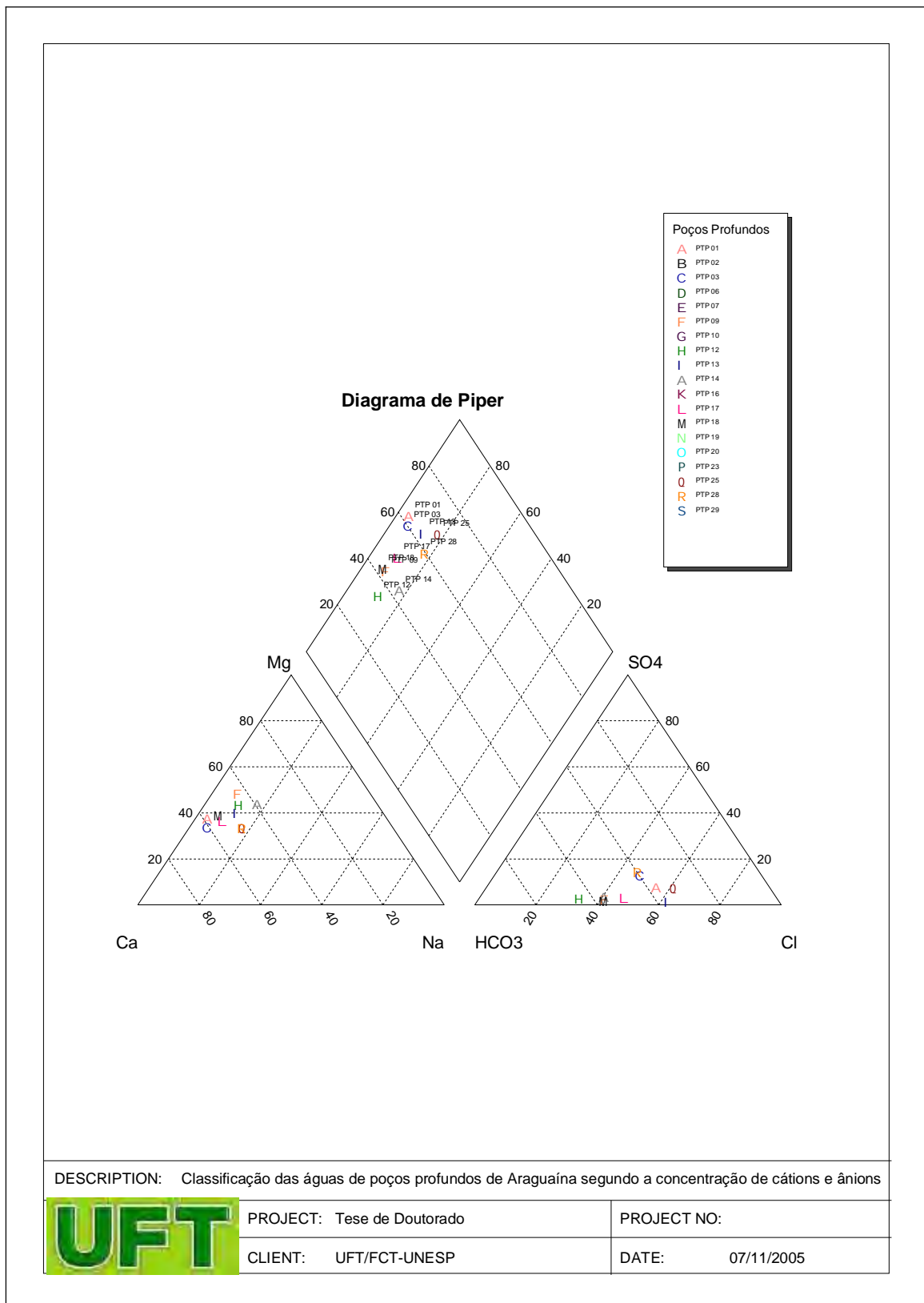
---

<sup>11</sup> Turbidez é a dificuldade da água para transmitir a luz, provocada pelos sólidos em suspensão que podem sujar a água, dificultando a passagem da luz.

<sup>12</sup> TDS: Sólidos Totais Dissolvidos

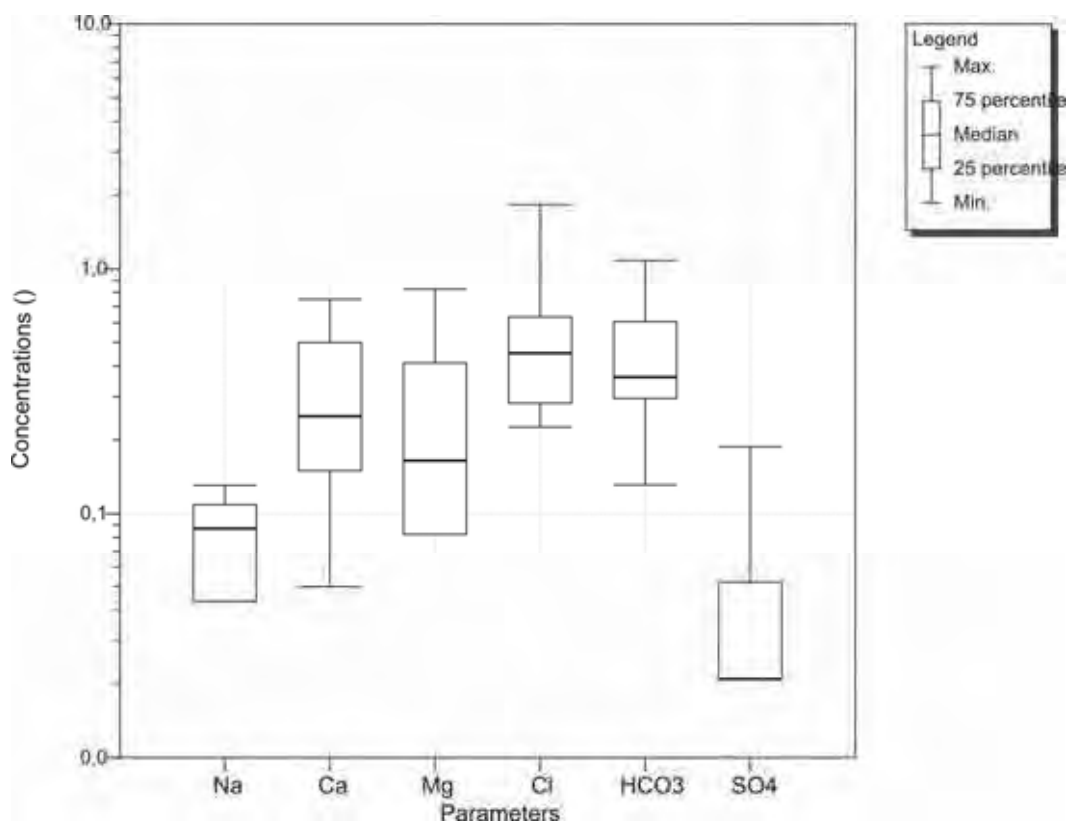
<sup>13</sup> Alcalinidade é definida como a capacidade de uma água neutralizar ácidos, sendo uma consequência direta da presença/ausência de carbonatos e bicarbonatos.





**Figura 27.** Diagrama de Piper para as águas subterrâneas de Araguaína.

Na Figura 28 estão representados os principais constituintes iônicos das águas subterrâneas captadas nos poços profundos distribuídos pela área urbana de Araguaína.



**Figura 28.** Concentração dos principais constituintes iônicos das águas subterrâneas de Araguaína

Os valores para as concentrações dos principais cátions e ânions são em geral muito baixos, em comparação com os teores mais comuns para águas subterrâneas no Brasil e no mundo (SZKAY, 1993). O arenito da Formação Sambaíba (aquífero) é muito poroso, com poucos clastos de líticos, poucos piroxênios, pouco cimento, principalmente o carbonático (pH baixo) e de óxidos e hidróxidos de ferro (apesar de ambiente deposicional desértico) e de recarga relativamente próxima.

Num primeiro exame, verifica-se um determinado grau de proporcionalidade entre o teor de Ca e pH, significando pouco cimento e talvez baixa contribuição das rochas basálticas.

Quanto à potabilidade das águas subterrâneas fornecidas à população de Araguaína, os dados referentes aos principais parâmetros estão muito abaixo dos VMP adotados oficialmente no país.

Especificamente no tocante ao  $\text{NO}_3^-$  (nitrato), que é um ânion muito móvel e que pode ser removido com facilidade das camadas superiores do solo para a zona saturada (BOWER, 1978) e que representa o estágio final da oxidação da matéria orgânica, teores acima de 22,15 mg/L ou 5,0 mg/L em parâmetro de N nítrico já indicam contaminação antropogênica da água subterrânea.

O manganês assemelha-se ao ferro quimicamente e ocorre principalmente sob a forma de  $\text{Mn}^{2+}$ , podendo também ocorrer sob a forma de  $\text{Mn}^{3+}$  (MATHESS, 1982). O manganês, no estado  $\text{Mn}^{2+}$ , é instável na presença do ar, mudando para o estado  $\text{MnO}_2$  quando a água que o contém é exposta ao ar, pois se oxida facilmente. O bicarbonato manganoso decompõe-se da mesma forma que o bicarbonato ferroso, deixando a água sob a forma de um depósito de cor negra e de aspecto fuliginoso, ao desprender-se o gás carbônico. Este aspecto fuliginoso tem sido observado pelos consumidores em suas residências, com a precipitação de particulados de coloração negra nos reservatórios (caixas d'água) e piscinas.

