

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

**ESTUDO FÍSICO-QUÍMICO E  
MICROBIOLÓGICO DE ÁGUAS DE POÇOS  
TUBULARES DA CIDADE DE MANAUS**

*TATIANE DE ALBUQUERQUE VASCONCELOS*

Manaus  
2006



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

**ESTUDO FÍSICO-QUÍMICO E  
MICROBIOLÓGICO DE ÁGUAS DE POÇOS  
TUBULARES DA CIDADE DE MANAUS**

**Dissertação de Mestrado** apresentada ao Curso de Mestrado em Geociências como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geologia. Área de concentração: **Geologia Ambiental**.

*TATIANE DE ALBUQUERQUE VASCONCELOS*

*Orientador: Prof. Dr. Genilson Pereira Santana*

**Manaus  
2006**

## **Dedicatória**

*Dedico esta dissertação aos meus queridos pais*

*Jurandir Chaves de Vasconcelos e*

*Rosangela de Albuquerque Vasconcelos,*

*que são meus exemplos de vida, que sempre me*

*incentivaram a vencer os obstáculos com*

*perseverança, luta, e determinação.*

# Agradecimentos

À Deus, pela minha existência e por me oferecer à oportunidade de obter novos conhecimentos;

Em especial ao Prof. Dr. Genilson Pereira Santana, excelente orientação, dedicação e paciência no desenvolvimento deste trabalho;

Às minhas irmãs pelo amor, força e honestidade;

À CPRM, SÓ POÇOS pela gentil permissão e acesso às informações necessárias a execução desta pesquisa;

À FAPEAM pela concessão do auxílio financeiro;

Ao Laboratório MICRO-LAB pela colaboração na realização das análises;

À colega Luana Kelly Lima Santana, pelo companheirismo e apoio técnico na execução das coletas das amostras;

Ao Departamento de Geociências da Universidade Federal do Amazonas;

Finalmente, a todos que direta ou indiretamente contribuíram e colaboraram para a elaboração deste trabalho.

# Resumo

Amostra de água foram coletadas em 30 poços tubulares, distribuídos aleatoriamente em aquíferos livres, confinados e semi-confinados de Manaus (Amazonas, Brasil), durante os meses de agosto/2004 e janeiro/2005 nas estações secas e chuvosa. Foram determinadas as variáveis físico-químicas (pH, cor, turbidez, condutividade elétrica, amônia, nitrato, nitrito, cloreto, sílica, sulfato, dureza total, dureza cálcica, dureza magnésica, Na, K, Fe total) e microbiológicas (coliformes totais, coliformes fecais e bactérias heterotróficas). A análise estatística multivariada baseada no agrupamento hierárquico e componente principal foram usadas para a interpretação dos dados. Os resultados revelaram que as variáveis físicas, químicas e microbiológicas tiveram os seus valores maiores no período de seca. A maioria das amostras teve valores em conformidade com a legislação em vigor (Portaria nº 518 de 25/03/2004 da ANVISA/MS). Todavia, dependendo da estação sazonal e pontos de coleta foi observado problemas de contaminação devido à atividade antrópica. Os aquíferos livres se mostraram com maior vulnerabilidade à contaminação do que os confinados e semi-confinados. O PCA e HCA mostraram diferenças significativa entre a estação seca e chuvosa.

# Abstract

The water samples were collected in 30 well, distributed randomly in unconfined, confined and semi-confined aquifers from Manaus (Amazonas ? Brazil), during August/2004 and January/2005, and dry and rainy season. The variables physcal-chemical (pH, color, turbidity, electrical condutivity, ammonia, nitrite, chlorite, silica, sulfate, total hard, calcium hard, magnesium hard, Na, K, and Fe) and microbiological (coliform total, coliform fecal, and Heterotrophic bacteria) were determined. The statistical analysis of principal component (PCA) and cluster (HCA) were used to understand the date. The results revealed that physical-chemical and microbiological had the highest values during dry season, mainly coliform total, coliform fecal, electrical condutivity and nitrate. The most samples had values according to Brazilian Sanitary Law (ANVISA, law n° 518 of 25/03/2004). However, depending on season and sampling site was observed contamination due to antropogenic activity. The unconfined aquifer was major vulnerable to contamination by antropogenic activity than confined and semi-confined. The PCA and HCA showed significantly difference bewteen dray and rainy season.

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>Objetivos</b>	<b>19</b>
2.1	Geral . . . . .	19
2.2	Específicos . . . . .	19
<b>3</b>	<b>Revisão Bibliográfica</b>	<b>21</b>
3.1	Ciclo hidrológico . . . . .	21
3.2	Água subterrânea . . . . .	24
3.2.1	Contaminação das Águas Subterrâneas . . . . .	34
3.3	Águas Subterrâneas no Brasil . . . . .	38

3.3.1	Águas Subterrâneas da Região Norte . . . . .	40
3.3.2	Qualidade da Água Potável . . . . .	42
3.4	Uso de Água . . . . .	46
<b>4</b>	<b>Materiais e Métodos</b>	<b>49</b>
4.1	Descrição da área de estudo . . . . .	49
4.2	Coleta das Amostras . . . . .	53
4.3	Tratamento de Dados . . . . .	59
<b>5</b>	<b>Resultados e Discussão</b>	<b>63</b>
5.1	Características Físicas . . . . .	63
5.2	Características Químicas . . . . .	66
5.3	Características Microbiológicas . . . . .	72
5.4	Tratamento de Dados . . . . .	75
5.4.1	Análise de Agrupamento Hierárquico . . . . .	75
5.5	Análises Componentes Principais . . . . .	78

6	Conclusões	88
7	Considerações Finais	89
8	Referências Bibliográficas	91
A	Perfil Geológico do aquífero livre, semi-confinado e confinado	99
B	Características geológicas dos poços tubulares estudados	106
C	Preservação de amostras	112
D	Tabelas de correlação de Pearson	114

# Lista de Figuras

3.1	Modelo de ciclo hidrológico. Fonte: ATSDR, 2002. . . . .	23
3.2	Zonas da água em subsuperfícies. Fonte: Silva ,2005. . . . .	25
3.3	Tipos de aquíferos. Fonte: Silva, 2005. . . . .	27
3.4	Textura e porosidade das rochas típicas encontradas em aquíferos. Fonte: Chilton, 1992. . . . .	29
4.1	Cotas máximas mensais do nível do rio Negro (acima do nível do mar) de janeiro de 1999 a julho 2003 . . . . .	52
4.2	Área de estudo (Mapa de Localização da cidade de Manaus) . . . . .	54
4.3	Foto de um poço tubular tipo aquífero livre, localizado no Centro . . . . .	55
4.4	Foto de um poço tubular tipo semi-confinado, localizado no bairro Cacho- eirinha . . . . .	55

4.5	Foto de um poço tubular tipo semi-confinado, localizado no bairro Nova Israel) . . . . .	56
5.1	Dendrogramas das variáveis determinadas na zona Norte. . . . .	76
5.2	Dendrogramas das variáveis determinadas na zona Sul. . . . .	77
5.3	Dendrogramas das variáveis determinadas na zona Oeste. . . . .	78
5.4	Dendrogramas das variáveis determinadas na zona Leste. . . . .	79
5.5	Dendrogramas das variáveis determinadas na zona Centro-Sul. . . . .	79
5.6	Componentes principais da zona Norte. . . . .	83
5.7	Componentes principais da zona Sul. . . . .	84
5.8	Componentes principais da zona Oeste. . . . .	85
5.9	Componentes principais da zona Leste. . . . .	85
5.10	Componentes principais da zona Centro-Sul. . . . .	86
5.11	Componentes principais relativos a todos os pontos amostrados nos período de cheia e seca . . . . .	87

# Lista de Tabelas

3.1	Faixas típicas de porosidade em relação à variação dos materiais geológicos comuns . . . . .	28
3.2	Principais tipos de aquíferos . . . . .	30
3.3	Abundância relativa de elementos dissolvidos em águas subterrâneas . . . . .	32
3.4	Elementos, fontes naturais e suas respectivas concentrações em águas naturais	33
3.5	Padrões de Potabilidade recomendados . . . . .	44
3.6	Os principais usos das águas subterrâneas . . . . .	47
4.1	Pontos de coleta das amostras com as respectivas localizações . . . . .	57
4.2	Metodologias de análises das amostras de água . . . . .	58

5.1	Alguns valores de variáveis físicas determinadas nas amostras de água subterrânea de poços tubulares de Manaus obtidos durante o período de seca (agosto) e chuva (janeiro) . . . . .	64
5.2	Algumas variáveis químicas de amostras de água subterrânea de poços tubulares de Manaus obtidos durante o período de seca (agosto) e cheia (janeiro) 67	
5.3	Alguns resultados das análises microbiológicas da amostras de água subterrânea de poços tubulares de Manaus, obtidas durante o período de seca (agosto) e cheia (janeiro) . . . . .	73
5.4	Correlação de Pearson obtida dos dados da região Norte durante os períodos de seca e cheia . . . . .	80
B.1	Características geológicas dos poços onde foram coletadas as amostras de águas subterrâneas na zona Sul . . . . .	107
B.2	- Características geológicas dos poços onde foram coletadas as amostras de águas subterrâneas na zona Centro-Sul . . . . .	108
B.3	Características geológicas dos poços onde foram coletadas as amostras de águas subterrâneas na zona Leste . . . . .	109
B.4	Características geológicas dos poços onde foram coletadas as amostras de águas subterrâneas na zona Norte . . . . .	110

B.5	Características geológicas dos poços onde foram coletadas as amostras de águas subterrâneas na zona Oeste . . . . .	111
C.1	Recipientes e reagentes usados para a coleta de amostras de água . . . . .	113
D.1	Correlação de Pearson obtida dos dados da região Leste . . . . .	115
D.2	Correlação de Pearson obtida dos dados da região Sul . . . . .	116
D.3	Correlação de Pearson obtida dos dados da região Oeste . . . . .	117
D.4	Correlação de Pearson obtida dos dados da região Centro-Sul . . . . .	118

# Lista de Siglas

L	-	Aqüífero Livre
C	-	Aqüífero confinado
SC	-	Aqüífero semi-confinado
N	-	Zona Norte
CS	-	Zona Centro-sul
O	-	Zona Oeste
S	-	Zona Sul
L	-	Zona Leste
PCA	-	Análise Componente Principal
HCA	-	Análise por Agrupamento Hierárquico
$\mu S$	-	Micro Simens
pH	-	Potencial hidrogeniônico
DT	-	Dureza Total
DCa	-	Dureza Cálcica
DMg	-	Dureza Magnésica
ND	-	Não Detectado
CT	-	Coliforme Totais
CF	-	Coliforme Fecais
BH	-	Bactérias Heterotróficas
Prof.	-	Profundidade
N.E	-	Nível Estático
NMP	-	Número mais provável
u.f.c	-	Unidade formadora de colônia
U T	-	Unidade de Turbidez
$\mu H$	-	Unidade de Escala de Hazen
L.D	-	Limite de detecção

# Capítulo 1

## Introdução

A água é um bem valioso, pois é a fonte indispensável à manutenção da vida de toda a humanidade. Trata-se de um alimento que, embora não tenha valor energético, contribui fundamentalmente para o funcionamento do organismo. É o constituinte mais abundante nos seres vivos, perfazendo cerca de 2/3 do peso corporal do homem (CHAVES, 1978; MITCHELL et al., 1978; KRAUSE e MAHAN, 1985).

A sua maior ou menor disponibilidade depende da região do planeta. De modo geral, a água doce disponível nos continentes é distribuída da seguinte forma: cerca de 75% encontram-se nas geleiras e nos lençóis de gelo, enquanto que quase 24,5% formam os reservatórios de águas subterrâneas, apenas 0,33% encontra-se nos lagos, 0,035% na atmosfera e, somente, 0,03% fluem nos rios (SUGUIO e BIGARELLA, 1990; MORAIS, 1995).

A América Latina possui 25% dos 40.000 milhões de Km<sup>3</sup> de água, sendo o Brasil o país mais rico, detendo quase 19% desse total. Particularmente, no caso da região Amazônica, existe o maior rio do mundo em extensão e volume de água, com uma descarga média anual de 16.900 m<sup>3</sup>/s, e o segundo em termos de descarga sólida com 1,2 x 10<sup>9</sup> t/a, chegando a escoar 1/5 do volume da água doce de todo o planeta (MARTINELLI et al., 1989).

# Capítulo 2

## Objetivos

### 2.1 Geral

Estudar as características físico-químicas e microbiológicas de águas de poços tubulares da cidade de Manaus e suas possíveis influências antrópicas.

### 2.2 Específicos

1. Caracterizar físico-quimicamente e microbiologicamente as águas subterrâneas de poços tubulares utilizadas para o abastecimento residencial e industrial na cidade de Manaus;
2. Verificar a potabilidade dessas águas conforme a legislação em vigor; e

3. Correlacionar as variáveis segundo os locais amostrados e a sazonalidade.

# Capítulo 3

## Revisão Bibliográfica

### 3.1 Ciclo hidrológico

Uma das mais importantes observações sobre o entendimento do ciclo hidrológico foi realizada por Leonardo da Vinci quando afirmou que as águas de todos os mares e de todos os rios passavam pela foz do Nilo diversas vezes num movimento dos rios para os mares e vice-versa (MORAIS, 1995). Os antigos cientistas e filósofos formavam muitas hipóteses para a explicação das fontes de superfície, por serem facilmente vistas e observadas. No entanto, a falta de conhecimento sobre as águas subterrâneas pode ser atribuída ao fato de não terem idéia de onde proviam e para onde se dirigiam. Até o século XVI, não se tinha idéia clara de que as águas dos rios e das fontes eram derivadas de chuva, pois esta seria insuficiente para acumular tal volume (SILVA, 1999).

Em outras palavras, a energia solar aquece, de forma desigual, a superfície da terra no equador e nas regiões polares, originando a vaporização da água e o movimento das massas de ar e de ventos, formando um fenômeno geológico, o chamado Ciclo hidrológico. Anualmente, cerca de 110 mil Km<sup>3</sup> de água são precipitados sobre os continentes, dos quais cerca de 70 mil Km<sup>3</sup> evaporam retornando a atmosfera e 40 mil Km<sup>3</sup> se repartem entre o escoamento superficial e subterrâneo, numa proporção de cerca de 70% e 30%, respectivamente. Dessa forma, esses 40 mil Km<sup>3</sup> constituem, o limite máximo renovável num ano (SUGUIO e BIGARELLA, 1990, LEAL, 1998)

O ciclo hidrológico representa o sistema natural de circulação da água através dos oceanos, da atmosfera e dos continentes (Figura 3.1). Trata-se de um sistema conservativo; ou seja, a água pode ser trocada entre os diferentes compartimentos, mas a sua quantidade total permanece constante em todo o planeta (SOUZA, 2001).

Os fenômenos do ciclo hidrológico, em duas fases, estão intimamente relacionadas com os componentes do meio ambiente, como cobertura vegetal, declividade e características geológicas. Qualquer modificação num desses componentes irá influenciar no ciclo hidrológico e vice-versa (LEAL, 1998).

O movimento da água, relativamente lento, ao se infiltrar no solo, propicia contato com os minerais que forma o substrato rochoso, os quais, nela vão se dissolvendo em maior ou menor proporção. A água subterrânea aumenta o teor em substâncias dissolvidas na medida em que prossegue no seu movimento até atingir um equilíbrio (SILVA, 2005).

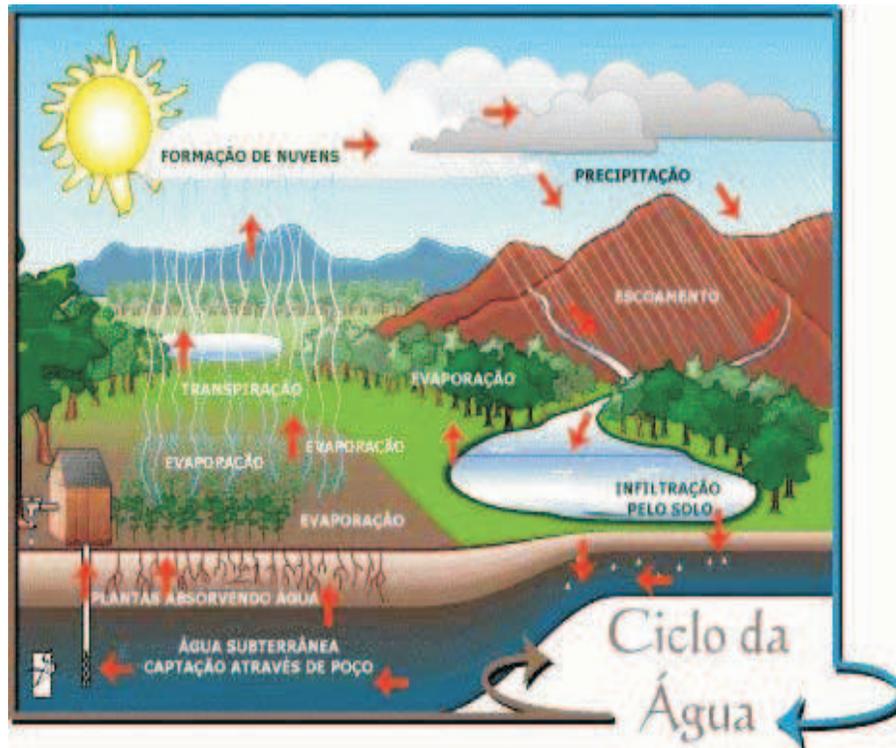


Figura 3.1: Modelo de ciclo hidrológico. Fonte: ATSDR, 2002.

A água que evaporada das massas superficiais (mares, lagos e rios) do solo e da cobertura vegetal eleva-se na atmosfera, umidificando o ar. Quando as gotículas de água, formadas por condensação, atingem determinada dimensão, precipitam na forma de chuva (águas meteóricas). Caso na sua descendência atravessem zonas de temperaturas abaixo de zero, pode haver formação de granizo. Agora, se ocorrer sob temperaturas abaixo do ponto de congelamento, haverá a formação de neve. Se a condensação for sobre superfícies sólidas, em temperaturas superiores ou inferiores a zero grau centígrado, gerará o orvalho e a geada respectivamente (PINTO, 1973).

Durante sua descida, parte da precipitação não atinge o solo, devido à evaporação ou à cobertura a vegetal (interceptação). Da proporção que atinge o solo, parte dela se in-

filtra, parte escoia sobre a superfície e parte se evapora, diretamente ou através das plantas, pela transpiração. A evaporação superficial e a transpiração pelos vegetais são consideradas, em conjunto, sob a denominação de evapotranspiração (CUSTÓDIO e LLAMAS, 1976).

Este sistema, através dos processos de precipitação e evaporação, age como um destilador que daria a conotação de pureza à água. No entanto, a atmosfera pode estar de alguma forma poluída e, conseqüentemente, as águas nela contidas, principalmente as águas da chuva cuja composição depende fundamentalmente da atmosfera (MORAIS, 1995).

A água existente nos organismos vivos é de volume insignificante em relação ao sistema hidrológico, mas de importância significativa pelo curto tempo de residência; uma vez que, se considerarmos um determinado período de tempo, as plantas podem liberar mais água para a atmosfera do que a descarga combinada de todos os rios do mundo (MORAIS, 1995).

## **3.2 Água subterrânea**

A água subterrânea representa a parcela do ciclo hidrológico que circula no subsolo. Em função das baixas velocidades de percolação, da ordem de centímetros por dia, através dos micros porosos dos sedimentos e/ou rochas sedimentares, fraturas, fissuras e outras formas de vazios das rochas compactas, os aquíferos, funcionam como meio de estocagem e regularização do sistema hidrológico, inter-relacionados. Segundo Leal (2005),

o seu aproveitamento data de tempos antigos e sua evolução tem acompanhado a própria evolução da humanidade. É considerada um dos componentes mais importantes para a vida humana e para economia.

A água que se infiltra no solo chama-se subsuperficial e ocorre nas camadas superiores (Figura 3.2). Porém, nem toda essa água se torna subterrânea, podendo voltar à superfície por capilaridade, sob a ação da gravidade (em locais com cotas inferiores ao nível hidrostático do aquífero) ou, ainda, pela ação do homem, e evaporar-se na atmosfera, ou pode ser absorvida pelas plantas e retornar à atmosfera pela transpiração vegetal (PINTO, 1973; CETESB, 1978; TODD, 1980).

