



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA QUÍMICA  
LABORATÓRIO DE REFERÊNCIA EM DESSALINIZAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

**SOLUÇÃO ALTERNATIVA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PARA  
CONSUMO HUMANO EM COMUNIDADES DIFUSAS:  
MONITORAMENTO E CONTROLE DE QUALIDADE DA ÁGUA.**

**WERUSKA BRASILEIRO FERREIRA**

**ORIENTADOR: PROF. KEPLER BORGES FRANÇA (Ph.D)**

**CAMPINA GRANDE - PB**

**AGOSTO DE 2008**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**SOLUÇÃO ALTERNATIVA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PARA  
CONSUMO HUMANO EM COMUNIDADES DIFUSAS:  
MONITORAMENTO E CONTROLE DE QUALIDADE DE ÁGUA.**

**WERUSKA BRASILEIRO FERREIRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós – Graduação de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Área de Concentração: *Recursos Regionais e Meio Ambiente*

Orientador: *Prof. Kepler Borges França (Ph.D)*

Campina Grande – PB  
2008

**SOLUÇÃO ALTERNATIVA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PARA  
CONSUMO HUMANO EM COMUNIDADES DIFUSAS:  
MONITORAMENTO E CONTROLE DE QUALIDADE DE ÁGUA.**

**WERUSKA BRASILEIRO FERREIRA**

**Dissertação Aprovada em:**

**BANCA EXAMINADORA:**

*Prof. Kepler Borges França (Ph.D)*  
Orientador – UFCG/UAEQ

*Dr. José Airamir Padilha*  
Examinador Externo - ANVISA

*Dra. Regina Coeli de Oliveira Torres*  
Examinadora Externa – UFSC/CAL

*Prof. Howard William Pearson (Ph.D)*  
Examinador Externo – UEPB/DQ

## DEDICATÓRIA

A Deus por estar comigo em todos os momentos da minha vida que sempre me enche de energia nos momentos difíceis.

Ao meu filho e amigo Mikael que me fortalece nas concretizações das minhas conquistas.

A minha mãe “*in memoriam*” que mesmo com a pouco tempo de convivência me deixou ensinamentos preciosos que me ajudam a manter as pessoas queridas ao meu lado e saber viver com dignidade.

A minha avó Noemia “*in memoriam*” por toda dedicação a mim durante toda sua vida.

## **AGRADECIMENTOS**

A minha tia Lourdinha um agradecimento especial pela amizade e apoio incondicional nos momentos importantes da minha vida.

Agradeço a todos da minha família, meu pai, meu avô Clodoaldo, minhas irmãs, meu irmão e sobrinhos pelo amor e constantes incentivos para o meu sucesso profissional.

As minhas amigas de sempre Márcia Liana e Márcia Isabel que sabem me oferecer o ombro nas horas certas com palavras que sempre me confortam e animam.

Ao meu amigo Sidinei um agradecimento especial que me ajudou para finalização deste trabalho e pelo companheirismo durante todo o desenvolvimento desta dissertação.

Ao meu orientador Prof. Kepler pelo incentivo e pela oportunidade profissional que me ofereceu.

Aos meus amigos Raniere, Giovani e Toinho pelos bons momentos de descontrações que vivemos no LABDES.

A todos que fazem o LABDES, em especial a Suelene e Kelly pela amizade que fortalece a cada dia.

A comunidade de Uruçu que sempre nos recebeu em suas casas de braços abertos.

A todos que trabalham no projeto “Água fonte de alimento e renda – uma alternativa sustentável para o Semi – árido” pelo companheirismo e coragem em enfrentar todas as adversidades para a realização deste projeto.

## **Resumo**

Solução Alternativa de Abastecimento de Água para Consumo Humano em Comunidades Difusas: Monitoramento e Controle de Qualidade de Água.

Weruska Brasileiro Ferreira

A carência hídrica é um dos principais problemas para a sobrevivência e melhoria da qualidade de vida das populações rurais que vivem na região Semi-árida do Nordeste do Brasil. Esta dificuldade de água é caracterizada principalmente pela irregularidade das chuvas e pela péssima qualidade das águas disponíveis que reflete altos índices de doenças de veiculação hídricas. Com o intuito de minimizar esta situação, este trabalho foi desenvolvido visando monitorar a qualidade das águas de abastecimento dos sistemas alternativos de comunidades difusas da região do Semi-árido do Nordeste. As fontes de águas estudadas foram as seguintes: poços, cisternas e água dessalinizada. De acordo com os dados obtidos observou-se, em função do sazonalidade, a presença de contaminação por *E. coli* provenientes das duas primeiras fontes de águas. A membrana de microfiltração como pré-tratamento do sistema de osmose inversa para produção de água potável também foi avaliada. Observou-se que a membrana de microfiltração pode ser utilizada como pré-tratamento para remoção de microrganismos, as quais apresentaram excelente desempenho para retenção de bactérias do grupo coliformes. O processo de dessalinização da água via membrana de osmose inversa se mostrou como uma das soluções alternativas de abastecimento mais segura para o consumo humano, em função dos resultados bacteriológicos e físico-químicos se apresentarem dentro dos padrões de potabilidade.

Palavras-chave: dessalinização; água; poços; cisternas; coliformes.

## **ABSTRACT**

### **ALTERNATIVE SOLUTION OF WATER SUPPLY FOR HUMAN CONSUMPTION TO ISOLATED COMMUNITIES: MONITORING AND QUALITY CONTROL OF WATER.**

Water shortage is one of the principle problems affecting survival and the quality of life of rural communities of the semi-arid region of Northeast Brazil. This problem is caused by irregular rainfall and the poor quality of available drinking water reflected in the high incidences of water borne diseases. The main objective of the present work was the monitoring of water quality in the alternative water distribution systems of various isolated rural communities in the region. The sources of water were as follows: wells, cisterns and desalinated water. The results showed seasonal variation and elevated levels of *E. coli* in water samples from wells and cisterns. The membranes of the pre-treatment microfiltration stage of the desalination system was also evaluated. These results showed that microfiltration membranes were very efficient at retaining coliform bacteria. The desalinated water produced by reverse osmosis in the rural communities met the potable water consent levels of the Brazilian Ministry of Health and demonstrated the suitability of this treatment system for providing water for human consumption in rural communities of the semi-arid region of the Northeast.

Keywords: desalination; water; wells; cisterns; coliforms.



# Índice

Lista de Figuras .....	i
Lista de Tabelas .....	iii
Simbologia e Abreviatura.....	iv
Capítulo I.....	1
Introdução e objetivos .....	1
1.2 - Objetivo Geral .....	3
1.3 - Objetivos Específicos.....	3
Capítulo II .....	4
Revisão Bibliográfica.....	4
2.1 - Recursos hídricos no mundo .....	4
2.2 - Os Recursos hídricos no Brasil.....	5
2.3 - Qualidade da água para consumo humano .....	6
2.3.1 - Parâmetros físicos – químicos da qualidade da água .....	6
2.3.1.1 - Parâmetros físicos.....	7
2.3.1.2 - Parâmetros químicos.....	8
2.3.2 - Qualidade microbiológica da água .....	13
2.3.2.1 - Organismos indicadores de contaminação .....	14
2.4 - Água e doenças.....	17
2.5 - Evolução do controle de qualidade da água para consumo humano.....	23
2.5.1 - A normatização da qualidade da água no Brasil.....	24
2.5.2 - Principais avanços obtidos com a Portaria N° 518/04 .....	27
2.6 - Soluções alternativas de abastecimento de água .....	28
2.7 - Tipo de manancial nas soluções alternativas de abastecimento de água.....	29
2.7.1 - Água subterrânea .....	29
2.7.2 - Mananciais de água de chuva.....	33
2.8 - Cisterna - Forma de armazenamento nas soluções alternativas de abastecimento de água..	33
2.9 - Tratamento de água para soluções alternativas de abastecimento de água .....	35
2.9.1 - Processos de separação com membranas (PSM) .....	35
2.9.1.1 - Microfiltração.....	39
2.9.1.2 - Osmose inversa (OI).....	40
2.9.1.3 - Incrustações em membranas.....	43
2.9.1.4 - Pré-tratamento .....	44
2.9.1.5 - Limpeza química .....	45
2.9.1.6 - Aplicação das membranas ao tratamento de água para consumo humano.....	46
2.9.2 - Desinfecção química .....	49
Capítulo III .....	51
Materiais e Métodos.....	51
3.1 - Avaliação microbiológica de águas de poços artesianos em três estados - controle e monitoramento da primeira fonte de água.....	51
3.2 - Avaliação dos processos de membranas de microfiltração para poços contaminados.....	52
3.3 - Características do Sistema de dessalinização da Comunidade do Marinho .....	53
3.4 - Processo de limpeza química dos elementos de membrana .....	56
3.5 - Caracterização das águas de cisternas - controle e monitoramento da segunda fonte de água.....	57

3.6 - Disponibilização de água potável na comunidade de Uruçu – controle e monitoramento da terceira fonte de água.....	58
3.7 - Curso de conscientização para a conservação da água para consumo humano .....	59
3.8 - Procedimentos das análises microbiológicas.....	60
3.8.1 - Materiais e equipamento utilizados .....	60
3.8.2 - Execução das análises pelo método Cromofluorogênicos .....	61
3.8.3 - Interpretação e expressão dos resultados .....	62
3.8.4 - Esterilização do material para análise microbiológica....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.8.5 - Lavagem do material .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.8.6 - Procedimentos de coletas .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Capítulo IV .....	64
Resultados e discussão .....	64
Introdução .....	64
4.1 - Caracterização das águas subterrâneas dos poços artesianos – controle e monitoramento da primeira fonte de água .....	64
4.2 Indicação de tratamento para águas subterrâneas analisadas.....	67
4.3 Caracterização de águas de cisternas- controle e monitoramento da segunda fonte de água.....	73
4.3.1 Águas de cisternas acumuladas no período de estiagem.....	73
4.3.2 Avaliação físico - química das águas de cisternas no período de estiagem.....	78
4.3.3 Águas de cisternas acumuladas no período de ocorrências de chuvas.....	79
4.3.4 - Avaliação da presença de alumínio na água de cisternas.....	84
4.4 - Distribuição de água potável na comunidade de Uruçu - controle e monitoramento da terceira fonte de água.....	86
4.5 - Desinfecção química.....	96
4.5.1 - Acompanhamento da desinfecção química das cisternas.....	96
4.5.2 - Desinfecção química no chafariz.....	97
4.6 - Custo com água para consumo humano.....	99
Capítulo V .....	102
Conclusão .....	102
CAPÍTULO VI .....	107
Perspectivas.....	103
CAPÍTULO VII.....	107
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	107

## Lista de Figuras

Figura 01 - Principais domínios sedimentares (em verde) e cristalinos (amarelo) - (Fonte – Petrobras). .....	30
Figura 02 - Demonstração do tratamento convencional.....	35
Figura 03 - Representação esquemática do fracionamento de uma solução utilizando permeação seletiva através de uma membrana.....	37
Figura 04 - Principais características das técnicas de separação com membranas que utilizam diferença de pressão como força motriz .....	39
Figura 05 - Características básicas da microfiltração .....	40
Figura 06 - Fluxo osmótico.....	41
Figura 07 - Equilíbrio osmótico.....	41
Figura 08 - Osmose inversa.....	41
Figura 09 - Sistema de um processo de Dessalinização de Água por OI.....	42
Figura 10 - Poço sem proteção utilizado para consumo humano.....	52
Figura 11- Sistema de OI da comunidade do Marinho- PB.....	54
Figura 12 - Módulo dos cartuchos de acetato de celulose.....	55
Figura 13 - Módulo de membranas de microfiltração.....	55
Figura 14- Esgotos domésticos descartados próximo ao poço.....	55
Figura 15- Diagrama do sistema de dessalinização monitorado da comunidade do Marinho-PB. ....	56
Figura 16 - Cisterna construída através do PIMC.....	57
Figura 17 - Cisterna da comunidade de Uruçu.....	57
Figura 18 - Vista do dessalinizador instalado na Comunidade de Uruçu.....	59
Figura 19 - Comunidade de Uruçu assistindo ao curso.....	60
Figura 20 - Comunidade de Uruçu com os certificados de participação do curso.....	60
Figura 21 - Resultados do método cromofluorogênico com ausência e presença de coliformes totais.....	62
Figura 22 - Resultado do método cromofluorogênico com presença de fluorescência indicando contaminação por <i>Escherichia coli</i> .....	62
Figura 23 - Fluxograma demonstrando a Ilustração da metodologia aplicada.....	63
Figura 24 - Representação dos resultados bacteriológicos das águas subterrâneas de comunidades difusas dos estados de AL, PB e SE. ....	66
Figura 25 - Resultados bacteriológicos das cisternas sem chuvas.....	73
Figura 26 - Piso de cisterna com acúmulo de matéria orgânica.....	76
Figura 27 - Vista frontal de uma cisterna sem bombeamento elétrico com ausência de drenagem.....	76
Figura 28 - Coleta de água em cisternas com recipientes inadequados.....	76
Figura 29 - Cisterna com sistema de bombeamento elétrico desativado.....	76
Figura 30 - Cisterna mal localizada.....	76
Figura 31 - Resultados bacteriológicos das águas acumuladas nas cisternas no período de chuvas.....	81

Figura 32 - Cisterna com tampa que favorece a entrada de impurezas.....	82
Figura 33 - Sistema com acesso à água que favorece a entrada de pequenos animais.....	82
Figura 34 - Concentração de alumínio em águas de cisternas.....	85
Figuras 35 - Vista do chafariz coletivo, solução alternativa de abastecimento de água potável na comunidade de Uruçu.....	87
Figura 36 - Percentual dos tipos de fontes de água consumida após a disponibilização de água dessalinizada.....	89
Figura 37 - Comparação dos índices de contaminação por <i>E.coli</i> nas fontes de águas analisadas da Comunidade de Uruçu.....	92
Figura 38 - Transporte de água dessalinizada em recipientes inadequados.....	93
Figura 39 - Água dessalinizada exposta à contaminação.....	93
Figura 40 - Participação da comunidade durante o curso.....	93
Figura 41 - Percentual dos tipos de fontes de águas consumida pela comunidade de Uruçu após o curso “conservação de água para consumo humano” .....	96
Figura 42 - Redução dos índices de contaminação por <i>E.coli</i> nas fontes de águas da Comunidade de Uruçu durante o período de nove meses.....	97
Figura 43 - Distribuição das ocorrências de diarreias por período.....	100

## Lista de Tabelas

Tabela 01 - Principais doenças de veiculação hídrica.....	19
Tabela 02 - Organismos patogênicos de veiculação hídrica e transmissão fecal-oral e sua importância para o abastecimento .....	21
Tabela 03 - Comparativo das Portarias de Potabilidade de água para o consumo humano de 1977 a 2004.....	26
Tabela 04 - Apresentação das vantagens e desvantagens dos tipos de desinfetantes mais utilizados. ....	50
Tabela 05 - Resultados bacteriológicos de águas de poços artesianos utilizadas para consumo humano.....	65
Tabela 06 - Resultado bacteriológico da água do poço do sistema do Marinho-PB.....	68
Tabela 07 - Resultado físico-químico da água do poço do sistema do Marinho-PB.....	68
Tabela 08 - Avaliação da qualidade bacteriológica da água após processamento nas membranas de osmose inversa (OI).....	69
Tabela 09 - Avaliação da qualidade bacteriológica da água após processamento nos filtros de acetato de polietileno.....	69
Tabela 10 - Avaliação da qualidade bacteriológica da água após processamento nas membranas de microfiltração (MF).....	70
Tabela 11 - Avaliação da qualidade bacteriológica da água após processamento nas membranas de microfiltração (MF) com seis meses de operação.....	71
Tabela 12 - Avaliação da qualidade bacteriológica da água após processamento nas membranas de osmose inversa (OI) com seis meses de operação.....	71
Tabela 13 - Avaliação da qualidade bacteriológica da água após processamento nas membranas de microfiltração (MF) posterior a limpeza química.....	72
Tabela 14 - Resultados bacteriológicos de águas de cisternas no período de estiagem utilizadas para consumo humano.....	74
Tabela 15 - Variação da cor, turbidez e pH das águas das cisternas no período de estiagem.....	79
Tabela 16 - Resultados bacteriológicos de águas de cisternas durante período de chuvas utilizadas para consumo humano.....	80
Tabela 17 - Resultados físico-químicos da água do poço artesiano da comunidade de Uruçu....	87
Tabela 18 - Resultados bacteriológicos das águas dessalinizada distribuída no chafariz coletivo.....	88
Tabela 19 - Resultados bacteriológicos das águas consumidas pelos moradores de Uruçu após disponibilização da água dessalinizada.....	90
Tabela 20 - Resultados bacteriológicos das águas consumidas pelos os moradores de Uruçu após curso de conscientização.....	95
Tabela 21 - Resultados bacteriológicos das cisternas com cloração.....	98
Tabela 22 - Custo do M <sup>3</sup> das fontes de água.....	101

## **Simbologia e Abreviatura**

ABS – Alquil benzeno sulfonados

AL – Alagoas

ANA – Agência Nacional de Águas

ASA – Articulação no Semi – árido Brasileiro

CAGEPA – Companhia de água e esgoto da Paraíba

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

COT – Carbono orgânico total

CT – Coliformes totais

DBO – Demanda bioquímica de oxigênio

DNAEE – Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica

DQO – Demanda Química de Oxigênio

DWD – Drinking Water Directive

ETA – Estação de tratamento de água

EUA – Estados Unidos da América

FUNASA – Fundação nacional de Saúde

IBGE – Instituto Brasileiro de geografia e estatística

IDS – Índice de incrustação

ISL – de Langelier

MDS – Ministério do Desenvolvimento Social e Combate a Fome

MF – Microfiltração

MS – Ministério da saúde

NF – Nanofiltração

NMP – Número mais provável

OI – Osmose Inversa

OMS – Organização Mundial da Saúde

ONU – Organização das Nações Unidas

PB – Paraíba

PG – Permeação de gases

pH – Potencial hidrogeniônico

pHS – pH de saturação

PIMC – Programa Um Milhão de Cisternas

PROSAB – Programa de Saneamento Básico

PSM – Processos de separação com membranas

PV – Pervaporação

SE – Sergipe

SHMP – hexametáfosfato de sódio

THM – trihalometanos

UF – Ultrafiltração

USEPA – United States Environmental Protection Agency

VPM – Valor máximo permitido

## Capítulo I

### 1.1 Introdução

A disponibilidade de água com qualidade é condição indispensável para a vida. A água e a saúde da população estão intrinsecamente relacionadas.

O mundo hoje, enfrenta uma situação desafiadora com o problema de escassez que aflige o planeta, pois hoje cerca de um bilhão de pessoas não têm acesso à água potável, conforme dados apresentado pelo UNESCO.

O Brasil, em especial as regiões do Semi-árido do Nordeste, mostra situações dramáticas em virtude da falta de água, que está diretamente relacionada, à baixa pluviosidade e irregularidade das chuvas da região.

Muitas dessas regiões exploram águas subterrâneas como alternativa para ter o acesso à água, que na maioria das vezes, apresentam salinidade elevada - com teores de cloreto acima de 1000 mg/L - característica, essa, que a torna imprópria ao consumo humano (a Organização Mundial de Saúde recomenda 250 mg/L de cloreto nas águas para o abastecimento das populações).

Outra solução alternativa de abastecimento que as comunidades difusas estão aderindo é o armazenamento de água por meio de cisternas. No entanto, o manuseio desta água e a falta de monitoramento da qualidade da mesma poderão permitir que esta solução alternativa de abastecimento propicie risco à saúde da população que a venha consumir.

Porém, não basta apenas ter o acesso à água, faz-se necessário um controle da qualidade e uma avaliação da necessidade de um eventual tratamento da mesma, para que se possam evitar problemas que persistem há vários séculos e que vem vitimando pessoas por meio das doenças de veiculação hídricas.

Sabe-se que as doenças de veiculação hídricas ocorrem em função da contaminação por microrganismos patogênicos, estas doenças compreendem uma variedade de patologias como: disenteria, giardíase, hepatite A, rotavírus, leptospirose, febre tifóide, etc.

O resultado da elevada endemicidade causada pelas doenças de veiculação hídricas constitui ônus elevado para a saúde pública. Segundo dados do Ministério da Saúde, grandes partes das enfermidades estão relacionadas com a água.



Cerca de 30 mil pessoas ainda morrem no Brasil todos os anos por causa da contaminação da água ou de doenças relacionadas com a falta de higiene. A Organização Mundial da Saúde (OMS) publicou em junho de 2008, um levantamento mostrando que investimentos no tratamento da água poderiam economizar grande quantidade de recursos públicos (Jornal Estado de S. Paulo, 2008).

Os serviços de saúde no mundo poderiam evitar gastos de US\$ 7 bilhões ao ano se os governos optassem por dobrar investimento com tratamento de água. Em termos de redução de gastos com saúde, o mundo ganharia US\$ 84 bilhões por ano com um sistema de água confiável. Para isso, os países precisariam destinar cerca de US\$ 11,3 bilhões a mais para o setor de água e esgoto (Jornal Estado de S. Paulo, 2008).

No mundo, 6,3% das mortes ainda são causadas por doenças decorrentes da má qualidade da água. No total, são 3,5 milhões de mortes por ano no mundo que poderiam ser evitadas. No Brasil, a taxa de mortos pela contaminação da água é menor que a média: 2,3%. Mas, o País tem uma proporção de mortos bem acima das economias industrializadas. Segundo a OMS, mais de 15 mil pessoas morrem por ano no Brasil em consequência de diarreia. Já em países como Áustria, Itália e Dinamarca, por exemplo, apenas 0,1% das mortes são decorrentes de doenças causadas por água contaminada (Jornal Estado de S. Paulo, 2008).

Diante deste contexto, este trabalho visa mostrar um panorama da qualidade da água consumida por pessoas que enfrentam problemas de escassez de água em regiões que não contam com o serviço de abastecimento por meio de rede pública de distribuição de água potável, com intuito de propor soluções alternativas de abastecimentos que garantam a potabilidade da água de forma que os problemas de doenças de veiculação hídricas sejam minimizados promovendo uma melhor qualidade de vida a estas pessoas.

## 1.2 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo principal apresentar uma sistemática para avaliar a qualidade da água para consumo humano em sistemas alternativos de abastecimento de águas que atendem a comunidades difusas nas regiões do Semi-árido do Nordeste.

## 1.3 Objetivos Específicos

- Analisar em termos bacteriológicos as águas subterrâneas utilizadas como soluções alternativas de abastecimento;
- Avaliar o desempenho da técnica de separação por membranas para desinfecção física de água em campo;
- Analisar as águas armazenadas nas cisternas utilizadas como soluções alternativas de abastecimento durante os períodos de estiagem e de chuvas, em termos bacteriológicos e os parâmetros físico-químicos que mais comprometem a qualidade bacteriológica da água;
- Orientar aos usuários sobre a forma de conservação da água para consumo humano nas comunidades com soluções alternativas de abastecimento;
- Comparar em termos bacteriológicos a qualidade das águas de cisternas com outras fontes de água potável disponibilizada nas soluções alternativas de abastecimento.

## Capítulo II

### Revisão Bibliográfica

#### 2.1 Recursos hídricos no mundo

Da quantidade de água existente sobre a terra (1.370 milhões de Km<sup>3</sup>), 97,2% são de água salgada. A água presente na neve ou no gelo corresponde a 2,1%, a água doce e equivale a 0,6% do total e o restante da água apresenta-se na forma de vapor atmosférico.

A água doce, portanto, tem reservas estimadas em 8,2 milhões de Km<sup>3</sup>, sendo que desse total somente 1,2% (98.400 Km<sup>3</sup>) apresenta-se na forma de rios e lagos e os restantes 98,8% constituem águas subterrâneas ou aquíferos. Os continentes mais favorecidos em reservas de água doce são a Ásia, a América do Norte e a América do Sul (SETTI, 1994).

Em países como a Arábia Saudita, a Dinamarca e Malta, as águas subterrâneas são o único recurso hídrico disponível. Em outros, como a Áustria, Alemanha, Bélgica, França, Hungria, Itália, Holanda, Marrocos, Rússia e Suíça, mais de 70% da demanda são atendidos pelo manancial subterrâneo (BANCO MUNDIAL, 1994).

De acordo com a *Internacional Water Resources Association* (IWRA), entre oito e onze milhões de pessoas morrem anualmente no mundo por causa de problemas relacionados ao controle de qualidade da água (doenças provenientes da contaminação) ou da quantidade (inundações e secas).

A água tem se tornado um elemento de disputa entre nações. O relatório do Banco Mundial de 1995, alerta para o fato de que as “as guerras do próximo século serão por causa de água, não por causa de petróleo ou política”.

Hoje, cerca de 250 milhões de pessoas, distribuídos em 26 países, já enfrentam escassez crônica da água.

Em 30 anos, o número de pessoas saltará para três bilhões em 52 países. Nesse período, a quantidade de água disponível por pessoa em países do Oriente Médio e do norte da África estará reduzida em 80%. A projeção que se faz é que, nesse período, oito bilhões de pessoas habitarão a terra, em sua maioria concentradas nas grandes cidades. Daí será necessário produzir mais comida e mais energia, aumentando o consumo doméstico e industrial de água. Essas perspectivas fazem crescer o risco de guerras, porque a questão das águas torna-se internacional.

A populosa China sofre com o problema. O grande crescimento populacional e a demanda agroindustrial estão esgotando o suprimento de água. Das 500 cidades que existem no país, 300 sofrem com a escassez de água. Mais de 80 milhões de chineses andam mais de um quilômetro e meio por dia para conseguir água, e assim acontecem com inúmeras nações (ABAS, 2008).

Um levantamento da ONU aponta duas sugestões básicas para diminuir a escassez de água: aumentar a sua disponibilidade e utilizá-la mais eficazmente. Para aumentar a disponibilidade, uma das alternativas seria o aproveitamento das geleiras; a outra a dessalinização da água do mar.

## **2.2 Os Recursos hídricos no Brasil**

A vazão da bacia amazônica altera profundamente a disponibilidade de recursos hídricos no território brasileiro (177,9mil m<sup>3</sup>/s). Se agregarmos a vazão dessa bacia as disponibilidade hídricas do Brasil (251 mil m<sup>3</sup>/s), esse potencial hídrico corresponde a 53% do total referente à América do Sul. A representatividade brasileira e amazônica também é significativa em termos mundiais, 15%. De acordo com os dados do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), do Ministério das Minas e Energia, a bacia amazônica concentra 72% do potencial hídrico nacional.

A distribuição regional dos recursos hídricos é de 70% para a região Norte, 15% para a Centro-Oeste, 12% para as regiões Sul e Sudeste, que apresentam o maior consumo de água, e 3% para o Nordeste. Essa região, além da carência de recursos hídricos, tem sua situação agravada por um regime pluviométrico irregular e pela baixa permeabilidade do terreno cristalino.

A escassez de água no Brasil está associada às baixas disponibilidades específicas no do Nordeste e as altas densidades demográficas nas regiões Sudeste e Sul. Os conflitos estão situados em áreas de grande densidade demográfica e intensa concentração industrial - regiões Sudeste e Sul. Nessas regiões, a poluição dos recursos hídricos é mais grave, aumentando significativamente os custos para tratamento da água. A escassez de recursos hídricos também aumenta os custos com captação de água, pois os mananciais estão cada vez mais distantes dos centros urbanos (Borsoi e Torres, 2000).

## 2.3 Qualidade da água para consumo humano

Na ótica da Engenharia ambiental, o conceito de qualidade da água é muito mais amplo do que a simples caracterização da água pela fórmula molecular  $H_2O$ . Isto porque a água, devido às suas propriedades de solvente e à sua capacidade de transportar partículas, incorpora a si diversas impurezas, as quais definem a qualidade da água (Von Sperling, 1995).

O conceito de qualidade da água relaciona-se a seu uso e características por ela apresentadas, determinadas pelas substâncias presentes. A cada uso corresponde uma quantidade e qualidade, necessárias e suficientes. Seu padrão de potabilidade é composto por um conjunto de parâmetros que lhe confere qualidade própria para consumo humano (Ministério da Saúde, 2007).

Água potável é definida pela Portaria de potabilidade da água Nº 518/04 do Ministério da Saúde como água para consumo humano cujos parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos atendam ao padrão de potabilidade e que não ofereça riscos a saúde.

Água potável, em termos gerais, é aquela que pode ser consumida sem risco a saúde e sem causar rejeição ao consumo.

De acordo com a legislação vigente, o padrão de potabilidade brasileiro em vigência ele contempla os seguintes parâmetros:

- Padrão microbiológico;
- Padrão de turbidez para água pós – filtração e pré – desinfecção;
- Padrão para substâncias químicas que correspondem riscos à saúde (inorgânicas, orgânicas, agrotóxicos, desinfetantes e produtos secundários da desinfecção).

### 2.3.1 Parâmetros físicos – químicos da qualidade da água

A qualidade da água pode ser representada através de diversos parâmetros, que traduzem as suas principais características físicas, químicas e biológicas. A seguir serão descritos os principais parâmetros de forma sucinta, apresentando o conceito do mesmo. Esclarecendo que, todos esses parâmetros são de determinação rotineira em laboratórios de análises de água.

### 2.3.1.1 - Parâmetros físicos

#### Cor

A aparência da água pode ser um fator significativa na satisfação de seu consumo. A água pura é virtualmente ausente de cor. A presença de substâncias dissolvidas ou em suspensão altera a cor da água, dependendo da quantidade e da natureza do material presente.

Sendo de origem natural não representa risco direto à saúde, mas o consumidor pode questionar a sua confiabilidade, e buscar águas de com qualidade duvidosa. Além disso, a cloração da água contendo matéria orgânica dissolvida, responsável pela cor, pode gerar produtos potencialmente cancerígenos (trihalometanos – ex: clorofórmio) (CETESB, 1987).

#### Turbidez

A turbidez é uma característica da água devida à presença de partículas suspensas com tamanho variando desde suspensões grosseiras aos colóides, dependendo do grau de turbidez. A presença dessas partículas provoca a dispersão e a absorção da luz, dando a água uma aparência nebulosa, esteticamente indesejável e potencialmente perigosa. A turbidez pode ser causada por uma variedade de materiais: partículas de argila ou lodo, descarga de esgoto doméstico ou a presença acentuada de microrganismos. Os sólidos em suspensão podem servir de abrigo para microrganismos patogênicos, diminuindo com isso a eficiência da desinfecção (CETESB, 1987).

#### Sabor e odor

As características de sabor e odor são consideradas em conjunto, pois geralmente a sensação de sabor origina-se do odor. São de difícil avaliação, por serem sensações subjetivas, causadas por impurezas dissolvidas, frequentemente de natureza orgânica, como fenóis e clorofenóis, resíduos industriais, gases dissolvidos entre outros (CETESB, 1987).

## Temperatura

A temperatura da água tem importância por sua influência sobre outras propriedades: acelera reações químicas, reduz a solubilidade dos gases, acentua a sensação de sabor e odor entre vários outros fatores (CETESB, 1987).

### 2.3.1.2 - Parâmetros químicos

## pH

Potencial hidrogeniônico. Representa a concentração de íons hidrogênio  $H^+$  (em escala anti-logarítmica), fornecendo uma indicação sobre a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água. Muito importante nas etapas de tratamento de água.