Para as águas captadas nos poços profundos de Araguaína, os valores estão muito abaixo desses referidos acima, conforme se evidencia na Tabela 10. Se, em determinado estágio de desenvolvimento da cidade, forem atingidos esses valores sintomáticos, deve ser atribuída a contaminação à existência generalizada de fossas, com a infiltração desse esgotamento sanitário “*in situ*”, gerando um volume diário de 20.320.000 l/dia ( $127.000 \times 200$ )  $\times$  0,8, conforme dados estatísticos apresentados por Azevedo Neto *et al* (1998).

A disposição de dejetos humanos “*in situ*” é um meio efetivamente favorável à geração de nitrato em nível comprometedor para a saúde humana (ZILBERBRAND *et al*, 2001).

De acordo com as normas vigentes no Brasil, o limite máximo permitido para a concentração de nitrato para águas de consumo humano é de 44,30 mg/L ou 10,0 mg/L em parâmetros de N nítrico. Portanto, as concentrações de nitrato na água subterrânea de Araguaína atendem às normas vigentes no país com referência aos padrões de potabilidade da água.

Quanto às concentrações dos elementos químicos secundários presentes nas águas subterrâneas de Araguaína, conforme valores apresentados na Tabela 11 observam-se uma concentração anômala de manganês (Mn) nas águas dos poços PTP 13 e PTP 12 (localizados junto ao Centro de Produção I), cuja concentração é de 1.357,0 µg/L (equivalente a 1,357 mg/L) e 373,9 µg/L (equivalente a 0,373 mg/L) respectivamente. O limite máximo permitido pelas normas e padrões de potabilidade para as concentrações de manganês em águas para consumo humano é de 0,1 mg/L. Portanto, estes dois poços, tem suas águas em desacordo com a Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde.

A origem das concentrações elevadas de manganês nos poços PTPs 12 e 13 provavelmente está associada à variações faciológicas locais dentro do pacote de arenitos da Formação Sambaíba, que por sua vez estão relacionadas à mudanças nas condições paleodeposicionais.. Com o bombeamento da água nestes poços, houve um incremento na velocidade de circulação da água neste meio poroso (arenitos) fazendo com que o manganês presente neste local migrasse com maior facilidade.

Em relação aos demais elementos químicos considerados secundários, destaca-se a presença de Bário (Ba) e Estrôncio (Sr) em amostras de água de todos os poços, alumínio (Al), lítio (Li), zinco (Zn), ferro (Fe), vanádio (V), cobalto (Co) apenas em um poço, manganês (Mn) e ausência de elementos tóxicos e carcinogênicos como arsênio (As), cádmio (Cd), chumbo (Pb) e níquel (Ni).

## 11. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Após tabulação, tratamento e interpretação dos dados levantados nesta pesquisa, percebe-se que, do ponto de vista da qualidade das águas subterrâneas de Araguaína, o processo de expansão urbana experimentado pela cidade nos últimos anos, pouco ou quase nada afetou a qualidade dos mananciais subterrâneos, exceto o aquífero freático que se encontra comprometido na área urbana.

Há predomínio de águas de natureza bicarbonata-cálcica-magnésiana e cloretada-cálcica-magnésiana.

A ausência de redes coletoras e estações de tratamento de esgotos, fazendo com que a população se utilize de sistemas individuais de esgotamento (fossas, valas, privadas, sumidouros e tanques sépticos), não comprometeu a qualidade da água subterrânea captada em poços profundos que é distribuída à população.

Isso se deve à eficiência na retenção e na atenuação da carga contaminante exercida pelos perfis de solo e rocha que protegem o aquífero principal, constituindo-se em barreira natural aos elementos químicos e compostos orgânicos que podem impactar negativamente a qualidade destas águas. Esta conclusão baseia-se nas concentrações de determinados elementos químicos presentes na água.

Em nenhum dos poços que tiveram suas águas analisadas foi constatada a presença de bactérias do grupo dos coliformes. O teor de nitrato, que é um indicador muito utilizado para detectar contaminação de origem antrópica, está abaixo do teor máximo permitido pela Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde (anexo).

As concentrações anômalas de manganês nos poços PTP 12 e PTP 13 são de origem natural, ou seja, fazem parte do aquífero, sugerindo-se a desativação dos mesmos, ou que se desenvolva algum processo químico que promova a remoção do manganês antes de chegar à

rede de distribuição. Os demais elementos químicos presentes estão em concentrações normais, não afetando a qualidade destas águas.

Uma observação importante diz respeito aos valores de pH das águas subterrâneas de Araguaína. Exceto os dois poços profundos localizados no Setor Barros (PTP's 10 e 18), cujas águas são neutras, os demais poços possuem águas ácidas. A acidez das águas subterrâneas está associada à combinação da presença de gás carbônico, carbonato e bicarbonato.

Quanto à aplicação da metodologia "GOD" para a avaliação da vulnerabilidade de aquíferos, esta mostrou-se válida para Araguaína. Predominam na cidade áreas de vulnerabilidade desprezível a baixa. Este aspecto se confirma pela qualidade das águas subterrâneas, não sendo detectado nenhum elemento que possa indicar contaminação de origem antrópica. Portanto, do ponto de vista hidrogeológico, o aquífero que abastece a cidade possui uma proteção natural eficaz.

Importante frisar que esta proteção, embora eficaz até o presente momento, pode com o tempo perder sua eficácia. Isso acontece porque determinados elementos químicos possuem alta mobilidade e são persistentes, podendo chegar ao aquífero com o passar dos anos.

Em relação às áreas de recarga direta do aquífero, elas se concentram nas porções norte, leste e sul da área urbana. O DAIARA – Distrito Agroindustrial de Araguaína está localizado na porção sul da cidade. Portanto, em área de recarga direta do aquífero. Nesta condição, cuidados devem ser tomados em relação à disposição de efluentes industriais e resíduos sólidos na região.

O alto potencial das reservas, a qualidade das águas captadas e o custo relativamente baixo de seu tratamento demonstram uma condição de garantia apreciável de recursos hídricos viáveis e adequados para o abastecimento da cidade.

A preocupação com a proteção dos aquíferos deve ser uma questão de amplo debate pela sociedade, com envolvimento de todos os atores sociais. Não basta apenas termos acesso à água em quantidade, mas também à qualidade.

Para proteger os aquíferos contra a contaminação é necessário restringir as práticas atuais e futuras de uso do território, descargas de efluentes e deposição de resíduos. É possível manejar o território a serviço dos interesses da captação de água subterrânea.

O caminho mais racional é a definição de estratégias de proteção das águas subterrâneas que garantam um equilíbrio entre os diversos interesses em jogo.

No lugar de se aplicar controles universais sobre os usos do território e da descarga de efluentes no solo, seria mais interessante e menos prejudicial ao desenvolvimento econômico, definir o nível de controle necessário para proteger a qualidade da água subterrânea segundo a capacidade natural do subsolo de atenuar os contaminantes. Deve-se estabelecer zonas (baseadas na vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos e os perímetros de proteção das fontes), com matrizes que indiquem quais e onde as atividades são possíveis com um risco aceitável para as águas subterrâneas.

Alguns setores poderão argumentar que as condições hidrogeológicas são tão complexas em seus detalhes que nenhum esquema de zoneamento poderá englobá-las. Existem, no entanto, as seguintes justificativas a favor do ordenamento territorial como marco geral para o desenvolvimento e implementação de políticas de proteção das águas subterrâneas:

- de todas as maneiras tomar-se-ão decisões que poderão afetar as águas subterrâneas, e se os planejadores possuírem um zoneamento, isso significará em grau menor (e não maior) de consulta às pessoas preocupadas com os recursos hídricos;

- seria irreal pensar numa proteção exclusiva de toda a água subterrânea, portanto, é importante contar com uma estratégia de zoneamento para assegurar o equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e a proteção dos aquíferos de forma objetiva.

O zoneamento do terreno para a proteção das águas subterrâneas incorpora também um papel chave na fixação de prioridades para o monitoramento da qualidade destas águas, para a auditoria ambiental de instalações industriais, com recomendações que podem ser feitas à agricultura para sua contribuição ao controle da contaminação e para a educação pública de maneira geral. Todas estas atividades são componentes essenciais de uma estratégia global para a proteção da qualidade das águas subterrâneas.

Quem deveria promover a proteção à contaminação da água subterrânea?

Dada a responsabilidade que tem as empresas de serviços de água de cumprir com as normas de engenharia e padrões de qualidade, elas têm a obrigação de serem pró-ativas na realização e promoção de avaliações do perigo de contaminação de todas suas fontes de águas subterrâneas. Isso proporcionará uma base sólida para promover, frente às agências reguladoras ambientais e demais atores ligados aos recursos hídricos, que se tomem medidas de proteção onde elas sejam necessárias.

Foster *et al* (2002) propõem uma metodologia para o manejo dos recursos hídricos subterrâneos (Figura 29), defendendo que os procedimentos para a avaliação dos perigos de contaminação da água subterrânea apresentados constituem um eficaz veículo para iniciar a participação dos grupos interessados (incluindo os interesses dos usuários e dos potenciais contaminadores da água subterrânea).



**Figura 29.** Esquema geral de manejo de recursos hídricos subterrâneos.

Os limites da área de investigação devem definir-se com uma base física para que incluam a totalidade de um aquífero ou de uma sub-bacia de água subterrânea, de tal forma a incluir sempre a provável área de recarga do sistema sob consideração. O procedimento proposto é complementar com outras ações de investigação, avaliação e gestão em matéria de águas subterrâneas.

A metodologia proposta por Foster *et al* (1998) pode ser uma ferramenta útil no que diz respeito à gestão dos recursos hídricos subterrâneos. Importante lembrar que os aquíferos, uma vez comprometidos em termos de qualidade, dificilmente são recuperados.

Portanto, é necessário que as discussões a respeito da preservação da qualidade dos mananciais subterrâneos façam parte de uma agenda mais ampla, envolvendo o maior número possível de segmentos da sociedade.