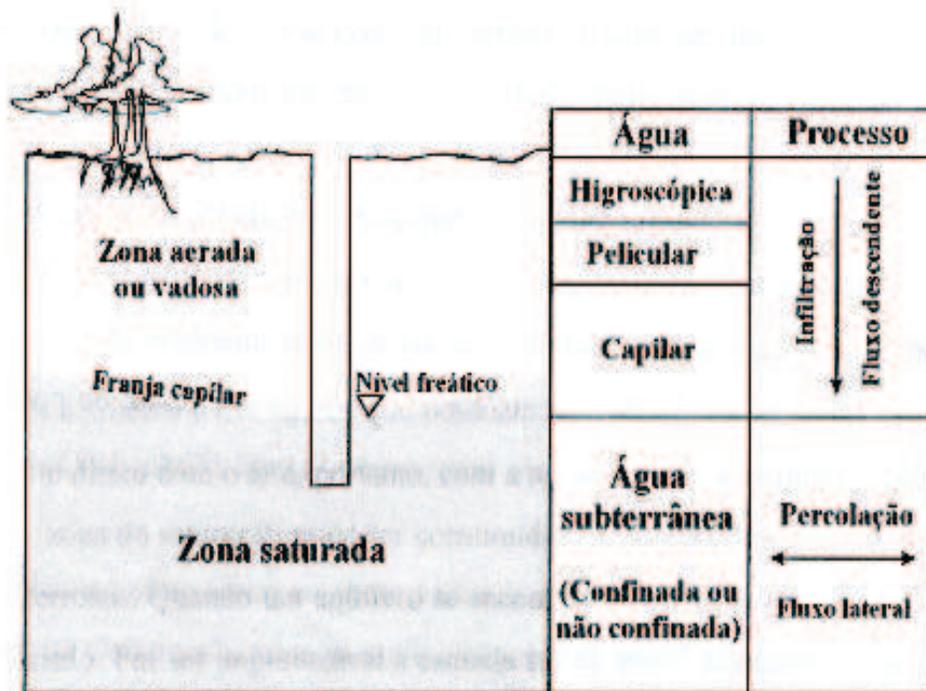


Figura 3.2: Zonas da água em subsuperfícies. Fonte: Silva, 2005.

A camada superior da zona detrítica, onde os poros estão parcialmente ocupados por água e ar é designada *zona aerada*. Situa-se entre a superfície do terreno e o nível freático. A espessura varia de menos de 1 m, em áreas alagadiças, até mais de 100 m em regiões desérticas, onde a água é denominada suspensa ou vadosa (CUSTÓDIO e LLAMAS, 1976; AZEVEDO e ALBUQUERQUE FILHO, 1998).

Imediatamente abaixo da zona vadosa, onde os interstícios estão preenchidos com água sob pressão hidrostática, está a *zona de saturação* (CUSTÓDIO e LLAMAS, 1976).

A zona de saturação pode ser considerada como sendo um único reservatório ou, sistema de reservatórios naturais, cuja capacidade e volume total dos poros ou interstícios estão repletos de águas subterrâneas e aquíferos. Nesta zona, o movimento da água, que é conhecido por percolação, vai da zona de recarga para a zona de descarga (AZEVEDO e ALBUQUERQUE FILHO, 1998).

Os critérios de classificação de aquíferos baseiam-se na maneira como circula por eles a água subterrânea, e de acordo com a pressão hidrostática da água contida (Figura 3.3). Os aquíferos livres são os que possuem uma superfície livre da água contida, que está em contato direto com o ar e, portanto, com a pressão atmosférica. Os aquíferos semi-confinados são o que existe quando a camada que o deveria confinar têm as características de um aquitardo<sup>1</sup> e possui sua superfície piezométrica superior em cota à superfície do aquífero. Os aquíferos confinados são os que estão entre duas camadas impermeáveis e os aquíferos artesianos são os que nos seus interstícios a pressão é superior a atmosfera (CETESB, 1978; MACIEL FILHO, 1997; AZEVEDO e ALBUQUERQUE FILHO, 1998).

---

<sup>1</sup>palavra de origem latina que significa suporte de água.

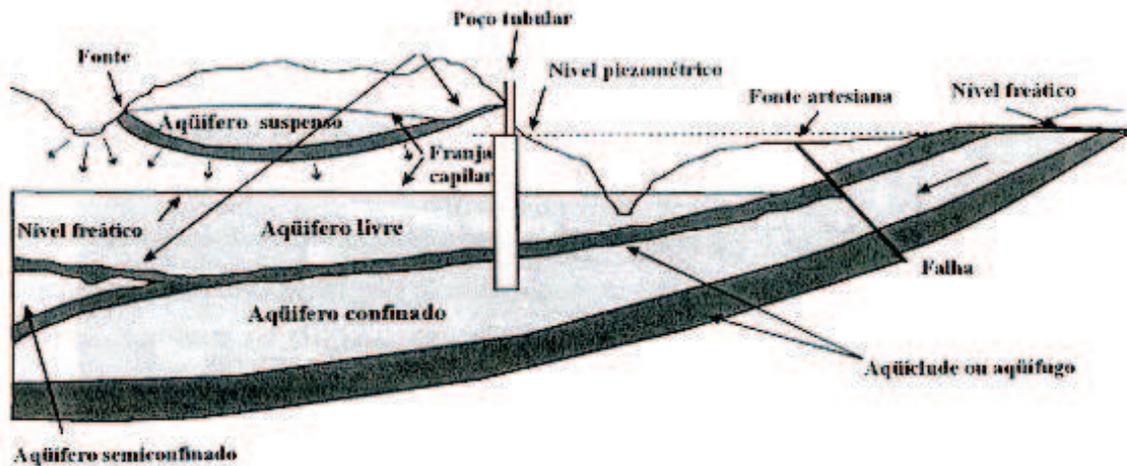


Figura 3.3: Tipos de aquíferos. Fonte: Silva, 2005.

Em, aproximadamente todas as rochas da crosta terrestre, de qualquer tipo, origem ou idade, é possível encontrar águas subterrâneas distribuída pelos poros ou buracos. O volume de água contida na rocha depende dos espaços ou poros em um determinado volume da rocha, no qual completa a porosidade da rocha. Quanto maior o espaço entre os poros, mais alto é a porosidade e mais água é armazenada. No caso das rochas não-consolidadas (Figura 3.4a), o volume de água dependerá da compactação e cimentação (Figura 3.4b). Nas rochas consolidadas, os buracos podem ser oriundos de fraturas e/ou fissuras, que podem ser aumentadas ou reduzidas pelo nível de águas subterrâneas contidas (Figura 3.4c e d). A Tabela 3.1 mostra as faixas típicas de porosidade em relação à variação dos materiais geológicos comuns.

Assim, as formações geológicas de rochas sedimentares devido à sua quantidade de poros e alta permeabilidade são consideradas de maior importância no acúmulo e estocagem de água subterrânea no mundo.

Tabela 3.1: Faixas típicas de porosidade em relação à variação dos materiais geológicos comuns

Material	Porosidade (%)	Superfície específica (%)
<b>Sedimento Não-consolidado</b>		
Pedra	25-35	15-30
Areia	25-45	10-30
Silte	35-50	5-10
Calcário	45-55	1-5
Areia e Pedra	20-30	10-20
Glacial till	20-30	5-15
<b>Rocha Consolidada</b>		
Arenito	5-30	3-15
Calcário dolomítico	1-20	0,5-10
Calcário cárstico	5-30	2-15
Folhelho	1-10	0,5-5
Basalto vesicular	10-40	5-15
Basalto fraturado	5-30	2-10
Tufo	10-60	5-20
Granitos e Gnaisse naturais	0.01-2	<0.1
Granitos e Gnaises erodidos	1-15	0,5-5

Fonte: Chilton, 1992.

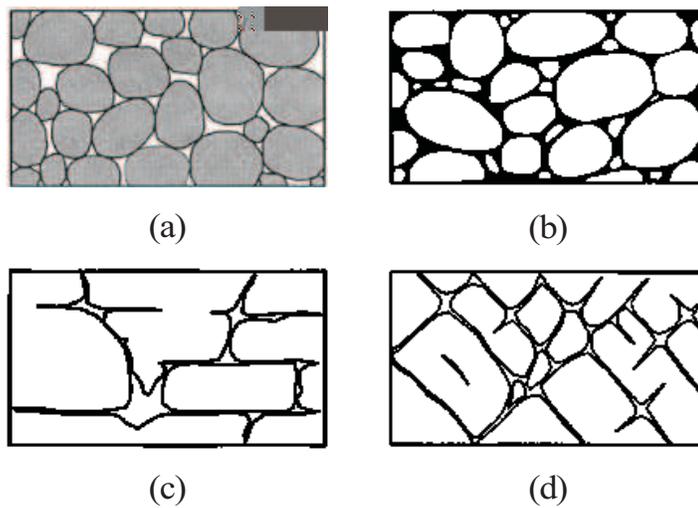


Figura 3.4: Textura e porosidade das rochas típicas encontradas em aquíferos. Fonte: Chilton, 1992.

Por outro lado, as rochas ígneas e metamórficas são fontes menos importantes na estocagem de água subterrâneas, por se tratarem de formações geológicas, cujos poros e permeabilidade são bastante pequenos em relação às formações sedimentares. Segundo Chilton (1992), os aquíferos podem ser representados por uma matriz de acordo com a formação geológica (Tabela 3.2).

A qualidade das águas subterrâneas depende de diversos fatores, destacando-se as características litológicas do aquífero, as fontes de recarga, o tempo de contato com as rochas, a temperatura da água, o clima, as reações de dissolução/precipitação e de oxi-redução, a adsorção/desorção de substâncias e processos bioquímicos (FREEZE e CHERRY, 1979).

Tabela 3.2: Principais tipos de aquíferos

Principais aquíferos Ambiente Geológico	Formações	Litologias	Classe	Porosidade dominante	Regime de escoamento de água	Exemplos Raso pequeno	Raso largo	Prof. larga
			subterrânea					
Depósitos glaciais	Terraços, Leques, Morenas e Vales soterrados	Granitos, Grauvacas com Arenitos, Blocos e lentes de Argilas	Sedimentar; Inconsolidada	Primária	Intergranular	Canadá, Nordeste dos Estados Unidos e Dinamarca		
Depósitos fluviais	Terraços, Leques e vales soterrados	Arenitos, Siltitos lentes de Argila	Sedimentar; Inconsolidada	Primária	Intergranular			
	Aluviões	Arenitos e Siltitos	Sedimentar; Inconsolidada	Primária	Intergranular		Noruega, Alemanha	
Depósitos deltaicos	Dolomitos		Sedimentar; Consolidada	Secundária	Fissura		Bangladesh	
	Calcários Cársticos Arenitos	Grãos de Areia cimentados	Sedimentar; Consolidada	Secundária	Fissura, Intergranular	Ilhas Caribenhas	Yucatã, Jáfna e Yugoslávia	Nubian, Bacias Artesianas de Karoo Great (Austrália)
Vulcânicos	Cinzas desagregados	Fragmentos	Ígnea;	Primária	Intergranular			
	Lavas	Grãos finos Cristalinos	Inconsolidada Ígnea;	Secundária	Fissura	Havaí	Basaltos de decan e Rios da Colômbia, Platô da USA	Basaltos de Karoo
Ígneos e metamórficos	Tufos	Grãos cimentados	Consolidada Ígnea; Consolidada	Primário e Secundária	Fissura, Intergranular	América Central		
	Granitos, Gneisses	Cristalinos	Ígnea Metamórfica Consolidada	Secundária	Fissura		África, Índia, Sirilanka, Brasil	
	Granitos, Gneisses	Cristalinos desagregados	Ígnea Metamórfica Consolidada	Secundária	Fissura, Intergranular			

Fonte: Chilton, 1992.

A água subterrânea pode ser dividida segundo uma simples classificação hidroquímica: meteórica e juvenis. A água meteórica é uma água subterrânea proveniente da própria água das chuvas infiltradas a grandes profundidades através de fratura e falha tectônicas, em velocidade muito lenta. Ao defrontar-se com descontinuidades de estruturas geológicas (falhas, diques, etc.), impulsionadas de água superposta, e em certos casos, essas águas emergem a superfície sob a forma de fontes. As águas juvenis estão associadas aos processos ígneos, onde ocorre grande circulação de água através da terra em grandes profundidades. As águas juvenis normalmente não são associadas ao desenvolvimento e assentamento das fontes de água subterrânea naturais. Entretanto, a distinção geoquímica entre a água meteórica e juvenil é difícil, pois ambas circulam em grandes profundidades e nos processos ígneos (CHILTON, 1992).

Segundo Tancredi (1996) a alta capacidade de dissolução da água e sua elevada reatividade fazem com que as águas naturais contenham uma grande variedade de substâncias dissolvidas. Portanto, suas características físico-químicas resultam de dissoluções e outras reações químicas com sólidos, líquidos e gases, que entram em contato durante as várias partes do ciclo hidrológico.

Portanto, a qualidade química da água subterrânea é geralmente caracterizada por uma elevada concentração de íons, isso às vezes causa problema no consumo humano. As Tabela 3.3 e 3-4 mostram alguns constituintes encontrados nas águas subterrâneas e a fontes naturais e intervalos de concentrações dos principais constituintes, respectivamente.

Em termos de qualidade biológica, a água subterrânea é caracterizada pela influência dos processos microbiológicas, que podem transformar os constituintes orgânicos

e inorgânicos. Essas transformações biológicas aceleram os processos geoquímicos (CHAPPELLE, 1993 e CHILTON, 1992). Os organismos unicelulares e multicelulares adaptam-se as características da água subterrânea usando os materiais em suspensão e sólidos dissolvidos nos seus metabolismos (CHILTON, 1992). Para um organismo se desenvolver e se multiplicar é necessário nutrientes, principalmente constituídos da mistura de carbono, energia, nitrogênio e sais minerais. A maior parte dos micro-organismos se desenvolve em superfícies sólidas e, então, entre os grãos da terra ou aquíferos (MATTHESS, 1982).

Tabela 3.3: Abundância relativa de elementos dissolvidos em águas subterrâneas

Maiores constituintes (1 a 1.000 mg $L^{-1}$ )	Constituintes secundários (0,01 a 10,0 mg $L^{-1}$ )	Menores constituintes (0,0001 a 0,1 mg $L^{-1}$ )
Sódio	Ferro	Arsênico
Cálcio	Alumínio	Bário
Magnésio	Potássio	Brometo
Bicarbonato	Carbonato	Cádmio
Sulfato	Nitrato	Crômio
Cloreto	Fluoreto	Cobalto
Sílica	Boro	Cobre
	Selênio	Iodeto
		Chumbo
		Lítio
		Manganês

Fonte: Chilton, 1992.

A atividade microbiológica afeta a qualidade da água ao interagir com nitrogênio, enxofre e amônia, que podem ser produzidos durante a decomposição da matéria orgânica, sendo oxidados a nitrito e, posteriormente, a nitrato. Já, o ferro pode estar sujeito às reações de redução ou oxidação, dependendo das condições de pH da água subterrânea. Em ambiente microbiologicamente favorável, localizado próximo de poço, o desenvolvimento de bactérias provoca a perda de permeabilidade do material do aquífero e isso

Tabela 3.4: Elementos, fontes naturais e suas respectivas concentrações em águas naturais

Elementos	Fontes naturais	Concentrações ( $\text{mg L}^{-1}$ )
Nitrato	Atmosfera, legumes, plantas, excrementos animais.	<10
Sódio	Feldspatos (albita), argilominerais, halita, e dejetos industriais.	<200
Potássio e argilominerais.	Feldspatos, feldspatoides	<10
Cálcio	Anfibolitos, feldspatos, gibsitas, piroxênios, dolomita, aragonita, calcita.	<100
Magnésio	Anfibolitos, olivinas, piroxênios, dolomita, magnesita, argilominerais	<50
Cloreto	Rochas sedimentares, algumas rochas ígneas	<10
Sulfato	Oxidação de minerais de enxofre, gibsitas, anidridos	<300
Sílica	Feldspatos, minerais ferromagnesianos, argilominerais, sílica amorfa	Faixa de 1-30
Ferro	Rochas ígneas, anfibolitos, micas, $FeS$ , $FeS_2$ , magnetita, rochas básicas, óxidos, carbonatos, sulfetos, argilominerais contendo ferro	<0,5

Fonte: Chilton, 1992.

requerer monitoramento especial e ação bacteriológica (CHILTON, 1992).

### 3.2.1 Contaminação das Águas Subterrâneas

A água subterrânea está sujeita a risco de contaminação, que pode ser atribuído à interação de dois fatores fundamentais: i) a carga contaminante que é lançada no solo como resultado da atividade humana; e ii) a vulnerabilidade natural do aquífero que é afetado pela carga contaminante (FOSTER et al, 1987 e HIRATA et al., 1990). Para esse autor a carga contaminante é caracterizada em função de sua classe, intensidade, modo de disposição no terreno e duração. Enquanto que, a vulnerabilidade do sistema aquífero depende da litologia e estrutura hidrogeológica do terreno.

Por sua vez, a contaminação consiste na introdução na água de substâncias químicas ou de microrganismos que possam prejudicar a saúde do homem ou dos animais. A contaminação das águas subterrâneas está relacionada com várias atividades antrópicas como as: urbanas, minerais, agrícolas, industriais, etc.

Segundo Silva (2001), a atividade urbana causa expressivo aumento da concentração de nitrato em um poço, causado pela proximidade de uma fossa, situada em cota mais elevada do terreno a 8 m de distância, e um outro poço, situado em cota inferior à área de criação de animais. Em ambos os casos, a decomposição da matéria orgânica gera a produção de nitrato, que é mais facilmente incorporada no aquífero na época de maior pluviosidade.

Já a atividade mineral normalmente causa diversas alterações na qualidade da água

subterrânea. Bahia (1997) observou que o ferro proveniente de minerais ferromagnesianos componentes das rochas cristalinas ou de solos lateríticos sofre reações de dissolução, precipitação formando hidróxidos férricos, dentre outros, quando em contato com a água e o ar.

Na atividade agrícola, Alexandre e Szikszay (1999) estudando a contaminação por As, Cu, Pb, e Zn provenientes de herbicidas e fungicidas nos solos e águas do lençol freático de região de vinicultura de Jundiaí (São Paulo), encontraram que as águas subterrâneas (profundidade de 2,35 a 5,34 m) apresentaram teores, em geral, muitos baixos, com exceção do Pb que chegou a ultrapassar o padrão de potabilidade ( $0,05 \text{ mg L}^{-1}$ ) recomendado pela (ANVISA, 2004).

O tipo de contaminante será mais perigoso quanto mais móvel e/ou persistente sejam nos meios não-saturados e saturados. A partir daí, se a quantidade de contaminante descarregada for grande, pode-se superar a capacidade atenuada do solo. Em regiões muito chuvosas, até mesmo pequenas quantidades de contaminantes podem alcançar rapidamente os aquíferos, através do transporte pelas águas provenientes da chuva e infiltração pelo solo. Para que um contaminante chegue às águas subterrâneas, ele primeiro infiltra-se e atravessa o solo, a chamada zona não saturada (REBOUÇAS, 2004).

A zona não-saturada, com sua grande capacidade de adsorção, degradação por microrganismos, evaporação e camadas adjacentes de diferentes permeabilidades por onde a água subterrânea passa, age, preliminarmente, como filtro natural e, sob condições normais, este sistema de filtração, apesar de não possuir o mesmo comportamento de atenuação de contaminantes, recupera a qualidade da água impedindo a passagem de

muitos microrganismos nocivos à saúde e partículas que contenham compostos tóxicos. O grau de atenuação variará, amplamente, segundo o tipo de contaminante. No entanto, a água pode se contaminar, pela troca de materiais com o solo e a rocha, se os meios permeáveis à água já estiverem altamente contaminados ou contiverem elementos naturais tóxicos (BRANCO, 1986 e FOSTER e HIRATA, 1993).

Segundo Costa (2005), as características dos poços podem contribuir para a contaminação da água subterrânea. Em aquíferos pouco profundos o fluxo de água subterrânea quase sempre tem mesma direção da declividade do solo, entretanto, em aquíferos profundos o fluxo de água subterrânea pode ocorrer em uma direção diferente daquela declividade (REBOUÇAS, 2004).

Os poços escavados são poços pouco profundos, construídos manualmente e, são os mais propícios à contaminação; geralmente não têm uma proteção mínima e são expostos às águas de escoamento superficial. Já os tubulares rasos têm profundidades de até 20 metros e são instalados em áreas arenosas, através de equipamentos leves como trados manuais ou mecânicos. E os poços tubulares profundos são construídos com profundidades maiores que 40 metros e são mais bem estruturados com selos para proteção de contaminação superficial e revestimentos apropriados.

Outro fator correspondente é a idade do poço, pois os poços que foram construídos há mais de 50 anos são geralmente menos profundos e estão localizadas em áreas susceptíveis as contaminações e podem apresentar problemas estruturais. Por exemplo, a ausência de revestimento adequados ou atualmente oxidados e selos de proteção.

A altura do revestimento do poço acima do solo é um fator muito importante para

prevenir a contaminação da água subterrânea. Segundo a NBR 12244 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) recomenda que a altura da boca do poço deve ficar saliente no mínimo 50 cm sobre a laje de proteção.

Além disso, a ABNT recomenda para a conservação do poço que o revestimento e a tampa do poço devem ser periodicamente examinados para detecção de furos ou trincamentos que podem servir de conduto de águas não desejáveis para o interior do poço. Por causa disso, a ABNT recomenda que todo poço deve ser construído por empresa habilitada, sob responsabilidade técnica de profissional de nível superior, devidamente credenciado junto ao Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura (CREA) e com base em projeto executivo de com a NBR 12.244, como também deve-se seguir a NBR12.212 e 13.604. A perfuração de um poço deve seguir alguns procedimentos, como:

- i. Uma amostragem do material a cada 2,0 m ou cada mudança de litologia;
- ii. A velocidade de entrada da água nos filtros deve estar entre  $0,03 \text{ m s}^{-1}$  e  $0,08 \text{ m s}^{-1}$ ;

A escolha dos filtros deve levar em consideração a ação corrosiva ou incrustante da água subterrânea, avaliada por exame bacteriológico e análise físico-química que inclua: pH, temperatura, condutividade elétrica, sólidos totais, OD, alcalinidade, dureza,  $CO_2$ , acidez,  $H_2S$ , cloretos, sulfatos, ferro, manganês, amônia, cor, turbidez e sólidos em suspensão.