O pH é um parâmetro fundamental de controle da desinfecção, pois, em pH elevado à cloração perde eficiência (Von Sperling, 1995).

## Alcalinidade

Quantidade de íons na água que reagirão para neutralizar os íons hidrogênio. É uma medição da capacidade da água de neutralizar os ácidos (capacidade de resistir às mudanças de pH: capacidade tampão). Os principais constituintes da alcalinidade são os bicarbonatos ( $HCO_3^-$ ), carbonatos ( $CO_3^{2-}$ ) e hidróxidos ( $OH^-$ ) (Von Sperling, 1995).

A distribuição entre as três formas na água é função do pH:

pH 11,0-9,4 Alcalinidade de hidróxidos e carbonatos

pH 9,4-8,3 Carbonatos e bicarbonatos

pH 8,3-4,6 Somente bicarbonatos

pH 4,6-3,0 Ácidos minerais.

## Acidez

Capacidade da água em resistir às mudanças de pH causadas pelas bases. É devido principalmente à presença de gás carbônico livre (pH entre 4,5 e 8,2). Águas com acidez mineral são desagradáveis ao paladar, sendo recusadas (VON SPERLING, 1995).

## Dureza

Concentração de cátions multimetálicos em solução. Os cátions mais freqüentemente associados à dureza são os cátions divalentes  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ . Em condições de supersaturação, esses cátions reagem com ânions na água, formando precipitados. A dureza pode ser classificada como dureza carbonato e dureza não carbonato, dependendo do ânion com a qual ela está associada. A dureza correspondente à alcalinidade é denominada dureza carbonato, enquanto as demais formas são caracterizadas como dureza não carbonato. A dureza é conhecida por sua propriedade de impedir a formação de espumas como o sabão. Em determinadas concentrações, causa sabor desagradável e pode ter efeitos laxativos (VON SPERLING, 1995).

## Ferro e manganês

O ferro e o manganês estão presentes nas formas insolúveis ( $\text{Fe}^{3+}$  e  $\text{Mn}^{4+}$ ) numa grande quantidade de tipos de solos. Na ausência de oxigênio dissolvido (ex: água subterrânea), eles se apresentam na forma solúvel ( $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Mn}^{2+}$ ). Caso a água contendo as formas reduzidas seja exposta ao ar atmosférico (ex: na torneira do consumidor), o ferro e o manganês voltam às suas formas insolúveis ( $\text{Fe}^{3+}$  e  $\text{Mn}^{4+}$ ), o que pode causar cor na água, além de manchar roupas durante a lavagem. Em certas concentrações, podem causar sabor e odor (mas, nessas concentrações, ocorre a rejeição do consumidor, devido à cor). Na água subterrânea são mais propensas a apresentar teores mais elevados (VON SPERLING, 1995; CETESB, 1987).



## Alumínio

Embora o metabolismo do alumínio pelo organismo humano não seja bem conhecido e alguns trabalhos sugerem sua associação com o mal de Alzheimer, até então seus efeitos tóxicos não são comprovados. Ademais, o alumínio é um elemento abundante na natureza e a exposição humana pelo consumo de água é relativamente reduzida. Portanto, apesar de sua larga utilização no tratamento de água, as evidências disponíveis sugerem a manutenção de valores máximos permissíveis referentes apenas a aceitação para consumo: concentrações acima 0,20 mg/L podem provocar depósitos de flocos de alumínio em sistemas de distribuição e acentuar a contaminação por ferro provenientes das tubulações (Ministério da Saúde, 2007).

## Cloretos

Todas as águas naturais, em maior ou menor escala, contêm íons resultantes da dissolução de minerais. Os cloretos (Cl<sup>-</sup>) são advindo da dissolução de sais. Em determinadas concentrações pode conferir a água sabor salino e uma propriedade laxativa.

Os cloretos presentes na água que alteram sabor são, principalmente, os de sódio, potássio e cálcio, em concentrações superiores a 200-300mg/L. No padrão de potabilidade brasileiro, a valor máximo permitido é o de 250mg/L. Cloretos são removidos por processos especiais, tais como osmose inversa ou eletrodialise (Ministério da Saúde, 2007).

## Sulfatos

O íon sulfato quando presente na água, dependendo da concentração além de outras propriedades laxativas mais acentuadas que outros sais, associados a íons de cálcio e magnésio, promove dureza permanente e pode ser um indicador de poluição de uma das fases de decomposição da matéria orgânica, no ciclo do enxofre (VON SPERLING, 1995; CETESB, 1987).

## Salinidade

O conjunto de sais normalmente dissolvidos na água, formado pelos bicarbonatos, cloretos, sulfatos e, em menor quantidade, pelos demais sais.

De modo geral a salinidade excessiva é mais própria das águas profundas que das superficiais, sendo, porém sempre influenciada pelas condições geológicas dos terrenos banhados ou lixiviados (CETESB, 1987).

## Nitrogênio

Dentro do ciclo do nitrogênio na biosfera, este se alterna entre várias formas e estados de oxidação. No meio aquático, o nitrogênio pode ser encontrado nas seguintes formas: 1- nitrogênio molecular ( $N_2$ ), 2 - nitrogênio orgânico (dissolvido e em suspensão), 3 - nitrito ( $NO_2^-$ ) e nitrato ( $NO_3^-$ ). Águas com concentrações de nitratos predominantes indicam uma poluição remota, porque os nitratos são produtos finais da oxidação do nitrogênio. O nitrato está associado a doenças que afetam o sistema respiratório como a metahemoglobinemia (síndrome do bebê azul) (VON SPERLING, 1995).

## Fósforo

O fósforo na água apresenta-se principalmente nas formas de ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico. Os ortofosfatos são diretamente disponíveis para o metabolismo biológico sem necessidade de conversões a forma mais simples. Os polifosfatos são moléculas mais complexas com dois ou mais átomos de fósforo. O fósforo orgânico é normalmente de menor importância.

O fósforo não apresenta problemas de ordem sanitária nas águas de abastecimento.

O fósforo é um nutriente essencial para o crescimento dos microrganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica (VON SPERLING, 1995).

### **Oxigênio dissolvido**

É um forte parâmetro de caracterização de corpos da água, pois representa os efeitos da poluição das águas por despejos orgânicos.

O oxigênio dissolvido (OD) é importante para o desenvolvimento dos organismos aeróbicos. Durante a estabilização da matéria orgânica, as bactérias fazem uso nos seus processos respiratórios, podendo causar uma redução da sua concentração no meio e dependendo da magnitude deste fenômeno ocasionar a morte de diversos seres aquáticos, inclusive os peixes. A concentração de OD igual ou inferior a 2,0 mg/L é letal aos peixes (VON SPERLING, 1995).

### **Matéria orgânica**

A matéria orgânica presente nos corpos d'água é uma característica de primordial importância, sendo causadora do principal problema de poluição das águas. Os principais componentes orgânicos são proteínas, carboidratos, gorduras e óleos, além da uréia, surfactantes, fenóis, pesticidas e outros em menor quantidade. Em termos práticos, usualmente não há necessidade de caracterizar a matéria orgânica em termos de proteínas, gorduras, carboidratos etc. Ademais, há uma grande dificuldade para determinar os componentes da matéria orgânica nas águas residuárias, face à multiplicidade de formas e compostos que a mesma pode apresentar. Assim, utilizam-se normalmente métodos indiretos de quantificação, ou do seu potencial poluidor. Nesta linha, existem duas principais categorias: 1- Determinação do consumo de oxigênio (demanda bioquímica de oxigênio – DBO) e da demanda química de oxigênio – DQO e 2 - medição de carbono orgânico (carbono orgânico total – COT). A DBO é o parâmetro mais utilizado, é preciso na informação do grau de poluição de um corpo d'água (VON SPERLING, 1995).

### **Micropoluentes inorgânicos**

Uma grande parte dos micropoluentes inorgânicos são tóxicos. Entre estes, têm especial destaque os metais pesados. Entre os metais pesados que se dissolvem na água incluem-se o

arsênio, cádmio, cromo, chumbo, mercúrio e prata. Felizmente as concentrações dos metais tóxicos nos ambientes aquáticos naturais são bem pequenas. Além, dos metais pesados, há outros micropoluentes inorgânicos de importância em termos de saúde pública, como os cianetos, o flúor e outros. Cabe destaque os danos que os metais pesados causam à saúde:

Arsênio: intoxicação ao sistema nervoso. Possivelmente cancerígeno.

Cádmio: efeito cumulativo nos sistema nervoso. Cãibras, vômitos e diarreias.

Bário: prejudicial ao sistema circulatório. Aumento da pressão sanguínea.

Chumbo: danos ao sistema renal e sistema nervoso.

Cromo: distúrbio ao sistema circulatório e renal.

Prata: em concentrações elevadas causam danos à pele.

Mercúrio: elevada toxicidade e efeito acumulativo. Danos ao sistema nervoso e renal.

### **Micropoluentes orgânicos**

Alguns materiais orgânicos são resistentes à degradação biológica, não integrando os ciclos biogeoquímicos. Entre eles, destacam-se os defensivos agrícolas, alguns tipos de detergentes, como o alquil benzeno sulfonados (ABS). Também merece destaque os fenóis, principalmente nas águas submetidas a tratamento com cloro, pois combina com o mesmo, formando clorofórmio que é tóxico (VON SPERLING, 1995).

### **2.3.2 Qualidade microbiológica da água**

Na visão da OMS, os riscos à saúde impostos pelas substâncias químicas (de efeito crônico e longo prazo, por vezes não muito bem fundamentados do ponto de vista toxicológico e epidemiológico) não devem ser comparados aos riscos microbiológicos de transmissão de doenças (de efeito agudo e curto prazo, inquestionáveis e de grande impacto). Em termos gerais, guardada a importância relativa e específica de cada um, a garantia da qualidade microbiológica da água deve receber prioridade (BRASIL, 2007).

### 2.3.2.1 Organismos indicadores de contaminação

A detecção e quantificação de todos os microrganismos patogênicos potencialmente presente na água é laboriosa, demanda tempo, os custos são elevados e nem sempre se obtêm resultados positivos ou que confirmem a presença do microrganismo. Este fato leva a questionar qual microrganismo é ideal para servir como indicador de qualidade da água, uma vez que a realização de análises que abrangem todos os possíveis microrganismos é técnica e economicamente inviável (DANIEL, 2001).

O resultado das análises deve demorar o mínimo possível, pois é preciso tomar medidas corretivas ou preventivas com base nesse resultado. A confirmação de contaminação após o uso da água de nada adiantará, pois a população já terá consumido da água e estará exposta aos efeitos prejudiciais. Por esse motivo é necessário a utilização de um microrganismo que garanta com segurança a qualidade da água.

A escolha de tal microrganismo é difícil, pois um microrganismo indicador de acordo com Freachem (1983) deve apresentar as seguintes características:

- Ser membro normal da microbiota intestinal dos indivíduos sadios;
- Habitar exclusivamente o intestino e conseqüentemente, ser de origem exclusivamente fecal quando encontrado no ambiente aquático;
- Ser exclusivamente de origem humana (não satisfeito por qualquer bactéria indicadora atualmente em uso);
- Estar presente sempre que patogênicos de origem fecal estiverem presentes;
- Estar presente em maior número do que os patogênicos fecais;
- Ser incapaz de crescer em ambiente externo ao intestino e apresentar taxa de inativação inferior aos patogênicos de origem fecal;
- Ser resistente aos fatores antagonicos naturais e aos processos de tratamento de águas e de esgoto em grau igual ou maior que os patogênicos de origem fecal;
- Facilmente detectado e quantificado;
- Não ser patogênico.

A rigor, não há um único organismo que satisfaça simultaneamente todas essas condições. Na ausência de um indicador ideal, deve-se trabalhar com o melhor indicador: aquele que apresente a melhor associação com os riscos à saúde implícitos na contaminação da água (Bastos et al., 2001).

Dadas as dificuldades de isolamento rotineiro de organismos patogênicos em amostras ambientais, desde os primórdios da Microbiologia Sanitária sugere-se que a indicação de contaminação seja determinada, prioritária e rotineiramente, através de indicadores microbiológicos da presença de material fecal no meio ambiente. Há décadas, na verdade há mais de um século, os organismos que melhor têm cumprido este papel são as bactérias do grupo coliforme (BASTOS et al., 2000).

As bactérias do grupo coliforme estão presentes no intestino humano e de animais de sangue quente, sendo eliminadas nas fezes em número elevado ( $10^6$ - $10^8$  UFC/g). Entretanto, o grupo coliforme inclui bactérias não exclusivamente de origem fecal podendo ocorrer naturalmente no solo, água e plantas. Além disso, principalmente em climas tropicais, os coliformes apresentam a capacidade de multiplicarem-se na água (BRASIL, 2007).

Por isso, na avaliação da qualidade de águas naturais, os coliformes totais têm valor sanitário limitado. Sua aplicação restringe-se praticamente à avaliação da qualidade tratada (BASTOS et al., 2000).

De forma análoga, o grupo dos coliformes fecais inclui diversas espécies de vida livre dos gêneros *Escherichia*, *Klebsiella*, *Citrobacter*, *Enterobacter* e *Proteus* (Cerqueira et al., 1999). Portanto, a utilização dos coliformes fecais na avaliação da qualidade de águas naturais, principalmente em países de clima tropical, também tem sido questionada e a tendência atual é de se referir ao grupo como coliformes termotolerantes (DHSS, 1982; OMS, 1995). Apesar disso, e com base no fato de que dentre os cerca  $10^6$  -  $10^8$  coliformes fecais/100ml, usualmente presentes nos esgotos sanitários predomina *Escherichia coli* (esta sim, uma bactéria de origem exclusivamente fecal), estes organismos ainda têm sido largamente utilizados como indicadores de poluição de águas naturais (Bastos et al., 2000).

Reafirmando o já exposto, os coliformes totais (CT) carecem de maior significado sanitário na avaliação da qualidade de águas naturais. O indicador mais preciso de contaminação exclusivamente fecal é *E. coli*. Mesmo em mananciais bem protegidos não se pode desconsiderar a importância sanitária da detecção de *E. coli* (LIMA et al., 2000), pois, no mínimo, indicaria a contaminação de origem animal silvestre, os quais podem ser vetores de agentes patogênicos ao ser

humano. Não obstante, pelo fato de que a presença de coliformes termotolerantes, na maioria das vezes, guarda melhor relação com a presença de *E. coli*, aliado a simplicidade das técnicas laboratoriais de detecção, seu emprego ainda é aceitável (OMS, 1995).

RAMETEKE et al., 1992, na Índia, constataram que a quase totalidade dos coliformes termotolerantes isolados de águas superficiais eram *E. coli*, mas apenas aproximadamente a metade em águas subterrâneas.

Assim sendo, rigorosamente, os coliformes só se prestam como indicadores da remoção de bactérias patogênicas. Portanto, na aferição da qualidade bacteriológica da água tratada, a ausência dos coliformes totais é um indicador adequado e suficiente da eficiência do tratamento, uma vez que apresentam uma taxa de decaimento (inativação) similar ou superior à dos coliformes termotolerantes e de *E.coli* (OMS, 1995). No que toca à avaliação da qualidade virológica e parasitológica da água tratada, torna-se necessário o emprego de indicadores complementares não – biológicos, a exemplo do cloro residual e turbidez (BASTOS et al., 2000).

Embora de grande praticidade, o teste de coliformes não garante a ausência de outros patogênicos nas águas, mais resistentes que as bactérias. Preocupações mais recentes com o potencial patogênico das águas de consumo vêm se dirigindo às outras bactérias, como *Campylobacter* e *Aeromonas*, e aos protozoários, como *Giardia* e *Cryptosporidium*, além de diversos tipos de vírus entéricos. Doenças do aparelho respiratório também têm sido associadas à água, como a pneumonia transmitida pela bactéria *Legionella pneumophila* (ROSE, 1990).

A metodologia para análise de coliformes totais e *Escherichia coli* através do substrato enzimático é reconhecidamente superiores em sensibilidade e especificidade na detecção de coliformes totais e *E.coli* (Cerqueira et al, 1999, Cerqueira e Sá Horta, 1990, Bastos et al.,2001, Bettega et al, 2006), por serem baseados na hidrólise de substratos definidos por enzimas específicas das espécies. Os coliformes totais metabolizam o orto – nitrofenil- $\beta$ -D galactopiranosídeo(ONPG) pela presença da enzima  $\beta$  - D galactosidase, desenvolvendo a cor amarela. A *Escherichia coli* metaboliza o 4 – metil – umbeliferil -  $\beta$  - D-glicuronídeo (MUG) pela presença da enzima  $\beta$  - D - glicuronídase, desenvolvendo fluorescência no meio quando exposta a luz ultravioleta de 365nm (APHA, 1995);

- As técnicas baseadas na fermentação da lactose (tubos múltiplos), além de apresentarem sensibilidade e especificidade inferiores (maior ocorrência de falsos – positivos e negativos), são bem mais trabalhosas: por requererem duas temperaturas de incubação

( $35,5 \pm 0,5^\circ\text{C}$ ) para coliformes totais e  $44,5 \pm 0,2^\circ\text{C}$  para coliformes fecais (termotolerantes) e sucessivas repicagens, podendo totalizar 72h para leitura conclusiva (APHA, 1995);

- Outra vantagem dos métodos enzimáticos é na clareza da visualização dos resultados;
- A desvantagem fica com relação ao custo, o qual pode ser compensado no custo com a redução reduzido com a mão de obra específica, na redução de energia, pois não precisa esterilizar o meio, uma vez que, já são adquiridos estéreis e na rapidez de agir nos focos com contaminação;
- A metodologia enzimática utilizada está de acordo como *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, (APHA, 1995).

## 2.4 Água e doenças

A possibilidade de contrair doenças pela água foi há muito inferida pelo homem. Registros sobre medidas objetivando a melhoria da qualidade da água remontam a 2000 a.C. Posteriormente, há menções efetuadas na antiga Grécia por Hipócrates (Baker, 1949, apud Leal, 2001) – considerado o pai da medicina -, no alvorecer do império macedônio entre os séculos III e IV a.C nas quais se reporta à importância da correta definição dos mananciais de abastecimento como forma de preservar a saúde da população (PROSAB, 2001)

Somente no século XIX a água foi reconhecida como meio de transmissão de doenças. Em 1849, o médico John Snow estabeleceu ser a água o meio pelo qual a cólera era transmitida ao ser humano. Segundo White (1986), Snow comprovou sua teoria em um episódio acontecido em 1854 na cidade de Londres. Após mapear as mortes ocorridas durante a epidemia de cólera, Snow constatou que todas ocorreram em um raio de 230m nas cercanias da estação de Broad Street. Assim, ao remover a bomba, impediu a comunidade local de se abastecer da fonte. Esse ato resultou na estabilização imediata do número de infectados pela epidemia de cólera, que, até então, ceifara cerca de 500 vidas.

Após os estudos de Snow, sucederam-se a identificação e a classificação dos agentes patogênicos causadores de diversas doenças de veiculação hídrica, como febre tifóide(1880), a cólera (1884), a disenteria(1898) e a febre paratífóide (1900) (DANIEL, 2001).

As moléstias relacionadas à água dividem-se em quatro grupos que dependem de como ocorre a transmissão. As doenças de veiculação hídrica, propriamente ditas, constituem o grupo no



qual o agente patogênico é ingerido junto com a água. Relacionam-se também com a água as doenças possíveis de ser transmitidas durante as atividades de higiene pessoal, no contato com água contaminada, e as moléstias cujo vetor apresenta parte de seu ciclo desenvolvido no ambiente aquático (CAIRNCROOSS e FEACHEN, 1990).

Na tabela 01 são apresentadas as principais doenças de veiculação hídrica, com os respectivos agentes etiológicos, sintomas usuais e fontes de contaminação. A mesma não contempla as moléstias cujos agentes etiológicos ou vetores desenvolvem parte do ciclo biológico na água. Neste viés, inserem-se as verminoses e as doenças transmitidas por insetos que ainda grassam em diversas regiões do País.

O controle de diversas doenças de veiculação hídrica por vezes inviabiliza-se pelo fato de apresentarem “reservatórios” na natureza e no reino animal – animal nos quais se multiplicam os agentes patogênicos-, explicando parcialmente a extensiva disseminação das mesmas no planeta. Contudo, os indivíduos assintomáticos, portadores que não apresentam sintomas da moléstia, constituem os principais contaminadores das águas naturais.

A prevalência das doenças de veiculação hídrica, notadamente na América latina, África e Ásia, constitui um forte indicativo da fragilidade dos sistemas públicos de saneamento. Tal fragilidade materializa-se na ausência de redes coletoras de esgotos e, principalmente, na qualidade da água distribuída à população se fazem presentes. A conjunção desses fatos concorre, embora não isoladamente, para a manutenção dos índices de mortalidade infantil do Brasil entre os mais elevados do continente (DANIEL, 2001).

Estimativa realizada em 2000 pela Fundação IBGE aponta para um índice de mortalidade infantil, no Brasil, de 35,5 óbitos de menores de um ano por mil nascidos vivos, um dos mais elevados das Américas, superando 60/1000 em alguns estados da Região do Nordeste.

Tabela 01 - Principais doenças de veiculação hídrica

<b>Doença</b>	<b>Agente etiológico</b>	<b>Sintomas</b>	<b>Fontes de contaminação</b>
Febres tifóide e paratifóide	<i>Salmonella typhi</i> <i>Salmonella paratyphi A e B</i>	Febre elevada, diarreia.	Fezes humanas
Disenteria amebiana	<i>Entamoeba histolytica</i>	Diarreia, abscessos no fígado e intestino delgado.	Fezes humanas
Cólera	<i>Vibrio cholerae</i>	Diarreia e desidratação	Fezes humanas
Giardíase	<i>Giardia lamblia</i>	Diarreia, náusea, indigestão, flatulência.	Fezes humanas e animais.
Hepatite A e E	Vírus da hepatite A e E	Febre, icterícia	Fezes humanas
Poliomielite*	Vírus da poliomielite	Paralisia	Fezes humanas
Criptosporidiose	<i>Cryptosporidium parvum</i> , <i>Cryptosporidium muris</i>	Diarreia, anorexia, dor intestinal, náusea, indigestão, flatulência.	Fezes humana e animais
Gastroenterite	<i>Escherichia coli</i> , <i>Campylobacter jejuni</i> , <i>Yersinia enterocolitica</i> , <i>Aeromonas hydrophila</i> , rotavírus e outros vírus entéricos.	Diarreia	Fezes humanas

\* Enfermidade erradicada no Brasil

Fonte: (NEVES, 1998), (VON SPERLING, 1995), (COHN et al., 1999).

Todavia, a despeito do impacto das referidas ações preventivas na saúde, a importância das intervenções em abastecimento de água e coleta de esgotos é testificada com efeitos de longo prazo, segundo os quais se estima que as mesmas possam elevar a expectativa de vida em sete vezes e prevenir as mortes de forma quatro vezes mais eficientes, quando comparadas às intervenções biomédicas (BRISCOE, 1987).

A tabela 02 apresenta uma relação de organismos patogênicos e respectivas características, organizadas de forma a facilitar a visualização da importância relativa de cada um na transmissão de doenças via abastecimento de água. Em linhas gerais, pode-se dizer que os seguintes fatores favorecem a transmissão: sobrevivência prolongada na água; possibilidade de reprodução na água, particularmente em sistemas de distribuição; resistência elevada à desinfecção; baixa dose infectante; existência de múltiplos focos de contaminação, por exemplo, reservatórios animais (BRASIL, 2007).

Dentro os organismos patogênicos capazes de transmitirem doenças por veiculação hídricas, merecem destaque os protozoários: *Giardia* e *Cryptosporidium* e os vírus entéricos em razão de ser difícil sua remoção nos tratamentos de água convencional e as técnicas de pesquisa em amostras de água ainda em fase de consolidação.

Dentre os parasitos usuais em mananciais de abastecimentos, destacam-se os protozoários em águas pristinas (Hroncich, 1999), até então imunes a quaisquer tipos de deterioração da qualidade por origem antrópica. A forma como os protozoários se apresentam na natureza, como cistos e oocistos, explica sua prevalência em distintos tipos de ambiente e, principalmente, a significativa maior resistência à ação do cloro (DANIEL, 2001).

No período de 1971 a 1985, registraram-se, nos Estados Unidos, 502 surtos envolvendo 111.228 casos de doenças de veiculação hídricas. Aproximadamente na metade dos casos foi identificado o parasito, e desde montante, um total de 92 surtos- acometendo 24.365 indivíduos – foi atribuído ao protozoário *Giardia Lamblia* (Dubey et al., 1990). Essa espécie de protozoário constitui-se individualmente no agente etiológico identificado mais freqüente nos surtos de doenças de veiculação hídrica nos Estados Unidos.

Estudo realizado pela *United States Environmental Protection Agency* (USEPA), no Estado americano do Colorado, estimando em 25% o percentual dos surtos convenientemente registrados. No período de 1986 a 1992 ocorreu redução no número de surtos (110) e dos indivíduos afetados (47 mil). A maioria dos surtos reportados deveu-se à ineficácia no tratamento (49%) e à contaminação no sistema de distribuição (32%), com significativa parcela decorrente do uso de água subterrânea sem desinfecção ou com desinfecção ineficiente (Daniel. L. A, 2001).

No Brasil, embora as informações sejam escassas, verificou-se a ocorrência de *Cryptosporidium* em águas de abastecimento do Estado de Minas gerais, atingindo principalmente crianças de 0 a 6 anos da área urbana da cidade (NEWMAN et al., 1993; SILVA e HIRSHFELD, 1994).

Tabela 02 - Organismos patogênicos de veiculação hídrica e transmissão fecal-oral e sua importância para o abastecimento

Agente patogênico	Importância para a saúde	Persistência na água <sup>a</sup>	Resistência ao cloro <sup>b</sup>	Dose infecciosa relativa <sup>c</sup>
<b>Bactérias</b>				
<i>Campylobacter jejuni, c. coli</i>	Considerável	Moderada	Baixa	Moderada
<i>Escherichia coli</i>	Considerável	Moderada	Baixa	Alta
<i>Salmonella typhi</i>	Considerável	Moderada	Baixa	Alta
Outras <i>Samonellas</i>	Considerável	Prolongada	Baixa	Moderada
<i>Shigella spp.</i>	Considerável	Breve	Baixa	Moderada
<i>Vibrio Cholerae</i>	Considerável	Breve	Baixa	Alta
<i>Yersina enterocolitica</i>	Considerável	Prolongada	Baixa	Alta
<i>Pseudonomas aeruginosas</i>	Moderada	Podem	Moderada	Alta
<i>Aeromonas spp.</i>	Moderada	Podem	Baixa	Alta
<b>Vírus</b>				
<i>Adenovírus</i>	Considerável	?	Moderada	Baixa
<i>Enterovírus</i>	Considerável	?	Moderada	Baixa
<i>Hepatite A</i>	Considerável	?	Moderada	Baixa
<i>hepatite E</i> transmitida por via entérica.	Considerável	?	?	Baixa
<i>Vírus de Norwalk</i>	Considerável	?	?	Baixa
<i>Rotavírus</i>	Considerável	?	?	Baixa
<b>Protozoários</b>				
<i>Entamoeba hystolitica</i>	Considerável	Moderada	Alta	Baixa
<i>Giárdia Lamblia</i>	Considerável	Moderada	Alta	Baixa
<i>Cryptosporidium Parvum</i>	Considerável	Prolongada	Alta	Baixa

? Não conhecido

a Período de detecção da fase infecciosa na água: breve, até uma semana; moderada, de uma semana a um mês; prolongada, mais de 1 mês.

b Quando a fase infecciosa encontra-se em estado livre na água tratada com doses e tempos de contato tradicionais. Resistência moderada, o agente pode não acabar completamente destruído; resistência baixa, o agente acaba completamente destruído.

c A dose necessária para causar infecção em 50% dos voluntários adultos são; no caso de alguns vírus, basta uma unidade infecciosa. Fonte: OMS (1995).

A qualidade de águas tratadas nem sempre é garantida em termos de segurança virológica. Esses patógenos, que são eliminados em grandes quantidades pelas fezes de indivíduos infectados, podem permanecer viáveis e infecciosos durante vários meses no ambiente e, assim, águas destinadas ao consumo humano, além de resistirem aos atuais processos de tratamento da água aplicados (TAVARES et al., 2005).

Mas de 100 espécies de vírus presentes em águas contaminadas por descargas de esgoto podem causar uma ampla variedade de doenças no homem. Os vírus entéricos produzem frequentemente infecções assintomáticas, entretanto podem estar associados a quadros mais severos como paralisias, anomalias cardíacas, meningite asséptica, encefalites, hepatites, diarreias, conjuntivites e outras enfermidades (Bosch, 1998; WYN-JONES e SELLWOOD, 2000; LECLERC et al., 2002).

O rotavírus tem sido considerado o principal agente etiológico de diarreia infantil em todo o mundo. A doença diarreica é geralmente branda e autolimitada, caracterizada por diarreia, vômito, febre, desidratação e dor abdominal. A transmissão é feita principalmente por via fecal-oral. A veiculação através da água tem sido evidenciada durante todas as estações, porém em maior frequência durante o inverno (KAPIKIAN e CHANOCK, 1996; MEHNERT e STEWIEN, 1993; MEHNERT et al., 1999; BORCHARDT et al., 2003).

Recente pesquisa foi desenvolvida pela OMS a fim de determinar a prevalência das doenças de veiculação hídricas em 26 países da Europa no período 1986-1996. Foram adequadamente reportados 277 de um total de 778 surtos dos quais 70% com identificação do agente etiológico, e mais de 54 mil de um total superior a 64 mil casos. Mais da metade dos surtos foi atribuído a bactérias, *Shigella*, *E.coli*, *Salmonella Typhi*, entre outras, com prevalência de protozoários em apenas 7% dos casos. Essa pesquisa concluiu que nos países onde vigoram padrões de potabilidade e programas de vigilância de qualidade mais restritivos, como Inglaterra, País de Gales e Suécia, verificou-se predominância dos surtos causados por protozoários, em especial *Cryptosporidium parvum*. Em contrapartida, países dotados de infra-estrutura sanitária mais frágil, em muito casos com vulneráveis sistemas individuais de abastecimento, e padrões de potabilidade menos exigentes apresentaram significativa incidência de doenças de origem bacteriana, como Croácia, Hungria e República Tcheca (KRAMER et al., 2001).

## 2.5 Evolução do controle de qualidade da água para consumo humano

A qualidade da água se tornou uma questão de interesse para a saúde pública no final do século 19 e início do século 20. Anteriormente, a qualidade era associada apenas a aspectos estéticos e sensoriais, tais como a cor, o gosto e o odor. Métodos para melhorar o aspecto estético e sensorial da água já foram encontrados há 4.000 a.C em documentos escritos em sânscrito. Entretanto, na Grécia antiga utilizavam-se técnicas como a filtração, a exposição ao sol e a fervura para melhorar a qualidade da água. Mesmo que motivados mais pela aparência turva que a água apresentava, os gregos apontavam empiricamente para a existência de relações causais entre água e enfermidades, Como fez Hipócrates (USEPA, 1999).

Em 1880, Louis Paster demonstrou pela teoria dos germes como organismos microscópios (micróbios) poderiam transmitir doenças por meio da água. Nessa mesma época, cientistas descobriram que a turbidez não estava somente relacionada a aspectos estéticos. O material particulado em água poderia conter organismos patogênicos e material fecal.