Não menos importante, principalmente para o caso de cidades que tem na água subterrânea sua única, como é o caso de Araguaína, ou principal fonte de abastecimento, que os planejadores municipais estejam atentos aos possíveis conflitos que possam surgir da relação entre a expansão urbana x proteção dos recursos hídricos.

Esta pesquisa, inovadora no tocante à sua aplicação no Estado Tocantins, possibilitou o traçado de um retrato da qualidade das águas subterrâneas de Araguaína e constitui-se em exemplo a ser seguido para uma avaliação necessária em outros municípios importantes do Estado do Tocantins, no que se refere à qualidade das águas fornecidas à população, em especial as subterrâneas.

Com esta tese, fica a expectativa de que a mesma possa contribuir para uma questão de fundamental importância que é a busca pela melhoria da qualidade de vida da população araguainense. E para que esta busca seja exitosa, é necessário que a sociedade se antecipe e perceba com mais clareza os possíveis cenários futuros que possam surgir motivados pela falta de informação, conhecimento, visão e planejamento.

Para Araguaína, a água subterrânea é um recurso natural de fundamental importância e que, portanto, deve ser tratada como um bem coletivo onde a preservação de sua qualidade estará diretamente ligada à saúde de toda a população.

## 12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- . AGUIAR, G. A. Semi-detralhe da região sudoeste de Balsas. Rio de Janeiro, PETROBRÁS, 1964. 40 p. (Relatório Técnico, 218).
- . AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19 th. Edition. New York: APHA, 1995.
- . AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNANDEZ & FERNANDEZ, M.; ARAÚJO, R.; ITO, A. Manual de hidráulica. 8º ed. São Paulo: Edgar Blucher Ltda., 1998, 669 p.
- . BORGHETTI, N. R.B.; BORGHETTI, J.R.; ROSA FILHO, E.F. Aquífero Guarani: a verdadeira integração dos países do Mercosul. Curitiba, 2004. 214p.
- . BOVOLATO, L.E. Avaliação das condições sanitárias das águas de poços rasos da área urbana de Araguaína e suas possíveis relações com o atual quadro de saúde pública. Dissertação de Mestrado. Unesp. Presidente Prudente, 1998.
- . BOVOLATO, L. E. Estudo de vulnerabilidade à contaminação de águas subterrâneas utilizando a metodologia “GOD” para a área urbana de Araguaína/TO. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 16., 2005, João Pessoa. Anais ... João Pessoa: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.
- . BOWER, H. Groundwater hidrology. New York: McGraw-Hill Book Company, 480 p. 1978.
- . BRANCO, S. M. Considerações sobre a nova legislação brasileira de qualidade de águas. In: Revista DAE, 49 (157): 185-187, 1989.
- . BROWN, R. B. Soils and septic systems. Fact sheet SL-118. University of Florida Cooperative Extension Service. 1998.
- . BURT, T. P.; TRUDGILL, S. T. Nitrogen in groundwater. In: BURT, T. P.; HEATHWAITE, A. L.; TRUDGILL, S. T. (eds.). Nitrate: processes, patterns and management. Chischester, UK: John Wiley and Sons, 1993, p. 213-238.
- . CARLSON, R. Silent spring. Boston: Houghton Mifflin, 1962.

- . CLARKE, R.; LAWRENCE, A. R. e FOSTER, S. S. D. (1995). Groundwater – a threatened resource. UNEP Environmental Library, 15.
- . COHEN, P. Groundwater development in the United States of America. Int. Ass. Of Hydrogeologists, Memories of the 18 th Congress, Vol. XVIII, Part 1, 17-30 p, 1985.
- . COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. Água, qualidade, padrões de potabilidade e poluição. São Paulo, 1974.
- . CRISTOVÃO, D. A. Padrões bacteriológicos. In: Água, qualidade, padrões de potabilidade e poluição. São Paulo: CETESB, 1974. p. 57-119.
- . CUSTÓDIO, E., LLAMAS, M. R. Hidrologia subterrânea. 2. ed. Barcelona: Ediciones Omega, 1983.
- . DEL'ARCO, D. M. *et al.* Mapa geoambiental do Estado do Tocantins. Escala 1:1.000.000. In: Casseti, V. (coord.). Simpósio de Geografia Geografia Física Aplicada, 6, 1995, Goiânia. Anais, Editora Universidade Federal de Goiás.
- . DRANGERT, J. O. & CONIN, A. A. Use and abuse of the groundwater resource: Implications for a new management strategy. Hydrogeology Journal (2004) 12:94-102.
- . EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 1. ed. Rio de Janeiro, 1999. 412 p.
- . FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. M. (Coord.) Hidrogeologia: conceitos e aplicações. 2º ed. Recife: UFPE, 2000, 367 p.
- . FENZL, N. Introdução à hidrogeoquímica. Belém. Universidade Federal do Pará, 1986, 189 p.
- . FETTER, C. W. Applied hydrogeology. Second edition. Merrill Publishing. Columbus, 1988.
- . FETTER, C. W. Contaminant hydrogeology, 458 p. Macmillian, 1993.

- . FOSTER, S. *et al.* Protección de la calidad del agua subterránea. Word Bank. Washington, 2002.
- . FOSTER, S. *et al.* Groundwater in urban development. World Bank Technical Paper nº 390. Washington, D.C. 1998.
- . FOSTER, S. S. D. e HIRATA, R. C. A. Groundwater pollution risk evaluation: the methodology using available data. Lima: CEPIS/PAHO/WHO; 1988, 78 p.
- . FOSTER, S. S. D.; MORRIS, B. L.; LAWRENCE, A. R. e CHILTON, P. J. (1999). Groundwater impacts and issues in developing cities – an introductory review. In Proceedings of the IHA XXVII Congress “Groundwater in the urban environment”. Nottingham/Sept, 1999). II/IAH international contributions of hydrogeology (Vol. 21, pp. 3 – 18).
- . FOSTER, S.S.D.; VENTURA, M.; HIRATA, R. Contamination de las aguas subterráneas: un enfoque ejecutivo de la situación en América Latina y el Caribe en relación con el suministro de agua potable. Lima: CEPIS Technical Paper, 1987.
- . FREEZE, A. R.; CHERRY, J. A. Groundwater. New Jersey: Prentice Hall, 1979, 598 p.
- . GARDUNO, H. e ARREGUIN-CORTES. Efficient water use. UNESCO-ROSTLAC, 378 p. Mexico, 1994.
- . GODOY, M. C. T. F. de. Estudo hidrogeológico das zonas não saturada e saturada da Formação Adamantina, em Presidente Prudente, Estado de São Paulo. São Paulo, 1999. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- . GUNTHER, W. M. R. Área contaminada por disposição inadequada de resíduos industriais de galvanoplastia. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 20º, Anais...; 10 a 14 maio 1999; Rio de Janeiro (RJ). Rio de Janeiro: ABES. 1999. CD-ROOM.

- . HEBERMEHL, M.A. Groundwater in Australia. Intl. Ass. Of Hydrologists, Memories of the 18 th Congress, Vol. XVIII, Part 1, 31-52 p, 1985.
- . HERÔDOTOS. História. Tradução de Mário da Gama Kury. Brasília, Editora Universidade de Brasília, 1985
- . HESPANHOL, I. Esgotos como Recurso Hídrico – Parte I: Dimensões Políticas, Institucionais, Legais, Econômico-financeiras e Sócio-culturais. In: Engenharia – Instituto de Engenharia de São Paulo, n. 523. São Paulo, 1997.
- . HIRATA, R. Recursos Hídricos. In: TEIXEIRA, W. et al (Org.). Decifrando a Terra. São Paulo. Editora Oficina de textos, 2003, 558 p.
- . HOGAN, D.J. e VIEIRA, P.F. (Org.). Dilemas sócio-ambientais e desenvolvimento sustentável. 2 ed. Campinas: Editora da Unicamp, 1995.
- . HOUNSLOW, A. W. Water quality data – analysis and interpretation. Lewis Publishers, 1995. Boca Ratons/USA.
- . IBAM. “Consulta Nacional sobre a Gestão do Saneamento e do Meio Ambiente Urbano”. Relatório Final. Seminário Nacional, Instituto Brasileiro de Administração Municipal, Centro de Estudos e Pesquisas Urbanas, Núcleo de Meio Ambiente, Brasília, 1994.
- . IBGE. Censo demográfico. Brasil. 2000.
- . IBGE. Atlas do Saneamento. CD Room. Rio de Janeiro, 2004.
- . LERNER, D. N. Groundwater recharge. A guide to understanding and estimating natural recharge. IAH Int. Contrib. Hydrogeology 8. Heinz Heise, Hannover, 345 p. 1997.
- . LIMA, A.F. A evolução dos métodos de tratamento de esgotos. Recife, Universidade do Recife. Tese de Livre-Docência apresentada à Escola de Engenharia, 1952.
- . MACFARLANE, D. S. *et al.* Migration of contaminants in groundwater at a landfill: a case study. Journal of Hidrology, v. 63, p. 1-29, 1983.