### 3.3 Águas Subterrâneas no Brasil

Segundo Leal (2005) a água subterrânea no Brasil é utilizada desde o início da colonização, em decorrência da expansão dos colonos portugueses para o interior, principalmente na região de rochas cristalinas do Nordeste, com grandes áreas desprovidas de água em superfície. Inicialmente, aproveitava-se a água das coberturas não-consolidadas, principalmente de aluviões, suficientes para atender às necessidades de então.

Com o crescimento da população e, principalmente, com o surgimento dos primeiros aglomerados humanos e com a expansão da pecuária, as principais fontes de abastecimento tornaram-se insuficientes para o atendimento das necessidades. No Brasil, as águas subterrâneas ocupam diferentes tipos de reservatórios, desde as zonas fraturadas do embasamento cristalino até os depósitos sedimentares cenozóicos. Dessa diversificação, resultaram sistemas aquíferos que, pelo seu comportamento, podem ser reunidos em:

- i. Sistemas porosos (rochas sedimentares);
- ii. Sistemas fissurados (rochas cristalinas e cristalofilianas);
- iii. Sistemas cársticos (rochas carbonáticas com fraturas e outras descontinuidades submetidas a processos de dissolução cárstica).

O sistema aquífero fissural ocupa uma área de cerca de 4.600.000 km<sup>2</sup>, correspondente a 53,8% do território nacional. Compreende as províncias hidrogeológicas dos escudos Setentrional (região Norte), Central (regiões Norte e Centro-Oeste), Oriental (regiões Nordeste e Sudoeste) e Meridional (região Sul). Esse sistema apresenta reservas

de águas subterrâneas da ordem de  $1.08.10^3 \text{ km}^3$ , que, devido à heterogeneidade do meio, encontram-se distribuídas irregularmente por sua área de ocorrência.

Essa situação é predominante nos terrenos cristalinos das regiões Norte, Centro-Oeste, Sudeste e Sul, onde as condições hidroclimáticas favoreceram o desenvolvimento de coberturas sedimentares inconsolidadas, às vezes muito espessas. Podem ocorrer vazões de várias dezenas de  $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$ , variando em torno de  $12 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ . As águas são de boa qualidade química, podendo ocorrer localmente teores de ferro acima do permitido.

No domínio do embasamento cristalino aflorante, como na região Nordeste, o reservatório é representado quase que exclusivamente pelas fraturas. As reservas são reduzidas e as vazões dos poços apresentam média inferior a  $3 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ . As águas são, normalmente, salinizadas, com resíduo seco médio acima de  $2.500 \text{ mg L}^{-1}$ . Existem cerca de 20 bacias ou grupo de bacias sedimentares que ocupam uma área da ordem de  $3.600.000 \text{ km}^2$ , correspondente a 42% da superfície do país.

A estruturação geológica, com alternância de camadas permeáveis e impermeáveis, assegura-lhes condição de artesianismo. Entre elas se destacam, pela extensão e potencialidade, as bacias do Paraná, Amazonas, Parnaíba e Potiguar-Recife. A mais extensa, a bacia sedimentar do Paraná, cobre uma área da ordem de  $1.600.000 \text{ km}^2$ , sendo  $1.000.000 \text{ km}^2$  no Brasil, apresentando uma espessura máxima de 7.825 m. O principal sistema aquífero é o Botucatu, também conhecido por sistema aquífero Guarani, que representa cerca de 80% das reservas da província do Paraná. Esta, por sua vez, detém cerca de 45% das reservas de água subterrânea do território nacional (LEAL, 2005).

### 3.3.1 Águas Subterrâneas da Região Norte

Segundo Leal (2005) a região Norte é caracterizada por um quadro hidrogeológico bastante favorável, em virtude da presença, em mais da metade de seu território, de depósitos sedimentares de litologia variável, com ocorrência de horizontes de elevada permeabilidade e com freqüentes condições de artesianismo. O restante da área constitui domínio dos sistemas aquíferos frissurados de baixa produtividade quando aflorantes, mas com freqüência sensivelmente melhorada pela presença, em superfície, de sedimentos não-consolidados, com espessura que pode ultrapassar os 40 m, com os quais formam muitas vezes sistema aquífero único. As coberturas, além de constituírem reservatórios hídricos de boa potencialidade, que geralmente são os mais explorados em suas áreas de ocorrência, constituem um meio permeável que permite a recarga contínua do sistema fissurado subjacente.

Os dois domínios hidrogeológicos estão concentrados predominantemente em três grandes áreas; duas representadas pelos sistemas aquíferos fissurados das províncias hidrogeológicas do escudo Setentrional, que ocupa a faixa norte da região (maior parte dos estados do Amapá e Roraima e áreas dos estados do Amazonas e Pará), e do escudo Central, correspondente à metade sul do Pará e grandes superfícies de Rondônia e Tocantins. Esses sistemas têm recarga facilitada pelo elevado índice pluviométrico da região, pela presença de coberturas cenozóica e pela abundância de água de superfície.

Na região Norte, a água subterrânea é muito utilizada para o abastecimento humano. Embora, não dispondo de informações precisas, pode-se dizer, com certa segurança, que o volume de água destinado a outros usos (irrigação, pecuária, indústria etc.) é inferior

a 10% do total. O uso industrial é concentrado nas maiores cidades, como Belém e Manaus, onde se encontram as principais indústrias, com atividades voltadas principalmente para as áreas alimentícia, madeireira, eletroeletrônica e de cerâmica, etc.

De um total de 352 localidades com sistema de distribuição de água, 169 utilizam água subterrânea, correspondente em volume a 40% dos cerca de 1,2.106 m<sup>3</sup> disponibilizados por dia. Em alguns estados, a contribuição subterrânea ainda é relativamente pequena, se levadas em consideração as grandes possibilidades. Nesse caso estão incluídos os estados do Acre (18,7%), Rondônia (25%) e Tocantins (20%).

Por outro lado, estados como o Pará, com 79,4% das localidades, e o Amapá, com 64%, mostram o predomínio das águas subterrâneas no abastecimento público. O Amazonas é o Estado que utiliza maior volume de água subterrânea, com cerca de 25% do total disponibilizado na região pelo aquífero Alter do Chão. O aquífero explorado é representado pelos sedimentos cenozóicos da província do Amazonas, através de poços tubulares com até 250 m de profundidade e, com maior freqüência, por poços escavados de grande diâmetro e ponteiros.

Em Manaus, as oito dezenas de poços tubulares utilizados no abastecimento têm profundidade média de 160 m com uma vazão média de 78 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>. Existe na região um número muito grande de poços rasos, de "fundo de quintal", que, pela deficiência da construção e falta de conservação, constituem verdadeiros canais de poluição dos aquíferos. Só na Grande Belém existem cerca de 20.000 desses poços, utilizados no abastecimento de residências, hotéis, hospitais, lava-jatos, pequenas indústrias etc. Já em Manaus não existe uma estimativa de quantos existem.

### 3.3.2 Qualidade da Água Potável

A água utilizada para beber denomina-se água potável. A potabilidade de uma água é definida através de um conjunto de parâmetros e padrões estabelecidos por normas e legislações sanitárias. De acordo com a ANVISA (2004), é considerada água potável: aquela com qualidade adequada ao consumo humano. Entende-se que o termo: *qualidade adequada* é aplicada aos padrões de potabilidade, referentes às qualidades físicas, químicas, organolépticas, radioativas e bacteriológicas (ANVISA, 2004).

A água a ser utilizada para o consumo humano deve apresentar certos critérios de qualidade. Do ponto de vista microbiológico, deve ser desprovida de agentes patogênicos, sejam bactérias, vírus, protozoários ou helmintos, causadores de muitas doenças infecciosas e parasitárias (CHRISTÓVÃO, 1977).

Segundo a ANVISA (2004), as características microbiológicas da água potável deve apresentar ausência de coliformes totais e fecais por 100 mL da amostra. E deve ser efetuada a determinação de bactérias heterotróficas e, estas não devem exceder 500 unidades formadoras de colônia (u.f.c) por mL, porém, quando isto ocorrer devem ser providenciadas recoletas e inspeção local. Sendo assim, a ANVISA recomenda no controle de qualidade da água, quando forem detectados amostras com resultado positivo para coliformes totais, a realização de ensaios em novas amostras que devem ser coletadas em dias imediatamente sucessivos até que revelem resultado satisfatório.

Oliveira (1978) e Christóvão (1977) afirmaram que a água potável torna-se realmente perigosa à saúde quando é contaminada por fezes humanas e/ou de animais, rica em

coliformes, sobretudo *Escherichia coli*. que pode causar doenças. Entretanto, Christóvão (1977) ressalta a importância dos coliformes totais, como indicador bacteriológico, já que os outros gêneros do grupo (*Enterobacter*, *Citrobacter* e *Klebsiella*) apresentam maior sobrevivência no meio exterior e na própria água que a *Escherichia coli*, embora apenas esta seja seguramente de origem fecal.

Em termos de substâncias químicas, a água potável deve apresentar padrões estabelecidos pela ANVISA (Tabela 3.5).

Tabela 3.5: Padrões de Potabilidade recomendados

Parâmetros	Padrões
Amônia	1,5 mg $NH_3 L^{-1}$
Bactérias Heterotróficas	500 u.f.c m $L^{-1}$
Cloreto	250 mg $Cl^- L^{-1}$
Coliformes Totais	Ausente
Coliformes Fecais	Ausente
Cor Aparente	15 $\mu T$
Dureza Total	500 mg $CaCO_3 L^{-1}$
Ferro Total	0,3 mg Fe $L^{-1}$
Nitrato	10 mg N $L^{-1}$
Nitrito	1 mg N $L^{-1}$
Sódio	200 mg Na $L^{-1}$
Sulfato	250 mg $SO_4^{2-} L^{-1}$
Turbidez	5 NTU

Fonte: ANVISA, 2004.

### Doenças provocadas por agentes microbiológicos de veiculação hídrica

A água é normalmente habitada por vários tipos de microrganismos de vida livre e não parasitária, que dela extraem os nutrientes indispensáveis à sua sobrevivência. Ocasionalmente, pode ser introduzidas também por organismos patogênicos, que a utiliza como veículo de disseminação, constituindo-se um perigo sanitário em potencial ao seu uso e consumo.

Em geral, os microrganismos patogênicos são incapazes de viver ou de se reproduzirem fora do organismo que lhes serve de hospedeiro. Portanto, tem vida limitada quando

se encontram na água. Alexander Houston demonstrou em 1908 que quando uma água contaminada com bacilos de febre tifóide era armazenada por uma semana mais de 99% desses germes eram destruídos (PÁDUA, 2005).

Os microrganismos patogênicos são classicamente agrupados em vírus, bactérias, protozoários e helmintos, que podem ser agentes etiológicos de várias doenças de veiculação hídrica. Dentre estas, uma bactéria do gênero *Vibrio*, espécie *Vibrio cholerae* é causadora da cólera, um protozoário do gênero *Giardia*, espécie *Giardia lamblia* provoca a giardíase e determinados vírus podem causar hepatites, além de outros microrganismos e doenças (PÁDUA, 2005).

### As Doenças Provocadas por Agentes Químicos de veiculação hídrica

Existem várias substâncias químicas que podem poluir as águas subterrâneas e comprometer a saúde humana. Dentre as quais, podem ser citadas as substâncias contidas nos agrotóxicos (herbicidas, inseticidas, raticidas etc), nos despejos domésticos (amônia, nitrato, nitrito, fosfato, etc.) e nos despejos industriais, contendo metais pesados (Al, Cu, Pb, etc.). A essas substâncias são atribuídas várias doenças, como câncer, mal de Alzheimer, Doença de Wilson, Saturnismo, etc. (BAIRD, 2002).

No caso do nitrato, a contaminação por essa substância pode trazer graves consequências. No organismo humano, o nitrato se converte em nitrito que, por sua vez, combina-se com a hemoglobina para formar metahemoglobina, impedindo o transporte de oxigênio no sangue. Principalmente em crianças muito pequenas e idosas pode causar cianose intensa (metahemoglobinemia), e levar à morte (SILVA e ARAÚJO, 2003).

## 3.4 Uso de Água

Em termos gerais, o uso da água está vinculado às atividades humanas em seu conjunto. Neste sentido, a água pode servir para consumo ou como insumo em algum processo produtivo. A disponibilidade do recurso é cada vez menor, por um lado, porque deve ser compartilhado por atividades distintas e por outro, porque não é utilizado racionalmente. Assim, por exemplo, a indústria e a mineração utilizam tecnologias que demandam grandes quantidades de água, e em conseqüência geram grandes quantidades de água residual que são devolvidas às fontes de água sem tratamento prévio (Tabela 3.6).

No caso da agricultura, a demanda da água também é muito grande, especialmente nos lugares onde as chuvas não são constantes. Além disso, utilizam sistemas de irrigação que desperdiçam enormes volumes de água. Os fertilizantes químicos e agrotóxicos também contribuem para a contaminação dos cursos de água. Finalmente, a água para consumo humano, que é captada de fontes superficiais e subterrâneas, é cada vez mais procurada pelas populações, mas cada dia está mais escasso e caro.

No Brasil são poucas as informações sobre as demandas dos principais usos da água, tendo-se somente informações difusas a partir de taxas de consumo para determinada atividade. De acordo com os dados do IBGE (2002), há no Brasil uma demanda diária de água distribuída de 43.999.678 m<sup>3</sup> sendo 40.843.004 m<sup>3</sup> com tratamento diversificado. Na região norte essa demanda de água distribuída representa apenas 2.468.238 m<sup>3</sup>/dia (5,61%) e 1.668.382 m<sup>3</sup>/dia (4,08%) com tratamento.

Tabela 3.6: Os principais usos das águas subterrâneas

Uso geral	Uso específico	Qualidade requerida
Abastecimento doméstico de água	Consumo humano, higiene pessoal e usos domésticos.	Isenta de substâncias químicas prejudiciais à saúde para serviços domésticos. Baixa agressividade e dureza. Esteticamente agradável (baixa turbidez, cor, sabor e odor, ausência de micro e macrorganismos)
Abastecimento industrial	A água não entra em contato com o produto (ex: refrigeração, caldeiras). A água entra em contato com o produto. A água é incorporada ao produto (ex: alimento, bebidas, remédios).	Baixa agressividade e dureza. Variável com produto. Isenta de substâncias químicas e microrganismos prejudiciais à saúde. Esteticamente agradável (baixa turbidez, cor, sabor e odor).
Irrigação	Hortaliças, produtos ingeridos crus ou com casca.  Demais plantações.	Isenta de substâncias químicas e microrganismos prejudiciais à saúde. Salinidade não excessiva. Isenta de substâncias químicas e microrganismos prejudiciais à saúde. Salinidade não excessiva
Dessedentação de animais	-	Isenta de substâncias químicas e microrganismos prejudiciais à saúde.
Preservação da flora e da fauna	-	Variável com os requisitos ambientais da flora e fauna que se deseja preservar.
Recreação e lazer	Contato primário (contato direto com o meio líquido, ex: natação, esqui, surfe). Contato secundário (não há contato direto com o meio líquido, ex: navegação de lazer, pesca, lazer contemplativo).	Isenta de substâncias químicas e microrganismos prejudiciais à saúde. Baixos teores de sólidos em suspensão, óleos e graxas. Aparência agradável.
Geração de energia	Usinas hidrelétricas.	Baixa agressividade.
Distribuição de despejos	-	-
Transporte	-	Baixa presença de material grosseiro que possa pôr em risco as embarcações.
Aqüicultura	-	Presença de nutrientes e qualidade compatível com as exigências das espécies a serem cultivadas.
Paisagismo e manutenção da umidade do ar e da estabilidade do clima	Estética e conforto térmico.	-

Fonte: Albino, 2004.

Para o Estado do Amazonas, essa demanda chega a 896.185 m<sup>3</sup>/dia onde 67,76% desse volume recebe tratamento não convencional e 2,76% tratamento por simples cloração (IBGE, 2002).

Em relação à disponibilidade da água no Brasil, para abastecimento doméstico, usualmente considera-se um consumo médio de 150 L/hab/dia. O grande problema nesse setor é os desperdícios operacionais nas redes de abastecimento, com fugas de água, devido a rupturas ou mesmo ligações clandestinas. Em muitos casos, o desperdício chega a 40% (LEAL, 1998).

# Capítulo 4

## Materiais e Métodos

### 4.1 Descrição da área de estudo

Manaus está situada à margem esquerda do rio Negro a 18 km a montante da confluência com o rio Solimões. Possui um contingente populacional de aproximadamente 1.403.796 habitantes e área de 11.408 km<sup>2</sup> (IBGE, 2003) Manaus faz limite com os municípios Itacoatiara a Leste; Manacapuru a Oeste; Novo Airão a Norte, Careiro a Sul de 03° 08' 07". Localiza-se a 03° 08' S e 60° 00' W, a altitude de 21 m. de altitude acima do nível do mar.

O clima da Amazônia é quente e úmido. Devido à baixa latitude dessa região os raios solares tendem a verticalidade em todas as épocas do ano com um total médio anual de 2.389, 4 horas de brilho solar, resultando numa maior energia incidente por m<sup>2</sup>, o que torna o ambiente térmico elevado e a precipitação anual fica entre 2.250 e 2.750 mm (NIMER, 1989).

Segundo a classificação de *Koppen*, o clima de Manaus se enquadra na zona climática *AM*, isto é, caracterizado como quente e úmido e com estação seca pouco pronunciada. Sendo assim, é de se esperar que a alta pluviosidade nesta região contribua consideravelmente para o regime de enchente e vazante dos cursos de águas dos igarapés de Manaus (HEYER, 1997).

Dados do Ministério da Agricultura, 1º Distrito de Meteorologia do INMET, mostram que para a área de Manaus, a distribuição da temperatura é relativamente uniforme durante todo ano, não havendo praticamente divisão entre clima quente e frio, visto que só raramente ocorrem temperaturas superiores a 36,0 °C e 18,0 °C. Apresentando um gradiente de aproximadamente 2,8 °C, com valores entre 26,0 °C e 28,8 °C, respectivamente, sendo o trimestre agosto, setembro e outubro o que apresenta maior valor médio de temperatura.

De acordo com SANTOS (1989), as temperaturas mais baixas são provocadas pelo deslocamento de massas de ar de origem oceânica, as quais transpõem a Cordilheira dos Andes, ou têm origem no Sul do continente, e penetram na região através do vale das bacias do Paraná-Paraguai e do Alto Guaporé.

A umidade relativa do ar em Manaus acompanha, em média, o ritmo mensal das precipitações, no período de 1961 a 1990, a umidade média anual apresentou 83%, com uma máxima de 88% registrada no mês de abril e a mínima de 76% entre os meses de agosto e setembro (SANTOS, 1989).

Manaus apresenta precipitações variando em torno de 2.000 a 2.200 mm ao ano, sendo que os períodos de maior concentração são nos meses de dezembro a junho, e a

estiagem ocorre no período de julho a novembro (SALATI, 1990).

De acordo com Lopes e Grando (2000), o regime pluviométrico de Manaus é caracterizado por apresentar uma variação mais ou menos intensa de precipitação. O período mais chuvoso está compreendido no trimestre dos meses de fevereiro a abril. E o trimestre menos chuvoso está entre os meses de julho a setembro.

Estudos realizados na Amazônia Central indicam que mais de 75% da energia solar disponível na superfície causam a evapotranspiração e o restante aquecimento do ar. Na média anual, a evapotranspiração, na Amazônia, é responsável por cerca de 50% do total de sua precipitação pluviométrica, sendo o restante deslocado para o oceano Atlântico pelos ventos alísios (SALATI e RIBEIRO, 1979; MOLION, 1988).

O nível das águas do Amazonas, que resulta do maior ou menor aporte dos seus afluentes, começa a subir em novembro, atinge o clímax (as cheias) de maio a junho para reduzir, a partir de agosto, e chegar ao mínimo em novembro. Com a retração das águas, as partes mais baixas (várzea), que geralmente na seca ficam afastadas do rio, retêm a fauna aquática em lagos interiores, de forma a tornar a caça e a pesca altamente produtivas (PORRO, 1995). A Figura 4.1 mostra as cotas do rio Negro de 1999 a 2003 (SILVA, 2005).

A área de estudo está situada sobre sedimentos continentais da Formação Alter do Chão, constituída por sedimentos vermelhos sob a forma de argilas, argilitos, siltitos, arenitos e conglomerados, pobres em fósseis, e recoberta discordantemente, em parte, por sedimentos terciários ou diretamente por sedimentos quaternários (DINO, SILVA e ABRAHAO, 1999).