No início do século 20, em função dessas descobertas científicas, muitos sistemas de tratamento de água são construídos nos estados Unidos, empregando a filtração lenta como estratégia de controle de qualidade da água. Anos mais tarde, naquele mesmo país, a cloração é empregada pela primeira vez no Estado de New Jersey em 1908. Outros desinfetantes também são utilizados nesse período, como o ozônio na Europa. As iniciativas de potabilização da água de consumo humano se deram antes do estabelecimento de padrões e normas de qualidade. Algumas iniciativas pioneiras merecem destaque. Em 1914, uma norma federal americana, elaborada pelo serviço de saúde pública da época, estabelecia um padrão para qualidade microbiológica da água. Porém, essa norma se aplicava somente à água produzida por sistema de abastecimento e transportada via navios e trens dos Estados, e se limitava a contaminantes capazes de causar doenças contagiosas (USEPA, 1999).

Na atualidade, a Organização Mundial de Saúde (OMS) é a instituição que acompanha e recomenda os valores máximos permitidos, a partir dos estudos toxicológicos realizados em todo mundo e publicados em diferentes revistas e eventos científicos especializados no tema. Alguns países, como os Estados Unidos, o Canadá, e a comunidade Européia, apesar de se basearem também nas recomendações da OMS, estimulam pesquisas toxicológicas e bioensaios que, reciprocamente, acabam servindo de referência tanto para a OMS como para os demais países.

Todas as normas de potabilidade do Brasil seguem basicamente os padrões recomendados pela Organização de Saúde no *Guidelines for Drinking – Water Quality* (WHO, 2004).

A partir de estudos e levantamentos da situação da maioria dos sistemas de abastecimento de água, que apresentava uma qualidade fora dos padrões de potabilidade, no início dos anos 70 é criada nos Estados Unidos uma norma nacional de potabilidade de água para consumo humano, a *Safe Drinking Water Act*, de 1974, que estabelecia um padrão nacional de qualidade da água. Por esta lei, toda água captada e tratada pelas companhias de abastecimento daquele país deveria corresponder a este padrão de potabilidade, ou seja, apresentar seus constituintes orgânicos, inorgânicos e microbiológicos dentro dos valores máximos permitidos, ou seja, a água utilizada para fins de consumo humano (beber, lavar, cozinhar e para fins higiênicos) não deveria ser capaz provocar nenhum risco ou dano à saúde humana. Atualmente a *Safe Drinking Water Act* está submetida ao órgão de controle ambiental americano, o *United states Environmental Protection Agency* (USEPA) (FREITAS, 2005).

Na Europa, a atual norma de qualidade da água para fins de consumo humano tem abrangência em todos os países da comunidade européia. A *Drinking Water Directive* (DWD)98/83/EC é submetida a cada cinco anos a um processo de revisão, que tem como principal objetivo definir estratégias relativas à gestão do sistema de produção de água potável, no sentido de propor a inclusão de novos parâmetros químicos ou biológicos, a revisão dos limites máximos de contaminação dos parâmetros já existentes e a discussão sobre tendências de gerenciamento de riscos para o setor (EC, 2003).

### **2.5.1 A normatização da qualidade da água no Brasil**

No Brasil, a normatização da qualidade da água para consumo humano é iniciada na década de 1970. A primeira norma de potabilidade foi criada no Brasil pelo decreto federal nº 79.367 de nove de março de 1977, que estabeleceu a competência do Ministério da Saúde sobre a definição do padrão de potabilidade da água para consumo humano, a ser observado em todo território nacional, através da Portaria nº 56 Bsb, publicada em catorze de março de 1977.

A primeira revisão da Portaria nº 56 Bsb/77 foi iniciada em 1998, e apesar de estar inicialmente restrita à participação de setores governamentais de saúde e de companhias estaduais de abastecimento de água e órgãos estaduais de controle ambiental, conseguiu posteriormente

envolver as vigilâncias sanitárias, os laboratórios de Saúde Pública (LACENs), a comunidade científica e algumas associações de classe, na discussão da revisão, que forneceu subsídios à nova Portaria, a 36 GM, publicada em 19 de janeiro de 1999. Entre as principais inovações introduzidas pela 36 GM/90, estão : 1- a definição de controle e vigilância da qualidade; 2 - a definição de serviço e sistema de abastecimento de água; e 3- a inclusão e revisão de alguns parâmetros químicos e microbiológicos.

A segunda revisão ocorreu dez anos depois, extrapolando a recomendação do prazo máximo de cinco anos, contidos na 36 GM/90, após a sua promulgação. Nessa última revisão, ampliou-se mais o processo participativo, na confecção da norma, uma vez que houve a colaboração de diversas entidades dos setores públicos, privado e de organização não-governamentais. Além disso, a própria FUNASA coordenou uma consulta pública, para receber contribuições de profissionais, entidades e instituições de várias regiões do país. Em 29 de dezembro de 2000, foi publicada a Portaria N° 1469 (MS, 2000, atual Portaria N° 518/2004), estabelecendo o controle e a vigilância da qualidade da água para o consumo humano e seu padrão de potabilidade. O prazo de adequação das instituições ou órgãos para o cumprimento da Norma venceu em janeiro de 2003, exceto para o monitoramento de cianobactérias, que teve um prazo limite de implementação de três anos após a publicação da Portaria (FREITAS, 2005).

A principal inovação trazida pela Portaria 1469 foi à classificação dos tipos de sistemas de abastecimento de água em: Sistema coletivo que se constitui de uma instalação composta por um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, destinados à produção e à distribuição canalizada de água potável para as populações, sob a responsabilidade do poder público, mesmo que administrada em regime de concessão ou permissão; e sistema ou solução alternativa de abastecimento de água que se constitui de toda modalidade de abastecimento coletivo de água, distinta do sistema coletivo, incluindo, por exemplo, fontes, poços comunitários, distribuição por veículo transportador, instalações condominiais horizontal e vertical.

As soluções alternativas coletivas podem ser providas ou desprovidas de distribuição de rede. As soluções desprovidas de distribuição por rede, em geral, encontram-se associadas a fontes, poços ou chafarizes comunitários e distribuição por veículo transportador.

A Portaria 1469 expressa que todos os responsáveis pelo fornecimento coletivo de água, incluindo as soluções alternativas, devem exercer o controle da qualidade da água, o que implica,



dentre outras ações, o monitoramento da qualidade da água e a prestação de conta ao setor saúde e ao público consumidor (BRASIL, 2006).

Outro destaque nesta Portaria é o de que toda a água destinada ao consumo humano deve obedecer ao padrão de potabilidade e está sujeita à vigilância da qualidade, exercida pelas autoridades de saúde pública (Ministério da saúde, 2006).

A Portaria 1469 (atual Portaria Nº 518/04) também inovou com a incorporação um novo parâmetro microbiológico, a pesquisa de cianobactérias e cianotoxinas. Além de recomendações a respeito da operacionalidade para a remoção de cistos de *Giardia spp* e oocistos de *Cryptosporidium sp.*, a partir da melhora da eficiência no processo de filtração.

A tabela 03 apresenta algumas diferenças entre as duas normas de potabilidade que já estiverem em vigor no país e a norma atual. Enquanto as duas primeiras normas, a Bsb 56 e a 36/90, traziam basicamente valores máximos permitidos e indicações estatísticas para realização de amostragem e frequência, a 1469 incorporou por meio de uma discussão mais ampla os diferentes sistemas de abastecimento (coletivo e alternativo) e a atribuição precisa de responsabilidade operacional por estes sistemas, sob a perspectiva dos riscos à saúde pública associados à vulnerabilidade do manancial, às práticas operacionais do tratamento, e integridade física da rede de distribuição. Em vinte e cinco de março de 2004, a Portaria 1469 foi revogada e substituída pela Portaria Nº 518/04, que reproduziu inteiramente o conteúdo da Portaria 1469 (FREITAS, 2005).

Tabela 03 - Comparativo das Portarias de Potabilidade de água para o consumo humano de 1977 a 2004

Normas/ Características	Portaria N° 56/77 Bsb	Portaria N° 36/90	Portaria N° 1469/00 atual 518/04
Amostragem e frequência	Apresenta uma metodologia de amostragem e frequência. Baseado no número de habitantes e no tipo de constituinte a ser analisado.	Apresenta uma metodologia de amostragem em frequência, baseado no número de habitantes e no tipo de constituinte que vai ser analisado.	Inclui a necessidade de um plano de amostragem e frequência para os sistemas alternativos de abastecimento de água.
Valor máximo permitido	Inclui valores máximos permitidos e valores máximos desejáveis.	Reproduz os valores máximos permitidos recomendados pela OMS, comunidade Européia e norma Canadense.	A revisão dispõe sobre novos constituintes, tais como cianotoxinas, cianobactérias e recomendações operacionais sobre <i>Cryptosporidium</i> , seguindo basicamente os valores máximos recomendados pela OMS.
Informação	As informações são centralizadas pelo MS com as SESs- não prevê a disponibilidade das informações sobre a qualidade da água	As informações são centralizadas pelo MS com as SESs- não prevê a disponibilidade das informações sobre a qualidade da água	Destaca que os responsáveis pelos sistemas de abastecimentos devem repassar as informações sobre a qualidade da água ao conselho de defesa do consumidor, com periodicidade mínima anual e com periodicidade mensal para as autoridades de saúde pública.
Controle e vigilância	Não define vigilância, mas as SESs se obrigam a manter um registro permanente de informações sobre a qualidade da água dos sistemas de abastecimento público, bem como fornecer ao MS, notificando imediatamente a ocorrência de fato epidemiológico que possa estar relacionado ao comprometimento da qualidade da água fornecida.	Define controle e vigilância da qualidade da água. Define as responsabilidades e competências sobre a vigilância (MS e SESs) e controle( os abastecimentos de água).	Define controle e vigilância da qualidade da água sobre os sistemas de abastecimento de água coletivo e alternativo. Define as responsabilidades e competências sobre a vigilância e controle, e sobre os dois tipos de abastecimento no sentido de operar estes sistemas de acordo com as Normas da ABNT (1996).

(Fonte: FREITAS, 2005).

## 2.5.2 Principais avanços obtidos com a Portaria N° 518/04

Como a Portaria N° 518/04 é a que esta em vigor atualmente e com ela ocorreu importantes avanços no controle de qualidade da água para consumo humano, é importante registrar os principais avanços obtidos com a referida Portaria:

- Contempla a duas formas de abastecimento coletivo:
  1. Sistema de abastecimento de água para consumo humano;
  2. Solução alternativa para o abastecimento de água para consumo humano.
- Definição das competências e deveres dos responsáveis pelo controle e pela vigilância;
- Valorização de *E.coli* como indicador de contaminação de origem fecal;
- Abertura para pesquisa de outros patogênicos, como *Giardia* e *Cryptosporidium* sp;
- Valorização do parâmetro turbidez para a garantia do padrão microbiológico;
- Obrigatoriedade de se proceder à desinfecção da água, definição de parâmetros e valor máximo permitido (VMP) para produtos e subprodutos da desinfecção;
- Definição de pH e tempo de contato para a cloração final;
- Introdução de novos parâmetros inorgânicos, agrotóxicos, orgânicos, cianotoxinas, desinfetantes e produtos secundários de desinfecção;
- Aplicação de sanções administrativas cabíveis aos responsáveis pela operação dos sistemas ou soluções alternativas de abastecimento de água que não observarem as determinações da Portaria;
- As Secretarias de saúde dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios estarão sujeitas à suspensão de repasse de recursos do Ministério da Saúde e órgãos a ele ligado diante da inobservância do contido na Portaria (BASTOS et. Al.; 2004).

## 2.6 Soluções alternativas de abastecimento de água

Sem duvida, um grande avanço na legislação sobre consumo humano de água foi à inclusão das soluções alternativas de abastecimento de água na Portaria N° 518/2004. Pois, anteriormente este tipo de abastecimento era de certa forma ignorada pelos setores responsáveis pela vigilância Sanitária. Logo, as soluções alternativas de abastecimento seguem todos os parâmetros de potabilidade da água exigida pela citada Portaria.

As soluções alternativas diferenciam-se dos sistemas de abastecimento por não apresentarem rede de distribuição, sendo, entretanto, a água utilizada de forma coletiva. Nesse contexto, as comunidades difusas existentes no nosso semi-árido em razão da sua carência de água estão expostas a este tipo de abastecimento. Uma vez que, as soluções alternativas de abastecimento podem ser os caminhões – pipas, os chafarizes coletivos, cisternas, dentre outros.

## **2.7 Tipo de manancial nas soluções alternativas de abastecimento de água**

De acordo com o ciclo da água na natureza, os mananciais podem ser divididos em três categorias: superficiais, subterrâneas e águas de chuvas.

As fontes de água mais frequentes em soluções alternativas de abastecimento de água são os poços rasos, os poços profundos freáticos ou artesianos, as nascentes ou minas, a captação de águas de chuva e, em menor proporção, as águas superficiais.

### **2.7.1 Água subterrânea**

As formas como as rochas armazenam e transmitem a água subterrânea influencia diretamente a sua qualidade.

De forma geral, os terrenos sedimentares apresentam os melhores aquíferos, e ocupam cerca de 4.130.000 Km<sup>2</sup>, ou seja, aproximadamente 48% do território nacional (Figura 01). Os terrenos cristalinos constituem os aquíferos cárstico-fraturados e fraturados, que ocupam cerca de 4.380.000 Km<sup>2</sup>, 52% do território nacional.

Normalmente os problemas da qualidade da água nos terrenos cristalinos estão fortemente relacionados à elevada salinidade que é típica dos aquíferos do cristalino do semi-árido do Nordeste.

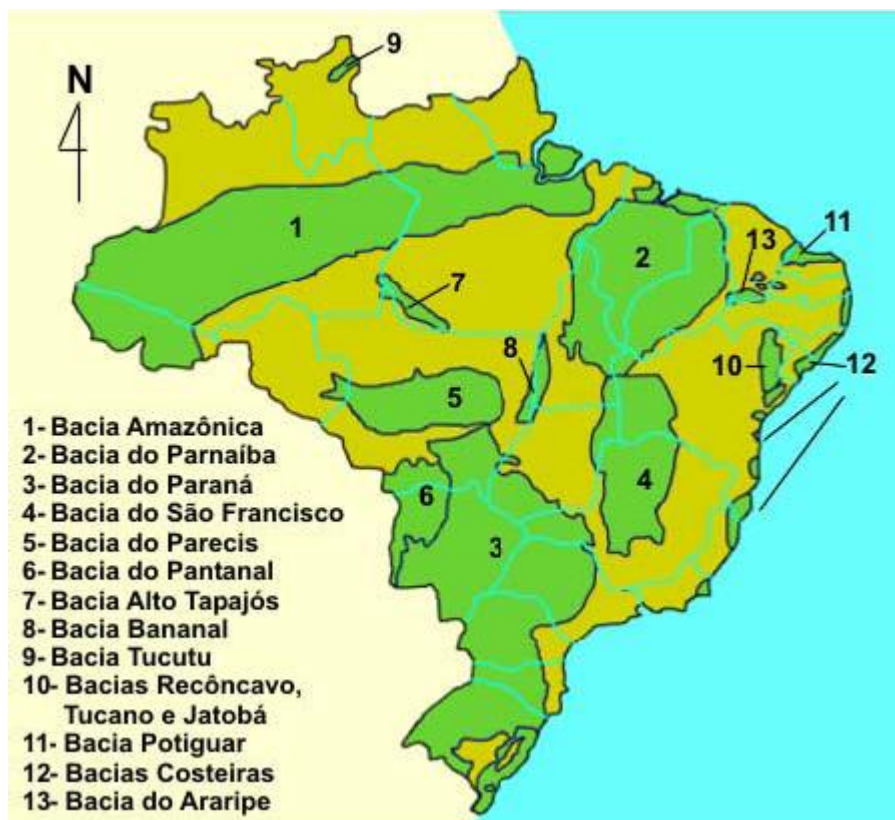


Figura 01 - Principais domínios sedimentares (em verde) e cristalinos (amarelo) - (Fonte – Petrobras).

No Brasil a maior parte do semi-árido do Nordeste cerca de 600000km<sup>2</sup> é constituída por terrenos cristalinos. A associação nesta região de baixas precipitações, distribuição irregular das chuvas, cobertura vegetal esparsa, especialmente no bioma caatinga, favorece o escoamento superficial em detrimento da infiltração. Assim, no cristalino do semi-árido brasileiro, os poços muito comumente apresentam vazões entre 1 e 3 m<sup>3</sup>/h e elevado conteúdo salino geralmente acima dos padrões de potabilidade. Apesar disso, em muitas pequenas comunidades do interior do Nordeste, esses poços constituem a única fonte de abastecimento disponível (ANA, 2005).

No cristalino inexistente uma rede de fluxo regional. Assim, Os poços exploram fraturas isoladas, muitas vezes com grandes diferenças de salinidade de uma fratura para a outra vizinha. Medidas de carbono – 14 revelaram sem exceção, águas novas, com poucas dezenas ou centenas de anos de tempo de permanência no aquífero. Assim sendo, a alta salinidade das águas subterrâneas do cristalino semi-árido do Nordeste esta relacionada à baixa pluviometria, que faz com que os sais transportados pela chuva (aerossóis) e acumulados no solo e fraturas não seja lixiviados. A alta

evaporação favorece a concentração dos sais. Assim, as águas que infiltram acumulam-se nas fraturas e no solo e enriquecem em sais.

Cruz & Melo (1974) observaram que a região do cristalino é que, afóra os grupos de águas bicarbonatadas e cloretadas – bicarbonatadas que isoladamente ocorrem, predominam águas cloretadas com características muito semelhantes.

De acordo com os estudos realizados com as águas do cristalino do Nordeste brasileiro, concluiu-se que há predominância de águas cloretadas sódicas e que os valores de cloretos podem atingir valores superiores a 80% do total de ânions presentes na água com níveis de salinidade elevados ( $CEa > 3.000 \mu S \text{ cm}^{-1}$ ) (Gheyi, 1999).

A forma de construção do poço é fundamental para garantir a qualidade captada da água captada e maximizar a eficiência da operação do poço e a exploração do aquífero (ANA, 2005).

No país o crescimento da utilização de águas subterrâneas foi acompanhado da proliferação de poços construídos sem critérios técnicos adequados. A perfuração de poços, nestes casos e com locações inadequadas coloca em risco a qualidade das águas subterrâneas.

De forma geral, a presença de coliformes nas águas subterrâneas está associada a poços mal construídos, sem laje de proteção e tubo de boca, sem perímetro de proteção e sob influencia de rios poluídos, locados inadequadamente ou mal protegidos (CETESB, 2004). A inadequação do filtro e pré-filtro à formação geológica normalmente reflete em problemas de cor e turbidez de águas subterrâneas.

A falta de saneamento representa um risco às águas subterrâneas através da infiltração por fossas negras do escoamento de escoamento superficial, que acaba infiltrando no solo, e pelo vazamento de redes de esgotos.

O impacto do lançamento de esgotos sobre a qualidade das águas subterrâneas pode ser detectado através de elevadas concentrações de nitrato e do surgimento de bactérias patogênicas e vírus. Normalmente a qualidade microbiológica é analisada através de coliformes totais e fecais, e estreptococos (ANA, 2005).

No meio rural, as principais fontes de abastecimento de água são os poços rasos e nascentes, fontes bastante susceptíveis à contaminação. O risco de ocorrência de surtos de doenças de veiculação hídrica no meio rural é alto, principalmente em função da possibilidade de contaminação bacteriana de águas que muitas vezes são captadas em poços velhos, inadequadamente vedados e

próximos de fontes de contaminação, como fossas e áreas de pastagem ocupadas por animais (STUKEL et al.,1990).

O uso de água subterrânea contaminada, não tratada ou inadequadamente desinfetada foi responsável por 44% dos surtos de doenças de veiculação hídrica nos Estados Unidos, entre 1981 e 1988 (CRAUN, 1996).

A proteção das captações subterrâneas apresenta distintas características quando comparadas às superficiais. Os aquíferos freáticos ou não confinados são indubitavelmente mais susceptíveis a contaminações, embora captação menos onerosa, quando comparados aos artesianos ou confinados. O extensivo emprego de poços rasos, ordinariamente definidos por apresentarem profundidade dez vezes superior ao diâmetro, favorece a perspectiva do consumo de águas subterrâneas como potenciais veículos de transmissão das doenças de veiculação hídrica. Essa assertiva é confirmada por uma avaliação da qualidade bacteriológica da água bruta de poços freáticos, realizada no Estado de Minas Gerais, que apontou contaminação fecal em 81,3% dos aquíferos amostrados, reduzindo-se para 18% a 39,1% para os aquíferos artesianos (Vignoli Filho, 1988, apud BORGES, 2000).

A primeira medida para minimizar os riscos de contaminação consiste na proteção da borda do poço por meio de revestimento das paredes em alvenaria ou concreto, impedindo o carreamento das águas pluviais para interior do mesmo e evitando o desmoronamento das paredes. Uma segunda escavação com 10 cm de largura, ao longo dos 3m iniciais da parede a ser preenchida, preferencialmente por concreto ou argila, minimizará a possibilidade de contaminação do poço. Por fim, a instalação de uma tampa de concreto e o emprego de bombas elétricas, assegurando assim uma melhor qualidade da água subterrânea (VIANA, 1991).

O procedimento básico de proteção da borda do poço não tem sido adotado com frequência mesmo nos países desenvolvidos. Estimativa realizada pela *American Water Works Association* aponta que aproximadamente 40% dos poços empregados no abastecimento público nos Estados Unidos não apresentam tais dispositivos. No Brasil, um primeiro levantamento realizado, em 1972, no município de Ponta Grossa, Paraná, contemplando 5.200 poços indicou que 94% dos mesmos não dispunham de qualquer dispositivo de proteção. Situação similar foi detectada em 1985 na cidade paulista de Araraquara, envolvendo 41 poços rasos utilizados para abastecimento público e, durante a inspeção sanitária, nenhuma unidade foi considerada devidamente protegida (BRASIL, 2006).

A partir da proteção da borda do poço estendem-se outras medidas para preservar a qualidade das águas subterrâneas. Neste contexto se insere a gradualização das áreas ao redor do poço sujeitas algum tipo de restrição de ocupação, ora em vigor em diversos países da Europa. Delimita-se inicialmente uma área de proteção imediata nas circunvizinhanças do poço abrangendo, de 30 a 50 metros ao redor da área de captação. A função precípua desta ação consiste em minimizar as possibilidades de contaminação microbiológica e, conseqüentemente, a transmissão de doenças de veiculação hídrica. Posteriormente, são definidas as áreas de proteção próxima e distante, a fim de restringir preferencialmente a migração de poluentes químicos. Nestas áreas limitam-se algumas atividades antrópicas, como agricultura, construções, instalações de aterros sanitários e lançamentos de águas residuárias (DANIEL, 2001).

### **2.7.2 Mananciais de água de chuva**

Quando adequadamente interceptadas e armazenadas, as precipitações atmosféricas podem também constituir mananciais de abastecimento.

A qualidade da água da chuva captada para consumo humano é visivelmente superior às de outras fontes disponíveis, no que se refere à turbidez, cor e sabor, parâmetros passíveis de criar objeção imediata da água por parte dos consumidores (CARDOSO et al., 2005).

## **2.8 Cisterna - Forma de armazenamento nas soluções alternativas de abastecimento de água**

Para muitas famílias que convivem no Semi - árido brasileiro, em sua maioria de baixa renda, não são abastecidas com água canalizada. Para atenuar a dificuldade de acesso à água potável nas regiões semi-áridas brasileiras, a construção de cisternas de placas destinadas ao armazenamento de água de chuva é uma técnica que tem se destacado nos últimos anos no Brasil. Para muitas famílias a água de chuva armazenada nas cisternas é praticamente a única utilizada para o consumo humano direto.

O governo federal, com o apoio do Ministério do Meio Ambiente, do Ministério do Desenvolvimento Social e Combate a Fome (MDS), da Articulação no Semi – árido Brasileiro (ASA) e da Agência Nacional das águas (ANA), dentre outras entidades, criou o Programa de



Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semi-Árido: Um milhão de Cisternas Rurais – PIMC em 2001. Este programa tem como meta construir um milhão de cisternas em prazo de cinco anos.

Existem poucos estudos a respeito da qualidade da água da chuva armazenada em cisternas de placas. Porém, sabe-se que esta pode ser comprometida se não forem levados em consideração alguns fatores como: cuidado no manuseio da água, conservação da cisterna pra evitar infiltração e uso de tampas adequadas (CARDOSO et al., 2005).

O uso de cisternas que captam água dos telhados para armazená-la durante os meses sem precipitação, pode minimizar a carência hídrica, mas propicia o problema da qualidade da água, pela não utilização adequada da mesma, expondo-a a risco de contaminação. Isto porque quando oriunda das chuvas, a água não recebe o cloro para desinfecção, e proteção de possível contaminação e também por fatores ligados a sua origem e transporte quando oriundos de carros-pipa. Conseqüentemente, o consumo de água contaminada não só para beber como também para uso diário, concorre para a disseminação de doenças de veiculação hídrica que podem ter riscos individuais ou coletivos, imediatos ou de longo prazo (AMORIM et al., 2001).

Amorim em 2001 avaliou a qualidade bacteriológica da água de cisternas da comunidade de Voltado Riacho localizada no município de Petrolina – PE, neste estudou constatou-se que todas as cisternas apresentavam a presença de coliformes, acima dos padrões de potabilidade, que devido principalmente a ausência de um processo de desinfecção da água durante seu armazenamento nas cisternas, deixando-a vulnerável a contaminação, que pode ocorrer através do contato da água com os recipientes que não são adequadamente acondicionados, e pela própria conservação da cisterna. Outro fator que pode explicar a indicação de contaminação fecal é a origem das águas, isto é se são águas tratadas ou não e se podem ter sido contaminadas pelos veículos fornecedores durante seu transporte (AMORIM et al., 2001).

## 2.9 Tratamento de água para soluções alternativas de abastecimento de água

Não sendo o objetivo dessa dissertação o desenvolvimento dos processos de tratamento da água utilizado nas áreas urbanas, os quais consistem nos tratamentos convencionais que serão apenas ilustrados na Figura 02 a título de informação.

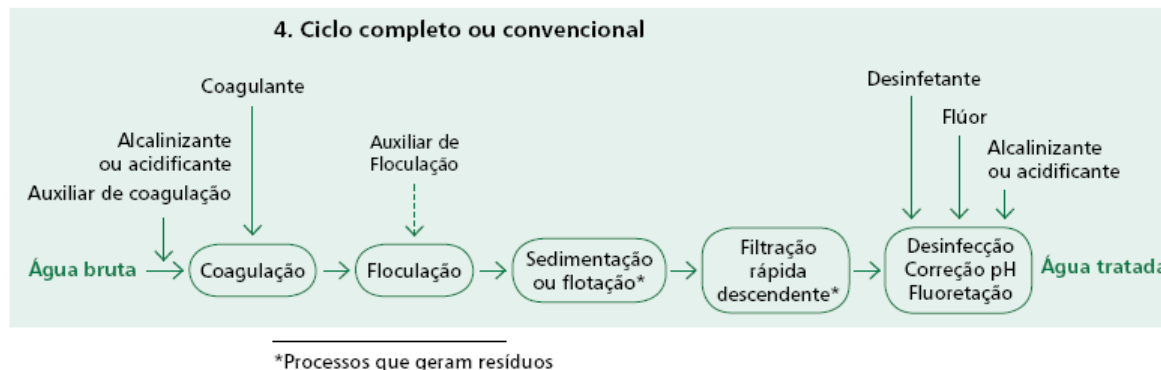


Figura 02 - Demonstração do tratamento convencional.

Fonte: Secretaria de Vigilância em Saúde – Ministério da Saúde , 2006.

Essa dissertação está direcionada para as soluções alternativas abastecimento de consumo humano, onde se pretende propor técnicas de tratamento que seja viável a implantação nas localidades em estudo considerando os seguintes critérios: as características físico-químicas e microbiológicas da água, a quantidade necessária de água potável, a questão econômica de implantação e manutenção, a operacionalidade da técnica, a eficiência do tratamento e por fim técnicas que minimizem os impactos ambientais.

Dentro desse espectro será descritos os processos de potabilização água para consumo humano nas comunidades difusas que no âmbito da Portaria N° 518/2004 do Ministério da Saúde, estão incluídas por meio das soluções alternativas de água as quais estão submetidas aos cumprimentos dos parâmetros de potabilidade exigido em todo território nacional.

### 2.9.1 Processos de separação com membranas (PSM)

O avanço tecnológico ocorrido ao longo das últimas técnicas colocou no mercado processos alternativos de tratamento de água como, por exemplo, os processos de separação por membranas, que inclui a microfiltração, a ultrafiltração, a nanofiltração, a osmose inversa e a eletrodialise.

Atualmente, em decorrência da degradação dos recursos hídricos e a dificuldade de manter a água potável por meio das tecnologias de tratamento convencional, a utilização dos processos de separação por membranas passa a ser a opção de tratamento para a produção de água potável. Isto já é observado em vários países da Europa, dos Estados Unidos e na China, além de outros países, onde as pesquisas e estudos sobre esta tecnologia têm avançado muito (BENTAMA et al., 2004; JACANGELO; TRUSSELL; WATSON, 1997).

O processo de separação por membranas, comparada com o tratamento convencional utilizados nas estações de tratamento de água, oferece uma serie de vantagens:

- Qualidade superior da água tratada, através da remoção de macromoléculas, bactérias e vírus, designadamente de microrganismos resistentes aos tratamentos químicos como cloração;
- sistemas mais compactos e modular, portanto facilmente adaptável às variações de qualidade e quantidade de água a tratar;
- fácil controle de operação e manutenção;
- menor utilização de produtos químicos, como sulfato de alumínio (coagulante) e poliacrilamida (floculante) que podem originar efeitos nefastos na saúde pública;
- menor produção de lamas (NAKATSUKA et al., 1996; BARBA et al., 1997; DHARMAPPA; HAGARE, 1999) .

Diante dessas vantagens, serão apresentados os processos por separação por membranas para que seja bem compreendido como uma alternativa viável de tratamento das águas em comunidades difusas carentes de água potável para consumo.

Os processos de separação por membranas tiveram um grande avanço nas últimas décadas devido ao estímulo do desenvolvimento de novas membranas com melhor seletividade, menor resistência ao transporte e melhores propriedades mecânicas, químicas e térmicas. A eletrodialise e a osmose inversa são processos de separação por membranas que começaram a ser utilizados a partir da década de 60 na produção de água potável e, atualmente, vêm sendo utilizados em muitas outras aplicações.

A tecnologia de separação por membranas envolve a utilização de membranas sintéticas, porosas ou semipermeáveis, orgânicas ou inorgânicas e em configuração adequada, para separar de um fluido partículas sólidas de pequeno diâmetro, bactérias, vírus, moléculas orgânicas, compostos

iônicos de baixo peso molecular e até gases. Para tratamento de água, os processos que mais se destacam são (MIERZWA; HESPANHOL, 2005):

- Microfiltração;
- Ultrafiltração;
- Nanofiltração;
- Osmose inversa;
- Eletrodialise.

