



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA / UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
PROGRAMA REGIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE

**GESIVALDO JESUS ALVES DE FIGUEIRÊDO**

**AVALIAÇÃO DA PRESENÇA DE ALUMÍNIO NA ÁGUA DO SISTEMA  
DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DA CIDADE DE JOÃO PESSOA E  
GRANDE JOÃO PESSOA NO ESTADO DA PARAÍBA E OS  
POSSÍVEIS RISCOS PARA A SAÚDE DA POPULAÇÃO**



João Pessoa  
2004

**GESIVALDO JESUS ALVES DE FIGUEIRÊDO**

**AVALIAÇÃO DA PRESENÇA DE ALUMÍNIO NA ÁGUA DO SISTEMA  
DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DA CIDADE DE JOÃO PESSOA E  
GRANDE JOÃO PESSOA NO ESTADO DA PARAÍBA E OS  
POSSÍVEIS RISCOS PARA A SAÚDE DA POPULAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA, Universidade Federal da Paraíba, Universidade Estadual da Paraíba em cumprimento às exigências para obtenção de grau de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Carmem L. M. Gadelha

João Pessoa  
2004

Erro!

F475a

Figueiredo, Gesivaldo Jesus Alves de

Avaliação da presença de alumínio na água do sistema de abastecimento público da cidade de João Pessoa e Grande João Pessoa no Estado da Paraíba e os possíveis riscos para a saúde da população /Gesivaldo Jesus Alves de Figueiredo.\_ João Pessoa, 2004.

116p.

Orientadora: Carmem Lúcia Moreira Gadelha

Dissertação (mestrado) – UFPB/CCEN/PRODEMA

1 Meio Ambiente 2 Água – Tratamento 3 Alumínio 4 Saúde Pública.

UFPB/BC

CDU: 504 (043.2)

# **GESIVALDO JESUS ALVES DE FIGUEIRÊDO**

## **AVALIAÇÃO DA PRESENÇA DE ALUMÍNIO NA ÁGUA DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DA CIDADE DE JOÃO PESSOA E GRANDE JOÃO PESSOA NO ESTADO DA PARAÍBA E OS POSSÍVEIS RISCOS PARA A SAÚDE DA POPULAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA, Universidade Federal da Paraíba, Universidade Estadual da Paraíba em cumprimento às exigências para obtenção de grau de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

### **BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Carmem Lúcia Moreira Gadelha - UFPB  
Orientadora

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Cláudia Coutinho Nóbrega - UFPB  
Examinadora

---

Prof. Dr. Hamilcar José Almeida Filgueira - UFPB  
Examinador

Dedico este trabalho à Deus pela força divina, aos meus pais e irmãos pelo apoio nos momentos mais difíceis, e em especial a minha querida Alessandra pelo ilimitado incentivo.

Minha eterna gratidão.

## AGRADECIMENTOS

---

Com alegria, agradeço a **Deus** em primeiro lugar por tudo de bom que proporciona para minha vida, pelo dom da vida e por fazer parte desse mundo maravilhoso e perfeito por Ele criado.

A realização deste trabalho foi fruto da contribuição de um grande número de pessoas que me ajudaram durante o período da pesquisa. Gostaria de agradecer a todos os professores, colegas e amigos. Sei que é impossível citar todos os nomes, porém o farei para aqueles que tiveram participação direta:

- A Professora Carmem Lúcia Moreira Gadelha cuja orientação foi imprescindível para atingir os resultados esperados.
- A minha família que contribuiu para a concretização deste projeto, pelo apoio indispensável dos meus pais e irmãos.
- A todo o corpo docente do PRODEMA pelos ensinamentos; e aos funcionários Saulo e Hélia pela presteza no atendimento às solicitações.
- Aos coordenadores do PRODEMA durante o curso, Prof<sup>a</sup>. Maristela Oliveira Andrade e Prof. Edson Leite Ribeiro.
- Ao Professor Eridon por estar sempre disponível para ajudar, quando foi preciso.
- Ao Prof. Breno Machado e Prof. Antônio Cícero de Sousa pela valiosa colaboração.
- Aos funcionários da UFPB que direta ou indiretamente contribuíram com este projeto. Especialmente a Taysa, Flávio, Severino e André, pelo empenho e disponibilidade.

- Aos pesquisadores do CnPq Taysa e Wamberto pelo apoio e incentivo.
- Aos colegas de mestrado pela convivência agradável durante o curso.
- Ao Laboratório de Saneamento do Centro de Tecnologia da UFPB, coordenado pela Prof<sup>a</sup>. Carmem Gadelha.
- Ao Laboratório de Química Ambiental do Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITP), coordenado por Conceição de Maria Araújo.
- A Companhia de Água e Esgotos da Paraíba – CAGEPA, pela permissão a visitas à ETA de GRAMAME e Pontos de Distribuição.
- Aos Funcionários da CAGEPA, com quem tive alguma comunicação, especialmente, a Ana Carolina, Antônio Batista e Sisenando.
- A Escola Agrotécnica Federal de Sousa – EAFS, pelo apoio institucional.
- A Professora Rosângela Vieira Freire pela valiosa colaboração e incentivo.
- E a todos, que de alguma maneira, tornaram possível a realização deste trabalho.

A água é um elemento imprescindível para toda forma de vida, é o recurso natural mais óbvio e objetivo de maior abuso. Em virtude de sua importância vital para o homem e para a natureza, a água é de interesse público e é considerada um bem público. É também um recurso estratégico e catalítico para a geração de riquezas. O abastecimento suficiente de água é elemento fundamental para o desenvolvimento de uma economia saudável. A água sustenta a existência da fauna marítima e terrestre, bem como os sistemas naturais e as atividades humanas. É elemento essencial do lazer e turismo. A gestão integrada dos recursos hídricos é portanto, peça fundamental para se alcançar o desenvolvimento sustentável.

**Miami**

## RESUMO

---

A água bruta apresenta inúmeras impurezas, sendo várias delas inócuas e outras prejudiciais à saúde humana, tais como substâncias tóxicas, bactérias e vírus. O tratamento prévio da água é de fundamental importância para o consumo humano, pois confere à água características de potabilidade e boa aparência ao eliminar as impurezas presentes. O tratamento do tipo convencional ou completo é, geralmente, o mais usado para águas de abastecimento doméstico e podem fornecer água dentro dos padrões sugeridos pela Portaria nº 518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde. Porém, para que isso aconteça, é necessário que a concentração de impureza na água bruta tenha um valor limitado de acordo com a Resolução nº 20, de 18 de junho de 1986, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Este trabalho avaliou os potenciais riscos para a saúde da população da cidade de João Pessoa/PB em decorrência das concentrações de alumínio encontradas no sistema Gramame/Mamuaba de abastecimento de água. Os resíduos de alumínio na água, provenientes do sulfato de alumínio, podem contribuir para algumas doenças no organismo humano, como osteoporose, hiperatividade e dificuldade de aprendizado em crianças, e até mesmo para os males de Alzheimer e Parkinson. Para tanto, analisaram-se, no período compreendido entre setembro de 2003 e outubro de 2004, parâmetros físicos e químicos, inclusive, concentração de alumínio, na água bruta e tratada do referido sistema. Os pontos de amostragem foram fixados na chegada da água bruta à estação de tratamento, no reservatório central de água tratada e reservatórios setoriais na rede de distribuição. Os resultados obtidos indicam, para o período analisado, concentrações de alumínio na água tratada fora dos padrões de potabilidade e, portanto, imprópria para o consumo humano, segundo a Legislação vigente. Assim, pelos níveis de alumínio detectados nesse estudo, os riscos para a saúde da população de João Pessoa e Grande João Pessoa no Estado da Paraíba são evidentes e potenciais.

Palavras-chave: alumínio, tratamento de água, saúde pública, meio ambiente.

## ABSTRACT

---

Natural untreated water has high impurity level, containing some innocuous substances but with some components that pose risks to human health, like toxic compounds, bacteria, and viruses. Treatment of water before being consumed by humans is vitally important, because water will become potable and apparently good for consumption after elimination of impurities. The conventional or complete treatment is applied mostly for the water of domestic use, according to standards recommended by the governmental regulation number 518 of 25 March, 2004, of the ministry of health. However, such standard will only be satisfied if the concentration of impurities be limited with respect to the resolution number 20 of 18 June, 1986, adopted by the CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente (the Brazilian National Council for the Environment). In the present work the potential risks to the human population of João Pessoa, the capital of the State of Paraíba, Northeast Brazil, were evaluated with respect to the concentration of aluminium found in the water supplied by the reservoir system Gramame/Mamuaba. Residues of aluminium in water, generated by aluminium sulphate, may contribute to some illnesses in humans, like osteoporosis, hyperactivity and learning difficulty in children, and even Alzheimer's and Parkinson's diseases. This way, from September 2003 to October 2004, some physical and chemical characteristics of the water, including the concentration of aluminium, were analyzed in untreated and treated waters. The results obtained showed amounts of aluminium above the recommended standards, posing clear risks to consumption of water by human population.

Key words: aluminium, water treatment, public health, environment.

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

---

AAB – Adução de Água Bruta

AAT - Adução de Água Tratada

Al - Alumínio

CAGEPA – Companhia de Água e Esgoto da Paraíba

CGVAM – Coordenação Geral de Vigilância Ambiental

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

EEAB – Estação Elevatória de Água Bruta

EEAT - Estação Elevatória de Água Tratada

EE – Elevatório Elevado

ETA – Estação de Tratamento de Água

F°F° - Ferro Fundido

FEEMA – Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde

MS – Ministério da Saúde

OMS – Organização Mundial de Saúde

ONU – Organização das Nações Unidas

PDRH – Plano Diretor de Recursos Hídricos

R – Reservatório

SAT – Sub-adutora

SDT – Sólidos Dissolvidos Totais

SUDEMA – Superintendência de Desenvolvimento do Meio Ambiente

USEPA – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

## LISTA DE TABELAS E QUADROS

---

<b>Tabela 1</b> - Frequência mínima de amostragem para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento público.....	28
<b>Tabela 2</b> - Características dos mananciais, captação e elevatórias.....	69
<b>Tabela 3</b> - Características da adução de água bruta.....	69
<b>Tabela 4</b> - Características das unidades de tratamento.....	70
<b>Tabela 5</b> - Características das Adutoras de Água Tratada.....	70
<b>Tabela 6</b> - Características das sub-adutoras.....	71
<b>Tabela 7</b> - Características dos Reservatórios.....	72
<b>Tabela 8</b> - Características das estações elevatórias.....	73
<b>Tabela 9</b> - Características da Rede de Distribuição.....	74
<b>Tabela 10</b> - Resultado da análise da água bruta - entrada da ETA / Gramame.....	81
<b>Tabela 11</b> - Valores das Análises Físicas e Químicas da Água Tratada do Sistema Gramama/Mamuaba.....	86
<b>Tabela 12</b> - Concentração de Alumínio na Água Tratada do Sistema Gramame/Mamuaba.....	88
<b>Quadro 1</b> - Produtos químicos utilizados na coagulação da água.....	44
<b>Quadro 2</b> - Coagulantes da água e intervalo de trabalho de pH.....	45
<b>Quadro 3</b> - Participação em área dos municípios na Bacia.....	62
<b>Quadro 4</b> - Pontos de coleta e localização.....	77

## LISTA DE FIGURAS e GRÁFICOS

---

<b>Figura 1</b> - Representação esquemática de uma estação convencional de tratamento de água.....	
<b>Figura 2</b> – Localização da Bacia do Rio Gramame.....	61
<b>Figura 3</b> - Perfil longitudinal do Rio Gramame.....	63
<b>Figura 4</b> – Hidrografia, Divisão Política e Rodovias.....	64
<b>Figura 5</b> - Esquema da ETA de Gramame.....	75
<b>Figura 6</b> - Estação de Tratamento de Água de Gramame.....	75
<b>Figura 7</b> - Localização dos Pontos de Coleta na Rede de Distribuição.....	85
<b>Gráfico 1</b> - Variação da cor da água bruta nos reservatórios Gramame /Mamuaba.....	83
<b>Gráfico 2</b> - Evolução do pH nos Pontos de Coleta.....	91
<b>Gráfico 3</b> - Evolução da Alcalinidade nos Pontos de Coleta.....	91
<b>Gráfico 4</b> - Evolução do Turbidez nos Pontos de Coleta.....	92
<b>Gráfico 5</b> - Evolução da Dureza nos Pontos de Coleta.....	92
<b>Gráfico 6</b> - Evolução da SDT nos Pontos de Coleta.....	93
<b>Gráfico 7</b> - Evolução da Condutividade nos Pontos de Coleta.....	93
<b>Gráfico 8</b> - Evolução da Cloretos nos Pontos de Coleta.....	94
<b>Gráfico 9:</b> Evolução da Acidez nos Pontos de Coleta.....	94
<b>Gráfico 10</b> - Evolução da Alumínio nos Pontos de Coleta.....	95
<b>Gráfico 11</b> - Comparação da Evolução da Turbidez e Alumínio nos Pontos de Coleta.....	96

## SUMÁRIO

---

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	16
1.1	GENERALIDADES.....	16
1.2	JUSTIFICATIVA.....	19
1.3	OBJETIVOS.....	20
1.3.1	<b>Geral</b> .....	20
1.3.2	<b>Específicos</b> .....	21
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	22
2.1	QUALIDADE DA ÁGUA DESTINADA AO CONSUMO HUMANO.....	22
2.2	NORMAS E PADRÃO DE POTABILIDADE.....	24
2.3	TRATAMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO.....	29
2.3.1	<b>Teoria da Coagulação/Floculação da Água</b> .....	34
2.3.1.1	Produtos Utilizados na Coagulação/Floculação da água.....	40
2.4	CARACTERÍSTICAS DO ALUMÍNIO.....	52
2.5	PROBLEMAS DE SAÚDE PARA O HOMEM CAUSADOS PELA INGESTÃO DE ALUMÍNIO.....	53
<b>3</b>	<b>CARATERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	60
3.1	LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS AMBIENTAIS DA BACIA DO RIO GRAMAME.....	60
3.1.1	<b>Localização</b> .....	61
3.1.2	<b>Aspectos Ambientais</b> .....	66
3.2	SISTEMA ATUAL DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE JOÃO PESSOA..	68

<b>4</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>76</b>
<b>5</b>	<b>APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>79</b>
5.1	ANALISE DA ÁGUA BRUTA DO SISTEMA GRAMAME/MAMUABA.....	79
5.2	AVALIAÇÃO DA ÁGUA TRATADA.....	84
5.3	ANÁLISE CONJUNTA DA ÁGUA BRUTA E TRATADA DO SISTEMA GRAMAME/MAMUABA.....	89
5.4	POTENCIAIS RISCOS À SAÚDE DA POPULAÇÃO DECORRENTES DA PRESENÇA DE ALUMÍNIO NA ÁGUA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DA CIDADE DE JOÃO PESSOA/ PB.....	98
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>101</b>
6.1	CONCLUSÕES .....	101
6.2	RECOMENDAÇÕES.....	102
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>104</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>110</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1. GENERALIDADES

A água é um recurso natural essencial, como componente bioquímico de seres vivos, como meio de vida de várias espécies vegetais e animais, como elemento representativo de valores sociais e culturais e até como fator de produção de vários bens de consumo final e intermediário.

No que diz respeito ao homem, o corpo humano pode ser considerado uma “máquina hidráulica”, contendo em média 60% d’água em sua composição física. Os órgãos mais ricos em água como o coração, o cérebro e o sangue contêm cerca de 80%. Além disso, a água tem um papel fundamental em nosso metabolismo (NOSSA ÁGUA, 2004). Ela se presta ao transporte de matérias orgânicas no corpo. Contribui à regulação térmica e à renovação de tecidos e de diferentes líquidos como o sangue, os sucos gástricos, salivas, etc. O homem pode resistir sem alimentos por um período de cerca de um mês, mas não pode ficar sem beber água por mais de quarenta e oito horas.

Os recursos hídricos têm também profunda importância no desenvolvimento de diversas atividades econômicas. Em relação à produção agrícola, a água pode representar até 90% da composição física das plantas (WEBCIENCIA ÁGUA, 2004). A falta d’água em períodos de crescimento dos vegetais pode destruir lavouras e até ecossistemas devidamente implantados. Na

indústria, para se obter em diversos produtos, a quantidade de água necessária é muitas vezes superior ao volume produzido.

Do total de água existente no globo terrestre, cerca de 97% é constituído de água salgada dos oceanos, 2% está nas calotas polares e apenas 1% é representado por água doce sob a forma líquida. Desse total de água doce disponível para uso da humanidade, cerca de 97% encontra-se no subsolo, na forma de água subterrânea. As águas superficiais representam menos de 3% do total, sendo no entanto as mais usadas.

Porém, nos dias de hoje, a água superficial é um recurso natural que está se tornando escasso. Sua existência, em quantidade e qualidade em condições econômicas de utilização, tem afetado a estrutura econômica e social de extensas regiões transbordando, geralmente, os limites físicos das bacias hidrográficas. Sua utilização cada vez maior, em consequência da explosão demográfica, industrialização e agricultura irrigada, aliada ao desejo natural do homem de elevação do nível e da qualidade de vida, tem resultado em problemas, não só de carência como também de degradação de sua qualidade e poluição. Os impactos ambientais, decorrentes das diversas atividades associadas à ocupação urbana e ao crescimento desordenado das cidades sem infra-estrutura adequada de saneamento básico, têm contribuído para alterar a qualidade da água destinada ao abastecimento público.

Na região semi-árida do Nordeste do Brasil, com grande irregularidade na distribuição da pluviosidade, os problemas se tornam mais graves devido à intermitência dos cursos d'água. Tendo vazão zero durante grande parte do ano, eles não podem e não devem ser usados como diluidores de despejos (questões ambientais). Nos períodos de secas prolongadas, os mananciais perdem suas

recargas por precipitação, tornando-se mais vulneráveis ao processo de salinização, bem como aos riscos de poluição por perderem, nesses períodos, suas capacidades de autodepuração (SEMARH, 2000).

O comprometimento do bem estar da população é freqüente, notadamente nas áreas mais carentes dessa região, onde são evidentes os problemas ocasionados pela miséria, ausência de infra-estrutura de saneamento e absoluta fragilidade dos serviços de saúde pública. Isto se reflete em uma alta taxa de mortalidade, principalmente a infantil. Não é raro ocorrer o lançamento de cargas poluidoras nas fontes de captação para abastecimento público. Nas coleções de água, são freqüentes os problemas de poluição decorrentes de lançamentos de despejos domésticos e industriais e ainda deposição de lixo, assim como lixiviação de fertilizantes e agrotóxicos, modificando acentuadamente sua composição e suas características, podendo comprometer a saúde de milhares de pessoas. (SEMARH, 2000).

Parte dos efeitos da poluição é neutralizada ou estabilizada pelo corpo receptor, dependendo da proporção da mistura (diluição) e do potencial de estabilização natural das águas. No entanto, tudo o que ultrapassar essa capacidade deverá ser eliminado através de tratamento adequado.

Atualmente, as possibilidades de tratamento são quase ilimitadas, permitindo até mesmo a recirculação de esgotos e a dessalinização de água do mar para o abastecimento de comunidades situadas em locais de escassos recursos hídricos. Segundo Mota (1995), as tecnologias de tratamento de água evoluíram consideravelmente, podendo-se dizer que qualquer água é possível de ser tratada e destinada ao consumo, embora custos e riscos envolvidos possam ser extremamente elevados. Somente um estudo detalhado da qualidade da água bruta

e, às vezes, a realização de pesquisas em instalações pilotos, é que podem fornecer os elementos necessários à definição da tecnologia de tratamento mais apropriado.

Na definição da tecnologia mais apropriada, além de ser considerado o atendimento dos padrões de potabilidade para ser própria ao consumo devem ser considerados, fatores como condições sócio econômicas da comunidade, disponibilidade de recursos próprios ou capacidade de endividamento através de financiamento, existência de pessoal qualificado para construção, operação e manutenção, etc., (MOTA,1995).

Portando, a escolha de determinada tecnologia de tratamento deve conduzir ao menor custo sem, contudo, deixar de lado a segurança na produção de água potável.

## 1.2. JUSTIFICATIVA

Apesar dos avanços nas tecnologias, o tratamento do tipo convencional ou completo é geralmente o mais usado para águas de abastecimento doméstico. Com esse tipo de tratamento, os serviços públicos de abastecimento podem fornecer água dentro dos padrões sugeridos pela Portaria nº 518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004). Porém, para que isso aconteça, tendo a estação convencional uma capacidade limitada de remoção, é necessário que a concentração de impureza na água bruta tenha também um valor limitado de acordo com a Resolução nº 20, de 18 de junho de 1986, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (BRASIL,1986). Neste tipo de tratamento, com adição de produtos

químicos, a água é submetida à coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção, antes do condicionamento final para posterior distribuição.

A utilização substancial desses produtos químicos, essencial para alcançar os objetivos do tratamento da água, tem sido associada a problemas de saúde humana por alguns estudos médicos. Resíduo de alumínio proveniente do sulfato de alumínio que é adicionado à água, na coagulação/floculação pode acumular-se no organismo e provocar fraturas por osteoporose, doença de Alzheimer, Parkinson, hiperatividade e dificuldade de aprendizado em crianças (ÁGUA NO BRASIL, 2004).

No sistema de abastecimento público da cidade de João Pessoa/PB, o tratamento da água, através da Estação de Tratamento de Água de Gramame - ETA/Gramame, é o do tipo convencional, com a adição de sulfato de alumínio e cloro, como coagulante e desinfetante, respectivamente. Considerando que traços de alumínio podem estar presentes na água tratada, é importante que os potenciais riscos desse metal para a saúde da população sejam estudados.

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 Geral

Investigar a presença de alumínio na água do sistema Gramame/Mamuaba de abastecimento público da cidade de João Pessoa e Grande João Pessoa no Estado da Paraíba.

### 1.3.2 Específicos

- ***Detectar e quantificar os resíduos de alumínio na água (bruta e tratada) do sistema de abastecimento da cidade de João Pessoa e Grande João Pessoa no Estado da Paraíba.***
- ***Avaliar os riscos à saúde pública, decorrentes das concentrações de resíduos de alumínio encontrados na água, considerando a Legislação vigente.***
- ***Avaliar parâmetros físico-químicos da água, dissertando sobre suas possíveis relações com os níveis de alumínio encontrados no sistema Gramame/Mamuaba de abastecimento público de João Pessoa e Grande João Pessoa no Estado da Paraíba.***

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 QUALIDADE DA ÁGUA DESTINADA AO CONSUMO HUMANO**

Conceitualmente a água é uma necessidade vital para qualquer ser vivo e é utilizada para inúmeras finalidades. A água bruta apresenta várias impurezas, sendo várias delas inócuas e outras tais como substâncias tóxicas, bactérias e vírus que trazem prejuízos econômicos e para a saúde humana. Assim, em função do uso a que se destina deve apresentar determinadas características. A água utilizada para beber denomina-se água potável. A potabilidade de uma água é definida através de um conjunto de parâmetros e padrões estabelecidos por normas e legislações sanitárias. Estabelecer um padrão de potabilidade é definir, para cada parâmetro, um valor ou concentração a partir do qual seu consumo pode induzir a riscos à saúde. Um padrão serve como base ou norma para avaliação de qualidade ou quantidade. O padrão é um conjunto de valores máximos permissíveis das

características físicas, químicas e microbiológicas das águas destinadas ao consumo humano (MACEDO, 2000).

***As análises físicas da água medem e indicam características perceptíveis pelos sentidos. Geralmente, são características de ordem visual, mas que podem ser prejudiciais a diversos usos domésticos como para a preparação de alimentos. As características de ordem física incluem a cor, turbidez, odor e sabor. Os aspectos químicos da água são resultantes da presença de substâncias dissolvidas, em geral avaliáveis somente por meios analíticos, como a dureza, acidez, pH, alcalinidade, cloretos, cloro residual, entre outros (MACEDO, 1994).***

Em relação à qualidade microbiológica, a água pode atuar como veículo de microrganismos patogênicos e deterioradores, constituindo um risco à saúde do consumidor (MACEDO, 1994).

De acordo com a Organização Panamericana de Saúde - OPS (HELLER, 2000), o consumo de água contaminada por agentes biológicos ou físico-químicos tem sido associado a diversos problemas de saúde. Algumas epidemias de doenças gastrintestinais, por exemplo, têm como fonte de infecção a água contaminada. Essas infecções representam causa de elevada taxa de mortalidade em indivíduos com baixa resistência, atingindo especialmente idosos e crianças menores de cinco anos.

Dados da Organização das Nações Unidas - ONU revelam que cerca de 250 milhões de pessoas, em 26 países, têm grande dificuldade para obter água. Todas estão entre os 2 bilhões de seres humanos que não dispõem de água potável, ou seja, água tratada, saudável, segura para o consumo. As projeções da ONU indicam que, se a tendência continuar, em 2050, mais de 45% da população

mundial estará vivendo em países que não poderão garantir a cota diária mínima de 50 litros de água por pessoa para suas necessidades básicas. Essa situação gera ou agrava a fome e torna altos os índices de mortalidade, principalmente infantil. A falta de água e de saneamento básico mata 6 mil crianças por dia (ÁGUA, UM BEM..., 2003).

Desta forma, a oferta de água em quantidade e qualidade adequadas é fator imprescindível para a prevenção de riscos à saúde e melhoria da qualidade de vida da população. Por este motivo, o setor saúde assumiu, historicamente, um papel ativo na vigilância da qualidade da água para consumo humano. A água e a saúde das populações são duas coisas inseparáveis. A disponibilidade de água de qualidade é uma condição indispensável para a própria vida e mais que qualquer outro fator, a qualidade da água condiciona a qualidade de vida (BRASIL, 2001).