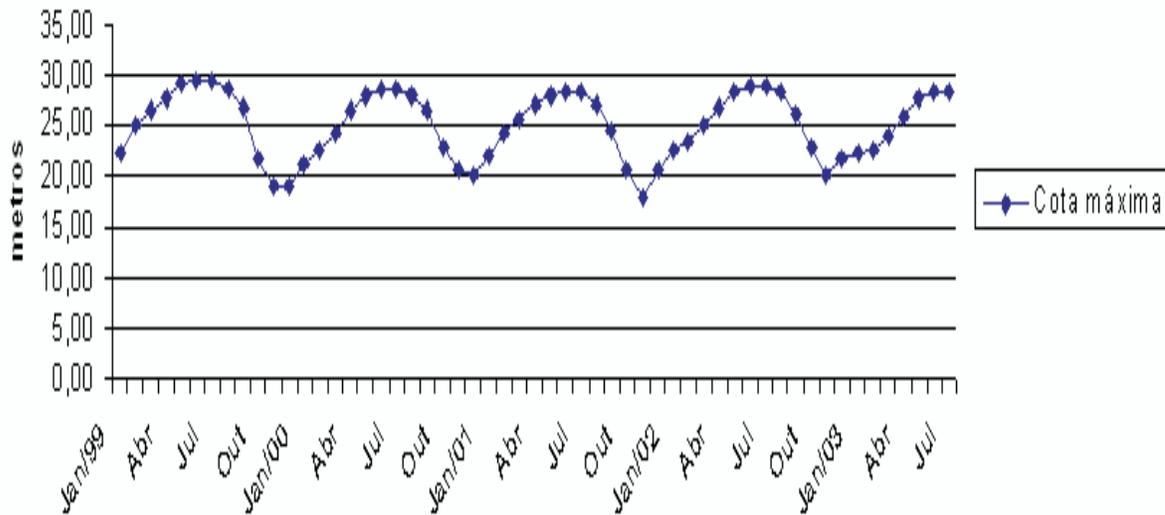


Figura 4.1: Cotas máximas mensais do nível do rio Negro (acima do nível do mar) de janeiro de 1999 a julho 2003

Os sistemas de aquíferos Alter do Chão e Barreiras, na Bacia Sedimentar do Amazonas, têm um volume de água igual a  $32.500 \text{ km}^3$  e poços com intervalo de vazão de 10 a  $400 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  (REBOUÇAS, 1997).

A formação Alter do Chão possui também um dos aquíferos mais importantes da Bacia Geológica do Amazonas. A água subterrânea deste depósito vem sendo, livremente, utilizada pelas indústrias e, ultimamente por domicílios. As vazões dos poços melhor construídos variam entre  $50$  e  $450 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ . Os aquíferos onde foram coletados as amostras de água são do tipo livre, confinado e semi-confinado.

## 4.2 Coleta das Amostras

Inicialmente, fez-se junto à Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais-CPRM e SÓ POÇOS, um levantamento dos poços perfurados na cidade de Manaus, com o maior número possível de informações que possibilitassem a sua amostragem. Posteriormente, foram realizadas as coletas das amostras nos meses de agosto/2004 e janeiro/2005 em trinta poços distribuídos pelo perímetro urbano de Manaus (Figura 4.2). Os pontos de coleta foram selecionados em função da localização, acesso e funcionalidade, guardando o princípio da aleatoriedade. Sendo assim, foram coletadas amostras de água em poços tubulares de aquífero livre (Figura 4.3), semi-confinado (Figura 4.4) e confinado (Figura 4.5)<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup>No Apêndice A se encontra os perfil geológicos dos aquíferos livre, confinado e semi-confinado

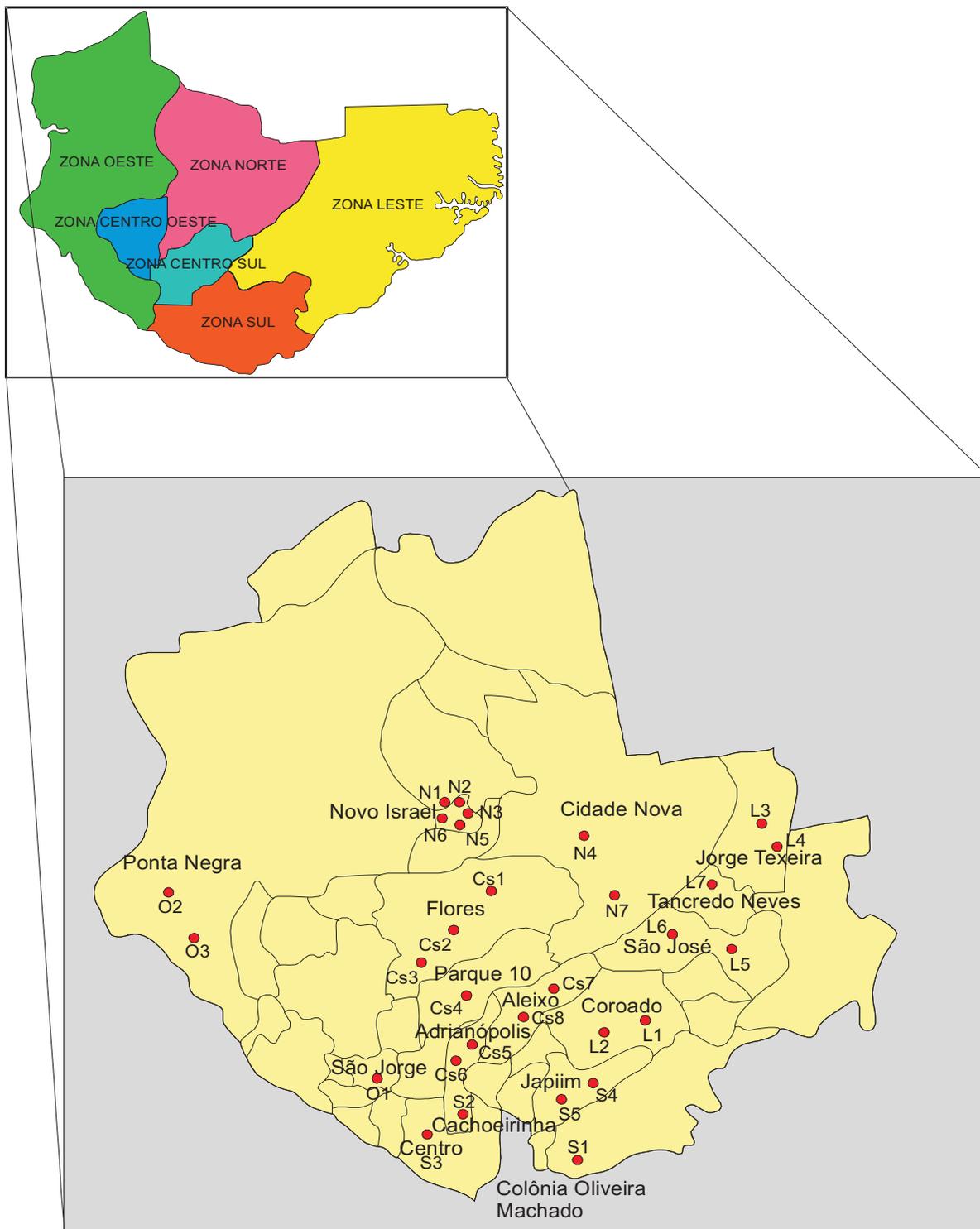


Figura 4.2: Área de estudo (Mapa de Localização da cidade de Manaus)



Figura 4.3: Foto de um poço tubular tipo aquífero livre, localizado no Centro



Figura 4.4: Foto de um poço tubular tipo semi-confinado, localizado no bairro Cachoeirinha



Figura 4.5: Foto de um poço tubular tipo semi-confinado, localizado no bairro Nova Israel)

A Tabela 4.1 mostra os pontos de amostragem e suas respectivas coordenadas geográficas, as quais foram obtidas utilizando o GPS (GARMIN, modelo Etrex) equipamento de posicionamento que capta sinais de uma constelação de satélites geodésicos. As características geológicas dos poços se encontram no Apêndice B.

A amostragem foi cuidadosamente realizada, usando recipientes e reagentes adequados para manter a preservação e evitar contaminação<sup>2</sup>, sendo as amostras levadas imediatamente ao Laboratório MICRO-LAB, para serem medidos o valor de pH, condutividade elétrica, cor, turbidez e os parâmetros químicos e microbiológicos relacionados na Tabela 4.2. As metodologias de coleta foram realizadas conforme o Guia de Coleta e preservação de amostras (CETESB, 1987).

---

<sup>2</sup>No Apêndice C está descrito o procedimento de preservação das amostras de água.

Tabela 4.1: Pontos de coleta das amostras com as respectivas localizações

Zona	Bairro	Pontos de Coleta	Sul	Oeste	Prof. (m)	Nível Estático	Tipo
Norte	Novo Israel	N1	03°01'33"	60°00'46,5"	120,0	37,0	L
	Novo Israel	N2	03°00'53,58"	60°01'1,98"	80,0	40,8	C
	Novo Israel	N3	03°00'3,42"	60°00'46,38"	100,0	52,1	SC
	Novo Israel	N4	03°04'7,68"	60°01'29,7"	100,0	32,0	L
	Novo Israel	N5	03°00'24,42"	59°59'54,72"	95,0	22,0	L
	Novo Israel	N6	03°00'44,82"	60°00'22,98"	96,0	38,0	L
	Cidade Nova	N7	03°01'36,06"	60°00'6,48"	159,0	54,3	SC
Centro Sul	Flores	CS1	03°01'47,82"	60°01'7,32"	110,0	19,0	L
	Flores	CS2	03°03'55,8"	60°00'46,08"	56,0	16,0	L
	Flores	CS3	03°04'7,38"	60°01'29,7"	101,0	6,8	C
	Parque 10	CS4	03°05'25,74"	60°00'43,98"	84,0	34,0	L
	Adrianópolis	CS5	03°06'40,74"	60°00'34,32"	100,0	33,2	SC
	Adrianópolis	CS6	03°05'46,44"	60°00'32,34"	52,0	18,4	L
	Aleixo	CS7	03°05'38,1"	60°00'0,72"	90,0	14,0	L
	Aleixo	CS8	03°05'20,64"	59°59'38,82"	165,0	38,0	SC
Oeste	São Jorge	O1	03°06'19,8"	60°01'54,72"	90,0	36,0	L
	Ponta Negra	O2	03°03'53,04"	60°05'56,28"	168,0	37,6	C
	Ponta Negra	O3	03°03'58,5"	60°05'47,58"	124,0	22,0	C
Sul	Colônia	S1	03°08'21,12"	59°59'2,88"	122,0	50,2	L
	Oliveira Machado						
	Cachoeirinha	S2	03°07'43,68"	60°00'37,2"	160,0	29,5	SC
	Centro	S3	03°07'38,46"	60°01'39,12"	168,0	37,6	L
	Japiim	S4	03°07'33,24"	59°59'0,9"	98,0	39,2	L
Japiim	S5	03°06'5,58"	59°59'4,44"	90,0	10,0	L	
Leste	Coroado	L1	03°04'16,14"	59°58'7,26"	150,0	72,0	SC
	Coroado	L2	03°05'23,7"	59°57'43,08"	120,0	16,0	SC
	Jorge Teixeira	L3	03°00'24,84"	59°55'59,22"	60,0	32,0	L
	Jorge Teixeira	L4	03°00'32,64"	59°56'19,8"	110,0	44,0	SC
	São José	L5	03°04'45"	59°55'813"	145,0	55,0	SC
	São José	L6	03°04'12,9"	59°56'55,98"	110,0	25,0	L
	Tancredo Neves	L7	03°03'19,14"	59°56'36,54"	205,0	15,0	L

Tipo de aquífero: L = Livre, SC = Semi-confinado e C = confinado

Tabela 4.2: Metodologias de análises das amostras de água

Análises Químicas	Método Analítico <sup>1</sup>
Amônia	Método Nessler
Bactérias Heterotróficas	Contagem Padrão em Placas
Cálcio	Método colorimétrico
Cloreto	Método do tiocianato de mercúrio
Coliformes Totais e Fecais	Tubos Múltiplos
Condutividade elétrica	Medição direta em condutivímetro digital
Cor Aparente	Método de platina-cobalto
Dureza total	Método colorimétrico
Magnésio	Método colorimétrico
Metais	Método da Absorção atômica
Nitrato	Método de redução de cádmio
Nitrito	Método de diazotização
pH	Medição direta em pHmetro digital
Potássio e sódio	Fotometria de chama <sup>1</sup>
Sulfato	Método de Sulfa-Ver 4
Turbidez	Medição direta em turbidímetro

<sup>1</sup>Standard Methods (1998)

## 4.3 Tratamento de Dados

A interpretação dos dados foi realizada com base no método estatístico de Análise Multivariada. Essa denominação corresponde a um grande número de métodos e técnicas que utilizam simultaneamente todas as variáveis na interpretação teórica do conjunto de dados obtidos.

Segundo Neto (2004), existem vários métodos de análise multivariada com finalidades bem diversas entre si. Os métodos: análise por agrupamento hierárquico (HCA) e análise por componentes principais (PCA) são utilizados quando se pretende verificar como as amostras se relacionam; ou seja, o quanto estas são semelhantes segundo as variáveis usadas.

A análise de componentes principais e a análise de agrupamento hierárquico são técnicas de análise multivariada com fundamentos teóricos bem diferentes, podendo ser aplicadas independentemente. Estas técnicas podem até serem complementares na informação sobre o conjunto de dados, dependendo do sistema analisado. Ambas fornecem a visão mais global possível das amostras dentro do conjunto de dados, conforme as variáveis usadas.

O HCA consiste no tratamento matemático de cada amostra como um ponto no espaço multidimensional descrito pelas variáveis escolhidas (NETO 1998). Nesta técnica, é possível tratar cada variável como um ponto no espaço multidimensional descrito pelas amostras; ou seja, podemos ter agrupamento de amostras ou de variáveis, de acordo com o interesse em calcular a distância deste ponto a todos os outros pontos, constituindo-se assim uma matriz que descreve a proximidade entre todas as amostras estudadas. Existem várias maneiras de calcular a distância entre dois pontos, a mais conhecida e utilizada é a distância Euclidiana, pois corresponde ao sentido trivial de distância do plano. Esta técnica também, interliga as amostras por suas similaridades produzindo um dendograma onde as amostras semelhantes, segundo as variáveis escolhidas, são agrupadas entre si.

Os dendogramas consistem em diagramas que representam a similaridade entre pa-

res de compostos (ou grupos de compostos) numa escala que vai de um (identidade) a zero (nenhuma similaridade). A suposição básica de sua interpretação é que quanto maior a distância entre os pontos, maior a semelhança entre os compostos. Os dendogramas são especialmente úteis na visualização de semelhanças entre compostos ou objetos representados por pontos em espaço com dimensão maior do que três, onde a representação de gráficos convencionais não é possível.

A aplicação da HCA, quando se tem variáveis de escalas diferentes, deve ser precedida por um tratamento prévio dos dados. Quando não é feito um pré-tratamento, as variáveis com valores numéricos mais altos serão mais importantes no cálculo que as variáveis com valores numéricos mais baixos. O pré-tratamento mais comumente empregado é a transformação Z, que transforma as medidas de cada variável de tal modo que o conjunto de dados tenha média zero e variância um. A finalidade deste procedimento é equalizar a importância estatística de todas as variáveis utilizadas.

O PCA é uma técnica estatística poderosa que pode ser utilizada para redução do número de variáveis e para fornecer uma visão estatisticamente privilegiada do conjunto de dados. A análise de componentes principais fornece as ferramentas para identificar as variáveis mais importantes no espaço das componentes principais.

O PCA consiste em reescrever as variáveis originais em novas variáveis denominadas componentes principais, através de uma transformação de coordenadas. A transformação de coordenadas é um processo trivial quando feito usando matrizes. A transformação matemática das coordenadas pode ser feita de diversas maneiras conforme o interesse. A transformação das variáveis originais em componentes principais têm algumas espe-

cificidades. Cada componente principal é uma combinação linear de todas as variáveis originais. Por exemplo, um sistema com oito variáveis, após a transformação, terá oito componentes principais. Cada um destes componentes principal, por sua vez, será escrito como uma combinação linear das oito variáveis originais. Nestas combinações, cada variável terá uma importância ou peso diferente.

As variáveis podem guardar entre si correlações que são suprimidas nas componentes principais; ou seja, as componentes principais são ortogonais entre si. Deste modo, cada componente principal traz uma informação estatística diferente das outras. A segunda característica importante é decorrente do processo matemático-estatístico de geração de cada componente que maximiza a informação estatística para cada uma das coordenadas que estão sendo criadas. As variáveis originais têm a mesma importância estatística, enquanto que os componentes principais têm importância estatística decrescente.

# Capítulo 5

## Resultados e Discussão

### 5.1 Características Físicas

A Tabela 5.1 mostra algumas variáveis físicas das amostras de água subterrânea de poços tubulares de Manaus, coletadas durante o período de seca (agosto) e cheia (janeiro). De modo geral, durante o período de seca, os valores foram sintomaticamente maiores.

Os valores de pH revelam que não houve uma variação não significativa durante os dois períodos amostrados, portanto, não houve variação sazonal. Entretanto, a oscilação observada é um pouco diferente dos dados obtidos por Silva (1999) e Santos (1981), cuja variação foi entre 4,10 e 6,00. Para Rocha (2003), Ramos (2003) e Costa (2005) esse comportamento é comum de ser observado nas águas subterrâneas de Manaus.

Tabela 5.1: Alguns valores de variáveis físicas determinadas nas amostras de água subterrânea de poços tubulares de Manaus obtidos durante o período de seca (agosto) e chuva (janeiro)

Período	Variável	Zona				
		Norte	Centro-Sul	Oeste	Sul	Leste
Seca	pH	6,16(0,80)	6,19(0,66)	6,09(0,94)	6,77(0,58)	6,40(0,75)
	Cor ( $\mu\text{H}$ )	ND	7,25(3,20)	5,43(3,37)	9,80(7,60)	7,71(3,30)
	Turbidez (UT)	0,43(0,12)	0,60(0,14)	0,30(0,43)	0,73(0,68)	0,43(0,17)
	S ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	17,26(10,17)	66,98(79,53)	58,60(67,88)	81,34(79,86)	51,70(51,20)
Cheia	pH	5,78(0,69)	5,85(0,75)	5,90(0,70)	6,39(0,38)	5,81(0,66)
	Cor ( $\mu\text{H}$ )	1,57(2,44)	3,00(2,93)	2,33(2,52)	6,00(5,15)	4,14(2,12)
	Turbidez (UT)	0,19(0,08)	0,30(0,25)	0,15(0,19)	0,39(0,34)	0,19(0,10)
	S ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	13,34(9,15)	38,94(39,43)	20,41(6,23)	59,57(68,02)	39,54(42,35)

S = condutividade elétrica. ND = não detectado (L.D = 0,01  $\mu\text{H}$ )

Estudos realizados por Lima e Kobayashi apud Araújo (2001) mostram que um fator que contribui para a acidez das águas é a presença de  $\text{CO}_2$  e ácidos húmicos livres em solução, fenômeno típico de zonas tropicais. Para esse autor, as maiores alterações dessa variável são provocadas por despejos de origem industrial.

A cor, por sua vez, teve como característica principal valores abaixo do limite de detecção do aparelho (0,01  $\mu\text{H}$ ) na zona Norte durante o período de seca. Os outros valores variaram aleatoriamente durante os dois períodos sazonais. Especificamente, na zona Sul, bairro Japiim, os valores de cor foi muito acima das outras regiões. Durante a seca a cor teve como valor 21,00  $\mu\text{H}$ , reduzindo para 14,00  $\mu\text{H}$  durante a cheia.

Da mesma forma como foi observado para a cor, a turbidez apresentou, na maioria das amostras, valores relativamente baixos, com valores máximos no o bairro Japiim (N5) 1,94 UT e bairro flores (CS1) 1,70 UT durante o período da seca. Geralmente, os valores de turbidez apresentaram as mesmas características observadas por outros autores (RAMOS e SILVA; 2003, SILVA; 1999, ROCHA; 2003, COSTA et al.; 2003 e COSTA 2005).

Os valores de cor e turbidez relativamente elevados em algumas amostras, podem estar associados ao teor de ferro total nessas águas, que varia  $\pm 0,3$ , visto que a coloração da água se origina devido à presença de sólidos totais, decomposição da matéria orgânica, manganês, e, principalmente do ferro e a turbidez se origina à presença de sólidos em suspensão.

No caso da condutividade elétrica foram observados valores relativamente baixos. Segundo Silva (2005) as baixas condutividades elétricas encontradas na região de Manaus indicam que as águas subterrâneas são fracamente mineralizadas. A extrema pureza das águas naturais reflete a importância do escoamento, da alta precipitação pluviométrica, evapotranspiração, rápida infiltração e da pobreza química dos materiais percolados.

Entretanto, em algumas amostras de cada zona foram observados valores muito acima da média. Por exemplo, no bairro Aleixo (CS7) foi encontrado um valor de  $256,0 \mu\text{S cm}^{-1}$  durante a seca e  $132,0 \mu\text{S cm}^{-1}$  durante a cheia. Já no São Jorge (O1) a condutividade elétrica foi de  $136,80 \mu\text{S cm}^{-1}$  na seca e reduzindo drasticamente para  $25,70 \mu\text{S cm}^{-1}$  na cheia. Na Cachoeirinha (S2) o valor foi de  $215 \mu\text{S cm}^{-1}$  na seca e  $179,80 \mu\text{S cm}^{-1}$  na cheia. No Coroado (L1) os valores foram de  $114,60 \mu\text{S cm}^{-1}$  na seca e  $99,70 \mu\text{S cm}^{-1}$  na cheia. Finalmente, no bairro São José (L6) os valores foram de  $132,10 \mu\text{S cm}^{-1}$  na seca e  $99,70 \mu\text{S cm}^{-1}$  na cheia. Esse comportamento é diferente do observado para as águas subterrâneas de Manaus em condições naturais, cujo valor varia entre  $11,7$  e  $94,5 \mu\text{S cm}^{-1}$  (SILVA, 1999 e ROCHA, 2003).