- . MAMEDE, L. *et al.* Projeto RADAMBRASIL, Levantamento de Recursos Naturais, Folha SC.22 Tocantins, Geomorfologia. Rio de Janeiro, MME/Secretaria Geral, 1981. v. 22, p. 197-248.
- . MARGAT, J. Consequences de L'Interdependance des eaux de surface et des eaux souterraines sur l'evolution des ressources en eau. UNESCO/PHI. Intl. Conf.: Water: A looming crisis. 85-89 p. 1998.
- . MATHESS, G. The properties of groundwater. New York, John Wiley & Sons. 1982. 406 p.
- . MELLO, N. A. de. Crescimento urbano e comprometimento ambiental. Geosul, Florianópolis, vol. 11 (21-22): 1000-103, 1, 2º semestre, 1996.
- . MESNER, J. C. & WOOLDRIGE, L. C. Estratigrafia das Bacias Sedimentares Paleozóica e Cretácea do Maranhão. Rio de Janeiro, PETROBRÁS, Boletim Técnico 7 (2): p. 137-164, Abr/Jun. 1964.
- . MINAYO, M. C.de S. e MIRANDA, A. C. (Org.). Saúde e ambiente sustentável: estreitando nós. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2002, 344 p.
- . MIGLIORINI, R. B. Cemitérios como fonte de poluição em aquíferos: estudo do Cemitério Vila Formosa na Bacia Sedimentar de São Paulo. 1994. Dissertação de Mestrado em Recursos Naturais e Hidrogeologia, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- . MORAES, A.C.R. Geografia: uma pequena história crítica, 3ª ed. São Paulo, Hucitec, 1984.
- . NOLAN, B. T. *et al.* Risk of nitrate in groundwater of the United States – a national perspective. Environmental Science and Technology, 31, August 1998, pp. 2229-2236.
- . NUNES, J. O. R. Uma contribuição metodológica ao estudo da dinâmica da paisagem aplicada a escolha de áreas para a construção de aterro sanitário em Presidente Prudente.

- Presidente Prudente. Tese de Doutorado em Geografia. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista. 2002.
- . OECD – Organization for Economic Cooperation and Development, Water Resource management: Integrated Policies. 200 p, 1989.
- . OLIVEIRA, J. B.; JACOMINE, P. K. T.; CAMARGO, M. N. Classes gerais de solos do Brasil. 2 ed. Jaboticabal, FUNEP, 1992. 201p.
- . PITTON, S. E. C. A água e a cidade. In: BRAGA, R. e CARVALHO, P. F. (Org.) Recursos hídricos e planejamento urbano e regional. Rio Claro: Laboratório de Planejamento Municipal/UNESP, 2003, 131p.
- . REBOUÇAS, A. C. Águas subterrâneas. In: REBOUÇAS, A. C. et al (Org.). Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. 2 ° ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2002. 702 p.
- . ROBERTSON, W. D. et al. Impact of a domestic system on an unconfined aquifer. Contaminant Transport in Groundwater. Symposium, Stuttgart, 4-6 April, 1989, p. 105-112.
- . ROCHA, P. C.; FERREIRA JUNIOR, P. D.; ALVES, J. M. de P. Caracterização de alguns fatores e elementos climáticos no município de Araguaína. In: \_\_\_\_\_. Congresso Científico da Universidade do Tocantins, 1, 1996, Palmas. Anais: Unitins, 1996, p. 227-8.
- . ROSS, J.L.S. Relevo Brasileiro: uma nova proposta de classificação. São Paulo: Revista do Departamento de Geografia FFLCH-USP, n. 4, 1985.
- . SAMYER, C. N.; Mc CARTY, P. L.; PARKIN, G. F. Chemistry for environment engineering. Mc Graw Hill. New York, 1994.
- . SANTOS, M. Por uma Geografia Nova. 4. ed. São Paulo: Hucitec, 1996. p. 203-12.
- . SILVA, L. J. O conceito de espaço na epidemiologia das doenças infecciosas. Cad. Saúde Pública, v. 13, n. 4, p. 585-593, out-dez, 1997.

- . SILVA, R. B. G. Águas subterrâneas: um valioso recurso que requer proteção. São Paulo, DAEE, 2004.
- . SILVA, R. W. S. & SÁ, J. H. da S. Feições geológicas e magnetométricas da região do Baixo Araguaia. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 1. Belém, Soc. Brás. Geol., 1982, Atas...p.259-269.
- . SORRE, M. Les fondements de la géographie humaine. Primeiro tomo: Les fondements biologiques (*Essai d'une écologie de l'homme*). 3<sup>a</sup> ed., revista e ampliada. Paris, Armand Colin, 1951.
- . STEVENSON, F. J.; WAGNER, G. H. Chemistry of nitrogen in soil. In: WILLRICH, T. L. & SMITH, G. E. (eds) Agricultural practices and quality, 3. ed. Cap. 8, p. 125-142. Ames, Iowa: The Iowa State University Press, 1970.
- . STUMM, W.; MORGAN, J. Aquatic chemistry: chemical equilibria and rates in natural waters, 3. ed. New York: John Wiley and Sons, 1996, 1021 p.
- . SZKSAY, M. Geoquímica das águas. Boletim IG-USP. Série Didática. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, nº 1, maio, 1985. 159 p.
- . THORNTWAITE, C. W. & MATHER, J. R. The water balance. Centertown, N.J. Laboratory of Climatology, 1985. 104p.
- . TOCANTINS. Secretaria de Planejamento e Meio Ambiente (SEPLAN). Projeto de Gestão Ambiental Integrada do Bico do Papagaio. Geomorfologia e Solos, Folha Araguaína SB-22-Z-D. Palmas, SEPLAN, 2002.
- . TODD, D. K. Hidrologia de águas subterrâneas. New York, Edgard Blucher, 1980. 319p.
- . WHO and UNICEF. Global water supply and sanitation assessment. Report. World Health Organisation, United Nations Children's Fund. 2000.
- . YATES, V. M. *et al.* Virus persistente in groundwater. Applied and Environmental Microbiology, April, 1984, p. 778-781.

- . ZILBERBRAND, M.; ROSENTHAL, E.; SHACHNAI, E. Impact of urbanization on hydrochemical evolution of groundwater and on unsaturated zone gas composition in the coastal city of Tel Aviv, Israel. Journal of Contaminant Hydrology. 50; 3-4: 175-208, 2001.

## **ANEXOS**

**MINISTÉRIO DA SAÚDE****GABINETE DO MINISTRO (\*)****PORTARIA Nº 518, DE 25 DE MARÇO DE 2004**

Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências.

O Ministro de Estado da Saúde, INTERINO, no uso das atribuições e considerando o disposto no Artigo 2º do Decreto nº 79.367, de 9 de março de 1977, resolve:

**Art. 1º** Aprovar a Norma de Qualidade da Água para Consumo Humano, na forma do Anexo desta Portaria, de uso obrigatório em todo território nacional.

**Art. 2º** Fica estabelecido o prazo máximo de 12 meses, contados a partir da publicação desta Portaria, para que as instituições ou órgãos ao qual esta Norma se aplica, promovam as adequações necessárias a seu cumprimento no que se refere ao tratamento por filtração de água para consumo humano suprida por manancial superficial e distribuída por meio de canalização e da obrigação do monitoramento de cianobactérias e cianotoxinas.

**Art. 3º** É de responsabilidade da União, dos Estados, Distrito Federal e dos Municípios a adoção das medidas necessárias para o fiel cumprimento desta Portaria.

**Art. 4º** O Ministério da Saúde promoverá, por intermédio da Secretaria de Vigilância em Saúde – SVS, a revisão da Norma de Qualidade da Água para Consumo Humano estabelecida nesta Portaria, no prazo de 5 anos ou a qualquer tempo, mediante solicitação devidamente justificada de órgãos governamentais ou não governamentais de reconhecida capacidade técnica nos setores objeto desta regulamentação.

**Art. 5º** Fica delegada competência ao Secretário de Vigilância em Saúde para editar, quando necessário, normas regulamentadoras desta Portaria.

**Art. 6º** Esta Portaria entra em vigor na data de sua publicação.

**Art. 7º** Fica revogada a Portaria nº 1.469, de 29 de dezembro de 2000, publicada no DOU nº 1, de janeiro de 2001, Seção 1, página 19.

GASTÃO WAGNER DE SOUSA CAMPOS

## ANEXO

### NORMA DE QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

#### Capítulo I

##### DAS DISPOSIÇÕES PRELIMINARES

**Art. 1º** Esta Norma dispõe sobre procedimentos e responsabilidades inerentes ao controle e, à vigilância da qualidade da água para consumo humano e dá outras providências.

**Art. 2º** Toda água destinada ao consumo humano deve obedecer ao padrão de potabilidade e está sujeita à vigilância da qualidade da água.

**Art. 3º** Esta Norma não se aplica às águas envasadas e a outras, cujos usos e padrões de qualidade são estabelecidos em legislação específica.

#### Capítulo II

##### DAS DEFINIÇÕES

**Art. 4º** Para os fins a que se destina esta Norma, são adotadas as seguintes definições:

- I. água potável – água para consumo humano cujos parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos atendam ao padrão de potabilidade e que não ofereça riscos à saúde;
- II. sistema de abastecimento de água para consumo humano – instalação composta por conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, destinada à produção e à distribuição canalizada de água potável para populações, sob a responsabilidade do poder público, mesmo que administrada em regime de concessão ou permissão;
- III. solução alternativa de abastecimento de água para consumo humano – toda modalidade de abastecimento coletivo de água distinta do sistema de abastecimento de água, incluindo, entre outras, fonte, poço comunitário, distribuição pr veículo transportador, instalações condominiais horizontal e vertical;

- IV. controle da qualidade da água para consumo humano – conjunto de atividades, exercidas de forma contínua pelos responsáveis pela operação de sistema ou solução alternativa de abastecimento de água, destinadas a verificar se a água fornecida à população é potável, assegurando a manutenção desta condição;
- V. vigilância da qualidade da água para consumo humano – conjunto de ações adotadas, continuamente pela autoridade de saúde pública para verificar se a água consumida pela população atende à esta Norma e para avaliar os riscos que os sistemas e as soluções alternativas de abastecimento de água representam para a saúde humana;
- VI. coliformes totais (bactérias do grupo coliforme) – bacilos gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, não formadores de esporos, oxidase-negativos, capazes de desenvolver na presença de sais biliares ou agentes tensoativos que fermentam a lactose com produção de ácido, gás e aldeído a  $35,0 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$  e 24 – 48 horas, e que podem apresentar atividade da enzima  $\beta$  – galactosidase. A maioria das bactérias do grupo *coliforme* pertence aos gêneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* e *Enterobacter*, embora vários outros gêneros e espécies pertençam ao grupo;
- VII. coliformes termo-tolerantes – subgrupo das bactérias do grupo coliforme que fermentam a lactose a  $44,5 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$  em 24 horas; tendo como principal representante a *Escherichia coli*, de origem exclusivamente fecal;
- VIII. *Escherichia Coli* – bactéria do grupo coliforme que fermenta a lactose e manitol, com produção de ácido e gás a  $44,5 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$  em 24 horas, produz indol a partir do triptofano, oxidase negativa, não hidroliza a uréia e apresenta atividade das enzimas  $\beta$  galactosidase e  $\beta$  glucoronidase, sendo considerada o mais específico indicador de contaminação fecal recente e de eventual presença de organismos patogênicos;