A manutenção do padrão de potabilidade é tarefa de quem produz água para consumo humano, que para isso deve realizar um rigoroso controle de qualidade. A vigilância da qualidade da água, que é atribuição do órgão de Vigilância Sanitária, baseia-se tanto na certificação de que a água consumida pela população se encontra dentro do padrão de potabilidade, como pela observação sistemática de ocorrência de surtos de doenças relacionadas à qualidade da água.

Assim, o tratamento prévio da água é de fundamental importância para o consumo humano, pois confere à água características de potabilidade e boa aparência ao eliminar as impurezas presentes. O entendimento de como a água e

saúde estão relacionadas permitirá a tomada de decisões com mais efetividade e impacto.

## 2.2 NORMAS E PADRÃO DE POTABILIDADE

A Legislação sobre a qualidade da água potável ficou muitos anos defasada. Porém, a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), órgão da estrutura do Ministério da Saúde, por meio da Coordenação Geral de Vigilância Ambiental em Saúde (CGVAM), do Centro Nacional de Epidemiologia (Cenepi), promoveu ao longo do ano de 2000 a atualização das normas de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano, resultando na publicação da Portaria nº 1.469, do Ministério da Saúde, em 29 de dezembro de 2000 (BRASIL, 2000). Esta Portaria dispunha sobre os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da água e seu padrão de potabilidade, em razão da importância que tanto a sua qualidade como quantidade representam para melhoria da qualidade de vida e a manutenção da saúde humana.

A Portaria nº 1.469/2000, que substituiu a de nº 36/90 publicada em 19 de janeiro de 1990, continha ainda a recomendação para uma revisão num prazo máximo de cinco anos da sua promulgação, que poderia ser solicitada por qualquer dos componentes do setor saúde. Estabeleceu também, em seus capítulos e artigos, as responsabilidades por parte de quem produz a água, no caso os serviços de

abastecimento coletivo, e soluções alternativas, a quem cabe o exercício de “controle de qualidade da água” e das autoridades sanitárias das diversas instâncias de governo, a quem cabe a missão de “vigilância da qualidade da água para consumo humano”. Também ressaltou a responsabilidade dos órgãos de controle ambiental no que se refere ao monitoramento e controle das águas brutas de acordo com os mais diversos usos, incluindo o de fonte de abastecimento de água destinada ao consumo humano (AGUIAR, 2003).

Foi definido ainda pela Portaria nº 1469/2000 que o consumidor passaria a monitorar a qualidade da água que chegasse a seu domicílio. Fixaram-se novas regras para a potabilidade da água consumida em todo o País e determinado que as empresas de abastecimento eram obrigadas a fornecer aos consumidores relatórios anuais sobre a qualidade da água. Com essa medida, o Governo pretendia atender recomendações da Organização Mundial de Saúde - OMS sobre a potabilidade da água destinada ao consumo humano, evitando a transmissão de doenças à população por meio de bactérias, como a bactéria *Escherichia coli*, cuja presença na água é originária de coliformes fecais (BRASIL, 2000).

A referida Portaria foi até março de 2004 um instrumento utilizado pela vigilância da qualidade da água para consumo humano em todo o Brasil, bem como pelos prestadores de serviço, tanto de sistemas de abastecimento de água, como de soluções alternativas.

Em 25 de março de 2004 foi publicada pelo Ministério da Saúde a Portaria nº 518 que revogou a de nº 1469. Esta regula, atualmente, os padrões de potabilidade da água para o consumo humano. Em função da possibilidade de escassez de água e conseqüente crescimento das formas alternativas de abastecimento, a Legislação incluiu procedimentos e responsabilidades para que os padrões de potabilidade possam ser mantidos nestes sistemas. Tal Legislação define como sistemas alternativos de abastecimento de água: fontes, poços comunitários, distribuição por veículo transportador, instalações condominiais horizontais e verticais (BRASIL, 2004).

A Portaria nº 518/2004 determinou um prazo de 12 meses, contados a partir da data da sua publicação para que se promovam as adequações necessárias a seu cumprimento, no que se refere ao tratamento por filtração de água para consumo humano suprida por manancial superficial e distribuída por meio de canalização e da obrigação do monitoramento de cianobactérias e cianotoxinas. Cianobactérias ou cianofíceas (algas azuis), são microrganismos que podem ocorrer em qualquer manancial superficial, particularmente, naqueles com elevados níveis de nutrientes (ou poluídas) com nitrogênio e fósforo. Isto ocorre freqüentemente em reservatórios de água que recebem esgoto doméstico. Cianotoxinas são as toxinas produzidas pela cianobactérias e que apresentam efeitos adversos à saúde do homem por ingestão oral. Dependendo do tipo, as toxinas podem afetar o fígado, os

rins, o baço, coração e outros órgãos, o sistema nervoso, promover o aparecimento de tumores, etc. Em certas regiões a situação piora, particularmente, durante as estações mais quentes do ano.

Segundo a Portaria 518/2004, o monitoramento de cianobactérias na água do manancial, no ponto de captação, deve obedecer a uma frequência mensal, quando o número de cianobactérias não exceder 10.000 células/mL (ou 1 mm<sup>3</sup>/L de biovolume), e semanal, quando o número de cianobactérias exceder este valor.

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

De acordo ainda com a Portaria 518/2004, a frequência mínima de amostragem para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento, para fins de análises físicas, químicas e de radioatividade, em função do ponto de amostragem, da população abastecida e do tipo de manancial está apresentada na tabela 1.

**Tabela 1:** Freqüência mínima de amostragem para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento público, Portaria do 518/2004.

Parâmetro	Tipo de manancial	Saída do tratamento  (freqüência por unidade de tratamento)	Sistema de distribuição  (reservatórios e rede)		
			População abastecida		
			<50.000 hab.	50.000 a 250.000 hab.	> 250.000 hab.
Cor	Superficial	A cada 2 horas	Mensal	Mensal	Mensal
Turbidez	Subterrâneo	Diária			
pH					
Fluoreto					
CRL <sup>(1)</sup>	Superficial	A cada 2 horas	(Conforme § 3º do artigo 18).		
	Subterrâneo	Diária			
Cianotoxinas	Superficial	Semanal (Conforme § 5º do artigo 18)	-	-	-
Trihalometanos	Superficial	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral
	Subterrâneo	-	Anual	Semestral	Semestral
Demais parâmetros	Superficial ou Subterrâneo	Semestral	Semestral	Semestral	Semestral

**Fonte:** (BRASIL, 2004)

Pela Portaria nº 518/2004 a água potável deve estar em conformidade com o padrão de aceitação de consumo de 0,2 mg/L de alumínio.

Por outro lado, a Resolução nº 20/86 do CONAMA que classifica as águas interiores do Brasil em doce, salina e salobra estabelece os padrões de substâncias químicas inorgânicas na água bruta potabilizável, limita em 0,1mg/l a concentração

máxima de alumínio para corpos d'água da classe 2. Assim, há uma tolerância com relação ao teor de alumínio na água tratada maior do que na água bruta, não justificada pela Legislação.

Mais recentemente, alteração na referida Resolução, sobre classificação e enquadramento de corpos de água tem sido proposta pelo CONAMA. Porém, nessas propostas não estão incluídas uma revisão do valor máximo permitido para o alumínio na água bruta, considerando o seu limite superior (0.2 mg/L) para água tratada.

### 2.3 TRATAMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

O tratamento da água nasceu da repulsa do homem pelo aspecto estético da água e se desenvolveu em decorrência do crescimento da poluição (LEME, 1990).

No entanto, nem toda água requer tratamento para abastecimento público. Depende da sua qualidade em comparação com os padrões de consumo e também da aceitação dos usuários. Normalmente as águas de superfície são as que mais necessitam de tratamento, porque se apresentam com qualidades físicas, químicas e bacteriológicas impróprias, em virtude de sua exposição contínua a uma gama muito maior de processos de poluição (FUNASA, 1999). Apenas na captação superficial de águas de nascentes, a simples proteção das cabeceiras e o emprego

de um processo de desinfecção podem garantir uma água de boa qualidade do ponto de vista de potabilidade. As águas de grandes rios, embora não satisfazendo pelo seu aspecto físico ou em suas características organolépticas podem ser relativamente boas, sob os pontos de vista químico e bacteriológico, quando a captação localiza-se em pontos menos sujeitos à contaminação.

Assim, quando se define o tratamento de água descreve-se como uma seqüência de operações que conjuntamente consistem em melhorar suas características organolépticas, físicas, químicas e bacteriológicas, a fim de que se torne adequada ao consumo humano. Esse tratamento tem a finalidade básica de tornar a água segura do ponto de vista de potabilidade, ou seja, eliminar as impurezas prejudiciais e nocivas à saúde (FUNASA, 1999). Quanto mais poluído o manancial, mais complexo será o processo de tratamento, com adição de mais produtos químicos e, conseqüentemente, riscos para a saúde do homem além do aumento do custo da água tratada.

Porém, há sistemas públicos de abastecimento que não requerem o tratamento das suas águas. São casos normalmente em que se aproveitam águas de bacias protegidas ou se abastecem com águas de poços profundos. A cidade do Rio de Janeiro somente iniciou o tratamento de sua água de abastecimento público em 1955, quando começaram a ser aduzidas as águas do rio Guandu (LEME, 1990).

De acordo com Azevedo Neto (1987), o processo de tratamento para abastecimento público de água potável tem as seguintes finalidades básicas: higiênicas - eliminação ou redução de bactérias, substâncias venenosas, mineralização excessiva, teor excessivo de matéria orgânica, algas, protozoários e outros microrganismos; estético - remoção ou redução de cor, turbidez, dureza, odor

e sabor; econômico - remoção ou redução de dureza, corrosividade, cor, turbidez, odor, sabor, ferro manganês.

O tratamento da água é conseguido utilizando-se processos físicos, químicos e bioquímicos. Estes processos podem estar ligados essencialmente à clarificação, à desinfecção ou serem específicos em relação a impurezas a remover ou ao objetivo a ser conseguido (LEME,1990). No primeiro caso, podem situar-se a mistura, coagulação, floculação, sedimentação ou decantação e a filtração. Na desinfecção, são incluídas a cloração, a ozonização e a utilização da radiação ultravioleta. Nos processos específicos, incluem-se a aeração ou arejamento, a correção da dureza, as remoções de sabor e odor, o tratamento por contato e o controle da corrosão.

De acordo com Di Bernardo (1993), a coagulação/floculação é entendida como sendo a transformação das impurezas invisíveis, que estão na água em suas diversas formas, em partículas maiores, mais densas e conseqüentemente mais pesadas, chamadas flocos, capazes de serem retirados do meio, através da decantação ou sedimentação, filtração ou flotação). Para tanto, adicionam-se à água bruta produtos químicos chamados coagulantes e alcalinizantes, desinfetantes.

As substâncias coagulantes são adicionadas à água com a finalidade de reduzir as forças eletrostáticas de repulsão, que mantém separadas as partículas em suspensão, as coloidais e parcela das dissolvidas. Desta forma, eliminando-se ou reduzindo-se a "barreira de energia" que impede a aproximação entre as diversas partículas presentes, criam-se condições para que haja aglutinação das mesmas,

facilitando sua posterior remoção por sedimentação e/ou filtração. Os coagulantes mais utilizados são o sulfato de alumínio e o cloreto férrico, sais que, em solução, liberam compostos químicos de alumínio ou ferro com alta densidade de cargas elétricas, de sinal contrário às manifestadas pelas partículas presentes na água bruta, eliminando, assim, as forças de repulsão eletrostática originalmente presentes na água bruta (DI BERNARDO, 1993).

Os alcalinizantes são compostos químicos que têm a capacidade de conferir alcalinidade necessária à água para facilitar a coagulação, sendo os mais usados o hidróxido de cálcio (cal hidratada), hidróxido de sódio (soda cáustica) e o carbonato de sódio (barrilha). Também são usados na correção do pH (DI BERNARDO, 1993).

Na desinfecção, ocorre a destruição de microrganismos patogênicos ou não presentes na água. As principais técnicas empregadas na desinfecção são a cloração, a ozonização e a exposição da água à radiação ultravioleta. Quase todas as águas de abastecimento são desinfetadas com cloro ou cloração (RICHTER; AZEVEDO, 1995).

A cloração consiste na adição de cloro à água clarificada. Este produto é usado para destruição de microrganismos presentes na água, que não foram retidos nas etapas anteriores do tratamento. O cloro é aplicado em forma de gás ou em solução de hipoclorito, numa proporção que varia de acordo com a qualidade da água e de acordo com o cloro residual que se deseja manter na rede de abastecimento. O cloro é também utilizado para reduzir gosto, odor e coloração da água, e é considerado indispensável para sua potabilização (LEME, 1990).

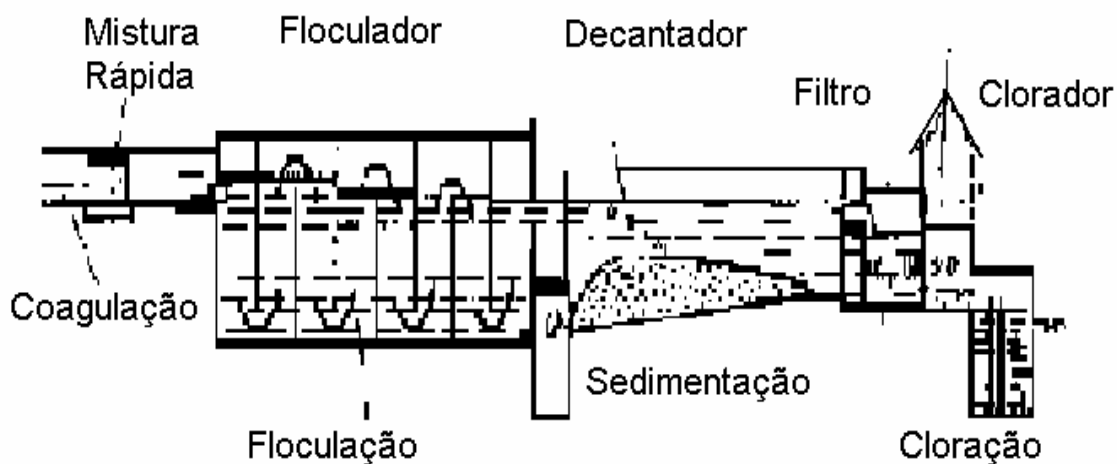
Segundo Di Bernardo (1993), além dos produtos químicos adicionados na coagulação/floculação e desinfecção da água, outros podem ser usados como auxiliar de coagulação, floculação, decantação e filtração (polieletrólitos), como algicida (sulfato de cobre), como seqüestrantes para ferro, manganês e dureza (ortopolifosfatos), controle de odor e sabor (carvão ativado).

O sulfato de cobre é um poderoso algicida. Adiciona-se à água para eliminar as algas (cianobactérias e algas azuis), que causam mau cheiro e sabor desagradável e liberam toxinas. Essas toxinas atacam o fígado (causando intoxicações agudas) e o sistema nervoso (ÁGUA..., 2004).

O cloro é o nome popular do hipoclorito de sódio que, adicionado à água, impede o aparecimento dos microrganismos prejudiciais à saúde. Contudo, está comprovado cientificamente que a combinação desse produto com substâncias orgânicas contidas na água forma compostos cancerígenos chamados Trihalometanos (THM's) ou compostos orgânicos clorados, que podem afetar o sistema nervoso central, o fígado e os rins. A ingestão de 2,0 litros de água clorada por dia, durante 40 anos, aumenta em 70% a possibilidade de uma pessoa desenvolver câncer na bexiga, quando comparada a quem não ingeriu água clorada. Esse índice passa a 100% quando o indivíduo alcança sessenta anos de idade. A ingestão de 5,0 ou mais copos de água de torneira com cloro por dia pode aumentar o risco de aborto durante o primeiro trimestre de gestação (ÁGUA E SAÚDE, 2003).

Segundo Arboleda (1992), quando a qualidade da água bruta não atende ao sugerido para as tecnologias simplificadas abordadas anteriormente, o tratamento deverá ser do tipo convencional ou completo. Isto é, a água deverá ser submetida à coagulação, floculação, decantação e filtração antes do condicionamento final para posterior distribuição. Em função da qualidade da água, pode ou não ser necessária

alguma forma de pré-tratamento. Assim, o tratamento convencional ou completo consiste em remover, na forma de flocos, com adição de coagulante, entre eles o sulfato de alumínio, partículas finamente dispersas na água. Compõe-se das seguintes unidades: mistura rápida, floculador, decantador, filtro e clorador. Na mistura rápida, ocorre a adição do coagulante sob agitação e formação de coágulos. No floculador, desenvolve-se o processo de mistura lenta ou floculação onde são formados flocos pesados com a união dos coágulos. A decantação ou sedimentação consiste na deposição dos flocos mais pesados do que a água, no decantador. Na filtração, acontece a retenção, no leito filtrante, de flocos não retidos no decantador. A desinfecção consiste na aplicação de cloro para eliminar microrganismos patogênicos. A figura 1 é uma representação esquemática de uma estação convencional para tratamento da água.



**Figura 1:** Representação esquemática de uma estação convencional de tratamento de água.

### 2.3.1 Teoria da coagulação/floculação da água

De acordo com Di Bernardo (1993), as águas naturais, principalmente, as águas superficiais próximas às zonas urbanas, industriais e regiões desmatadas, contêm uma grande variedade de impurezas, destacando-se as partículas coloidais, substâncias húmicas, plâncton e microrganismos em geral. As impurezas que estão na água, apresentam cargas superficiais negativas. Devido ao tamanho diminuto das partículas e as forças de repulsão, elas não se aproximam umas das outras e permanecem no seio da água, se suas características não forem alteradas. Para que as impurezas possam ser removidas é necessário alterar algumas propriedades da água e conseqüentemente de suas impurezas, através da adição de determinadas substâncias químicas ou naturais, denominadas de coagulantes.

Coagulação deriva da palavra latina *coagulare*, que significa juntar. A coagulação descreve o efeito produzido pela adição de um produto químico ou natural a uma dispersão coloidal. Esta adição provoca uma desestabilização das partículas através da redução do potencial zeta. O potencial zeta é uma medida de estabilidade de uma partícula e indica o potencial necessário para romper a película protetora, de íons que rodeiam essa partícula.

Do ponto de vista eletrostático, a coagulação é a redução do potencial zeta, pela adição de íons específicos. A coagulação ocorre quando a adição de um eletrólito catiônico baixa o potencial zeta, pois o eletrólito reduz as forças repulsivas permitindo que a ação das forças atrativas de Van der Waals promovam a aglutinação. As dosagens de eletrólitos dependem da concentração dos colóides (DI BERNARDO; COSTA, 1993).

A adição do coagulante apropriado faz com que as partículas se aglomerem através do estabelecimento de contato entre elas. O processo da coagulação feito sob condições de forte agitação (mistura rápida) ocorre em um curto intervalo de tempo (30 a 60 segundos) e depende de diversos fatores, entre eles: cor e turbidez; pH da água; temperatura da água; viscosidade da água; grau de agitação; tipo e quantidade de coagulante usado; concentração do coagulante e das substâncias presentes. Nesta etapa, há a formação de partículas de tamanho submicroscópico, que estarão propícias a realizar a etapa seguinte de floculação (SANTOS, 1981).

A floculação deriva do verbo latino *floculare*, que significa formar um floco ou um ajuntamento de partículas semelhantes a um feixe de partículas fibrosas e porosas (como um feixe de lã). A etapa da aglomeração das partículas é feita após a coagulação na fase de mistura rápida. O normal da floculação é ser feita em 10 a 15 minutos com agitação moderada (mistura lenta). No entanto, podem ocorrer situações onde é preciso ter de 20 a 60 minutos de floculação (SANTOS, 1981).

Assim, a floculação é o processo continuado da coagulação e consiste na formação de flocos, através da introdução de energia mecânica na massa líquida, a

fim de favorecer o contato entre os colóides (partículas sólidas minúsculas) e permitir a sua aglutinação.

De acordo com Santos 1981, a coagulação de uma água turva e/ou colorida é definida como o processo de tratamento que tem como objetivo fundamental a formação de partículas desequilibradas eletricamente (coágulos). Geralmente são partículas resultantes da ionização do coagulante dissolvido na água. Já a floculação é caracterizada pela aglutinação das partículas resultantes dessa coagulação, com o material finamente dividido (impurezas), disperso no seio da água, que lhe confere cor e turbidez. Na prática, esses fenômenos ocorrem quase que simultaneamente. Por esse fato, não se usa tratá-los separadamente. A ocorrência dos fenômenos coagulação/floculação química e mais a decantação ou sedimentação propiciam a clarificação, que é definida como o processo de remoção de cor e turbidez de águas naturais. As águas naturais, superficiais ou subterrâneas que se encontram na natureza são chamadas de brutas ou *in natura*.

No tratamento de água para qualquer finalidade, a coagulação/floculação e sua conseqüente clarificação constituem etapas fundamentais desse processamento. Assim, quando a água a ser tratada necessita da coagulação/floculação química, essa etapa passa a ser o ponto de maior importância, em qualquer tecnologia de tratamento. Na filtração direta, se por acaso a coagulação/floculação for deficiente, as impurezas não serão retidas nos filtros, ou podem propiciar a impermeabilidade do leito filtrante, provocando a sua colmatação rapidamente. No tratamento completo, a coagulação/floculação, se ineficiente, também pode comprometer o desempenho da sedimentação e filtração (DI BERNARDO, 1993).

Nas estações de tratamento de água, entende-se por coagulação/floculação como sendo a transformação das impurezas invisíveis, que estão na água em suas diversas formas, em partículas maiores, mais densas e, conseqüentemente, mais pesadas chamadas de flocos, capazes de serem retirados do meio, através da decantação ou sedimentação, filtração ou flotação negativas (CAMPOS; POVINELLI, 1976 apud BORBA, 2001).

De acordo com Di Bernardo (1993), a coagulação/floculação, quando realizada com sais de alumínio ou de ferro (como coagulantes) resulta de dois fenômenos: o primeiro, que é essencialmente químico, consiste nas reações do coagulante com a água, formando espécies hidrolizadas com carga positiva. Esse fenômeno depende da concentração do metal presente, da temperatura, da quantidade de impurezas e do pH final da mistura. O segundo, fundamentalmente físico, consiste no transporte das espécies hidrolizadas para que haja contato com as impurezas presentes na água.

Quando a coagulação/floculação é realizada por polieletrólitos, acredita-se que o processo pode acontecer sem a ocorrência do fenômeno químico, não havendo reações de neutralização entre o coagulante e a água, para formar complexos gelatinosos, como ocorre com os coagulantes derivados de sais de alumínio e ferro. Esse acontecimento é devido ao fato deles já serem constituídos de complexos dotados de grandes cadeias moleculares, que apresentam pontos (sítios) com cargas positivas ou negativas, que têm grande capacidade de adsorção de partículas ao seu redor - Por esse motivo, a coagulação/floculação com polieletrólitos, praticamente, independe da alcalinidade da água, podendo ocorrer numa grande faixa de valores de pH (entre 4 e 12).

Segundo Davino (1976), a maior parte das partículas coloidais e das substâncias húmicas presentes na água bruta possuem cargas elétricas superficiais carregadas negativamente, devido aos seguintes processos:

- a) Defeito na rede de cristais da matéria. A maioria das águas naturais de superfície apresenta muitos tipos de argilas que são basicamente constituídas de silicatos de alumínio. Isso faz com que ocorra, freqüentemente, a substituição dos átomos de alumínio ou outros átomos trivalentes, por silício,

na rede do cristal, o que gera um excesso de cargas negativas na superfície desses agregados.

- b) Ionização da superfície das partículas em suspensão na água. A matéria silicosa presente em suspensão na água pode sofrer hidratação para formar grupos silanol que, conseqüentemente também se ioniza, conferindo carga negativa à matéria em suspensão.
- c) A matéria orgânica originária das substâncias húmicas, em suspensão nas águas superficiais apresenta uma grande variedade de compostos contendo os grupos fenólicos, aminas e carboxílicos, parcialmente ionizados. Isso também confere cargas negativas à matéria em suspensão na água.

Devido à ocorrência desses três fenômenos, os colóides dispersos na água se apresentam com cargas elétricas superficiais negativas, mesmo depois de um balanço com os íons de carga contrária presentes. Por esse fato se diz que o sistema coloidal não apresenta carga elétrica própria.

De um modo geral, todas as partículas dispersas em águas, cujo pH se encontra entre 4 e 10, apresentam cargas negativas devido à adsorção seletiva de íons eletronegativos. Como na prática geralmente as águas a serem tratadas estão dentro dessa faixa de valores de pH, os estudos de coagulação/floculação se desenvolveram baseados nessa idéia de partículas coloidais e/ou moléculas orgânicas (macro-moléculas) negativas (CAMPOS; POVINELLI, 1976 apud BORBA, 2001).

O mecanismo através do qual, ocorre a coagulação/floculação das impurezas que estão contidas nas águas naturais, depende do tipo de coagulante usado no processo de tratamento adotado, com o objetivo de se obter água tratada para fins domésticos ou industriais.

Durante a coagulação/floculação das águas naturais, podem ocorrer duas formas de estabilidade das partículas ou moléculas: a estabilidade eletrostática, provocada por coagulantes derivados de sais de alumínio e de ferro e a estabilidade estérica propiciada pelos coagulantes poliméricos (polieletrólitos). Em cada condição de estabilidade mencionada acima, são considerados dois aspectos: o primeiro é que a estabilidade depende da estrutura da interface sólido-líquido e o segundo é que ela depende das forças de atração entre as duas interfaces, quando se aproximam umas das outras (DI BERNARDO, 1993).