Aguiar et al. (2003) encontraram valores de condutividade elétrica em águas do aquífero Alter do Chão variando de  $14,6 \mu\text{S cm}^{-1}$  a  $458,0 \mu\text{S cm}^{-1}$ , relacionando à

poluição antrópica os altos valores de condutividade elétrica dos poços amostrados em Manaus, enquanto Andrade et al. (2004) encontraram condutividade elétrica acima de  $1900 \mu\text{S cm}^{-1}$  em dois poços tubulares na cidade de Iranduba e relacionou à possível perfuração do poço ter ultrapassado a Formação Alter do Chão e chegado à Formação Nova Olinda.

Sabe-se que a água subterrânea, ao infiltrar no estrato rochoso, tem um enriquecimento em sais minerais dissolvidos, favorecidos pelas baixas velocidades de circulação das águas subterrâneas, maiores pressões, temperaturas e tipos de rochas. Os sais dissolvidos presentes na água são capazes de conduzir a corrente elétrica, aumentando a concentração iônica e conseqüentemente o valor da condutividade elétrica (CASTANY, 1971). Portanto, os resultados elevados de condutividade elétrica descritos acima, indicam a existência de fontes pontuais de contaminantes nas proximidades desses poços.

## 5.2 Características Químicas

Em geral os valores indicam que as águas subterrâneas de poços tubulares têm basicamente as mesmas características químicas, durante o período de seca e cheia Tabela 5.2; ou seja, as variáveis analisadas apresentaram valores relativamente baixos, típicos de regiões bastantes intemperizadas.

Para as variáveis nitrito-amônia e nitrato-bactérias heterotróficas observaram-se comportamentos diferenciados dependendo do ponto de coleta. Por exemplo, no bairro São José (L6) a concentração de amônia ( $0,45 \text{ mg L}^{-1}$ ) e nitrito ( $0,21 \text{ mg L}^{-1}$ ) durante

Tabela 5.2: Algumas variáveis químicas de amostras de água subterrânea de poços tubulares de Manaus obtidos durante o período de seca (agosto) e cheia (janeiro)

Período	Variável (mg L <sup>-1</sup> )	Zona				
		Norte	Centro-Sul	Oeste	Sul	Leste
Seca	Amônia	ND	ND	ND	ND	0,06(0,17)
	Cloretos	3,44(1,12)	12,05(10,87)	9,22(6,99)	6,94(6,32)	8,58(8,17)
	DT	5,43(1,81)	8,25(1,91)	9,67(2,08)	4,80(2,05)	5,86(1,21)
	DCa	3,14(2,19)	5,13(2,03)	4,67(1,15)	3,00(0,71)	4,57(0,98)
	DMg	0,19(0,05)	0,21(0,08)	0,23(0,07)	0,20(0,05)	0,19(0,04)
	FeTotal	2,29(1,89)	3,13(0,83)	5,00(1,00)	1,80(2,05)	1,29(1,38)
	Nitrato	2,37(1,86)	2,25(1,04)	2,67(1,15)	2,00(0,71)	2,14(1,07)
	Nitrito	ND	ND	ND	ND	0,03(0,08)
	Potássio	2,29(3,09)	6,50(5,04)	6,67(4,04)	10,00(6,00)	4,43(6,75)
	Sílica	12,68(1,56)	12,52 (1,34)	11,35(0,45)	13,49(30,51)	36,50(6,43)
	Sódio	5,29(3,09)	5,75(5,50)	12,67(0,67)	5,20(7,50)	3,14(0,48)
	Sulfato	0,39(0,04)	0,42(0,15)	0,55(0,06)	0,55(0,19)	0,37(0,08)
	Cheia	Amônia	ND	ND	ND	ND
Cloretos		2,83(0,58)	10,46(9,85)	8,03(6,71)	3,68(1,27)	4,86(4,91)
DT		3,43(0,73)	4,56(1,80)	8,00(1,73)	4,40(2,07)	4,86(1,07)
DCa		0,13(0,04)	0,11(0,07)	0,18(0,05)	0,13(0,02)	0,15(0,03)
FeTotal		2,33(0,51)	3,31(1,53)	6,13(1,64)	2,80(1,64)	4,18(1,00)
DMg		1,10(0,60)	1,25(0,53)	1,87(0,32)	1,60(0,89)	0,69(0,54)
Nitrato		1,66(0,60)	1,59(0,60)	1,47(0,99)	0,45(0,36)	0,60(1,15)
Nitrito		ND	ND	ND	ND	ND
Potássio		1,43(1,90)	5,13(4,64)	7,67(0,58)	8,20(4,60)	2,86(5,90)
Sílica		12,08(1,81)	9,69(2,02)	10,08(1,14)	11,34(2,22)	32,06(3,71)
Sódio		5,29(3,68)	4,50(5,18)	3,67(4,73)	3,20(4,92)	3,14(6,57)
Sulfato		0,35(0,05)	0,36(0,14)	0,35(0,18)	0,28(0,16)	0,29(0,09)

DT = dureza total, DCa = dureza cálcica, DMg = dureza magnésica, ND = não detectado (<0,001 mgL<sup>-1</sup>).

a seca e amônia ( $0,21 \text{ mg } L^{-1}$ ) e nitrito ( $0,05 \text{ mg } L^{-1}$ ) durante a cheia. Na Cidade Nova (N7) a concentração de nitrato ( $6,40 \text{ mg } L^{-1}$ ) e bactérias heterotróficas (incontáveis) na seca. No São Jorge (O1) a concentração de nitrato foi de ( $4,0 \text{ mg } L^{-1}$ ) e bactérias heterotróficas (incontáveis) na seca e nitrato ( $2,60 \text{ mg } L^{-1}$ ) e bactérias heterotróficas ( $280 \text{ u.f.c. mL}^{-1}$ ) na cheia, todos estes estavam muito acima dos outros locais amostrados. Os valores encontrados para a amônia, podem estar associados com a proximidade das fontes geradoras de amônia com o lençol freático, por exemplo, as fossas e, também, as falhas de construção e proteção sanitária do poço (SILVA, 2001).

Embora o valor limite adotado para nitrato seja de  $10 \text{ mg L}^{-1}$ , a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) considera que os valores acima de  $3 \text{ mg L}^{-1}$  um indicativo de contaminação antrópica. Baseado nesta consideração, os resultados para este ânion indicam que no bairro Cidade Nova (N7) com  $6,4 \text{ mg L}^{-1}$ , bairro Parque 10 (CS4) com  $4,0 \text{ mg L}^{-1}$ , bairro São Jorge (O1) com  $4,0 \text{ mg L}^{-1}$  e bairro Jorge Teixeira (L3) com  $4,0 \text{ mg L}^{-1}$  apresentam contaminação por ação antrópica.

No caso do poço do bairro Cidade Nova (N7) com  $6,4 \text{ mg L}^{-1}$ , o lençol freático pode estar próximo ao sistema de saneamento e/ou de tubulações de esgotos com vazamentos, elevando o teor de nitrato. No entanto, a causa desse teor de nitrato, não puderam ser suficientemente justificadas; uma vez que, seria necessário um maior número de análises. Estes valores são diferentes dos encontrados por Silva (1999) encontrou concentração média de nitrato e amônia de  $0,16 \text{ mg L}^{-1}$  e  $0,04 \text{ mg L}^{-1}$  e Silva (2005) de  $0,43 \text{ mg L}^{-1}$  para nitrato e abaixo de  $0,16 \text{ mg L}^{-1}$  para amônia.

Em relação as variáveis: potássio, sílica e sódio observaram-se também valores elevados de alguns pontos de coleta: Coroado (L1) a concentração de potássio ( $19,0 \text{ mg L}^{-1}$ ) e sílica ( $48,8 \text{ mg L}^{-1}$ ) durante a seca e potássio ( $16,0 \text{ mg L}^{-1}$ ) e sílica ( $35,0 \text{ mg L}^{-1}$ ) durante a cheia. Em Flores (CS1) o sódio foi de ( $17,0 \text{ mg L}^{-1}$ ) na seca e ( $17,0 \text{ mg L}^{-1}$ ) na cheia. No Parque Dez (CS4) o potássio ( $15,0 \text{ mg L}^{-1}$ ) na seca e ( $13,0 \text{ mg L}^{-1}$ ) na cheia. Na zona Leste, foram observados os maiores valores de sílica. Já Silva (1999), Ramos e Silva (2003) e Silva (2005) encontraram valores médios de potássio,  $5,5 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $4,0 \text{ mg L}^{-1}$  e  $4,80 \text{ mg L}^{-1}$ , respectivamente, os quais são diferentes aos encontrados neste trabalho.

Em relação ao sódio, Silva (1999) e Silva (2005) encontraram valores médios de sódio de  $1,25 \text{ mg L}^{-1}$  e  $1,75 \text{ mg L}^{-1}$ , respectivamente, diferente dos valores obtidos neste trabalho, isso, possivelmente pode indicar que há influência antrópica nesses pontos amostrados.

Os teores de sílica e  $K^+$  sugerem uma forte contribuição dos minerais silicáticos que constituem as rochas de Formação Alter do Chão e dos Espodossolos e Latossolos gerados a partir do seu intemperismo (HORBE et al, 2004).

Segundo Esteves (1988) e Teixeira et al. (2000) a fonte de sílica ( $SiO_2$ ) nas águas, está associada, principalmente, os alumino-silicatos presentes nas rochas sedimentares e a hidrólise é a reação mais importante, pois libera seus constituintes, parte recombina-se formando argilominerais, principalmente caulinita, e o restante é liberado para a água.

A dureza total (DT) e dureza cálcica (DCa) foram encontrados valores maiores no período de seca a cheia para todas as amostras analisadas. Já a dureza magnésica (DMg), observou-se um resultado inverso. A dureza total reflete a presença de íons  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ , podendo estar combinado com sulfatos, cloretos e principalmente bicarbonatos (ESTEVES, 1988). A sua origem está relacionada com a diminuição do pH das águas meteóricas infiltrantes, devido à dissolução de  $CO_2$  liberado pela ação das bactérias no solo e conseqüente conversão de carbonatos insolúveis em carbonatos solúveis (CETESB, 1978; Todd, 1980). Em termos gerais, a abundância dos cátions dissolvidos ocorreu de acordo com a seguinte seqüência  $K^+ > Na^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+}$ . Enquanto Ramos e Silva (2003) apresentaram a seqüência  $K^+ > Na^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+}$  e Silva (1999) encontrou  $K^+ > Na^+ > Ca^{2+} = Mg^{2+}$ .

Segundo Silva (2005) o cálcio é o elemento mais abundante na maioria das águas e rochas. Os sais de cálcio possuem moderada e elevada solubilidade, sendo muito comum precipitar como carbonato de cálcio. Para esse autor, o magnésio é um elemento de importância nas rochas ferromagnesianas e ultrabásicas. Os minerais mais comuns fornecedores de magnésio para as águas subterrâneas são: biotita, anfíbios e piroxênios. Estes minerais são mais estáveis, diante do intemperismo químico, do que os minerais fornecedores de cálcio, por isso seu teor nas águas subterrâneas é menor. O argilo mineral dominante nos solos da região é a caulinita (Damião et al., 1972), sugerindo a possibilidade de que os silicatos de alumínio estejam fixando o magnésio.

Em relação ao sulfato, observou-se que foram encontrados teores muito baixos, semelhante à observada por Silva (1999) e Silva (2005) devido à pobreza desses íons nas rochas que constituem a Formação Alter do Chão e a baixa mobilidade de seus compostos. No entanto, observou-se que os maiores valores foram encontrados no período de seca.

De acordo com os resultados encontrados, o cloreto teve os maiores valores, com máximos de (35,46 mg  $L^{-1}$ ) na seca e (31,20 mg  $L^{-1}$ ) na cheia, especialmente no bairro Adrianópolis (CS5).

Sendo assim, Silva (1999) encontrou valor médio de cloreto de 1,0 mg  $L^{-1}$ , Silva (2001) 1,09 mg  $L^{-1}$  em águas subterrâneas, enquanto Aguiar et al. (2003) encontraram valores de 1,56 a 47,29 mg  $L^{-1}$  e relacionaram esses altos valores de cloreto a uma possível influência antropogênica na área, justificativa semelhante à observada neste trabalho. Para Moreira-Nordemann (1987), Négrel e Lachassagne (2000) a principal fonte de  $Cl^{-}$  nas águas da Amazônia é a chuva.

Para Silva (2001), o teor de cloreto inferior a  $150 \text{ mg L}^{-1}$ , sugere que o aquífero é não-confinado e que as águas são recém-filtradas, refletindo características das águas de chuva com pouca interação com os estratos do aquífero.

O cloreto, em geral é muito solúvel e muito estável em água. A alta solubilidade e o lento movimento das águas no aquífero provocam aumentando gradativos e constantes nos teores de cloretos nas águas subterrâneas na direção do fluxo (FENZL, 1988, SANTOS, 2000).

Assim como a maioria dos elementos, o Fe Total também apresentou valores superiores no período de seca à cheia. Isso se deve, pela quantidade inferior de chuva (período de seca), implicando na maior na precipitação desse elemento.

Neste trabalho, observou-se a presença de valores baixos de ferro total, semelhante à encontrada por Tundisi (1996). Segundo esse autor, isso reflete a elevada taxa de circulação (renovação) da água subterrânea no sistema hidrológico da Formação Alter do Chão.

### 5.3 Características Microbiológicas

A Tabela 5.3 mostra alguns valores microbiológicos das amostras estudadas, em que se observou ausência de coliformes totais (CT) e fecais (CF) e valores relativamente baixos de bactérias heterotróficas nas amostras; ou seja, livre de contaminantes microbiológicos, com exceção de algumas amostras específicas.

Tabela 5.3: Alguns resultados das análises microbiológicas das amostras de água subterrânea de poços tubulares de Manaus, obtidas durante o período de seca (agosto) e cheia (janeiro)

Período	Variável	Zona				
		Norte	Centro-Sul	Oeste	Sul	Leste
Seca	CT	ND	2,7(4,1)	ND	22,7(41,2)	0,51(1,36)
	CF	ND	ND	ND	ND	ND
	BH	45,0(48,3)	53,6(70,4)	70,0(22,6)	131(115)	101(119)
Cheia	CT	ND	0,45(1,27)	ND	ND	ND
	CF	ND	ND	ND	ND	ND
	BH	25,4(18,3)	40,4(47,3)	121,7(137,5)	46,2(25,5)	47,0(45,2)

CT = coliformes totais (NMP/100 mL), CF = coliformes fecais (NMP/100 mL), BH = bactérias heterotróficas (u.f.c mL<sup>-1</sup>) e ND = não detectado

Os resultados de CT e CF revelaram que não houve uma variação significativa em ambos os períodos de amostragem. A maioria das amostras analisadas apresentou ausência de CT e CF. Para alguns bairros foram encontrados valores diferentes de CT: i) bairro Flores (CS2) com 9,1 NMP/100 mL; ii) bairro Adrianópolis (zona Centro-Sul) com 3,6 NMP/100 mL; iii) bairro Aleixo (CS7) com 9,1 NMP/100 mL; iv) bairro Colônia Oliveira Machado (S1) com 93 NMP/100 mL; v) bairro Japiim (S4) com 43 NMP/100 mL e vi) bairro Jorge Teixeira (L4) com 3,6 NMP/100 mL durante a seca. Porém, durante a cheia, somente o bairro Flores (CS2) apresentou CT de 3,6 NMP/100 mL, permanecendo ausente nos demais pontos de coleta.

A presença de CF encontradas em algumas amostras de água indica a contaminação por fezes e, conseqüentemente, de microrganismos patogênicos, que por serem menos freqüentes e mais frágeis às condições ambientais. Por sua vez, a presença de outros coliformes em algumas amostras também podem indicar a possibilidade de contaminação pelo solo.

As bactérias heterotróficas (BH) foram detectadas em todas as amostras e em alguns pontos de coleta os valores foram relativamente baixos (variando entre 3 e 197 u.f.c  $mL^{-1}$ ), em outros altos ( $> 200$  u.f.c  $mL^{-1}$ ). Particularmente, os valores de BH mais elevados foram encontrados durante o período de seca nos bairros Cidade Nova (CS6) e Adrianópolis (CS6) com  $> 500$  u.f.c.  $mL^{-1}$ , Colônia Oliveira Machado (S1) com 294 u.f.c.  $mL^{-1}$ , Japiim (S4) com 211 u.f.c.  $mL^{-1}$ , São José (S6) com 360 u.f.c.  $mL^{-1}$  e na cheia nos bairros: São Jorge (O1) com 280 u.f.c.  $mL^{-1}$ . Essa contaminação pode estar associada à infiltração de efluentes, facilitada pelos poços que são incorretamente lacrados e isolados no lençol freático.

A profundidade do poço, bem como o nível estático, são dois fatores importantes para a avaliação da qualidade da água subterrânea. Por exemplo, os poços CS2 (Prof. = 56 m e N.E = 16 m) no bairro Flores, CS6 (Prof. = 52 m e N.E = 18,40 m) no bairro Adrianópolis e o CS7 (Prof. = 90,0 e N.E = 14 m) no bairro Aleixo são poços com nível estático elevado e pouco profundos (exceto o CS7), isto ocasiona uma maior vulnerabilidade devido a maior proximidade da superfície do solo. Esses fatos podem explicar os resultados de contaminação microbiológica encontrados nos mesmos.

Observou-se que os poços de aquíferos livres se mostraram com maior vulnerabilidade a contaminação do que os confinados e semi-confinados. Isto pode ser justificado, devido à camada de solo, que funciona como um reator natural para as reações biogeoquímicas, ser menos profunda. Isto faz com que o tempo de exposição das águas ao solo, durante a percolação, seja muito reduzido para as reações se processarem e promoverem a depuração das águas.

## 5.4 Tratamento de Dados

O tratamento estatístico foi utilizado para descrever o padrão de similaridade entre as amostras de água subterrânea, considerando o conjunto total de variáveis e as correlações entre essas variáveis. Além disso, encontrar conjuntos de variáveis que possam ser consideradas redundantes.

### 5.4.1 Análise de Agrupamento Hierárquico

Os Dendogramas da zona Norte (Figura 5.1) mostram que no período de cheia existem dois grupos basicamente: Grupo I, formado pelas variáveis sulfato, nitrito, Fe total e turbidez e o Grupo II cor, cloreto, DCa, DT, DMg, nitrato e potássio. No período de seca dois grupos basicamente: Grupo I, pelas variáveis pH, DT, potássio, sódio, cloreto, DCa, DMg, nitrato, turbidez, sulfato e Fe total e o Grupo II S e sílica.

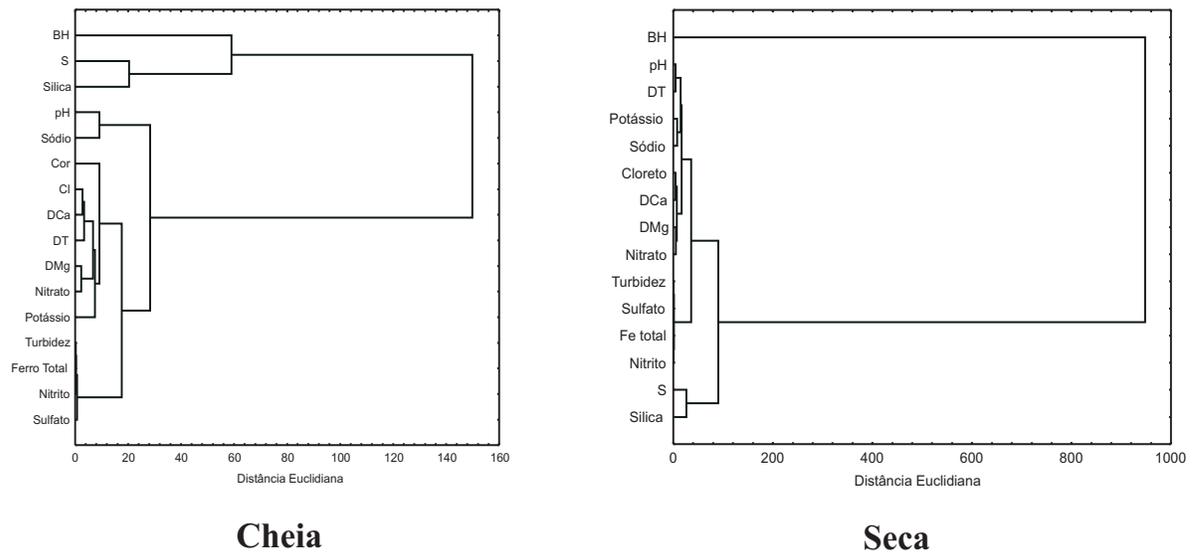


Figura 5.1: Dendrogramas das variáveis determinadas na zona Norte.

Na zona Sul (Figura 5.2) os dendrogramas das variáveis mostram que no período de cheia existe um grupo formado pelas variáveis pH, turbidez, Fe total, sulfato, nitrato, DMg, DT, DCa, Cl, sódio, potássio, cor e sílica. Entretanto, no período de seca, observa-se dois grupos basicamente: Grupo I, pelas variáveis: pH, Cl, DT, sódio, cor, potássio e sílica e o Grupo II pelas variáveis Fe total, nitrito, sulfato, DCa, nitrato e DMg.