O que difere cada um destes processos é a capacidade de separação de contaminante e o tipo e intensidade da força motriz utilizada para promover a separação, além da forma de separação do contaminante. Na microfiltração, ultrafiltração e osmose inversa, a pressão hidráulica é utilizada para promover a separação entre a água e os contaminantes e é a água que atravessa a membrana. Já no processo de eletrodialise, a separação é obtida por uma diferença de potencial elétrico aplicado entre as membranas e neste caso são os contaminantes que atravessam a membrana.

Uma membrana pode ser definida como um filme fino sólido que separa duas soluções e que atua como barreira seletiva para transporte de componentes destas soluções, quando aplicada algum tipo de força externa, como mostra a Figura 03. Essa força pode ser pressão, sucção ou potencial elétrico. Após a passagem pela membrana o líquido é denominado permeado. Nos processos de separação de membranas não ocorre transformação química ou biológica de componentes durante a filtração (SCHNEIDER; TSUTIYA, 2001).

De uma maneira geral, uma membrana é uma barreira que separa duas fases e que restringe, total ou parcialmente, o transporte de uma ou várias espécies químicas presentes nas fases (HABERT et al., 2006).

Nos processos de separação por membranas sempre estarão envolvidos três fluxos distintos: a alimentação, o concentrado e o permeado ou purificado, conforme apresentado na Figura 03.

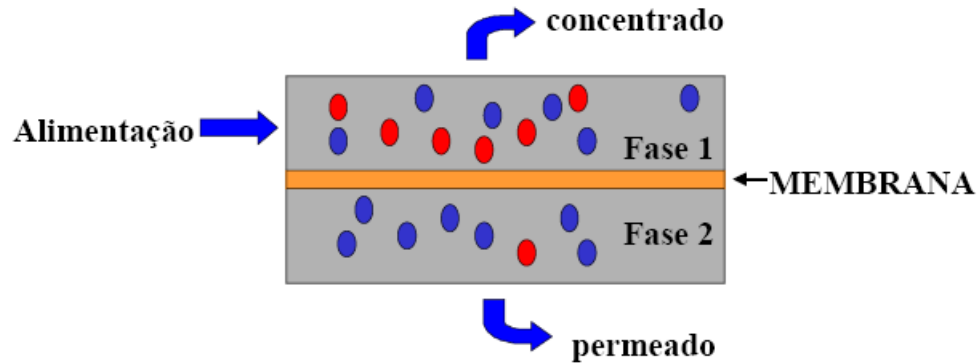


Figura 03 - Representação esquemática do fracionamento de uma solução utilizando permeação seletiva através de uma membrana (Fonte: OLIVEIRA, 2007).

Foi praticamente na segunda metade do século passado que os Processos de Separação por Membranas (PSM) saíram da esfera de laboratório para se tornarem processos industriais. Concorreram para isso a disponibilidade de novos materiais, a descoberta da técnica de fabricação de membrana anisotrópica e a conscientização do problema energético (HABERT et al., 2006).

Dependendo do processo selecionado, a conversão de alimentação em permeado ou purificado pode ser superior a 95% e a rejeição de contaminantes pode ser superior a 99% (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

Os processos de MF, UF, NF e OI podem ser entendidos como uma extensão dos processos de filtração clássica que utilizam, nesta seqüência, meios filtrantes (membranas) cada vez mais fechados, ou seja, com poros cada vez menores.

Na Figura 04 estão representadas as faixas de tamanhos de poros das membranas utilizadas nos processos de MF, UF, NF e OI, bem como as dimensões de algumas espécies típicas, presentes nas correntes industriais.

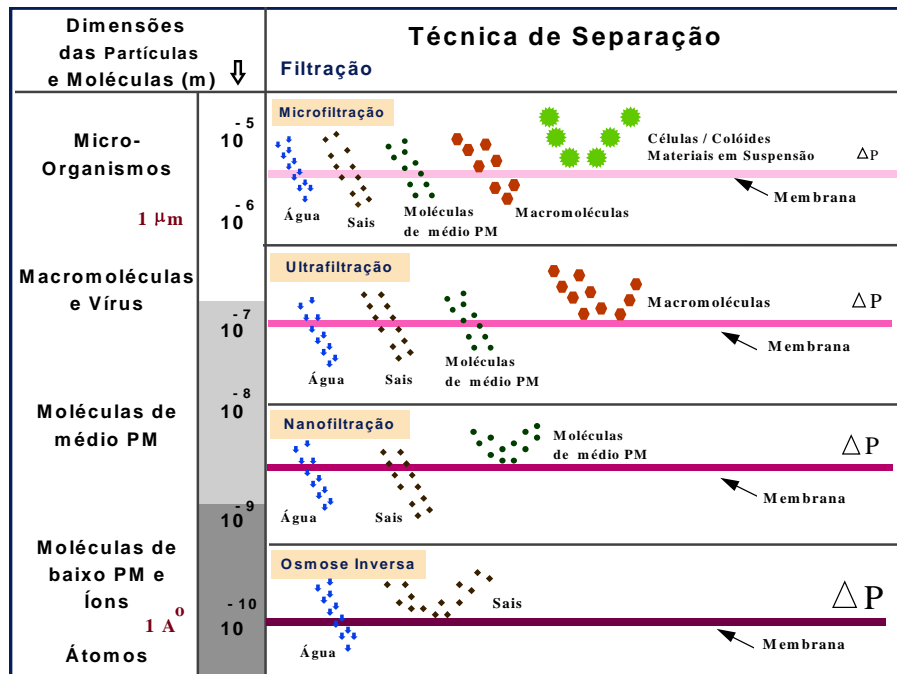


Figura 04 - Principais características das técnicas de separação com membranas que utilizam diferença de pressão como força motriz (HABERT et al., 2006)

### 2.9.1.1 Microfiltração

A microfiltração é o processo de separação com membranas mais próximas da filtração clássica. Utiliza membranas porosas com poros na faixa entre 0,1 e 10μm, sendo, indicado para a retenção de materiais em suspensão, microrganismos e emulsão. Com as membranas de microfiltração são relativamente abertas, as pressões transmembrana empregadas como força motriz para o transporte são pequenas, não ultrapassando 3 bar. Na microfiltração o solvente e todo o material solúvel permeiam a membrana. Apenas o material em suspensão é retido. As características básicas do processo de microfiltração são resumidas na Figura 05.

No processo de tratamento por microfiltração, o volume do concentrado pode representar menos de 5% do volume alimentado ao sistema (BERGMAN, 2005), o que equivale em um nível de aproveitamento de água equivalente àquele obtido pelos sistemas convencionais.



Figura 05 - Características básicas da microfiltração (HABERT et al., 2006)

Os maiores mercados da microfiltração são: esterilização de líquidos e gases; aplicações na medicina; aplicações na biotecnologia e na purificação dos fluidos.

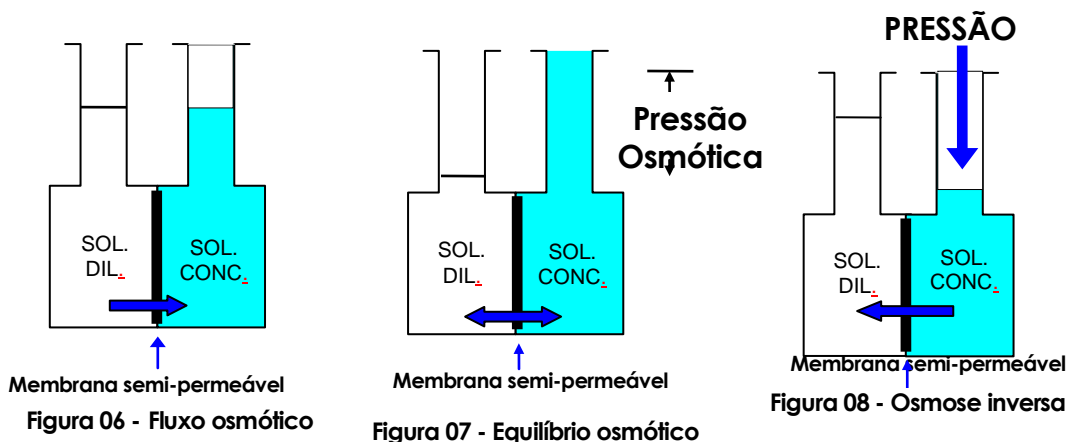
### 2.9.1.2 Osmose inversa (OI)

O processo de osmose inversa é o mais amplamente utilizado até o presente momento. Dados disponíveis mostram que o consumo mundial de membranas, baseado na área superficial, apresenta a seguinte distribuição (Wagner, 2001):

- Membranas de Osmose inversa → 85%
- Membranas de Nanofiltração → 3% a 5%
- Membranas de Microfiltração e ultrafiltração → 5% a 7%
- Outros tipos de membranas → 3% a 5%

O fenômeno da osmose é de fundamental importância na natureza, já que o transporte seletivo através de membranas é essencial à vida. A osmose natural, vital para os sistemas

biológicos, envolve a ação da água quando duas soluções, de concentrações diferentes, são separadas por uma membrana semi-permeável. A água pura flui, através da membrana, da solução menos concentrada em direção a mais concentrada, até que as duas soluções atinjam o equilíbrio. Este fato define a pressão osmótica oferecida pela membrana entre as duas soluções através da diferença de nível das colunas das soluções, conforme mostram as Figuras 06 e 07. A osmose inversa ocorre quando uma pressão superior à pressão osmótica é aplicada no lado da solução mais concentrada. Quando isso ocorre, se obtém água pura a partir de uma solução salina por meio de uma membrana semi-permeável, como mostra a Figura 08. Em processo de grande escala o fenômeno ocorre com auxílio de uma bomba de alta pressão e sob fluxo contínuo, passando por um permeador (vaso de pressão) onde fica situada a membrana.



(Fonte: França, 2007)

A osmose inversa é um processo de separação com membranas, utilizado quando deseja reter solutos de baixo peso molecular tais como sais inorgânicos ou pequenas moléculas orgânicas como glicose. A diferença entre OI e UF no tamanho do soluto retido.

Por este motivo as membranas de OI devem ser mais fechadas apresentando, portanto, uma maior resistência à permeação. Por esta razão pressão mais elevadas do que utilizam em UF são necessárias nos processos de OI. Na verdade as membranas de OI apresentam características intermediárias entre as membranas porosas usadas em MF e UF e as membranas densas empregadas em pervaporação e permeação de gases. O nome Osmose Inversa se deve ao fato de que neste tipo de processo o fluxo permeado é no sentido contrário do fluxo osmótico normal.



A OI é um fenômeno conhecido dos cientistas desde o fim do século XIX, passou a ser aplicado em processos industriais na década de 60. Desde a década de 80 o emprego de membranas semipermeáveis sintéticas em aplicações industriais passou a se difundir, ampliando o campo de aplicações deste processo. Isto resulta em contínuas reduções de custo, não só pela maior escala de produção permitida como também pelo crescente conhecimento tecnológico adquirido (SOUSA, 2003).

A osmose inversa é utilizada para a obtenção de água com alto grau de qualidade, inclusive água para abastecimento a partir de água salina ou salobra, já que possibilita a remoção de sais dissolvidos ou moléculas inorgânicas, bem como moléculas orgânicas. A taxa de rejeição de sais inorgânicos pode variar de 95% a mais de 99%, dependendo do tipo de membrana utilizada, concentração de sais dissolvidos na corrente processada, tipo de substâncias envolvidas e condições operacionais do sistema (Conlon,1990). Sistemas de osmose possibilitam o tratamento de águas com uma concentração de sais dissolvidos variando de 5,0 mg/L até 34.000 mg/L (WAGNER, 2001).

A dessalinização via osmose inversa já se encontra consolidada no mundo. Em alguns lugares da Arábia Saudita ainda é utilizado o processo térmico para dessalinização de águas, mas estes vêm sendo substituídos pelos os processos de membranas. Essa mudança se deve ao fato de que os sistemas com membranas serem mais leves, modulares, ocupam menor espaço, são de fácil manuseio e manutenção, tem menor consumo de energia e o custo do produto inferior (AMJAD,1992).

Na Figura 09 mostra a configuração típica de um sistema de dessalinização por meio de osmose inversa.

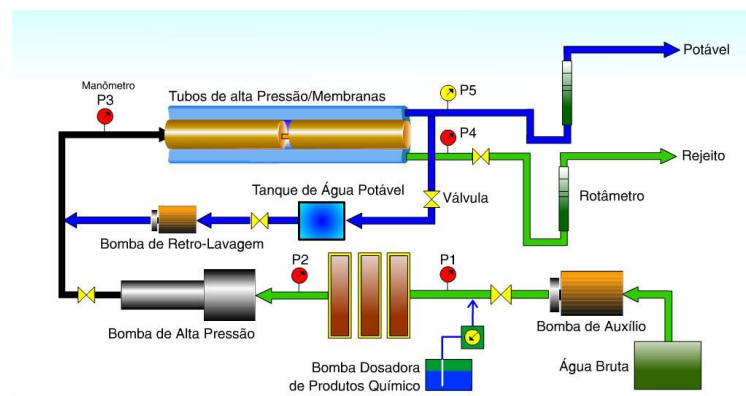


Figura 09 - Sistema de um processo de Dessalinização de Água por OI (Fonte: FRANÇA, 2007).

O projeto e a instalação de uma unidade de filtração por membranas deve ser precedido de análises detalhadas sobre os objetivos de qualidade de água a serem atingidos. A análise sobre o tipo de unidade de membrana que será utilizada, depende principalmente da avaliação detalhada da qualidade de água do manancial e de sua variabilidade ao longo do tempo. Apesar de aparentemente simples, a tecnologia de membranas filtrantes oferece muitas possibilidades de erros de projeto, principalmente nas etapas de pré-tratamento e seleção de membranas, que podem comprometer a operação e a sua viabilidade econômica (SCHNEIDER; TSUTIYA, 2001).

### **2.9.1.3 Incrustações em membranas**

Um dos problemas no uso de processos com membranas é a presença de certas substâncias na água de alimentação do processo que, sem a devida atenção, podem diminuir a produtividade, diminuindo o fluxo de água produzida, ou tornar a água permeada mais concentrada em sais, até torná-la imprópria para utilização. A pressão de operação tende também a aumentar gradativamente, para superar a diminuição de área útil de permeação da membrana (SOUSA, 2001).

Os três fatores, que individualmente ou em conjunto diminuem a eficiência do sistema de OI são (SCHNEIDER; TSUTIYA, 2001):

- Compactação;
- Acúmulo reversível de material retido na superfície da membrana;
- Acúmulo irreversível de material na superfície da membrana.

O depósito de material biológico (“Biofouling”) é definido como o acúmulo, crescimento e/ou depósito de biomassa na superfície da membrana, ocasionando problemas operacionais (VROUWENVELDER; KOOIJ, 2001).

O depósito de material biológico pode provocar os seguintes efeitos nos sistemas de OI (AL-AHMAD, 2000):

- *Redução do fluxo de operação das membranas:* isto é devido à formação de um filme de baixa permeabilidade na superfície da membrana, o que aumenta a área da membrana necessária para a produção de um mesmo volume de produto.

- *Aumento da pressão diferencial e da pressão de alimentação:* isto é resultado da resistência do filme de baixa permeabilidade.
- *Biodegradação da membrana:* subprodutos tipicamente ácidos produzem microrganismos que se concentram na superfície da membrana onde eles podem causar o maior dano, reduzindo a vida útil das membranas.
- *Aumento da passagem de sal:* os biofilmes aumentam o acúmulo de íons dissolvidos na membrana, aumentando o grau da polarização de concentração. Isto causa o aumento da passagem de sal pela membrana e reduz a qualidade da água do produto.
- *Aumento no consumo de energia:* Isto está relacionado com o aumento da pressão para superar a resistência do biofilme e a redução do fluxo.

Na OI, a ocorrência de biofilme é indicada pela contínua redução do fluxo através das membranas ou pelo aumento da pressão de operação, necessária para manter uma determinada taxa de fluxo. Em casos extremos, o biofilme pode causar o colapso telescópico de elementos de membranas em espirais pelo deslocamento lateral de canais adjacentes. Bactérias geralmente predominam nos biofilmes de membranas e dos espaçadores dos canais do concentrado e do permeado. Os fungos são os principais biodegradadores das colas utilizadas para a vedação dos canais do permeado em elementos espirais utilizados na OI e NF (SCHNEIDER; TSUTIYA, 2001).

#### **2.9.1.4 Pré-tratamento**

O objetivo do pré-tratamento é proteger o sistema de membranas na remoção de materiais suspensos e colóides, evitando a proliferação biológica e a formação de incrustações de sais em geral (FRANÇA, 2007).

O tipo de pré-tratamento a ser utilizado, irá depender da qualidade da água de alimentação, e esta é definida em termos de concentração de partículas suspensas e níveis de saturação de sais solúveis dispersos no meio. Alguns dos sais mais conhecidos são: sulfato de cálcio, fosfato de cálcio, fluoreto de cálcio, sulfato de bário e de estrôncio e sílica (SUDAK, 1990). Mas o pré-tratamento pode envolver desinfecção, coagulação, floculação, filtração e ajustes nos parâmetros de solubilidade para evitar a precipitação de sais sobre as membranas (ISAIAS, 2001).

Águas de subsolo estão geralmente biologicamente estabilizadas, ou seja, possuem baixas cargas de microrganismos formadores de biofilmes e baixa disponibilidade de compostos orgânicos utilizados por estes microrganismos. Estas águas podem ser bombeadas para o sistema de OI sem pré-tratamento, mas para garantir a operação segura do sistema pode-se fazer adição de anti-incrustantes, correção de pH e pré-filtração através de filtros de cartucho de 5µm (SCHNEIDER; TSUTIYA, 2001).

A dessalinização de águas de superfície por OI depende do pré-tratamento da água de alimentação para remover microrganismos causadores de biofilmes e reduzir a quantidade de matéria orgânica disponível para o crescimento destes organismos nos canais de alimentação no interior dos módulos de membranas. A alta propensão de biofilmes das águas de superfície é evidenciada pelos altos valores dos índices de incrustação como IDS destas águas (EBRAIHIM et al., 1997) O ideal seria que a água bruta tivesse valores de IDS o mais baixo possível (<1). O pré-tratamento convencional mais comum, neste caso, é a coagulação/floculação/filtração rápida em filtros de areia ou de areia/antracito, seguida de filtração por pressão em filtros de areia fina (TANIGUCHI et al., 1997).

#### **2.9.1.5 Limpeza química**

Um programa de limpeza química integraliza a operação do sistema. As impurezas (fouling) ocorrem lentamente, tornando-as imperceptível ao desempenho do sistema. O fato de vários tipos de minúsculas incrustações se depositarem em função do tempo ocorre uma degradação e uma diminuição do desempenho da membrana. Eventualmente, a remoção destas impurezas se torna irreversível levando a substituição dos elementos de membrana (França, 2007).

A limpeza da membrana é essencial para manter a eficiência do sistema de osmose inversa operando dentro dos padrões estabelecidos em função da qualidade da água de alimentação. Devido à variedade de impurezas (fouling), a limpeza química é uma das etapas mais importante e complexa de um sistema de membranas (FRANÇA, 2007).

A análise da água de alimentação é o ponto de partida para estudar e determinar o pré-tratamento do sistema e conseqüentemente caracterizarem os tipos de depósitos que podem bloquear a porosidade da membrana. Uma vez identificado à magnitude e tipo de depósitos, o produto de limpeza é requerido para recuperar o desempenho do sistema. Em casos, aonde as

análises revelam uma variedade de incrustantes, um produto químico tradicional não é suficiente. Por exemplo: produto ácido apresenta um efeito limitado sobre areia, argila e matéria biológica; produto alcalino não dissolve incrustações de dureza. A literatura apresenta uma gama de produtos para limpeza química de membranas. Todavia, as empresas que também fabricam membranas possuem seus próprios produtos, os quais se encontram disponíveis no mercado (FRANÇA, 2007).

### **2.9.1.6 Aplicação das membranas ao tratamento de água para consumo humano**

A tecnologia de membranas vem aumentando a importância no tratamento de águas superficiais e subterrâneas, nos últimos anos. Por um lado, o aumento das exigências legais em termos de qualidade das águas, as quais não são totalmente atingidas pelos processos convencionais de tratamento, e por outro a diminuição da qualidade das águas superficiais e subterrâneas, originam a necessidade de aumento da eficiência dos processos de tratamento (OWEN et al., 1995; JACANGELO; TRUSSELL; WATSON, 1997).

Ainda hoje, a tecnologia mais amplamente utilizada para tratamento de água para abastecimento é o sistema convencional, contemplando as etapas de coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção. Contudo, nos países desenvolvidos, como Estados Unidos da América, Canadá e Inglaterra, com a crescente preocupação com os subprodutos da desinfecção e com microrganismos específicos, novas tecnologias passaram a ser consideradas, dentre as quais os processos de separação por membranas (EPA, 2003).

O estabelecimento, nos Estados Unidos da América, da norma sobre tratamento aprimorado de água de superfície, identificou os processos de separação por membranas, microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose inversa, como opções de tratamento para atingir os níveis exigidos para remoção de *Cryptosporidium* (EPA, 2003).

Atualmente, as normas nacionais e internacionais de potabilidade de água, estabelece limites de concentração para os subprodutos da desinfecção na água para abastecimento público, como trihalometanos (THMs) e ácidos haloacéticos (AHA). Neste caso, os processos de separação por membranas, principalmente a UF, NF e a OI, podem remover da água, antes da etapa de desinfecção, os precursores dos THMs e AHA, ou seja, a matéria orgânica natural, além de outros compostos orgânicos sintéticos (JACANGELO; TRUSSELL; WATSON, 1997).

A utilização de membranas no tratamento de água para consumo humano tem uma longa história. Os alemães utilizavam filtros de membranas durante a II Guerra Mundial para eliminar os contaminantes da água depois dos bombeamentos (MADAENI, 1999).

Hillis et al.,( 1998) e Delgrane et al.,( 1998), referem que meados dos anos 80, a utilização da tecnologia de membranas, designadamente MF e UF, para produção de água para consumo humano aumentou significativamente. Isto deve-se, à necessidade de uma água para consumo humano de boa qualidade, independente das características da água do manancial (HILLIS et al., 1998).

Em, 2002 Arnal e colaboradores desenvolveram um estudo sobre o projeto e a construção de sistemas de potabilização de água por membranas, com aplicação em países em desenvolvimento (ARNAL et al., 2002). Neste estudo, foi avaliado o desempenho de um sistema de ultrafiltração com membrana enrolada em espiral, para tratamento de água para abastecimento, com foco na qualidade microbiológica da água produzida.

A unidade foi operada por um período de 300 horas, obtendo-se um desempenho satisfatório em relação à produção e qualidade da água. A vazão média do permeado foi de 239,5 L/h, com a unidade operando com uma pressão hidráulica de 400 a 450 KPa, enquanto a eficiência de microrganismos foi de 100%.

No Brasil, por meio do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB), foi desenvolvida uma pesquisa sobre tratamento de água de abastecimento por processo de ultrafiltração, utilizando-se membrana enrolada em espiral. Neste estudo, implantaram e operaram uma unidade piloto de ultrafiltração no reservatório Guarapiranga, manancial utilizado para produção de água potável para, aproximadamente, seis milhões de pessoas e que apresentam problemas de qualidade com sinais de eutrofização, com a implantação do processo de ultrafiltração com mais de seis mil horas de operação contínua, obteve-se uma água tratada com elevado grau de qualidade, inclusive com a remoção de matéria orgânica, alcançando a redução de 80,39% de COT e a eficiência para remoção de microrganismos também merece ser destacada, tendo sido obtida uma eficiência de 100% para coliformes totais e *Escherichia coli*.

Além da questão associada ao desempenho operacional do sistema de ultrafiltração, também foi feito um estudo econômico pelo PROSAB para comparar os processos convencional, convencional com unidade de carvão ativado e o sistema de membrana de ultrafiltração. Neste estudo comparativo, ficou evidenciado que o sistema de ultrafiltração apresenta grande potencial

para utilização em sistemas de tratamento de água, ressaltando-se que, embora o sistema convencional apresente o menor custo de produção de água (R\$ 0,20/m<sup>3</sup>), ele apresenta limitações para atender aos desafios atuais, exigindo a utilização de técnicas complementares de tratamento. Com isto o custo de tratamento do processo de ultrafiltração se equipara àquele que combina o sistema convencional com carvão ativado (R\$ 0,40/m<sup>3</sup>), porém esses custos podem ser reduzidos drasticamente quando as membranas forem de produção nacional (PROSAB, 2006).

A tecnologia de membranas também tem sido muito utilizada na remoção de *Giardia* e *Cryptosporidium* e apontada como uma solução de tratamento, uma vez que estes microrganismos formam cistos resistentes à cloração. Segundo Jarrol et al., (1891), os cistos destes protozoários têm entre 3 a 14µm. Jacangelo et al., 1997, referem que atualmente é aceito pela comunidade dos EUA que a MF e UF, se bem implantada e operadas, podem remover totalmente a maioria das bactérias e cistos de protozoários.

Segundo Chorus & Bartram (1999), os processos de separação por membranas, particularmente a MF e UF, são efetivos na remoção de cianobactérias e toxinas intracelulares. Estudos realizados à escala laboratorial, com módulos de UF e MF demonstraram grande eficiência de remoção, superior a 98%. Nestas experiências as microcistinas encontradas no permeado foram significativamente menos do que as do tanque de alimentação, sugerindo-se que a membrana de UF utilizada teria propriedades de rejeição ou capacidade de adsorção de microcistinas. Boa remoção de toxinas solúveis foi conseguida com membranas com baixo cut – off moleculares como as de NF.

Hillis (1997) verificou a eficiência de MF na remoção de bactérias com tamanhos de 1µm e a ausência de partículas com tamanhos entre 2 - 5 µm no permeado da MF, concluindo que é evidente a eficiência dos processos de membranas na remoção de cistos *Cryptosporidium* (4-6µm).

Hong et al, (2000) demonstraram que a MF tem capacidade para remover microrganismos patogênicos, como *Cryptosporidium*, para os níveis exigidos na legislação, mesmo em condições de operações adversas, como elevado fluxo e pressão transmembrana.

Panglisch et al, (1998) avaliaram o desempenho da microfiltração e Ultrafiltração na remoção de microrganismos como *E. coli*, *D.subtilis* e *colifagos MS2*, de dimensões semelhantes aos vírus, mas não tóxicos para os humanos. Os resultados revelaram que a MF e a UF são eficientes na remoção de *E.coli*, *D. Subtilis*, conseguindo uma redução superior a 6 ordens de grandeza. No entanto, a remoção dos *colifagos MS2* é muito inferior na MF em relação à UF.

Van det Hoek et al., (2000) avaliaram como alternativa ao tratamento convencional um sistema de osmose inversa, em combinação com os sistemas de pré-tratamento existentes na ETA, para extensão da capacidade de produção de água. Os resultados mostraram uma redução nos custos de operação em termos de reagentes químicos adicionados ao processo e uma redução dos impactos ambientais, sem perda da produtividade.

### **2.9.2 Desinfecção química**

A desinfecção tem por finalidade a destruição de microrganismos patogênicos presentes na água (bactérias, protozoários, vírus e vermes).

Dentro os desinfetantes químicos mais freqüentemente utilizados, devem ser destacadas algumas vantagens e desvantagens, conforme descrito na tabela 04.

Muito embora o cloro apresente algumas limitações como desinfetante no tratamento da água para consumo humano, por seus atributos positivos continua, sendo de longe, o mais utilizado.

Por ser o desinfetante de aplicação quase universal no Brasil, alguns aspectos relacionados aos princípios e aos mecanismos da cloração merecem ser enfatizados:

- A ação desinfetante do cloro livre é bem mais eficiente que a do cloro combinado; a ação desinfetante das formas de cloro livre e combinado diminui bastante em  $\text{pH} > 8,0$ .
- Teores de cloro residual livre de 0,2 mg/L são adequados e suficientes para a inativação de bactérias.
- Fontes de água que sejam para aceitáveis para consumo humano mediante somente desinfecção devem cumprir os mesmos requisitos que às águas submetidas ao tratamento convencional, ou seja, a água bruta não deve apresentar demanda de cloro elevada, e a turbidez deve ser inferior a 1,0 UT.
- Cistos e oocistos de protozoários são muitos resistentes à ação do cloro e não são inativados com as doses usualmente praticadas no tratamento da água. Neste caso, a filtração assume um papel fundamental de remoção dos organismos patogênicos.
- A cloração pode gerar subprodutos tóxicos, principalmente os trihalometanos (THMs). O valor máximo permitido pela legislação brasileira é de  $100\mu\text{g/L}$ ; porém, a



OMS ressalta que o cumprimento desse limite nunca deve vir em prejuízo dos padrões microbiológicos (PROSAB, 2001).

Tabela 04 - Apresentação das vantagens e desvantagens dos tipos de desinfetantes mais utilizados

<b>Desinfetante</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Cloro	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) elevada eficiência na inativação de bactérias e vírus;</li> <li>2) efeito residual relativamente estável;</li> <li>3) Baixo custo;</li> <li>4) Manuseio relativamente simples;</li> <li>5) grande disponibilidade no mercado.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) limitada eficiência na inativação de cistos de protozoários e ovos de helmintos;</li> <li>2) na presença de matéria orgânica pode formar compostos cancerígenos, como trihalometanos;</li> <li>3) em doses elevadas pode produzir forte odor e sabor;</li> <li>4) alguns subprodutos como clorofenóis provocam também odor e sabor;</li> <li>5) alguns subprodutos como clorofenóis provocam também odor e sabor.</li> </ol>
Dióxido de Cloro	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) desinfetante mais potente, inclusive na inativação de cistos de protozoários;</li> <li>2) não forma trihalometanos (THM);</li> <li>3) eficiência estável em ampla faixa de pH.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) na presença de matéria orgânica em excesso pode formar subprodutos tóxicos (clorito);</li> <li>2) residuais desinfetantes menos estáveis;</li> <li>3) em doses elevadas produz sabor e odor.</li> </ol>
Ozônio	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) desinfetante mais potente, inclusive na inativação de cistos de protozoários;</li> <li>2) menor risco de formação de subprodutos tóxicos;</li> <li>3) não provoca odor e sabor;</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) pode formar outros subprodutos tóxicos (bromatos);</li> <li>2) não apresenta poder residual;</li> <li>3) técnicas de aplicação mais sofisticadas.</li> </ol>

Fonte: adaptado de Reiff e Witt (1995).

## Capítulo III

### Materiais e Métodos

Neste capítulo está descritos todos os materiais, equipamentos e metodologia empregados para o desenvolvimento deste trabalho.

Este trabalho foi realizado com amostras coletadas em três fontes de águas utilizadas como solução alternativa de abastecimento para consumo humano em comunidades difusas. A *primeira fonte* consistiu na caracterização de águas subterrâneas de três estados do Semi - árido do Nordeste, e após as análises dos resultados será proposto à implantação de processos de tratamento por utilizando membranas, de maneira que possa adequar a água aos padrões de potabilidade. O estudo da primeira fonte foi realizado durante o período de outubro a dezembro de 2006,

A *segunda fonte* consistiu na avaliação da qualidade de água de cisterna utilizada como solução alternativa de abastecimento para consumo humano. O monitoramento das cisternas foi realizado durante os períodos de estiagem e de precipitação pluviométricas, que correspondeu aos meses de março a setembro de 2007 e Fevereiro a junho de 2008.