#### 2.3.1.1 **Produtos Utilizados na Coagulação/Floculação da Água**

- **Produtos Naturais**

De acordo com Borba (2001), o homem moderno busca na biodiversidade dos recursos naturais a solução de muitos dos seus problemas, numa tentativa de evitar o uso de produtos químicos artificiais, muitas vezes contaminados com substâncias químicas tóxicas e/ou radioativas.

O uso de coagulantes naturais, de origem vegetal, para clarificação de água turva e colorida, quando possível, é de grande significação ecológica e ambiental, considerando que a presença das plantas, sempre contribui com a ecologia, o embelezamento e a melhoria do ambiente, tornando o meio mais agradável e ainda produzindo oxigênio molecular, indispensável à respiração dos seres vivos. Por esse fato, tem crescido enormemente nos últimos anos a esperança

de se encontrar, na biodiversidade vegetal, um coagulante natural para clarificação de água turva e/ou colorida que apresente baixa toxicidade e seja de uso simples, barato e de fácil obtenção e aplicação.

Os problemas dos coagulantes naturais para uso em sistema comunitário, consistem na dificuldade de sua obtenção em qualidade e quantidade suficientes para operar um sistema de abastecimento de água desse porte e também, devido a algumas inconveniências que eles conferem à água, tais como:

- a) O aumento da matéria orgânica na água, que pode fermentar anaerobiamente produzindo gases mal cheirosos.
- b) Apenas, a clarificação não elimina os microrganismos patogênicos presentes na água *in natura* (nenhum coagulante elimina totalmente os microrganismos patogênicos).
- c) O hábito de não se fazer a desinfecção da água com substâncias químicas para o tratamento não perder o seu caráter natural. Aliás, esse fato é muito grave, porque pode induzir o usuário da água que sofreu apenas clarificação a usá-la, contaminada biologicamente.

De acordo com Di Bernardo (1993), a literatura do tratamento de água, tem registrado alguns trabalhos com o uso de coagulantes e/ou auxiliares de coagulação de origem orgânica, constituídos à base de polissacarídeos, proteínas e principalmente, os amidos, entre os quais têm se destacado: farinha de mandioca, araruta e fécula de batata.

Tem-se verificado também o uso de algumas plantas, tais como: o quiabo (*Abelmoschus esculentus*), usado na forma de um fluido viscoso extraído da vagem (baba de quiabo) ou na forma de chá feito a partir do pó seco da vagem pulverizada; a Mutamba (*Guazuma ulmifolia*) ou chico magro no Mato Grosso, usada também na

forma de chá da casca do caule e cacau (*Theobroma cacao*), usado na forma do pó da casca (ABREU; LIMA, 1998 apud BORBA, 2001).

Tem sido também registrado o uso de argilas não ferrosas, formadas de grandes agregados iônicos (moléculas complexas), como bentonita sódica e outras argilas alcalinas, como auxiliar de coagulação/floculação (Borba 2001)

As descobertas do uso de sementes trituradas de *Moringa oleifera* para a purificação de água, a um custo de apenas uma fração do tratamento químico convencional, constitui uma alternativa de mais alta importância. Em relação à remoção de bactérias, com o uso da Moringa, as reduções são na ordem de 90 a 99% , conforme relatadas na literatura. Deve ser observado, porém, que o uso do tratamento com sementes, assim como o de outros coagulantes naturais e químicos, não produz água purificada. O risco de infecção pode ser altamente reduzido e a água passa a ser considerada potável se alguma forma de desinfecção, tal como fervura, for aplicada (MORINGA OLIVEIRA, 2003).

Em um projeto piloto para tratamento de água em Malawi, na África, foi constatado que enquanto o alumínio é eficiente como coagulante apenas em uma faixa restrita de níveis de pH da água a ser tratada, as sementes de Moringa atuam independentemente do pH, constituindo-se em uma vantagem a mais em países em desenvolvimento, onde normalmente não é possível controlar efetivamente o pH antes da coagulação. Tais sementes podem ser usadas no tratamento de água, abrindo possibilidades que asseguram que os países emergentes possam ter água saudável, limpa e potável e para o uso doméstico. Poderão, sem dúvida, se transformar numa solução para reduzir a incidência de doenças provocadas por água impura, que representam uma das principais causas que levam à morte, principalmente de crianças no mundo.

Silva (1999), estudou a utilização de taninos vegetais isoladamente, como coagulante, floculante e/ou complemento como polieletrólitos, em tratamento de água e esgoto. Verificou que a eficiência na redução da turbidez, cor, DQO e DBO variou de 65 a 100%. O tanino apesar de natural, é um produto polihidroxidofenólico, existente em grande quantidade nos vegetais podendo ser utilizada como floculante, para tratamento de água de abastecimento e esgoto.

Wessler... (2003), através de análises realizadas, verificaram que um polímero orgânico natural catiônico é altamente eficiente na redução de cor e que o pH da água tratada praticamente não altera com a adição desse polímero, o que é um fator positivo em relação ao sulfato.

O mecanismo de coagulação de compostos orgânicos e inorgânicos é semelhante ao mecanismo de coagulação/floculação dos polieletrólitos, já que todos eles são polímeros naturais constituídos de grandes cadeias carbônicas ou silicônicas, dotados de sítios com pontos positivos ou negativos, podendo na presença da água, transformarem-se em coagulantes catiônicos ou aniônicos, dependendo do saldo das cargas elétricas, se positivo ou negativo (DAVINO, 1976).

De acordo com Borba (2001), tanto os polímeros sintéticos, como os naturais (amidos em geral), têm sido usados como auxiliar de coagulação/floculação, com o objetivo de aumentar a velocidade de sedimentação dos flocos, aumentar a resistência dos flocos contra as forças de cisalhamento que podem ocorrer com a veiculação da água após a floculação e propiciar a diminuição da dosagem do coagulante primário.

Por outro lado, a presença de um polieletrólito orgânico, natural ou sintético na água, pode aumentar seu teor de matéria orgânica ou inorgânica e causar problemas, como o aparecimento de sabores desagradáveis e substâncias mal cheirosas, caso essa matéria orgânica, não seja eliminada durante as fases da

coagulação/floculação, sedimentação e desinfecção com cloro gasoso ou produto similar (BORBA, 2001).

- Produtos Químicos – Coagulantes, Alcalizantes, Coadjuvantes

No condicionamento da água potável, uma grande parte das características indesejáveis da água bruta são removidas unicamente através do processamento químico conseguido com a aplicação de produtos químicos. Estes produtos que podem reagir entre si, com a água ou compostos nela existentes são utilizados nos seguintes processos: coagulação; ajustamento do pH; controle da corrosão; redução de dureza; controle e remoção de sabor e odor; desinfecção; descloração e floculação. Os produtos químicos a serem utilizados são escolhidos com base em testes de laboratório, considerando-se dados operacionais resultantes da experiência, assim como a facilidade de manejo, custo e disponibilidade.

Para a fase da coagulação os produtos químicos mais utilizados são apresentados no quadro 1.

**Quadro 1:** Produtos químicos utilizados na coagulação da água

<b>Coagulante</b>	<b>Alcalinizantes</b>	<b>Coadjuvante ou Auxiliares</b>
Sulfato de alumínio	<b>Cal virgem</b>	Argila
Sulfato ferroso	Cal hidratada	Sílica ativada
Sulfato férrico	Carbonato de sódio	Polieletrólitos etc.
Sulfato ferroso clorado	Hidróxido de sódio	-
Cloreto férrico	-	-

**Fonte:** Instituto de Gerenciamento Ambiental, (2004).

Um bom coagulante deve ter as seguintes propriedades:

- Reagir com álcali produzindo hidróxidos;
- Produzir em solução íons positivos que neutralizem as cargas elétricas dos colóides;
- Não causar problemas à saúde ao consumidor;
- Ter custo acessível e disponibilidade no mercado.

Devido a esses fatores, o sulfato de alumínio é o mais utilizado. Para a escolha também deve-se levar em conta o pH da água. Os coagulantes e seus intervalos de trabalho de pH são apresentados no quadro 2.

**Quadro 2:** Coagulantes da água e intervalo de trabalho de pH

Coagulante	<i>Faixa de pH</i>
Sulfato de alumínio	5,0 a 8,0
Sulfato ferroso	8,5 a 11,0
Sulfato férrico	5,0 a 11,0
Cloreto férrico	5,0 a 11,0
Sulfato ferroso clorado	> 4,0

**Fonte:** Instituto de Gerenciamento Ambiental, 2004.

***Segundo Leme (1990), para se produzir uma água de qualidade final satisfatória, os coagulantes metálicos comumente usados no tratamento da água são: (1) aqueles cujo alumínio é a base, como o sulfato de alumínio, aluminato de sódio e outros; (2) aqueles cuja base é o ferro, como o sulfato férrico, sulfato ferroso e cloreto férrico.***

A descrição seguinte fornece algumas das propriedades relevantes e as reações químicas dessas substâncias na coagulação da água, que são apresentadas na forma de equações hipotéticas, com a consciência de que elas não

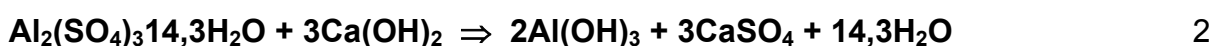
representam exatamente o que acontece na água. Estudos têm mostrado que a hidrólise dos sais de alumínio e ferro é bem mais complicada do que indicam estas fórmulas, entretanto, elas são de utilidade na obtenção aproximada dos produtos das reações e das relações quantitativas (DI BERNARDO, 1993).

O sulfato de alumínio é o mais utilizado entre os coagulantes. É um sólido cristalizado de cor branca acinzentada, contendo, aproximadamente, 17% de óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), solúvel em água, e é disponível em pedras ou em pó, bem como em soluções concentradas. Em pedra é, geralmente, medido em aparelhos gravimétricos, enviado para um tanque de solução do qual é transmitido ao ponto de aplicação por meio de uma bomba. Na forma de líquido, em cor de âmbar, contém cerca de 8% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  disponível. A hidrólise do íon de sulfato de alumínio em solução é complexa e não é completamente definida. Em água pura, com pH baixo, a maior parte do alumínio aparece em forma de íon  $\text{Al}^{3+}$ , enquanto que nas soluções alcalinas, os complexos aparecem como íons  $\text{Al}(\text{OH})^{-4}$  e  $\text{Al}(\text{OH})^{-5}$ , principalmente. Nas equações hipotéticas de coagulação, o floco de alumínio é representado pelo hidróxido de alumínio,  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . Esta é a forma predominante encontrada numa solução diluída com pH perto da neutralidade, na ausência de íons complexos, com exceção do hidróxido.

A reação entre o alumínio e a alcalinidade natural é dada na equação 1:



Se cal ou carbonato de sódio são adicionados à água com os coagulantes, as reações teóricas são representadas pelas equações 2 e 3:





Com base nessas reações, 1,0 mg/L de sulfato de alumínio, com peso molecular 600g/mol, reage com: 0,50 mg/L de alcalinidade natural, expressa como  $\text{CaCO}_3$ ; 0,39 mg/L de cal hidratada como hidróxido de cálcio,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  com 95% de pureza ou 0,33 mg/L de cal virgem como óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ), 85% pura; ou 0,53 mg/L de carbonato de sódio como  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Quando a cal ou o carbonato de sódio reagem com o sulfato de alumínio, a alcalinidade natural da água não se modifica. Os íons de sulfato, adicionados juntamente com o sulfato de alumínio, permanecem na água tratada.

As dosagens de sulfato de alumínio usadas no tratamento de água estão na faixa de 5 a 50 mg/L, sendo as concentrações maiores as necessárias para clarificar águas superficiais turvas. A coagulação é geralmente efetiva na faixa de pH entre 5,5 e 8,0 (DI BERNARDO, 1993).

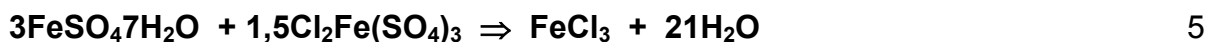
O aluminato de sódio ( $\text{NaAlO}_2$ ), pode ser usado como coagulante em casos especiais. A forma comercial tem uma pureza de aproximadamente 80% e pode ser obtida na forma sólida ou em solução. Devido ao seu alto custo, o alumínio de sódio é, geralmente, usado como auxiliar de coagulação secundária de águas superficiais com alto teor de cor, e como coagulante no processo de abrandamento com cal e carbonato de sódio, para aumentar a decantabilidade do precipitado.

O sulfato ferroso,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , é um sólido cristalino de cor branco-esverdeada, que é obtido como subproduto de outros processos químicos, principalmente na decapagem do aço. Embora disponível em forma líquida na solução gasta do processo de decapagem, também é encontrado, comercialmente, na forma granular. O ferro ferroso adicionado à água precipita na forma oxidada de hidróxido de ferro. Assim, a adição de cal ou cloro é geralmente necessária para

prover uma coagulação efetiva. A coagulação com sulfato ferroso e cal, mostrada na equação 4, é efetiva na clarificação de águas turvas e outras reações conduzidas com alto valor de pH, por exemplo, no abrandamento com cal.

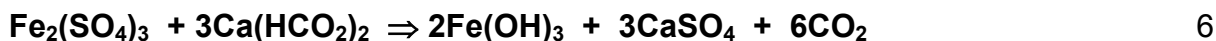


Prepara-se a caparrosa clorada, adicionando cloro para oxidar o sulfato ferroso. A vantagem desse método, com relação à adição de cal, é que a coagulação pode ser obtida numa extensa faixa de pH, entre 4,8 e 11,0, teoricamente, de acordo com a equação 5:



Cada mg/L de sulfato ferroso requer 0,13mg/L de cloro, embora cloro adicional seja, geralmente, necessário para assegurar a reação completa.

O sulfato férrico,  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ , é disponível, comercialmente, na forma de um material granular marrom - avermelhado, que é rapidamente solúvel na água. Reage com alcalinidade natural da água, de acordo com a equação 6:



No caso de alcalinidade adicionada, com a cal ou carbonato de sódio, reage de acordo com a equação 7:



Em geral, os coagulantes férricos são efetivos numa extensa faixa de pH. O sulfato férrico é, particularmente, efetivo quando usado para remover cor em pH baixo; em pH alto, pode ser usado para a remoção de ferro e manganês, ou como coagulante no abrandamento por precipitação.

O cloreto férrico,  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , é usado primariamente, na coagulação de esgotos sanitários e industriais, e encontra aplicações limitada no tratamento d'água. Normalmente, produz-se clorando aparas de ferro, e é disponível comercialmente, nas formas sólida e líquida. Sendo altamente corrosivo, o líquido deve ser armazenado e manuseado em tanques e dosadores resistentes à corrosão. As reações do cloreto férrico com a alcalinidade natural ou adicionada são similares às do sulfato férrico.

Freqüentemente, ocorrem dificuldades na coagulação devida aos precipitados de baixa decantabilidade, ou flocos frágeis que são facilmente fragmentados sob forças hidráulica, nos decantadores e filtros de areia. Os auxiliares de coagulação beneficiam a floculação, aumentando a decantabilidade e o enrijecimento dos flocos. Os materiais mais usados são os polieletrólitos, a sílica ativada, agentes absorventes de peso e oxidantes.

Os polímeros sintéticos são substâncias químicas orgânicas de cadeia longa e alto peso molecular, disponíveis numa variedade de nomes comerciais. Os polímeros são classificados de acordo com a carga elétrica na cadeia do polímero. Os que possuem carga negativa são chamados aniônicos, os carregados positivamente são chamado de catiônicos, e os que não possuem carga elétrica são os não-iônicos. Os aniônicos ou não-iônicos são, freqüentemente, usados juntamente com coagulantes metálicos para promoverem as ligações entre os colóides, a fim de desenvolver flocos maiores e mais resistentes. A dosagem

requerida de um auxiliar de coagulação é, geralmente, da ordem de 0,1 a 1,0 mg/L. Na coagulação de algumas águas, os polímeros podem promover floculação satisfatória, com significativa redução das dosagens de sulfato de alumínio. As vantagens potenciais do uso de polímeros são a redução da quantidade de lodo e a sua maior amenidade à desidratação (LEME, 1990).

Os polímeros catiônicos têm sido usados com sucesso, em alguns casos, como coagulantes primários. Embora o custo unitário dos polímeros catiônicos seja cerca de 10 a 15 vezes maior que o custo do sulfato de alumínio, as reduzidas dosagens requeridas podem igualar o custo final com substâncias químicas para os dois casos. Adicionalmente, ao contrário do lodo gelatinoso e volumoso oriundo do uso do sulfato de alumínio, o lodo formado pelo uso de polímeros é relativamente mais denso e fácil para ser desidratado, facilitando o manuseio e disposição. Algumas vezes, polímeros catiônicos e não-iônicos podem ser usados conjuntamente para formar um floco adequado, o primeiro sendo o coagulante primário e o segundo um auxiliar de coagulação. Embora significativos progressos tenham sido feitos na aplicação de polieletrólitos, no tratamento d'água, sua principal aplicação ainda é como auxiliar de coagulação. Diversas águas não podem ser tratadas usando-se apenas polímeros. Testes de floculação devem ser feitos para determinar a eficiência de um determinado polieletrólito na floculação de uma determinada água (RICHTER; AZEVEDO, 1995).

A sílica ativada é o silicato de sódio tratado com ácido sulfúrico, sulfato de alumínio, dióxido de carbono, ou cloro. Uma solução diluída é parcialmente neutralizada por um ácido e, depois, deixada amadurecer por um período de até 2 horas. No amadurecimento em excesso, corre o risco da solidificação de toda a solução. A solução de sílica amadurecida é, em geral, novamente diluída antes da

sua aplicação à água. Como um auxiliar de coagulação oferece as seguintes vantagens: aumenta a taxa de reação química, reduz a dosagem de coagulante, aumenta a faixa de pH ótimo e produz um floco com melhores propriedades de decantação e resistência. Uma das desvantagens em relação aos polieletrólitos é a necessidade de um controle preciso de preparo e dosagem. A sílica é, normalmente, usada com coagulantes à base de alumínio, com dosagens entre 7 e 11% da dosagem do coagulante primário, expresso em mg/L de óxido silício, SiO<sub>2</sub> (DI BERNARDO, 1993).

Argilas bentoníticas podem ser usadas no tratamento de águas contendo alto teor de cor, baixa turbidez e baixo conteúdo mineral. O floco de ferro ou alumínio, produzido nessas condições é, em geral, demasiadamente leve para decantar rapidamente. A adição de argila resulta num aumento do peso do floco, melhorando a decantabilidade. As partículas de argila podem, também, adsorver compostos orgânicos, melhorando o tratamento. Embora a dosagem exata deva ser determinada por meio de testes, 10 a 15 mg/L, geralmente, resulta na formação de bons flocos. Outros agentes usados para aumentar o peso dos flocos são a sílica em pó, calcário e carvão ativado; sendo que o último tem a vantagem adicional de possuir alta capacidade de adsorção (ARBOLEDA, 1992).

Problemas na clarificação de águas superficiais e remoção de cor, freqüentemente, podem ser minimizados, aplicando-se oxidantes. A prática mais comum é a cloração "breakpoint" da água bruta. Nesse caso, suficiente quantidade de cloro é adicionada para oxidar compostos orgânicos que causam interferência. Outros oxidantes menos usados são o permanganato de potássio, o ozônio e o dióxido de cloro.

## 2.4 CARACTERÍSTICAS DO ALUMÍNIO

Classificado como um metal branco acinzentado e leve, o alumínio foi descoberto pelo pesquisador Hans Christian Oersted em 1825. Este elemento não é encontrado livre na natureza, apenas na forma combinada. Seu principal mineral é a bauxita, o óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) muito abundante nas rochas e minerais. Nas águas naturais pode ser introduzido através dos ciclos biogeoquímicos, do intemperismo das rochas e pelas atividades humanas. Nas águas de abastecimento, aparece como resultado do processo de coagulação, que emprega compostos de alumínio (PARÂMETROS..., 2003).

O alumínio é produzido e consumido em grandes quantidades em muitas nações, sendo o Brasil um grande produtor, em torno de 762.000 t/ano. Por essa razão é um dos principais constituintes de um grande número de componentes atmosféricos, particularmente de poeira derivada de solos e partículas originadas da combustão de carvão. Em áreas urbanas, a concentração de Al na poeira das ruas varia de 3,7 a 11,6  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . No ar, a concentração varia de 0,5  $\text{ng}/\text{m}^3$  sobre a Antártica a mais de 1.000  $\text{ng}/\text{m}^3$  em áreas industrializadas (TRATAMENTO..., 2004).

Na água, o alumínio é complexado e influenciado pelo pH, temperatura e a presença de fluoretos, sulfatos, matéria orgânica e outros ligantes. A solubilidade é baixa em pH entre 5,5 e 6,0. Por isso, deve apresentar maiores concentrações em profundidade, onde o pH é menor e pode ocorrer anaerobiose. Se a estratificação e, conseqüente anaerobiose, não for muito forte, o teor de alumínio diminui no corpo de água como um todo, à medida que se distancia a estação das chuvas. O aumento da concentração de alumínio está associado com o período de chuvas e, portanto, com a alta turbidez da água.

Outro aspecto do alumínio é sua dissolução no solo para neutralizar a entrada de ácidos com as chuvas ácidas. Nesta forma, ele é extremamente tóxico à vegetação e pode ser escoado para os corpos d'água (TRATAMENTO..., 2004).

## 2.5 PROBLEMAS DE SAÚDE PARA O HOMEM CAUSADOS PELA INGESTÃO DO ALUMÍNIO

A evolução da vida, dentro de uma biosfera rica em alumínio - o terceiro elemento mais abundante da crosta terrestre (na forma combinada) - não foi bem sucedida no desenvolvimento de uma função biológica útil para este metal. Pelo contrário, estudos realizados por Luckey; Venugopal (1977), evidenciaram a sua toxicidade ao homem, incluindo memória alterada, convulsões, variações nas características do eletroencefalograma, mal de Shaver (pulmão), mal de Alzheimer (cérebro) e também riscos de câncer (pulmão e pâncreas) e leucemia. Uma variedade de efeitos fisiológicos prejudiciais têm sido relacionados com a intoxicação por alumínio em pacientes com problema renal crônico.

De acordo com Moreno (1994), o alumínio é o metal mais abundante na face da terra. A exposição a este elemento através da ingestão de água, alimentos e outras partículas de sujeira é constante. Estima-se que um indivíduo adulto receba em média de 3 a 5 mg/dia dos quais 0,015 (0,3% a 0,5%) sejam absorvidos. Grande parte do alumínio absorvido é normalmente excretado na urina, restando um nível

total de alumínio no organismo em torno de 30 mg a 40 mg, quando os indivíduos têm velocidade de filtração glomerular normal. Quando a exposição ao alumínio aumenta, tanto os processos de absorção quanto de eliminação também aumentam. Entretanto, os mecanismos de excreção renal do alumínio ainda não estão bem definidos; em indivíduos normais, o "clearance" renal do alumínio varia de 5% até 50% do fluxo de filtração glomerular. O depósito de alumínio nos tecidos é menor em pacientes com função renal normal. Todavia, em pacientes com insuficiência renal crônica, o alumínio total está significativamente aumentado. Os órgãos afetados com mais frequência e com maiores concentrações de alumínio são os ossos, o fígado e o cérebro.

Segundo Bishop (1997), o alumínio foi, inicialmente, reconhecido por causar encefalopatia (doença encefálica) e osteomalácia (doença óssea) em pacientes com uremia. Desde 1970, vários estudos começaram a relacionar dor a óssea e osteomalácia em pacientes com função renal normal e que recebiam nutrição parenteral total. Na década de oitenta, iniciou-se a correlação entre a contaminação por alumínio nas soluções de nutrição parenteral e o alumínio encontrado na urina, sangue e ossos destes pacientes.

Com o maior conhecimento dos métodos analíticos, pode-se determinar, de forma qualitativa e quantitativa, a toxicidade do alumínio, como a que ocorreu em pacientes adultos e crianças com insuficiência renal que foram tratados pelo procedimento de diálise com soluções contaminadas com alumínio ou agentes orais quelantes de fosfato que continham alumínio (KLEIN; ALFREY; SHIRE, 1991).

Estudos desenvolvidos para a Organização Mundial de Saúde por Fagliano; Michael (1996), verificaram o aumento da incidência de leucemia entre

mulheres em decorrência da presença de compostos orgânicos voláteis em sistemas de abastecimento de água. Esse tipo de contaminação tem origem em despejos industriais de longa duração.

Fagliano; Michael (1996), também estudaram e detectaram no início da década de 1970, em pacientes submetidos à diálise uma síndrome conhecida como “demência da diálise”, caracterizada por insanidade, alteração comportamental, distúrbio na fala, contração muscular e convulsões. Em todos os pacientes com a síndrome verificou-se elevada concentração de alumínio nos tecidos, especialmente no córtex cerebral. Esse fato foi associado às concentrações de alumínio na água usada para preparar o fluido da diálise, embora não tenha sido descartada a possibilidade de o alumínio ter vindo de outras fontes.

A Organização Mundial da Saúde e a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos – USEPA, em investigações realizadas e em andamento, sugerem uma influência do alumínio na etiologia de doenças neurodegenerativas, tais como, o Mal de Parkinson e o Mal de Alzheimer. Deficiências nutricionais crônicas de cálcio e magnésio possivelmente aumentam a absorção do alumínio, resultando em sua deposição nos neurônios, o que interfere na estrutura dessas células e nas funções cerebrais.