- IX. contagem de bactérias heterotróficas – determinação da densidade de bactérias que são capazes de produzir unidades formadoras de colônias (UFC), na presença de compostos orgânicos contidos em meio de cultura apropriada, sob condições pré-estabelecidas de incubação:  $35,0 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$  por 48 horas;
- X. cianobactérias – microorganismos procarióticos autotróficos, também denominados como cianofíceas (algas azuis), capazes de ocorrer em qualquer manancial superficial, especialmente naqueles com elevados níveis de nutrientes (nitrogênio e fósforo), podendo produzir toxinas com efeitos adversos à saúde; e
- XI. cianotoxinas – toxinas produzidas por cianobactérias que apresentam efeitos adversos à saúde por ingestão oral, incluindo:
- a) microcistinas – hepatotoxinas, heptapeptídicas cíclicas produzidas por cianobactérias, com efeito potente de inibição de proteínas fosfatases dos tipos 1 e 2<sup>a</sup> e promotoras de tumores;
  - b) cilindrospermopsina – alcalóide guanidínico produzido por cianobactérias, inibidor de síntese protéica, predominantemente hepatotóxico, apresentando também efeitos citotóxicos nos rins, baço, coração e outros órgãos; e
  - c) saxitoxinas – grupo de alcalóides carbamatos neurotóxicos produzido por cianobactérias, não sulfatados (saxitoxinas) ou sulfatados (goniautoxinas e C-toxinas) e derivados decarbamil, apresentando efeitos de inibição da condução nervosa por bloqueio dos canais de sódio.

### **Capítulo III**

#### **DOS DEVERES E DAS RESPONSABILIDADES**

##### **Seção I**

##### **Do Nível Federal**

**Art. 5º** São deveres e obrigações do Ministério da Saúde, por intermédio da Secretaria de Vigilância em Saúde – SVS:

- I. promover e acompanhar a vigilância da qualidade da água, em articulação com as Secretarias de Saúde dos Estados e do Distrito Federal e com os responsáveis pelo controle da qualidade da água, nos termos da legislação que regulamenta o SUS;
- II. estabelecer as referências laboratoriais nacionais e regionais, para dar suporte às ações de maior complexidade na vigilância da qualidade da água para consumo humano;
- III. aprovar e registrar metodologias não contempladas nas referências citadas no artigo 17 desta Norma;
- IV. definir diretrizes específicas para o estabelecimento de um plano de amostragem a ser implementado pelos Estados, Distrito Federal ou Municípios, no exercício das atividades de vigilância da qualidade da água, no âmbito do Sistema Único de Saúde – SUS; e
- V. executar ações de vigilância da qualidade da água, de forma complementar, em caráter excepcional, quando constatada, tecnicamente, insuficiência da ação estadual, nos termos da regulamentação do SUS.

## **Seção II**

### **Do Nível Estadual e Distrito Federal**

**Art. 6º** São deveres e obrigações das Secretarias de Saúde dos Estados e do Distrito Federal:

- I. promover e acompanhar a vigilância da qualidade da água em sua área de competência, em articulação com o nível municipal e os responsáveis pelo controle da qualidade da água, nos termos da legislação que regulamenta o SUS;
- II. garantir, nas atividades de vigilância da qualidade da água, a implementação de um plano de amostragem pelos municípios, observadas as diretrizes a serem elaboradas pela SVS/MS;

- III. estabelecer as referências laboratoriais estaduais e do Distrito Federal para dar suporte às ações de vigilância da qualidade da água para consumo humano; e
- IV. executar ações de vigilância da qualidade da água, de forma complementar, em caráter excepcional, quando constatada, tecnicamente, insuficiência da ação municipal, nos termos da regulamentação do SUS.

### **Seção III**

#### **Do Nível Municipal**

**Art.7º** São deveres e obrigações das Secretarias Municipais de Saúde:

- I. exercer a vigilância da qualidade da água em sua área de competência, em articulação com os responsáveis pelo controle da qualidade da água, de acordo com as diretrizes do SUS;
- II. sistematizar e interpretar os dados gerados pelo responsável pela operação do sistema ou, solução alternativa de abastecimento de água, assim como, pelos órgãos ambientais e gestores de recursos hídricos, em relação às características da água nos mananciais, sob a perspectiva da vulnerabilidade do abastecimento de água quanto aos riscos à saúde da população;
- III. estabelecer as referências laboratoriais municipais para dar suporte às ações de vigilância da qualidade da água para consumo humano;
- IV. efetuar, sistemática e permanentemente, avaliação de risco à saúde humana de cada sistema de abastecimento ou solução alternativa, por meio de informações sobre:
  - a) a ocupação da bacia contribuinte ao manancial e o histórico das características de suas águas;
  - b) as características físicas dos sistemas, práticas operacionais e de controle da qualidade da água;

- c) o histórico da qualidade da água produzida e distribuída; e
- d) a associação entre agravos à saúde e situações de vulnerabilidade do sistema.
  - V. auditar o controle da qualidade da água produzida e distribuída e as práticas operacionais adotadas;
  - VI. garantir à população informações sobre a qualidade da água e riscos à saúde associados, nos termos do inciso VI do artigo 9 desta Norma;
  - VII. manter registros atualizados sobre as características da água distribuída, sistematizados de forma compreensível à população e disponibilizados para pronto acesso e consulta pública;
  - VIII. manter mecanismos para recebimento de queixas referentes às características da água e para a adoção das providências pertinentes;
  - IX. informar ao responsável pelo fornecimento de água para consumo humano sobre anomalias e não conformidades detectadas, exigindo as providências para as correções que se fizerem necessárias;
  - X. aprovar o plano de amostragem, apresentado pelos responsáveis pelo controle da qualidade da água de sistema ou de solução alternativa de abastecimento de água, que se deve respeitar os planos mínimos de amostragem expressos nas Tabelas 6, 7, 8 e 9;
  - XI. implementar um plano próprio de amostragem de vigilância da qualidade da água, consoante com as diretrizes específicas elaboradas pelo SVS/MS; e
  - XII. definir o responsável pelo controle da qualidade da água de solução alternativa.

#### **Seção IV**

##### **Do Responsável pela Operação de Sistemas e/ou Solução Alternativa**

**Art. 8º** Cabe aos responsáveis pela operação de sistema ou solução alternativa de abastecimento de água exercer o controle da qualidade da água.

**Parágrafo único.** Em caso de administração, em regime de concessão ou permissão, do sistema de abastecimento de água, é a concessionária ou a permissionária a responsável pelo controle da qualidade da água;

**Art. 9º** Aos responsáveis pela operação de sistema de abastecimento de água incumbe:

- I. operar e manter sistema de abastecimento de água potável para a população consumidora em conformidade com as normas técnicas aplicáveis, publicadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT e com outras normas e legislações pertinentes;
- II. manter e controlar a qualidade da água produzida e distribuída por meio de:
  - a) controle operacional das unidades de captação, adução, tratamento, reservação e distribuição;
  - b) exigência do controle de qualidade por parte dos fabricantes de produtos químicos utilizados no tratamento da água e de materiais empregados na produção e distribuição que tenham contato com a água;
  - c) capacitação e atualização técnica dos profissionais encarregados da operação do sistema e do controle da qualidade da água; e
  - d) análises laboratoriais da água, em amostras provenientes das diversas partes que compõem o sistema de abastecimento.
- III. manter avaliação sistemática do sistema de abastecimento de água, sob a perspectiva dos riscos à saúde, com base na ocupação da bacia contribuinte ao manancial, no histórico das características de suas águas, nas características físicas do sistema, nas práticas operacionais e na qualidade da água distribuída;
- IV. encaminhar à autoridade de saúde pública, para fins de comprovação do atendimento a esta Norma, relatórios mensais com informações

sobre o controle da qualidade da água, segundo modelo estabelecido pela referida autoridade;

- V. promover, em conjunto com os órgãos ambientais e gestores de recursos hídricos, as ações cabíveis para a proteção do manancial de abastecimento e de sua bacia contribuinte, assim como efetuar controle das características das suas águas, nos termos do artigo 19 desta Norma, notificando imediatamente a autoridade pública sempre que houver indícios à saúde ou sempre que amostrar coletadas apresentarem resultados em desacordo com os limites ou condições da respectiva classe de enquadramento, conforme definido na legislação específica vigente;
- VI. fornecer a todos os consumidores, nos termos do Código de Defesa do Consumidor informações sobre a qualidade da água distribuída, mediante envio de relatório, dentre outros mecanismos, com periodicidade mínima anual e contendo, pelo menos as seguintes informações:
  - a) descrição dos mananciais de abastecimento incluindo informações sobre sua proteção, disponibilidade e qualidade da água;
  - b) estatística descritiva dos valores de parâmetros de qualidade detectados na água, seu significado, origem e efeitos sobre a saúde; e
  - c) ocorrência de não conformidades com o padrão de potabilidade e as medidas corretivas providenciadas.
- VII. manter registros atualizados sobre as características da água distribuída, sistematizados de forma compreensível aos consumidores e disponibilizados para pronto acesso e consulta pública;
- VIII. comunicar, imediatamente, à autoridade de saúde pública e informar, adequadamente à população a detecção de qualquer anomalia operacional no sistema ou não conformidade na qualidade da água tratada, identificada como de risco à saúde, adotando-se medidas previstas no artigo 29 desta Norma; e,

- IX. manter mecanismos para recebimento de queixas referentes às características da água e para a adoção de providências pertinentes.