A *terceira fonte* consistiu na água dessalinizada disponibilizada em comunidade difusa sendo monitorada a qualidade da água no ponto de distribuição (chafariz) e nas residências, durante o período de outubro de 2007 a janeiro de 2008.

#### **3.1 Avaliação microbiológica de águas de poços artesianos em três estados - Controle e monitoramento da primeira fonte de água**

Durante as visitas foram coletadas 21 amostras de poços artesianos, sendo 10 na PB, 6 em SE e 5 em AL nas quais efetuaram-se as análises microbiológicas com a finalidade de verificar possíveis contaminações nessas fontes de águas, a metodologia de coleta e análise está descrito no item 3.8.



Figura 10 - Poço sem proteção, utilizado para consumo humano LOCAL

### 3.2 Avaliação do processo de membranas de microfiltração para poços contaminados

A partir dos resultados obtidos das análises microbiológica das águas dos poços artesianos foi escolhido um sistema que caracterizava bem os problemas que ocorriam nos demais sistemas visitados, a fim de implantar um processo de tratamento eficiente para solucionar os problemas que comprometiam a qualidade das águas analisadas.

Em razão da localização do poço, próximo às fontes de contaminações, como esgoto doméstico, fossas sépticas e péssimo estado de conservação foi escolhido o sistema da comunidade do Marinho, sob a jurisdição do Município de Campina Grande – PB. Ressaltando que, essas características também estavam presentes nos demais poços visitados.

Assim sendo, com o objetivo de eliminar as possíveis contaminações de forma econômica e com um sistema de tratamento eficaz e de fácil operacionalidade foi instalado um módulo de membranas de microfiltração de fibras ocas, que na situação em estudo serviu como pré - tratamento físico do processo de dessalinização do referido sistema.

O principal objetivo da implantação do pré-tratamento físico foi avaliar o desempenho na remoção de microrganismo, evitando com isso possível formação de *biofouling* nos módulos de membrana do sistema de dessalinização.

A metodologia de avaliação do sistema de pré - tratamento físico foi a seguinte:

- Primeiramente foi estudado o desempenho dos filtros de cartucho de acetato de celulose para retenção de bactérias, para esse fim foram coletadas amostras do permeado destes para análise microbiológica de acordo com o item 3.8;
- A avaliação da membrana de microfiltração como pré-tratamento físico do sistema de dessalinização, foi efetuada através das análises microbiológicas das amostras do permeado da membrana, conforme o item 3.8; também foram analisadas as águas do permeado e do concentrado do dessalinizador;
- A cada 30 dias de operação do sistema efetuava-se nova coleta do permeado da membrana de microfiltração, com o intuito de verificar o seu desempenho de retenção de microrganismo;
- Quando o sistema de microfiltração saturava-se de microrganismo, realizava-se a limpeza química da membrana de microfiltração e dos módulos de membranas do dessalinizador, conforme o item 3.4;
- Após a limpeza química, o sistema era operado por duas horas e coletava novas amostras do permeado das membranas de microfiltração e do permeado e concentrado do dessalinizador, para análises bacteriológicas e avaliação da eficiência da limpeza química.

### **3.3 Características do sistema de dessalinização da comunidade do Marinho**

O sistema de dessalinização da comunidade do Marinho, que serviu como estudo para avaliação do pré-tratamento físico está apresentado nas Figuras 11 e 15, é composto pelos seguintes itens:

- Estrutura metálica;
- Dois tanques de fibra de vidro um para água bruta e outro para água potável;
- Bomba de alta pressão de 1,5 CV monofásico;
- Bomba de limpeza química de ½ CV;
- Bomba de auxílio ¼ de CV;
- Tanque de limpeza química de 60 litros;

- Três elementos de membranas de poliamida BW 4040;
- Pré-tratamento físico composto de três filtros de acetato de celulose de  $5\mu$  (Figura 12) e uma membrana de microfiltração na forma de fibras ocas com porosidade na superfície externa das fibras de 0,7 a 0,9 micrometro, desenvolvida pela COPPE-UFRJ (Figura 13);
- Pré-tratamento químico composto de um tanque de 50L e uma bomba dosadora da solução anti-incrustante do tipo diafragma da marca Perene;
- Válvulas e tubulações de alta e baixa pressão.

O módulo de microfiltração está apresentado na Figura 13, com membrana de microfiltração na forma de fibras ocas, desenvolvida pela COPPE-UFRJ, com porosidade na superfície externa das fibras de 0,7 a 0,9 micrometros.

Na Figura 14 observa-se a presença de esgoto doméstico a céu aberto próximo a poço que alimenta o sistema de dessalinização.



Figura 11 - Sistema de OI da comunidade do Marinho - PB



Figura 12 - Módulo dos cartuchos de acetato de celulose de  $5\mu\text{m}$  (filtros multimeios)



Figura 13 - Módulo de membranas de microfiltração



Figura 14 - Esgotos domésticos descartados próximo ao poço

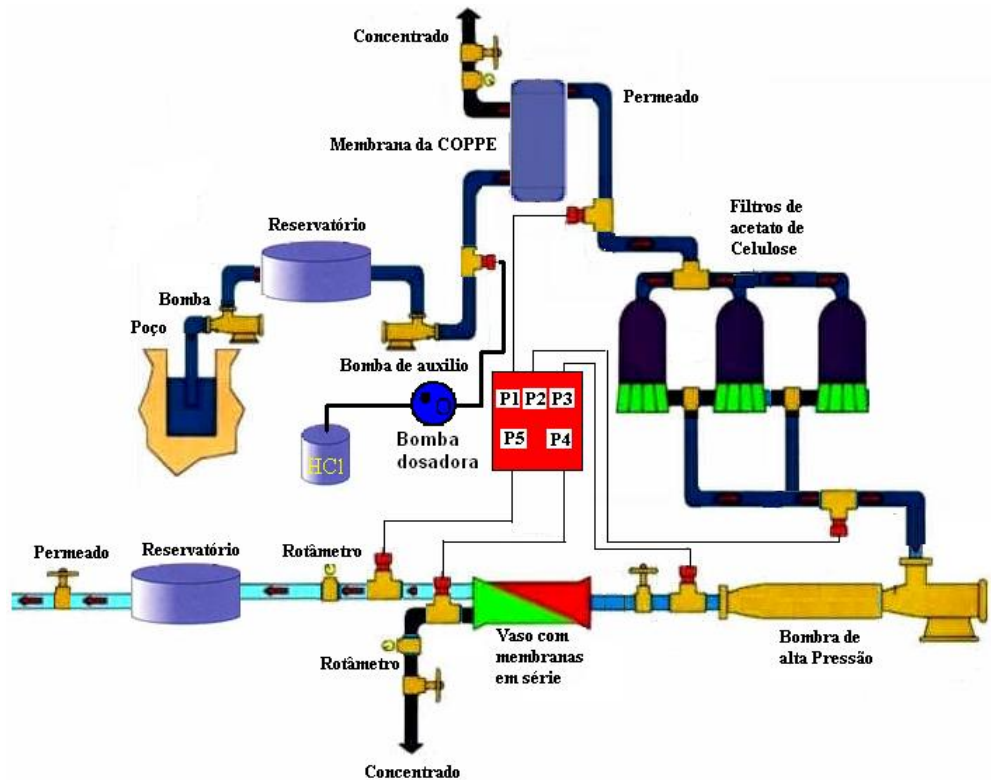


Figura 15 - Diagrama do sistema de dessalinização monitorado da comunidade do Marinho-PB

### 3.4 Processo de limpeza química dos elementos de membrana

A forma como realiza a limpeza química vai depender das condições em que se encontra o sistema de dessalinização em termos de conservação, qualidade da água de alimentação, o tempo que se encontra funcionando, parado ou quebrado e o tipo de pré-tratamento.

O procedimento descrito abaixo apresenta etapas para uma limpeza química de membranas.

Inicialmente, as membranas foram lavadas com água permeada a 30°C, durante 15 minutos sob uma pressão de 3,0 kg/cm<sup>2</sup>. Ao final dos 15 minutos, as membranas foram mantidas embebidas com água permeada a 30°C durante mais 15 minutos e em seguida descartou-se a água no ralo.

A solução de limpeza foi preparada com hidróxido de sódio e outra com ácido clorídrico de acordo com as instruções do boletim da respectiva membrana respeitando os limites estabelecidos para o pH e temperatura da solução.

Com ajuda de uma bomba, a solução de hidróxido de sódio foi introduzida através dos elementos de membranas por um período de 1 a 2 minutos para em seguida ser descartada. No instante seguinte, a bomba foi desligada e todas as válvulas foram fechadas durante 30 minutos.

Após esse período de tempo, a bomba utilizada na limpeza foi novamente acionada e o concentrado foi reciclado para o tanque da solução de ácido clorídrico durante 45 minutos, monitorando-se a temperatura e o pH da solução.

Em seguida, as membranas e toda tubulação hidráulica foram lavadas com água permeada durante 15 minutos sob um fluxo moderado a  $3,0 \text{ kg/cm}^2$  (ou até se atingir a qualidade de permeado desejada). No final desta operação o pH deve ficar próximo do valor do pH da água permeada.

### 3.5 Caracterizações das águas de cisternas – Controle e monitoramento da segunda fonte de água

Para avaliação das águas de cisterna, a localidade escolhida foi o sítio Uruçu que está localizado no Semi-árido do Estado da Paraíba, na região sudoeste do município de São João do Cariri, situado na Mesorregião da Borborema, na microrregião do Cariri Oriental à aproximadamente 210 km da capital João Pessoa. Esta localidade foi escolhida em função do índice de desenvolvimento humano (IDH), por ser um dos mais baixos do Estado e se encontrar na região do Semi-árido, com índice pluviométrico abaixo da média de outros Estados do Nordeste.

No sítio de Uruçu há 52 famílias, a maioria das residências possui cisternas, construídas, principalmente, através do Programa “Um Milhão de Cisternas (P1MC)” ou pelo Fundo Rotativo, administrado pelos membros da associação. Essas cisternas recebem águas da chuva e águas de caminhões pipa. A Figura 16 representa uma cisterna construída pelo P1MC em março de 2006 de número 165669 conforme mostra a Figura 17.



Figura 16 - Cisterna construída através do P1MC



Figura 17 - Cisterna da comunidade de Uruçu



A metodologia empregada para avaliação das águas de cisternas foi efetuada de acordo com os procedimentos abaixo descritos:

- Todas as residências existentes na comunidade de Uruçu, que possuíam cisternas foram visitadas e realizadas as coletas de amostras de água para análises microbiológicas e os parâmetros pH, cor, turbidez e alumínio;
- As visitas foram realizadas durante o período de estiagem e durante o período de chuvas, com o objetivo de analisar em qual período a qualidade da água fica mais comprometida;
- Todas as coletas e análises microbiológicas foram executadas conforme o item 3.8;
- Após os resultados das análises microbiológicas, realizou-se a orientação na comunidade por meio de cursos e palestras no intuito de promover o consumo de água potável e realizou-se nova coleta de amostras de águas após os cursos de conscientização.

### **3.6 Disponibilização de água potável na comunidade de Uruçu - Controle e monitoramento da terceira fonte de água**

Como relatado anteriormente, a localidade em questão só tinha acesso à água oriundas de cisternas, barreiros e açudes que não são fontes seguras de água para consumo humano. Sendo assim, através do projeto intitulado: “Água: fonte de alimento e renda - uma alternativa sustentável para o Semi – árido”, a comunidade de Uruçu foi beneficiada por meio da disponibilização da água potável, este projeto tem como órgão financiador a Petrobras através do Programa Petrobras Ambiental.

O acesso à água potável iniciou-se com a perfuração de um poço artesiano, em seguida foi implantado o sistema de dessalinização, uma vez que a água do referido poço apresenta alta salinidade. A Figura 18 mostra o dessalinizador instalado na comunidade em questão.

A metodologia aplicada durante a terceira etapa foi à seguinte:

- Coleta de água do poço de alimentação do sistema de dessalinização para análise microbiológica;

- Coleta de água do permeado e do concentrado do sistema de dessalinização para análise microbiológica;
- Coleta de água dos três pontos de água do chafariz coletivo para análise microbiológica;
- Coleta de água dessalinizada armazenada em filtros, potes e garrafas pelos consumidores, para análise microbiológica;
- Todas as coletas e análises seguiram os procedimentos descritos no item 3.8, foram coletadas 37 amostras de água proveniente do sistema de dessalinização.



Figura 18 - Vista do dessalinizador instalado na Comunidade de Uruçu

### **3.7 Curso de conscientização para a conservação da água para consumo humano**

Durante as visitas realizadas na comunidade de Uruçu, percebeu-se que a higienização no manuseio da água, demonstrou ser um problema, já que as condições de conservação das águas para consumo propiciavam a deterioração da qualidade da água, o que acarreta riscos à saúde das pessoas, principalmente nas crianças e idosos, público que corresponde à aproximadamente 40% da população de Uruçu.

Foi ministrado um curso de conscientização para toda a comunidade de Uruçu, com a finalidade de manter a qualidade da água dessalinizada disponibilizada e melhorar as condições de higiene doméstica dos moradores de Uruçu. Foi abordado diversos tópicos tais como: a escassez da água no planeta, conceitos básicos sobre os parâmetros de potabilidade da água, tipos e causas de

doenças de veiculação hídricas e cuidados essenciais para evitar as doenças de transmissões hídricas, como realizar o armazenamento de água para consumo, procedimentos para desinfecção de cisternas, apresentação dos laudos bacteriológicos para uma maior compreensão dos resultados.

As Figuras 19 e 20 mostram a comunidade de Uruçu assistindo ao curso de conservação de água para consumo humano.



Figura 19 - Comunidade de Uruçu assistindo ao curso



Figura 20 - Comunidade de Uruçu com os certificados de participação do curso

### 3.8 Procedimentos das análises microbiológicas

As análises microbiológicas foram realizadas no laboratório de referência em dessalinização, (LABDES), para determinação de coliformes totais e *Escherichia coli* foram efetuados testes de presença e ausência utilizando a metodologia do substrato enzimático.

#### 3.8.1 Materiais e equipamento utilizados

- Autoclave Vertical, da Phoenix;
- Estufa de cultura, da Fanem modelo 302 A;
- Estufa de secagem e esterilização, da Nova Ética, modelo 403-3;
- Gabinete com lâmpada ultravioleta 365nm, da Boitton;
- Frasco de coleta esterilizado;
- Baterias de gelo;
- Caixa térmica;

- Substrato cromogênico - *Colilert* – P/A, marca IDEXX – WP020 - Sovereign;
- Solução esterilizada de tiosulfato de sódio a 10%;

### 3.8.2 Procedimentos de coletas

As coletas foram efetuadas em frascos estéreis da seguinte maneira:

- O coletor lava as mãos com água e sabão antes da coleta e usa luvas descartáveis;
- Quando a coleta foi feita em torneira, deixa-se escorrer por 3 minutos para eliminar a água acumulada na tubulação;
- Nos filtros a coleta foi efetuada normalmente, sem deixar o frasco de coleta encostar-se em superfícies que possam contaminar a amostra de água a ser analisada;
- Nos potes coletou-se a água por meio de recipiente estéril e depois foi transferido para o frasco de coleta;
- Nas cisternas a água foi coletada com material estéril e depois transferida para os frascos de coleta;
- Após a coleta o frasco foi identificado, anotando local, nome da família, hora, data da coleta e procedência da água;
- Após a coleta os frascos foram acondicionados em uma caixa térmica com baterias de gelo, para conservação das amostras;
- As análises eram executadas no prazo máximo de 24 horas.

### 3.8.3 Execução das análises pelo método enzimático, utilizando o substrato definido colilert – P/A:

- Foram coletadas amostras em um frasco estéril ou bolsa nasco estéril contendo tiosulfato de sódio a 10% esterilizada para água clorada;
- 100ml da amostra foi transferido para os frascos estéreis de inoculação e adicionado um frasconete contendo o substrato cromogênico e fluorogênico;
- O frasco foi fechado e agitado levemente;
- Incubação a  $35^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas;

### 3.8.4 Interpretação e expressão dos resultados

- A observação do desenvolvimento de coloração amarela no meio indica a presença da enzima  $\beta$  - D galactosidase e o resultado é presença de coliformes totais na amostra conforme apresentado na Figura 21.
- As amostras positivas para coliformes totais com fluorescência azul sob luz ultravioleta de 365nm, indicam a presença da enzima  $\beta$  - D - glicuronídase cujo resultado indica a presença de *E. coli* na amostra, como mostra a Figura 22;
- Caso a amostra permaneça transparente, como apresentada na Figura 21, o resultado é negativo, indicando ausência para Coliformes totais e *Escherichia coli*.



Figura 21 – resultados do método cromofluorogênico com ausência e presença de coliformes totais



Figura 22 – resultado do método cromofluorogênico com presença de fluorescência indicando contaminação por *Escherichia coli*

Na Figura 23 está apresentada o de fluxograma da metodologia utilizada neste trabalho.

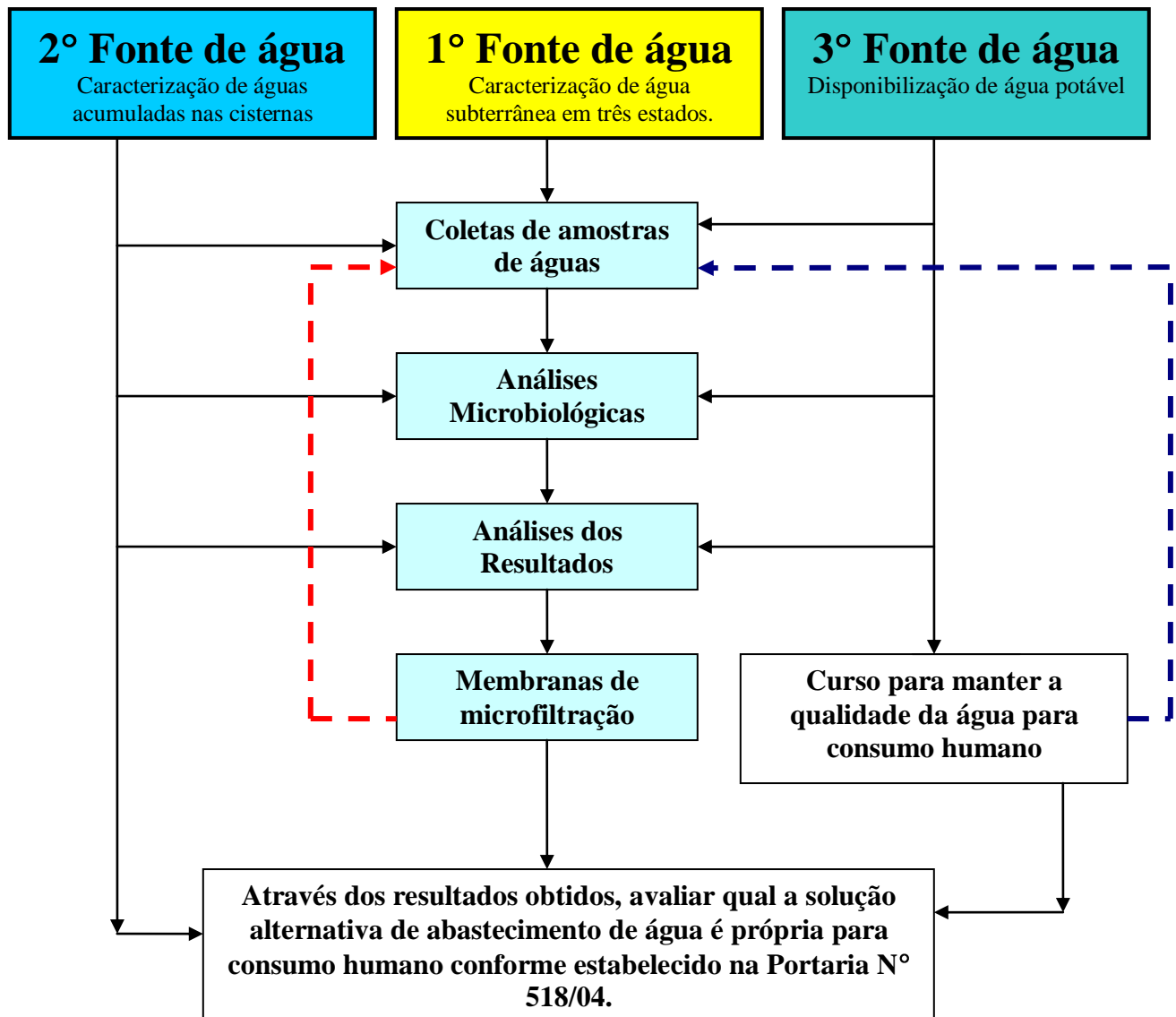


Figura 23 - Fluxograma da metodologia aplicada

## Capítulo IV

# Resultados e Discussão

### Introdução

Neste capítulo é abordado o estudo realizado referente à caracterização das águas disponíveis para consumo humano no âmbito das soluções alternativas de abastecimento, as quais não têm acesso à rede de abastecimento.

A partir da avaliação da águas disponíveis nas soluções alternativas, serão identificadas quais atendem a Portaria N° 518/04 do MS (BRASIL, 2004), com o intuito de analisar as soluções técnicas propostas viáveis para adequação aos padrões de potabilidade da água.

### **4.1 Caracterizações das águas dos poços artesianos - controle e monitoramento da primeira fonte de água**

Foram analisadas as amostras de 21 poços em três estados do Semi-árido do Nordeste, Al, SE e PB como mostra a Tabela 05, os quais abasteciam pequenas comunidades.

Como mostra a Tabela 05, verifica-se alto índice de contaminação das águas subterrâneas, correspondendo um total de 8.798 pessoas com acesso a água fora dos padrões de potabilidade, as quais estão expostas a doenças de veiculação hídricas.

De acordo com a Portaria N° 518/04 MS (BRASIL, 2004) 85,7% dos sistemas mostrados na Tabela 05 apresentam água imprópria para o consumo humano, sendo necessário à realização de um tratamento específico da água em questão para adequá-las aos padrões de potabilidade, além de investigar a causa da contaminação de forma a impedir a desativação dos poços e o aumento da contaminação do aquífero explorado.

Na Figura 24 constata-se que 57,14% dos poços analisados apresentaram contaminação de origem fecal devido à presença da bactéria *Escherichia coli*. Nos três estados analisados Alagoas apresentou 100% das águas dos poços contaminação por *E. coli* durante o período que estava sendo avaliados e apenas 14,3% dos poços analisados ausência de bactérias do grupo coliformes.

Tabela 05 - Resultados bacteriológicos das águas de poços artesianos utilizadas para consumo humano, em três estados do Semi – Árido do Nordeste do Brasil

Localidade	Município	Estado	População abastecida	Análises Microbiológicas	
				Coliformes totais/100 mL	<i>Escherichia coli</i> /100 mL
Olho d' água Salgado	Queimada	PB	100	Presença	Ausência
Pedra da água	Barra de Santana	PB	100	Presença	Presença
Sítio Pedra d' água.	Caturité	PB	90	Presença	Presença
Alcantil	Alcantil	PB	200	Presença	Presença
Serra Branca	Serra Branca	PB	3.500	Presença	Ausência
Ligeiro	Ligeiro	PB	70	Presença	Ausência
Picuí	Santa Luzia	PB	220	Presença	Presença
Carretão	C.Grande	PB	30	Presença	Ausência
Nova Palmeira	Nova Palmeira	PB	800	Presença	Ausência
<b>Marinho</b>	<b>Campina Grande</b>	<b>PB</b>	<b>70</b>	<b>Presença</b>	<b>Presença</b>
Três Tanques	Carira	SE	465	Presença	Presença
Candeias	Tobias Barreto	SE	500	Ausência	Ausência
Borda da Mata	Tobias Barreto	SE	500	Presença	Ausência
Saco do Camisa	Poço Verde	SE	600	Ausência	Ausência
Ventoso	Poço Verde	SE	600	Presença	Presença
Lages	Poço Verde	SE	500	Ausência	Ausência
Olho d' água do Bonifácio	Palmeiras dos Índios	AL	445	Presença	Presença
Bonifácio	Palmeiras dos Índios	AL	500	Presença	Presença
Cabaceiros	Palmeiras dos Índios	AL	720	Presença	Presença
Santo Antônio	Igaci	AL	136	Presença	Presença
Calvário	Igaci	AL	252	Presença	Presença



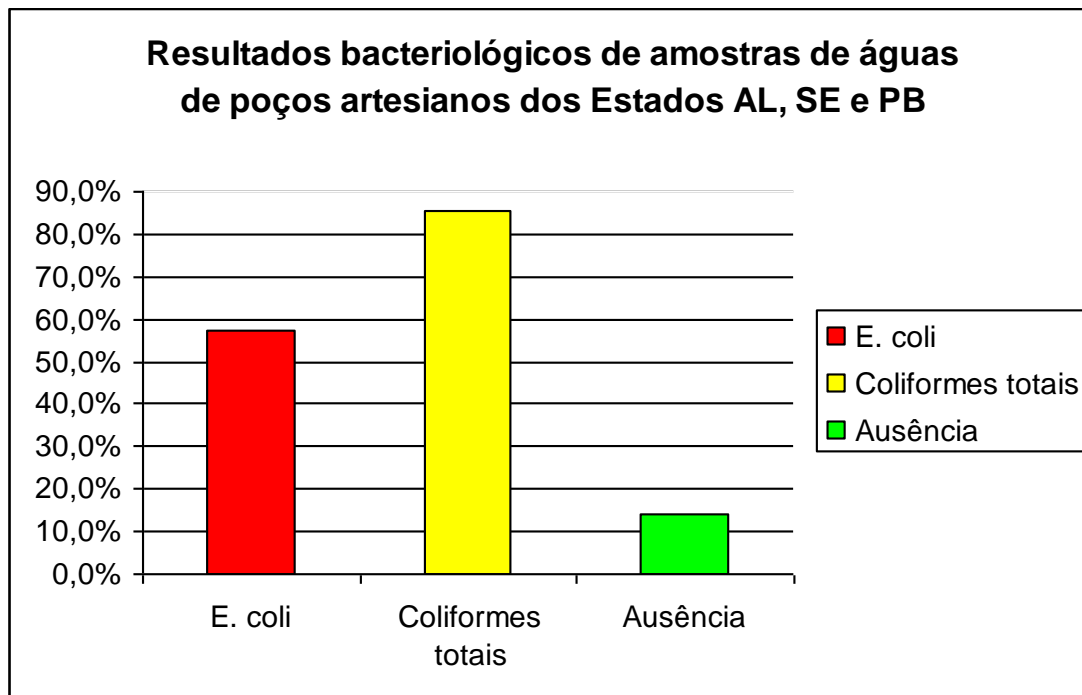


Figura 24 - Representação dos resultados bacteriológicos das amostras de águas de poços artesianos das comunidades difusas nos estados de AL, PB e SE

Percebe-se que, nos estados visitados não existe uma política de preservação das águas subterrâneas, como foi constatado pelas características físicas dos poços nessas comunidades e pela presença de microrganismos que em termos sanitários podem comprometer a saúde pública nessas localidades.

As causas de contaminação dessas fontes podem ser atribuídas à má localização dos poços, ou seja, estão sujeitos à contaminação por infiltração de fossas sépticas, de esgotos domésticos e de transporte de impurezas através das chuvas contendo microrganismos oriundos de fezes e esse tipo de contaminação ocorre principalmente em poços que apresentam proteção deficiente ou que não possui barreiras de contenção de possíveis contaminações antrópicas; outro fator responsável pela elevada contaminação pode ser atribuído à falta de manutenção periódica dos mesmos, principalmente a desinfecção.

## 4.2 Indicação de tratamento para águas dos poços artesanais analisados

Primeiramente iniciou-se o trabalho visitando pequenas comunidades difusas em três estados Paraíba, Sergipe e Alagoas as quais têm em comum a dificuldade de acesso à água potável. Todos os locais visitados possuíam poços artesanais disponíveis que em sua maioria encontravam-se em péssimo estado de conservação, como pode-se observar na Figura 10.

Nas localidades visitadas havia sistemas de dessalinização que estavam trabalhando em condições precárias, esses foram implantados em razão das águas dos poços artesanais apresentarem alta salinidade que as tornavam impróprias para consumo humano.

É importante relatar que, muitos desses dessalinizadores instalados apresentavam-se em péssimo estado de conservação que comprometia a qualidade da água dessalinizada e muitos outros já se encontravam fora de operação. A falta de manutenção corretiva e preventiva, operação irregular, ausência de um pré-tratamento adequado, tudo isso colabora com a redução da vida útil dos dessalinizadores ou desativação dos mesmos.

Diante do problema de contaminação das águas dos poços analisados, escolheu-se um sistema para estudar um tipo de tratamento que proporcionasse adequar a água aos padrões bacteriológicos estabelecido pela Portaria N° 518/04 do MS (BRASIL, 2004), que fosse de fácil operação e economicamente viável para a comunidade, de maneira que mantivesse a sustentabilidade da técnica de tratamento. O sistema escolhido foi o Marinho pelos motivos já descritos no capítulo anterior.

Foi feita a análise microbiológica da água do poço que alimenta o sistema de dessalinização da comunidade do Marinho, verificando a presença de coliformes totais e *Escherichia coli*, conforme a Tabela 06.

A água do aquífero que abastece o sistema do Marinho, além de apresentar problemas de contaminação por *Escherichia coli* mostra elevado teor de sais, conforme Tabela 07, a qual apresenta os parâmetros físico-químicos.

A salinidade nas águas subterrâneas é uma característica bastante comum na nossa região, visto que, a maior parte das águas subterrâneas no Nordeste brasileiro está presente nos terrenos cristalinos o que proporciona uma maior concentração de sais. Fortalecendo a necessidade da implantação de sistemas de dessalinização para remoção de sais da água e adequá-las aos limites estabelecidos para consumo humano nas comunidades difusas do semi-árido do Nordeste brasileiro.

Para adequar os parâmetros físico-químicos da água do poço existente na comunidade do Marinho, foi implantado um sistema de dessalinização via osmose inversa, que é composto por três elementos de membranas ligados em série com capacidade máxima de produção de 60L/min. Desta forma, a água que foi dessalinizada do referido sistema se enquadrou aos padrões de potabilidade exigidos, conforme a Tabela 07.

Tabela 06 - Resultado bacteriológico da água do poço do sistema do Marinho-PB

PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS	RESULTADOS	VMP (*)
Coliformes Totais	Presença	Ausência em 100 mL
<i>Escherichia coli</i>	Presença	Ausência em 100 mL

(\*)VMP - Valor Máximo Permissível ou recomendável pela Legislação Brasileira (PORTARIA 518/04 MS).