Na zona Oeste (Figura 5.3) verifica-se nos dendrogramas das variáveis dois grupos basicamente durante a cheia. O Grupo I é formado pelas variáveis: pH, DCa, DT, potássio, sílica, Cl, sódio e S e o Grupo II pelas variáveis cor, DMg, nitrato, turbidez, Fe total e nitrito. No período de seca também são observados dois grupos, porém diferente do período de cheia. Desta vez, o Grupo I é composto pelas variáveis: pH, DCa, DMg, nitrato, cor, potássio, turbidez, Fe total, nitrito e o Grupo II Cl, DT, sílica e sódio.

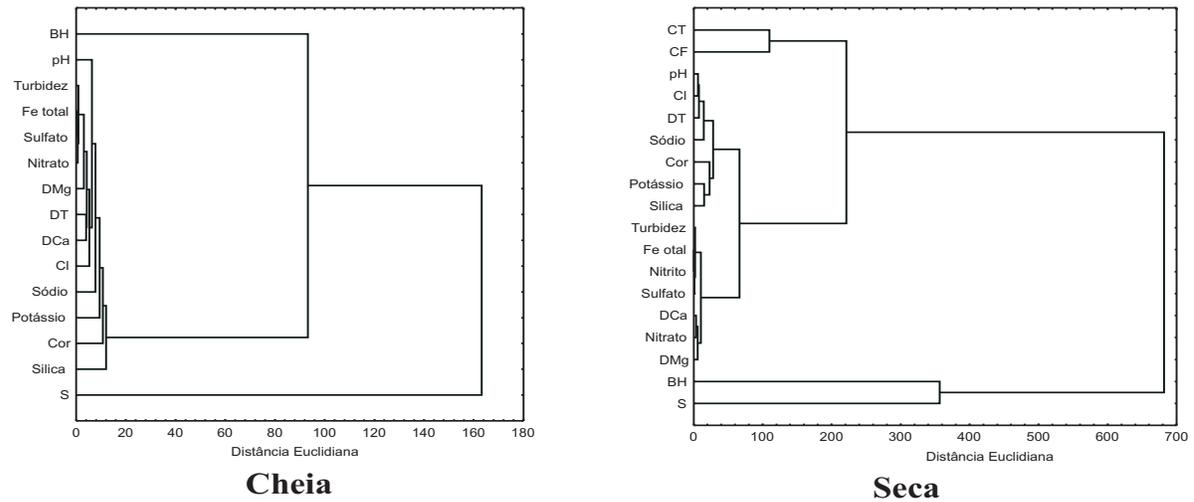


Figura 5.2: Dendrogramas das variáveis determinadas na zona Sul.

A Figura 5.4 mostra os dendrogramas das variáveis obtidos dos dados da zona Leste, cuja principal característica é a existência de um grupo similar nos dois períodos amostrados. Este grupo é formado pelas variáveis pH, DT, DCa, cor, potássio, cloreto e sódio. As outras variáveis formam dois grupos distintos dependendo do período de coleta. Durante a cheia é observado o grupo formado pelas variáveis sulfato, amônia, nitrito, DMg e nitrato. Durante a seca o grupo é formado por CT, turbidez, sulfato, amônia, nitrito, Fe total, DMg e nitrato.

Da mesma forma que foi observado para as zona Leste, os dendrogramas das variáveis zona Centro-Sul (Figura 5.5) revela um mesmo grupo durante o período da cheia e seca, formado, desta vez, pelas variáveis pH, cor, DT, DCa, sódio, potássio, sílica e cloreto. Para as outras variáveis têm-se: CT, turbidez, sulfato, Fe total, nitrito, DMg e nitrato para o período de cheia e CF, DMg, nitrato, turbidez e Fe total para o período de seca.

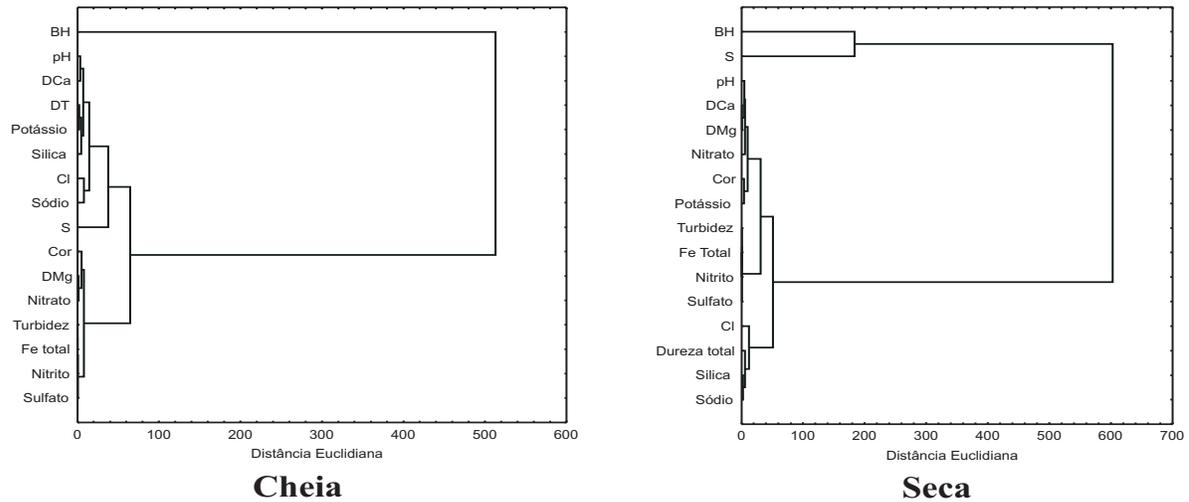


Figura 5.3: Dendrogramas das variáveis determinadas na zona Oeste.

Sendo assim, os dendrogramas caracterizam alterações na similaridade durante o período de cheia e seca. Para a zona Leste e Centro-Sul, as variáveis pH, DT, DCa, cor, potássio, cloreto e sódio, exceção da sílica, que forma um grupo similar independente do período do amostrado. Já as outras variáveis, formam diferentes grupos dependendo da época do ano.

## 5.5 Análises Componentes Principais

Os resultados foram submetidos à análise multivariada baseada na correlação de Pearson, cujas tabelas são apresentadas no Apêndice D. Como as correlações são muito similares serão discutidos apenas os dados obtidos da zona Norte (Tabela 5.4).

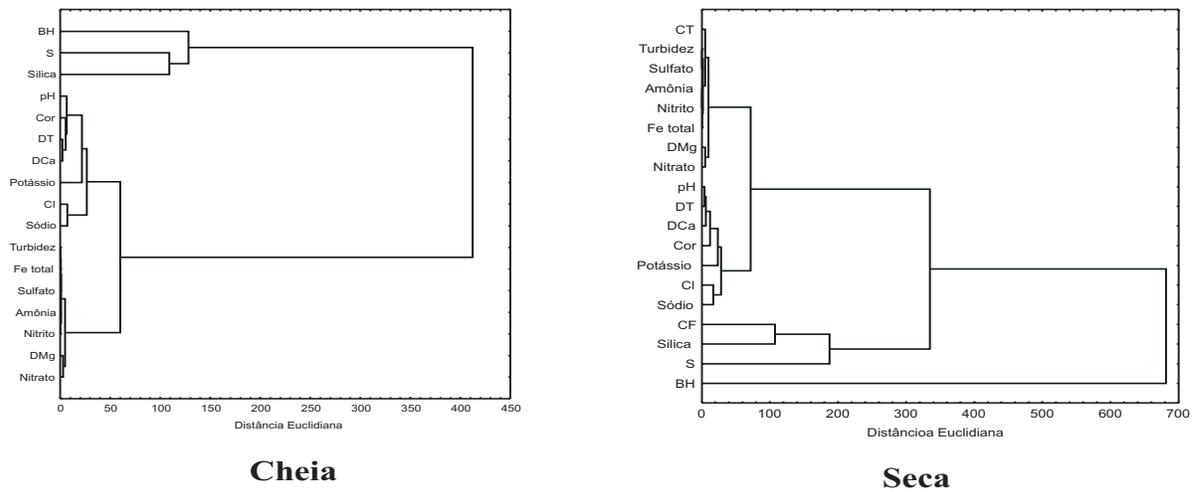


Figura 5.4: Dendrogramas das variáveis determinadas na zona Leste.

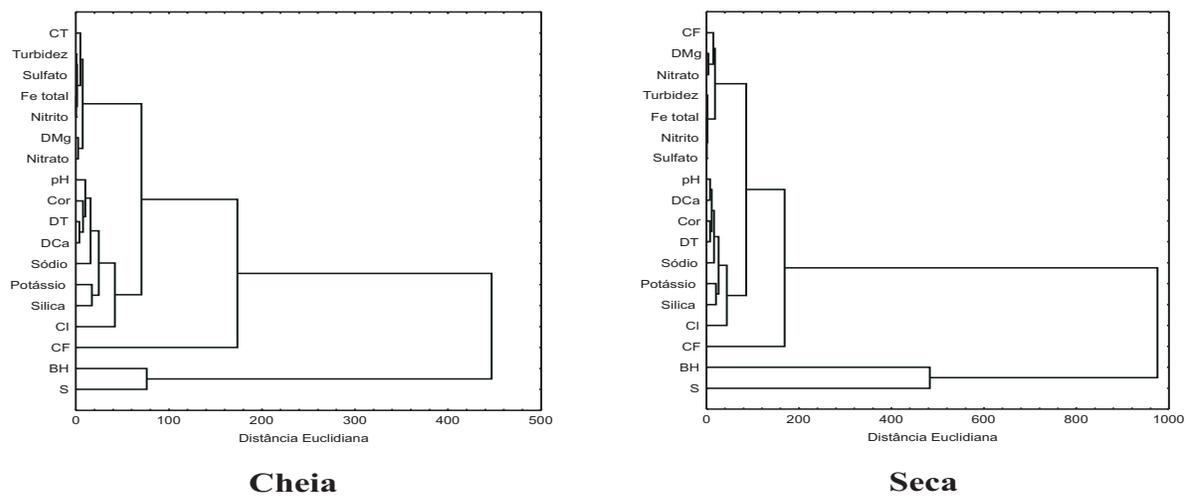


Figura 5.5: Dendrogramas das variáveis determinadas na zona Centro-Sul.

Tabela 5.4: Correlação de Pearson obtida dos dados da região Norte durante os períodos de seca e cheia

Período		BH	pH	Cor	S	Cl	DT	Fe Total	DMg	Nitrato	Nitrito	Potássio	Sílica	Sódio
Cheia	Turbidez			0,64										
	S	0,84												
	Cloretos	0,5												
	DCa		0,62				0,58							
	DMg.						0,73							
	Nitrato	0,57			0,69									
	Nitrito	0,83												
	Potássio							0,89						
	Sílica				0,59			0,9		0,69				
	Sódio							0,9				0,97		
Sulfato						0,58	0,76			0,6	0,82		0,81	
Seca	S	0,85												
	Fe Total		0,92											
	DCa		0,62											
	DMg.						0,88							
	Nitrato	0,93			0,93									
	Nitrito	0,83						0,51	0,54					
	Sílica				0,58				0,69					
	Sódio												0,69	
	Sulfato									0,51	0,9			0,9

Dentre as correlações obtidas, a variável contagem de bactérias heterotróficas (BH) foi a que apresentou maiores números de correlações  $\geq 0,50$  com as outras variáveis analisadas, independentemente do amostrado. Os coeficientes de correlação de Pearson indicam que o nitrito e nitrato podem ser produtos de atividade bacteriológica. O aumento nos valores dos coeficientes de correlação do período de cheia para seca revela um aumento na atividade bacteriológica induzindo a maior produção desses ânions pelas bactérias.

Em princípio, este comportamento poderia ser explicado pela atividade microbiana, pois em nenhum ciclo biogeoquímico os microorganismos têm maior participação do que no ciclo do nitrogênio. Os microorganismos participam em praticamente todos os grupos fisiológicos (autótrofos, heterotróficos, aeróbicos, anaeróbicos, etc.), tomando parte em quatro processos básicos: amonificação, nitrificação e amonificação do nitrato (ESTEVES, 1998). Como há correlações  $\geq 0,50$  entre as variáveis bactérias-nitrato e bactéria-nitrito, muito provavelmente as bactérias existentes nas águas subterrâneas de Manaus são da família nitrobacteraceae, cuja principal reação é



Portanto, inicialmente tem-se a oxidação da  $NH_3$ , que libera o  $NO_2^-$  e, posteriormente o  $NO_3^-$  o que justifica os baixos teores do nitrito por ser a fase intermediária.

Os coeficientes de Pearson obtidos nas outras amostras mostram que a correlação entre as variáveis medidas dependem do período amostrado. Por exemplo, às correlações das variáveis  $\geq 0,5$  foram: pH com o Fe durante o período de seca, cor com turbidez na cheia, sulfato com cloreto na cheia, Fe com K, Na, sílica e sulfato na cheia, sílica e Na na seca, K com o Na na cheia, DT com DCa no período de cheia.

Além disso, observou-se que algumas variáveis se mostraram freqüentemente correlacionadas, tais como: dureza total (DT) com dureza cálcica (DCa) e com dureza magnésica (DMg) nas zonas Norte, Leste, Oeste, Sul e Centro-Sul, isso indica que os processos intempéricos estão agindo da mesma forma sobre estes elementos.

O nitrato apresentou correlação com o cloreto nas zonas Oeste, Sul, Centro-Sul e Leste, isso indica que a fonte de tais elementos químicos é a mesma. Trata-se de elementos que possuem alta mobilidade e são relativamente estáveis na zona saturada.

A correlação observada entre a S com o nitrato, sódio, dureza total DT, DCa e DMg nas zonas Leste, Sul e Oeste é esperada. Segundo Esteves (1998) os íons responsáveis pelos valores de S em águas interiores são os chamados macronutrintes (cálcio, magnésio, potássio, sódio, sulfato, cloreto, nitrato etc.).

A cor determinada neste trabalho trata-se da "cor aparente", dessa forma, foi possível encontrar correlação com a turbidez nas zonas Norte, Sul, Oeste e Centro-Sul. Isto provavelmente se deve às substâncias dissolvidas estarem agregadas com as partículas de areia, silte e argila existente no local amostrado.

O cloreto apresentou correlação com o sulfato nas zonas Norte, Leste, Oeste, Sul e Centro-Sul, isso indica uma procedência comum dos mesmos, possivelmente a água da chuva, pois ambos são normalmente abundantes na precipitação atmosférica (MENE-GASSE, 2005).

A Figura 5.6 mostra o gráfico da componente principal 1 (PC1) *versus* componente principal 2 (PC2) dos dados obtidos na zona Norte. Neste gráfico se distingui facilmente

o efeito do período da cheia em relação à seca. Durante a cheia os pontos de coleta N1, N5 e N6 possuem as mesmas características, entretanto durante a seca, o ponto N6 é diferente dos anteriores.

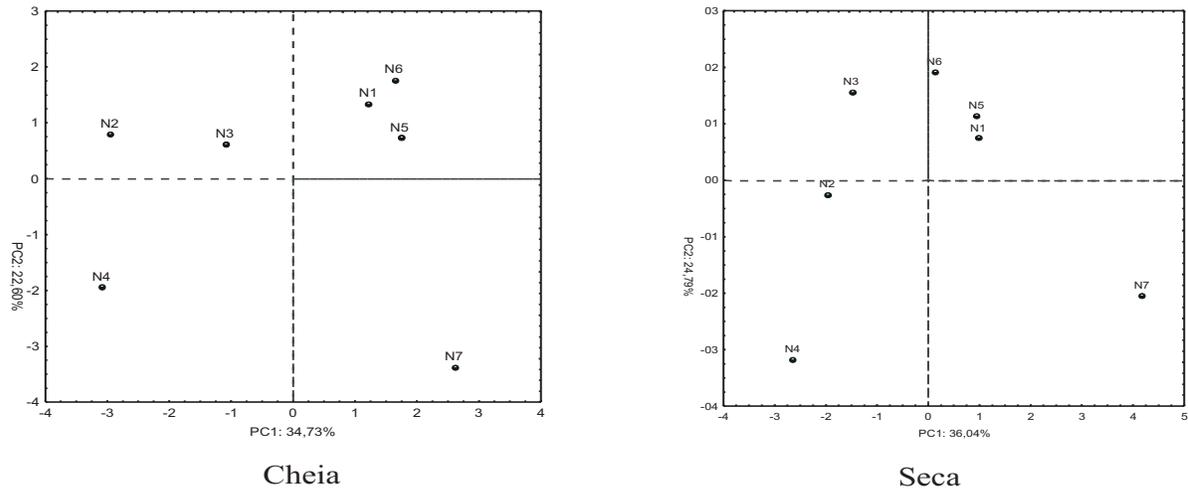


Figura 5.6: Componentes principais da zona Norte.

A Figura 5.7 e 5.8 mostram o PC1 *versus* PC2 dos dados obtidos na zona Sul e Oeste, cujas características é que todos os pontos de coleta são diferentes em ambos os períodos.

A Figura 5.9 mostra o PC1 *versus* PC2 dos dados obtidos na zona Leste, destaca-se que tanto no período de cheia como no de seca os pontos L2 e L4 como também L3 e L7 possuem as mesmas características. Durante o período de seca o L5, L3 e L7 apresentaram as mesmas características, diferente do período de cheia.

A Figura 5.10 mostra o PC1 *versus* PC2 dos dados obtidos na zona Centro-Sul, em que no período de cheia o ponto CS8 apresentou as mesmas características do CS6, enquanto no período de seca foi o CS8 e CS3. Para os outros pontos de coleta, os gráficos

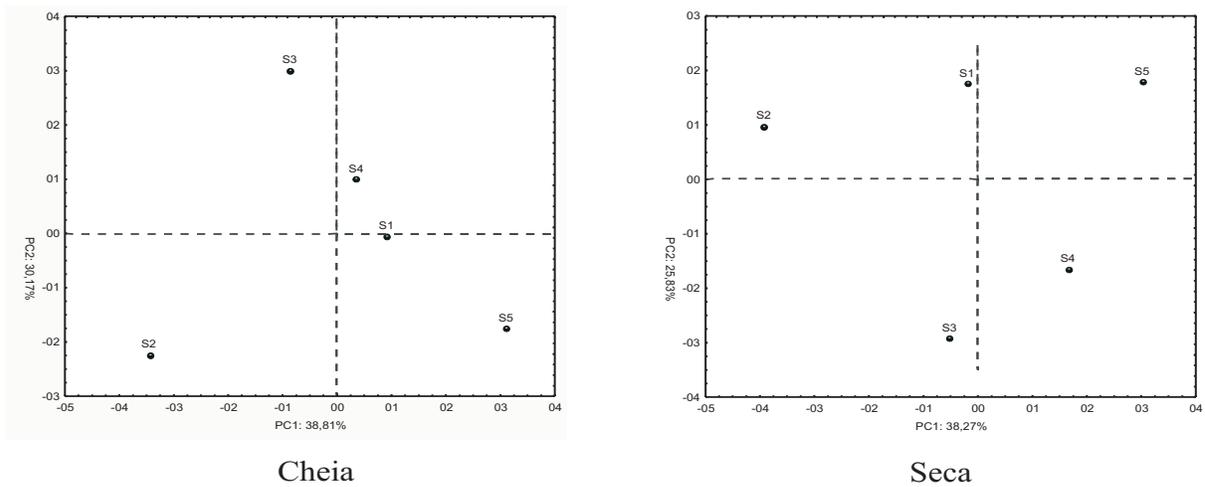


Figura 5.7: Componentes principais da zona Sul.

de PC foram muito diferentes.

Finalmente, para uma avaliação global foi realizada a análise de PCA tendo todas as variáveis determinadas neste estudo, tendo como principal característica a diferença entre o período de cheia e de seca (Figura 5.11). Nos PCAs, observou-se que alguns pontos de coleta são diferenciados dependendo do local e período amostrado. Durante a cheia os pontos de coleta CS1, CS2, CS5, O1, S5 e L6 são diferentes durante o período de cheia; já os pontos de coleta CS1, CS5, O1, S4, S1, S5, L6 no período da seca. Observou-se também, que nos pontos de coleta S4, S1 e CS2 são diferentes em relação aos demais somente no período de seca.

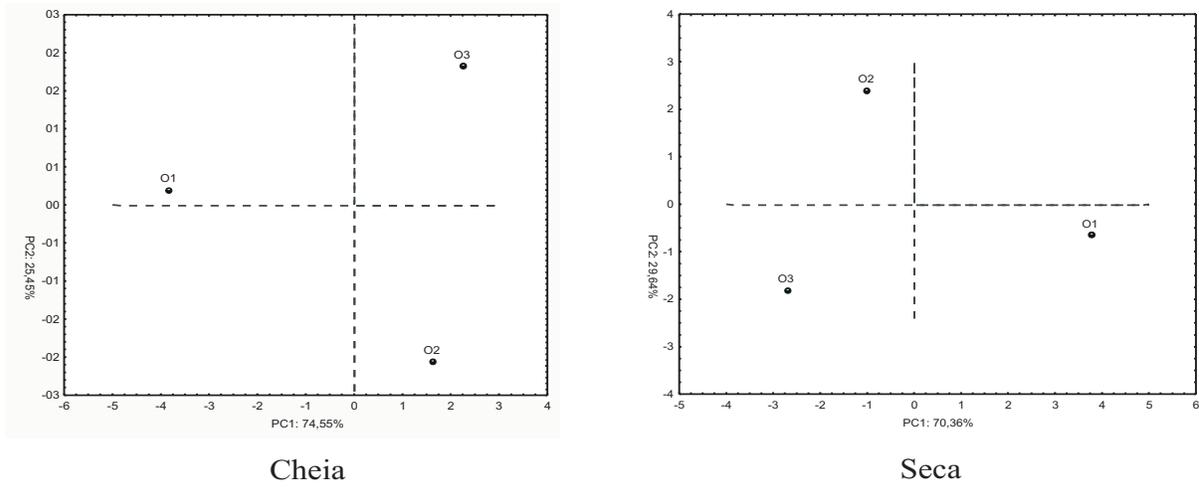


Figura 5.8: Componentes principais da zona Oeste.