Silva (1990), realizou estudo no qual analisou durante 1 ano amostras de água de 19 centros de diálise da cidade de São Paulo. Desses, 17 dispunham de tratamento (15 deionizadores; 2 abrandadores) e 2 não tratavam a água. Esse estudo revelou que durante todo o período, a água oferecida aos centros apresentava boa potabilidade, porém era inadequada para diálise. Dos elementos analisados, o alumínio, cálcio, flúor e zinco, estavam acima dos valores recomendados, em todos os centros analisados. Somente os níveis de zinco

normalizavam-se após passagem pelo deionizador. O abrandador normalizou os níveis de cálcio em 45% das amostras, enquanto os elementos alumínio e flúor permaneceram elevados, a despeito dos tratamentos. Segundo o autor, o alumínio se difunde através da membrana semipermeável do filtro de diálise através da ligação dos grupos hidroxila e sulfídrica. A contaminação da água, acima dos níveis permitidos, leva ao acúmulo do metal e intoxicação alumínica nos pacientes renais crônicos e pode causar osteomalácia, anemia microcítica e lesão funcional aos hepatócitos, sendo que nos casos mais severos pode evoluir com um quadro de encefalopatia, demência da diálise, catatonia e morte.

Por outro lado, a Associação Brasileira do Alumínio (2000), também afirma que alguns estudos começaram a relacionar o alumínio à Doença de Alzheimer a partir da metade dos anos 70. Logo após estes estudos, centenas de pesquisadores e entidades como a “Food and Drug Administration” (FDA), dos Estados Unidos da América e a Organização Mundial da Saúde (OMS) desenvolveram uma infinidade de estudos tendo a maioria deles concluído não existirem evidências científicas de que o metal é o causador da doença. Estes estudos têm sido revisados continuamente. Em 1994, durante a 4<sup>a</sup>- Conferência Internacional sobre a Doença de Alzheimer, apenas 13 dos 656 trabalhos apresentados mencionaram o alumínio como potencial agente etiológico. Alguns fatores têm ratificado essa condição, entre eles destacam-se: a elevação da concentração de alumínio no cérebro estaria associada a um processo natural de envelhecimento ou a uma consequência da própria doença; apesar das diversas teorias existentes sobre as causas da Doença de Alzheimer, os estudos dos fatores genéticos apontam cada vez mais sua importância como fator determinante para a doença; existe uma barreira efetiva no trato gastrointestinal que impede a absorção

do **alumínio** ingerido nos alimentos ou líquidos, ou seja, a quase totalidade do **alumínio** ingerido é eliminada pelas fezes e a pequena absorção (aproximadamente 0,01%) é posteriormente eliminada pela urina; a barreira hematoencefálica também dificulta a migração de substâncias externas, inclusive o **alumínio**, da corrente sanguínea para o cérebro. Segundo o FDA, a ingestão normal de **alumínio na** dieta e **na água** não pode ser considerada tóxica e não tem significado do ponto de vista de saúde pública. Apenas uma pequena porcentagem do **alumínio** ingerido **na** dieta diária tem origem no contato do alimento com produtos de **alumínio**, mesmo sob condições de exposição máxima.

Para Wisniewski (2000), o Mal de Alzheimer é, na verdade, uma síndrome e não uma única entidade patológica, com várias causas diferentes. Adicionalmente, não há qualquer evidência que implique o alumínio na progressão dessa doença, seja como causa direta ou agravante da patogênese dessa doença, o que é confirmado pelos relatórios da Organização Mundial de Saúde, publicados em 1998, que também concluíram não haver riscos significativos do alumínio para populações humanas normais (sadias).

Brown (1989) apud Moore (1990), correlacionou o aumento do risco relativo da ocorrência do Mal de Alzheimer com o nível de alumínio na água de abastecimento. Porém, concluiu que não há indicação de carcinogenicidade para esse elemento.

De acordo com Bohrer (1997), o uso de sulfato de alumínio como agente floculante em estações de tratamento de água para abastecimento, representa uma fonte adicional de contaminação, uma vez que traços de alumínio existentes na água não são totalmente eliminados pelo processo de tratamento tipo convencional.

Segundo Batalha (1988), há uma diferença fundamental entre os riscos à saúde pública decorrentes de contaminantes químicos tóxicos na água para consumo humano e aqueles originários da presença de microrganismos

patogênicos. Ao contrário do que acontece com os microrganismos, os produtos químicos raramente causam doenças agudas, exceto quando a contaminação do manancial é intensa ou quando ocorrem acidentes ao longo dos sistemas públicos de abastecimento de água. O sistema de tratamento convencional de água que se baseia nas técnicas de coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção produz uma água aceitável aos sentidos humanos e livre de microrganismos patogênicos. Incapaz, portanto, de ter efeitos agudos sobre a saúde da população. No entanto, esse tratamento não é capaz de remover pequenas quantidades de substâncias tóxicas como os metais, que podem causar diversas doenças se ingeridas por longo tempo.

Barcha (1999), também concorda que as microdoses de contaminantes químicos ou toxinas na água acumulam-se aos poucos no organismo, causando danos à saúde ao serem ingeridas por um período longo de tempo. Também afirma que é grande o volume de informações científicas sobre os efeitos a curto prazo ou agudos de altos níveis de contaminantes, mas o mesmo não ocorre com os efeitos crônicos.

Na verdade, pouco se sabe sobre o que acontece a seres humanos expostos a baixas concentrações de compostos químicos por 20 ou 30 anos. Essa ainda é uma grande interrogação para a epidemiologia (BATALHA, 1988).

Assim, a qualidade da água tratada depende das características do manancial de captação, pois as microquantidades de compostos químicos tóxicos, sejam de origem química ou biológica, dificilmente são removidas pelas técnicas convencionais de tratamento. A evolução, tanto das técnicas de análise e monitoramento da água, quanto dos estudos epidemiológicos, evidenciou essa limitação tecnológica dos atuais sistemas de tratamento. Isso significa dizer que a

tecnologia convencional de tratamento não remove as microdoses tóxicas, mas apenas clarifica a água e destrói microrganismos patogênicos, evitando assim a transmissão de doenças. A existência de sistemas públicos de abastecimento não garante, por si só, a qualidade da água, sem um controle adequado da atuação desses sistemas por parte da população.

No início do estudo efetuou-se um levantamento de dados sobre a bacia hidrográfica do rio Gramame por abrigar os reservatórios de Gramame/Mamuaba que são parte integrante do sistema de abastecimento de água de parte da cidade de João Pessoa, no sentido de poder identificar fatores que contribuam para alterações da qualidade da água bruta. Também obtiveram-se, junto à CAGEPA, informações sobre o sistema atual de abastecimento de água de João Pessoa.

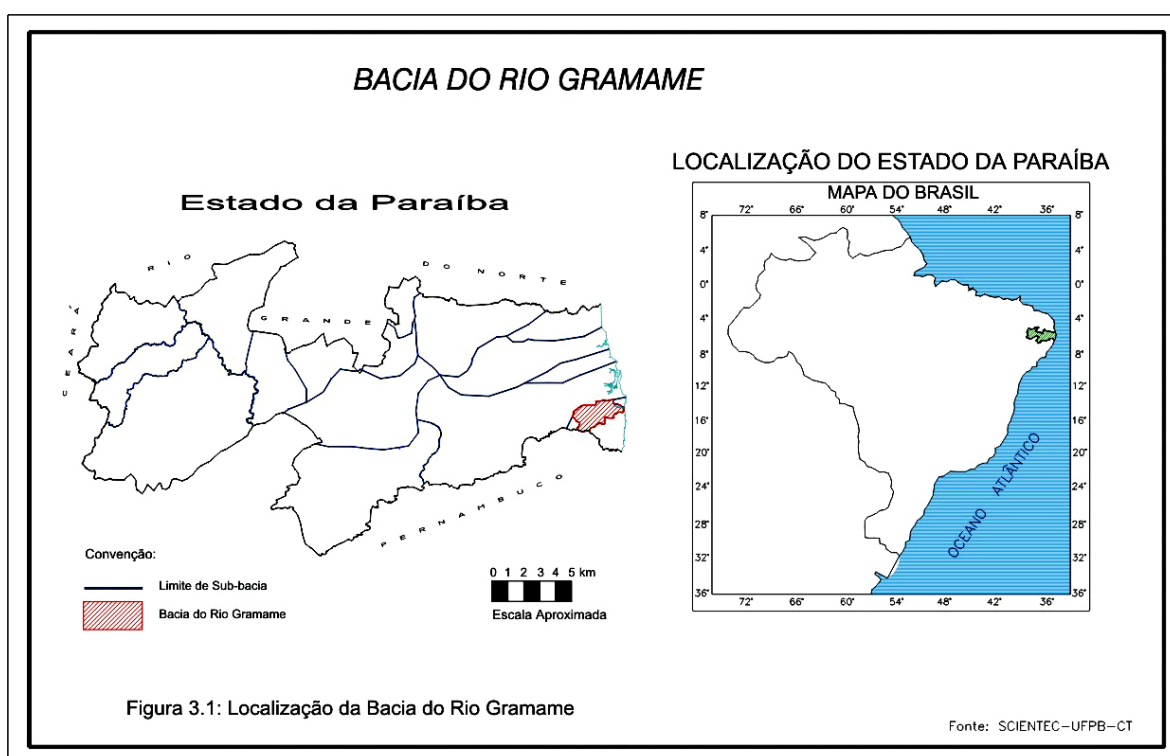
O sistema Gramame/Mamuaba foi selecionado em função da população que abastece e por apresentar na bacia hidrográfica áreas ocupadas com atividades agrícolas e industriais. Vale ressaltar que a estação de tratamento de água de Pedras de Fogo/PB lança o seu efluente descartável no riacho Avenca que é afluente do rio Gramame a montante dos reservatórios citados.

### 3.1 LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS AMBIENTAIS DA BACIA DO RIO GRAMAME

Os dados sobre localização e aspectos ambientais da bacia hidrográfica do rio Gramame foram transcritos do PLANO DIRETOR DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA DO RIO GRAMAME - PDRH (SCIENTEC, 2000) e complementados com informações levantadas em campo.

#### **3.1.1**      ***Localização***

A bacia em questão localiza-se entre as latitudes 7° 11' e 7° 23' Sul e as longitudes 34° 48' e 35° 10' Oeste, na região litorânea sul, próxima à capital do Estado da Paraíba, João Pessoa. Abrange os municípios de Alhandra, Conde, Cruz do Espírito Santo, João Pessoa, Pedras de Fogo, Santa Rita e São Miguel de Taipu. Destes, apenas as sedes dos municípios de Pedras de Fogo e Conde localizam-se no seu interior, os demais centros urbanos estão localizados fora da bacia (Figura 2).



**Figura 2:** Localização da bacia do rio Gramame.  
**Fonte:** SCIENTEC, (2000).

Os percentuais de participação em área da bacia por município estão mostrados no Quadro 3.

**Quadro 3:** Participação em área dos municípios na Bacia

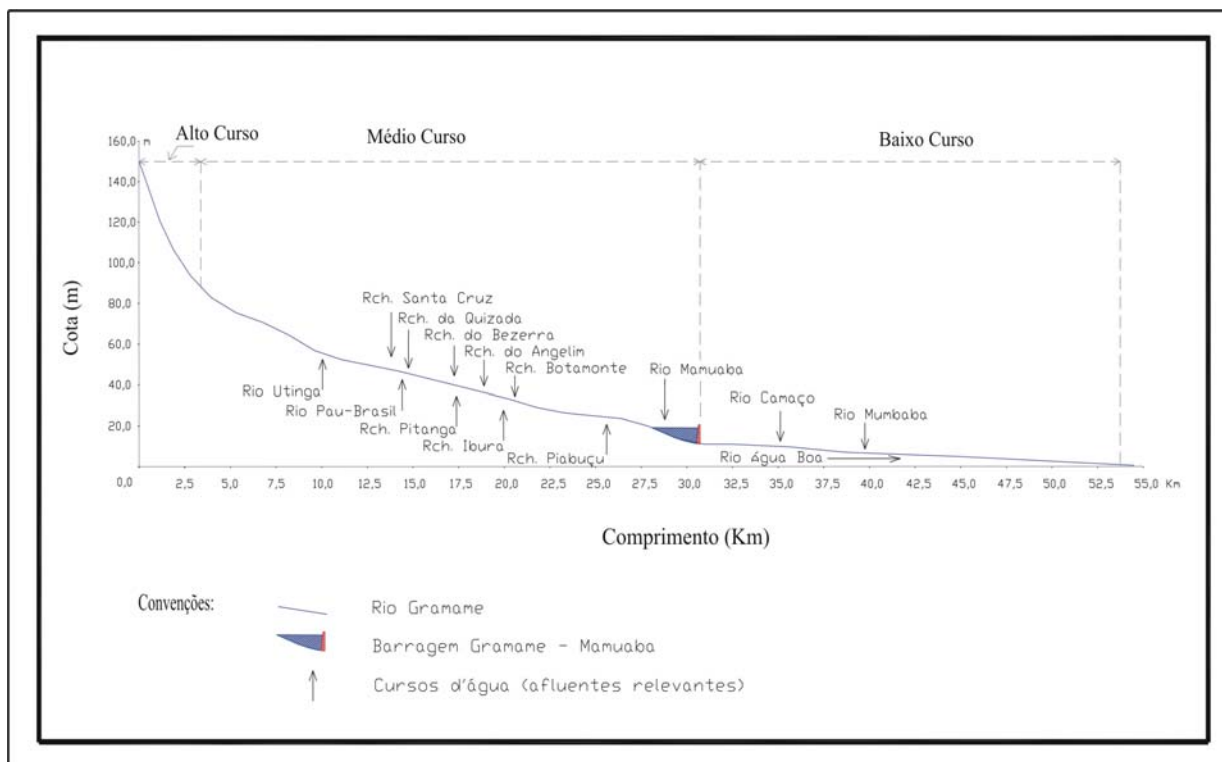
Município	Área do Município (km <sup>2</sup> )	Área na Bacia (km <sup>2</sup> )	Participação (%)
Alhandra	224,42	99,72	16,93
Conde	164,10	76,47	12,98
Cruz do Espírito Santo	189,32	3,50	0,59
João Pessoa	209,94	59,07	10,03
Santa Rita	762,33	155,59	26,41
São Miguel de Taipu	63,60	2,20	0,37
Pedras de Fogo	348,02	192,56	32,69

**Fonte:** SCIENTEC, (2000).

A referida bacia tem uma área de 589,1 km<sup>2</sup> e perímetro de 123,3 km. O comprimento do curso d'água principal, o Gramame, é de 54,3 km, medido desde a sua nascente na região do Oratório, município de Pedras de Fogo até a praia de Barra de Gramame, onde limita os municípios de João Pessoa e Conde.

De acordo com o PDRH da bacia do rio Gramame, esta possui forma ligeiramente arredondada, relativamente compacta e regular, interpretando-se assim, que sem considerar as influências de outros fatores, estaria não muito sujeita a enchentes.

A rede hidrográfica da bacia é descrita pelo perfil longitudinal do rio principal, ou seja, do Gramame. No perfil estão indicados os locais onde deságuam os principais afluentes e barramentos. O açude principal, que é a barragem Gramame-Mamuaba, encontra-se no limite entre o médio e o baixo curso. As barragens construídas são interligadas por um canal, sendo uma sobre o rio Gramame e a outra no rio Mamuaba, com capacidade de armazenamento de, aproximadamente, 60 milhões de m<sup>3</sup> de água (Figura 3).

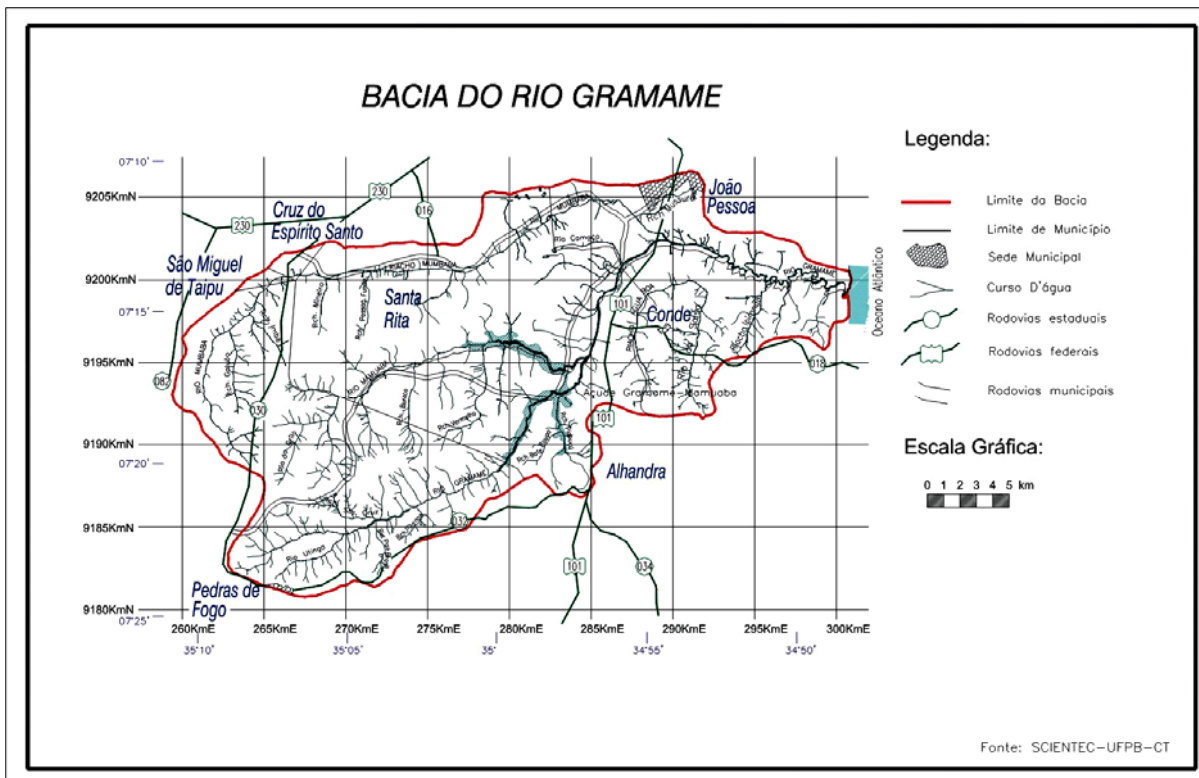


Fonte:  
(2000).

Figura 3: Perfil longitudinal do rio Gramame.

SCIENTEC,

Seus principais cursos d'água, além do principal, o Gramame, são os afluentes Mumbaba e Mamuaba na margem esquerda, e Água Boa, na margem direita, todos perenes. Outros afluentes importantes são, na margem direita: rio Utinga, rio Pau Brasil, riacho Pitanga, riacho Ibura, riacho Piabuçu; e na margem esquerda: riacho Santa Cruz, riacho da Quizada, riacho do Bezerra, riacho do Angelim, riacho Botamonte e rio Camaço (Figura 4).



**Figura 4:** Hidrografia, divisão política e rodovias.  
**Fonte:** SCIENTEC, (2000).

Ainda de acordo com PDRH da bacia hidrográfica do rio Gramame, esta apresenta uma drenagem na faixa de regular a média, apresenta baixa declividade, com extensão superficial média de 0,41 km, quanto menor esse valor, mais rapidamente as águas pluviais atingem as calhas fluviais.

O rio Gramame nasce no município de Pedras de Fogo, ao norte de sua sede, no Estado da Paraíba, limite com o Estado de Pernambuco. Banha algumas cidades e propriedades particulares e deságua no Oceano Atlântico, ao sul de Barreiras de Igarapé, na praia de Barra de Gramame.

O rio Mamuaba deságua no km 27,5 do rio Gramame (a partir de sua nascente), onde também está o reservatório.

O riacho Mussuré, afluente do rio Mumbaba, deságua no km 40 (a partir de sua nascente), atravessa o Distrito Industrial de João Pessoa, recebendo cargas poluidoras, as mais diversas, entre elas, metais pesados.

O rio Mumbaba deságua no km 40 do rio Gramame (a partir de sua nascente), à jusante do reservatório, no seu baixo curso.

O rio Água Boa, afluente da margem direita do rio Gramame, apresenta uma baixa aeração, particularmente no ponto localizado na confluência com o rio Gramame, por tratar-se de uma faixa de nascente do mesmo, não havendo ainda, portanto, uma boa oxigenação. Porém, o rio em questão é passível de poluição em função da localização de indústrias à montante de sua nascente. O rio Água Boa deságua no km 42,5 do rio Gramame (a partir de sua nascente), também à jusante do reservatório e no seu baixo curso.

Na bacia do rio Gramame, encontram-se instaladas indústrias do gênero tradicionais, como os produtos alimentares, construção civil, serviços de reparação, manutenção e instalação, minerais não metálicos, metalúrgica, têxteis, etc., e a maioria não conta com tratamento adequado e eficiente dos seus efluentes, como também, não têm informações detalhadas sobre as características dos efluentes gerados, nem do destino final destes. Isso ocorre mais freqüentemente nas unidades de pequeno porte, para não onerar o custo final do produto. O Distrito Industrial é sem dúvida a principal fonte poluidora da bacia, contribuindo para a perda da capacidade de autodepuração dos rios Mumbaba e Gramame.

### 3.1.2 Aspectos ambientais

***Os riscos de poluição das águas da bacia em estudo são evidentes em virtude dos lançamentos de resíduos provenientes de resíduos industriais, esgotos domésticos e resíduos sólidos, como também, em relação ao uso indiscriminado de agrotóxicos e fertilizantes químicos nas atividades agropecuárias e irrigação; assim como em relação às atividades de mineração.***

Essas ações antrópicas podem contribuir para alterações na qualidade da água da bacia à montante dos reservatórios.

De acordo com o PDRH da bacia do rio Gramame, os cursos d'água da região à jusante das barragens de Gramame e Mamuaba vêm sofrendo crescente processo de poluição, especialmente o riacho Mussuré. Um dos principais fatores de poluição das águas é o incremento da implantação de indústrias geradoras de efluentes líquidos no Distrito Industrial de João Pessoa e o lançamento desses efluentes, em geral, sem tratamento nos cursos d'água.

O agravamento dos problemas de degradação da bacia do rio Gramame está relacionado com a grande irregularidade na distribuição da precipitação que ocorre na região da bacia e a baixa vazão desses cursos d'água, que não poderiam ser usados como diluidores de despejos. O lançamento de efluentes mesmo que tratados no riacho Mussuré significa o escoamento de águas com teores não recomendáveis de poluentes, pelas calhas dos rios em determinados períodos do ano. Nestes casos, não se deve utilizar a capacidade de autodepuração dos cursos d'água para a diluição de despejos.

A bacia do rio Gramame abastece, aproximadamente, 70% da população das sedes municipais de Pedras de Fogo, Conde e a grande João Pessoa (abrange Bayeux, Cabedelo e parte de Santa Rita), por sistemas coletivos de abastecimento de água (SILVA; PASSERAT; GADELHA, 2002). Estão inseridas também na bacia

as localidades de Mumbaba do Pinincho, Vila da Giasa, Tabatinga, Campo Verde, Gramame, Santa Teresinha, Pousada do Conde, Centro Terapêutico do Adolescente, Coqueirinho, Angico, Jangada, Odilândia, Bica, Mamuaba e Cicerolândia.

Em relação à poluição hídrica, a referida bacia possui algumas áreas críticas: o riacho Mussuré por atravessar o distrito industrial; os rios Gramame e Mumbaba à jusante das barragens Gramame/Mamuaba, por terem como afluente o riacho Mussuré; à montante da barragem de Gramame/Mamuaba, pela localização da GIASA (destilaria de álcool), que utiliza vinhoto na fertirrigação e o rio Água Boa que conta com indústrias em boa parte de seus altos e médio cursos.

Nesta bacia encontram-se instaladas indústrias de gêneros tradicionais, como os produtos alimentares, construção civil, serviços de reparação, manutenção e instalação, minerais não metálicos, metalúrgica, têxteis, etc. E não se têm informações detalhadas sobre as características dos efluentes gerados na maioria dessas indústrias e do destino final destes. Isso ocorre com mais freqüência com unidades de pequeno porte, que deixam de adotar sistemas de tratamento adequado e eficiente dos seus efluentes para não onerar o custo do produto final (SILVA; PASSERAT; GADELHA, 2002).

Estes dados preocupam porque geralmente esses efluentes atingem os cursos d'água inadequadamente, ficando estes sujeitos aos diferentes tipos de poluição, inclusive por metais pesados. A situação tende a se agravar no período de estiagem, pois há uma queda acentuada da vazão dos rios, dificultando o processo de auto depuração dos mesmos.

Com relação aos agrotóxicos, além do mau uso destes, a poluição das águas da bacia pode ocorrer através de acidentes, lavagem de equipamentos nos cursos

d'água, sobra de agrotóxicos jogados nos rios, destinação inadequada das embalagens, etc.