Tabela 07 - Resultado físico-químico da água do poço do sistema do Marinho-PB

PARÂMETROS	Alimentação	Concentrado	Permeado	VMP (*)
Condutividade Elétrica, $\mu\text{mho/cm}$ a 25 °C	2.630,0	4.910,0	103,7	---
Potencial Hidrogeniônico, pH	7,9	7,9	6,4	6,5 a 8,5
Turbidez, (uT)	0,1	0,1	0,0	1,0 a 5,0
Cor, Unidade Hazen (mg Pt-Co/L).	0,0	5,0	0,0	15,0
Dureza em Cálcio, mg/L Ca <sup>++</sup>	52,5	108,0	0,8	---
Dureza em Magnésio, mg/L Mg <sup>++</sup>	64,5	131,7	0,7	---
Dureza Total, mg/L CaCO <sub>3</sub>	400,0	<b>818,8</b>	5,0	500,0
Sódio, mg/L Na <sup>+</sup>	<b>419,2</b>	<b>874,3</b>	19,2	200,0
Potássio, mg/L K <sup>+</sup>	11,5	23,6	0,7	---
Ferro Total, mg/L	0,04	0,02	0,01	0,3
Alcalinidade Total, mg/L CaCO <sub>3</sub>	552,0	1.125,0	12,8	---
Sulfato, mg/L SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	57,2	134,2	1,2	250,0
Cloreto, mg/L Cl <sup>-</sup>	<b>543,2</b>	<b>1.125,4</b>	<b>22,7</b>	250,0
Nitrato, mg/L NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,22	0,58	4,25	10,0
Nitrito, mg/L NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,21	0,09	0,04	1,0
ISL (Índice de Saturação de Langelier)	0,75	1,33	-4,06	≤ 0
Total de Sólidos Dissolvidos Secos a 180°C, mg/L	1.761,0	3.651,4	66,5	1.000,0

(\*)VMP - Valor Máximo Permissível ou recomendável pela Legislação Brasileira (PORTARIA 518/04 MS)

Como mostra a Tabela 08, observa-se que o sistema de dessalinização via osmose inversa, mostra ser bastante eficiente para a remoção de bactérias do grupo coliformes. Uma vez que, a água do permeado apresenta ausência de coliformes totais. No entanto, a retenção contínua desses microrganismos pelas membranas do dessalinizador provocará proliferações e incrustações destes

microrganismos nos módulos de membranas de osmose inversa, comprometendo seu tempo de vida útil.

Tabela 08 - Avaliação da qualidade bacteriológica da água após processamento nas membranas de osmose inversa (OI)

Indicador	Membrana OI		
	Água bruta	Permeado	Concentrado
<i>E. coli</i>	<b>Presença</b>	<b>Ausência</b>	<b>Presença</b>
<b>Coliformes totais</b>	<b>Presença</b>	<b>Ausência</b>	<b>Presença</b>

Os sistemas de dessalinização são constituídos por filtros de acetato de celulose com porosidade de 5,0 µm, esses têm a função de eliminar sólidos em suspensão. Todavia, foi avaliado seu desempenho frente aos microrganismos, os mesmos mostram que são inadequados para remoção de microrganismos, pois o permeado do mesmo continuou apresentando bactérias do grupo coliformes, como mostra a Tabela 09. Este resultado já era previsível em razão do diâmetro do filtro em questão, por apresentar uma porosidade alta para retenção de bactérias.

Desta forma, os filtros de cartucho de acetato de celulose como pré-tratamento físico nos sistemas de dessalinização é limitado. Mostrando a necessidade da implantação de um pré-tratamento físico que apresente uma porosidade menor que tenha condições de promover uma barreira para contenção do transporte de microrganismos para as membranas do dessalinizador.

Tabela 09 - Avaliação da qualidade bacteriológica da água após processamento nos filtros multimeios

Indicador	Filtros multimeios de 5 µm		
	Água bruta	Permeado	Concentrado
<i>E. coli</i>	<b>Presença</b>	<b>Presença</b>	
<b>Coliformes totais</b>	<b>Presença</b>	<b>Presença</b>	

No entanto, foi instalado um sistema de microfiltração com membrana de microfiltração na forma de fibras ocas, desenvolvida pela COPPE-UFRJ.

O objetivo da implantação da membrana de microfiltração de fibra ocas com porosidade na superfície externa das fibras de 0,7 a 0,9 micrometro foi estudar a eficácia na remoção de bactérias do grupo coliforme e *Escherichia coli* e avaliar seu desempenho como pré-tratamento físico nos sistemas de dessalinização.

O sistema de microfiltração permitirá que não ocorra a formação de *biofouling*, que compromete sensivelmente o desempenho do sistema de dessalinização, sendo uns dos motivos pela redução do tempo de vida útil dos sistemas de dessalinização implantados em comunidades difusas podem ser atribuídos às incrustações provocadas por microrganismos.

Conforme apresentado na Tabela 10, verifica-se que a água do permeado das membranas de microfiltração exibe uma remoção de 100% de bactérias do grupo coliformes. Desta forma, o sistema de membranas de microfiltração implantado como pré-tratamento físico mostrou-se eficaz na retenção de bactérias. Permitindo com isso, que o sistema de dessalinização mantenha seu desempenho operacional por um tempo maior.

Tabela 10 - Avaliação da qualidade bacteriológica da água após processamento nas membranas de microfiltração (MF)

Indicador	Membrana MF		
	Água bruta	Permeado	Concentrado
<i>E. coli</i>	<b>Presença</b>	<b>Ausência</b>	<b>Presença</b>
<b>Coliformes totais</b>	<b>Presença</b>	<b>Ausência</b>	<b>Presença</b>

Com a realização periódica do monitoramento da água do permeado da membrana de microfiltração por meio das análises bacteriológicas, após seis meses de uso da membrana de microfiltração, verificou-se a presença de coliformes totais e *Escherichia coli* como mostra a Tabela 11.

A presença de *E. coli* no permeado indica que as membranas de microfiltração foram saturadas por microrganismos, matéria orgânica e sólidos em suspensões, desta forma verifica-se que as mesmas não estavam mais efetuando a contenção de microrganismo, sendo os mesmo transportados para a corrente de água de alimentação do dessalinizador podendo comprometer a operacionalidade do processo de dessalinização.

Diante deste resultado, mostrou-se que as membranas de microfiltração submetidas às condições de pré-tratamento físico com a finalidade de reter os microrganismos necessitavam de limpeza química para remoção dos microrganismos retidos e possíveis proliferações.

Tabela 11 - Avaliação da qualidade bacteriológica da água após processamento nas membranas de microfiltração (MF) com seis meses de operação

Indicador	Membrana MF após 6 meses		
	Água bruta	Permeado	Concentrado
<i>E. coli</i>	<b>Presença</b>	<b>Presença</b>	<b>Presença</b>
<b>Coliformes Totais</b>	<b>Presença</b>	<b>Presença</b>	<b>Presença</b>

No entanto, a água do permeado do dessalinizador, após os seis meses de operação, não apresentou contaminação por bactérias do grupo coliformes, o que mostra a eficiência de remoção de bactérias pelo processo de osmose inversa, mesmo sendo alimentado por uma água com presença de bactérias. Todavia, a remoção desses microrganismos favorece a formação de incrustações contribuindo para uma redução do desempenho do equipamento. A Tabela 12 mostra os resultados das análises bacteriológicas após seis meses de operação contínua do dessalinizador.

Tabela 12 - Avaliação da qualidade bacteriológica da água após processamento nas membranas de osmose inversa (OI) com seis meses de operação

Indicador	Membrana OI Após 6 meses		
	Água bruta	Permeado	Concentrado
<i>E. coli</i>	<b>Presença</b>	<b>Ausência</b>	<b>Presença</b>
<b>Coliformes totais</b>	<b>Presença</b>	<b>Ausência</b>	<b>Presença</b>

Diante da constatação da presença de bactérias no permeado das membranas de microfiltração após seis meses de uso, foi realizada a limpeza química da membrana de microfiltração e dos elementos de membranas do dessalinizador, de acordo com o procedimento descrito no item 3.4 do capítulo III, com a finalidade de manter o desempenho de retenção dos microrganismos do sistema de microfiltração.

Após a limpeza química observou-se ausência de bactérias do grupo coliformes no permeado das membranas de microfiltração, como está apresentado na Tabela 13. Com a operação

normalizada do sistema, determinou-se que a cada seis meses é preciso efetuar a limpeza química de todo o sistema.

Tabela 13 - Avaliação da qualidade bacteriológica da água após processamento nas membranas de microfiltração (MF) posterior a limpeza química

Indicador	Membrana MF Após Limpeza Química		
	Água bruta	Permeado	Concentrado
<i>E. coli</i>	<b>Presença</b>	<b>Ausência</b>	<b>Presença</b>
<b>Coliformes totais</b>	<b>Presença</b>	<b>Ausência</b>	<b>Presença</b>

### 4.3 Caracterizações das águas provenientes de cisternas - Controle e monitoramento da segunda fonte de água

Para atenuar a dificuldade de acesso à água potável nas populações da zona rural do Semi-árido brasileiro, as cisternas destinadas ao armazenamento de água, vem sendo uma solução alternativa de abastecimento, tornando em muitas localidades como a única fonte de água para consumo direto (beber e cozinhar). As cisternas são abastecidas através de caminhão – pipa ou captam água de chuvas. Embora esta prática minimize o problema de quantidade de água, pouco se sabe sobre qualidade da água armazenada nas cisternas. Logo neste tópico, serão mostrados os estudos relacionados à qualidade bacteriológica da água armazenada nas cisternas nos períodos de precipitação e de durante a estiagem, enfocando os possíveis riscos à saúde que este tipo de técnica de abastecimento poderá trazer as comunidades difusas.

#### 4.3.1 Águas de cisternas armazenadas no período de estiagem

Na comunidade de Uruçu distrito do município de São do Cariri a principal fonte de água para consumo vem das cisternas que em sua maioria recebem águas de chuvas ou de caminhão pipa.

Foram coletadas amostras de água para análise de 38 cisternas que continham água acumulada sem renovação por até ou mais de quatro meses como mostra a Tabela 14, na qual verifica-se uma alta contaminação nessas águas por *Escherichia coli*, conferindo assim um elevado risco a saúde da população dessa comunidade.

Na Tabela 14 e na Figura 25, apresentam os resultados das amostras de águas coletadas nas cisternas durante o período de ausência de chuvas, pode-se verificar um percentual de 63 % de contaminação por *Escherichia coli* de 24 cisternas das 38 visitadas, apenas 7,9% das amostras analisadas apresentaram ausência de contaminação bacteriológica. De acordo com a Portaria N° 518/04 do MS (BRASIL, 2004), percebe-se que 92,1% das águas coletadas nas respectivas cisternas no período de estiagem estão impróprias para consumo humano, uma vez que a mesmas apresentaram a presença de coliformes totais.

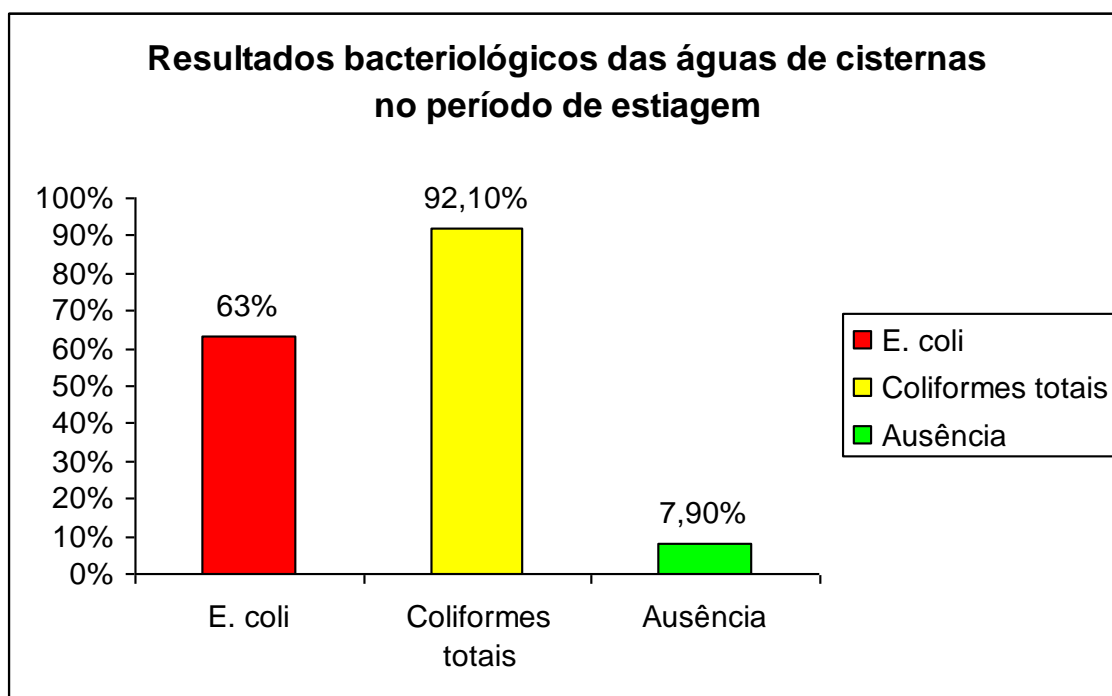


Figura 25 - Resultados bacteriológicos das cisternas sem chuvas



Tabela 14 - Resultados bacteriológicos de águas de cisternas no período de estiagem utilizadas para consumo humano

Residências	Coleta 1- Período de estiagem		
	Coliformes Totais	<i>E. coli</i>	Procedência
01	x	x	Cisterna
02	x	x	Cisterna
03	x	x	Cisterna
04	x	x	Cisterna
05	x	x	Cisterna
06	x	x	Cisterna
07	-	-	Cisterna
08	x	x	Cisterna
09	X	X	Cisterna
10	x	x	Cisterna
11	x	x	Cisterna
12	x	x	Cisterna
13	x	x	Cisterna
14	x	-	Cisterna
15	-	-	Cisterna
16	x	x	Cisterna
17	x	x	Cisterna
18	x	-	Cisterna
19	x	-	Cisterna
20	x	x	Cisterna
21	x	-	Cisterna
22	x	x	Cisterna
23	x	x	Cisterna
24	x	-	Cisterna
25	x	-	Cisterna
26	x	-	Cisterna
27	x	-	Cisterna
28	x	x	Cisterna
29	x	x	Cisterna
30	x	x	Cisterna
31	x	x	Cisterna
32	x	x	Cisterna
33	x	x	Cisterna
34	x	x	Cisterna
35	x	-	Cisterna
36	-	-	Cisterna
37	x	-	Cisterna
38	x	-	Cisterna

Com estes resultados mostra-se que 92,1% das cisternas acumulam água fora dos padrões de potabilidade. Todavia, as pessoas que consomem estas águas estão suscetíveis a adquirir doenças de veiculação hídricas, tornando-se mais grave para os consumidores que estão bebendo água com contaminação de origem fecal, que corresponde as amostras que apresentaram a presença da *Escherichia coli* totalizando 63% das cisternas que foram visitadas.

Dentro dos motivos que podem ser responsável por este resultado destacam-se os seguintes:

- Cisternas sem bombeamento elétrico, permitindo o uso de utensílios inadequados com possíveis contaminações, conforme mostram as Figuras 27, 28 e 29;
- Cisternas com problemas de infiltração, permitindo a passagem de resíduos contaminados por fezes de animais;
- O uso de água de caminhão pipas para abastecer as cisternas, essas águas são provenientes em sua maioria de barreiros e açudes, ou seja, são águas com qualidade duvidosa. Alguns donos de caminhão pipa admitem pegar água em barreiro e alegam que fazem o tratamento com apenas aplicação de cloro, sabe-se que este tipo de tratamento é inadequado devido à possibilidade de formação de subprodutos tóxicos a saúde humana;
- Muitas dessas cisternas não possuem um sistema de esgotamento favorecendo o acúmulo de matéria orgânica promovendo o crescimento de bactérias, como mostra a Figura 26;
- Elevado tempo de armazenamento propiciando a proliferação de bactérias;
- Cisternas mal localizadas, próximas às áreas que recebem dejetos de animais como mostra a Figura 30;
- Falta de assepsia e desinfecção das cisternas periodicamente.

Amorim em 2001, verificou algumas cisternas observando elevada densidade de bactérias do grupo coliformes totais e coliformes fecais, de acordo com Amorim essa contaminação é devido principalmente a falta de aplicação de cloro na água e a maneira com a mesma é manuseada na cisterna que favorece a contaminação.

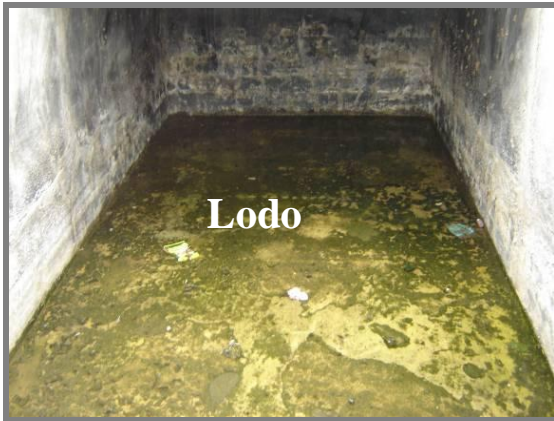


Figura 26 - Piso de cisterna com acúmulo de matéria orgânica



Figura 27 - Vista frontal de uma cisterna sem bombeamento elétrico com ausência de drenagem



Figura 28 - Coleta de água em cisternas com recipientes inadequados



Figura 29 - Cisterna com sistema de bombeamento elétrico desativado



Figura 30 – Cisterna mal localizada

A contaminação por coliformes totais correspondeu a um total de 28,1% das amostras analisadas, apesar de não ser uma contaminação de origem fecal, este fato se deve principalmente ao contato com poeira, a proliferação de biofilme na parede interna das cisternas, acúmulo de matéria orgânica, insetos, manuseio inadequado da água, falta de assepsia nos recipientes de coleta da água, entre outros fatores. Ressalta-se que, a contaminação por coliformes totais com ausência de coliformes fecais, mesmo não sendo um bom parâmetro sanitário, mas se torna menos agravante, já que, a probabilidade de transmissão de doenças hídricas é superiormente maior quando ocorrem com a presença de *Escherichia coli*, pois essa bactéria é de origem fecal.

Durante as visitas nas cisternas percebeu-se que as amostras que não apresentaram contaminação, os proprietários das respectivas cisternas faziam o uso de cloro líquido, hipoclorito de sódio, garantindo com esse procedimento a potabilidade da água.

É interessante relatar que as demais pessoas alegaram os seguintes motivos para não aplicarem cloro em suas cisternas:

- *Não acreditam que a água possa transmitir doenças;*
- *Não gosta do sabor que o cloro transmite a água;*
- *O custo com o cloro compromete a renda familiar;*
- *Acredita que outros meios alternativos possam deixar a água potável, um desses meios é a colocação de peixes na cisterna.*

#### **4.3.2 Avaliação físico-química das águas de cisternas no período de estiagem**

Foi realizada medida dos parâmetros cor, turbidez e pH com intuito de garantir às exigências relativas aos indicadores microbiológicos. Uma vez que, a turbidez pode reduzir a eficiência da desinfecção da água, pela proteção física dos microrganismos do contato direto com os agentes químicos utilizados para inativação de microrganismos.

O pH é outro parâmetro que influencia diretamente na ação do cloro, inclusive a Portaria N° 518/04 do MS recomenda que a cloração seja efetuada com pH inferior a 8,0 e tempo de contato maior que 30 minutos.

Como está sendo avaliado água de cisterna durante o período de ausência de chuvas, nesta época a maioria é abastecida por caminhões – pipa, os parâmetros pH, cor e turbidez podem apresentar uma idéia da qualidade da água consumida e indicando a possível fonte.

Analisando os dados da Tabela 15, percebe-se que em sua maioria são águas provenientes de poços ou que passaram por tratamento convencional, por não apresentarem valores altos de turbidez. Todavia, algumas delas apresentam cor acima do padrão recomendado pela Portaria N° 518/04 do MS, cujo valor máximo permitido (VMP) é de 15 uHz.

Conforme a Portaria citada, valores de turbidez superior a 1,0 NTU poderão comprometer a qualidade microbiológica, pois para uma ação efetiva da desinfecção é requerido como complementação aos padrões bacteriológicos turbidez inferior a 1,0 NTU. Desta forma, percebe que 12 cisternas analisadas apresentam valores superiores a 1,0 NTU que poderá implicar numa desinfecção ineficiente.

A exigência de um valor para turbidez rigoroso é em razão da capacidade dos sólidos em suspensão encapsularem possíveis microrganismos patogênicos, principalmente aqueles que se apresentam na forma de cisto como a *Giardia*.

Outro ponto que pode interferir na eficiência da cloração é o valor do pH, pois como mostra a Tabela 15, 11 amostras de águas de cisterna apresentaram valor superior a 8,0.

Desta forma, em atendimento a Portaria N° 518/04 do MS, as cisternas como solução alternativa de abastecimento, necessita em muitos casos correções dos parâmetros turbidez, cor e pH para não comprometer a desinfecção e garantir assim o padrão bacteriológico da água.

Tabela 15 - Variação da cor, turbidez e pH das águas das cisternas no período de estiagem

Residências	Cor, Unidade Hz (mg Pt-Co/L) (VMP= 15 Hz)*	Turbidez, NTU (VPM= 1,0 NTU para efetuar a cloração*)	pH (VMP pH = 8,0*)
01	15,0	1,97	7,8
02	10,0	1,46	8,1
03	10,0	0,67	8,4
04	25,0	0,22	8,1
05	25,0	0,35	8,0
06	5,0	0,72	8,6
07	30,0	1,82	7,9
08	25,0	2,02	7,9
09	5,0	0,72	8,5
11	5,0	0,4	8,1
12	5,0	0,5	7,1
13	20,0	0,66	8,1
14	25,0	1,18	8,0
15	5,0	0,34	8,5
16	<2,5	0,32	8,5
17	<2,5	0,41	7,7
18	<2,5	0,27	8,5
19	<2,5	0,21	7,2
20	5,0	0,41	8,5
21	<2,5	0,29	7,6
22	5,0	2,16	8,0
23	10,0	0,46	7,9
24	25,0	1,9	7,8
25	100,0	35,5	7,72
26	5,0	0,68	7,8
27	5,0	2,27	7,6
28	5,0	2,07	7,8
29	5,0	2,25	7,9

\* Padrões estabelecidos pela Portaria N° 518/04 do MS

#### 4.3.3 Águas de cisternas acumuladas no período de ocorrência de chuvas

De acordo com a Tabela 16, verifica-se que mesmo após as chuvas, as águas acumuladas nas cisternas ainda permanecem com sua qualidade microbiológica comprometida, apresentando elevado grau de contaminação por *Escherichia coli* que correspondem um total de 81% das amostras analisadas e 88,5 % das amostras não atendem aos padrões bacteriológicos da água, tornando a imprópria para consumo.

Tabela 16 - Resultados bacteriológicos de águas de cisternas durante período de chuvas utilizadas para consumo humano

Residências	Coliformes Totais	<i>E. coli</i>	Procedência
01	X	X	Cisterna
02	X	X	Cisterna
03	-	-	Cisterna
04	X	X	Cisterna
05	X	X	Cisterna
06	x	X	Cisterna
07	x	X	Cisterna
08	X	X	Cisterna
09	-	-	Cisterna
10	X	X	Cisterna
11	X	X	Cisterna
12	X	X	Cisterna
13	X	X	Cisterna
14	X	X	Cisterna
15	X	X	Cisterna
16	X	X	Cisterna
17	X	-	Cisterna
18	X	X	Cisterna
19	X	X	Cisterna
20	X	X	Cisterna
21	X	X	Cisterna
22	X	-	Cisterna
23	X	X	Cisterna
24	X	X	Cisterna
25	X	X	Cisterna
26	-	-	Cisterna

Na Figura 31 apresenta o percentual das amostras analisadas que atendem ao padrão microbiológico que correspondem a um total de 11,5%, e 88,5% apresentaram contaminação por coliformes totais. Todavia, a presença de *E. coli* é elevada atingindo 81% das cisternas analisadas. Mostrando com isso uma contaminação maior no período de chuvas, esse número é preocupante, pois, o risco que a população da comunidade de Uruçu sofre torna-se eminente.

Durante o período de chuvas o número de coletas foi menor em razão do péssimo estado que se encontravam às estradas impedindo o acesso as várias residências, devido a este fato não foi possível efetuar o mesmo número de coletas realizadas durante o período de estiagem, sendo possível apenas à visita até a residência número 26. Ressaltando que, a residência 1 visitada no

período da estiagem é a mesma residência 1 analisada no período de chuvas e assim sucessivamente.

É importante relatar, que durante este período de chuvas houve um surto de diarreias, onde várias pessoas apresentaram diarreias, náuseas e vômitos, as mesmas estavam consumindo água contaminada por *E. coli*. Essas doenças adquiridas podem ter sido provenientes pelo consumo de água fora do padrão microbiológico.

De acordo com a informação prestada pela Secretaria de Saúde de São do Cariri, município que responde pela vigilância sanitária da comunidade de Uruçu, por intermédio da Dra. Ivanete Barros Maciel, neste período que correspondeu aos meses de março e abril de 2008, ocorreu um maior registro de casos de internação por diarreia.

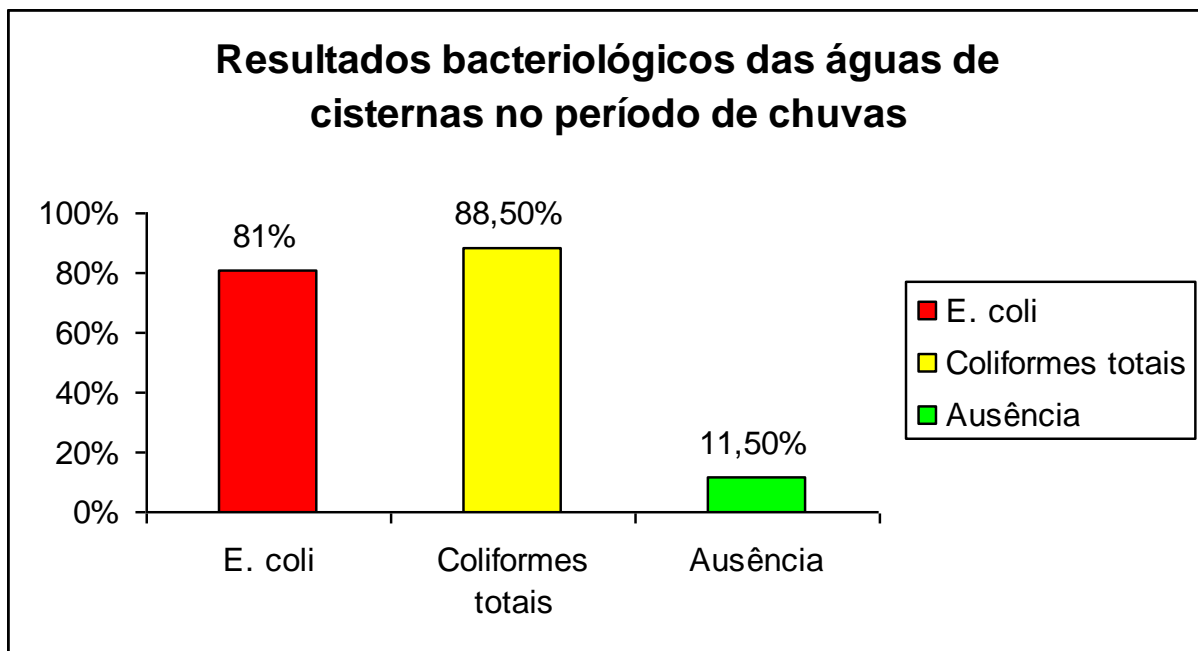


Figura 31 - Resultados bacteriológicos das águas de cisternas acumuladas no período de chuvas

Em determinadas amostras das cisternas em questão foram quantificado o número mais provável de *E. coli* (NMP/100ml) que atingiu o valor de 774NMP/100ml. Também foi feita a contagem para coliformes totais e o NMP/100ml foi superior a 4.838/100ml, comprovando com isso que o grau de contaminação é extremamente alto e que o potencial da referida comunidade adquirir doenças transmitidas por meio da água é elevado.

Este elevado índice de contaminação pode ser atribuído:



- Transporte de impurezas contidas nos telhados e calhas de coleta de água de chuvas;
- Falta de uma cobertura apropriada, como mostra a Figura 32;
- Sistema de acesso à água de cisterna favorece a entrada de pequenos animais, como demonstra a Figura 33;
- Mau estado de conservação das cisternas com fendas, permitindo a infiltração de impurezas contaminando a água acumulada;
- Falta de proteção próxima às cisternas, permitindo que animais subam na cisterna e despejem seus dejetos;
- Grande acúmulo de dejetos de animais de grande porte ao redor das cisternas;
- Falta de um processo de desinfecção físico antes da água de chuva ser acumulada na cisterna;
- Ausência de uma desinfecção química mantendo-se o residual do agente oxidante na água reservada na cisterna.



Figura 32 - Cisterna com tampa que favorece a entrada de impurezas



Figura 33 - Sistema com acesso à água que favorece a entrada de pequenos animais

Os demais motivos especificados no tópico 4.3.1 também contribuem com o alto percentual de contaminação bacteriológica das cisternas.

Conforme a resolução do CONAMA 357/05, a mesma afirma que a água para uso de abastecimento humano necessita de desinfecção. Ainda no que estabelece a referida resolução determinadas amostras de água retiradas das cisternas em estudo estaria classificada na classe 3,

que requerem tratamento convencional para uso em abastecimento humano. Neste contexto, verifica-se que as águas de cisternas necessitam de tratamento antes de disponibilizada para consumo.

Fazendo também a comparação com a Portaria de potabilidade da água Portaria N° 518/04 do MS (BRASIL, 2004) a mesma estabelece em seu art. 22:

“Toda água fornecida coletivamente deve ser submetida a processo de desinfecção, concebido e operado de forma a garantir o atendimento ao padrão microbiológico.”

Com base nesse artigo pode-se afirmar que as águas das cisternas que foram analisadas não atendem as exigências da referida Portaria.

O padrão microbiológico exigido pela Portaria é de ausência de coliformes totais ou *Escherichia coli* em 100mL de amostras analisadas, assim tem-se que 88,5% das cisternas analisadas não atendem aos padrões microbiológicos exigidos.

Neste caso, ainda em conformidade com a Portaria, as cisternas consideradas como soluções alternativas de abastecimento estariam submetidas à vigilância sanitária do município, conforme art. 7 da referida Portaria:

“ São deveres e obrigações das secretarias municipais de Saúde”:

I – “Exercer a vigilância de água em sua área de competência em articulação com os responsáveis pelo o controle de qualidade da água.”

IV – “Efetuar, sistemática e permanente, avaliação de risco à saúde humana de cada sistema de abastecimento ou soluções alternativas...”

Com base nesses artigos, pode se dizer que se a legislação estivesse sendo cumprida o panorama das águas analisadas poderia apresentar resultados mais satisfatórios, possibilitando assim, um ganho na qualidade de vida dos moradores da comunidade de Uruçu.

Avaliando os dados obtidos com as análises microbiológicas das águas reservadas nas cisternas no período de estiagem e no período das chuvas, que em ambas as situações apresentaram contaminação com potencial para transmissão de doenças de veiculação hídricas presente nas mesmas, nos dois períodos avaliados constatou-se um grau de contaminação altíssimo, apresentando maior presença de *E. coli* durante as ocorrências de chuvas. Podendo afirmar categoricamente que as cisternas da forma como são implantadas atualmente não apresentam um meio seguro de abastecimento de água alternativo para consumo humano.