**Art. 10º** Ao responsável por solução alternativa de abastecimento de água, nos termos do inciso XII do artigo 7 desta Norma, incumbe:

- I. requerer, junto à autoridade de saúde pública, autorização para o fornecimento de água apresentando laudo sobre a análise da água a ser fornecida, incluindo os parâmetros de qualidade previstos nesta Portaria, definidos por critério da referida autoridade;
- II. operar e manter solução alternativa que forneça água potável em conformidade com as normas técnicas aplicáveis, publicadas pela ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, e com outras normas e legislações pertinentes;
- III. manter e controlar a qualidade da água produzida e distribuída, por meio de análises laboratoriais, nos termos desta Portaria e, a critério da autoridade de saúde pública, de outras medidas conforme inciso II do artigo anterior;
- IV. encaminhar à autoridade de saúde pública, para fins de comprovação, relatórios com informações sobre o controle da qualidade da água, segundo modelo e periodicidade estabelecidos pela referida autoridade, sendo no mínimo trimestral;
- V. efetuar controle das características da água da fonte de abastecimento, nos termos do artigo 19 desta Norma, notificando, imediatamente, à autoridade de saúde pública sempre que houver indícios de risco à saúde ou sempre que amostras coletadas apresentarem resultados em desacordo com os limites ou condições da respectiva classe de enquadramento, conforme definido na legislação específica vigente;
- VI. manter registros atualizados sobre as características da água distribuída, sistematizados de forma compreensível aos consumidores e disponibilizados para pronto acesso e consulta pública;

- VII. comunicar, imediatamente à autoridade de saúde pública competente e informar, adequadamente, à população a detecção de qualquer anomalia identificada como de risco à saúde, adotando-se as medidas previstas no artigo 29; e,
- VIII. manter mecanismos para recebimento de queixas referentes às características da água e para a adoção das providências pertinentes.

#### Capítulo IV

### DO PADRÃO DE POTABILIDADE

**Art. 11º** A água potável deve estar em conformidade com o padrão microbiológico conforme a tabela I, a seguir:

**Tabela I.** Padrão microbiológico de potabilidade da água para consumo humano.

Parâmetro	VMP <sup>(1)</sup>
Água para consumo humano <sup>(2)</sup> <i>Escherichia coli</i> ou coliformes termotolerantes <sup>(3)</sup>	Ausência em 100 ml
Água na saída do tratamento	
Coliformes totais	Ausência em 100 ml
Água tratada no sistema de distribuição (reservatórios e rede)	
<i>Escherichia coli</i> ou coliformes termotolerantes <sup>(3)</sup>	Ausência em 100 ml
Coliformes totais	Sistemas que analisam 40 ou mais amostras por mês; Ausência em 100 ml em 95% das amostras examinadas por mês; Sistemas que analisam menos de 40 amostras por mês; Apenas uma amostra poderá apresentar mensalmente resultado positivo em 100 ml.

Notas:

- (1) Valor Máximo Permitido
- (2) Água para consumo humano em toda e qualquer situação, incluindo fontes individuais como poço, minas, nascentes, dentre outras.
- (3) A detecção de *Escherichia coli* deve ser preferencialmente adotada.

§ 1º No controle da qualidade da água, quando forem detectadas amostras com resultado positivo para coliformes totais, mesmo em ensaios presuntivos, novas amostras devem ser coletadas em dias imediatamente sucessivos até que novas amostras revelem resultados satisfatórios.

§ 2º Nos sistemas de distribuição, a recoleta deve incluir, no mínimo, três amostras simultâneas, sendo uma no mesmo ponto e duas outras localizadas a montante e a juzante.

§ 3º Amostras com resultados positivos para coliformes totais devem ser analisadas para *Escherichia coli* e, ou, coliformes termotolerantes, devendo neste caso, ser efetuada a verificação e confirmação dos resultados positivos.

§ 4º O percentual de amostras com resultado positivo de coliformes totais em relação ao total de amostras coletadas nos sistemas de distribuição deve ser calculado mensalmente, excluindo as amostras extras (recoleta).

§ 5º O resultado negativo para coliformes totais das amostras extras (recoleta) não anula o resultado originalmente positivo no cálculo dos percentuais de amostras com resultado positivo.

§ 6º Na proporção de amostras com resultado positivo admitidas mensalmente para coliformes totais no sistema de distribuição, expressa na Tabela I, não são tolerados resultados positivos que ocorra em recoleta, nos termos do § 1º deste artigo.

§ 7º Em 20% das amostras mensais para análise de coliformes totais no sistema de distribuição, deve ser efetuada a contagem de bactérias heterotróficas e uma vez excedidas 500 unidades formadoras de colônias (UFC) por ml, devem ser providenciadas imediata recoleta, inspeção local e, se constatada irregularidade, outras providências cabíveis.

§ 8º Em complementação, recomenda-se a inclusão de pesquisa de organismos patogênicos, com o objetivo de atingir como meta, um padrão de ausência dentre outros, de enterovírus, cistos de *Giardia sp* e oocistos de *Cryptosporidium sp*.

§ 9º Em amostras individuais procedentes de poços, fontes, nascentes e outras formas de abastecimento sem distribuição canalizada, tolera-se a presença de coliformes totais, na ausência de *Escherichia coli* e, ou, coliformes termotolerantes, nesta situação

devendo ser investigada a origem da ocorrência, tomadas providências imediatas de caráter corretivo e preventivo e realizada nova análise de coliformes.

**Art. 12º** Para a garantia da qualidade microbiológica da água, em complementação às exigências relativas aos indicadores microbiológicos, deve ser observado o padrão de turbidez expresso na Tabela 2, abaixo:

**Tabela 2.** Padrão de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção

TRATAMENTO DA ÁGUA	VMP <sup>(1)</sup>
Desinfecção (água subterrânea)	1,0 UT <sup>(2)</sup> em 95% das amostras
Filtração rápida (tratamento completo ou filtração direta)	1,0 UT
Filtração lenta	2,0 UT <sup>(2)</sup> em 95% das amostras

Notas: <sup>(1)</sup> valor máximo permitido

<sup>(2)</sup> Unidade de turbidez

§ 1º Entre os 5% dos valores permitidos de turbidez superiores aos VMP estabelecidos na tabela 2, o limite máximo para qualquer amostra pontual deve ser de 5,0 UT, assegurando, simultaneamente, o atendimento ao VMP de 5,0 UT em qualquer ponto da rede no sistema de distribuição.

§ 2º Com vistas a assegurar a adequada eficiência de remoção de enterovírus, cistos de *Giardia* spp e oocistos de *Cryptosporidium* sp., recomenda-se, enfaticamente, que, para a filtração rápida, se estabeleça como meta a obtenção de efluente filtrado com valores de turbidez inferiores a 0,5 UT em 95% dos dados mensais e nunca superiores a 5,0 UT.

§ 3º O atendimento ao percentual de aceitação do limite de turbidez, expresso na tabela 2, deve ser verificado, mensalmente, com base em amostras no mínimo diárias para desinfecção ou filtração lenta e a cada quatro horas para filtração rápida, preferivelmente, em qualquer caso, no efluente individual de cada unidade de filtração.

**Art. 13º.** Após a desinfecção, a água deve conter um teor mínimo de cloro residual livre de 0,5 mg/L, sendo obrigatória a manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L em qualquer ponto da rede de distribuição, recomendando-se que a cloração seja realizada em pH inferior a 8,0 e tempo de contato mínimo de 30 minutos.

**Parágrafo único.** Admite-se a utilização de outro agente desinfetante ou outra condição de operação do processo de desinfecção desde que fique demonstrado pelo responsável pelo sistema de tratamento uma eficiência de inativação microbiológica equivalente à obtida com a condição definida neste artigo.

**Art. 14º** A água potável deve estar em conformidade com o padrão de substâncias químicas que representam risco para a saúde expresso na Tabela 3, a seguir:

**Tabela 3.** Padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde.

PARÂMETRO	UNIDADE	VMP (1)
<b>INORGÂNICAS</b>		
Antimônio	mg/L	0,005
Arsênio	mg/L	0,01
Bário	mg/L	0,7
Cádmio	mg/L	0,005
Cianeto	mg/L	0,07
Chumbo	mg/L	0,01
Cobre	mg/L	2,0
Cromo	mg/L	0,05
Fluoreto	mg/L	1,5
Mercúrio	mg/L	0,001
Nitrato (como N)	mg/L	10,0
Nitrito (como N)	mg/L	1,0
Selênio	mg/L	0,001
<b>ORGÂNICAS</b>		
Acrilamida	µg/L	0,5
Benzeno	µg/L	5,0
Benzo(a)pireno	µg/L	0,7
Cloreto de vinila	µg/L	5,0
1,2 dicloroetano	µg/L	10,0
1,1 dicloroetano	µg/L	30,0
Diclorometano	µg/L	20,0
Estireno	µg/L	20,0
Tetracloroeto de carbono	µg/L	2,0
Tetracloroetano	µg/L	40,0
Triclorobenzenos	µg/L	20,0
Tricloroetano	µg/L	70,0
<b>AGROTÓXICOS</b>		
Alaclor	µg/L	20,0
Aldrin e Dieldrin	µg/L	0,03
Atrazina	µg/L	2,0
Bentazona	µg/L	300,0
Clordano (isômeros)	µg/L	0,2

2,4 D	µg/L	30,0
DDT (isômeros)	µg/L	2,0
Endossulfan	µg/L	20,0
Endrin	µg/L	0,6
Glifosata	µg/L	500,0
Heptacloro e Heptacloro epóxido	µg/L	0,03
Hexaclorobenzeno	µg/L	1,0
Lindano	µg/L	2,0
Metolacloro	µg/L	10,0
Metoxicloro	µg/L	20,0
Molinato	µg/L	6,0
Pendimetalina	µg/L	20,0
Pentaclorofenol	µg/L	9,0
Permetrina	µg/L	20,0
Propanil	µg/L	20,0
Simazina	µg/L	2,0
Trifluralina	µg/L	20,0
<b>CIANOTOXINAS</b>		
Microcistinas (3)		1,0
<b>DESINFETANTES E PRODUTOS SECUNDÁRIOS DA DESINFECÇÃO</b>		
Bromato	mg/L	0,025
Clorito	mg/L	0,2
Cloro livre (4)	mg/L	5,0
Monocloramina	mg/L	3,0
2,4,6 Triclorofenol	mg/L	0,2
Trihalometanos Total	mg/L	0,1

NOTAS: (1) Valor Máximo Permitido

(2) Os valores recomendados para a concentração de íon fluoreto devem observar a legislação específica vigente relativa à fluoretação da água, em qualquer caso devendo ser respeitado o VMP desta tabela.