### 3.2 SISTEMA ATUAL DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE JOÃO PESSOA

***A cidade de João Pessoa é abastecida por dois sistemas interligados: Gramame/Mamuaba e Marés. O sistema Marés recebe tanto água bruta como tratada de Gramame/Mamuaba. O sistema abastecimento como um todo utiliza mananciais superficiais, e são constituídos por duas estações de tratamento, duas elevatórias de água bruta, dez elevatórias de água tratada, vinte e dois reservatórios, cerca de 888 km de rede de distribuição, atendendo 120.485 ligações prediais e; tratando de águas subterrâneas, dispendo de seis poços tubulares (um em Buraquinho em operação) que podem ser ativados em situações de emergência. As unidades do sistema são: manancial e captação; adução; tratamento; reservação e rede.***

- Manancial e Captação

***Na tabela 2, estão sintetizadas as informações relativas aos mananciais, tipo de captação e estações elevatórias.***

**Tabela 2:** Características dos mananciais, captação e elevatórias.

Manancial Explorado	Vazão (L/s)		Tipo de Captação	Elevatória de Água Bruta
	Captada	Mínima		
Rio Marés	1.200	-	Barragem de Acumulação	Gravidade

Rio Mumbaba	400	-	Barragem de nível	2 Conjuntos 780 L/s; 1080 CV
<b>Rio Gramame</b>	2.200	-	Barragem de nível	2 Conjuntos 2200 L/s; 2750 CV 1 Conjunto 200 L/s; 425 CV 1 Conjunto 220 L/s; 450 CV

Fonte: SCIENTEC (2000).

- Adução de Água Bruta

As características das adutoras de água bruta constam da tabela 3.

**Tabela 3:** Características da adução de água bruta

Adutora	Interligação	Diâmetro (mm)	Extensão (m)	Material
AAB1	Torre tomada - ETA Marés	800	101,60	Aço
AAB2	EEAB Mumbaba-Stand pipe	500	1.370	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup>
	Stand-pipe-caixa quebra pressão	550	600	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup>
	Caixa quebra pressão-rio	500	280	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup>
AAB3	Marés	700	5.926	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup>
	EEAB Gramame - Stand-Pipe	600	1.236	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup>
AAB4	Stand-pipe-rio Marés			
	EEAB Gramame - ETA Gramame	1.200	1.920	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup>

Fonte: SCIENTEC (2000).

- Tratamento

Face às características dos mananciais, as duas estações de tratamento são do tipo convencional ou completa. Nelas são aplicados sulfato de alumínio, cal e cloro.

As características das unidades de tratamento constam na tabela 4.

**Tabela 4:** Características das unidades de tratamento

ETA	Vazão (L/s)	Dimensões das Unidades			
		Floculador	Decantador	Filtros	Contato
ETA 1 (MARÉS)	nominal: 1200 tratado: 1000	mecanizado; volume total de 1.508 m <sup>3</sup>	três unidades; <b>área total de</b> 741m <sup>2</sup>	oito unidades área total de 552 m <sup>2</sup>	volume total de 600 m <sup>3</sup>
ETA 2 (Gramame)	nominal: 1917 tratado: 1917	<b>mecanizado;</b> volume total de 3.456 m <sup>3</sup>	quatro unidades; área total de 1.108 m <sup>2</sup>	oito unidades área total de 553 m <sup>2</sup>	volume total de 40.000 m <sup>3</sup>

Fonte: SCIENTEC (2000).

- Adução de Água Tratada

As informações relativas a adutoras constam da tabela 5.

**Tabela 5: Características das adutoras de água tratada**

Adutora	Interligação	Diâmetro (mm)	Extensão (m)	Material
AAT-1	EEAT Marés - R1	500	5.960	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup>
AAT-2	EEAT Marés - R6	600	5.300	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup>
AAT-3	RO Gramame - est. 407	1.400	8.497	Aço
	Est. 407 - est. 561	1.200	3.088	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup>
	Est. 561 - est. 880	1.000	6.580	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup>

Fonte: SCIENTEC (2000).

- Sub-adutoras

***As características das Sub-Adutoras estão apresentadas na tabela 6.***

**Tabela 6: Características das sub-adutoras**

Sub-Adutora	Interligação	Diâmetro (mm)	Extensão (m)	Material
SAT 1	ATT 1 - R2	250	340	<b>F<sup>o</sup>F<sup>o</sup></b> F <sup>o</sup> F <sup>o</sup>
<b>SAT 2</b>	AAT 2 - R5	350	90	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup>
<b>SAT 3</b>	AAT 3 - R11	400	1.800	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup>
SAT 4	AAT 3 - R22	500	300	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup>
SAT 5	AAT 3 - R7	450	2.793	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup>
SAT 6	AAT 3 - R29	300	4.300	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup>
SAT 7	AAT 3 - R14	400	1.305	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup>
SAT 8	AAT 3 - R10	400	720	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup>
SAT 9	AAT 3 - R13	300	240	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup>
SAT 10	AAT 3 - R8	200	372	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup>
SAT 11	AAT3 - R9	1.000	813	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup>
SAT 12	AAT4 - R12	250	1.192	PVC
SAT 13	AAT4 - R4	100	223	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup>
SAT 14	AAT 4 - R27	150	341	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup>
SAT 15	R9 - R6	200	2.400	

**Fonte:** SCIENTEC (2000).

- Reservação

As características das unidades de reservação constam da tabela 7.

**Tabela 7: Características dos reservatórios**

Reservatório	Áreas abastecidas	Volume (m <sup>3</sup> )
R1	Centro - Jaguaribe - Tambiá - Cordão Encarnado Roger - Varadouro - Cidade Padre Zé e Alto do Céu	7.000
R2	Centro - Ilha do Bispo - Varadouro - Roger - B. Roger - Cordão Encarnado	2.000
R3	Ivan Bicharra - Conjunto Luiz Fernandes - Conjunto Jamcy Palhando - Conjunto dos Motoristas	600
R4	Vieira Diniz	100
R5	Cruz das Armas - B.airo dos Novais - Conjunto dos Funcionários I - Oitizeiro - Jardim Planalto	3.600
R6	B. dos Estados - Torre - Expedicionários - Tambauzinho - 13 de Maio - Mandacaru - J. Agripino - B. dos Ipês - Boa Vista - Pedro Gondim - J. Luna	9.100
R7	Mangabeira	4.700
R8	Miramar	500
R9	Tambaú - Manaíra - Cabo Branco - Bessa - Renascer II e III - São José	2.600
R10	Bancários - Anatólia - J. Cidade Universitária - Jardim São Paulo - Timbó	700
R11	Cristo - Rangel - Jardim Itabaiana - Homero Leal - Jardim Samaritano - Boa Esperança - Vale das Palmeiras	2.600
R12	Dist. Industrial - Costa e Silva - J. Veneza - Vieira Diniz - B. das Indústrias	1.500
R13	Castelo Branco - Cidade Universitária	250
R14	Altiplano	800
R15	Alto do Mateus	50
R16	Alto do Mateus	100
R21	Cidade dos Funcionários II, III e IV - Esplanada I e II - Jardim Sepol - Ernani Sártiro - Costa e Silva - Geisel	2.700
R22	José Américo - Colibris e Água Fria	2.700
R27	Grotão	200
R28	Praia da Penha	50
R29	Valentina de Figueiredo - Monsenhor Magno - Paratibe	2.000
R30	Intermares	800

Fonte: SCIENTEC (2000).

- Elevatórias de Água Tratada

As informações relativas às estações elevatórias constam da tabela 8.

**Tabela 8: Características das estações elevatórias**

ELEVATÓRIA	Nº DE CONJUNTOS	VAZÃO (L/s)	POTÊNCIA (CV)	ÁREAS ATENDIDAS
EE – Marés	3 2	335 300	750 500	Centro - Jaguaribe - Tambiá - Cordão Encarnado - Roger - Varadouro - Cidade Padre Zé - Alto do Céu - Ilha do Bispo - Cruz das Armas - Bairro dos Novais - Conjunto - dos Funcionários I - Oitizeiro - Jardim Planalto - Bairro dos Estados - Tambauzinho - 13 de Maio - Mandacaru - João Agripino - Bairro dos Ipês - Boa Vista Pedro Gondim - Jardim Luna
EE - R1	2 2	120 140	60 75	Centro - Jaguaribe - Tambiá - Cordão Encarnado - Roger - Varadouro - Cidade Padre Zé - Alto do Céu
EE - R5	2 1	70 170	40 100	Cruz das Armas - B. dos Novais - Conj. dos Funcionários - Oitizeiro - Jardim Planalto
EE - R6	3 1	165 204	75 125	B. dos Estados - Torre - Expedicionários - Tambauzinho - 13 de Maio - Mandacaru - J. Agripino - Bairro dos Ipês - Boa Vista - Pedro Gondim - Jardim Luna
EE - R7	4	38	40	Mangabeira
EE - R9	2	125	100	Tambaú - Manaíra - Cabo Branco - Bessa Renascer II e III - São José
EE - R11	2 1	82 69	60 40	Cristo - Rangel - Jardim Itabaiana - Homero Leal - Jardim Samaritano - Boa Esperança - Vale das Palmeiras
EE - R12	2	125	60	Distrito Industrial - Costa e Silva - Jardim Veneza - Vieira Diniz - Bairro das Indústrias
EE - R21	1	125	40	Funcionários II, III e IV - Esplanada I e II - Jardim Sepol - Ernani Sátiro - Costa e Silva - Geisel
EE - R29	2 1	45 65	40 50	Valentina de Figueiredo - Monsenhor Magno - Paratibe
EE - R30	1	125	40	Intermares

Fonte: SCIENTEC (2000).

- Rede de Distribuição

Na tabela 9 estão apresentadas as características da rede de distribuição.

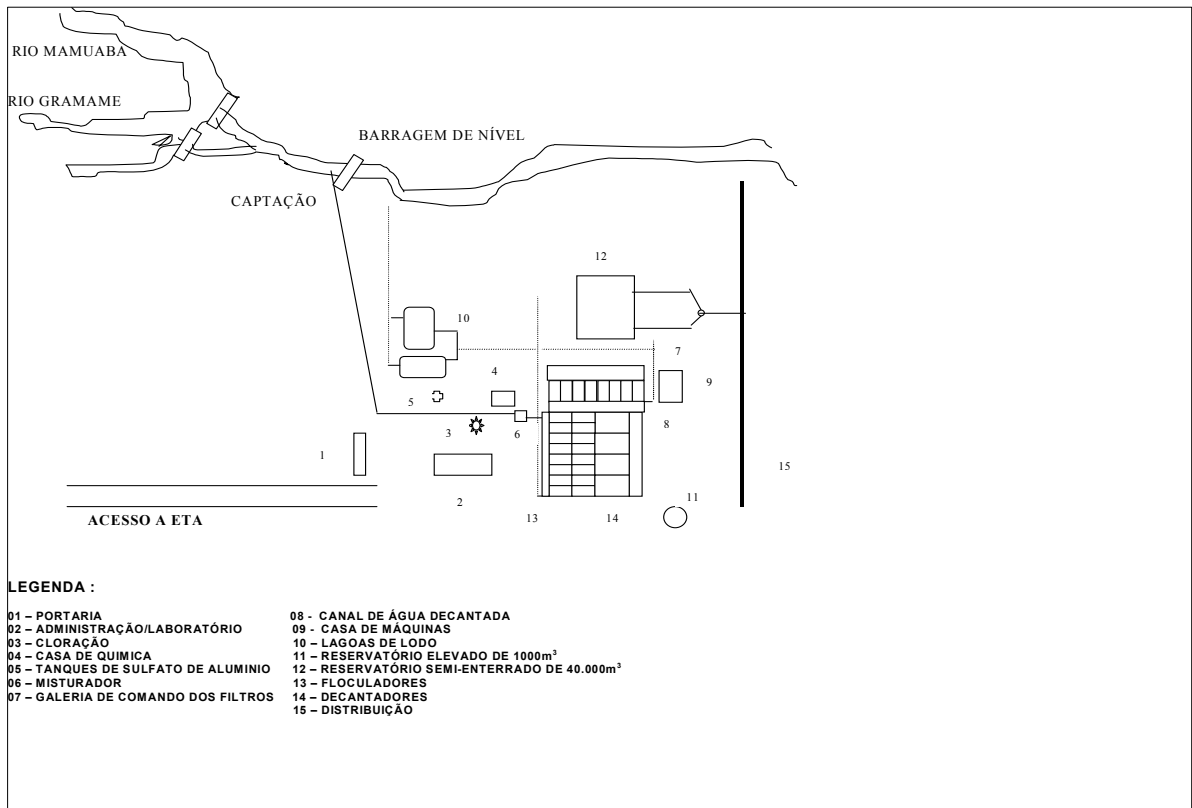
**Tabela 9: Características da rede de distribuição**

DIÂMETRO (mm)	EXTENSÃO (m)	MATERIAL	DIÂMETRO (mm)	EXTENSÃO (m)	MATERIAL
500	1.833	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup>	200	34.225	FC
500	6.641	FC	150	4.540	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup>
400	1.833	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup>	150	4.104	PVC
400	6.461	FC	150	50.554	FC
350	873	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup>	100	3.143	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup>
350	4.278	FC	100	22.702	PVC
300	2.532	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup>	100	29.245	FC
300	6.199	FC	75	19.559	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup>
250	1.222	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup>	75	24.273	PVC
250	8.294	FC	75	156.726	FC
200	1.222	F <sup>o</sup> F <sup>o</sup>	50	465.623	PVC
200	3.230	PVC	50	23.749	FC

**Fonte:** SCIENTEC (2000).

O sistema ainda abastece por meio de prolongamentos de suas adutoras de água tratada, as cidades de Bayeux (população urbana de 77.326 habitantes) e Cabedelo (população urbana de 37.408 habitantes), componentes da região metropolitana de João Pessoa.

A figura 5 é uma representação esquemática da captação e da estação de tratamento de água do sistema Gramame/Mamuaba de abastecimento de parte da cidade de João Pessoa.



**Figura 5:** Esquema da ETA de Gramame.

**Fonte:** Companhia de Água e Esgoto da Paraíba - CAGEPA.



**Figura 6:** Estação de Tratamento de Água de Gramame.

**Fonte:** **Companhia de Água e Esgoto da Paraíba - CAGEPA.**

## 4 METODOLOGIA

O trabalho em questão foi desenvolvido apenas no sistema Gramame/Mamuaba de abastecimento para a cidade de João Pessoa e Grande João Pessoa, com pontos de amostragem na chegada da água bruta, na estação de tratamento, no reservatório central (apoiado) de água tratada e reservatórios setoriais na rede de distribuição de água potável e foi desenvolvido de acordo o com que se segue:

- **Definição dos pontos de coleta de amostragem de água** – Em função das informações obtidas quando do levantamento de dados sobre a bacia do Rio Gramame e sistema atual de abastecimento de água de João Pessoa, foram definidos 6 pontos de amostragem: P<sub>1</sub> – água bruta, localizado no medidor de vazão na entrada da Estação de Tratamento de Água (ETA-GRAMAME); P<sub>2</sub> - saída do reservatório central de água tratada; P<sub>3</sub> - reservatório que abastece os bairros de Altiplano e Cabo Branco; P<sub>4</sub> - reservatório que abastece o Bairro de Miramar e parte de Tambauzinho; P<sub>5</sub> - reservatório responsável pelo abastecimento dos bairros de Tambaú, Manaíra, Cabo Branco, Bessa , São José e Renascer II e III na Grande João Pessoa; P<sub>6</sub> – reservatório da rede que abastece o bairro de Intermares. O quadro 4 apresenta os pontos de coleta e a localização no sistema Gramame/Mamuaba de abastecimento de água de João Pessoa e Grande João Pessoa.

**Quadro 4:** Pontos de coleta e localização

<i>Pontos</i>	Localização
P <sub>1</sub>	Entrada de água bruta na ETA de Gramame.
P <sub>2</sub>	Saída de água tratada do Reservatório apoiado da ETA - Gramame.
P <sub>3</sub>	Saída de água tratada do Reservatório de Altiplano (R-14)
P <sub>4</sub>	Saída de água tratada do Reservatório de Miramar (R-8)
P <sub>5</sub>	Saída de água tratada do Reservatório de Tambaú (R-9)
P <sub>6</sub>	Saída de água tratada do Reservatório de Intermares (R-30)

Esses reservatórios recebem 100% de água da ETA de Gramame (sistema Gramame/Mamuaba), sem interferência da ETA de Marés e/ou água de poço. Vale lembrar que parte de João Pessoa é atendida pelo sistema citado e parte pelo sistema Marés.

**Período de amostragem** – Conforme o Manual de Amostragem de Qualidade de Água – MN 707 da Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA, 1979), a coleta em rios deve ser realizada com frequência mensal. Já em lagos e reservatórios é recomendado que a coleta seja bimestral. Segundo o MN 707, são três os tipos de parâmetros a serem analisados:

- Básicos (temperatura, pH, condutividade, alcalinidade, sólidos em suspensão, etc);
- Opcionais (turbidez, transparência, cálcio, cromo, zinco, etc.);
- Especiais (compostos organoclorados e metais pesados entre eles o alumínio).

Para cada tipo de parâmetro, há uma frequência recomendada. Para os especiais (substâncias que apresentam potencial risco à saúde), o número mínimo de amostras por ano é 01 (uma) e o intervalo máximo entre amostragem é um ano.

A Portaria nº 518/2004 diz que para a água tratada a frequência mínima de amostragem para o controle da qualidade em sistema de abastecimento, para fins de análises físicas, químicas e de radioatividade, é função do ponto de

amostragem, da população abastecida e do tipo de manancial (tabela 1) apresentada anteriormente no item 2.2.

Segundo a FEEMA (1979) e a Portaria 518/2004, o intervalo de amostragem de água bruta e tratada para análise de alumínio é diferente. Definiu-se, para este trabalho, uma frequência de coleta de 02 (dois) meses aproximadamente. Considerou-se esta frequência de amostragem, visto que o objetivo principal da pesquisa consistiu em monitorar a qualidade da água do sistema de abastecimento público de João Pessoa, considerando o período de estiagem e período de chuva.

***Dessa forma, realizaram-se 07 (sete) campanhas de coleta, compreendida entre setembro/2003 a outubro/2004.***

- **Parâmetros de qualidade de água analisados** - Foram determinados os seguintes parâmetros físico-químicos: pH; cor; turbidez; dureza; alcalinidade; oxigênio dissolvido e concentração de alumínio.
  
- **Coleta, preservação, preparação e análise da água** - Os procedimentos de coleta, preservação, preparação e análise das amostras são os descritos no “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, 20<sup>a</sup> ed. APHA, 1998.

## **5 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

Os resultados obtidos nesta pesquisa são apresentados e discutidos em três etapas: na primeira, são analisadas as características da água bruta dos reservatórios de Gramame/Mamuaba; na segunda parte é feita uma avaliação da qualidade da água tratada distribuída para parte da cidade de João Pessoa e Grande João Pessoa e, por fim, são avaliados, conjuntamente, a água bruta e tratada do sistema Gramame/Mamuaba, considerando a adição de sulfato de alumínio no processo de tratamento adotado na ETA/Gramame.

## 5.1 ANÁLISE DA ÁGUA BRUTA DO SISTEMA GRAMAME/MAMUABA

O desenvolvimento econômico e social de qualquer país está fundamentado na disponibilidade de água de boa qualidade e na capacidade de conservação e proteção dos mananciais. Dessa forma, a qualidade das águas superficiais precisa ser acompanhada de forma a fornecer subsídios para ações de controle de poluição nas bacias hidrográficas, visando assegurar um meio ambiente limpo, saudável e agradável em coerência com as metas de desenvolvimento sustentável. Isto pode ser feito de forma sistemática através de monitoramento da qualidade da água.

De um modo geral, as características das águas superficiais variam ao longo do tempo, de acordo com a época do ano e o regime de chuva. Assim, o monitoramento da qualidade de mananciais para sistema de abastecimento deve ser feito para detectar valores de máximo e mínimo para parâmetros físico-químicos e bacteriológico, visando particularmente à garantia da saúde da população, sem deixar de levar em consideração os prejuízos econômicos que podem advir da má qualidade da água para consumo. Além disso, pode tornar-se inviável a tecnologia de tratamento adotado.

De acordo com a Scientec (2000), as águas que escoam superficialmente pela bacia do rio Gramame até a formação dos reservatórios de Gramame e Mamuaba apresentam-se em geral de boa qualidade.

Entretanto, os riscos de poluição das águas são evidentes em virtude dos inadequados serviços de coleta, transporte, tratamento e destino final de esgotos domésticos, despejos industriais e resíduos sólidos. Também o uso indiscriminado de agrotóxicos na agropecuária, na irrigação e nas atividades de mineração podem contribuir para alterações na qualidade das águas da bacia a montante dos reservatórios, conforme mencionado anteriormente.

A tabela 10 apresenta os resultados das análises físico-químicas, inclusive concentração de alumínio, realizadas neste trabalho, no ponto P<sub>1</sub> (água bruta), na entrada da ETA/Gramame. Esse ponto foi escolhido por representar a água que é efetivamente distribuída à população, após tratamento.

**Tabela 10:** Resultado da análise da água bruta - entrada da ETA / Gramame

	Água Bruta (P <sub>1</sub> )							Limite
<b>Parâmetros</b>	1 <sup>a</sup> Coleta set/03	2 <sup>a</sup> Coleta nov/03	3 <sup>a</sup> Coleta jan/04	4 <sup>a</sup> Coleta mar/04	5 <sup>a</sup> Coleta jun/04	6 <sup>a</sup> Coleta ago/04	7 <sup>a</sup> Coleta set/04	Resolução 20 CONAMA

<b>PH</b>	6.32	6.50	6.60	6.65	6.53	6.63	6.58	6.0 a 9.0
<b>Condutividade</b> $\mu\text{S/cm}(25^\circ\text{C})$	117.2	128.1	118.4	78.8	69.8	51.2	67.1	
<b>Salinidade</b>	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Cor</b>	80	60	60	100	200	200	80	75
(mg/L Pt)								
<b>SDT</b> (mg/L)	117	128	118	79	70	51	67	500
<b>Turbidez</b> (NTU)	7.0	4.5	4.0	6.8	18.0	33.0	9.5	100
<b>Dureza</b> (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	16.0	15.0	15.0	10.0	18.0	19.0	11.0	
<b>Alcalinidade</b> (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	48.0	34.0	36.0	34.0	25.0	26.0	16.0	
<b>Acidez</b> (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	4.64	4.64	6.96	3.48	4.64	3.48	1.0	
<b>Cloretos</b> (mg/L de $\text{Cl}^-$ )	22.0	15.0	16.0	16.0	16.0	15,0	10.0	250
<b>Alumínio (Al)</b> (mg/L)	0.63	<0.04	0.14	0.14	0.49	1.20	0.15	0.1

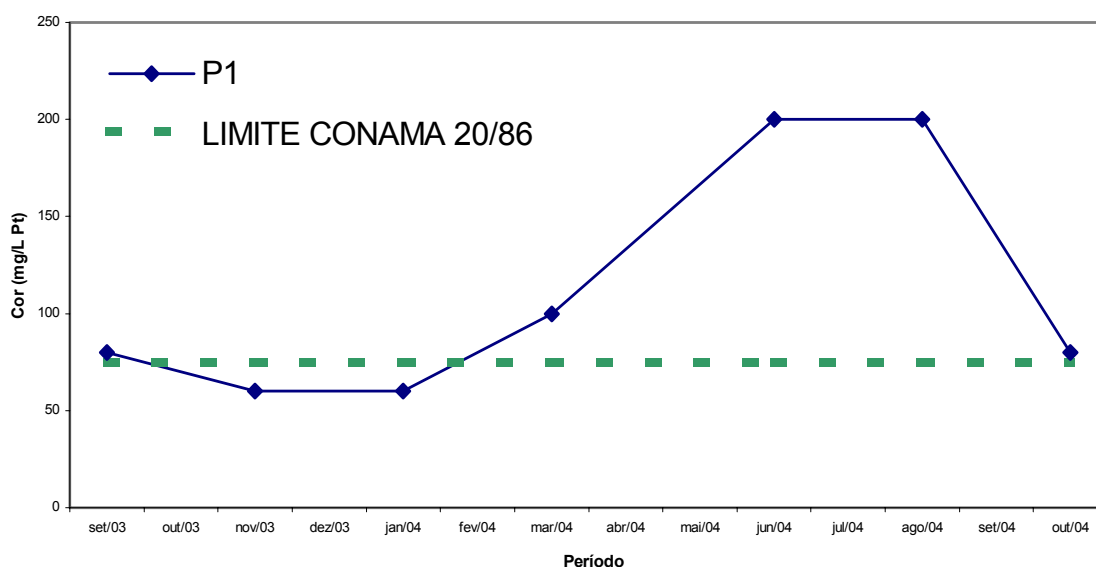
Do ponto de vista físico-químico (tabela 10) a água dos reservatórios Gramame/Mamuaba apresentou-se com valores de pH, cloretos e sólidos totais dissolvidos (citados pela Resolução 20 do CONAMA) abaixo dos limites estabelecidos pela Legislação para a classe 2 na qual estão inseridos os reservatórios citados, comprovando as informações da Scientec (2000). No entanto, no período estudado, exceção ocorreu para os parâmetros cor e concentração de alumínio.

A cor de uma água está associada ao grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la (e esta redução dá-se por absorção de parte da radiação eletromagnética), devido à presença de sólidos dissolvidos, principalmente, material em estado coloidal orgânico e inorgânico. A presença de cor na água provoca repulsa psicológica pelo consumidor, pela associação com a descarga de esgotos (VON SPERLING, 1995).

Na água, a cor pode ser de origem vegetal ou mineral, causada por substâncias metálicas como ferro (Fe) e manganês (Mn), matérias húmicas, tanino, algas, plantas aquáticas e protozoários, ou por resíduos orgânicos ou inorgânicos de indústrias, tais como: mineração, refinarias, explosivos, polpa e papel, químicas e outras.

A água colorida é de aspecto desagradável, sendo indesejável ao abastecimento. A cor exerce influência na escolha do tipo do tratamento a que deve ser submetida a água e sua variação obriga a alterar a dosagem dos produtos químicos usados na clarificação.