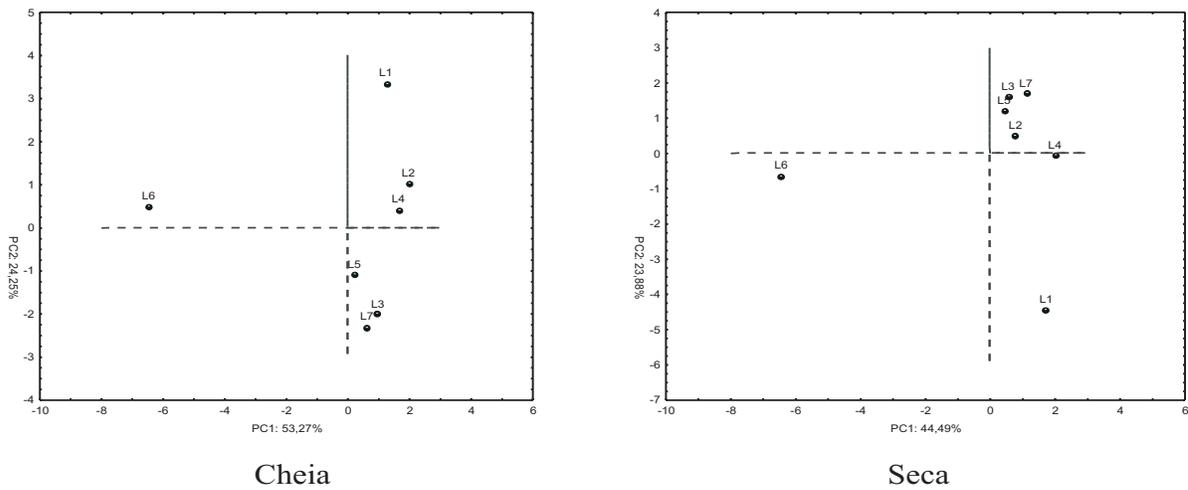


Figura 5.9: Componentes principais da zona Leste.

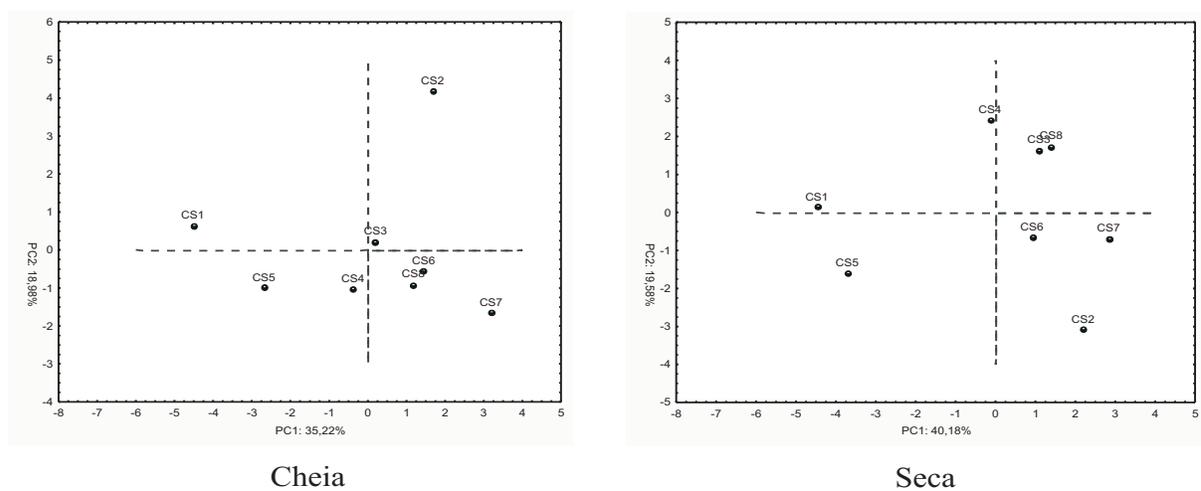
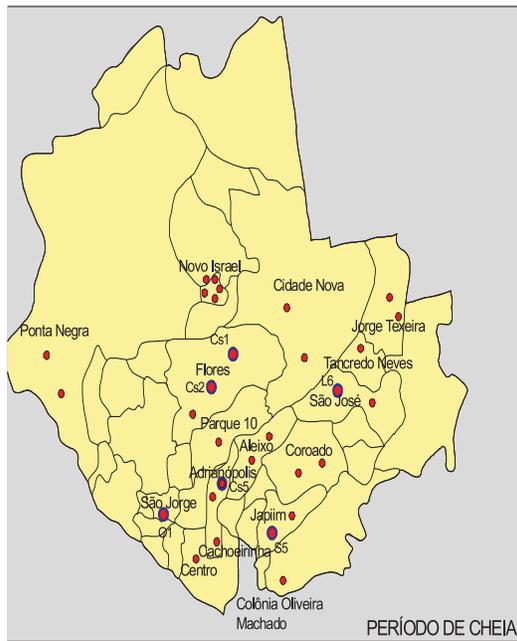
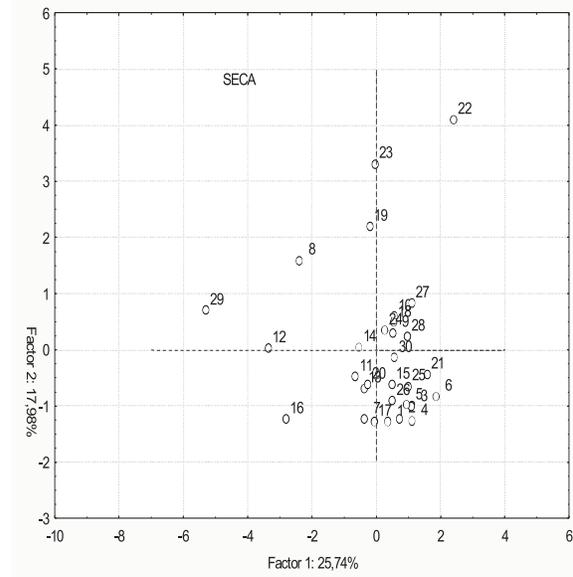
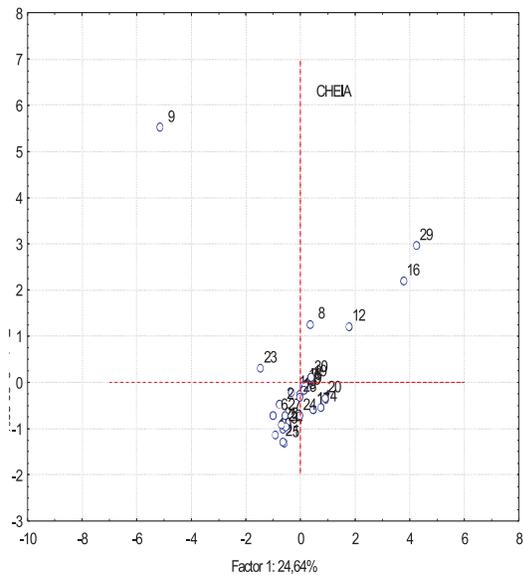
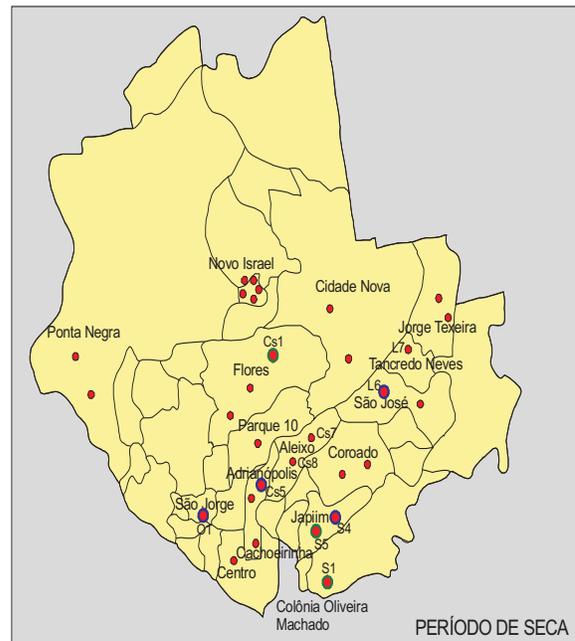


Figura 5.10: Componentes principais da zona Centro-Sul.



Características Diferentes no mesmo Período  
Pontos Amostrados



Características Diferentes no Período de Seca  
Características Diferentes no mesmo Período  
Pontos Amostrados

Figura 5.11: Componentes principais relativos a todos os pontos amostrados nos período de cheia e seca

# Capítulo 6

## Conclusões

Em síntese, o estudo realizado, a partir de análises físico-químicas e microbiológicas de amostras de água captada em poços tubulares na zona urbana de Manaus, indica que as águas podem ser consideradas de boa qualidade, estando em conformidade com os padrões estabelecidos pela Portaria nº 518 de 25/03/2004 da ANVISA/MS, com exceção de algumas amostras. Dentre as variáveis que estavam alteradas estão os coliformes totais, fecais, e bactérias heterotróficas, condutividade elétrica e nitrato, provavelmente devido à proximidade com as fossas, bem como a profundidade dos poços tubulares. A análise estatística HCA e PCA revelou que existe uma diferença no comportamento das variáveis dependendo do período sazonal amostrado. Os aquíferos livres se mostraram com maior vulnerabilidade à contaminação do que os confinados e semi-confinados. Em relação a sazonalidade, observou-se que as variáveis físico-químicas e microbiológicas foram mais elevadas no período de seca.

# Capítulo 7

## Considerações Finais

Neste trabalho, não foi possível determinar qual é a distância segura entre os poços de captação de água para fins potáveis e os sistemas de dejetos domésticos (fossa) e industriais. Para tanto, estudos posteriores devem ser desenvolvidos no sentido de identificar as condições hidrogeológicas dos solos da região. Somente assim, normas mais adequadas para região poderão ser estabelecidas. Um fator muito importante que deve ser verificado é a forma de perfuração dos poços, pois a perfuração tem ser realizada segundo as Normas da ABNT e por pessoas e/ou empresas habilitadas.

Além disso, o consumo humano de água potável constitui-se em uma das ações de saúde pública de maior impacto na prevenção de doenças e dos índices de mortalidade. Portanto, o consumo humano de água de manancial subterrâneo que não atendam aos padrões de potabilidade recomendados precisa ser evitado, principalmente através do acesso à informação para que assegure o consumidor, o acesso de água de boa qualidade.

Neste contexto, este trabalho recomenda também uma minimização da carga hidráulica das fossas; excluindo as águas pluviais e aumentando a área de base dos poços, principalmente nas áreas estudadas. Com isso, a distância de percolação das águas até a zona saturada será aumentada, permitindo um maior tempo para que as reações biogeoquímicas de depuração de processem de forma natural no solo.

Os órgãos públicos federal, estadual e municipal de saúde, meio ambiente e educação, juntamente com a sociedade civil organizada, devem promover campanhas de esclarecimento à população, principalmente no que diz respeito à perfuração, preservação e uso dos poços quanto aos riscos e perigos atuais e futuros. Dessa forma, a água subterrânea de Manaus cumprirá sua função, que é o abastecimento de água potável.

# Capítulo 8

## Referências Bibliográficas

ABNT. Construção de poço para captação de água subterrânea. NBR 12212.

ABNT. Projeto de poço para captação de água subterrânea. NBR 12244

AGUDO, E.G. Guia de coleta e preservação de amostras de água. CETESB. São Paulo, 1987. 98 p.

AGUIAR, C.J.B, et al. A vulnerabilidade do Aquífero Alter do Chão na Cidade de Manaus – Um caso de Contaminação por Amônia e Nitrato Manaus-AM. In: I Simpósio de Recursos Hídricos da Amazônia, 2003, Manaus. Caderno de Resumo, 2003. 109 p.

ALBINO, A M.A ST711 Planejamento de sistemas de saneamento – apostila. Limeira: UNICAMP. São Paulo. 2004.

ALEXANDRE, G. A L e SZKSZAY, M. O comportamento geoquímico do As, Cu, Pb e Zn em solos com culturas de uvas. Revista Brasileira de Toxicologia, 1999, 12 (1): 6 – 10.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION ? APHA; AMERICAN WATER WORK ASSOCIATION - AWWA; WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION – WPCF 19. Standard Methods of the experimation of Water and Wasterwater. 20 ed., New

York, 1998.

ANDRADE, A.F.N.; SILVA, M.S.R e SILVA, M.L. Comparação das águas subterrâneas de uma bacia hidrográfica de Manaus com as do município de Iranduba. In: XIII Jornada de Iniciação Científica do PIBIC/CNPq/FAPEAM/INPA, Anais. Manaus. 2004. p.266-267.

ANVISA, M.S - Agência Nacional de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde. Portaria n ° 518 de 25 de março de 2004. 20 p.

ARAÚJO, P.P., PONTE, M.X. e SOUZA, A.N. Potencial Hidrogeológico e a questão da água no abastecimento público de Xinguapara/PA. Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. In: LIMA e KOBAYASHI. Disponível em: < <http://www.cprm.gov.br> >. Acesso em: 20 de Novembro de 2005.

ATSDR – Agência para substâncias tóxicas y el registro de enfermedades. Disponível em: < <http://www.atsdr.cdc.gov> >. Data atualização: 26/02/2002. Acesso em: 14 de Dezembro de 2005.

AZEVEDO, AA e ALBUQUERQUE FILHO, J.L. Águas subterrâneas. In: OLIVEIRA, AM.S.; BRITO, S.N.A Geologia de engenharia. São Paulo: ABGE, 1998.

BAHIA, M. A S. Caracterização Biogeoquímica de Águas subterrâneas Zona Urbana de Porto Velho-RO, 129 p. Dissertação (Mestrado em Geociências)-Centro de Geociências; Universidade Federal do Pará, Belém, 1997.

BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 622 p.

BOURLON, N., BERTHON, D. Desenvolvimento sustentável e gerenciamento das bacias hidrográficas na América Latina. **Água em Revista**. 1998, 10: 16 – 22.

BRANCO, S.M. A água como meio ecológico. In: CETESB/ASCETESB. **Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária**. 3 ed. São Paulo, 1986. p. 121-67.

CASTANY, G. **Tratado prático de águas subterrâneas**. Barcelona: Omega, 1971, 672 p.

CERDEIRA, J.F.S. Influência das atividades humanas nas águas subterrâneas da bacia hidrográfica do quarenta. INPA, Manaus, 2005. 94p.

CETESB. **Água subterrânea e poços tubulares**. 3 ed. São Paulo, 1978. 483 p.

CHAPELLE, F.H. **Groundwater microbiology and geochemistry**. J. Willey and Sons, New York, 1993. 424 p.

CHAVES, N. **Nutrição básica e aplicada**. Ed. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 1978. p 126-136.

CHILTON, J. **Groundwater**. In: **Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring** - 2 Ed. Disponível em < [http : //www.who.int](http://www.who.int) >. Data de acesso 09 de junho de 2005, 1992.

CHRISTÓVÃO, D. A. **Padrões bacteriológicos: caracterização bacteriológica de poluição e contaminação**. CETESB, São Paulo. 1977.

COSTA, A.M.R. **Uso da Água Subterrânea na Cidade de Manaus**. 200. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade da Amazônia). Universidade Federal do Amazonas. Manaus. 2005. 109 p.

COSTA, A.M.R.; WAICHMAN, A; SANTOS, E.E.A **Uso da água subterrânea na área urbana de Manaus**. In: I Simpósio de Recursos Hídricos da Amazônia, 2003, Manaus. Anais. Manaus: ABRH, 2003. 01 CD-ROM.

COSTA, V.R. **Águas subterrâneas em São Paulo**. **Ciências Hoje**, 1995, vol. 19 nº 110, p. 91.

CUSTODIO, E., LLAMAS, R. M. **Hidrologia subterrânea**. Barcelona: Omega, 1976. Tomo I, p.287-384.

DAMIÃO, R.N.; SOUZA, M.M.; MEDEIROS, M.F. **Projeto argila Manaus**. Manaus: DNPM/CPRM, 1972. 65p.

DINO, R. SILVA e ABRAHAO D. **Palynological and stratigraphic characterization of the Cretaceous strata from the Alter do Chão Formation, Amazonas Basin**. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL AND SIMP. SOBRE EL CRETÁCEO DE AMÉRICA DEL SUR, 5, Serra Negra, 1999. p.557-565.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

FENZL, N. **Introdução a hidrogeoquímica**. Belém: Universidade Federal do Pará, 1988. 189 p.

FERREIRA, A R. A. S. A política de Recursos hídricos ? Fatores de Proteção Quando da Utilização das Águas Subterrâneas. Dissertação (Mestrado em Geociências do Ambiente e Sustentabilidade da Amazônia). Universidade Federal do Amazonas. Manaus. 2000. 197 p.

FOSTER, S., HIRATA, R. **Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas: um método baseado em dados existentes.** São Paulo: Instituto Geológico, 1993. 92p.

FOSTER, S.S.D., VENTURA, M., HIRATA, R. Contaminacion de las aguas subterráneas: un enfoque ejecutivo de la situación en America Latina y el Caribe en relación com el Suministro de agua Potable. CEPIS. Technical Report (OMS., OPS-HPE, CEPIS, Lima, Peru). 1987. 42 p.

FREEZE, R.A., CHERRY, J.A. **Groundwater.** New Jersey: Prentice-Hall, 1979. 604p.

HEYER, L.F. Manaus: um exemplo de clima urbano em região subequatorial. Tese (Doutorado em Geografia). Departamento de Geografia. São Paulo. 1997. 203 p.

HIRATA, R.C.A, BASTOS, C.R.A., ROCHA, G.A R., GOMES, D.C., IRITANI, M.A. Groundwater Pollution risk and vulnerability map of the São Paulo State-Brazil. In: International Seminar of Pollution, Protection and Control of Groundwater. Porto Alegre, p.236-246, 1990.

HORBE, A M.C., et al. Contribuição a hidroquímica de drenagem no município de Manaus – AM. **Acta Amazônica**, 2005, 35 (2): 119 ? 124.

HORBE, A M.C; HORBE M.A e SUGUIO, K. Contribution to the study of tropical spodosolos in northeastern Amazonas State, Brazil, **Geoderma**, 2004, 119: 55-68.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Manaus: IBGE. Disponível em < <http://www1.ibge.gov.br> >. Acesso em 23 de agosto de 2003.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: < <http://www.sidra.ibge.gov.br/cidadesat/u fs/am.html> >. Acesso em 16 de maio de 2002.

KRAUSE, M. e MAHAN, L.K. **Alimentos, nutrição e dietoterapia.** Editora Roca LTDA., 1 ed., São Paulo, 1985.

LEAL, A S. Águas Subterrâneas – Usos e Ocorrências. Disponível em: < <http://www.estado.dogurgueia.nom.br> >. Acesso em 07 de junho de 2005.

LEAL, M.S. **Gestão ambiental de recursos hídricos: princípios e aplicações**. Rio de Janeiro: CPRM, 1998, 176 p.

LOPES, E. S.; GRANDO, V.M. Documentário da cheia. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), SUREGMA. 2000, 1:2-13.

MACÊDO, J.A.B. Introdução a Química Ambiental – Química & Meio Ambiente & Sociedade. Juiz de Fora. CRQ – MG, 2002.

MACIEL FILHO, C.L. **Introdução à geologia de engenharia**. 2 ed. Santa Maria: UFSM; Brasília: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM, 1997, 284 p.

MAIA NETO, R.F. e LOPES, E.S. As cheias de Manaus. **Água Revista**, 1994, 2: 31-43.

MARTINELLI, L.A , DEVOL, AIL, FORSBERG, B.R., VICTORIA, R.L., RICHEY, J.E., RIBEIRO, M.N.G. Descarga de sólidos dissolvidos totais do rio Amazonas e seus principais tributários. **Geochimica. Brasiliensis**. 1989, 3: 8 - 141.

MATTHESS, G. **The Properties of Groundwater**. J. Wiley, New York, 1982. 406 p.

MENEGASSE, L.N et al. Hidroquímica das águas subterrâneas do médio Jequitinhonha, Minas Gerais, Brasil. Disponível em < <http://include/getdoc.php?id=2068&article=56&&node=pdf-kghostview> >. Acesso em 14 de Agosto de 2005

MINISTÉRIO DA SAÚDE DO BRASIL. Portaria N°56/Bab, de 14 de Março de 1977. Diário Oficial 22/03/1977.

MITCHEL, H.S. et al. **Nutrição**. Ed. Interamericana, 16 ed., Rio de Janeiro, 1978, p. 47-48.

MOLION, L.C.B. A Amazônia e o clima da terra. **Ciência. Hoje**. 1988, 8: 42-47.