Sendo assim, pode-se afirmar que com a ausência de vigilância sanitária e em concomitância a presença do índice elevado de contaminação nas cisternas, o acúmulo de água em cisterna não é um meio que garanta a qualidade da água após o armazenamento de água para consumo humano. Dentro deste prisma, fica evidente que a cisterna é uma excelente fonte de manter a quantidade de água. Porém, a péssima qualidade da água, mostra-se que a concepção das cisternas como estão implantadas necessita de mudança urgente capaz de modificar esse quadro de contaminação das águas acumuladas nas mesmas.

Diante destes resultados obtidos em águas acumuladas em cisternas, comprova-se que as mesmas não estão adequadas para o consumo humano, sendo assim, é preciso uma ação, mas presente da vigilância sanitária municipal de forma que promova uma conscientização da comunidade para o uso de uma água que seja potável, como também uma orientação adequada para a utilização de agentes químicos que efetue a desinfecção das águas.

Em razão da não potabilidade da água de cisterna, é preciso que sejam realizadas ações de forma que garanta a qualidade da água armazenada, pois apenas ter o acesso à água independente de a mesma ser própria ou não ao consumo humano pode gerar danos irreparáveis a saúde pública.

Diante desse contexto, mostra-se a fragilidade do sistema nacional em garantir a saúde aos cidadãos brasileiros. Mesmo com todas as adversidades que existem nas comunidades difusas ou nas soluções alternativas de abastecimento, a constituição federal art. 196 garante a todos sem promover diferenças sociais, econômicas e geográficas, “A saúde é direito de todos e dever do Estado, garantido mediante políticas sociais e econômicas que visem à redução do risco de doença e de outros agravos e ao acesso universal igualitário às ações e serviços para sua promoção, proteção e recuperação”.

#### **4.3.4 - Avaliação da presença de alumínio na água de cisternas**

Em sua maioria as cisternas são revestidas internamente com argamassa de cimento sem nenhuma impermeabilização. Por esta razão, foi avaliada a presença de alumínio nas águas acumuladas em cisternas que pode ser provenientes da argamassa do cimento utilizado na construção das mesmas. Tendo em vista o pH relativamente baixo da água de chuva, esta pode ser agressiva ao concreto e potencializar a liberação de metais como o alumínio, comprometendo a qualidade das águas armazenadas nas cisternas. Outro fator que pode contribuir para liberação do

alumínio é a técnica utilizada na construção das cisternas de baixo custo que muitas vezes é feita com mão de obra local, sem atendimento as normas técnicas para construção de reservatório utilizado para armazenar água para consumo humano, a falta de critérios na construção pode favorecer o desgaste das mesmas rapidamente facilitando a liberação do referido metal.

Atualmente, diversas manifestações neurológicas estão sendo associadas à intoxicação pelo acúmulo de alumínio no corpo humano, podendo ser citada a perda de memória, tremores, espasmos, enfraquecimento da coordenação motora, movimentos lentos, perda de entusiasmo e convulsão generalizada como sintomas de epilepsia (Zatta et. Al.; 1991). Segundo Kawahara et al., (2001), recentes estudos epidemiológicos, neuropatológicos e bioquímicos têm verificado que é possível uma ligação entre a neurotoxicidade do alumínio e a patologia Mal de Alzheimer.

Na Figura 34 mostra o estudo efetuado em dezoito cisternas, em catorze cisternas verifica-se que as águas analisadas estão acima do padrão estabelecido pela Portaria N° 518/04 do MS (BRASIL, 2004), a qual determina que a concentração de alumínio não ultrapasse 0,2 mg/L. As cisternas 1, 12 e 15 merecem uma maior atenção uma vez que mostra valores elevados cerca de quatro vezes superior ao padrão permitido.

Com este fato da liberação de alumínio nas cisternas a utilização de cloro em cisternas com água de acúmulo de chuvas pode agravar mais a dissolução de alumínio, pois com o uso de cloro a água tornará mais ácida consequentemente mais agressiva ao concreto.

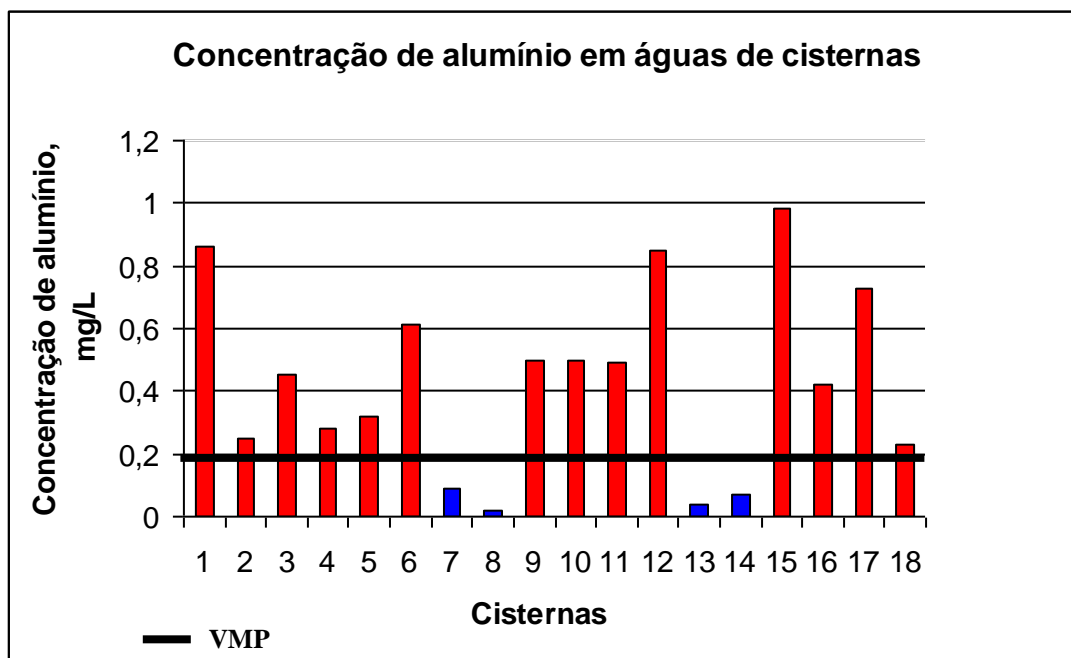


Figura 34 – Concentração de alumínio em águas de cisternas

De acordo com Cardoso em 2005 verificou presença de alumínio nas águas acumuladas que atribuiu este fato a argamassa do cimento e que o aumento da concentração é inversamente proporcional a idade das cisternas, ou seja, quanto mais nova a cisterna maior a liberação de alumínio na água armazenada nas cisternas. **Estes resultados confirmam com os dados obtidos neste trabalho.**

#### **4.4 - Distribuição de água potável na comunidade de Uruçu - Controle e monitoramento da terceira fonte de água**

Como já foi comentado anteriormente as águas disponíveis na comunidade de Uruçu eram oriundas de cisternas acumuladas por água de chuvas ou caminhões pipas, outra fonte disponível eram os barreiros ou açudes, todas essas águas não apresentavam potabilidade colocando em risco a saúde da referida comunidade.

Com objetivo de oferecer água potável a comunidade, foi perfurado um poço artesiano. Após a perfuração do mesmo, realizaram-se análises físico-químicas e bacteriológicas, conforme Tabela 17. Por meio da análise, verificou-se um elevado teor de sais, característica dos terrenos cristalinos, caracterizando assim como água salobra, fazendo-se necessário a implantação de um processo de dessalinização para atingir os padrões exigidos de sais adequados para o consumo humano.

A análise bacteriológica da água do poço artesiano que alimentava o dessalinizador apresentou ausência de bactérias do grupo coliformes.

Objetivando efetuar a remoção dos sais foi instalado na referida comunidade um dessalinizador de osmose inversa. Após a instalação do sistema de dessalinização iniciou-se a distribuição de água potável para todos que residem no sítio de Uruçu.

A Figura 35 mostra o chafariz coletivo que disponibilizava água produzida pelo o sistema de dessalinização.

Tabela 17 – Resultados físico-químicos da água do poço artesiano da comunidade de Uruçu

PARÂMETROS	Água do poço	Água dessalinizada	VMP (*)
Condutividade Elétrica, $\mu\text{mho/cm}$ a 25 °C	14.710,0	424,0	---
Potencial Hidrogeniônico, pH	7,4	7,5	6,5 a 8,5
Turbidez, (uT)	0,1	0,0	1,0 a 5,0
Cor, Unidade Hazen (mg Pt–Co/L).	0,0	0,0	15,0
Dureza em Cálcio, mg/L $\text{Ca}^{++}$	13,0	1,4	---
Dureza em Magnésio, mg/L $\text{Mg}^{++}$	1.174,2	4,0	---
Dureza Total, mg/L $\text{CaCO}_3$	<b>4.925,0</b>	20,0	500,0
Sódio, mg/L $\text{Na}^+$	<b>2.428,7</b>	69,7	200,0
Potássio, mg/L $\text{K}^+$	36,7	1,6	---
Alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ), mg/L	0,00	0,00	0,2
Ferro Total, mg/L	0,01	0,00	0,3
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L $\text{CaCO}_3$	2,0	0,0	---
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L $\text{CaCO}_3$	12,0	0,0	---
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L $\text{CaCO}_3$	0,0	2,0	---
Alcalinidade Total, mg/L $\text{CaCO}_3$	14,0	2,0	---
Sulfato, mg/L $\text{SO}_4^{--}$	<b>361,0</b>	3,5	250,0
Cloreto, mg/L $\text{Cl}^-$	<b>6.727,3</b>	117,2	250,0
Nitrato, mg/L $\text{NO}_3^-$	0,00	1,68	10,0
Nitrito, mg/L $\text{NO}_2^-$	0,02	0,03	1,0
Amônia ( $\text{NH}_3$ ), mg/L	<b>4,80</b>	0,52	1,3
Sílica, mg/L $\text{SiO}_2$	57,0	0,4	---
Total de Sólidos Dissolvidos Secos a 180°C, mg/L	<b>12.642,0</b>	202,5	1.000,0

(\*)VMP - Valor Máximo Permissível ou recomendável pela Legislação Brasileira (PORTARIA 518/04 MS).



Figuras 35 - Vista do chafariz coletivo, solução alternativa de abastecimento de água potável na comunidade de Uruçu

Com a distribuição de água potável, permaneceu-se efetuando o monitoramento bacteriológico da água de distribuída no chafariz e a água coletada nas residências da comunidade utilizadas para beber. A Tabela 18 mostra os resultados microbiológicos das águas distribuídas no chafariz após passar pelo processo de dessalinização.

Verifica-se que na Tabela 18 a água disponível no chafariz para comunidade de Uruçu atende aos padrões microbiológicos sendo apta para consumo humano, conforme está estabelecido nos padrões bacteriológicos da Portaria N° 518/04 do MS (BRASIL, 2004).

Tabela 18 - Resultados bacteriológicos das águas dessalinizada distribuída no chafariz coletivo

<b>Data da coleta</b>	<b>Fonte</b>	<b>Coliformes totais</b>	<b><i>E. coli</i></b>
19-10-2007	Chafariz- torneira 1	<b>Ausência</b>	<b>Ausência</b>
19-10-2007	Chafariz - torneira 2	<b>Ausência</b>	<b>Ausência</b>
19-10-2007	Chafariz - torneira 3	<b>Ausência</b>	<b>Ausência</b>
19-10-2007	Permeado	<b>Ausência</b>	<b>Ausência</b>
08-11-2007	Chafariz- torneira 1	<b>Ausência</b>	<b>Ausência</b>
08-11-2007	Chafariz - torneira 2	<b>Ausência</b>	<b>Ausência</b>
08-11-2007	Chafariz - torneira 3	<b>Ausência</b>	<b>Ausência</b>
08-11-2007	Permeado	<b>Ausência</b>	<b>Ausência</b>
24-01- 2008	Chafariz- torneira 1	<b>Ausência</b>	<b>Ausência</b>
24-01- 2008	Chafariz - torneira 2	<b>Ausência</b>	<b>Ausência</b>
24-01- 2008	Chafariz - torneira 3	<b>Ausência</b>	<b>Ausência</b>
24-01- 2008	Permeado	<b>Ausência</b>	<b>Ausência</b>
08- 05- 2008	Chafariz- torneira 1	<b>Ausência</b>	<b>Ausência</b>
08- 05- 2008	Chafariz - torneira 2	<b>Ausência</b>	<b>Ausência</b>
08- 05- 2008	Chafariz - torneira 3	<b>Ausência</b>	<b>Ausência</b>
08- 05- 2008	Permeado	<b>Ausência</b>	<b>Ausência</b>

Em termos físico – químicos a água distribuída no chafariz está dentro das exigências da Portaria N° 518/04 do MS (BRASIL, 2004), como mostra a Tabela 17 na coluna do permeado.

Após a disponibilização de água potável, realizaram-se diversas coletas de água consumida pelos moradores de Uruçu. Verificou-se que a mesma após a sua conservação nas residências, em alguns casos se deteriorava, conforme apresentado na Tabela 19. Devido principalmente as

condições de higiene desta população que são bastante precárias necessitando de uma conscientização no sentido de manter assepsia doméstica.

Analisando os tipos de fontes de águas consumidas após a produção de água dessalinizada que estão demonstrados na Tabela 19 e na Figura 36 percebe-se que 46% dos moradores continuaram consumindo água de cisterna ou outras fontes de água que não era proveniente do sistema de dessalinização e apenas 54% preferiu consumir água dentro dos padrões de potabilidade.

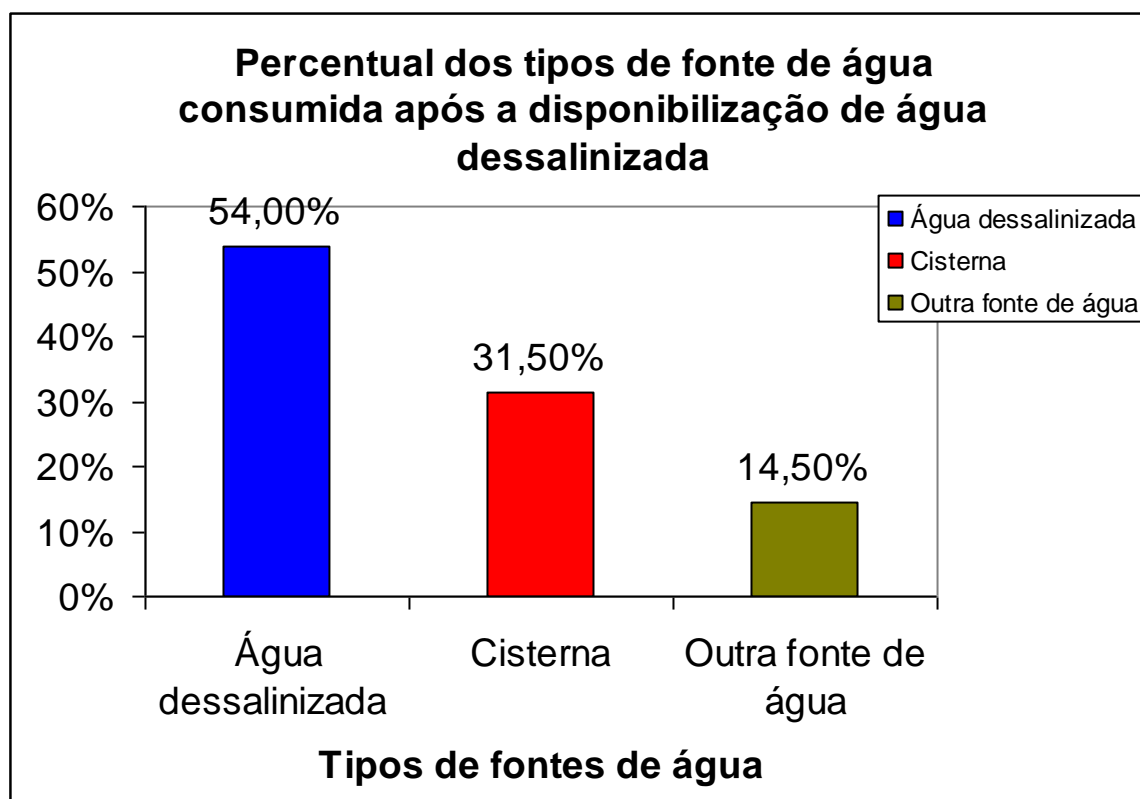


Figura 36 – Percentual dos tipos de fontes de água consumida após a disponibilização da água



Tabela 19 - Resultados bacteriológicos das águas consumidas pelos moradores de Uruçu após disponibilização da água dessalinizada

Residências	Coliformes totais	<i>E.coli</i>	Procedência
01	X	-	S. de dessalinização
02	Não fez coleta		
03	X	X	Cisterna
04	X	-	Outra fonte de água
05	X	X	S. de dessalinização
06	X	X	S. de dessalinização
07	X	-	S. de dessalinização
08	X	X	Outra fonte de água
09	X	X	Cisterna
10	X	X	S. de dessalinização
11	X	X	Outra fonte de água
12	-	-	S. de dessalinização
13	x	-	Cisterna
14	Não fez coleta		Cisterna
15	X	-	S. de dessalinização
16	X	X	Cisterna
17	-	-	S. de dessalinização
18	Não fez coleta		
19	Não fez coleta		
20	X	-	S. de dessalinização
21	Não fez coleta		
22	X	X	Cisterna
23	X	-	S. de dessalinização
24	-	-	Cisterna/exercito
25	X	-	S. de dessalinização
26	X	-	S. de dessalinização
27	X	-	S. de dessalinização
28	-	-	Outra fonte de água
29	X	-	S de dessalinização
31	X	-	Cisterna
32	X	X	Açude
33	Não fez coleta		
34	X	-	S. de dessalinização
35	X	X	Cisterna
36	X	X	Cisterna
37	X	-	Cisterna
38	-	-	S. de dessalinização
39	Não fez coleta		
40	X	-	S. de dessalinização
41	X	-	S. de dessalinização
42	-	-	S. de dessalinização

O fato da preferência por água de cisterna deve-se aos seguintes motivos:

- A longa distância das residências até o chafariz, dificultando o transporte da água potável;
- A preferência pela água de cisterna ou barreiro, justificando que a mesma é mais saborosa que a água dessalinizada.

Dos resultados obtidos tem-se que 33,33% das amostras coletadas apresentaram contaminação por *E. coli*, este valor alto de contaminação ainda se deve ao consumo de água imprópria. Todavia, ocorreu uma redução significativa do percentual da presença de *E. coli*, como mostra na Figura 37, devido ao consumo de água dessalinizada, a qual atende aos padrões de potabilidade. Quando comparamos os resultados entre as águas de cisternas acumuladas no período de chuva com as águas consumidas a partir do momento da disponibilização de água dessalinizada tem-se um decréscimo de mais de 50% de contaminação por *E. coli*. Desta forma, já percebe que a comunidade obteve um ganho em termos de qualidade de vida, pois o fato de consumir água potável reduz os riscos em adquirir doenças de veiculação hídricas.

Ressaltando que, dos 33% de contaminação por *E. coli*, 9% são de águas oriundas do sistema de dessalinização, as quais foram contaminadas em razão do manuseio no transporte, do armazenamento inadequado, da falta de assepsia nos recipientes que armazenam a água e as condições de higiene precárias de alguns moradores. Nas Figuras 38 e 39 observa-se a forma errônea de transportar água pelos moradores de Uruçu.

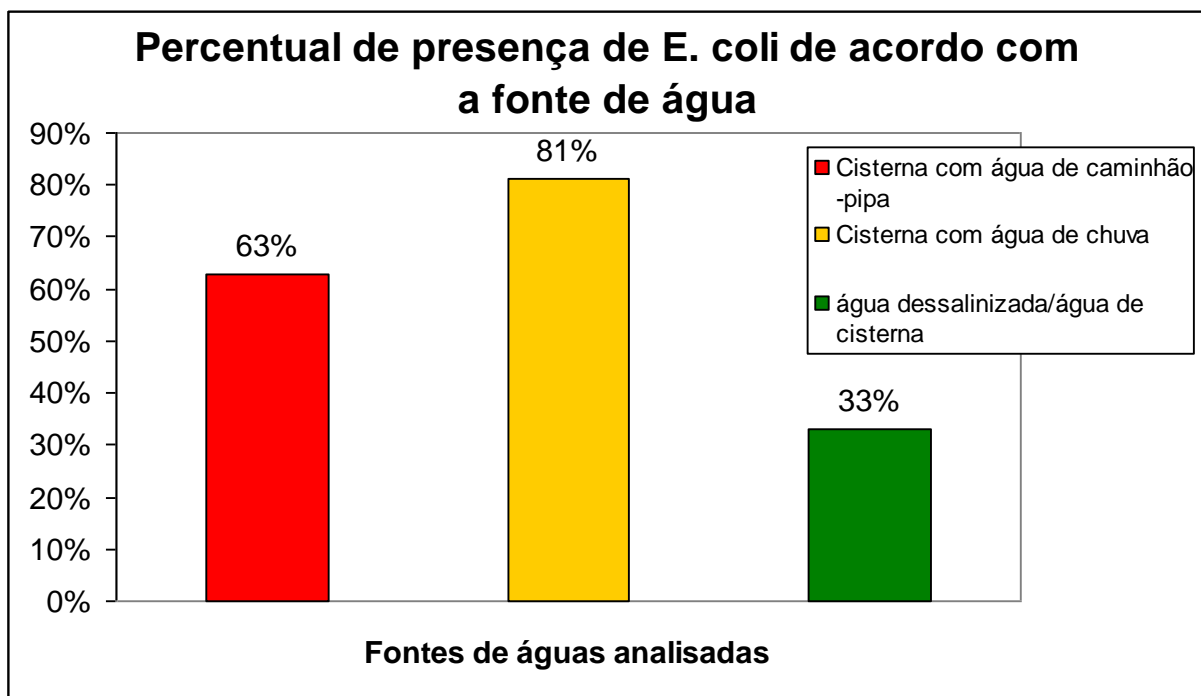


Figura 37 – Comparação dos índices de contaminação por *E.coli* nas fontes de águas analisadas da Comunidade de Uruçu

Analisando ainda os dados da Tabela 19, percebe-se um valor elevado de coliformes totais nas águas analisadas, isto se deve ao tempo de armazenamento longo favorecendo a formação de biofilme nas paredes dos recipientes, a falta de assepsia nos filtros e potes causando a proliferação de coliformes totais.

Faz se necessário uma ressalva que, a contaminação por coliformes totais com ausência de *Escherichia coli*, mesmo não sendo um bom parâmetro sanitário, mas se torna menos ofensivo, já que, o potencial de transmissão de doenças hídricas aumenta quando ocorrem à presença de bactérias de origem fecais.



Figura 38 – Transporte de água dessalinizada em recipientes inadequados



Figura 39 – Água dessalinizada exposta à contaminação

Com a finalidade de promover uma conscientização na comunidade de Uruçu frente ao perigo que água pode trazer a saúde e gerar melhores hábitos de educação doméstica foi ministrado um curso para todos da comunidade. Intitulado de: “*Conservação de água para consumo humano*”.



Figura 40 - Participação da comunidade de Uruçu durante o curso

O curso teve duração de quatro horas, esteve presente um total de 53 pessoas. A Figura 40 mostra os participantes que assistiram o curso. De cada família da comunidade, estava participando no mínimo um representante. O curso foi ministrado por mim, durante o curso foi enfatizada a questão de como obter as melhores condições de higiene, com o intuito de conscientizar que a água é um meio de veiculação de doenças caso seja consumida água contaminada ou que não seja mantida as condições de higiene e sanitárias adequadas. Dessa forma, espera-se uma melhora na

qualidade de vida destas pessoas, já que as mesmas já tinham acesso à água potável e com as orientações das práticas necessárias para conservar a qualidade da água.

Durante o curso foi entregue uma cartilha aos participantes contendo as orientações apresentadas durante o curso.

Após o curso, foi novamente realizado coletas das águas consumidas pela comunidade de Uruçu, nas quais foram efetuadas as análises microbiológicas, cujos resultados estão apresentados na Tabela 20.

Observou-se que o percentual de pessoas consumido água dessalinizada aumentou para 76,5%, como mostra a Figura 41. Outro ponto positivo foi à redução acentuada da contaminação por *E. coli*, atingindo apenas um percentual de 11,75% das 35 amostras analisadas, como mostra a Figura 42. É importante relatar que 73% desta contaminação por *E.coli* é devido ao consumo de águas acumuladas em cisternas.

Com este resultado é possível afirmar que o risco da comunidade de Uruçu em adquirir doenças foi drasticamente diminuído em função da disponibilização de água potável e a conscientização do benefício que traz em termos de qualidade de vida o consumo de água dentro dos padrões de potabilidade.

Durante os nove meses de avaliação da água consumida pela comunidade de Uruçu, verificou-se através dos resultados bacteriológicos que o número de amostras contaminadas por *Escherichia coli* diminuiu consideravelmente, como pode observar na Figura 45. Pois, conforme apresenta a mesma percebe-se que o índice de contaminação decresceu de 81% que foi o maior valor de contaminação obtido durante todo o monitoramento para 11,75% e que ainda obteve-se esse valor pela a intransigência de alguns moradores em não consumir água dessalinizada. Porém, sabe-se é preciso um trabalho mais árduo no sentido de modificar alguns hábitos culturais que favorece a contaminação das águas nas residências.

Com esses resultados fica evidente que a disponibilização de água dessalinizada é uma opção segura de abastecimento de água para consumo humano nas chamadas *soluções alternativas de abastecimento*.

Tabela 20 - Resultados bacteriológicos das águas consumidas pelos os moradores de Uruçu após curso de conscientização

<b>Residências</b>	<b>Coliformes Totais</b>	<b><i>E. Coli</i></b>	<b>Procedência</b>
01	X		S.dessalinização
02	X		S.dessalinização
03	X	X	Cisterna
04	X		S.dessalinização
05	X		S. dessalinização
06	X		Cisterna
07	X		S. dessalinização
08	X		Outra fonte de água
09	X	X	Cisterna
10	X	X	S.dessalinização
11	X		Outra fonte de água
12	Não fez coleta		
13	Não fez coleta		
14	-	-	Cisterna
15	X		S.dessalinização
16	X		S.dessalinização
17	X		S.dessalinização
18	X		S.dessalinização
19	X		S.dessalinização
20	Não fez coleta		
21	Não fez coleta		
22	X	X	Cisterna
23	X		S.dessalinização
24	X		S.dessalinização
25	X		S.dessalinização
26	-	-	S.dessalinização
27	X		S.dessalinização
28	X		Outra fonte de água
29	X		S.dessalinização
30	-	-	S.dessalinização
31	X		S.dessalinização
32	X		S.dessalinização
33	-	-	S.dessalinização
34	Não Fez Coleta		
35	Não Fez Coleta		
36	X		Cisterna
37	X		S.dessalinização
38	X		S. dessalinização
39	X		S.dessalinização
40	X		S.dessalinização
41	X		S.dessalinização

A Figura 41 mostra como ficou distribuído o consumo de água conforme a fonte de água escolhida pelos os moradores de Uruçú após o curso de conscientização.

Observa-se que aproximadamente 80% da comunidade supra citada preferiu consumir água dessalinizada. Cabe ressaltar que, o restante em sua grande maioria não estava consumindo água do dessalinizador em razão da longa distância entre o chafariz e suas residências.

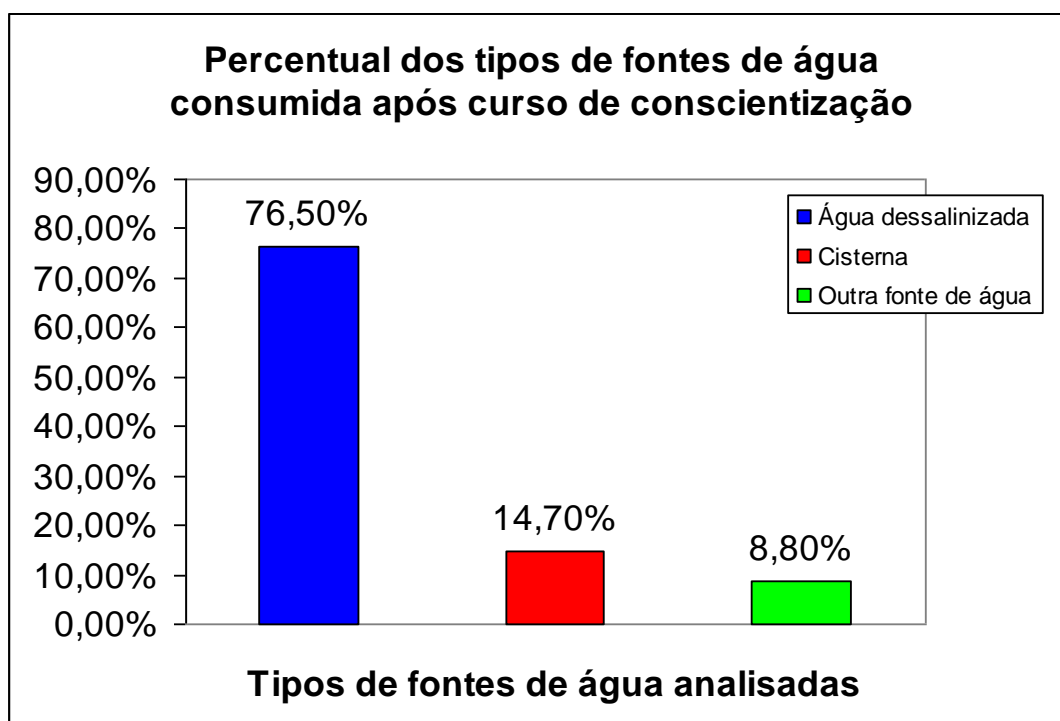


Figura 41 - Percentual dos tipos de fontes de águas consumida pela comunidade de Uruçú após curso “conservação de água para consumo humano”

É salutar comentar que a água dessalinizada que estava disponível não tinha nenhum custo para os seus consumidores, todo o recurso foi custeado pelo o projeto: “Água - fonte de alimento e renda – Uma alternativa sustentável para o Semi – árido”, que tem como órgão financiador a Petrobras.

Apesar de ter obtido uma melhora significativa na contaminação por *Escherichia coli*. Porém, verificou-se que em várias amostras ocorreu a presença de coliformes totais, como se sabe esse tipo de contaminação pode ser pelo longo tempo de armazenamento, saliva, contato com insetos, falta de assepsia no manuseio da mesma, mistura de água de cisterna com água

dessalinizada, falta de limpeza nos filtros e potes, a possível formação de biofilmes nos recipientes, entre outros fatores.