As águas naturais possuem cor que varia entre 0 e 200 mg Pt/L pois, acima disto, já seriam águas de brejo ou pântano com altos teores de matéria orgânica dissolvido. No Brasil, a Resolução nº 20 do CONAMA, que dispõe sobre os níveis de qualidade das águas naturais do território brasileiro, inclui a cor como parâmetro de classificação e, limita para água bruta, isto é, antes de ser tratada e distribuída através de sistemas urbanos valores de até 75 mg Pt/L. Neste caso, com relação à cor, os reservatórios Gramame/Mamuaba foram considerados inadequados para o tratamento de potabilização da água, em 5 coletas das 7 realizadas, pois seus valores ficaram acima do permitido. Os valores mais elevados foram verificados no período de março a agosto de 2004, quando as chuvas foram mais intensas. O Gráfico 1, apresenta a variação da cor da água bruta nos reservatórios citados e o limite máximo permitido pela Legislação.



**Gráfico 1:** Variação da cor da água bruta nos reservatórios Gramame/Mamuaba.

Com relação ao alumínio, observa-se na tabela 10 que as concentrações variaram de 0,04 a 1,20 mg/L, na água bruta dos reservatórios de Gramame/Mamuaba, na entrada da ETA (ponto P<sub>1</sub>), ficando, portanto, acima do valor máximo permitido pelo Resolução nº 20 do CONAMA para a classe 2, ou seja, 0,1mg/L, em 6 coletas de 7 realizadas, no período de estudo. Este fato pode estar relacionado a manobras de operação e regime de lavagem da ETA de Pedras de Fogo que, conforme comentado anteriormente, lança seus despejos diretamente no riacho Avenca à montante dos reservatórios citados.

No tratamento para clarificação da água de mananciais de superfície (como na ETA de Pedras de Fogo), para atender aos padrões de potabilidade impostos pelo Ministério da Saúde (Portaria 518/2004), são aplicados produtos químicos, entre eles o sulfato de alumínio. Durante o processo de tratamento há geração de resíduos sólidos complexos nos decantadores e filtros que são, geralmente, lançados direta ou indiretamente nos cursos de água, por ocasião da lavagem dessas unidades.

Dessa forma, as águas naturais ou brutas podem tornar-se um veículo direto de vários contaminantes causadores de doenças graves de caráter epidêmico, atingindo um grande percentual das pessoas que delas se abastecem, envolvendo um aspecto sanitário de mais alta significação, uma vez que as estações de tratamento do tipo convencional não removem esses elementos.

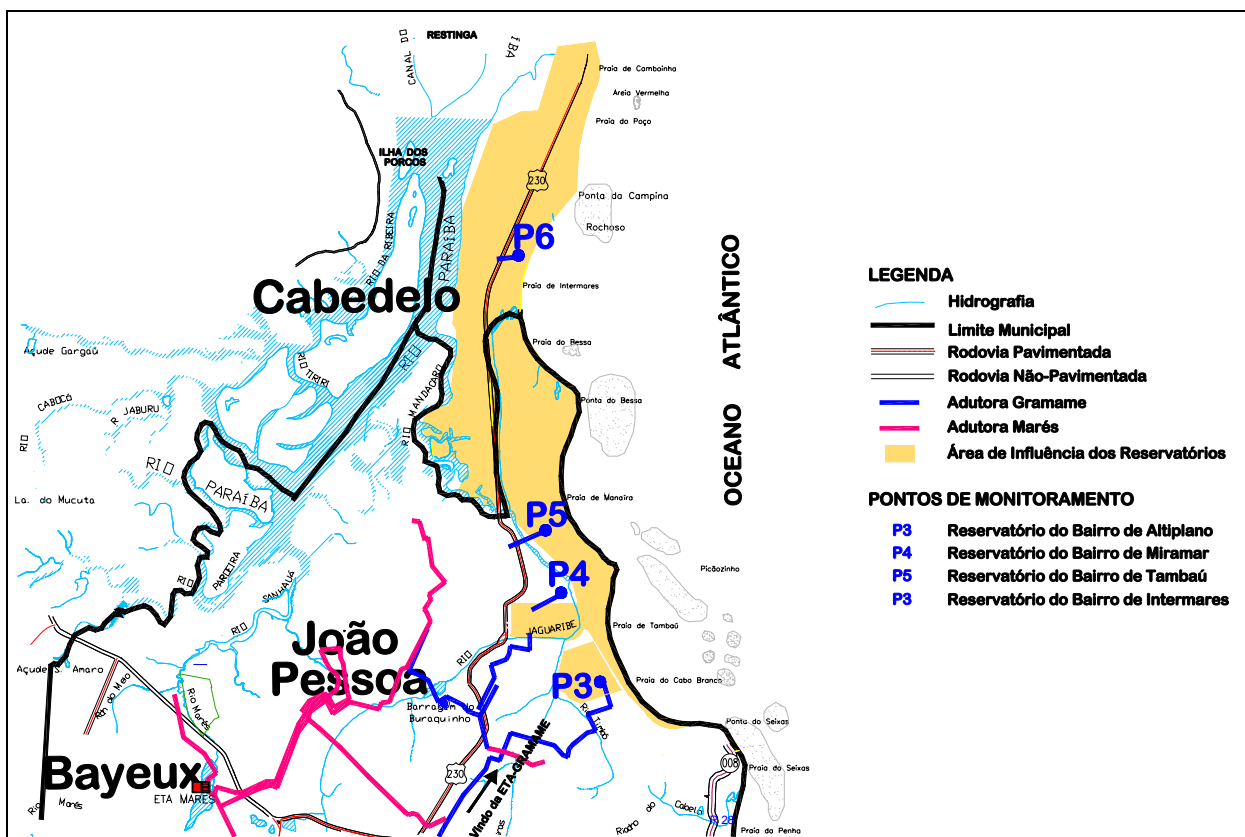
No caso de mananciais superficiais utilizados em sistemas de abastecimento de água já conter concentrações de alumínio acima do permitido pela Legislação, o controle da adição de sulfato de alumínio nas estações de tratamento se torna mais complicado e deve ser, portanto, mais rigoroso.

## 5.2 AVALIAÇÃO DA ÁGUA TRATADA

***A água da rede de distribuição dos sistemas de abastecimento públicos urbanos pode conter compostos tóxicos, provenientes de três fontes principais: do manancial de captação, uma vez que as estações de tratamento do tipo convencional não removem esses elementos, conforme foi dito anteriormente; da indústria de produção de água tratada pela adição, sem controle, de produtos químicos na coagulação/floculação; e através da deterioração da rede, com eventual rompimento de tubulações comprometendo, desta forma, a qualidade da água com risco de contaminação pela água do subsolo e esgotos, favorecendo o aparecimento de doenças graves de caráter epidêmico, atingindo um grande percentual das pessoas que delas se abastecem.***

Dessa forma, efetuar o controle e garantir a qualidade da água para consumo humano é função das empresas de saneamento. O controle é considerado um conjunto de atividades exercidas de forma contínua pelos responsáveis pela operação do sistema de abastecimento de água, destinada a verificar se a água fornecida à população é potável, assegurando a manutenção desta condição. Este controle consta dos resultados das análises físico-químicas e exames

bacteriológicos da água, tanto do sistema produtor (manancial/captação e ETA) como do sistema distribuidor (reservatórios de água tratada e rede de distribuição). A figura 7 mostra a localização dos pontos de coleta na rede de distribuição.



**Figura 7: Localização dos pontos de coleta na rede de distribuição.**

Fonte: Companhia de Água e Esgoto da Paraíba – CAGEPA.

**A tabela 11 apresenta os valores máximos, médios e mínimos das análises físicas e químicas, inclusive concentrações de alumínio, realizadas no sistema distribuidor de água tratada (saída do reservatório central e reservatórios setoriais da rede), para a cidade de João Pessoa, no período estudado.**

**Tabela 11: Valores máximo, médio e mínimo das análises físicas e químicas da água tratada do sistema Gramama/Mamuaba**

Parâmetros	Água Tratada (P <sub>2</sub> , P <sub>3</sub> , P <sub>4</sub> , P <sub>5</sub> , P <sub>6</sub> )							Limite
	1 <sup>a</sup> Coleta set/03	2 <sup>a</sup> Coleta nov/03	3 <sup>a</sup> Coleta jan/04	4 <sup>a</sup> Coleta mar/04	5 <sup>a</sup> Coleta jun/04	6 <sup>a</sup> Coleta ago/04	7 <sup>a</sup> Coleta set/04	PORTARIA MS 518/2004
PH	***	6.48	6.58	6.68	5.67	6.14	6.52	6.0 a 9.5
	6.30	6.27	6.33	6.33	5.52	5.92	6.15	
	* 6.08	6.01	6.18	5.75	5.25	5.77	5.80	
	** 5.87							
Condutividade µS/cm (25,0 °C)	140.7	135.4	135.3	108.5	101.8	88.4	93.6	-
	126.4	134.0	118.6	102.1	93.2	84.9	91.2	
	116.3	132.0	107.2	97.4	89.4	80.7	88.1	
Salinidade	-	-	-	-	-	-	-	-
Cor (mg/l Pt)	-	-	-	-	-	-	-	15
SDT (mg/l)	141	135	135	108	102	88	94	1000
	127	133	118	102	93	85	91	
	116	130	107	97	89	81	88	
Turbidez (NTU)	2.0	2.0	2.0	2.8	3.0	4.0	5.0	5.0
	2.0	1.8	1.8	2.3	3.0	3.8	4.0	
	2.0	1.6	1.5	1.8	2.8	3.8	3.0	
Dureza (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	28.0	22.0	23.0	30.0	29.0	35.0	25.0	500
	25.8	21.4	20.4	28.2	28.6	34.4	23.6	
	24.0	21.0	15.0	26.0	28.0	33.0	22.0	
Alcalinidade (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	19.0	29.0	36.0	19.0	12.0	24.0	15.0	-
	17.2	26.8	26.6	17.8	10.6	17.8	13.4	
	15.0	25.0	23.0	16.0	10.0	13.0	11.0	
Acidez (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	5.80	5.80	6.96	4.64	4.64	2.32	2.00	-
	5.80	5.57	4.64	3.25	3.71	2.32	1.20	
	5.80	4.60	3.48	2.32	3.48	2.32	1.00	
Cloretos (mg/L de Cl <sup>-</sup> )	26.0	19.0	17.0	19.0	20.0	18.0	13.0	250
	25.0	18.0	16.4	18.6	19.2	16.6	12.8	
	24.0	17.0	16.0	18.0	19.0	15.0	12.5	
Alumínio (Al) (mg/L)	0.40	0.34	0.17	0.79	1.45	1.64	0.68	0.2
	0.37	0.25	0.13	0.67	1.34	1.12	0.52	
	0.34	0.20	0.11	0.55	1.15	0.96	0.41	

**\*\*\* indica valor máximo**

\* indica valor médio

\*\* indica valor mínimo

Observa-se na Tabela 11 que, com exceção do pH e concentração de alumínio, todos os outros parâmetros analisados no período, se mantiveram dentro

dos padrões de potabilidade exigidos pela Portaria nº 518/2004, em todos os pontos de coleta de água.

Verificam-se também na tabela 11, variações de valores nos parâmetros analisados, de um ponto de coleta de água para outro. A rigor, essas variações não deveriam ter ocorrido já que todos os reservatórios setoriais são abastecidos pelo mesmo reservatório central de água tratada (ponto P<sub>2</sub>). A falta de limpeza e manutenção nos reservatórios setoriais pode ter sido uma das causas da diferença, de valores, nos parâmetros analisados, entre eles. O material sedimentado certamente se misturava com a água a cada operação de enchimento dos mesmos. Os valores encontrados para a turbidez em cada ponto de coleta conduzem a essa justificativa.

Para a turbidez (tabela 11), os valores ficaram mais próximos do limite máximo permitido (5,0 NTU). De acordo com a Portaria nº 518/2004, com o objetivo de assegurar a adequada eficiência de remoção de enterovírus, cistos de *Giardia spp* e oocistos de *Cryptosporidium sp*, recomenda-se, enfaticamente, que, para a filtração rápida, como a que é usada no tratamento do tipo convencional da água, se estabeleça como meta a obtenção de efluente filtrado com valores de turbidez inferiores a 0,5 NTU em 95% dos dados mensais e nunca superiores a 5,0 NTU.

Ainda com relação à variação de valores nos parâmetros analisados, também tem-se que levar em consideração o fato de que os sistemas de abastecimento não são totalmente estanques, podendo ocorrer a entrada de água do subsolo pelas tubulações da rede, alterando assim a qualidade da água. A própria deterioração das tubulações da rede pode alterar as características da água (AZEVEDO, 1987).

Com relação ao pH, ocorreram, no período analisado, em todos os pontos e em algumas coletas, valores abaixo do limite mínimo permitido pela Portaria nº 518/2004. Esses valores foram melhor observados no ponto P<sub>2</sub> - saída de água tratada no reservatório central (tabela 11). Nesse mesmo ponto, o pH foi menor quando foi maior a concentração de alumínio na água. Isso sugere problemas de controle na operação da ETA/Gramame, quando da adição de sulfato de alumínio na unidade de mistura rápida e posterior correção do pH.

A tabela 12 apresenta os resultados da concentração de alumínio obtidos em todos os pontos de coleta para uma melhor avaliação deste parâmetro na água tratada, por estar associado a problemas de saúde humana.

**Tabela 12:** Concentração de Alumínio na Água Tratada do Sistema Gramame/Mamuaba.

PONTOS DE COLETAS	CONCENTRAÇÃO DE ALUMÍNIO - Al (mg/L)						
	1 <sup>a</sup> Coleta set/03	2 <sup>a</sup> Coleta nov/03	3 <sup>a</sup> Coleta jan/04	4 <sup>a</sup> Coleta mar/04	5 <sup>a</sup> Coleta jun/04	6 <sup>a</sup> Coleta ago/04	7 <sup>a</sup> Coleta out/04
P <sub>2</sub> (Água Tratada)	0.34	0.26	0.12	0.55	1.37	1.64	0.52
P <sub>3</sub> (Água Tratada)	0.34	0.26	0.12	0.55	1.37	1.64	0.52
P <sub>4</sub> (Água Tratada)	0.37	0.21	0.12	0.70	1.45	1.15	0.53
P <sub>5</sub> (Água Tratada)	0.40	0.20	0.14	0.69	1.37	1.55	0.41
P <sub>6</sub> (Água Tratada)	0.36	0.26	0.17	0.79	1.15	0.96	0.68

Através da Tabela 12, verifica-se que apenas na 3<sup>a</sup> coleta (janeiro de 2004), as concentrações de alumínio ficaram dentro do limite máximo permitido pela

Portaria nº 518/2004, isto é 0,2 mg/L. Para as demais coletas, esses valores se apresentaram fora dos padrões para água potável e, portanto, imprópria para o consumo humano, segundo o que reza a referida Portaria. Esses valores foram bem mais elevados no período de chuva. Posteriormente, no item 5.3, esses resultados serão novamente abordados quando da análise conjunta da água bruta e tratada do sistema Gramame/Mamuaba.

### 5.3 ANÁLISE CONJUNTA DA ÁGUA BRUTA E TRATADA DO SISTEMA GRAMAME/MAMUABA

O tratamento de água tem por finalidade adequá-la aos padrões de potabilidade. Segundo Moita (1993), a produção de água de boa qualidade depende de um bom controle operacional dos diversos processos unitários de tratamento, o que nem sempre é observado, mesmo que se trate de controle de rotina. Além disso, o desempenho de uma estação de tratamento de água (ETA) depende, inicialmente, de uma seleção adequada da tecnologia de tratamento e de um projeto criterioso, acompanhado da disponibilidade de recurso humano e materiais que propiciem uma boa rotina de operação.

Existem várias tecnologias de tratamento e a sua escolha é em função da qualidade da água bruta e da eficiência desejada na redução de agentes físicos, químicos e microbiológicos e de outros fatores como custo de implantação, operação e manutenção (DI BERNARDO, 1993). Desse modo, torna-se nítida a importância da avaliação de desempenho de ETA's, seguida da otimização dos processos de

tratamento, com o objetivo de garantir a produção sistemática de água de boa qualidade, ao menor custo possível e, em última instância, promover a saúde pública.

O controle da qualidade da água é efetuado pelos responsáveis pela operação dos sistemas de abastecimento, através de análises laboratoriais, em amostras de água bruta que chega a ETA e provenientes das diversas partes que compõe o sistema. A quantidade de análises depende da população abastecida, dos sistemas existentes, do tipo de tratamento. Qualquer anomalia ou ocorrência de não conformidade com o padrão de potabilidade gera medidas corretivas por parte dos operadores. Este controle da qualidade deve ser realizado, em parceria, com a vigilância sanitária estadual e municipal que faz avaliações periodicamente da água distribuída, segundo a Portaria nº 518/2004.

A análise do sistema Gramame/Mamuaba mostra que, apesar da água bruta e tratada terem apresentado, para a maioria dos padrões analisados, limites permitidos pela Legislação pertinente, conforme comentado anteriormente nos itens 5.1 e 5.2, a qualidade da água potável foi quase sempre inferior, com destaque para a concentração de alumínio. Exceção ocorreu para os parâmetros cor (que não foi detectada na água tratada) e turbidez. O padrão acidez oscilou em todos os pontos de coleta, ao longo do período estudado, não apresentando padrão definido de relação entre água bruta e tratada. Os Gráficos de 2 a 10 mostram o comportamento dos parâmetros analisados na água bruta e tratada, ao longo do período analisado.

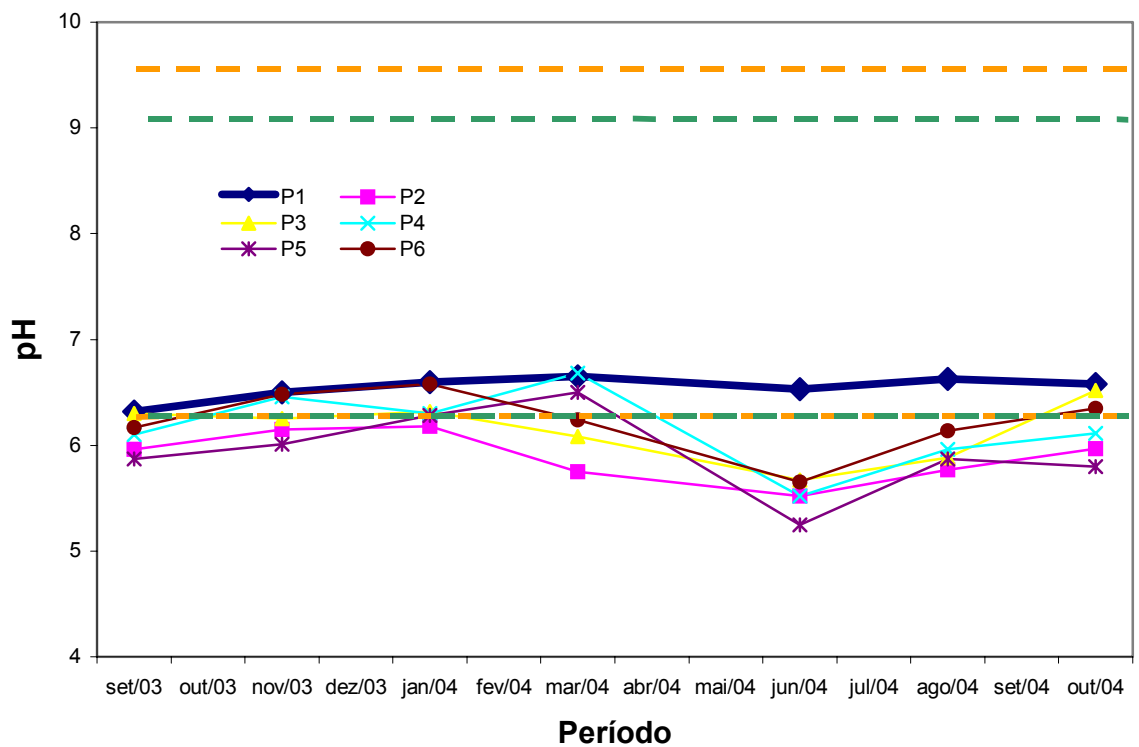


Gráfico 2: Evolução do pH nos pontos de coleta.

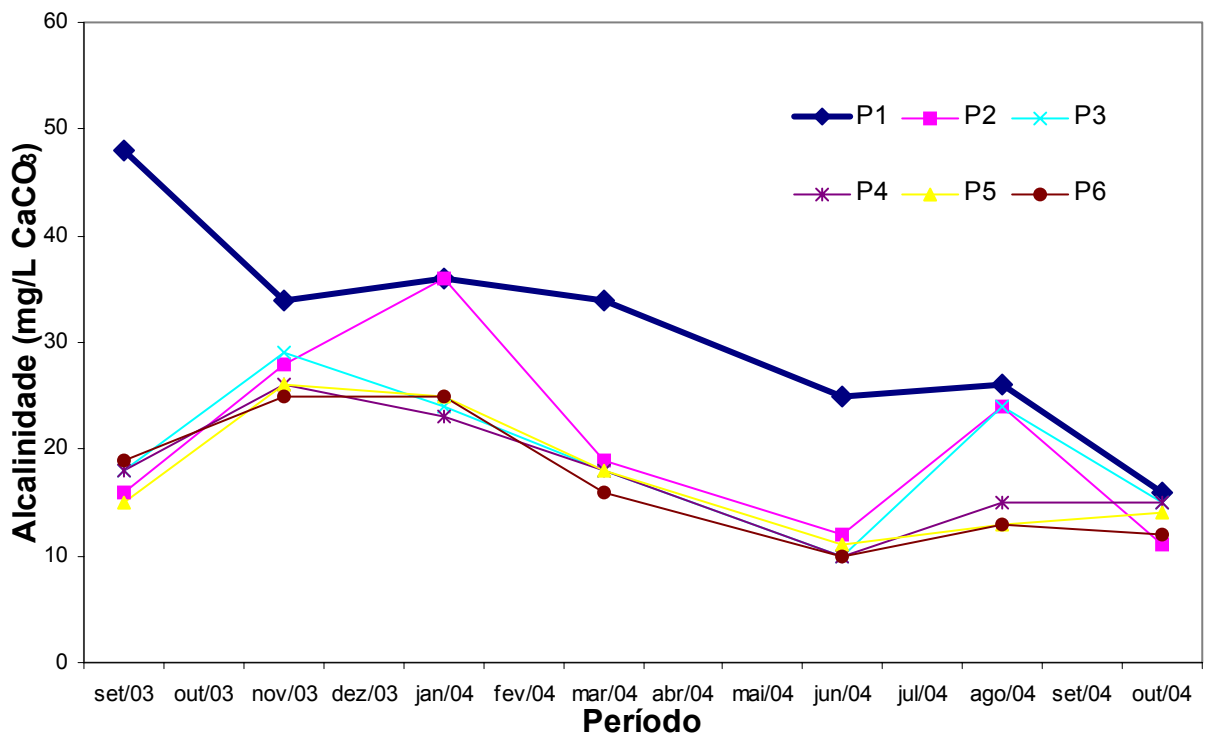


Gráfico 3: Evolução da alcalinidade nos pontos de coleta.

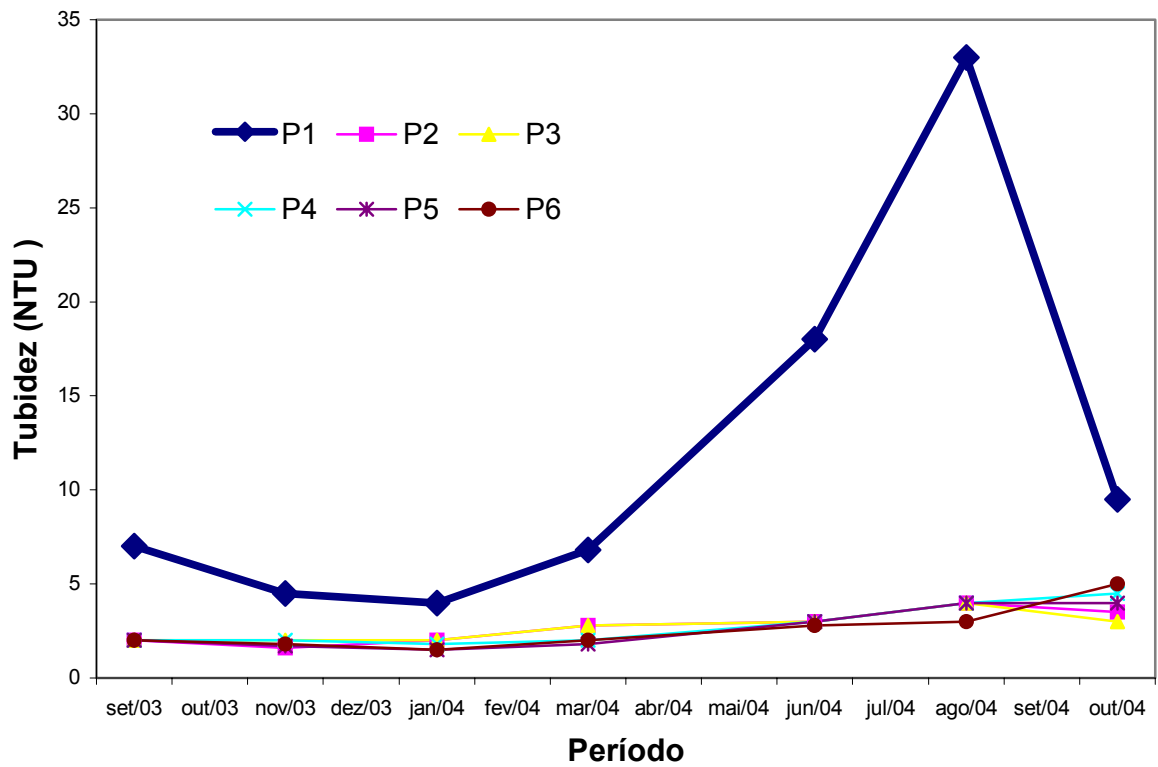


Gráfico 4: Evolução da turbidez nos pontos de coleta.