MORAIS, J.O Geologia no planejamento ambiental: Impactos na água. **Revista de Geologia**. 1995, 8: 51-229.

MOREIRA-NORDEMANN, L.M. A geoquímica e o meio ambiente. **Geochimica Brasiliensis**. 1987, 1:93-107. NÉGREL. P. e LACHASSAGNE, P. Geochemistry of the Maroni

River (French Guiana) during the low water stage: implications for water-rock interaction and groundwater characteristics. **Journal of Hydrology**. 2000, 237: 213-233.

NEIVA, M.; CUNHA, H. B. Estudo da composição química das precipitações sobre a região de Manaus. IX Jornada de Iniciação Científica do INPA, Manaus. 2000. p. 340-343.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2 ed. IBGE. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro. 1989.

NETO, J.M. Estatística Multivariada. Uma visão didática-metodológica. Disponível em: < <http://www.criticanarede.com> >. Acesso em: 24 de Julho de 2004.

NOLAN, B.T. Relating nitrogen sources and aquifer susceptibility to nitrate in shallow ground waters of the United States. **Ground Water**. 2001, 39: 290 – 299.

OLIVEIRA, W.E. Qualidade, impurezas e características físicas, químicas e biológicas das águas. Padrões de potabilidade. Controle e qualidade da água. CETESB. São Paulo, p. 46-62, 1978.

PÁDUA, H. B. Parte VII. Água e Doenças. Disponível em:< <http://www.ecoviagem.com.br> > Acesso em: 11 de Novembro de 2005.

PINTO, N.L.S. **Introdução**. In: SBGE. Hidrologia de superfície. 2 ed. São Paulo: Edgard Blucher, p. 1-6, 1973.

PORRO, A. **O povo das águas: ensaios de etno-história Amazônia**. Rio de Janeiro: ed. Vozes, 1995. 204 p.

PRANCE, G.T., LOVEJOY, T.E. **Amazônia: Key environments**. Oxford: Pergamon Press, 1985. 4 p.

RADIOBRAS. Movimento de cidadanias pelas águas. Disponível em: < <http://www.radiobras.gov.br> > . Acesso em: 17 de Abril de 1997.

RAMOS, AM; SILVA, M.S.R. Avaliação e Quantificação de Metais pesados nas águas subterrâneas de Manaus-AM. In: XII Jornada de Iniciação Científica do PIBIC/INPA/CNPq, 2003, Manaus. Anais. Manaus: INPA, 2003. p. 207-08.

REBOUÇAS, A C. **Uso inteligente da água**. São Paulo: Escrituras Editora, 2004. 207

p.

REBOUÇAS, A.C. Panorama da degradação do ar, da água doce e da terra no Brasil. São Paulo: IEA/USP; Rio de Janeiro, 1999. **Academia Brasileira de Ciências**, 1997. 150 p.

RIBEIRO, M.N.G. Aspectos climáticos de Manaus. **Acta Amazônica**, 1976, 6: 224-233.

ROCHA, L.C.R. Caracterização física e química de Águas Subterrâneas da região do Bairro Novo Israel (Manaus-AM). Dissertação (Mestrado em Geociências). Universidade Federal do Amazonas. Manaus, 2003. 52 p.

SABESP – Companhia de Saneamento Básico de São Paulo. Disponível em: < [http : //www.sabesp.com.br](http://www.sabesp.com.br) >. Acesso em 15 de abril 2005.

SALATI, E. **Modificações da Amazônia nos últimos 300 anos: suas conseqüências sociais e ecológicas**. In: BRITO, **Desafio Amazônico: O futuro da civilização dos trópicos**. Brasília: Editora da Universidade de Brasília/CNPq. 1990. P. 23-46.

SALATI, E., RIBEIRO, M.N.G. Floresta e Clima. **Acta Amazônica**, 1979, 4: 15:22.

SANTOS, U.M., Ribeiro, M.N.G. A hidroquímica do rio Solimões-Amazonas. **Acta Amazônica**, 1988, 18: 72-145.

SANTOS, A. Rios poluídos são ameaças a vida urbana. **ACRÍTICA**, 22/03/98, 1º Caderno, A7, Manaus/AM. 1989.

SANTOS, A, RIBEIRO, M.N.G., RIBEIRO, J.S., BRINGEL, S.R.B. Hidroquímica da Amazônia Central III. Química da água de lavagem da floresta no ecossistema Campina Amazônia (Stemflow). **Acta Amazônica**, 1981, 11: 335-346.

SANTOS, Ac. Noções de hidroquímica. 2ed. In: CPRM/REFO, LABHID-UFPE. Hidrogeologia: conceitos e aplicações. Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID-UFPE, 2000.

SANTOS, M.P. Debates da água viva. Disponível em: < [http//www.ate.com.br](http://www.ate.com.br) >. Acesso em 20 de agosto de 2005.

SAWYER, C.N. e McCARTY, P.L. **Chemistry for sanitary engineers**. New York: McGraw-Hill, 1967. 535 p.

SILVA, M.L. Características das águas subterrâneas numa faixa norte-sul na cidade de Manaus (AM). Tese (Doutorado em Geociências). Universidade de São Paulo. Rio Claro. 2005. 168 p.

SILVA, A C. Tratabilidade de águas subterrâneas do município de Ji-Paraná. Estudo de caso: Bairro Nova Brasília. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade de São Paulo, Rio Claro. 2001. 121 p.

SILVA, M.L. Hidroquímica Elementar e dos Isótopos de Urânio nos aquíferos de Manaus – AM, UNESP, Rio Claro. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade de Rio Claro. 1999. 82 p.

SILVA. CAS. Nascimento, C.T. Qualidade de água em sistemas de reservação e distribuição predial. Disponível em: < [http : //www.saudepublica.bvs.br](http://www.saudepublica.bvs.br) >. Acesso em 15 de setembro de 2005.

SILVA, R.C.A e ARAÚJO T.M. Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de feira de Santana (BA). Ciência e Saúde Coletiva. Universidade Estadual de Feira de Santana. Disponível em:

SOUZA, E.L.S. A contaminação de Aquíferos. VII Simpósio de Geologia da Amazônia. CENTUR. Belém 2001. 50 p.

SOUZA, M.M. Dois poços tubulares anômalos, em Manaus – AM. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, Recife. Anais...Recife, 1994. p.323-328.

SUGUIO, K., BIGARELLA, J.J. **Ambientes fluviais**. 2 ed. Florianópolis: UFSC, 1990. 183 p.

TANCREDI, A C.F.N.S. Recursos Hídricos subterrâneos de Santarém: Fundamentos para uso e proteção. Tese (Doutorado em Geociências). Universidade Federal do Pará. Belém. 1996. 153 p.

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M.C.M.; FAIRCHILD, T.R. E TAIOLI, F. **Decifrando a terra. Oficina de textos**. Cidade, Editora, 2000. 568 p.

TODD, D.K. **Groundwater hydrology**. New York: John Wiley e Sons, 1980. 535 p.

TUNDISI, J. G. REBOUÇAS A C. e BRAGA B. **Águas Doces no Brasil – Capital Ecológico, Uso e Conservação**. São Paulo. 2002. 703 p.

# Apêndice A

## Perfil Geológico do aquífero livre, semi-confinado e confinado

a

a

a

a

a

a

## Apêndice B

### Características geológicas dos poços tubulares estudados

Tabela B.1: Características geológicas dos poços onde foram coletadas as amostras de águas subterrâneas na zona Sul

Prof. (m)	Características Geológicas
0 - 10	Argila amarelada, argila avermelhada, areia esbranquiçada fina, arenito
10 - 20	amarelado médio. Argila avermelhada arenosa e arenito avermelhado médio
20 - 30	Arenito avermelhado fino argiloso, areia avermelhada média, argila avermelhada arenosa, arenito avermelhado médio.
30 - 40	Arenito avermelhado médio, argila avermelhada siltosa, arenito avermelhado fino argiloso, arenito esbranquiçado fino e pouco argiloso, argila avermelhada arenosa.
40 - 50	Argila avermelhada arenosa, argila avermelhada siltosa, argila esbranquiçada arenosa, arenito esbranquiçado fino e pouco argiloso, argila avermelhada pouco arenosa.
50 - 60	Argila avermelhada pouco arenosa, arenito esbranquiçado grosso, argila esbranquiçada arenosa.
60 - 70	Argila avermelhada arenosa, arenito avermelhado fino e pouco argiloso, argila esbranquiçada arenosa, argila avermelhada siltosa.
70 - 80	Argila avermelhada siltosa, argila avermelhada arenosa, argila esbranquiçada arenosa, arenito avermelhado fino e pouco argiloso.
80 - 90	Argila avermelhada, argila esbranquiçada arenosa, argila avermelhada siltosa, argila avermelhada arenosa.
90 - 100	Argila avermelhada siltosa, arenito avermelhado fino, arenito avermelhado médio, arenito avermelhado médio c/ ferro.
100 - 110	Arenito avermelhado médio, argila avermelhada siltosa, areia avermelhada argilosa, arenito avermelhado fino.
110 - 120	Arenito avermelhado fino, arenito avermelhado argiloso, areia avermelhada argilosa, arenito avermelhado médio, argila avermelhada.
120 - 130	Areia avermelhada argilosa, arenito avermelhado argiloso, argila avermelhada siltosa
130 - 140	Areia avermelhada argilosa, argila avermelhada siltosa, argila avermelhada arenosa
140 - 150	Areia avermelhada argilosa, argila avermelhada siltosa, argila avermelhada arenosa, arenito amarelado fino a médio.
150 - 160	Arenito amarelado fino a médio, argila avermelhada siltosa, areia esbranquiçada média.

Tabela B.2: - Características geológicas dos poços onde foram coletadas as amostras de águas subterrâneas na zona Centro-Sul

Prof. (m)	Características Geológicas
0 - 10	Argila amarelada arenosa.
10 - 20	Argila avermelhada, arenito avermelhado argiloso.
20 - 30	Arenito avermelhado argiloso, arenito avermelhado silicificado, argila avermelhada arenosa, arenito avermelhado médio.
30 - 40	Arenito amarelado grosso.
40 - 50	Arenito amarelado grosso, argila avermelhada, arenito amarelado fino.
50 - 60	Argila avermelhada, areia média e grossa.
60 - 70	Argila avermelhada, areia média e grossa.
70 - 80	Argila avermelhada, areia média e grossa.
80 - 90	Argila avermelhada, areia média e grossa.
90 - 100	Arenito e areia média.
100 - 110	Areia média e argila avermelhada.

Tabela B.3: Características geológicas dos poços onde foram coletadas as amostras de águas subterrâneas na zona Leste

Prof. (m)	Características Geológicas
0 -10	Arenito esbranquiçado médio, aterro, argila arenosa.
10 - 20	Arenito avermelhado pouco argiloso, aterro e barro amarelo.
20 -30	Arenito avermelhado pouco argiloso, barro amarelo, areia fina e areia média.
30 - 40	Arenito avermelhado pouco argiloso, areia fina, média e grossa.
40 - 50	Arenito avermelhado pouco argiloso, areia grossa e argilito.
50 - 60	Arenito amarelado fino a médio, argilito, arenito argiloso, areia média e grossa.
60 - 70	Argila avermelhada pouco arenosa, arenito médio e grosso, areia média e grossa.
70 - 80	Argila avermelhada pouco arenosa, arenito fino, grosso, e avermelhado, areia média e grossa.
80 - 90	Argila avermelhada pouco arenosa, arenito amarelado médio, fino e grosso, arenito avermelhado, argilito vermelho.
90 - 100	Arenito amarelado médio, argilito vermelho, arenito grosso. e avermelhado, areia grossa e média e argila amarelada
100 - 110	Argila vermelha, arenito fino, médio, grosso e avermelhado.
110 - 120	Arenito fino, médio, grosso e avermelhado.
120 - 130	Arenito médio e grosso.
130 - 140	Arenito fino e avermelhado.
140 - 150	Arenito médio e grosso.

Tabela B.4: Características geológicas dos poços onde foram coletadas as amostras de águas subterrâneas na zona Norte

Prof. (m)	Características Geológicas
0 -10	Argila amarelada e Arenito amarelado grosso.
10 - 20	Argila esbranquiçada arenosa, argila amarelada e arenito amarelado grosso.
20 -30	Areia esbranquiçada argilosa, argila esbranquiçada arenosa e argila bege arenosa.
30 - 40	Areia esbranquiçada argilosa, areia esbranquiçada grossa, argila esbranquiçada arenosa e argila bege arenosa.
40 - 50	Areia amarelada argilosa, argila avermelhada arenosa, argila esbranquiçada arenosa, argila bege arenosa, arenito avermelhado silicificado e argila avermelhada.
50 - 60	Argila avermelhada arenosa, argila esbranquiçada arenosa, arenito avermelhado fino.
60 - 70	Argila avermelhada arenosa, areia conglomerática argilosa, argila esbranquiçada arenosa, arenito esbranquiçado médio e grosso, arenito amarelado médio.
70 - 80	Arenito avermelhado fino e médio argiloso, argila avermelhada siltosa.
80 - 90	Arenito avermelhado com seixos quartzosos, areia esbranquiçada grossa, areia avermelhada argilosa, arenito esbranquiçado médio e grosso.
90 - 100	Areia avermelhada argilosa, arenito avermelhado médio argiloso.
100 - 110	Areia avermelhada argilosa.
110 - 120	Areia avermelhada argilosa
120 - 130	Areia amarelada média e areia amarelada argilosa.
130 - 140	Areia amarelada argilosa e areia amarelada média.
140 - 150	Areia amarelada argilosa.
150 - 160	Areia amarelada grossa e argila amarelada arenosa.

Tabela B.5: Características geológicas dos poços onde foram coletadas as amostras de águas subterrâneas na zona Oeste

Prof. (m)	Características Geológicas
0 - 10	Argila amarelada e Arenito amarelado grosso.
10 - 20	Argila esbranquiçada arenosa, barro amarelo e arenito amarelado grosso.
20 -30	Argila esbranquiçada arenosa, areia média, e barro amarelo.
30 - 40	Areia média, arenito amarelado grosso, argila esbranquiçada arenosa.
40 - 50	Argila esbranquiçada arenosa e areia média e grossa.
50 - 60	Argila esbranquiçada arenosa e areia média e grossa.
60 - 70	Argila esbranquiçada arenosa, areia média e grossa.
70 - 80	Arenito avermelhado, argila avermelhada, argila esbranquiçada arenosa e areia grossa
80 - 90	Arenito avermelhado, areia média e grossa.
90 - 100	Areia média e grossa e arenito avermelhado.

# Apêndice C

## Preservação de amostras

As amostras foram preservadas utilizando os recipientes e reagentes descritos na Tabela C.1.

Tabela C.1: Recipientes e reagentes usados para a coleta de amostras de água

Análise	Recipiente/ Preservação
pH	plástico/Refrigeração
Condutividade elétrica	plástico/Refrigeração
Amônia	plástico/ $H_2SO_4$ até pH <2
Dureza total	vidro/ $HNO_3$ conc. até pH < 2
Dureza Cálcica	vidro/ $HNO_3$ conc. até pH < 2
Dureza Magnésica	vidro/ $HNO_3$ conc. até pH < 2
Bactérias Heterotróficas	vidro estéril/ Refrigeração
Cor	plástico/Refrigeração
Cloreto	plástico/Refrigeração
Coliformes totais e Fecais	vidro estéril/ Refrigeração
Metais	vidro/ $HNO_3$ conc. até pH < 2
Nitrato	plástico/Refrigeração
Nitrito	plástico/ Refrigeração
Sílica	plástico/Refrigeração
Sódio	vidro/ $HNO_3$ conc. até pH < 2
Potássio	vidro/ $HNO_3$ conc. até pH < 2
Sulfato	plástico/ refrigeração
Turbidez	plástico/ refrigeração

## Apêndice D

### Tabelas de correlação de Pearson

Tabela D.1: Correlação de Pearson obtida dos dados da zona Leste

Período	Variável	BH.	pH	Cor	Turbidez	S	Cl	DT	DCa	Amônia	Nitrato	Nitrito	Potássio	Sódio	Sulfato
Cheia	pH												0,72		
	Cor	0,55													0,57
	Turbidez		0,98												
	Cloretos	0,8		0,63		0,8									
	DT	0,88		0,53		0,67	0,88								
	DCa	0,65				0,82	0,9	0,87							
	DMg.	0,54													
	Amônia	0,85		0,6		0,62	0,93	0,8	0,69						
	Nitrato	0,9		0,6		0,63	0,97	0,9	0,82	0,96					
	Nitrito	0,92		0,59		0,61	0,96	0,88	0,8	0,97	0,99				
	Potássio				0,74	0,58									
	Silica		0,74		0,64										
	Sódio	0,88		0,57		0,65	0,97	0,88	0,81	0,97	0,99	0,99			
Sulfato	0,65													0,65	
Seca	S			0,5											0,74
	Cloretos	0,9		0,52		0,77									
	DT	0,6				0,94	0,78								
	Fe Total		0,54												
	DCa	0,64					0,57								
	DMg.				0,53	0,73		0,72							
	Amônia	0,95		0,52		0,77	0,97	0,78	0,65						
	Nitrato	0,56													
	Nitrito	0,95				0,69	0,97	0,78	0,65	0,97					
	Potássio		0,53		0,55										
	Silica		0,57		0,65								0,85		
	Sódio	0,89					0,94	0,85	0,65	0,98		0,98			
	Sulfato	0,76					0,51		0,77	0,66		0,66			0,6

Tabela D.2: Correlação de Pearson obtida dos dados da zona Sul

Período	Variável	CT	BH	pH	Cor	Turbidez	S	Cl	DT	DCa	DMg	Nitrato	Nitrito	Potássio	Sílica	Sódio	Sulfato	
Cheia	BH.																0,98	
	Turbidez			0,5	0,82													
	S		0,78		0,59													0,89
	Cloretos		0,96				0,58							0,67	0,99			0,89
	DT		0,99				0,74	0,98										0,97
	Fe Total			0,95		0,74												
	DCa		0,99				0,85	0,92	0,98									
	DMg.							0,55										
	Nitrato		0,99					0,8	0,95	0,99	0,99							
	Potássio			0,74					0,67	0,5		0,99						
	Sílica		0,99					0,68	0,99	0,99	0,96		0,98		0,57			
	Sódio		0,96					0,58		0,98	0,92	0,55	0,95		0,67	0,99		
	Sulfato										0,99		0,99			0,94	0,89	
Seca	BH.	0,97																
	Turbidez				0,8													
	Cloretos					0,55												
	Fe Total	0,87	0,87					0,61										
	DCa				0,88	0,81												
	DMg.						0,58		0,94									
	Nitrato			0,74			0,6					0,87			0,84			
	Nitrito						0,6		0,58		0,8							
	Potássio			0,74														
	Sílica							0,65	0,65			0,84						
	Sódio							0,95		0,6		0,63						
	Sulfato							0,76		0,68		0,87		0,96			0,65	

Tabela D.3: Correlação de Pearson obtida dos dados da zona Oeste

Período	Variável	CT	BH	pH	Cor	Turbidez	S	Cl	DT	Fe Total	DMg	Nitrato	Nitrito	Potássio	Sílica	Sódio
Cheia	Turbidez			0,5	0,82											
	S		0,78		0,59											
	Cloretos		0,96				0,58									
	DT		0,99				0,74	0,98								
	Fe Total			0,95		0,74										
	DCa		0,99				0,85	0,92								
	DMg.							0,55								
	Nitrato		0,99				0,8	0,95	0,99							
	Nitrito															
	Potássio								0,67	0,5		0,99				
	Sílica		0,99					0,68	0,99	0,99			0,98		0,57	
	Sódio		0,96					0,58		0,98		0,55	0,95		0,67	0,99
	Sulfato		0,98					0,89	0,89	0,97			0,98		0,94	0,89
]	Cor			0,61												
	Turbidez			0,93	0,86											
	S		0,99													
	Cloretos		0,93				0,95									
	DT		0,94				0,95	0,99				0,97				
	Fe Total			0,97		0,8										
	DCa		0,99				0,99	0,97	0,97						0,87	
	DMg.		0,8				0,83	0,96	0,96						0,87	
	Nitrato		0,99				0,99	0,97	0,97						0,87	
	Nitrito			0,98						0,99						
	Potássio		0,6			0,8		0,56							0,5	
	Sílica					0,88	0,52									
	Sódio		0,6			0,8		0,56				0,5				0,99
Sulfato		0,74					0,77	0,93	0,93				0,81			

Tabela D.4: Correlação de Pearson obtida dos dados da zona Centro-Sul

Período	Variável	CT	CF	BH	pH	Turbidez	DT	DCa	Nitrato	Potássio	Sódio
Cheia	CT		1								
	CF	1									
	Turbidez										
	S		0,8	0,8							
	Cloretos								0,54		
	DT					0,5					
	Fe Total						0,56				
	DCa						0,96				
	DMg.						0,61				
	Nitrato						0,58	0,58			
	Potássio				0,63						
	Sódio					0,57	0,78	0,81			
Sulfato							0,55			0,53	
Seca	CF	0,62									
	Turbidez					0,75					
	S	0,55									
	DT					0,75					
	Fe Total						0,61	0,54			
	DCa					0,62	0,91				
	DMg.										
	Nitrato									0,52	
	Potássio				0,73				0,52		0,53
	Silica		0,69		0,52						
	Sódio					0,85	0,88	0,83			
	Sulfato						0,55	0,69			0,61