(3) É aceitável a concentração de até 10 µg/L de microcistinas em até 3 (três) amostras, consecutivas ou não, nas análises realizadas nos últimos 12 (doze) meses.

(4) Análise exigida de acordo com o desinfetante utilizado.

§1º Recomenda-se que as análises para cianotoxinas incluam a determinação de cilindrospermopsina e saxitoxinas; (M), observando, respectivamente, os valores limites de 15,0 µg/L e 3,0 µg/L de equivalentes STX/L.

§ 2º Para avaliar a presença dos inseticidas organofosforados e carbamatos na água, recomenda-se a determinação da atividade da enzima acetilcolinesterase, observando os limites máximos de 15% ou 20% de inibição enzimática, quando a enzima utilizada for proveniente de insetos ou mamíferos, respectivamente.

**Art. 15º** A água potável deve estar em conformidade com o padrão de radioatividade expresso na Tabela 4, a seguir:

**Tabela 4.** Padrão de radioatividade para água potável

PARÂMETRO	UNIDADE	VMP <sup>(1)</sup>
Radioatividade alfa global	Bq/L	0,1 <sup>(2)</sup>
Radioatividade beta global	BqAl	1,0 <sup>(2)</sup>

NOTAS:

(1) Valor Máximo Permitido

(2) Se os valores encontrados forem superiores aos VMP, deverá ser feita a identificação dos radionuclídeos presentes e a medida das concentrações respectivas. Nesses casos, deverão ser aplicados, para os radionuclídeos encontrados, os valores estabelecidos pela legislação pertinente da Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN, para se concluir sobre a potabilidade da água.

**Art. 16º** A água potável deve estar em conformidade com o padrão de aceitação de consumo expresso na tabela 5, a seguir:

**Tabela 5.** Padrão de aceitação para consumo humano

PARÂMETRO	UNIDADE	VMP <sup>(1)</sup>
Alumínio	mg/L	0,2
Amônia (como NH <sub>3</sub> )	mg/L	1,5
Cloreto	mg/L	250,0
Cor aparente	uH <sup>(2)</sup>	15,0
Dureza	mg/L	500,0
Etilbenzeno	mg/L	0,2
Ferro	mg/L	0,3
Manganês	mg/L	0,1
Monoclorobenzeno	mg/L	0,12
Odor	-	Não objetável <sup>(3)</sup>
Gosto	-	Não objetável <sup>(3)</sup>
Sódio	mg/L	200,0
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	1.000,0
Sulfato	mg/L	250,0
Sulfeto de hidrogênio	mg/L	0,05

Surfactantes	mg/L	0,5
Tolueno	mg/L	0,17
Turbidez	UT <sup>(4)</sup>	5,0
Zinco	mg/L	5,0
Xileno	mg/L	0,3

NOTAS:

- (1) Valor Máximo Permitido
- (2) Unidade Hazen (mg Pt-Co/L)
- (3) Critério de referência
- (4) Unidade de Turbidez

§ 1º Recomenda-se que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5.

§ 2º Recomenda-se que o teor máximo de cloro residual livre, em qualquer ponto do sistema de abastecimento, seja de 2,0 mg/L.

§ 3º Recomenda-se a realização de testes para detecção de odor e gosto em amostras de água coletadas na saída do tratamento e na rede de distribuição de acordo com o plano mínimo de amostragem estabelecido para cor e turbidez nas Tabelas 6 e 7.

**Art. 17º** As metodologias analíticas para determinação dos parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e de radioatividade devem atender às especificações das normas nacionais que disciplinem a matéria, da edição mais recente da publicação Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, de autoria das instituições American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) e Water Environment Federation (WEF), ou das normas publicadas pela ISO (International Standartization Organization).

§ 1º Para análise de cianobactérias e cianotoxinas e comprovação de toxicidade, por bioensaios em camundongos, até o estabelecimento de especificações em normas nacionais ou internacionais que disciplinem a matéria, devem ser adotadas as metodologias propostas pela Organização Mundial da Saúde (OMS) em sua publicação Toxic cyabacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management.

§ 2º Metodologias não contempladas nas referências citadas no § 1 “e caput” deste artigo, aplicáveis aos parâmetros estabelecidos nesta Norma, devem, para ter validade, receber aprovação e registro pelo Ministério da Saúde.

§ 3º As análises laboratoriais para o controle e a vigilância da qualidade da água podem ser realizadas em laboratório próprio ou não que, em qualquer caso, deve manter programa de controle de qualidade interna ou externa ou ainda ser acreditado ou certificado por órgãos competentes para esse fim.

## Capítulo V

### DOS PLANOS DE AMOSTRAGEM

Art. 18º Os responsáveis pelo controle da qualidade da água de sistema ou solução alternativa de abastecimento de água devem elaborar e aprovar, junto à autoridade de saúde pública, o plano de amostragem de cada sistema, resoeitando os planos mínimos de amostragem expressos nas tabelas 6, 7, 8 e 9.

**Tabela 6.** Número mínimo de amostras para controle da qualidade da água de sistema de abastecimento, para fins de análises físicas, químicas e de radioatividade, em função do ponto de amostragem, da população abastecida e do tipo de manancial.

PARÂMETRO	TIPO DE MANANCIAL	SAÍDA DO TRATAMENTO (Nº DE AMOSTRAS POR UNIDADE DE TRATAMENTO)	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO (RESERVATÓRIO E REDE)		
			POPULAÇÃO ABASTECIDA		
			< 50.000 hab.	50.000 a 250.000 hab.	> 250.000 hab.
Cor Turbidez pH	Superficial	1	10	1 p/ cada 5.000 hab.	40 + (1 p/ cada 25.000 hab.)
	Subterrâneo	1	5	1 p/ cada 10.000 hab.	20 + 1 (p/ cada 50.000 hab.)
CRL (1)	Superficial	1	(Conforme § 3º do artigo 18)		
	Subterrâneo	1			
Fluoreto	Superficial ou subterrâneo	1	5	1 p/ cada 10.000 hab.	20 + 1 (p/ cada 50.000 hab.)
Cianotoxinas	Superficial	1 (Conforme § 5º do artigo 18)	–	–	–
Trihalometanos	Superficial	1	1 <sup>(2)</sup>	4 <sup>(2)</sup>	4 <sup>(2)</sup>
	Subterrânea	–	1 <sup>(2)</sup>	1 <sup>(2)</sup>	1 <sup>(2)</sup>
Demais parâmetros	Superficial ou subterrâneo	1	1 <sup>(4)</sup>	1 <sup>(4)</sup>	1 <sup>(4)</sup>

NOTAS:

(1) Cloro residual livre

- (2) As amostras devem ser coletadas, preferencialmente em pontos de maior tempo de detenção da água no sistema de distribuição.
- (3) Apenas será exigida obrigatoriedade de investigação dos parâmetros radioativos quando da evidência de causas de radiação natural ou artificial.
- (4) Dispensada análise na rede de distribuição quando o parâmetro não for detectado na saída do tratamento e, ou, no manancial, à exceção de substâncias que potencialmente possam ser introduzidas no sistema ao longo da distribuição.

**Tabela 7.** Frequência mínima de amostragem para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento, para fins de análises físicas, químicas e de radioatividade, em função do ponto de amostragem, da população abastecida e do tipo de manancial.

PARÂMETRO	TIPO DE MANANCIAL	SAÍDA DO TRATAMENTO (Nº DE AMOSTRAS POR UNIDADE DE TRATAMENTO)	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO (RESERVATÓRIO E REDE)		
			POPULAÇÃO ABASTECIDA		
			< 50.000 hab.	50.000 a 250.000 hab.	> 250.000 hab.
Cor Turbidez pH	Superficial	A cada 2 horas	Mensal	mensal	Mensal
	Subterrâneo	diária	mensal	mensal	mensal
CRL <sup>(1)</sup>	Superficial	A cada 2 horas	(Conforme § 3º do artigo 18)		
	Subterrâneo	diária			
Fluoreto	Superficial subterrâneo	A cada 2 horas diária			
Cianotoxinas	Superficial	semanal (Conforme § 5º do artigo 18)	–	–	–
Trihalometanos	Superficial	Trimestral	Trimestral	trimestral	trimestral
	Subterrânea	–	Anual	semestral	semestral
Demais parâmetros <sup>(2)</sup>	Superficial ou subterrâneo	Semestral	Semestral <sup>(3)</sup>	Semestral <sup>(3)</sup>	Semestral <sup>(3)</sup>

**NOTAS:**

- (1) Cloro residual livre
- (2) Apenas será exigida obrigatoriedade de investigação dos parâmetros radioativos quando da evidência de causas de radiação natural ou artificial.
- (3) Dispensada análise na rede de distribuição quando o parâmetro não for detectado na saída e, ou, no manancial, à exceção de substâncias que potencialmente possam ser introduzidas no sistema ao longo da distribuição.