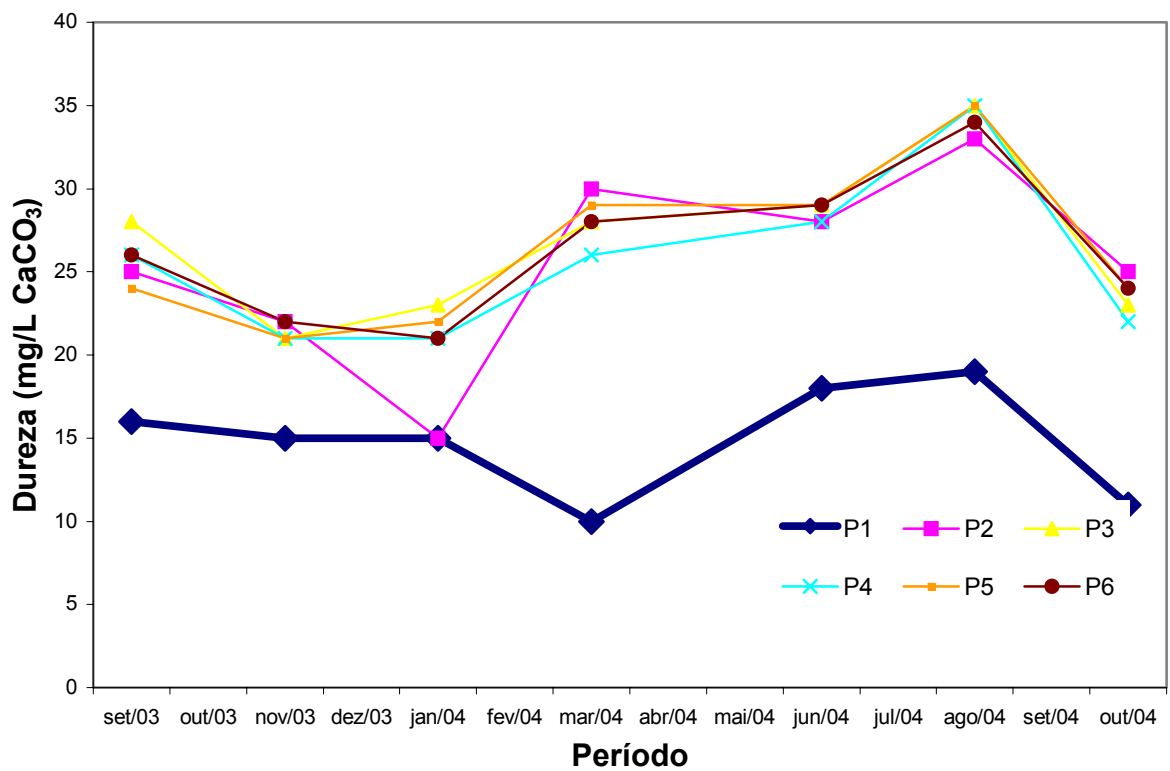
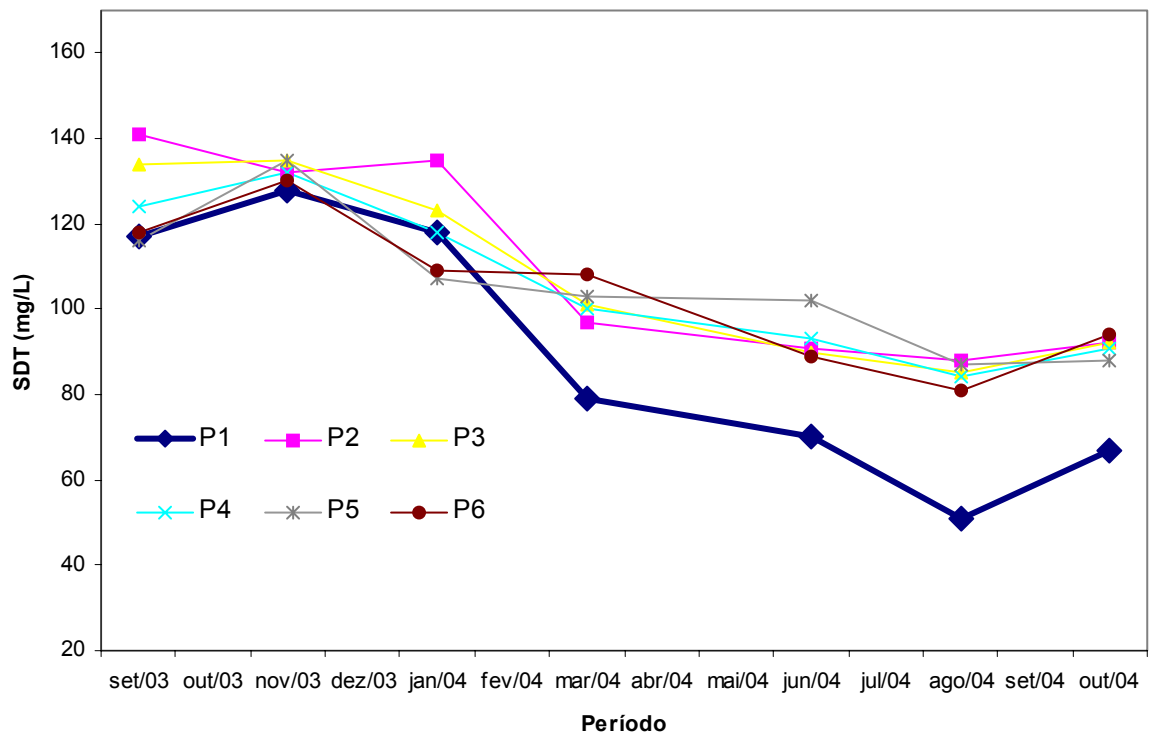
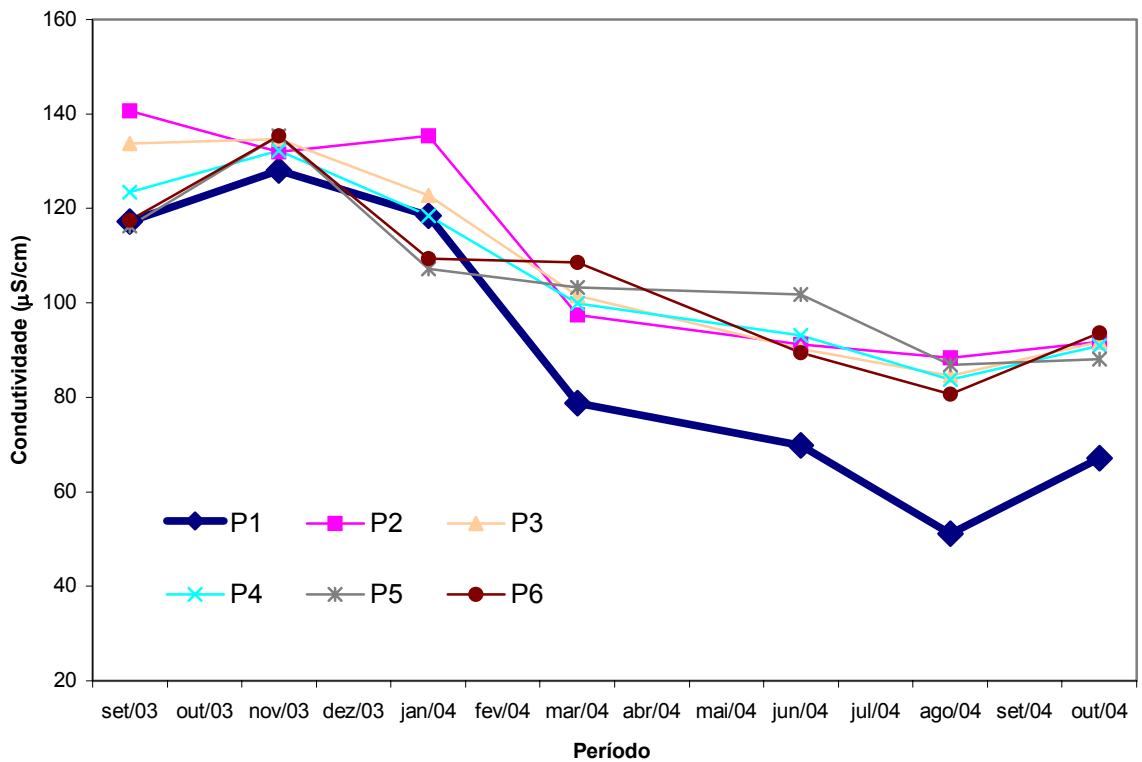


Gráfico 5: Evolução da dureza nos pontos de coleta



**Gráfico 6:** Evolução da SDT nos pontos de coleta.



**Gráfico 7:** Evolução da condutividade nos pontos de coleta.

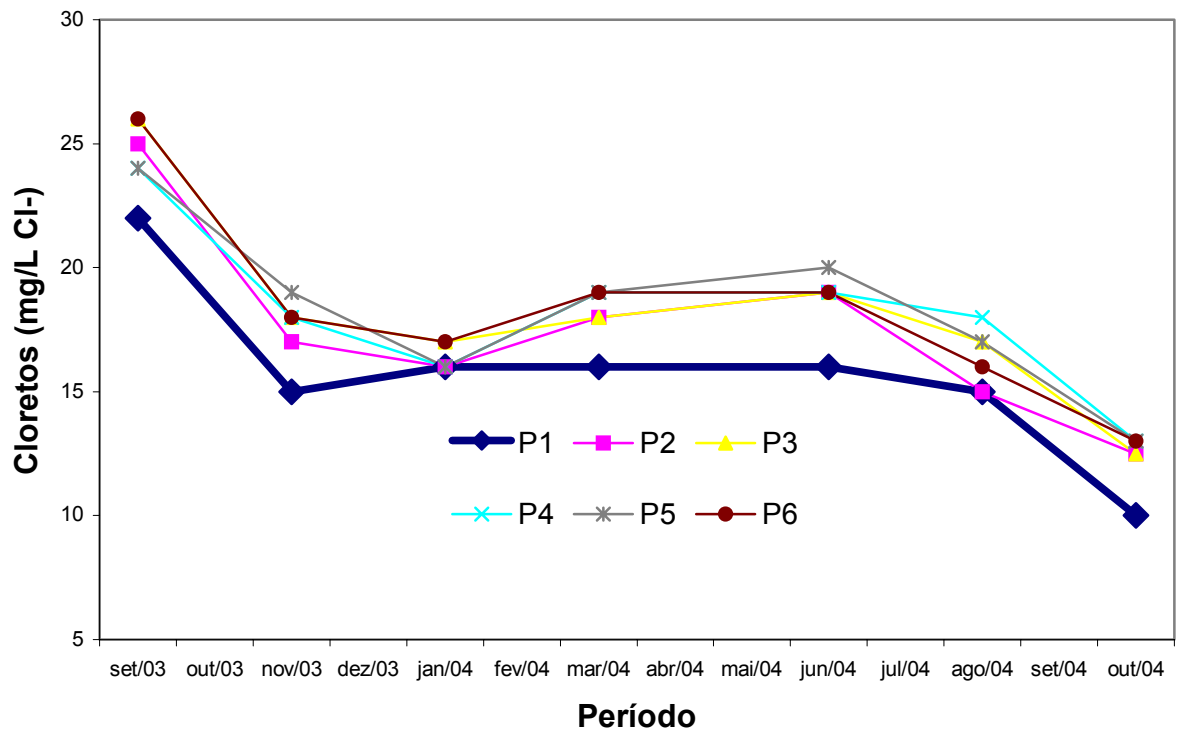


Gráfico 8: Evolução da cloretos nos pontos de coleta

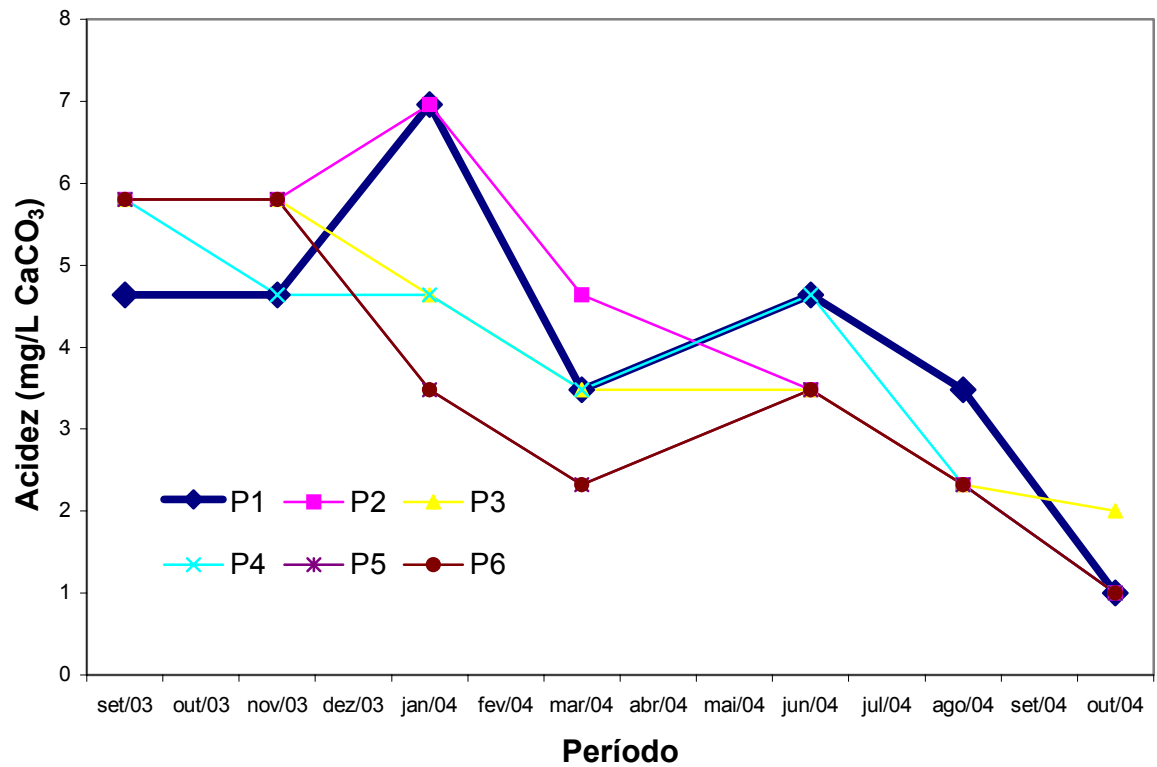
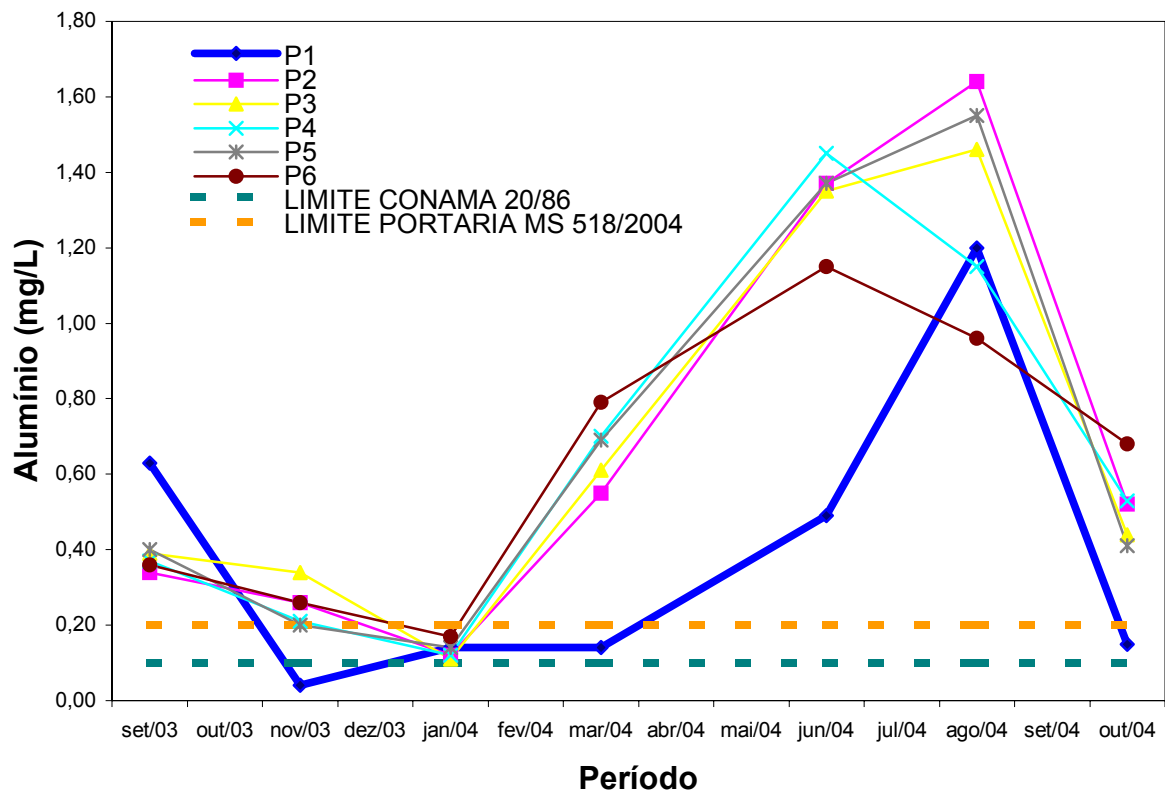
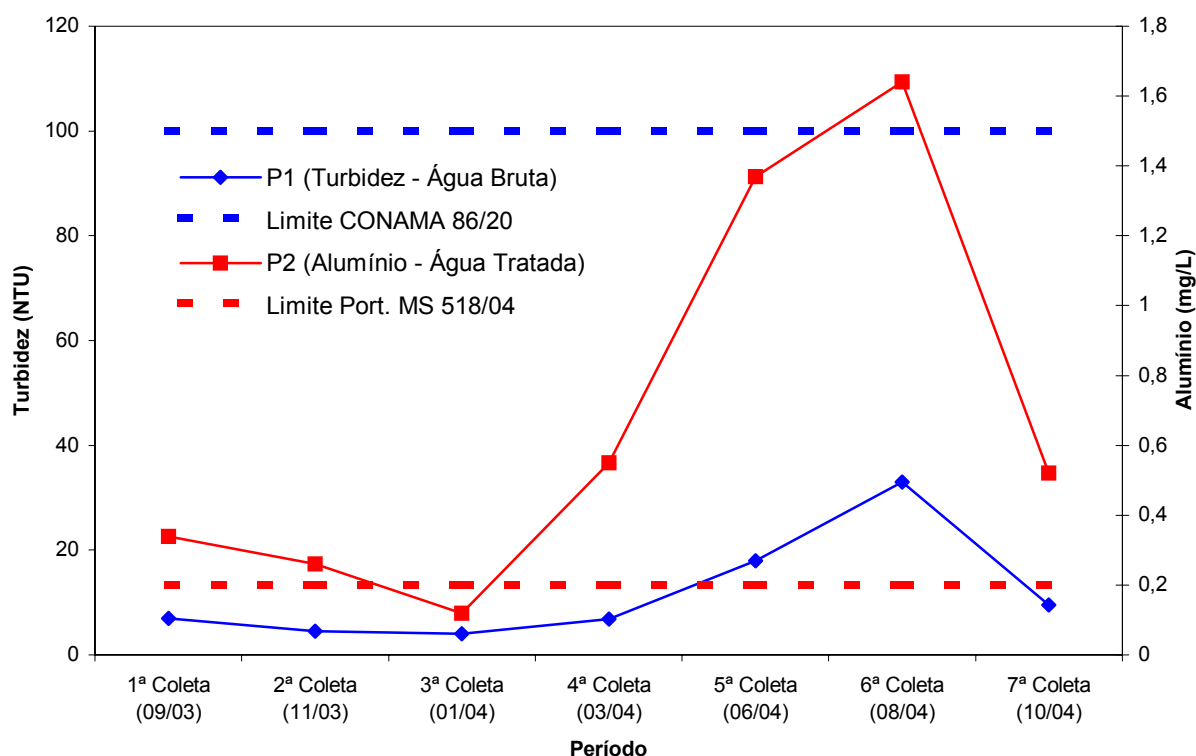


Gráfico 9: Evolução da acidez nos pontos de coleta.



**Gráfico 10:** Evolução do teor de alumínio nos pontos de coleta.

O fato da água bruta ter apresentado qualidade superior ao da água tratada está, provavelmente, associado a problemas de controle operacionais e na adição de produtos químicos (sulfato de alumínio) na ETA/Gramame. A figura 15 mostra que a concentração de alumínio na água tratada, em particular no ponto P<sub>2</sub>, foi quase sempre maior do que na água bruta P<sub>1</sub>, no período estudado. Esses valores foram ainda mais elevados na época das chuvas, quando ocorreu o aumento da turbidez da água bruta, conforme pode ser visto no gráfico 11.



**Gráfico 11:** Comparação da evolução da turbidez e teor de alumínio nos pontos de coleta.

Sabe-se que a qualidade da água bruta é inversamente proporcional à quantidade de produto químico empregado, ou seja, se o manancial sofrer danos e isso prejudicar sua qualidade será necessário aumentar a concentração do produto químico de modo a atender às exigências do padrão de potabilidade estabelecido pelo Ministério da Saúde através da Portaria nº 518/2004. No entanto, a adição sem controle desses produtos pode acarretar danos à saúde do consumidor, conforme visto anteriormente, pois a aplicação deles em excesso na ETA pode provocar o aparecimento de alumínio na água tratada (gráfico 11), além do permitido pela referida Portaria. Além disso, o sulfato de alumínio pode conter impurezas, como metais pesados, gerando um problema ainda maior de contaminação da água. Assim, o controle de qualidade desse produto, bem como a dosagem ótima pode

proporcionar uma melhoria da qualidade da água sem por em risco a saúde da população usuária de água potável.

De acordo com Di Bernardo e Costa (1993), a coagulação e a floculação são sensíveis a diversas variáveis, por exemplo, a natureza das substâncias produtoras da turbidez, tipo e dosagem do coagulante, pH da água, e outros. Dentre as variáveis que podem ser controladas na operação de uma estação de tratamento, o ajuste de pH parece ser mais importante. Esse controle é fundamental para a eficiência da ETA, na remoção de sólidos em suspensão na água.

Segundo Arboleda (1992), a maior dificuldade encontrada nos sistemas de decantação é o controle da coagulação/floculação e sedimentação das partículas de tamanho na faixa coloidal. Devido ao grande número de variáveis envolvidas no processo causador da sedimentação destas partículas, o teste dos jarros (“Jar Test”), realizado em laboratório, mostrou ser uma alternativa mais rápida e simples de avaliação das condições de sedimentação do que os medidores de potenciais zeta e outras análises físicas e químicas da água. As dosagens dos coagulantes variam com o pH, turbidez, alcalinidade, temperatura da água, impurezas em suspensão e em dissolução. Em uma estação de tratamento de água, a contínua variação nestas variáveis, demonstrou ser o teste dos jarros um método de acompanhamento e controle eficaz no dia a dia da operação das condições de sedimentação. As fases do ensaio desse teste correspondem, na prática, às três etapas do processo: dispersão rápida do coagulante (coagulação), floculação e decantação. A quantidade exata de coagulante a ser determinada e o pH ótimo para que ocorra esta sedimentação será determinada pela adição de quantidades crescentes do coagulante em um pH predeterminado.

O fato da água tratada do sistema Gramame/Mamuaba ter apresentado concentrações de alumínio superior ao da água bruta e acima do máximo permitido pela Portaria nº 518/2004, em quase todo o período analisado é de extrema importância e cabe à vigilância sanitária juntamente com os responsáveis pela indústria da produção de água potável a solução do problema detectado neste estudo. Vale salientar que, conforme foi visto na fundamentação teórica, o alumínio nas concentrações encontradas no referido sistema pode causar problemas de saúde para a população, em especial para os portadores de doenças renais.

#### 5.4 POTENCIAIS RISCOS À SAÚDE DA POPULAÇÃO DECORRENTES DA PRESENÇA DE ALUMÍNIO NA ÁGUA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DA CIDADE DE JOÃO PESSOA/ PB

Hoje é bem conhecida a relação entre a incidência de moléstias no homem com a abundância ou deficiência de elementos maiores, menores e traços no meio ambiente, particularmente nas águas. Exemplos são: a relação entre o bócio (hipertrofia da tireóide) e a deficiência em iodo; anemias severas, nanismo e hiperpigmentação da pele e a deficiência em zinco; fluorose esquelética e dentária e excesso de flúor; maior incidência de cáries dentárias e deficiência em flúor; anencefalia e mercúrio; inapetência e selênio. Outras correlações com aceitação controversa ocorrem, como por exemplo, entre a dureza da água e algumas moléstias cardiovasculares; entre o chumbo e a esclerose múltipla, entre o cádmio e a hipertensão e arteriosclerose; entre uma gama ampla de elementos e diversos tipos de câncer; entre o alumínio e a demência senil (Doença de Alzheimer),

alteração de comportamento na escola, dislexia nas crianças, alteração no metabolismo do fósforo, cálcio e magnésio, dores ósseas, fadiga, ansiedade, cefaléia, irritação gastrointestinal e encefalopatia pós-diálise.