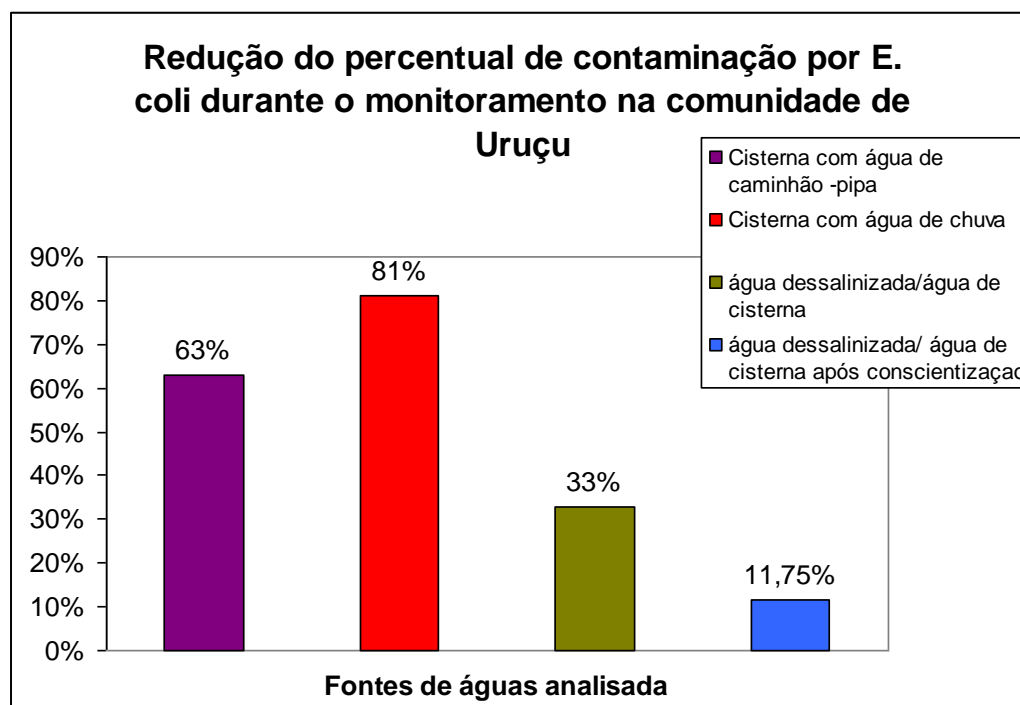


Figura 42 - Redução dos índices de contaminação por *E.coli* nas fontes de água da Comunidade de Uruçu durante o período de nove meses

No entanto, a contaminação de coliformes totais com ausência *Escherichia coli* é tolerada para as formas de abastecimento que não possuem rede de abastecimento quando a fonte de abastecimento é proveniente de poços artesianos. Visto que, a *Escherichia coli* é considerada o mais específico indicador de contaminação fecal recente, e de eventual presença de organismos patogênicos, indicando assim que a presença da contaminação por coliformes totais é um sinal de alerta. Mostrando com isso a necessidade de um melhor acondicionamento da água nas residências de maneira que se mantenha a qualidade da água.



## 4.5-Desinfecção química

### 4.5.1 - Acompanhamento da desinfecção química em cisternas

Na comunidade de Uruçu dentre todas as cisternas monitoradas, apenas uma tinha aplicação de cloro constantemente. A cloração era realizada por meio de hipoclorito de sódio a 2%. As análises bacteriológicas das amostras coletadas nesta cisterna específica verificou-se ausência de coliformes totais, como mostra a Tabela 21.

Outras cisternas também se efetuavam a cloração. Porém, não era realizada de forma correta, ou seja, a cloração era feita de maneira esporádica ou na dosagem inadequada não mantendo o residual de cloro livre, favorecendo com isso a contaminação da água acumulada nas cisternas. Todavia, evitou-se a contaminação por *E. coli*, como esta apresentado na Tabela 21, pois só ocorreu apenas a presença de coliformes totais, diminuindo o risco de contrair doenças e a proliferação de insetos que venham usar a água como meio para se desenvolverem, como por exemplo, o vetor da dengue.

Entretanto, a cloração em águas que apresentem matéria orgânica promove à formação de subprodutos nocivos a saúde, como os THMs. Pois, as águas acumuladas em cisternas são de procedência duvidosa, já que a boa parte do ano as cisternas são abastecidas por caminhão pipas, os quais não têm garantia da qualidade da água fornecida.

Alguns moradores foram questionados sobre a potabilidade da água que estavam comprando dos caminhões pipas e não sabiam afirmar se a mesma era tratada e própria para consumo humano. Logo, a cloração nestas águas deve ser efetuada com cautela, visto que, poderá acarretar a longo prazo problemas sérios de saúde e muitas vezes irreversíveis.

Tabela 21 - Resultados bacteriológicos das cisternas com cloração

Cisterna	RESULTADOS					
	Sem chuvas		Com chuvas		Após as chuvas	
	C. totais	<i>E.coli</i>	C. totais	<i>E.coli</i>	C. totais	<i>E.coli</i>
A*	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência	Ausência
B**	Ausência	Ausência	Presença	Ausência	Presença	Ausência

\* Cisterna com cloração constante.

\*\* Cisterna com cloração periódica.

#### **4.5.2 - Desinfecção química no chafariz**

A água dessalinizada é acumulada num reservatório de distribuição, no qual deve efetuar uma cloração com o intuito de manter a qualidade da água evitando uma possível contaminação e em cumprimento com as exigências da Portaria de potabilidade da água.

A cloração como já foi comentado é o processo seguro e mais econômico para impedir contaminação microbiológica da água. Evidente que a desinfecção por meio do cloro possibilita alguns inconvenientes como: formação de trihalometanos, que dependerá da carga orgânica presente na água, forte sabor que transmite a água, tempo residual curto, influencia de pH na eliminação de microrganismos.

Na comunidade de Uruçu em específico foi inicialmente efetuado a desinfecção por meio hipoclorito de cálcio, mantendo-se um cloro residual total de 0,5 mg/L. Quando iniciou-se a cloração houve grande rejeição por parte da comunidade, em razão do sabor.

Desta forma, foi cessada a cloração, iniciando a desinfecção por meio do dióxido de cloro que não oferece sabor a água e não forma tanto subprodutos indesejáveis como cloro, podendo ter como subproduto que causa dano a saúde, o clorito, porém sua formação ocorre quando se utiliza dosagens elevadas.

A desvantagem do dióxido de cloro frente ao cloro é seu elevado custo e o tempo reduzido de manter o residual desinfetante, bem menor que o residual mantido pelo cloro. Porém, como o consumo é bastante pequeno, o valor gasto com a desinfecção é bastante irrisório. Assim sendo, está se mantendo uma dosagem de 0,5 ml/L de dióxido de cloro.

#### **4.6 - Impacto do tipo de água consumida na saúde dos moradores de Uruçu.**

Por meio dos dados fornecidos pela Secretaria de Saúde do Município verifica-se que o período que ocorreu uma maior quantidade de casos de diarreia foi durante o período das chuvas, reforçando assim os resultados bacteriológicos que apresentaram maior incidência de por *Escherichia coli*. Desta forma, pode-se afirmar que a possível causa dos casos da diarreia foi em razão da contaminação na água. A figura 43 apresenta os casos de diarreia registrados na Secretaria de Saúde durante o período que estava analisando a água da comunidade de Uruçu.

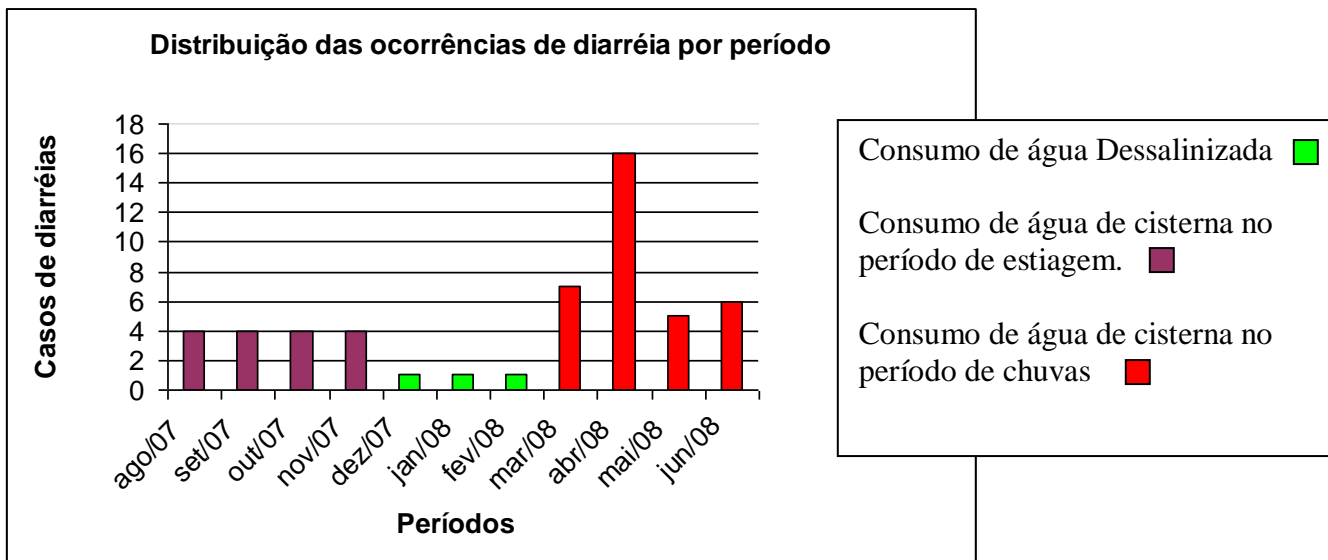


Figura 43 – Distribuição das ocorrências de diarreia por período

Fonte: Secretaria de Saúde do Município de São do Cariri – 25/08/08.

#### 4.7 – Custo com água para consumo humano

Dentro deste prisma de água para consumo humano é importante relatar o custo para ter acesso à água para fins de consumo. O valor do  $m^3$  para as águas fornecidas pelo caminhão pipa foi informado pelos fornecedores de água de caminhão - pipa, admitindo a compra na comunidade de Uruçu, o custo por cada  $8 m^3$  é de R\$ 70,00 (setenta reais), ou seja, o preço por  $m^3$  é de R\$ 8,75 (oito reais e setenta e cinco centavos). Salientando, que os caminhões pipa são abastecidos com água provenientes de açudes sem tratamento.

O valor do  $m^3$  supondo tarifa social cobrado pela Companhia de água e esgoto da Paraíba (CAGEPA) é de R\$ 1,12 (um real e doze centavos), ou seja, quase dez vezes menor o valor cobrado pelos fornecedores do caminhão – pipa. Enfatizando que a água fornecida pela CAGEPA é uma água que atende aos padrões de potabilidade exigido.

Avaliando o custo do  $m^3$  produzido pelo um sistema de dessalinização por Osmose inversa que varia entre R\$ 0,70 a 1,0 reais, valor este que se torna mais acessível que o preço cobrado por cada  $m^3$  proveniente do caminhão – pipa.

A Tabela 22 mostra o valor por  $m^3$  de cada fonte de água e verifica-se que o mercado dos caminhões pipas é uma prática abusiva. Uma vez que, além de fornecer água imprópria para

consumo humano, cobra um valor exorbitante pelo  $m^3$  fornecido. Diante desta situação, só comprova como é dramática a situação das populações das comunidades difusas que não têm acesso à água potável. Pois, como se sabe a renda média dessas famílias é de R\$ 415,00 que corresponde a um salário mínimo por mês, assim o custo para ter água proveniente de caminhão – pipa corresponde aproximadamente 17% da renda mensal, que compromete o orçamento familiar.

Tabela 22 – Custo do  $M^3$  das fontes de água.

<b>Fonte de Água</b>	<b>Custo/<math>m^3</math> – R\$</b>	<b>Atendimento aos padrões de potabilidade</b>
Caminhão - pipa	<b>8,75</b>	<b>Não</b>
CAGEPA	<b>1,12</b>	<b>Sim</b>
Água dessalinizada	<b>0,70 – 1,0</b>	<b>Sim</b>

## Capítulo V

### Conclusões

- As águas dos poços artesianos analisados dos Estados da PB, SE e AL, que são utilizadas como fonte de abastecimento para consumo humano, apresentaram elevada contaminação de origem fecal, em razão da má localização dos mesmos permitindo infiltração de esgotos domésticos, da ausência de desinfecção periódica e de construção deficiente.
- O Estado que apresentou maior contaminação por *E. coli* nas águas de poços artesianos no âmbito das localidades estudadas foi o de Alagoas.
- Os filtros de acetato de celulose não apresentaram resultados satisfatórios para remoção de bactérias.
- As membranas de microfiltração necessitam da realização de limpeza química periodicamente para remover a matéria orgânica e microrganismos retidos impedindo que os mesmos passem para a corrente de água permeada.
- As membranas de microfiltração podem ser utilizadas com sucesso para desinfecção física de águas para consumo humano que apresentam contaminação por *E. coli*, nas condições deste trabalho.
- As membranas de microfiltração mostraram extraordinário desempenho para remoção de microrganismos quando utilizadas como pré - tratamento físico em sistemas de dessalinização por osmose inversa, evitando com isso a formação de incrustação orgânica nos módulos de membranas do dessalinizador.
- As águas acumuladas nas cisternas durante o período de estiagem mostraram que 63% das cisternas analisadas apresentaram contaminação por *E. coli* e apenas 7,9% apresentaram ausência de bactérias do grupo coliforme.

- Os parâmetros físico-químicos cor, turbidez e pH medidos nas águas de cisternas no período de estiagem comprovaram que a maioria delas não atendem a recomendação da Portaria N° 518/04 comprometendo o processo de desinfecção e a qualidade microbiológica da água.
- As águas armazenadas nas cisternas durante o período de chuvas apresentaram uma contaminação por *E.coli* de 81%.
- Conclui-se que, as águas acumuladas nas cisternas durante o período de precipitação pluviométrica a qualidade microbiológica das águas é mais comprometida devido o aumento de contaminação por bactérias de origem fecal.
- Aproximadamente 80% das águas acumuladas nas cisternas apresentaram concentração de alumínio acima do valor máximo permitido pela Portaria N° 518/04 do MS (BRASIL, 2004).
- Conclui-se que as águas de cisternas apresentam elevada vulnerabilidade de contaminação em razão da precariedade de armazenamento, a utilização de recipientes inadequados para coleta de água, mau localização, ausência de cloração, facilidade de infiltração, técnicas de construção imprópria para armazenar água para consumo humano, entre outros fatores.
- A água dessalinizada atendeu aos padrões de potabilidade preconizados pela Portaria N° 518/04 do MS (BRASIL, 2004).
- Com a disponibilização de água dessalinizada em chafariz coletivo o índice de contaminação das águas consumidas pela comunidade de Uruçu foi de 11, 5% , obtendo-se uma melhoria significativa, pois quando tem – se abastecimento apenas por cisterna o índice de contaminação por bactéria de origem fecal varia de 63% a 81%.
- O trabalho de conscientização sobre a qualidade da água para a comunidade contribui positivamente na qualidade microbiológica da água.

- O acesso à água dessalinizada por meio do chafariz coletivo juntamente com a orientação sobre como manter a qualidade da água colabora com a diminuição do risco de adquirir doenças de veiculação hídrica.
- Dentre as soluções alternativas de abastecimento em comunidades difusas analisadas a água dessalinizada disponibilizada em chafariz coletivo apresentou ser a fonte de água mais segura para consumo humano.

## Capítulo VI

### Perspectivas

Para futuros trabalhos sugerem-se os seguintes estudos:

Realizar estudo epidemiológico nas comunidades difusas que consomem água que não atendem aos padrões de potabilidade;

Realizar as análises bacteriológicas com quantificação de bactérias com a finalidade de avaliar o grau de contaminação das fontes de água analisada;

Efetuar pesquisas de organismos patogênicos como *Giárdia*, *Entamoeba histolytica*, *Cryptosporidium Parvum* e de vírus entéricos nas águas de cisternas;

Estudar a construção de cisterna que minimizem as contaminações bacteriológicas com a implantação de um sistema drenagem e a instalação de um processo de filtração lenta para as águas que irão ser acumuladas na mesma;

Estudar a causa com relação a liberação excessiva do metal alumínio nas cisternas;

Efetuar a impermeabilização das cisternas e avaliar a presença de alumínio;

Analisar o impacto com a elaboração de cursos para conservação de águas para consumo humano em comunidades difusas para os agentes de saúde;

Estudar o impacto com a elaboração de cursos para conservação de águas para consumo humano em comunidades difusas para as professoras e alunos nas comunidades difusas;

Elaborar um cadastramento dos caminhões – pipas que são utilizados para fornecer água para consumo humano com o intuito de evitar a distribuição de água fora dos padrões de potabilidade.



Estudar a implantação de um sistema de desinfecção química nas águas de consumo para as comunidades difusas.

## Capítulo VII

### Referência Bibliográfica

1. AMJAD, Z. (Ed.) *Reverse Osmosis: membrane technology, water chemistry, and industrial applications*. by Van Nostrand Reinhold, 1992. 222 p.
2. AMORIM, M. C. C; PORTO, E. R. Avaliação da qualidade bacteriológica das águas de cisternas: estudo de caso no município de Petrolina – PE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA NO SEMI-ÁRIDO, 3., 2001, PETROLINA, Anais. Petrolina, Associação Brasileira de captação de água de chuvas no Semi-árido, 2001. (CD-ROM).
3. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENTAL FEDERATION (WEF). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 19th. ed. Washington, DC: APHA, 1995.
4. ARNAL, J. M. *Desing and construction of water potabilization membrane facility and its application to the third world countries: preliminary tests*. *Desalination*, v. 145, p. 305 – 308, 2002.
5. AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *Panorama da qualidade das águas subterrâneas do Brasil*. Brasília, DF, 2005. 73 p. (Cadernos de Recursos Hídricos).
6. BANCO MUNDIAL. *La Ordenación de los recursos hídricos*. Washington, D.C, 1994. 158 p.
7. BARBA, D.; CAPUTI, P.; CIFONI, D. Drinking water suplí in italy. *Desalination*, v. 113, p. 227 – 281, 1997.
8. BASTOS, R. K. X. et al. *Coliformes como indicadores da qualidades da água: alcance e limitações*. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27, 2000, Porto Alegre. Anais. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000. (CD-ROM).
9. BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. *Comentários sobre a Portaria MS n.º 518/2004: subsídios para implementação*. Brasília: Ministério da Saúde, 2005. 92 p.: il. – (Série E. Legislação em Saúde). Disponível em: <www.saude.gov.br/svs>. Acesso em: 03 mar. 2008.
10. BENTAMA, J. et al. Technological innovation for the production of drinking water by processes. *Dessalination*, v. 168, p. 283 – 286, 2004.

11. BERGMAN, R. A. *Membrane processes*. Chapter 13, Treatment plant desing. 4th. ed. McGaw Hill Handbooks. American Water Works Association and American Society of Civil Engineers: New York, 2005.
12. BRASIL. Ministério da Saúde. *Aprova normas e o padrão de potabilidade da água destinada ao consumo humano, a serem observados em todo Território Nacional*. Portaria n. 36, de 19 de janeiro de 1990, Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 23 de janeiro de 1990.
13. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). *Dispõe sobre a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional*. Resolução CONAMA n. 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 18 de março de 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port>>. Acesso em: 3 mar. 2008.
14. BRASIL. Ministério da Saúde. *Estabelece os procedimentos e responsabilidade relativa ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências*. Portaria n. 518, de 25 de março de 2004. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 26 de março de 2004. Disponível em: <<http://www.saude.gov.br/svs>>. Acesso em: 3 mar. 2008.
15. BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. *Inspeção sanitária em abastecimento de água*. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2007. 84 p. (Série A. Normas e Manuais Técnicos). Disponível em: <<http://www.saude.gov.br/svs>>. Acesso em: 3 mar. 2008.
16. BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. *Manual de procedimento de vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano*. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2006. 286 p. (Série A. Normas e Manuais Técnicos). Disponível em: <<http://www.saude.gov.br/svs>>. Acesso em: 3 mar. 2008.
17. BENNETT, P. B. *Scale and deposit control for reverse osmosis systems*. Membrane Technology Conference Proceedings, AWWA, New Orleans, LA, pp. 691-693, 1996.
18. BRISCOE, J. Abastecimento de água y servicios de saneamiento: su función em la revolución de la supervivencia infantil. *Boletín de la Sanitaria Panamericana*, v. 103, n. 4, 1987. apud HELLER, L. Saneamento e saúde. Brasília: OPAS, 1997. 97 p.
19. BORSOI, F. M. Z.; TORRES, A. D. S. *A política de recursos hídricos no Brasil*. BNDES, 2000.
20. BOSCH A. Human enteric viruses in water environmental: a minireview. *International Microbiology*, v. 1, p. 191 – 196, 1998.

21. CAIRNCROSS, S.; FEACHEM, R. G. *Environmental health engineering in the tropics: an introductory text*. Chichester: J. Wiley & Sons, 1990. 283 p. apud HELLER, L. *Saneamento e saúde*. Brasília, OPAS, 1997. 97 p.,
22. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO BÁSICO (CETESB). *Técnica de abastecimento e tratamento de água*. 2 ed. rev. São Paulo: 1987.
23. COHN, P. D.; COX, M.; BERGER, P. S. Health and aesthetic aspects of water quality. In: AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (Ed.). *Water quality and treatment*. 5th. ed. New York: McGraw-Hill, 1999. 1248 p.
24. CRAUN C. F. *La calidad del agua potable en América Latina: ponderación de los riesgos microbiológicos contra los riesgos de los subproductos de la desinfección química*. Washington. DC: OPAS, 1996.
25. CARDOSO. M. P; SILVA, C. V.; PÁDUA, V. L. Captação de água de chuva em cisternas, verificação da potencial liberação de alumínio e seu efeito sobre a saúde. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., Campo Grande, 2005.
26. CERQUEIRA, D. A. et al. *Perfis de ocorrência de coliformes termotolerantes e Escherichia coli em diferentes amostras de água*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., Rio de Janeiro., 1999.
27. CHORUS, I.; BARTHAM, J. *Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management*. London: E & FN Spon, 1999. 416 p.
28. CRUZ. W. B.; MELO, F. A. *Estudos geoquímicos preliminares das águas subterrâneas do Nordeste do Brasil*. SUDENE, 1974. (Série Hidrológica v. 19).
29. DANIEL, L. A. (Coord.). *Métodos alternativos de desinfecção da água*. São Carlos, SP, 2001. (Projeto PROSAB).
30. DHARMAPPA, H. B; HAGARE, P. Economic analysis and design of crossflow microfiltration for treatment systems. *Desalination*, v. 121, p. 1 – 11, 1999.
31. DELGRANE, N. et al. Modelling of ultrafiltration fouling by neural network. *Desalination*, v. 118, 213 - 227, 1998.
32. DEPARTMENT OF HEALTH AND SOCIAL SECURITY (DHSS). *The bacteriological examination of drinking water supplies (Report 71)*. Methods for the examination of waters and associated materials. London, 1982. 122 p.
33. EBRAHIM, S. et al. Microfiltration system as a pretreatment for RO units technical and economic assessment. *Desalination*, v. 109, p. 165 - 175, 1997.

34. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). *Membrane filtration guidance manual*. Office of drinking water. Washington: USEPA, 2003.
35. FRANÇA, K. B. Aplicação da Osmose Inversa em Dessalinização. Escola Latino América de Membranas e Processos com Membranas, 2., Campina Grande, 2007.
36. FREITAS, M. B.; \_\_\_\_\_, C. M. *A vigilância da qualidade da água para consumo humano: desafios e perspectivas para o Sistema Único de Saúde. Ciência e Saúde Coletiva*, Rio de Janeiro, v. 10, n. 4, p. 993 – 1004, 2005.
37. GHEYI, H. R.; SILVA, L. G. A.; MEDEIROS, J. F. Composição química de águas do cristalino do Nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 3, p. 11 - 17, 1999.
38. HABERT, A. C.; BORGES, C. P.; NÓBREGA, R. *Processos de separação com membranas*, Escola Piloto em Engenharia Química, COPPE/UFRJ – Programa de Engenharia Química, 2006.
39. HILLIS, P. Full scale application of membrane microfiltration in North West Water. Huntington stage 4, provision of an 80 Mld palnt. *Dessalination*, v. 113, p. 267-272, 1997.
40. HILLIS, P. et al. Effects of backwash conditions on out-to-in membrane microfiltration. *Dessalination*, v. 118, p. 197- 204, 1998.
41. HONG, S. K.; MILLER, F. A; TAYLOR, J. S. Assessing pathogen removal efficiency of microfiltration by monitoring membrane integrity. WORLD WATER CONGRESS OF THE INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION (IWA), 2, Paris, 2000. p. 221-227.
42. ISAIAS, N. P. Experience in reverse osmosis pretreatment. *Dessalination*, v. 139, p. 57 - 64, 2001.
43. JACANGELO, J. G.; TRUSSELL, R. R; WATSON, M. Role of membrane technology in drinking water treatment in the United States. *Dessalination*, v.113, p. 119 - 127, 1997.
44. JARROL, E. L.; BINGHAM, A. K.; MEYER, E. A. Effect of chorine on *Giardia lamblia* cyst viability. *Apllied and Environmental Microbiology*, v. 41, p. 483 - 487, 1981.
45. KAPIKIAN, A. Z.; CHANOCK, R. M. Rotaviruses. In: FIELDS, B. N. et al. (Ed.) *Virology*. 3 ed. Philadelphia: lippicoot-Raven, 1996. p. 1657-1708.

46. KAWARA, M.; KATO, M.; KURODA, Y. *Effects of aluminium on the neurotoxicity of primary cultured neurons and on the aggregation of beta- amyloid protein Brain Re.*; 2001.
47. KRAMER, M. H. et al. *Waterborne diseases in Europe. Journal American Water Works Association*, v. 93, n. 1, p. 48 - 53, 2001.
48. LIMA, C. L. S.; BRAZ, V. N.; RIVERA, I. G. Pesquisa de coliformes e estreptococcus fecais em um ambiente protegido. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 4, n. 3, p. 127 -132, 2000.
49. MALLEVIALLE, J.; ODENDAAL, P. E.; WIESNER, M. R. *Water treatment membrane processes*. American Water Works Association Research Foundation. Lyonnaise des Eaux. Water Research Comission of South Africa. Washington, DC: McGraw-Hill, 1996.
50. MEHNERT, D. U. et al. Occurrence of human enteric viruses in sewage and surface waters in the city of São Paulo. *Virus Reviews and Research*, v. 4, p. 123 1999.
51. MEHNERT, D. U.; STEWIEN K. E. *Detection and distribution of rotavirus in raw sewage and creeks in São Paulo, Brazil. Applied and Environnmental Microbiology*, v. 59, p. 345 - 356, 1993.
52. MIERZAWA, J.C.; HESPANHOL, I. *Água na industria: uso racional e reuso*. São Paulo, OFICINA &TEXTOS, p. 147, 2005
53. NAKATSUKA, S.; NAKATE, I.; MIYANO, T. *Drinking water treatment by using ultrafiltration hollow fibber membranes. Desalination*, v. 106, p. 55 – 61, 1996.
54. NEVES, D. P. *Parasitologia humana*. 7. ed. São Paulo: Atheneu, 462 p. 2000
55. NEWMAN, R. D. et al. Environmental sources of *Cryptosporidium* in an urban slum in north–eastern Brazil. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, v. 49, p. 90 – 106, 1993.
56. OLIVEIRA, D. R.; HABERT, A. C.; Borges, C, *Investigação sobre procedimentos das propriedades das membranes, incluindo a adoção de microfiltração por fibra oca*. 2007. f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.
57. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). *Guías para la calidad del agua potable*. 2. ed. Ginebra, 1995. 195 p. (Recomendaciones, 1).
58. PANGLISCH, S. et al. Optimization of operation and cleaning of membranes: results on ultra and microflitration pilot plant investigations to treat reservoir water. *Dessalination*, v. 113, p. 247 – 249, 1997.
59. PAREI AQUI

60. PROSAB.; REDES COOPERATIVA DE PESQUISAS.; *Metodos alternativos de desinfecção de água.*; São Carlos- SP.; 2001
61. PROSAB.; REDES COOPERATIVA DE PESQUISAS.; *Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano.*; Rio de Janeiro.; ABES.; 2006
62. RAMETEKE, P.W., BHATTACHARJEE, S.P., KAIRA., *N Evaluation of coliforms as indicators of water quality in India*, Journal of Applied Bacteriology, n.72, p. 352 – 356, 1992.
63. ROSA M. J. *Separação seletiva de compostos orgânicos de correntes aquosas por ultrafiltração e nanofiltração*, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa, p. 161, 1995.
64. ROSE.,J.B.; *Emerging issues for the microbiology of drinking water*; In: Water Engineering & Management; p 23 – 29; 1990.
65. SCHNEIDER, R. P., and TSUTIYA, M. T., *Membranas filtrantes para o tratamento de água, esgoto e água de reuso*. ABES, 1ª ed., São Paulo, 2001. (CD – ROM)
66. SETTI, A. A., *A necessidade do uso sustentável dos recursos hídricos*, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Ministério do Meio Ambiente e da Amazônia Legal, Brasília, 1994.
67. SILVA. A.C.; HIRSHFELD. M.P.M.; *Ocorrência de Cryptosporidium sp. Em indivíduos com febre diarreias no município de Alfenas, MG.*; Revista Farm. Bioq.; USP, V30, p. 33-37, 1994.
68. SOUSA,S.E.H., *Normalização de sistemas de dessalinização via osmose inversa*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), UFCG, Campina Grande – PB, 2003.
69. TAYLOR,J.S. and JACOBS,E.P., *Reverse osmosis and nanofiltration*. In: Joel Mallevalle et al (eds), Water Treatment Membrane Processes. McGraw Hill, New York, p. 9.1-9.70, 1996.
70. TAVARES, T. M., CARDOSO, D.D., B, W.M.E.D., *Vírus entéricos veiculados por água: aspectos microbiológicos e de controle da água.*, Revista de Patologia Tropical., V 34(2), 2005.
71. TEIXEIRA, R. G.M.M., *Ultrafiltração no tratamento de água para consumo humano.*, Dissertação de mestrado., Universidade nova de Lisboa., Portugal, 2001.
72. USEPA – U.S. Environmental Protection Agency.; - *Guidance manual alternative disinfectants and oxidants*; Washington; EPA, p. 815, 1999.

73. USEPA – U.S. Environmental Protection Agency.; - *Membrane filtration guidance manual*. Office of drinking water, United States Washington. EPA, p. 822, 2003.
74. VAN DER HOEK, J. P. et al. *Treatment: selection of a pretreatment scheme based on fouling characteristics and operating conditions based on environmental impact*. Desalination, p.127 – 89-101, 2000.
75. VON SPERLING, M., *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, p 240, 1995.
76. VROUWENVELDER, J.S. and KOOIJ, D. Van der, *Diagnosis, prediction and prevention of biofouling of NF and RO membranes*. Desalination, vol. 139, p.65-71, 2001.
77. WAGNER, J.; *Membrane Filtration handbook – Pratical tips and hits. Second Edition.*; Osmonics Filtration and Separation Group .; 2<sup>th</sup> Ed. Revision, Minnetonka, p. 10, 2001.
78. WHITE. C.G.; *Handbook of chlorination*; Van Nostrand Reinhold company Inc;; Nova York, p. 965, 1986.
79. WYN-JONES, A. P., SELLWOOD, J.A., Review: *Enteric viruses in aquatic environment.*, J. Appl Microbiol., P.91., 2001.
80. WORLD HEALTH ORGANIZATION.; *Guidelines for drinking water quality.*; 3 ed.; Geneva: WHO. 2004.
81. ZATTA, P. F.; NICOLINI, M.; CORAIN, B.; *Aluminium (III) toxicity and blood – brain barrier permeability*; Aluminium Chemistry, Biology and Medicine; Cortina International, Verona. p. 97 - 112, 1991.



# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)