**Tabela 8.** Número mínimo de amostras mensais para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento, para fins de análises microbiológicas, em função da população abastecida.

PARÂMETRO	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO (RESERVATÓRIOS E REDE)			
	População Abastecida			
	< 5.000 hab.	5.000 a 20.000 hab.	20.000 a 250.000 hab.	> 250.000 hab.
Coliformes totais	10	1 p/ cada 500 hab.	30 + (1 p/ cada 2.000 hab.)	105 + (1 p/ cada 5.000 hab.) Máximo de 1.000

NOTA: na saída de cada unidade de tratamento devem ser coletadas, no mínimo, 2 (duas) amostras semanais, recomendando-se a coleta de, pelo menos, 4 (quatro) amostras semanais.

**Tabela 9.** Número mínimo de amostras e frequência mínima de amostragem para o controle da qualidade da água de solução alternativa, para fins de análises físicas, químicas e microbiológicas, em função do tipo de manancial e do ponto de amostragem.

PARÂMETRO	TIPO DE MANANCIAL	SAÍDA DO TRATAMENTO (para água canalizada)	NÚMERO DE AMOSTRAS RETIRADAS NO PONTO DE CONSUMO (para cada 500 hab.)	FREQÜÊNCIA DE AMOSTRAGEM
Cor	Superficial	1	1	Semanal
Turbidez	Subterrâneo	1	1	mensal
pH				
Coliformes totais <sup>(2)</sup>				
CRL <sup>(2)(3)</sup>	Superficial ou subterrâneo	1	1	diário

NOTAS:

- (1) Devem ser retiradas amostras em, no mínimo, 3 pontos de consumo de água.
- (2) Para veículos transportadores de água para consumo humano, deve ser realizada 1 (uma) análise de CLR em cada carga e 1 (uma) análise, na fonte de fornecimento, de cor, turbidez, pH e coliformes totais com frequência mensal, ou outra amostragem determinada pela autoridade de saúde pública.
- (3) Cloro residual livre.

§ 1º A amostragem deve obedecer aos seguintes requisitos:

- I. Distribuição uniforme das coletas ao longo do período; e
- II. Representatividade dos pontos de coleta no sistema de distribuição (reservatórios e rede), combinando critérios de abrangência, espacial e pontos estratégicos, entendidos como aqueles próximos a grande circulação de pessoas (terminais rodoviários, terminais ferroviários, etc) ou edifícios que alberguem grupos populacionais de risco (hospitais,

creches, asilos, etc), aqueles localizados em trechos vulneráveis do sistema de distribuição (pontas de rede, pontos de queda de pressão, locais afetados por manobras, sujeitos à intermitência de abastecimento, reservatórios, etc.) e locais com sistemáticas notificações de agravos à saúde tendo como possíveis causas agentes de veiculação hídrica.

§ 2º No número mínimo de amostras coletadas na rede de distribuição, previsto na Tabela 8, não se incluem as amostras extras (recoletas).

§ 3º Em todas as amostras coletadas para análises microbiológicas deve ser efetuada, no momento da coleta, medição de cloro residual livre ou de outro composto residual ativo, caso o agente desinfetante utilizado não seja o cloro.

§ 4º Para uma melhor avaliação da qualidade da água distribuída, recomenda-se que, em todas as amostras referidas no § 3º deste artigo, seja efetuada a determinação da turbidez.

§ 5º Sempre que o número de cianobactérias na água do manancial, no ponto de captação, exceder a 20.000 células/ml ( $2 \text{ mm}^3/\text{L}$ ) de biovolume, durante o monitoramento que trata o § 3º do artigo 19, será exigida a análise semanal de cianotoxinas na água na saída do tratamento e nas entradas (hidrômetros) das clínicas de hemodiálise e indústrias de injetáveis, sendo que esta análise pode ser dispensada quando não houver comprovação de toxicidade na água bruta por meio da realização semanal de bioensaios em camundongos.

**Art. 19.** Os responsáveis pelo controle da qualidade da água de sistemas e de soluções alternativas de abastecimento supridos por manancial superficial devem coletar amostras semestrais da água bruta, junto do ponto de captação, para análise de acordo com os parâmetros exigidos na legislação vigente de classificação e enquadramento de águas superficiais, avaliando a compatibilidade entre as características da água bruta e o tipo de tratamento existente.

§ 1º O monitoramento de cianobactérias na água do manancial, no ponto de captação, deve obedecer a frequência mensal, quando o número de cianobactérias não exceder 10.000 células/ml (ou  $1 \text{ mm}^3/\text{L}$  de biovolume), e semanal, quando o número de cianobactérias exceder este valor.

§ 2º É vedado o uso de algicidas para o controle do crescimento de cianobactérias ou qualquer intervenção no manancial que provoque a lise das células desses microorganismos,

quando a necessidade das cianobactérias exceder 20.000 células/ml ou (2 mm<sup>3</sup>/L de biovolume), sob pena de comprometimento da avaliação de riscos à saúde associados às cianotoxinas.

**Art. 20º.** A autoridade de saúde pública, no exercício das atividades de vigilância da qualidade da água, deve implementar um plano próprio de amostragem, consoante diretrizes específicas elaboradas no âmbito do Sistema Único de Saúde – SUS.

## **Capítulo VI**

### **DAS EXIGÊNCIAS APLICÁVEIS AOS SISTEMAS E SOLUÇÕES ALTERNATIVAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

**Art. 21º.** O sistema de abastecimento de água deve contar com responsável técnico profissionalmente habilitado.

**Art. 22º.** Toda água fornecida coletivamente deve ser submetida a processo de desinfecção, concebido e operado de forma a garantir o atendimento ao padrão microbiológico desta Norma.

**Art. 23º.** Toda água para consumo humano suprida por manancial superficial e distribuída por meio de canalização deve incluir tratamento por filtração.

**Art. 24º.** Em todos os momentos e em toda sua extensão, a rede de distribuição de água deve ser operada com pressão superior à atmosférica.

§ 1º Caso esta situação não seja observada, fica o responsável pela operação do serviço de abastecimento de água obrigado a notificar a autoridade de saúde pública e informar à população, identificando períodos e locais de ocorrência de pressão inferior à atmosférica.

§ 2º Excepcionalmente, caso o serviço de abastecimento de água necessite realizar programa de obras na rede de distribuição, que possa submeter trechos a pressão inferior à atmosférica, o referido programa deve ser previamente comunicado à autoridade de saúde pública.

**Art. 25º.** O responsável pelo fornecimento de água por meio de veículos deve:

- I. Garantir o uso exclusivo do veículo para este fim;
- II. Manter registro com dados atualizados sobre o fornecedor e, ou, sobre a fonte de água; e
- III. Manter registro atualizado das análises de controle da qualidade da água.

§ 1º A água fornecida para consumo humano por meio de veículos deve conter um teor mínimo de cloro residual livre de 0,5 mg/L.

§ 2º O veículo utilizado para o fornecimento de água deve conter, de forma visível, em sua carroceria, a inscrição: “ÁGUA POTÁVEL”.

## Capítulo VII

### DAS PENALIDADES

**Art. 26º.** Serão aplicadas as sanções administrativas cabíveis, aos responsáveis pela operação dos sistemas ou soluções alternativas de abastecimento de água, que não observarem as determinações constantes desta Portaria.

**Art. 27º.** As Secretarias de Saúde dos Estados, do Distrito Federal e dos municípios estarão sujeitas a suspensão de repasse de recursos do Ministério da Saúde e órgãos ligados, diante da inobservância do contido nesta Portaria.

**Art. 28º.** Cabe ao Ministério da Saúde, por intermédio da SVS/MS FUNASA, e às autoridades de saúde pública dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, representadas pelas respectivas Secretarias de Saúde ou órgãos equivalentes, fazer observar o fiel cumprimento desta Norma, nos termos da legislação que regulamente o Sistema Único de Saúde – SUS.

## Capítulo VIII

### DAS DISPOSIÇÕES FINAIS

**Art. 29º.** Sempre que forem identificadas situações de risco à saúde, o responsável pela operação do sistema ou solução alternativa de abastecimento de água e as autoridades de saúde pública devem estabelecer entendimentos para a elaboração de um plano de ação e

tomada das medidas cabíveis, incluindo a eficaz comunicação à população, sem prejuízo das providências imediatas para a correção da anormalidade.

**Art. 30º.** O responsável pela operação do sistema ou solução alternativa de abastecimento de água pode solicitar à autoridade de saúde pública a alteração na frequência mínima de amostragem de determinados parâmetros estabelecidos nesta Norma.

**Parágrafo único.** Após avaliação criteriosa, fundamentada em inspeções sanitárias e, ou, em histórico mínimo de dois anos do controle e da vigilância da qualidade da água, a autoridade de saúde pública decidirá quanto ao deferimento da solicitação, mediante emissão de documento específico.

**Art. 31º.** Em função de características não conformes com o padrão de potabilidade da água ou de outros fatores de risco, a autoridade de saúde pública competente, com fundamento em relatório técnico, determinará ao responsável pela operação do sistema ou solução alternativa de abastecimento de água que amplie o número mínimo de amostras, aumente a frequência de amostragem ou realize análises laboratoriais de parâmetros adicionais ao estabelecido na presente Norma.

**Art. 32º.** Quando não existir na estrutura administrativa do Estado a unidade da Secretaria de Saúde, os deveres e responsabilidades previstos no artigo 6º desta Norma serão cumpridos pelo órgão equivalente.