São inúmeras as impurezas presentes nas águas, desde simples sedimentos até algumas extremamente perigosas à saúde do homem. As contaminações têm origens diversas, como lixões, fossas, esgotos, gases que contaminam a chuva, depósitos industriais, vazamento de tanques de gasolina, poços clandestinos, pesticidas, herbicidas, substâncias que contaminam nossos rios e lençóis freáticos. São incontáveis os prejuízos à saúde que estes contaminantes podem ocasionar.

As próprias Estações de Tratamento de Água (ETAs) utilizam compostos químicos nocivos à saúde, como o sulfato de alumínio, mas necessários ao processo de tratamento e potabilização da água.

Os processos de tratamento efetuados pelas ETAs no Brasil são de extrema importância para a saúde da população, mas faltam recursos para retirar os contaminantes químicos da água. Além disso, por falhas ou falta de controle operacional adequado, os produtos químicos, que são tóxicos, utilizados no próprio tratamento da água podem chegar à casa do consumidor.

No caso particular da ETA/Gramame, os resultados desta pesquisa revelam que os riscos para a saúde da população decorrentes dos níveis de alumínio na água tratada, ou seja, fora dos padrões de potabilidade, são evidentes e potenciais.

Os portadores de doenças renais são os mais vulneráveis a esse problema, pois de acordo com a Portaria nº 82/2000, que estabelece o “Regulamento Técnico para Funcionamento dos Serviços de Diálise”, diz que a água

de abastecimento desses serviços proveniente da rede pública, de poços artesianos ou de outros mananciais deve ter o seu padrão de potabilidade em conformidade com o disposto na Portaria nº 518/2004. Além disso, conforme mencionou Silva (1990), o alumínio permanece elevado, a despeito do tratamento realizado no centro de hemodiálise. O alumínio se difunde através da membrana semipermeável do filtro de diálise através da ligação dos grupos hidroxila e sulfídrica. A intoxicação alumínica, nos pacientes renais pode, em casos mais severos, evoluir com um quadro de encefalopatia, demência da diálise, catatonia e morte.

## 6 CONCLUSÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

### 6.1 CONCLUSÕES

Este trabalho avaliou os potenciais riscos para a saúde da população da cidade de João Pessoa e Grande João Pessoa em decorrência das concentrações de alumínio encontradas no sistema Gramame/Mamuaba de abastecimento de água. De acordo com os resultados obtidos concluiu que:

Do ponto de vista físico-químico, a água dos reservatórios Gramame/Mamuaba apresentaram-se, em geral, dentro dos limites permitidos pela Resolução nº 20 do CONAMA, para a classe 2 na qual estão inseridos os reservatórios citados.

As concentrações de alumínio variaram de 0,04 a 1,20 mg/L, na água bruta dos reservatórios de Gramame/Mamuaba, na entrada da ETA (ponto P1), ficando, portanto, acima do valor máximo permitido pela Resolução nº 20 do CONAMA para a classe 2, ou seja, 0,1 mg/L, em 6 coletas de 7 realizadas, no período analisado. Este fato pode estar relacionado a manobras de operação e regime de lavagem da ETA de Pedras de Fogo que, lança seus despejos diretamente no riacho Avenca à montante dos reservatórios em estudo.

Com exceção do pH e concentração de alumínio, todos os outros parâmetros analisados na água tratada do sistema Gramame/Mamuaba, mantiveram-se dentro dos padrões de potabilidade exigidos pela Portaria nº 518/2004, no período analisado.

As concentrações de alumínio na água tratada ficaram, em geral, fora dos padrões para água potável e, portanto, imprópria para o consumo humano, segundo a Legislação vigente.

O fato da água bruta ter apresentado qualidade superior ao da água tratada sugere problemas de controle operacionais e na adição de produtos químicos (sulfato de alumínio) na ETA/Gramame.

Apesar das controversas com relação aos problemas causados pelo alumínio, os riscos para a saúde da população de João Pessoa são evidentes e potenciais, pelos níveis detectados nesse estudo segundo a Portaria nº 518/2004.

Mesmo não sendo objetivo deste trabalho analisar a água para hemodiálise, verificou-se que a água de abastecimento do sistema Gramame/Mamuaba manteve-se, no período estudado, imprópria para esse serviço.

## 6.2 RECOMENDAÇÕES

### ***Diante do exposto nesse trabalho recomenda-se que:***

- Os órgãos responsáveis pelo sistema de abastecimento de água de João Pessoa tenham um maior e melhor controle operacional e da adição de produtos químicos na ETA/Gramame.
- Os órgãos encarregados de promoverem a saúde pública exerçam uma fiscalização efetiva da água distribuída à população de João Pessoa e demais localidades atendidas pela ETA/Gramame.

- Diante da insegurança em relação à qualidade da água que chega ao consumidor, que sejam realizadas outras pesquisas com outros metais, incluindo pontos de coleta nas residências.
- Os centros de hemodiálises sejam informados sobre os problemas de qualidade detectados na água de abastecimento fornecida pela ETA/Gramame.

## REFERÊNCIAS

**A ÁGUA no Brasil.** Disponível em: <<http://www.springway.com.br/aagu/aabr.html>>. Acesso em: 30 abr. 2004.

**ÁGUA, Tratamento e Qualidade.** MACEDO, Allírio Filho (tradutor). Angrian Water Works Association. Rio de Janeiro, 1994.

**ÁGUA e saúde.** Disponível em: <[http://www.portalagua.com.br/agua\\_saude\\_cloro\\_corpo.html](http://www.portalagua.com.br/agua_saude_cloro_corpo.html)> . Acesso em: 21 jul. 2003.

**ÁGUA, um bem cada vez mais ameaçado.** Disponível em: <[http://www.idec.org.br/files/MMA\\_agua.pdf](http://www.idec.org.br/files/MMA_agua.pdf)>. Acesso em: 15 out. 2003.

AGUIAR, Marluce Martins de et al. Propostas para Implementação da Portaria 1469/2000 - 22º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 14 a 18 de set. 2003. Joiville, Santa Catarina – Brasil, 2003.

AMERICAN Public Health Association, STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTERWATER, (Metodos: 3030 e 3120) 20 TH EDITION, 1998.

ARBOLEDA, V.J., Teoria y Practica de la Purificación del Agua, ACODAL, Colombia, 1992.

*AZEVEDO, J.M. et al., Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água. 3ª Edição, CETESB, São Paulo, 1987 (vol. 2).*

BEM-HUR L. BATALHA; Glossário de Engenharia Ambiental, 1988. CABES – Catálogo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (1993).

BISHOP; N. J.; MORLEY, R.; DAY, J.P. et al. Aluminum neurotoxicity in preterm infants receiving intravenous-feeding solutions. **N Engl J Méd.** 1997.

*BORBA, Luís Ramos. Viabilidade do uso da Moringa oleifera Lam no Tratamento Simplificado de Água para Pequenas Comunidades. 2001. 111f. Dissertação de*

*(Mestrado em Saneamento Ambiental) - Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, UFPB, João Pessoa, 2001.*

BRASIL. CONAMA. Resolução CONAMA, nº 20 de 1986. Brasília: IBAMA, 1986.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. Ministério da Saúde. Manual do Curso Básico de Vigilância Ambiental em Saúde. Brasília, 2001.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. Ministério da Saúde. Manual de Saneamento. 3ª Edição. Brasília, 1999.

BRASIL, Portaria, nº 36 de 19.01.90. Ministério da Saúde – D.O.U. Executivo. 16.03.90, pág. 1051. Legislação de Água para Consumo Humano.

BRASIL, Portaria, nº 1469 de 2001. Ministério da Saúde – Água tratada.

BRASIL. Portaria Ministério da Saúde nº 518, de 25 de março de 2004. Diário Oficial da União. Brasília; 26 março. 2004, Seção 1.

BRASIL. Portaria Ministério da Saúde nº 1469, de 29 de dezembro de 2000. Diário Oficial da União, Brasília, 29 dez. 2000.

Brasil –Ministério da Saúde - Portaria nº 82/GM Em 03 de janeiro de 2000.

CETESB – Normalização Técnica Saneamento Ambiental NT- 07 – Análises Físico-química de águas. São Paulo, 1985.

CONAMA, 1986 / Resolução nº 20 – Água bruta da classe II.

CORDEIRO, J. SÉRGIO; CAMPOS, J. ROBERTO – O impacto ambiental provocado pela indústria da água de abastecimento. São Carlos, dezembro de 2000.

CORDEIRO, J. SÉRGIO (1993) *O problema dos lodos gerados em decantadores de estações de tratamento de água. São Carlos: SHS-EESC, 1981, 155p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) Escola de Engenharia de São Carlos – USP.*

DAVINO FILHO, Francisco dos Santos. **Tecnologia de Tratamento de Água: á água na Indústria.** Rio de Janeiro: Editores, 1976.

DI BERNARDO, Luiz - **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. Rio de Janeiro: ABES, 1993.

\_\_\_\_\_. ; COSTA. E. H. **Curso de coagulação e floculação de água de abastecimento**. Minas Gerais: ABES, 1993.

ESTADO DA PARAÍBA – Plano Diretor de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba – PDRH – PB / Diagnóstico dos Usuários de Água Bruta – Cadastros. Convênio SEPLAN / SCIENTEC. João Pessoa, janeiro de 1997.

*FAGLIANO, J.; BERRY, M.; Agency for Toxic Substances and Disease Registry; New Jersey Department of Health and Senior Services, vol. II, December / 2001.*

FEITOSA, A. F.; MANOEL FILHO. J. (coord<sup>s</sup>). Hidrogeologia: conceitos e aplicações. Fortaleza: CPRN, LABHID – UFPE, 1997. 412 p.

GUEDES, Antônio Batista; CARVALHO, José M. T. – Sistemas de abastecimento de água operados pela CAGEPA. CAGEPA – Relatórios. João Pessoa, maio de 1994.

HELLER, L. **Saneamento e Saúde**. Brasília: Organização Pan-Americana de Saúde, 1997.

KLEIN, G. L; ALFREY, A. C.; SHIKE, M. Parenteral drug products containing aluminium as an ingredient or a contaminant: response to FDA notice of intent. *Am J Clin Nutr*, 1991.

LEME, F. Pereira. **Teoria e Técnicas de Tratamento de Água**. Rio de Janeiro: ABES, 1990.

*LUCKEY & VENUGOPAL, Fonte: Ver. Nutr., Campinas, 13(3): 151-156, set./dez., 2000.*

MACEDO, T. A. Barbosa. Águas & Águas. **Ortofarma**. Juiz de Fora - MG, 2000.

MOITA, F.R H.S. Dados Fundamentais. *Revista Bio*, n.2, p.10-12, 1993.

MORENO A; DOMINGUEZ, C; BALLABRIGA, A. Aluminium in the neonate related to parenteral nutrition. Acta Paediatr 1994.

MORINGA Oleifera: Um purificador natural de água e complemento alimentar para o nordeste do Brasil. Disponível em:  
<<http://www.jardimdeflores.com.br/floresefolhas/A10moringa.htm>>. Acesso em: 21 nov.2003

MOTA, S. **Preservação e Conservação de Recursos Hídricos**. 2. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995. 222p.

NOSSA água. Disponível em:  
<[http://www.miniweb.com.br/Geografia/Artigos/hidrografia/crise\\_agua.html](http://www.miniweb.com.br/Geografia/Artigos/hidrografia/crise_agua.html)>. Acesso em: 10 out. 2004.

OMS - Organização Mundial da Saúde. Guidelines for drinking water quality, vol. 2 ('Health criteria and other supporting information'), Genebra (Suíça), 1996.

PARÂMETROS químicos. Disponível em:

<[http://www.igam.mg.gov.br/aguas/htmls/param\\_quimicos.htm](http://www.igam.mg.gov.br/aguas/htmls/param_quimicos.htm)>. Acesso em: 02 mar. 2003.

RICHTER, C. A; AZEVEDO, J. H. **Tratamento de Água**: Tecnologia Atualizada. São Paulo: Edgard Blücher , 1995.

RONALDO Adriano Wessler; AMORIM Sheila de; CAVALLI Viviane. Estudo da Viabilidade Técnica e Econômica da Utilização de um Polímero Orgânico Natural Catiônico em Substituição ao Sulfato de Alumínio Convencionalmente Utilizado em Estações de Tratamento de Água (Eta`S). Disponível em:  
<[www.semasa.sp.gov.br/Documentos/ASSEMAE/Trab\\_29.pdf](http://www.semasa.sp.gov.br/Documentos/ASSEMAE/Trab_29.pdf)>. Acesso em: 9 set. 2003.

SAÚDE, ambiente e trabalho. Disponível em:  
<<http://www.opas.org.br/ambiente/temas.cfm?id=29&area=Conceito>>. Acesso em: 13 set. 2003.

SEMARH – Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais. Governo do Estado da Paraíba. Plano diretor de recursos hídricos da Bacia do Rio Gramame. v.1, UFPB: SCIENTEC, 2000.

SILVA, Tarciso Cabral da; PASSERAT DE SILANS, Alain Marie Bernard; GADELHA, Carmem Lúcia Moreira; Organizadores. BACIA DO RIO GRAMAME - **Hidrologia e aspectos ambientais para gestão dos seus Recursos hídricos**. Editora Universitária; UFPB, 2002.

SILVA, Misael, A. M. **Avaliação da qualidade da água usada na hemodiálise na cidade de São Paulo**. 1990. Tese de Doutorado - Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, 1990.

SILVA, Telma Salesa Santana. **Estudo de tratabilidade físico-química com uso de taninos vegetais em água de abastecimento e esgoto**. 1999. Dissertação de mestrado - Fundação Oswaldo Cruz Escola Nacional de Saúde Pública, 1999.

STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER – 14<sup>a</sup> ed., Washington, ALFA, AWWA, WPCF, 1976, 1193p.

SUDEMA, 1999a, Monitoramento de Corpos D'água da Bacia do Rio Gramame – Análises Físico-Químicas (Valores médios de 1992 a 1998).

SUDEMA, 1999b, Programa de Monitoramento do Rio Água Boa.

SUDEMA, 1999c, Levantamento do Uso de Agrotóxicos na Bacia do Rio Gramame.

*TRATAMENTO de água. Disponível em:*  
<<http://www.tratamentodeagua.com.br/forum/read.php?f=1&i=21&t=8>>. Acesso em: 13 set. 2004.

TUCCI, Carlos E.M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2002.944p.

VON SPERLING, M. (1995). Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos, Belo Horizonte, Ed. Desa/UFGM, v. 1, 240p.

WEBCIÊNCIA – água. Disponível em:<[http://www.webciencia.com/21\\_aguahtm](http://www.webciencia.com/21_aguahtm)>. Acesso em: 10 out. 2004.

WISNIEWSKI; Thomas. Seminário - Alumínio e Saúde: Mitos e Verdades, jun. 2000.

Disponível em:

<<http://www.google.com.br/search?q=cache:TfY7R52x5u8J:www.abal.org.br/noticias/anexos/Transcri%25E7%25E3oTHOMAZ.doc+presen%C3%A7a+de+aluminio+na+agua+potavel&hl=pt-BR>>. Acesso em: 10 de set. 2003.

# ANEXOS

## TABELAS DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DESENVOLVIDAS NOS PONTOS DE COLETA

As tabelas de I a IV, mostram os resultado obtidos em cada ponto de coleta, analisado durante o trabalho em pesquisa.

**Tabela – I:** Entrada de água bruta na ETA de Gramame

Parâmetros	Ponto – 1 (Água Bruta)
------------	------------------------

	<b>1<sup>a</sup> Coleta 09/09/03</b>	<b>2<sup>a</sup> Coleta 04/11/03</b>	<b>3<sup>a</sup> Coleta 06/01/04</b>	<b>4<sup>a</sup> Coleta 31/03/04</b>	<b>5<sup>a</sup> Coleta 29/06/04</b>	<b>6<sup>a</sup> Coleta 13/08/04</b>	<b>7<sup>a</sup> Coleta 25/10/04</b>
<b>pH</b>	6.32	6.50	6.60	6.65	6.53	6.63	6.58
<b>Condutividade μS/cm (25,0 °C)</b>	117.2	128.1	118.4	78.8	69.8	51.2	67.1
<b>* Salinidade</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Cor (mg/L Pt)</b>	80	60	60	100	200	200	80
<b>SDT (mg/L)</b>	117	128	118	79	70	51	67
<b>Turbidez (NTU)</b>	7.0	4.5	4.0	6.8	18.0	33.0	9.5
<b>Dureza (mg/L de CaCO<sub>3</sub>)</b>	16.0	15.0	15.0	10.0	18.0	19.0	11.0
<b>Alcalinidade (mg/L de CaCO<sub>3</sub>)</b>	48.0	34.0	36.0	34.0	25.0	26.0	16.0
<b>Acidez (mg/L de CaCO<sub>3</sub>)</b>	4.64	4.64	6.96	3.48	4.64	3.48	1.0
<b>Cloretos (mg/L de Cl<sup>-</sup>)</b>	22.0	15.0	16.0	16.0	16.0	15,0	10.0
<b>Alumínio (Al) (mg/L)</b>	0.63	<0.04	0.14	0.14	0.49	1.20	0.15

\* Limite não detectado.

***Tabela – II: Saída de água tratada da ETA de Gramame  
(Reservatório apoiado)***

<b>Parâmetros</b>	<b>Ponto – 2 (Água Tratada)</b>
-------------------	---------------------------------

	<b>1<sup>a</sup> Coleta 09/09/03</b>	<b>2<sup>a</sup> Coleta 04/11/03</b>	<b>3<sup>a</sup> Coleta 06/01/04</b>	<b>4<sup>a</sup> Coleta 31/03/04</b>	<b>5<sup>a</sup> Coleta 29/06/04</b>	<b>6<sup>a</sup> Coleta 13/08/04</b>	<b>7<sup>a</sup> Coleta 25/10/04</b>
<b>pH</b>	5.96	6.15	6.18	5.75	5.52	5.77	5.97
<b>Condutividade μS/cm (25,0 °C)</b>	140.7	132.0	135.3	97.4	91.2	88.4	91.8
<b>* Salinidade</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>** Cor (mg/L Pt)</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>SDT (mg/L)</b>	141	132	135	97	91	88	92
<b>Turbidez (NTU)</b>	2.0	1.6	2.0	2.8	3.0	4.0	3.5
<b>Dureza (mg/L de CaCO<sub>3</sub>)</b>	25.0	22.0	15.0	30.0	28.0	33.0	25.0
<b>Alcalinidade (mg/L de CaCO<sub>3</sub>)</b>	16.0	28.0	36.0	19.0	12.0	24.0	11.0
<b>Acidez (mg/L de CaCO<sub>3</sub>)</b>	5.80	5.80	6.96	4.64	3.48	2.32	1.0
<b>Cloretos (mg/L de Cl<sup>-</sup>)</b>	25.0	17.0	16.0	18.0	19.0	15.0	12.5
<b>Alumínio (Al) (mg/L)</b>	0.34	0.26	0.12	0.55	1.37	1.64	0.52

\* Limite não detectado.

\*\* Limite não detectado.

**Tabela – III:** Saída de água tratada do reservatório de Altiplano (R-14)

Parâmetros	Ponto – 3 (Água Tratada)						
	1 <sup>a</sup> Coleta 09/09/03	2 <sup>a</sup> Coleta 04/11/03	3 <sup>a</sup> Coleta 06/01/04	4 <sup>a</sup> Coleta 31/03/04	5 <sup>a</sup> Coleta 29/06/04	6 <sup>a</sup> Coleta 13/08/04	7 <sup>a</sup> Coleta 25/10/04
<b>pH</b>	6.30	6.25	6.32	6.08	5.67	5.88	6.52
<b>Condutividade</b> $\mu\text{S/cm}$ (25,0 °C)	133.8	134.7	122.8	101.5	90.3	84.6	91.8
<b>* Salinidade</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>** Cor</b> (mg/L Pt)	-	-	-	-	-	-	-
<b>SDT</b> (mg/L)	134	135	123	101	90	85	92
<b>Turbidez</b> (NTU)	2.0	2.0	2.0	2.8	3.0	4.0	3.0
<b>Dureza</b> (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	28.0	21.0	23.0	28.0	29.0	35.0	23.0
<b>Alcalinidade</b> (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	18.0	29.0	24.0	18.0	10.0	24.0	15.0
<b>Acidez</b> (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	5.80	5.80	4.64	3.48	3.48	2.32	2.0
<b>Cloretos</b> (mg/L de Cl <sup>-</sup> )	26.0	18.0	17.0	18.0	19.0	17.0	12.5
<b>Alumínio (Al)</b> (mg/L)	0.39	0.34	0.11	0.61	1.35	1.46	0.44

\* Limite não detectado.

\*\* Limite não detectado.

**Tabela – IV:** Saída de água tratada do reservatório de Miramar (R-8)

Parâmetros	Ponto – 4 (Água Tratada)						
	1ª Coleta 09/09/03	2ª Coleta 04/11/03	3ª Coleta 06/01/04	4ª Coleta 31/03/04	5ª Coleta 29/06/04	6ª Coleta 13/08/04	7ª Coleta 25/10/04
<b>pH</b>	6.10	6.46	6.30	6.68	5.52	5.96	6.11
<b>Condutividade</b> $\mu\text{S/cm}$ (25,0 °C)	123.5	132.3	118.4	99.9	93.1	83.8	90.9
<b>* Salinidade</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>** Cor</b> (mg/L Pt)	-	-	-	-	-	-	-
<b>SDT</b> (mg/L)	124	132	118	100	93	84	91
<b>Turbidez</b> (NTU)	2.0	2.0	1.8	2.0	3.0	4.0	4.5
<b>Dureza</b> (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	26.0	21.0	21.0	26.0	28.0	35.0	22.0
<b>Alcalinidade</b> (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	18.0	26.0	23.0	18.0	10.0	15.0	15.0
<b>Acidez</b> (mg/L de $\text{CaCO}_3$ )	5.80	4.64	4.64	3.48	4.64	2.32	1.0
<b>Cloretos</b> (mg/L de $\text{Cl}^-$ )	24.0	18.0	16.0	19.0	19.0	18.0	13.0
<b>Alumínio (Al)</b> (mg/L)	0.37	0.21	0.12	0.70	1.45	1.15	0.53

\* Limite não detectado.

\*\* Limite não detectado.

**Tabela – V:** Saída de água tratada do reservatório de Tambaú (R-9)

Parâmetros	Ponto – 5 (Água Tratada)						
	1 <sup>a</sup> Coleta 09/09/03	2 <sup>a</sup> Coleta 04/11/03	3 <sup>a</sup> Coleta 06/01/04	4 <sup>a</sup> Coleta 31/03/04	5 <sup>a</sup> Coleta 29/06/04	6 <sup>a</sup> Coleta 13/08/04	7 <sup>a</sup> Coleta 25/10/04
<b>pH</b>	5.87	6.01	6.28	6.50	5.25	5.87	5.80
<b>Condutividade</b> μS/cm (25,0 °C)	116.3	135.4	107.2	103.3	101.8	86.9	88.1
<b>* Salinidade</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>** Cor</b> (mg/L Pt)	-	-	-	-	-	-	-
<b>SDT</b> (mg/L)	116	135	107	103	102	87	88
<b>Turbidez</b> (NTU)	2.0	1.7	1.5	1.8	3.0	4.0	4.0
<b>Dureza</b> (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	24.0	21.0	22.0	29.0	29.0	35	24
<b>Alcalinidade</b> (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	15.0	26.0	25.0	18.0	11.0	13.0	14.0
<b>Acidez</b> (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	5.80	5.80	3.48	2.32	3.48	2.32	1.0
<b>Cloretos</b> (mg/L de Cl <sup>-</sup> )	24.0	19.0	16.0	19.0	20.0	17.0	13.0
<b>Alumínio (Al)</b> (mg/L)	0.40	0.20	0.14	0.69	1.37	1.55	0.41

\* Limite não detectado.

\*\* Limite não detectado.

**Tabela – VI:** Saída de água tratada do reservatório de Intermares (R-30)

Parâmetros	Ponto – 6 (Água Tratada)						
	1 <sup>a</sup> Coleta 09/09/03	2 <sup>a</sup> Coleta 04/11/03	3 <sup>a</sup> Coleta 06/01/04	4 <sup>a</sup> Coleta 31/03/04	5 <sup>a</sup> Coleta 29/06/04	6 <sup>a</sup> Coleta 13/08/04	7 <sup>a</sup> Coleta 25/10/04
<b>pH</b>	6.17	6.48	6.58	6.24	5.65	6.14	6.35
<b>Condutividade</b> μS/cm (25,0 °C)	117.5	135.4	109.4	108.5	89.4	80.7	93.64
<b>* Salinidade</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>** Cor</b> (mg/L Pt)	-	-	-	-	-	-	-
<b>SDT</b> (mg/L)	118	130	109	108	89	81	94
<b>Turbidez</b> (NTU)	2.0	1.8	1.5	2.0	2.8	3.0	5.0
<b>Dureza</b> (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	26.0	22.0	21.0	28.0	29.0	34.0	24.0
<b>Alcalinidade</b> (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	19.0	25.0	25.0	16.0	10.0	13.0	12.0
<b>Acidez</b> (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	5.80	5.80	3.48	2.32	3.48	2.32	1.0
<b>Cloretos</b> (mg/L de Cl <sup>-</sup> )	26.0	18.0	17.0	19.0	19.0	16.0	13.0
<b>Alumínio (Al)</b> (mg/L)	0.36	0.26	0.17	0.79	1.15	0.96	0.68

\* Limite não detectado.

\*\* Limite não detectado.